

ББК 20Г
С50

Смирнов С. Г.

С50 Лекции по истории науки: пособие для курсов повышения квалификации и переподготовки учителей математики. — М.: МИОО, 2006. — 196 с.: ил.

ISBN 5-94898-081-2.

Данное пособие основано на лекциях, которые автор читал на курсах повышения квалификации и переподготовки для учителей математики, а также для преподавателей и школьников, специализирующихся как в математических и естественнонаучных, так и в гуманитарных дисциплинах.

В книге нашёл отражение яркий авторский взгляд, позволяющий изучить основные концепции естествознания, вникая в мотивы деятельности первопроходцев науки. Особое внимание уделено науке XX века. Автор также рассказывает об уникальной роли российских научных школ в мировом прогрессе научного знания.

ББК 20Г

ISBN 5-94898-081-2

© Смирнов С. Г., 2006.

Смирнов Сергей Георгиевич

ЛЕКЦИИ ПО ИСТОРИИ НАУКИ

Редактор А. К. Кулыгин.

Формат 60×88 ¹/₁₆. Печать офсетная. Объём 12,25 печ. л.

Заказ . Тираж 1000 экз.

Издательство Московского института открытого образования.

125167, Москва, Авиационный переулок, дом 6.

Отпечатано с готовых диапозитивов в ФГУП «Полиграфические ресурсы».

Лекции по истории науки

С. Г. Смирнов

Москва
Издательство МИОО
2006

Введение

Весь 20 век Россия пребывала в ранге великой научной державы — несмотря на её исходную политическую отсталость, которая лишь усугубилась в ходе последующих революций. Ещё большие контрасты между политикой и наукой наблюдались в Германии: там на плечах Бисмарка выросли сперва Гильберт и Эйнштейн, затем Гайзенберг и Гитлер. Все эти примеры подсказывают тезис о независимой эволюции человечества в разных, почти не пересекающих друг друга областях: экономической и политической, культурной и научной. Лишь в редкие, краткие периоды революций эти четыре грани общего развития могут интенсивно взаимодействовать — благодаря высшему напряжению сил и страстей немногих лидеров научного или иного прогресса.

Эта ситуация аналогична положению дел в теоретической физике, где четыре разные природные силы — гравитация, электромагнетизм, адронные и лептонные взаимодействия — обретают взаимную зависимость лишь в условиях Большого Взрыва. История человечества и биосферы отличается от большой физики, видимо, лишь тем, что в ней большие взрывы не редки, но регулярны. Каждый из них можно описывать через изменение ансамбля основных *структур* на входе и на выходе. Это — модель «чёрного ящика», ценимая многими физиками, но не любимая математиками и биологами. Вместе с историками, они предпочитают иную модель эволюции, составленную из *биографий* творцов науки, политики или культуры.

Ясно, что обе эти модели необходимы — как для изучения тайн любой эволюции, так и для преподавания этих тайн школьникам или студентам. Автор этих строк (профессиональный математик и любитель истории) многие годы преподавал Историю Науки и Человечества в разных аудиториях, стараясь этим путём восстановить единство учебных курсов разных школьных предметов. Оно давно утрачено в системе высшего образования — в такой мере, что ни один современный Университет не достоин, по справедливости, этого древнего гордого имени, но являет собою лишь россыпь независимых факультетов и кафедр. Их можно назвать «одноцветными» университетами: филологическим либо лингвистическим, физическим или химическим, но никак не «гуманитарным» либо «естественнонаучным».

В такой обстановке изначальное единство научного знания сохраняется только в старших классах средней школы — в тех случаях, когда её учителя образуют учебный коллектив, а администраторы интересуются не только формальной успеваемостью по отдельным предметам.

Автору довелось более 30 лет работать в двух таких школах (№2 и №57 в Москве) и познакомиться со многими коллективами сходной квалификации и претензий — от Петербурга и Тывравере до Киева и Новосибирска.

Как можно помочь многим учителям (молодым и пожилым) войти в круг удачливых профессионалов и ввести туда своих смышлёных учеников? Наилучшим путём воссоединения кажется следование по путям первооткрывателей: от Фалеса и Пифагора, Геродота и Аристотеля до Кеплера и Ньютона, Эйлера и Линнея, Фарадея и Эйнштейна, Гильберта и Колмогорова. Эту схему автор воплотил в курсе Истории Науки для учителей, повышающих свою квалификацию в Московском Институте Открытого Образования — и теперь, на страницах этой книги. Можно надеяться, что она поможет многим учителям, которым судьба не подарила личного общения с гениями науки, составить своё представление об игре природных сил и человеческих усилий, порождающей те открытия, которые потом более сухо переписываются в школьный или вузовский учебник.

Лучшие российские учителя ещё в 19 веке стихийно овладели мастерством заманивания любознательной молодёжи на кухню научного творчества. В 1930-е годы юные российские математики научились вводить детей в свою профессию с самых молодых ногтей — через кружки и олимпиады с необычно увлекательными задачами и их красивыми решениями. Через 30 лет это ремесло и искусство породило устойчивую Научную Индустрию Креативного Образования в наших славных физматшколах. Благодаря им весь современный мир оказался пронизан удачливой российской научной диаспорой. Нужно не отставать от неё в родной стране, помня жёсткую поговорку римлян: «Где я отец — там моя отчизна».

Школьные учителя имеют наилучший шанс воплощать эту догму в удачные действия — свои и своих учеников. Если (и только если) нынешние просветители не пожалеют усилий в этой сфере, то Россия сможет сохранить достойное место в шеренге интеллектуальных лидеров человечества в новом и таинственном пока 21 веке.

Глава 1. Рождение науки. Эпоха Фалеса

Пока Ближний Восток находился во власти Ассирийской державы, путешествия там были опасны для любого иностранца — будь то финикийец, грек или еврей. Но в 612 году до н. э. (по греческому счёту, это

был первый год 42 Олимпиады) объединённые войска халдеев, мидян и египтян взяли штурмом и разрушили Ниневию — столицу Ассирии. После этого три новых царства начали раздел ассирийского наследства. Древний Вавилон попал под власть халдеев, которых возглавил молодой царь Навуходоносор. Так его имя записано в Библии; сами халдеи произносили его *Набу-кудурру-уцур*, т. е. «бог мудрости Набу границу поставил». Этот дальновидный правитель решил полностью перестроить древний город, сделать его богатейшей столицей Двуречья, открыть его ворота для всех чужеземных купцов и прочей интеллигенции.

Так царь Вавилона нечаянно внёс важнейший вклад в становление иудейской религии и греческой науки. В 586 году до н. э. Навуходоносор захватил город Иерусалим и увёл всю местную знать в плен в Вавилон. Там еврейские жрецы были вынуждены соперничать с халдейскими и иными жрецами, давно имевшими свои священные книги. Чтобы устоять в идейной борьбе, евреям пришлось быстро записать свои мифы и предания с помощью местного (арамейского) клинописного алфавита. Так возникла Библия: Ветхий Завет. Один из его составителей — пророк Иеремия — внёс в текст Библии замечательный призыв, обращённый к любому мыслителю, по воле случая выброшенному из привычной жизненной среды и способному глядеть со стороны на усобицы и бедствия людей.

«Я поставил тебя днесь над народами и царствами! Чтобы ты их судил и оправдывал, вязал и разрешал, насаждал и искоренял!»

С этих слов началась историческая наука — самодеятельность учёных людей, не играющих активной роли в политике, но способных и готовых предвидеть её последствия, предупреждать о них своих менее искущённых соплеменников. До сих пор Библия считается важнейшим источником фактов истории Ближнего Востока — то есть, Египта, Месопотамии и прилежащих земель.

Совсем иначе повлияло новое Вавилонское царство на культуру Эллады. В эпоху Навуходоносора эллины жили во множестве мелких приморских городов по берегам Средиземного и Чёрного морей. Самая высокая плотность таких городов была в Ионии — на западном берегу Малой Азии, где товары, деньги и идеи Ближнего Востока встречались с товарами и сырьём ещё диковатой Европы.

Научившись у финикийцев мореплаванью, алфавитному письму и составлению законов, эллины постепенно обрели вкус к восточной учёности. Многие греческие путешественники, будучи купцами по деловой нужде, в душе были туристами и готовы были учиться древней мудрости. Первым из героев этой чреды, чьё имя сохранилось в веках,

был Фалес из ионийского города Милета. Он посетил Вавилон в эпоху царя Навуходоносора и оттуда добрался до Египта, где правил соперник вавилонян — фараон Псаммэтих. При каждой возможности Фалес вёл беседы с местными жрецами, чтобы постичь их мудрость.

Достаточно сказать, что египтяне и вавилоняне знали «теорему Пифагора» (без доказательства) за тысячу лет до того, как в Элладе родился Пифагор. А может быть, и раньше — в эпоху постройки великих пирамид! Но при жизни Фалеса ни один египтянин не мог сказать, сколько веков назад были воздвигнуты пирамиды. Изыскания в древней хронологии начал только Эратосфен — через триста лет после Фалеса.

Видимо, по этой причине Фалес не увлёкся в Вавилоне и Египте исторической наукой. Зато он увлёкся арифметикой и геометрией — теми ветвями учёности, в которых одни факты можно *вывести* из других фактов, и запоминать приходится немногое. При этом геометрия кажется обильнее и красивее арифметики — ведь её объекты можно нарисовать даже палкой на песке! Сочетание наглядных утверждений со строгостью выводов пленило не только Фалеса, но и многих его соотечественников. Культура логичных рассуждений у эллинов стояла высоко с тех пор, как торговые сделки и юридические споры стали обычным занятием греческих горожан.

В итоге Фалес прославился в родном Милете, как великий мудрец. Он сознательно укреплял эту репутацию. Например, Фалес по возвращении из Вавилона стал носить роскошную одежду, заявляя, что готов уступить её первому встречному — если тот превзойдёт его в искусстве научных рассуждений. Таким путём занятия геометрией, арифметикой и философией сделались среди эллинов новой интеллектуальной *игрой* — наравне с богословием и взамен шахмат, которых ни греки, ни вавилоняне и египтяне тогда не знали. Зато ученики Фалеса могли рассчитывать высоту дерева или утёса по длине его тени: их учитель научился этому ремеслу в Египте, измеряя высоту пирамид.

Философией Фалес и его друзья тоже занимались — но без особого успеха, ибо в этой сфере ни одну разумную гипотезу не удавалось *проверить* — ни логическим рассуждением, ни экспериментом. Например, вавилоняне установили соответствие между своими главными богами, небесными светилами и известными тогда металлами.

Золото — Солнце — Шамаш

Серебро — Луна — Син

Ртуть — Меркурий — Набу

Медь — Венера — Иштар

Железо — Марс — Нергал

Олово — Юпитер — Мардук

Свинец — Сатурн — Нинурта

Греки подставили в эти формулы своих богов — но не решились считать металлы первичными стихиями (а зря!) Фалес и его ученики верили, что разных природных стихий лишь четыре — по числу разных состояний вещества. Земля, Вода, Воздух и Огонь — этого должно хватить для построения всего мира веществ и тел! Только Анаксимандр предположил, что в основе четырёх наблюдаемых стихий лежит некое незаметное нам, бесформенное и беспредельное естество — Апéйрон (мы теперь называем его Вакуум). Но ничего подробного на сей счёт греческие философы не придумали. В отличие от геометрии и астрономии, физика в Элладе так и не стала полноценной наукой, сочетающей рассуждения, вычисления и эксперимент.

Глава 2. Созревание геометрии: школа Пифагора

Пифагор родился на греческом острове Сámos около 570 года до н. э. — в ту пору, когда Фалес вернулся из Вавилона в Милет. Родители Пифагора принадлежали к старой жреческой аристократии — но этот слой населения терял реальную власть, уступая новому сословию купцов и предпринимателей. Юный Пифагор отправился в путешествие по следам Фалеса в 540-е годы — когда Вавилонское царство содрогалось под нажимом новой Персидской державы, а греки в Ионии уже подчинились персам. Вернувшись домой, Пифагор обнаружил, что власть на острове Самос захватил тиран Поликрат — бывший торговец обувью. Не желая терпеть этого выскочку, Пифагор решил создать независимую республику под управлением учёных людей где-нибудь вдали от восточных царей и греческих тиранов.

Такое место нашлось в Южной Италии — в маленьком городе Кротон, основанном греками лет за сто до рождения Пифагора. Здесь Пифагор около 535 года основал свою школу, похожую одновременно на монашеский орден, на политическую партию и на шахматный клуб. Ученики самого разного возраста обсуждали с учителем факты и проблемы всех ветвей тогдашней науки — но не составляли учебников или задачников, чтобы эти тексты не попали в руки окружающих невежд. Авторитет Пифагора в его школе был громаден: его считали пророком новой научной веры и родичем древних богов Эллады.

Действительно, Пифагор был очень знающим и весьма изобретательным человеком. В геометрии он знал, видимо, почти все факты,

которые потом вошли в книгу Евклида. Но доказывать самые сложные теоремы Евклида Пифагор ещё не умел. В астрономии Пифагор создал первую цельную модель Вселенной: она состоит из нескольких концентричных сфер. Внутренняя из них — Земля, а самая внешняя усеяна звёздами. Между этими сферами вращаются семь прозрачных сфер, на которых укреплены светила: Солнце, Луна и пять планет. Главная задача астрономии, по мнению Пифагора — выяснить радиусы всех небесных сфер или хотя бы отношения этих радиусов. Они должны выражаться *рациональными дробями*: этого требует открытая Пифагором гармония Вселенной! Первое проявление такой гармонии Пифагор открыл среди струн лютни или трубок свирели. Чтобы их звуки воспринимались человеческим ухом, как симфония, длины струн (или труб органа) должны быть пропорциональны друг другу с рациональными коэффициентами — и чем меньше их знаменатели, тем лучше звучит симфония.

С такого экспериментального открытия началась Математическая Физика. Но других открытий в этой области Пифагор и его ученики не сделали. Более того: из установленной Пифагором связи между площадями квадратов, построенных на гипотенузе и катетах одного треугольника, пифагорейцы узнали, что отношение длин катета и гипотенузы *не всегда* выражается рациональным числом! Это означает, что в Природе есть некие общие формы гармонии, *не* сводимые к рациональным числам. Как они выражаются — в числах или в фигурах? Этот вопрос, поставленный пифагорейцами в 6 веке до н. э., оставался без ответа до 17 века — до изобретения аналитической геометрии и математического анализа гладких функций.

Не располагая столь мощными средствами, Пифагор пытался обнаружить новые проявления мировой гармонии, сопоставляя разные правильные многогранники разным природным стихиям. Здесь явных успехов не было: достичь их удалось лишь в начале 19 в., когда математики создали Теорию Групп, как исчисление всех возможных симметрий.

В политике пифагорейцы тоже не были вполне удачливы. После многих лет их правления в городе Кротон, местные жители восстали и изгнали пифагорейцев. Старый Пифагор умер около 500 года до н. э. После этого его школа распалась. Многие ученики нашли приют в разных полисах Эллады, где стали преподавать математику и философию всем любознательным эллинам, нарушая пифагоров завет секретности. Так в эпоху греко-персидских войн началось греческое научное Просвещение. После отражения персидского натиска (480 год) новым важнейшим центром греческой учёности сделались Афины.

Глава 3. Рождение афинской школы

Афины были в числе древнейших городов Эллады. Но великая слава пришла к афинянам лишь после побед над персами: при Маратоне (490), при Саламине и Платеях (480). Восхищённые этими подвигами, многие любознательные или учёные эллины стремились посетить Афины и лично пообщаться с наследниками маратонских победителей. Важнейшими гостями оказались два ионийца: Геродот из Галикарнаса и Анаксагор из Клазомен. Первый из них написал Историю войны эллинов с великой Персидской державой Дария и Ксеркса. С этого труда началась историческая наука Эллады: вскоре труд Геродота продолжили Фукидид и Ксенофонт (ученик Сократа).

Человеком иного склада был Анаксагор: он стремился заразить афинскую молодёжь любовью к точным наукам — геометрии и астрономии. Ещё Фалес и его ученики догадались, что солнечные и лунные затмения происходят в тот момент, когда Луна заслоняет свет Солнца от Земли — либо напротив, Земля заслоняет Луну от Солнца. Но только Анаксагор сообразил, что можно использовать это редкое явление для измерения *размеров* Луны или Солнца. Нужно измерить *диаметр тени*, которую отбрасывает Луна на Землю во время солнечного затмения! Для этого достаточно одновременно наблюдать затмение во многих городах Эллады, отмечая его максимальную фазу: полное ли оно, или какая часть солнечного диска была закрыта Луной в Афинах или в Милете? Квалифицированных наблюдателей в Элладе, конечно, не хватит; но можно устроить опрос всех прибывающих моряков в Афинской гавани! Затем нужно сопоставить данные наблюдений с известными расстояниями от Афин до других городов Эллады: так будет получен примерный «портрет» лунной тени на Земле.

Сказано — сделано. В итоге Анаксагор пришёл к выводу, что Луна — холодный камень размером с Пелопоннес, то есть диаметром около 300 км. А метеориты — это осколки Луны! Мы знаем теперь, что Анаксагор грубо ошибся в числе: истинный диаметр Луны в 11 раз больше, чем рассчитал мудрый грек. Но первый блин часто выходит комом: заслуга Анаксагора в том, что он превратил астрономию в *экспериментальную науку*! Следующее крупное открытие этого рода — выяснение размера Солнца — удалось Аристарху через полтора столетия после Анаксагора.

Вскоре после своих открытий (440 год до н. э.) Анаксагору пришлось покинуть Афины: его привлекли к суду за безбожие, ибо он посмел измерять размеры богов! Ведь Солнце — это грозный бог Гелиос,

а Луна — мстительная богиня Геката! Вероятно, это обвинение метило не столько в Анаксагора, сколько в его властного друга — Перикла, чьё долгое правление надоело многим афинянам. Но учёному от этого не легче! Преемником Анаксагора в Афинах стал его ученик — Сократ.

Этот замечательный человек мог бы стать и геометром, и астрономом, и историком. Но Сократ предпочёл изучать человеческую природу, обучая всех охочих афинян той мудрости, которая состоит из Знаний и Сомнений.

Знаний и умений смышлённые афиняне накопили уже много; но использовать сомнения в поисках истины умели тогда только геометры. А предметов для сомнений хватало! Правда ли, что боги похожи на людей? Правда ли, что все тела состоят из смеси четырёх стихий — или же из многих сортов разных атомов, как утверждает Демокрит? Правда ли, что жить в полисе при демократии во всех отношениях лучше, чем под властью монарха? Все эти проблемы Сократ считал не решёнными до конца и приучал своих питомцев постоянно размышлять над ними, советуясь между собой и доверяя своей интуиции.

Именно открытая дискуссия обо всём на свете отличала школу Сократа от школы Пифагора. Конечно, такие дискуссии вызывали подозрения у людей, убеждённых в своей исключительной правоте — будь то жрецы, правители или политики — демагоги. Сократа привлекли к суду, обвинив в безбожии — как прежде обвиняли Анаксагора. Но тот был приезжий, без гражданства — а Сократ был патриот своего города и учитель своего народа. Он решил рискнуть жизнью, дав последний урок политического поведения мудреца перед лицом толпы — в роли обвиняемого на открытом суде, где вопрос о виновности решают сотни граждан общим голосованием.

Этот спор с толпой Сократ проиграл: его осудили на смерть, ибо он не оправдывался, а упрекал своих обвинителей в недомыслии. Даже после осуждения Сократ мог бы бежать из Афин, признав тем самым свою вину. Но он не пожелал это сделать. Видимо, Сократ считал, что его жизнь и так близка к концу — 70 лет. Пусть же его несправедливая гибель послужит уроком для совести афинян! Быть может, многие граждане усомнятся в справедливом устройстве своего общества — и попытаются его изменить в лучшую сторону? Этот последний проект Сократа можно считать началом Экспериментальной Истории в Элладе. Он завершился в 399 году — за семь десятилетий до того, как Александр Македонский поставил следующий опыт в этой сфере, подчинив всю Элладу своей власти и постаравшись переустроить Древний Восток на греческий лад.

Глава 4. Эпоха великих сомнений

Пятый век до н. э. стал эпохой великого разнообразия греческой научной мысли. Во всех сферах, кроме устоявшейся геометрии, шла острая борьба идей вокруг разных моделей природных явлений. С нынешней точки зрения, большинство этих споров кажутся некорректными. Спорщики не замечали, что любая *модель* природного явления *упрощает* изучаемые объекты. Такое упрощение можно произвести многими разными способами, которые могут противоречить друг другу. Обычно не удается выявить *одну* модель явления, более близкую к истине, чем все прочие. Мудрые эллины этого не знали: они подбирались к истине с разных сторон, в острых спорах по поводу каждого понятия.

Так, иониец Гераклит из Эфеса решил, что понять *переходы* природных тел из одного состояния в другое (например, рождение металлов из руд в огне) будет легче, чем угадать разницу этих состояний. Движущей силой переходов Гераклит считал *борьбу* двух или нескольких природных сил — вроде той борьбы между аристократами, демосом и тиранами, которая привела к становлению полисов Эллады. Этот путь размышлений ведёт к моделированию природных процессов с помощью Дифференциальных Уравнений. Но чтобы придумать такой аппарат, нужно сначала изобрести алгебраическую запись функций, а перед этим — позиционную запись чисел. Эллины не успели сделать эти открытия до крушения Римской империи; после этого развитие наук в Европе прервалось на 8 веков.

Современник Гераклита — Зенон из италийского города Элеи (где греки жили бок о бок с этрусками) обнаружил противоречия в привычных представлениях о движении тела вдоль прямой линии. Ясно, что множество разных точек на прямой бесконечно: например, середина отрезка между любыми двумя точками прямой даёт нам новую её точку. Но чем отличается тело, покоящееся в данной точке прямой или пространства, от тела, *движущегося* через эту точку? Как происходит переход тела из одной точки в другую — «соседнюю» с ней, или удалённую от неё?

Мы описываем такие переходы с помощью Векторов: скорости и ускорения. Но строгие понятия скорости и вектора появились лишь в конце 17 века — после трудов Ньютона. Строгая модель Числовой Прямой возникла ещё через 200 лет — в трудах Кантора. До той поры знаменитые *апории* (парадоксы) Зенона о летящей стреле, о дихотомии отрезка или об Ахилле, догоняющем черепаху, оставались неразрешимыми загадками.

Один из способов решения таких загадок предложил современник Сократа — Демокрит из города Абдеры (на севере Греции), переехавший в Афины. Он отверг предложенную Пифагором математическую модель прямой, где между любыми двумя точками можно найти ещё одну точку. Вместо этого Демокрит предположил, что физический мир состоит из *неделимых* точек или тел — *атомов*, похожих на кристаллы или иные правильные фигуры. Такие атомы летают в пустоте, иногда сталкиваясь между собой и взаимодействуя по-разному — в зависимости от их форм и фактуры их поверхностей. Итогом этих взаимодействий является существование всех природных тел: твёрдых или жидких, упругих или хрупких, неживых или живых. Примером такого тела Демокрит считал даже Млечный Путь: он состоит из звёзд, играющих роль атомов во Вселенной!

Мы знаем теперь, что атомная гипотеза Демокрита была гениальной догадкой. Но убедить в этом современников Демокрит не сумел, потому что он не смог предложить способы *измерения* хоть каких-нибудь свойств невидимых атомов. Размышляя об их возможной *форме*, Демокрит пренебрёг возможным *весом* атомов — и не догадался, что в Природе может быть сравнительно немного разных сортов атомов.

Это знание пришло к химикам в ходе массовых экспериментов в конце 18 века. После открытия первых трёх десятков химических элементов — в начале 19 века — Джон Дальтон возродил гипотезу Демокрита об атомах, и она стала краеугольным камнем новой физики. Но античные философы пренебрегали вековым опытом своих современников — металлургов, знатоков красок или ядов. Их грубое искусство считалось колдовством, не связанным с чистой наукой. Такую связь между физикой и химией установили лишь арабские мыслители 8–9 веков н. э.

Глава 5. Вершина греческой науки: школа Платона

Гибель Сократа (399 год до н. э.) была вызвана не только его неукротимым характером и бестрепетным умом. Столь же важно было одичание и отчаяние афинского демоса, наступившее в ходе долгой и неудачной Пелопоннесской войны против Спарты (431–404). Она положила конец краткому (всего 50 лет) «золотому веку Перикла», когда в Афинах одновременно процветали политика, искусство и наука. Теперь вели-

кодержавная политика Афин была сломлена и измельчала. Преемники Афин — сначала Спарта, затем Фивы — тоже не справились с ролью лидера всех эллинов. В 4 веке до н. э. расцвет греческой цивилизации продолжился лишь в области науки и искусства. Самыми важными учреждениями в Афинах сделались две научные школы: Академия Платона (основана в 387 году) и Ликей Аристотеля — ученика Платона.

Платон был из числа младших учеников Сократа. Гибель учителя от неправого суда афинской толпы потрясла Платона: он отправился в странствие по городам Эллады в поисках наилучшего государственного устройства. Сперва Платону понравились храбрые и гордые спартанцы — но они презирали греческую науку и искусство, как удел слабаков и трусов. Потом Платон попал на Сицилию, в утонченные и процветающие Сиракузы. Но оказалось, что их жители терпят власть тирана Дионисия — а этот деспот не готов прислушаться к советам мудрецов! Глубоко разочарованный Платон вернулся в Афины с намерением создать здесь независимую республику учёных — но не так, как это пытался сделать Пифагор полтора столетия назад.

Во-первых, учёные люди не должны стремиться к политической власти над согражданами: им достаточно интеллектуального превосходства. Во-вторых, не следует воздвигать глухую стену между учёным содружеством и необразованным большинством граждан: ведь талантливые дети рождаются в любых семьях, Сократ тому пример! Нужно просвещать всех, кто жаждет просвещения — и особо поддерживать самых способных и упорных юношей. Сократ создал культуру обучения путём *устного* диалога; нужно дополнить этот метод *письменными* учебными пособиями! Они должны иметь увлекательную литературную форму: пусть это будут Диалоги с участием выдающихся афинян и приезжих умников!

Характерно, что в диалогах Платона участвует лишь один бесспорный мудрец — Сократ, но нет его великого современника и оппонента — Демокрита. Такова позиция Платона: он признаёт истинной лишь одну модель Мира и не желает пропагандировать чужие идеи в своих текстах. Какова же модель Вселенной, по Платону?

Он разделил модель Пифагора на две части: математический мир *абстракций* («идей») и мир природных объектов, которые частично подобны абстракциям. Например, геометрия (по Платону) изучает *не* природные тела — а только их идеальные *образы*, которые существовали в уме человека изначально, будучи, вероятно, вложены туда богами при сотворении Мира. Астрономия изучает самые совершенные из природных тел — но даже они не вполне идеальны! На Земле есть горы, на

Солнце и Луне — пятна, и т. д. Совсем сложно устроены абстракции, регулирующие живую природу и человеческое общество. В их число входят Справедливость, Дружба, Любовь и т. п. Им очень трудно (или невозможно?) придать наглядный, либо численный смысл. Привычные людям Боги тоже входят в число идеальных сущностей; такое допущение позднее облегчило синтез философии Платона с христианским либо исламским богословием.

Так Платон (427–347) взял на себя роль Философа, упорядочивающего *связи* между миром идеальных объектов науки и миром реальных природных тел. Детальное исследование обоих этих миров Платон предоставил своим многочисленным ученикам; многие из них превзошли учителя в разных сферах науки.

Например, юный Тэтет доказал, что нет иных правильных многогранников, кроме пяти тел, известных ещё Пифагору. Вероятно, эллины наблюдали все эти фигуры среди природных кристаллов. Далее, Тэтет попытался разобраться во множестве Иррациональных чисел, отделив решения простых геометрических задач (вроде диагонали квадрата) от более сложных объектов, которые требовали длительных построений или которые эллинам не удавалось построить циркулем и линейкой. Например, правильный 5-угольник строится таким путём — но правильный 7-угольник так не получается. Почему так? И как его можно построить? Ответ был получен Гауссом в конце 18 века — когда удалось свести построения циркулем и линейкой к алгебре комплексных чисел.

Другой подход к иррациональным числам испытал старший ученик Платона — Евдокс из Книда. Приезжий бедняк, он смог найти дешёвое жильё только в афинской гавани — Пирее, и потому каждое утро и каждый вечер пешком шёл на учёбу либо домой (около 10 км), обдумывая научные проблемы. Евдокс предложил считать Числом не только дробь из двух натуральных чисел, но *отношение длин* любых двух отрезков прямой. Если отрезки *соизмеримы* — мы получаем рациональное число; если они не соизмеримы, то число иррациональное.

Такой геометрический подход открывает путь к построению *плотной* Числовой Прямой, и далее — в Общую Теорию Множеств. Но никто из эллинов после Евдокса не решился пойти по этому пути. Его прошли немецкие математики Кáнтор и Дёдекинд во второй половине 19 века — после того, как француз Лиувиль нашёл первое действительное число, которое не только иррационально, но *не* является корнем никакого многочлена с целыми коэффициентами. Такие фантазии были чужды греческим мудрецам: даже идею Бесконечности они не сумели сделать строгим математическим понятием.

Смелый геометр Евдокс отличился и в астрономии. Он создал первую *координатную* карту неба — то есть, измерил числами два угла, определяющие положение каждой звезды на небесной сфере. Так рисунок звёздного неба превратился в *таблицу*, которую гораздо легче сохранить без искажений. В таблице Евдокса были учтены более трёхсот ярких звёзд Северного полушария. Через 200 лет другие астрономы повторили измерения Евдокса — и обнаружили, что Земля не только вращается вокруг своей оси, но и покачивается при этом, как волчок.

В эпоху Платона и Евдокса самые смелые геометры понимали, что вращение звёздного неба вокруг Земли, или Земли вокруг её оси — это процессы эквивалентные. Гипотезу о движении Земли первым высказал (около 450 года до н. э.) пифагореец Филолай, поселившийся в Фивах. Но он был мистик, как почти все пифагорейцы: Филолай предположил, что Земля и Солнце вращаются вокруг некоего Центрального Огня. Что можно обойтись без такого Огня, а за центр Вселенной принять Солнце — эту мысль первым высказал Гераклид из Понта, один из младших учеников Платона.

Гераклид был честный астроном, вроде Анаксагора — более физик, чем математик. Он умел отличать вольные гипотезы от доказанных утверждений — и считал бесспорным только тот факт, что Меркурий и Венера обращаются вокруг Солнца. Дело в том, что обе эти планеты не бывают очень далеки от Солнца на небе — тогда как Марс, Юпитер и Сатурн уходят сколь угодно далеко (ибо их орбиты лежат *вне* земной орбиты — но этот факт был установлен лишь в 16 веке). Но является ли Солнце планетой Земли, или Земля — планетой Солнца? На этот вопрос современники Платона не могли ответить обоснованно. Лишь полвека спустя (около 300 года до н. э.) Аристарх, работавший в Александрии, нашёл решение этой проблемы, измерив отношение расстояний от Земли до Солнца и до Луны.

Он вдохновился простой, наглядной картинкой. В каком случае мы видим на небе «половинку» Луны? Только тогда, когда треугольник Земля–Луна–Солнце является прямоугольным, и Луна стоит в вершине прямого угла! Если в такой вечер или утро мы увидим на небе одновременно Луну и Солнце (это бывает), то сможем измерить угол, под которым катет Луна–Солнце виден с Земли. Зная углы прямоугольного треугольника, мы легко узнаем отношение длин его катетов — сиречь, тангенс нашего угла. Но отношение катетов Луна–Солнце и Луна–Земля *обратно* к отношению диаметров Солнца и Луны — поскольку с Земли кажется, что диаметр Солнца *равен* диаметру Луны!

Это геометрическое рассуждение Аристарх облёк в числа: он рассчитал, что диаметр Солнца превосходит диаметр Луны, по крайней мере, в 20 раз (на самом деле, в 400 раз — но это астрономы узнали много позже). Из этой оценки следует, что Солнце гораздо больше Земли; значит, Земля обращается вокруг Солнца, а не наоборот!

Глава 6. Эллинизм — время Аристотеля и Евклида

Платон умер в 347 году до н. э. — в глубокой старости, окружённый множеством учеников, которые сумели продлить работу Академии в Афинах на 9 веков — до триумфа христианской церкви над «эллинской ересью» (529 год). Но самые талантливые питомцы Академии не ужились в её стенах. Прежде всех прочих ушёл Аристотель (384–322), которому товарищи не доверили руководить Академией после смерти Платона. Манера рассуждений Аристотеля была ближе к манере Зенона и Демокрита, чем к манере Сократа и Платона. Аристотель любил и умел давать строгие *определения* тех объектов, с которыми он работал. Однажды в Академии был объявлен конкурс на лучшее определение человека. Аристотель сказал: «Это — двуногое животное, без перьев и с плоскими ногтями». Последняя оговорка сделана для того, чтобы не считать человеком опципанного петуха! Так развлекались молодые платоники в часы досуга.

Аристотель первым среди эллинов попытался навести научный порядок в живой природе, описав царство животных и создав их первую классификацию. Рассмотрев более 800 видов животных, Аристотель был поражён разнообразием их тел и органов — но не сумел открыть общего принципа организации живых тел, который позволил бы проследить эволюцию живого царства — от червей до человека. 20 веков спустя Карл Линней положил в основу классификации органы размножения животных и растений: он преуспел в классификации *позвоночных* животных и *семенных* растений, но не справился с более примитивными формами жизни на Земле.

Гораздо большего успеха Аристотель добился в изучении греческой политики. С помощью учеников он собрал большой материал об устройстве разных греческих полисов и их эволюции. В итоге Аристотель пришёл к выводу, что социальный прогресс *не* имеет определённого направления. Скорее, он выражается в *чередовании* трёх основных

форм государства: Аристократии, Демократии и Монархии. Каждая из них неустойчива: она постепенно вырождается, переходя в Олигархию, Охлократию либо Тиранию. Вырожденные формы отличаются от исходных тем, что правящее сословие перестаёт обращать внимание на *реакцию* тех, кем оно управляет. В итоге правители теряют популярность — и народ их свергает, выдвигая на смену одну из двух других форм правления. Такая чехарда может длиться веками — пока в общественной жизни не произойдут качественные изменения.

В 343 году до н. э. Аристотель решил сам поучаствовать в таких изменениях. Он покинул Афины и отправился в дикую северную Македонию по зову её царя Филиппа: тот предложил Аристотелю стать учителем талантливого царевича Александра и его сверстников. Сам Филипп провёл детство в Фивах в роли заложника: он хорошо понимал значение греческой учёности для будущих полководцев и правителей. Аристотель решил поставить небывалый опыт: наладить в полуварварском обществе равновесие сил Просвещённого Монарха, столь же просвещённой Военной Аристократии и дикой Военной Демократии рядовых воинов. Опыт длился 4 года и прошёл успешно: к 16 годам царевич Александр твёрдо знал главную цель своей жизни и был готов её воплотить.

Когда Александр Македонский стал царём всей Эллады и отправился покорять Восток (334 год) — он взял с собою группу учеников Аристотеля в качестве научно-исследовательской экспедиции. Они изучали образцы местной фауны и флоры, минералов и ландшафтов, природных явлений и обычаев незнакомых народов, отсылая копии своих докладов в Афины — к Аристотелю, который вновь поселился там во главе своей школы — Ликея.

Аристотель пристально следил за этими новинками, но особенно — за теми экспериментами в политике и культуре Востока, которые учинял его царственный ученик. Этот опыт Александра длился 10 лет. Аристотель не успел осмыслить его итоги и описать их в новых книгах, ввиду внезапной смерти Александра (323 год). Услышав о ней, эллины восстали против македонской власти. Аристотелю пришлось бежать из Афин, вскоре он умер. Сообщают, что последней проблемой, о которой он размышлял перед смертью, были морские приливы: они почти незаметны в Средиземном и Чёрном морях, но велики в Персидском заливе, куда дошли войска Александра.

Приливы заинтересовали Аристотеля, потому что он увлёкся физикой, пытаясь углубить и обновить модель Вселенной, предложенную Пифагором. Тот рассматривал вращение небесных сфер, как вечную и

неизменную данность, подлежащую лишь наблюдению и расчёту. Аристотель же пытался упорядочить движения любых тел с помощью *сил* и *импульсов*. Однако он не имел удобных приборов для измерения этих новых сущностей — и потому вёл рассуждения на «качественном» языке, не прибегая к расчётам измеряемых величин. В такой работе легко сделать ошибки и трудно их исправить. «Физика» Аристотеля получилась сложной и мало удачной, а «Химию» он даже не пытался написать. Зато он достиг большого успеха в методике научной работы, описав в книге «Органон» систему формальной логики любых научных рассуждений.

Аристотель первый заметил сходство правил *логики* с правилами *арифметики*. Но ему не пришло в голову, что те и другие правила можно формализовать не только словесно: можно «научить» им даже машину! Этот дерзкий замысел, видимо, родился впервые в голове Архимеда — через сто лет после Аристотеля. Но выразить его в книге (как проект Механического Компьютера) осмелился лишь французский богослов Раймонд Луллий в конце 13 века — через 16 столетий после Аристотеля.

В отличие от энциклопедиста Аристотеля, Евклид был однолюбом в науке. Он увлекался только математикой и, видимо, был не очень удачлив, как учитель. Евклид с удовольствием изучал геометрическую Вселенную — но человеческими душами пренебрегал. Оттого мы не знаем почти никаких деталей его биографии. Младший питомец школы Платона, Евклид не успел лично познакомиться с Платоном и не дружил с Аристотелем. Как только соратник Александра — Птолемей Сотёр — стал царём Египта (305 год до н. э.) и основал в Александрии научный центр (Музей) по образцу афинских школ, Евклид перебрался в Александрию и работал там до конца своей жизни. Один из его учеников — Кбон — стал позднее учителем Архимеда.

Но главным делом жизни Евклида стало наведение логического порядка в мире геометрических фактов. Он постарался дать строгие *определения* новых объектов геометрии: тел и поверхностей, линий и точек, прямых и окружностей.

На наш взгляд, эти определения зачастую наивны: например, «линия есть длина без ширины», или «окружность — это кривая линия, одинаково устроенная около всех своих точек». Столь же наивны многие аксиомы, выражающие свойства геометрических объектов: например, «целое больше своей части», или «две прямые вместе не содержат пространства». Тут уровень строгости — такой же, как в описании атомов Демокритом.

Тот мудрец строил физический мир из атомов, разделённых пустотой; Евклид же строил геометрический мир из определений, аксиом и постулатов, скреплённых той логикой, которую чуть раньше описал Аристотель. В обоих случаях получилась грубая, но рабочая модель, охватывшая большую часть изучаемого круга объектов и процессов. Но *не все* такие объекты и процессы! Например, система Демокрита не включала Химию — то есть, динамику *перестановок* атомов в веществах. Аналогично, система Евклида не включала в себя Эллипс, Параболу или Гиперболу — но только Прямую и Окружность, из всех плоских линий.

Сейчас мы вводим в геометрию новые линии посредством уравнений в декартовых координатах. Но эллины не знали числовых координат на плоскости — хотя использовали угловые координаты на небесной сфере, введённые Евдоксом. Оттого эллипсы, параболы и гиперболы возникали у эллинов лишь как линии пересечения конуса с разными плоскостями; изучение их свойств считалось «высшей геометрией», и Евклид не включил этот материал в свои «Начала». По-гречески эта книга называлась «Стойхейя», то есть «стихии», лежащие в основе геометрии.

Есть сообщения, что Евклид написал также курс «высшей геометрии», включив в него вычисление объёмов круглых тел и свойства конических сечений (например, как проводить к ним касательные прямые). Но эта книга Евклида не подверглась массовому копированию — в отличие от «Начал», и потому не сохранилась для отдалённого потомства. Всё, что эллины знали о конических сечениях (то есть, кривых второго порядка — на языке аналитической геометрии), известно нам из книги «Коники», написанной Аполлонием в 3 веке до н. э. Интересно, что книга Аполлония принадлежит к иному жанру, чем книга Евклида: это не столько учебник для начинающих, сколько задачник для «аспирантов» той эпохи. Превзойти этот уровень учёности могли лишь отдельные богатыри науки — такие, как Аполлоний или Архимед.

Глава 7. Архимед и его эпоха

При жизни Аристотеля и Евклида в греческом обществе произошла важнейшая перемена. Самые активные полисы Балканской Греции и Ионии попали под власть македонцев, которых эллины считали полуварварами. То, что не удалось прежде сделать спартамцам (военным демократам), теперь сумели сделать македонцы — военные монархисты. Учёные эллины были вынуждены жить в устойчивой тирании и

приноравливаться к этой власти, придавая меньшее значение мнению городской толпы. В отличие от Афин, в Александрии народный суд не мог обречь гражданина на смерть или изгнание — но царь Птолемей мог сделать это. Ещё проще ему было бы прекратить финансировать Музей — храм всех муз, бывший (в наших терминах) первой Академией Наук. Но цари Птолемеи этого не делали. Напротив — они всячески поддерживали расцвет греческой культуры в новой столице Египта, где греки составляли примерно треть населения.

Дело в том, что в общей массе населения Египта греки и македонцы составляли не более 2–3%: это была диктатура эллинистического меньшинства над большинством коренных египтян, исповедующим древнюю культуру фараонов. Сам царь Птолемей был вынужден объявить себя фараоном — основателем новой династии. Жрецы Египта признали Птолемея (как и Александра Македонского) сыном бога Амона, воплощением умершего и воскресшего Осириса, избранником богов Ра и Тот. Но Тот был покровителем учёности; так греческая наука в эллинистическом Египте стала частью государственного культа. Евклид и его коллеги в Музее были включены в сословие жрецов — и примирились с этим статусом, который, вероятно, понравился бы Пифагору, но возмутил бы Сократа.

На фоне этих событий показательна сохранённая молвой легенда о споре между Евклидом и Птолемеем. Царь, бегло просмотрев книгу «Начала», пришёл к выводу (вполне справедливому), что её язык и стиль слишком трудны для обычного читателя. Царь предложил Евклиду создать популярный учебник геометрии. Евклид отказался это сделать — и царь стерпел такой отказ. Почему так? Да потому, что *геометрия* стала теперь частью *религии* — а освоение религии должно быть трудной работой даже для царя! Иначе неучи не будут уважать учёность! Позднее это мировоззрение воплотилось в средневековом религиозном обществе. В течение многих веков христианские монахи и студенты университетов зубрили трудную книгу Евклида по геометрии и почти столь же трудный учебник астрономии — «Аль-Магэст», написанный Клавдием Птолемеем во 2 веке н. э. Кто не мог освоить эти книги — тот недостоин был звания учёного богослова!

Напротив, первая удачная научно-популярная книга появилась в державном Риме в эпоху Цезаря. Её написал в форме поэмы Тит Лукреций Кар и озаглавил: «О природе вещей». Там греческая философия и физика изложены в форме, доступной каждому любознательному гражданину; но прочтение такой книги не сделает читателя профессиональным учёным. Римляне к этому не стремились: они уважали мастерство

инженеров и юристов, но научные занятия в их глазах не имели религиозной ценности и не могли служить массовой интеллектуальной игрой. Эра великой греческой науки кончилась с возвышением Римской Республики в Средиземноморье. В такую эпоху довелось жить и умереть Архимеду (280–212) — самому оригинальному из учёных эллинов.

Он родился на Сицилии — в греческом городе Сиракузы, и был родичем местных правителей — потомков тирана Агафокла. Видимо, Архимед не стремился к политической власти, или не имел прав на неё: оттого талантливому знатному юноше разрешили поехать на учёбу в Александрию. Там Архимед нашёл учителей и друзей того же класса — Конона, Досифея, Эратосфена — и сам быстро сделался знаменитым учёным. Позднее Архимед вернулся в родные Сиракузы — но не успел создать там научную школу, вроде афинской или александрийской.

Архимед замечательно сочетал геометрическую интуицию и воображение физика-экспериментатора (не теоретика!) с выдающейся способностью к трудным расчётам. В последующие века такими талантами обладали Эйлер и Гаусс. Архимед предвосхитил многие их открытия, заложив основы вычисления объёмов тел и расчёта касательных к кривым линиям «методом исчерпания» — то есть, он сделал первые шаги в математическом анализе элементарных функций. Например, Архимед суммировал бесконечно убывающую геометрическую прогрессию. При этом он разрешил парадокс Зенона об Ахилле и черепахе, рассчитав, *когда* быстрый человек догонит медлительное животное.

Далее: Архимед впервые строго вычислил объём полушара, доказав, что он вдвое больше объёма конуса с тем же основанием и высотой. Архимед рассчитал также положение центров тяжести полушара, конуса и многих других тел, не обладающих центральной симметрией. Вероятно, он также первый открыл «формулы Паппа-Гюльдена», связывающие объём и поверхность тела вращения с положением центра тяжести осевого сечения этого тела. Все эти результаты были превзойдены математиками Нового времени лишь во второй половине 17 века — в эпоху Ньютона, когда работа с алгебраическими формулами и степенными рядами сделалась обычным занятием учёных людей.

Архимед не ведал этой техники — но умел решить почти любую задачу из начальных разделов математического анализа, за счёт интуитивных находок. Работая в родных Сиракузах — вдали от учёной Александрии, Архимед вёл интенсивную переписку с александрийскими математиками. Его письма копировались, как научные статьи. Многие из них сохранились до наших дней; из них мы узнаём о большинстве достижений поздней греческой науки.

Конечно, Архимед не мог не увлечься самой трудной проблемой тогдашней астрономии: выяснением истинной формы орбит планет и истинного режима движения планет по их орбитам. Ещё Евдокс установил, что красивая гипотеза Пифагора о равномерном движении всех планет по окружностям не верна. Тот же Евдокс предложил сложную, но удачную поправку к гипотезе Пифагора: планеты равномерно движутся по окружностям, которые катятся по другим окружностям — и так далее, сколько надо раз. Такую модель сложно проверить расчётами, не владея позиционной записью чисел: Евдокс не довёл это дело до конца.

Чтобы избежать слишком сложных расчётов, Архимед решил построить *механическую* модель Солнечной системы из катящихся друг по другу шестерён. По сути, это был первый в истории *аналоговый* (не цифровой!) компьютер, позднее названный Астролябией. С её помощью Архимед измерял отклонения истинного движения планет среди звёзд от их движений, рассчитанных по системе Евдокса. Довести эту работу до конца Архимед не успел: в 212 году до н. э. он погиб при штурме Сиракуз римлянами, во время их войны с Ганнибалом. Уцелевшие рукописи Архимеда и его механико-астрономический компьютер были доставлены в Рим. Но там не нашлось специалистов, способных понять и использовать открытия великого сицилийца: Астролябия долго стояла на Форуме, как диковинная игрушка для любопытных прохожих. Так закончился расцвет греческой науки в Италии.

Глава 8. Финал Александрийской школы

Египет сохранял независимость от Рима в течение почти двух столетий после гибели Архимеда. Самыми крупными учёными этой эпохи стали Эратосфен и Гиппарх. Первый из них был младшим другом Архимеда, родом из Афин. На склоне лет он стал руководителем Александрийского Музея, и в этом качестве был обязан заниматься развитием всех наук. Непочтительные студенты прозвали Эратосфена «Бета» — второй буквой алфавита, в знак того, что он ни в чём не может превзойти «Альфу» — своего друга Архимеда. Это, пожалуй, правда; но быть вторым учёным, после гения — совсем не зазорно!

Эратосфен вырос в школе Платона и приехал в Александрию уже зрелым учёным. В Египте он прославился двумя новинками: измерением диаметра Земли и расчётом возраста пирамид. При решении первой задачи Эратосфен использовал Нил, как огромную удобную

линейку. Ведь Нил течёт с юга на север, почти по прямой линии (вернее — по дуге земного меридиана) — в пределах Египта у него ровные берега. Не трудно измерить длину Нила от Асуана (у первых порогов) до Александрии, используя мерный шаг верблюжьих караванов по берегу реки. Но можно измерить эту длину и астрономически: измерив высоту Солнца в полдень в Александрии в тот день года, когда в Асуане (на северном тропике Земли) Солнце стоит в зените.

Сравнив две меры — угловую и линейную — той дуги меридиана, которую представляет собою Нил в Египте, Эратосфен рассчитал диаметр Земли, который оказался неожиданно огромным. Стало ясно, что всё Средиземноморье занимает лишь малую долю поверхности Земли — около одного процента! После таких измерений Эратосфен поверил египетским преданиям о том, что при фараоне Нехо (во времена Фалеса — за 400 лет до Эратосфена) финикийские мореходы обогнули Африку с юга, и это плавание длилось три года! Сколько же времени потребуется, чтобы обогнуть весь земной шар? Кому и когда удастся этот подвиг?

Эти проблемы Эратосфен оставил потомкам, а сам постарался связать хронологию «Илиады» с постройкой египетских пирамид, используя перечень древних фараонов: его составил египетский жрец Манефон, по приказу царя Птолемея. Манефон впервые разделил историю Египта на 3 царства и 30 династий. Как увязать эту схему с преданиями эллинов о Троянской войне? Чьим современником был Ахилл: Рамзеса 2, Сенусерга 3 или Хеопса? Эратосфен принял за истину *третий* вариант связи двух хронологий — и ошибся в два раза, ибо на деле справедлив *первый* вариант. Египтяне отразили набег ахейцев и иных «народов моря» в устье Нила при фараоне Рамзесе 3 — а Троя была вассалом царства Хеттов, с которым воевал фараон Рамзес 2, дед Рамзеса 3. Все эти факты историки выяснили лишь в конце 19 века. . .

Кроме географии, астрономии и истории, Эратосфен увлекался также геометрией и арифметикой. Похоже, что он первый составил таблицу простых чисел, чтобы открыть какие-нибудь закономерности их расположения в натуральном ряду. Прежде был известен лишь один факт, установленный Евклидом: не существует наибольшего простого числа! То есть, множество всех простых чисел бесконечно — как и весь натуральный ряд. Значит, в мире бесконечностей «часть» может быть *равна* «целому» — вопреки тому, что утверждал Евклид в одной из аксиом геометрии. . . Как разобраться в этом парадоксе, который не заметил старик Зенон?

Эту проблему Эратосфен тоже оставил без внимания, ибо увлёкся другой наглядной задачей. Среди простых чисел встречаются *пары*

нечётных чисел, стоящих подряд! Например: (11, 13); (17, 19); (29, 31); (41, 43) и так далее. Много ли таких пар? Есть ли среди них наибольшая? Если её нет, то каких простых чисел больше: «близнецов», или одиночек? Все эти задачи оказались не под силу Эратосфену — как и прочим математикам Античного мира. Только в 20 веке удалось строго доказать, что семейство близнецов составляет «малую долю» семейства всех простых чисел. (Это значит следующее: ряд из чисел, *обратных* к простым близнецам, *сходится* — хотя ряд из чисел, обратных ко *всем* простым числам, *расходится*.) Однако, конечно или бесконечно множество всех простых близнецов? Эта проблема осталась не решённой в 20 веке; кто и когда сумеет её решить — неведомо!

После смерти Эратосфена (около 200 года до н. э.) величие Александрийской школы пошло на убыль. Время от времени появлялись замечательные учёные — но они работали поодиночке, без вдохновляющих споров с талантами того же масштаба. Так Гиппарх из Никеи (190–120 годы до н. э.) оказался последним великим астрономом Древнего мира. Он менее известен широкой публике, чем Клавдий Птолемей: это понятно, ибо Гиппарх сделал великие открытия, а Птолемей написал на этой основе учебник астрономии. И в наши дни студенты чаще читают Фихтенгольца, чем Ньютона либо Эйлера!

Подобно Архимеду, Гиппарх не чурался сложных расчётов и был готов изобретать новые средства для их выполнения. Так Гиппарх составил первые таблицы хорд (то есть, синусов), соответствующих дугам с заданной градусной мерой. Эта трудоёмкая работа понадобилась Гиппарху для измерения расстояния между Землёй и Луной: оно оказалось равным 30 диаметрам Земли. Как это можно рассчитать?

Сначала Гиппарх составил подробную карту звёздного неба, точно измеряя угловые расстояния между звёздами. Потом он стал следить за перемещением Луны среди звёзд в течение ночи: какие звёзды она заслоняет вечером, и какие — под утро? Зная расположение этих звёзд, Гиппарх смог вычислить суточный сдвиг (*параллакс*) Луны на фоне звёзд и выделить в этом сдвиге две компоненты: одну, вызванную обращением Луны вокруг Земли (за 28 суток), и другую — вызванную поворотом земного шара вокруг его оси за ночь — от вечера до рассвета. Ведь этот поворот смещает самого астронома на хорду, соответствующую дуге длиной в «одну ночь» (на данной широте, в данное время года).

Расчёт, как видно, трудный; но Гиппарх справился с ним, и тем самым измерил первое космическое расстояние между небесными телами. Вероятно, он пытался также измерить расстояние от Земли до

Солнца — но в этом деле не преуспел, ввиду слишком яркого блеска Солнца и слишком большой удалённости его от Земли. Первые межпланетные расстояния были измерены лишь в 17 веке — с помощью телескопов и часов с маятником, позволяющих вести синхронные наблюдения из удалённых точек Земли.

Другая задача, которую мог бы решить своим методом Гиппарх — измерение расстояния от Земли до *кометы*, которая подходит довольно близко к Земле. Но, видимо, при жизни Гиппарха на небе не появлялось ярких комет! Первое удачное наблюдение этого рода (с расчётом *переменного* расстояния до кометы) выполнил датчанин Тихо Браге в конце 16 века.

Стоит заметить, что карту звёздного неба Гиппарх составлял *не* для того, чтобы измерить расстояние до Луны! Он хотел узнать другое: верны ли слухи, будто на небе иногда вспыхивают *новые* звёзды? Чтобы это проверить, нужно знать точные положения всех ярких звёзд: тогда среди них будет легко выделить новую «гостью»! В 134 году до н. э. Гиппарх обнаружил такое «чудо» в созвездии Скорпиона — хотя астрономы Египта, Вавилона и Китая наблюдали сходные «чудеса» намного раньше Гиппарха. Но ещё до этого Гиппарх натолкнулся на истинное астрономическое чудо, сравнив свою карту неба и старую карту Евдокса.

Оказалось, что координаты *всех* ярких звёзд на небе за истекшие 200 лет *сдвинулись* на один и тот же малый угол — около 3 градусов. Как можно объяснить этот сдвиг? Гиппарх уже не верил в обращение небес вокруг Земли. Ему легче было вообразить земной шар, вращающийся вокруг своей неподвижной оси. Но верно ли, что эта ось неподвижна? Или она может «подрагивать» — как ось волчка, «гуляющего» по столу? Если так, то ось земного волчка описывает в пространстве *конус* с вершиной в центре Земли! И вращение земной оси по этому конусу должно быть гораздо медленнее, чем вращение самого земного волчка. . .

Так и есть: сдвиг земной оси на 3 градуса за 200 лет соответствует круговому колебанию земной оси (его называют *прецессией* волчка) с периодом около 25 тысяч лет. Так Гиппарх сделал новый, оригинальный шаг в небесной механике: он положил начало Теории Возмущений. В 18 веке наследники Гиппарха — Эйлер, Клеро, Лагранж развили эту теорию до высокого совершенства.

Клеро сумел оценить массы Луны и Венеры, а Лагранж нашёл удачный путь к проверке *устойчивости* Солнечной системы. Но всё это произошло много веков спустя — когда античная цивилизация и её наука стали уже легендой.

Во времена Гиппарха такой легендой стали независимые греческие полисы времён Фалеса и Пифагора. Теперь все они подчинились либо царствам диадохов — македонцев, либо могучей Римской республике, только что одолевшей Карфаген и стремившейся захватить всё Средиземноморье. Превращение римского полиса в мировую державу — то, что не удалось ни Афинам, ни Спарте, ни Фивам — вызывало острый интерес греческих историков 2 века до н. э. Тем более, что среди римлян тогда ещё не вырос ни один профессиональный историк! Первым удачливым историком Рима стал сверстник Гиппарха — грек Полибий.

При подчинении Эллады римлянами после их победы над Македонией (168 год до н. э.) знатный юноша Полибий был увезён в Рим в качестве заложника, и прожил там более 30 лет. В Риме просвещённый и обаятельный пленник пользовался достаточной свободой, чтобы свести знакомство со многими знатными римлянами. Так молодой Полибий подружился с молодым Сципионом Эмилианом — сыном победителя македонцев и приёмным внуком победителя Ганнибала. Этот юноша тоже стал воеводой — и когда ему было поручено окончательное завоевание Карфагена, Полибий оказался в числе спутников молодого полководца Сципиона Африканского.

Наблюдая римскую политическую жизнь и римскую армию изнутри, Полибий мог сравнивать нынешние римские нравы и порядки с делами и нравами эллинов в былые времена. Победы над Карфагеном и Македонией прославили римлян так же, как эллинов прославили победы над персами — 300 лет назад. Но после успешной борьбы с персами греки погрязли в разрушительных усобицах... Случится ли нечто подобное с римлянами теперь — когда у них не осталось равносильных соперников в Средиземноморье? Или римлян спасёт от упадка замечательное разделение властей в их Республике? В греческих полисах демократия, аристократия и монархия чередовались, соперничая между собой. Римляне удачно *сочетают* эти стихии: у них народное собрание воплощает демократию, сенат — аристократию, а консулы — монархию. Гарантирует ли такая система римлян от внутренних усобиц и гражданских войн?

Полибию очень хотелось узнать ответ на этот вопрос. Правда, он не дожил до начала Гражданских войн в Риме и едва успел узнать о гибели Тиберия Гракха (133 год до н. э.). Но Полибий успел описать всё, что он узнал и понял в римской истории, сравнивая её с греческой историей более ранних времён. Книга Полибия «Всеобщая история» послужила основой для всех последующих историков Рима и Средиземноморья — так же, как 300 лет назад книга Геродота положила

начало исторической мысли эллинов. После Полибия и Гиппарха нет уже смысла говорить об отдельной «греческой» науке: в рамках Римской державы она превратилась в единую имперскую культуру научной мысли всего Средиземноморья.

Глава 9. Наука в Древнем Китае

История Китая напоминает историю Ближнего Востока, с одной разницей: разнообразие народов Дальнего Востока было меньше, а общение между ними — не столь тесным, как на западе Евразии. Ведь на Востоке нет ничего, подобного Средиземному морю! Оттого Китайская Ойкумена (Тянь Ся) не знала такой чехарды народов-гегемонов, как Месопотамия или Средиземноморье. Система иероглифов зародилась в долине Хуанхэ в начале 2 тысячелетия до н. э. — на 10 или 15 веков позже, чем в Египте и Двуречье. Развиваясь со временем, она не сменилась алфавитом до наших дней. Все народы Дальнего Востока, пользующиеся сейчас алфавитами (корейцы, японцы, монголы, кхмеры), получили их с Ближнего Востока — в ходе переселений варваров, в начале Средних веков. Китайцы же сохранили до 20 века древнюю модель Мира, элементами которой служат не числа и фигуры (как в Элладе), а простые иероглифы — общим числом около 400.

В итоге китайская Философия и Физика были похожи более на европейскую *лингвистику*, чем на греческую Геометрию или арабскую Алгебру. Древние знаки обретали всё новые и новые *смыслы* — но мысль о «численном значении» того или иного иероглифа казалась еретической. Оттого в Китае, до контакта с учёными европейцами в 20 веке, не было успешного союза между «словесной» физикой и математикой, которая сводилась к арифметике рациональных чисел, к расчёту площадей и объёмов несложных фигур.

В условиях такой изоляции китайцы проявили огромную изобретательность в синтезе новых *физических понятий* — часто таких, до которых европейцы догадались лишь в Новейшее время. Например, основное понятие китайской натурфилософии — Дао — буквально переводится словом «Путь». Но в Китае оно означало также судьбу или биографию человека, траекторию движущегося тела, а также любые законы, регулирующие природные движения и процессы: от полёта стрелы до распускания цветка, от замерзания воды до распада империи. В европейской физике первое понятие такого сорта появилось лишь в 18 веке: это Действие, введённое Мопертюи в 1744 году и характеризу-

ющее *переход* энергии из кинетической формы в потенциальную (или обратно) на данном отрезке времени.

В Китае с 6 века до н. э. был термин, примерно соответствующий европейскому Действию: он читался Дэ и буквально переводится словами «сила», «активность» или «добродетель». Термин, примерно равнозначный китайскому Дао, появился в Европе лишь в 20 веке: это Оператор Полной Энергии в уравнении Шрёдингера, который предсказывает будущие состояния физической системы — учитывая качественные скачки в её развитии.

Таким образом, в течение 25 веков (между Пифагором и Шрёдингером) китайские мыслители развивали теоретическую физику на чисто *понятийном* уровне, не прибегая к *измерению* своих понятий. Как будто на Дальнем Востоке был свой Пифагор (по имени Лао-цзы) и свой Платон (Конфуций) — но не было своего Анаксагора и своего Евклида. Таковы причины векового отставания Дальнего Востока от Дальнего Запада в математике и естествознании.

Но как только изоляция Востока от Запада была нарушена, и в европейских либо американских университетах появились студенты из Японии и Китая — так выяснилось, что восточные мыслители, получив западное образование вдобавок к своей родной культуре, могут превзойти многих западных коллег в сфере высших научных достижений. Первый Нобелевский лауреат родом из Японии (Юкава) сделал своё главное открытие (мезоны) в 1935 году. Второй «нобелевский» японец — Томонага сделал свой вклад в квантовую электродинамику в 1949 году, вслед за Ричардом Фейнманом из США. Китайцы Ли и Янг включились в Нобелевскую игру в 1956 году: они предсказали нарушение зеркальной симметрии пространства в слабых взаимодействиях элементарных частиц, и через год стали лауреатами. Так начался в 20 веке успешный синтез достижений разных цивилизаций Земли в естествознании.

В гуманитарной сфере этот процесс мог бы начаться гораздо раньше — если бы книги Геродота или Аристотеля стали доступны ученикам Конфуция. Без такой связи ойкумен «китайский Геродот» (или «китайский Полибий») — Сыма Цянь (145–85 до н. э.) появился в Поднебесной синхронно с великими античными европейцами — Полибием и Гиппархом. Тогда в Китае утвердилась первая империя Хань; придворные историки искали смысл её рождения, как Тит Ливий через сто лет искал смысл рождения Римской империи. Сыма Цянь обозрел развитие китайской цивилизации и государства на протяжении более 15 веков — от царства Инь с первыми городами до державы Хань с экзаменами для кандидатов в чиновники.

На западе Евразии сходную широту кругозора за сто лет до Сыма Цянь проявил геометр Эратосфен: он пытался увязать начало греческой истории (Троянскую войну) с египетской историей (постройкой пирамид). Эратосфену эта задача не покорилась — ввиду разрыва летописной традиции между Египтом и Элладой. Сыма Цянь помешало другое: он не знал, что такое Республика, ибо в восточной ойкумене полисы не успели развиться до формирования империи. Оттого Сыма Цянь представил развитие общества в форме колебаний между *двумя* (а не *тремя* — как у Аристотеля) состояниями: Монархией и Аристократией. Точнее, между чехардой княжеств и бюрократической деспотией. Каждая из этих систем имеет свои пороки, и со временем погибает от них. Каждую систему создают либо губят люди, выдающиеся по способностям и честолюбию.

Сыма Цянь понимал, что его научный труд укрепляет империю Хань. Но сам он жестоко пострадал от придворных интриг — и оттого не любил ни одну державную машину. Поэтому Сыма Цянь дополнил последовательные записи о деяниях правителей разных веков (от легендарного Ся до преступной тирании Цинь) десятками биографий замечательных деятелей китайской политики или культуры. В их ряд попали не только дипломаты и воеводы, но также мудрецы, поэты, художники, разбойники — одним словом, всякие властители дум или потрясатели Поднебесной.

Так Сыма Цянь превзошёл Геродота и Полибия, предвосхитил Плутарха и Тацита. Ибо Корнелий Тацит первым среди западных имперских историков осмелился рассуждать о *причинах* гибели или возвышения имперских династий (в конце 1 века). Так же Сыма Цянь двумя веками ранее сравнивал дела и страсти китайских лидеров из разных веков и держав. Можно пожалеть, что книги Сыма Цянь не попали в Средиземноморье, а книги Полибия и Тацита не попали в Китай вдоль Шёлкового Пути, который соединил империю Хань с Римскими владениями в середине 2 века до н. э. — в эпоху Полибия и Сыма Цянь, полководца Сципиона Африканского и императора Хань У-ди, астронома Гиппарха и его китайских коллег на другом краю Евразии.

Глава 10. Наука у индийцев и мусульман

Индийская философия родилась почти одновременно с греческой и китайской: в 6 веке до н. э., когда жили Будда и Махавира. Но религиозные искания той поры помешали индийцам увлечься точными нау-

ками. Научный расцвет в Индии начался после македонского нашествия, когда индийцы поняли, что их ойкумена — не единственная на Земле, что их язык вынужден соперничать с другими языками — столь же сложными, как санскрит.

В итоге первым оригинальным вкладом индийцев в науку стала научная *грамматика* санскрита, составленная буддийским монахом Пáнини незадолго до н. э. Конечно, Панини описал *не* живой разговорный язык своего общества, но его идеальную *модель* — наподобие того, как римские юристы той эпохи описывали идеальную систему гражданского права. Но в том и состоит наука, чтобы грамотно переходить от слишком сложных природных явлений к их упрощённым моделям — а потом из таких моделей строить новый мир, не уступающий по сложности внешней Вселенной и превосходящий её «разумностью» своего устройства.

После того, как Панини основал Сравнительную Структурную Лингвистику (он, видимо, знал и персидский, и греческий языки — и догадался, что у них был общий предок с санскритом), другие индийцы принялись за упорядочение Арифметики. Буддисты Арьябхáта (в конце 5 века) и Брахмагúпта (в начале 7 века) сделали то, к чему едва успели подступить мудрые эллины: они сначала ввели буквенную запись десятичных цифр, а потом изобрели специальную букву для числа Нуль. Так арифметика целых чисел стала удобным формальным исчислением. Оставалось ещё ввести десятичные дроби и знаки действий над числами. Но эти находки были сделаны в Западной Европе лишь в 16 веке — когда культурная революция Возрождения проникла в сферу науки, а европейские астрономы начали регистрировать движение планет со всей возможной точностью.

Преемниками индийцев в научной сфере стали новые персы, обращённые в ислам в ходе арабских завоеваний. Пока воины арабы строили свою империю — Халифат, пытаясь включить в него все соседние народы, первые подданные халифов (сирийцы и персы, египтяне и хорезмийцы) творили имперскую науку в новых столицах: Дамаске и Багдаде, Каире и Кордове. Первой столицей точных наук стал Багдад, основанный в середине 8 века халифом Мансуром из династии Аббасидов. Его внук — знаменитый Гарун ар-Рашид, герой сказок «1001 ночи» — поручил воспитание своего сына Маамúна известному химику — Джабиру ибн Хайяну.

Этот смелый учёный не поверил греческому тезису, будто вся природа состоит из четырёх основных стихий. Вместо них Джабир принял за основу химии *две* разные сущности: Металлическую (воплощённую в

Ртути) и Каменную: её воплощение — Сера. Все прочие вещества Джабир считал либо переходными формами от Ртути к Сера, либо соединениями переходных форм. Среди прочих химических чудес Джабир выделил нашатырь, крепкую уксусную кислоту и многое другое.

Любые переходы между веществами происходят (согласно Джабиру) под действием особых веществ — мы сейчас называем их катализаторами. Среди прочих есть самый сильный и универсальный катализатор — Эль Иксир, способный превратить любой металл в золото, а любую траву — в лекарство, продляющее жизнь человека. С той поры поиски Эликсира и классификация тех веществ, которые пока не удалось превратить друг в друга обычными средствами, стали важнейшим занятием химиков во всех странах, подверженных влиянию Ближнего Востока.

Преемником химика Джабира ибн Хайяна в просвещенном Багдаде стал математик Мухаммед бен Муса аль-Хорезми (783–850), родом из Хорезма — с берегов Арала. Он стал первым директором багдадского Дома Мудрости (Дар аль-Хикмат), основанного учёным халифом Маамуном — на смену Музею в Александрии, захиревшему под властью христиан и погибшему при захвате Египта арабами.

Продолжая индийскую традицию, аль-Хорезми назвал свою книгу «Ильм аль-Джебр ва аль-Мукаббала», то есть «Учение о переносах и сокращениях», задающее правила преобразований алгебраических выражений. Все эти выражения хорезмиец записывал словесно: буквенные обозначения неизвестных и коэффициентов в уравнении появились только в конце 16 века — в трудах Франсуа Виета. Однако слова «алгебра» и «алгоритм», столь привычные нам, происходят от названия трактата и от имени его автора: аль-Хорезми.

Понятно, что трактат учёного хорезмийца попал к европейским математикам много позже, в переводе с арабского на латынь. Переводчики 12 века допустили много ошибок: так, например, в русский язык перешло из латыни знакомое всем нам слово Синус. По латыни оно значит «бухта, залив» и не имеет никакого отношения к тригонометрии. Но по-арабски бухту называют «джиба»: так прочёл непонятное слово в трактате Хорезми наивный переводчик. Это была ошибка: в трактате стоит (записанное одними согласными «дж-б») слово «джейб», которое значит «верёвка, тетива». Это — точный перевод на арабский язык греческого слова «хорда», которым пользовался Клавдий Птолемей — популяризатор открытий Гиппарха; ведь Хорезми изучил их по книге Птолемея. Действительно: синус дуги равен половине длины той хорды, которая стягивает заданную дугу окружности! Хорошо, что хотя бы

слово тангенс («касательный») пришло к нам прямо из латыни, без потери исходного смысла!

Так мудрый хорезмиец соединил в арабской столице геометрическое наследие эллинов с арифметическим наследием индийцев в цельную науку — Математику. Кстати, само это слово вошло в обиход благодаря пользователям астрономического трактата Птолемея. Его полное греческое название звучало так: «Меγίστε Μαθημάτικη Σιντάξις», то есть «Великого Учения Правила». Из этих трёх слов арабские учёные выбрали для сокращённого обозначения *первое*: они назвали книгу Птолемея «Аль-Магэст», и это имя перешло в латынь без изменений. Напротив, грекоязычные учёные в Византии предпочли *второе* слово: трактат Птолемея они назвали «Математика». Потом этим словом греки называли любые рассуждения, перемежаемые расчётами. Так выглядят тексты астрономов — но и астрологов тоже!

Не случайно император Юстиниан, желая пресечь наукообразное колдовство, особым эдиктом запретил в 6 веке «достойное осуждения искусство злодеев, именуемых математиками»! Но Геометрию и Астрономию в грекоязычном мире никто не запрещал — так же, как Алгебру в исламском мире или Шу Сюэ в китайском мире.

Китайские иероглифы Шу Сюэ (по-японски они произносятся Су Гáку) означают «Учение о Числах»: так китайцы и японцы издавна называют арифметику и всю математику — от алгебры до геометрии. Китайские коллеги Арьяхаты, Брахмагупты и аль-Хорезми были заняты теми же проблемами их общей науки. Например, измерение длины окружности: выразимо ли число π какой-либо рациональной дробью? Архимед доказал, что число π зажато между рациональными дробями $22/7$ и $223/71$. Хорезми приравнял его сначала к $\sqrt{10}$, потом к десятичной дроби 3,1416. Современник Арьяхаты — астроном Цзу Чун-чжи (один из изобретателей магнитного компаса) нашёл приближение $355/113$, которое даёт 7 точных знаков десятичной записи π .

Догадывались ли первопроходцы, что число π *не равно* никакой рациональной дроби? Вероятно, да: ведь ещё пифагорейцы знали об иррациональных числах, а ученик Платона — Тэетет доказал иррациональность многих корней, опираясь на единственность простого разложения натуральных чисел. Но число π — особого рода: оно не является корнем никакого рационального многочлена, и доказать его иррациональность удалось только Ламберту в 1766 году — с использованием методов Анализа Гладких Функций и Непрерывных Дробей. После Архимеда в этой ветви математики наступил застой длиной в 18 веков — до прихода Кеплера и Декарта.

Глава 11. Религия и наука в Католической Европе

Переселение варварских народов в 3–5 веках разрушило самые хрупкие части греко-римской цивилизации: администрацию, грамотность и даже экономику. Осколки великих достижений Античности сохранились лишь в портовых городах Средиземного моря — таких, как Константинополь и Александрия, Карфаген и Неаполь, Марсель и Барселона. Часть этих центров обрела второе дыхание в рамках новых держав и новых цивилизаций: Восточной Римской Империи (Византии), Арабского Халифата и его осколков — таких, как Андалузия (Испания), названная завоевателями в честь истреблённых вандалов. Именно в эти края направлялись в последующие Тёмные века те северные европейцы, которые тосковали по утраченной мудрости Платона и Евклида.

Элементы философии Платона вошли в христианское богословие еще в 3–5 веках благодаря таким мыслителям, как Плотин и Августин Блаженный. Этот последний, будучи епископом в Северной Африке и наблюдая натиск варваров на последние обломки старого мира, пришёл к смелому выводу: Римская Империя пала — значит, Христианская Церковь должна её заменить! Если Рим укрощал варваров мечом, то Церковь должна теперь укрощать их крестом и постепенно замещать варварские поверья прочным знанием. Сохранять и умножать это знание должны монахи!

С середины 6 века (вскоре после закрытия Афинской Академии Юстинианом) монастыри первого ордена Бенедиктинцев начали распространяться по варварской Европе. В конце того же века римский папа Григорий 1 (в прошлом — высоко образованный эллинист) начал рассылать монахов-миссионеров ко всем варварским племенам, даже за пределы бывшей Римской Империи.

Два века спустя эта реформа принесла обильные плоды: вождь франков Карл Великий учредил в своей столице Ахене первую школу для придворных и сам выучился латинской грамоте (хотя писал он с трудом: рука более привыкла к мечу!) Главного учителя своей школы — Алкуйна — Карл встретил в Риме; родиной Алкуина была Англия, ещё не разорённая викингами-норманнами.

Вскоре после смерти Карла Великого (814) его держава распалась на мелкие королевства. Даже полуграмотные короли и герцоги сделались редкостью; неплохой уровень грамотности сохранили только монахи. Именно тогда в монастырях Запада распространилось греческое слово

«идиот» (буквально: обычный, заурядный). Так называли монаха, умеющего прочесть текст Библии по складам, но не способного понять его смысл без посторонней помощи. Лишь в начале 10 века аббат Одо — настоятель монастыря Клонь в Бургундии — объявил переписывание старых рукописей (любого содержания) обязанностью всех монахов — наравне с молитвой и пахотой.

В 970-е годы один из питомцев Клонь — крестьянский сын Герберт из Орильяка воспытал такой жадой к учению, что направился на юг, за Пиренеи — в Барселону, отвоёванную Карлом Великим у мусульман.

Здесь Герберт попал как будто в интеллектуальный рай. Учёные мусульмане и иудеи свободно беседовали между собой об Аристотеле, Евклиде и Птолемея. Они располагали многими рукописями древних мудрецов, которые не сохранились на севере Европы. Надо изучить всю эту мудрость — а для этого сначала освоить греческий и арабский языки! Такая работа заняла у Герберта три года; потом он переселился в столицу исламской Испании — Кордову, и там провёл ещё пять лет, читая и копируя рукописи античных мудрецов. Между делом Герберт изучил другие полезные ремёсла: игру на (водяном) органе, постройку таких органов и простых оптических инструментов — астролябий (вроде той, что построил Архимед).

Усвоив это «высшее образование», Герберт вернулся в родную Францию и осел в городе Реймсе — центре графства Шампань. Он, конечно, был теперь самым учёным человеком во Франции и хотел помочь любознательным юношам приобщиться к новой учёности. Так в Реймсе сложилось училище — аналог Академии, зародыш будущих католических университетов. Многие европейские короли были готовы послать своих сыновей в Реймс — чтобы те не выросли неучами, как их отцы. Так Герберт стал учителем короля Франции Роберта 1 (второго в династии Капетингов) и императора Германии Оттона 3 (сына византийской царевны Феофано). Потом один из учеников назначил учителя епископом Реймса, а другой заставил кардиналов избрать Герберта папой — Сильвестром 2 (999–1003).

Первый учёный папа оказался дальновидным администратором. В согласии с Оттоном 3 он организовал крещение языческих вождей Норвегии и Венгрии, пожаловал королевские короны им и польскому князю Болеславу Храброму — сопернику Владимира Киевского. Так варварская Европа начала разделяться на две половины: Запад, признающий своим центром Рим, и Восток, обращённый к Константинополю. Там с 9 века процветал имперский университет — Магнавра, где преподавал патриарх Фотий и где выросли его ученики: Кирилл, Мефодий

и Климент, создатели славянского просвещения в Болгарии и на Руси. Первым просвещённым правителем Руси стал Ярослав Мудрый — через 40 лет после научных подвигов монаха Герберта.

Ещё через полвека — в 1085 году в Италии появился первый католический университет. Его зародышем послужила медицинская школа в Салерно, основанная арабскими врачами в ту пору, когда югом Италии правили мусульмане. Благословил первых католических профессоров папа Григорий 7 (1073–1085) — менее учёный, но гораздо более активный политик, чем Сильвестр 2. Он превратил Католическую Церковь Запада в политическую партию — и нацелил её на крестовые походы, ради освобождения всех бывших римских владений из-под власти Ислама. Эта громадная задача оказалась неразрешимой. Но, пытаясь её решить, десятки тысяч западных христиан совершили вольные либо невольные «экскурсии» в мир Ислама. Тысячи из них научились там многим новинкам: от питья кофе и игры в шахматы до бесед об Аристотеле и расчётов с помощью десятичных цифр. Через полтора столетия после учёного одиночки Герберта в католическом мире появилось свое учёное сословие: гордые профессора и их буйные студенты.

Глава 12. Католические университеты: от Абеяра до Буридана

В 12 веке в Европе возникли более десятка университетов — сообществ из учёных и полужнаек, резко отличных от окружающей массы неграмотного люда. Главным учебным предметом было, конечно, богословие — то есть, искусство комментировать Священное Писание и объяснять его содержание мирянам. Все сотрудники университета считались духовными лицами: от послушника (студента) до ректора, который обычно был епископом или аббатом. Например, в Париже ректором был (по совместительству) духовник короля — после того, как эту должность исполнял св. Бернар из Клервó. Но сам Бернар был назначен контролёром всех школ Парижа после того, как в одной из них случилась идеологическая революция.

Её героем стал Пьер Абеяра (1079–1142). Он начал излагать Священное Писание увлекательно, задавая студентам неожиданные и актуальные вопросы — в стиле Сократа. Например: может ли Творец создать такой камень, который он сам не сможет поднять? Или: для чего всеблагой Бог допускает в мире Зло, нередко торжествующее над Добром?

И так далее. . . Не удивительно, что на лекции Абеляра стекались сотни простых парижан — не говоря уже о студентах, которые обожали своего лектора, как Платон и его друзья обожали Сократа.

Понятно, что перед Абеляром маячила сходная судьба: зависть коллег-неудачников, доносы и строгий церковный суд; за ересь — если не костёр, то долгое заключение в монастыре. Всё же Абеляру повезло больше, чем Сократу: его карьера лектора оборвалась в 35 лет, но в монастыре он получил свободу *письменного* выражения своих мыслей и чувств. Защитником Абеяра от строгого Бернара выступил Сугерий — аббат Сен-Дени и премьер-министр Франции при королях Луи 6 и Луи 7. Благодаря Абеяру, Сугерию и Бернару парижская богословская школа к концу 12 века заняла первое место в ряду прочих университетов Западной Европы.

Зато в юстиции первенствовал коммунальный университет Болоньи в Северной Италии. Его профессора, по заказу императора Фридриха Барбароссы, составили в 1158 году «Кремонские статуты» — первую конституцию Римско-Германской империи, регулирующую отношения между императором, парламентом (рейхстагом) и вольными имперскими городами. В медицине первенство удерживал «папский» университет в Салерно. Английский университет в Оксфорде (основанный в 1143 году) славен тем, что в нём в начале 13 века появились профессора-греки. Чуда тут не было: ведь в 1204 году Константинополь был взят и разграблен крестоносцами, профессора остались без работы. Но пригласить греков (быть может — еретиков!) в Оксфорд — эта смелая мысль могла прийти в голову лишь выдающемуся человеку.

Таков был Стефан Ленгтон (1160–1227) — выпускник Парижского университета, архиепископ Кентербери и глава английской церкви, возведённый в этот сан по воле своего однокашника — знаменитого папы Иннокентия 3. С момента его избрания (1198) католические университеты стали «мозговым центром» Западной Европы. Тот же Ленгтон стал в 1215 году составителем и редактором Великой Хартии Вольностей — первой английской конституции, ограничившей королевскую власть Иоанна Безземельного. Ученик Ленгтона — епископ Роберт Гросетест стал учителем двух великих англичан конца 13 века: учёного Роджера Бэкона и политика Симона де Монфора.

Граф Монфор созвал первый выборный парламент Англии с Палатой Общин (1265). Химик Бэкон внёс какой-то вклад в изобретение пороха; он также предложил проект кругосветного путешествия по морю и, вероятно, построил один из первых телескопов. Всё это делалось в те годы, когда венецианец Марко Поло сначала пересёк Евразию

с запада на восток вдоль Шёлкового Пути (в рамках Монгольской державы), а затем вернулся домой по морскому Пути Пряностей, вокруг Индокитая и Индии. Прожив много лет в Китайско-Монгольской империи хана Хубилая, Марко Поло ел из фарфоровой посуды, пользовался бумажными деньгами, наблюдал взрывы пороховых мин и стрельбу первых пушек, плыл по морю с помощью компаса — всё это в те годы, когда европейцы не ведали подобных ухищрений.

Более скромный современник Поло и Бэкона — Робёр Сорбён, духовник короля Луи 9 Святого — вошёл в историю высшего образования тем, что устроил в Париже столовую и спальню для бедных студентов. С тех пор парижане называют свой университет Сорбонной. Англичане не столь щедры на похвалу: они не присвоили имена Аделяра из Бата и Стефана Ленгтона университетам в Оксфорде и Кембридже. А жаль!

14 век стал кризисной эпохой в развитии Католического Интернационала западных европейцев. По всей Европе прокатилась Великая Чума; Англия и Франция погрязли в Столетней войне; папский трон на 70 лет переместился из Рима в Авиньон; потом в Европе появились сразу двое или трое пап; восстания против сословной, княжеской или королевской власти регулярно вспыхивали во многих городах — от Флоренции до Брюсселя.

На таком фоне расцвела самодеятельность университетов — особенно Сорбонны в Париже. Её богословы (философы) стали высшим авторитетом для всей Европы — даже для католических пап, когда те выдвигали новые странные догматы. Понятно, что эти профессора могли предлагать новинки, которые из иных уст звучали бы ересью. В 1297 году Раймонд Луллий (родом из Каталонии) предложил первый проект механического Компьютера, способного не только к арифметическим действиям, но и к логическим рассуждениям над известными истинами. Луллий впервые заметил, что логические правила Аристотеля можно формализовать — а значит, их может выполнять даже машина! Целью такого проекта было безошибочное автоматическое разрешение богословских споров. Если это удастся христианам, то победа над Исламом с помощью Искусственного Интеллекта станет вполне возможна! (Вспомним, что незадолго до той поры мусульмане выгнали крестоносцев из последних крепостей Палестины).

Воплотить этот проект «в железе» Луллию не удалось из-за низкого мастерства тогдашних механиков. Много позже (1726) писатель-фантаст Джонатан Свифт высмеял проект Луллия в «Путешествии Лемюэля Гулливера на остров Лапута». Но в 20 веке этот проект был успешно воплощён в электронных компьютерах: их научили доказывать

теоремы математической логики и заполнять сложные базы данных. После этого выяснилась огромная сложность проблемы *смысла* словесных высказываний. Она пока не поддаётся формализации; оттого, например, недоступен автоматический перевод произвольных текстов с английского языка на русский. Так дерзкий замысел Луллия принёс обильные плоды — пусть не там, где их ожидал сам Луллий.

Коллега Луллия — Жан Буридан, ректор Сорбонны в середине 14 века — прославился тем, что первый возразил против постулатов «Физики» Аристотеля. Буридан предложил Принцип Инерции, как аксиому небесной механики. Если признать его Божьим законом, то отпадает нужда в ангелах, ускоряющих или замедляющих движение каждого небесного тела. Это огромный шаг вперёд — по сравнению с Фомой Аквинским, который веком раньше ввёл труды Аристотеля в арсенал богословов, но не решился исправить даже очевидные ошибки в рассуждениях мудрого эллина.

Другой новинкой Буридана стал его знаменитый «Осёл», который якобы умер с голоду, не в силах выбрать одну кормушку из двух одинаковых. По форме это шутка — но по сути, Буридан первый заметил необходимость в математике особой Аксиомы Выбора, не замеченной Евклидом и Архимедом. Она позволяет выделить *один* предмет из *множества* равноправных предметов — например, выбрать одну точку на окружности. Издавна каждый геометр пользуется этой аксиомой в построениях циркулем и линейкой — но до Буридана никто не замечал этой тонкости!

Ученик Буридана — Николай Орэм из той же Сорбонны сделал около 1380 года новый смелый шаг в постижении бесконечных числовых рядов. Прежде вершиной мысли считалась открытая Евдоксом *сходимость* бесконечной убывающей геометрической прогрессии. А как насчёт иных бесконечных рядов, чьи слагаемые монотонно стремятся к нулю с ростом их номеров? Орэм доказал *расходимость* Гармонического Ряда из всех дробей, обратных натуральным числам — разумеется, словесно, без явных формул, изобретённых Виетом 200 лет спустя. Но даже в словесной форме доказательство заняло у Орэма четыре строчки! Его можно сопоставить по красоте с теоремой Евклида о бесконечности ансамбля простых чисел.

Кстати: сходится ли ряд, составленный из всех дробей, обратных к *простым* числам? Эту проблему мог бы поставить ещё Орэм. Но решить её смог только Эйлер — четыре века спустя, вооружённый методами Математического Анализа. Тот же Эйлер сумел найти сумму ряда из дробей, обратных всем *квадратам* натуральных чисел — но найти сумму

всех дробей, обратных *кубам*, никому не удалось до сих пор. Всякому веку — своя мудрость и своё невежество!

Так завершился в Европе 14 век — последняя Эпоха Чистых Теоретиков. Следующий 15 век стал Эпохой Экспериментаторов и Инженеров. Но прежде в мире Ислама появился великий Историк-теоретик по имени Абд ар-Рахман ибн Хальдун (1332–1406). Он родился в Марокко, а умер в Египте — вскоре после личной встречи со старым завоевателем Тамерланом в Дамаске. Всю жизнь ибн Хальдун изучал историю языческих и исламских народов, сменявших друг друга на политической карте Евразии и Северной Африки. Арабы и тюрки, берберы и монголы — по каким законам они развивались, поочерёдно взлетая до роли владык мира и спускаясь на уровень рядовых кочевников?

В книге «Мукаддима-и-Тарих» («Начала Истории») ибн Хальдун описал смену психологии простых кочевников: от племенной спайки узкого коллектива до жёсткой дисциплины хозяев великой державы, и далее — через освоение чуждой культуры оседлых жителей, через забвение своих племенных традиций — к распаду собственной державы, вплоть до потери массового интереса к событиям во внешнем мире. Такой цикл эволюции поочерёдно проходили все народы, вовлечённые в орбиту Ислама. Обязательно ли повторение этого цикла в грядущих поколениях, среди иных народов и правителей?

На такой вопрос ибн Хальдун не решился ответить — в отличие от Сыма Цяня, который отвечал положительно, опираясь на долгий опыт Поднебесной ойкумены. Но оба историка не могли теоретически доказать свои гипотезы: они оставались предметом бесконечных споров до эпохи Европейского Просвещения. Ждать её оставалось ещё три столетия. . .

Глава 13. Наука Европейского Возрождения

Возрождение — это время удачных экспериментаторов во всех областях культуры. В научной сфере первые успехи выпали на долю химиков, инженеров и мореплавателей. В начале 14 века кто-то из восточных алхимиков впервые получил серную кислоту — самый мощный химический реагент, доступный в примитивной лаборатории. С той поры опыты химиков ускорились, разнообразие доступных им веществ стало быстро расти, понятийный арсенал древней науки начал быстро обновляться. Изготовление пороха или напалма из порошков угля, серы и селитры, смешанных со смолой или нефтью, перестало быть тайной,

сделалось обычным ремеслом. То же верно для изготовления ядов — неорганических (на основе мышьяка) или органических — выделяемых из растений, наряду с лекарствами.

Медикам той поры нехватало двух важных вещей: антисептики и анестезии. Но уже началось применение спирта для лечения ран; опиум или гашиш для снятия боли. Тот же Луллий придумал способ химического превращения вина в крепкую водку — путём его пропускания через слой негашёной извести, которая соединяется с водой.

Гораздо труднее было изготовить пушку: плавить железо до жидкого состояния ещё не умели, колокольная бронза недостаточно прочна. Лишь в середине 15 века артиллерийское дело поднялось до высокого искусства. Тяжёлые пушки турок, отлитые европейским мастером, в 1453 году пробили стену Константинополя; лёгкие пушки чехов-гуситов в упор расстреливали латную конницу крестоносцев. Те же пушки в руках французов решили исход Столетней войны. Но первый успех в массовом применении *ружей* (фитильных аркебуз — ещё не кремневых мушкетов) состоялся лишь в 1525 году: при Павии, где испанцы расстреляли кавалерию французов и взяли в плен короля Франциска I.

Показательно, что сходный триумф ружей на земле Японии произошёл через полвека: в 1575 году конница князя Такэда была расстреляна воинами Ода Нобунага, и состоялось окончательное объединение Японии в военной монархии. Передатчиками новейших технологий с запада на восток стали португальцы — меж тем, как веком раньше (1420) в Индийском океане господствовали малайцы и китайцы, португальцы же совершали первые дерзкие плавания к Мадейре, к Канарам и вдоль берега Африки.

Чем объяснить небывалое прежде превосходство западных европейцев в *темпе* технического, экономического и научного прогресса — хотя превосходство Востока в достигнутом *уровне* знаний и умений сохранялось до середины 16 века? Дело в том, что в течение 14 века в нескольких районах Европы (особенно — на севере Италии и в Нидерландах, на берегу Северного моря) выросло большое семейство независимых городов — коммун. Там, как прежде в полисах Эллады, образовался мощный слой интеллигенции. Во Флоренции его первым героем стал неудачливый политик и гениальный поэт Данте Алигьери.

Он не кончал университета, но получил хорошее гуманитарное образование на узких улочках Флоренции: по накалу мысли и страстей они не уступали тропинкам в афинской роще — Академии Платона. Когда Данте был изгнан врагами из родного города — он сочинил поэму

«Божественная Комедия» (1320), где предложил оригинальную модель Потустороннего Мира, слабо связанную с библейским мифом. И никто не обвинил поэта в ереси! Напротив — его поэма стала зародышем новой итальянской литературы. Аналогично, через 300 лет «Человеческая Комедия», составленная из пьес Шекспира, положила начало новой английской литературе и исторической науке.

Во Флоренции историческая мысль оформилась через два века после Данте — в блестящих книгах Никколо Макиавелли (1469–1527). Он тоже не учился в университете — но служил секретарём Республики по иностранным делам. Когда его выгнали с этой службы — Макиавелли уединился в деревне и принялся *сравнивать* события текущей политики с давно минувшими делами римлян и греков. Так возникли короткий трактат о монархиях — «Государь» — и длинный трактат о республиках: «Рассуждения на Тита Ливия».

Изучая развитие разных государств, Макиавелли с самого начала отказался от критериев «общего блага» или «прогресса морали». Власть и богатство — вот две цели, к которым стремятся любые вожди во все времена. Оттого в политике нет никакого прогресса; есть лишь чередование разных государственных систем, замеченное и осмысленное Аристотелем и Полибием. Первая задача каждой личности — разумно приспособиться к существующему порядку; второе дело — если повезёт, изменить сей порядок в свою пользу. Кому особенно везёт — те славятся, как герои Истории. . . Превзойти этот уровень исторической мысли умнейшие европейцы смогли лишь в 19 веке.

Превзойти античных астрономов в 15 веке сумели два учёных немца: теоретик Никлас Кребс (кардинал Николай Кузанский) и наблюдатель Иоганн Мюллер (Региомонтан). Учёный кардинал впервые заявил (1440), что все звёзды подобны Солнцу — но удалены от Земли гораздо больше, чем наше дневное светило. Итак, Вселенная заполнена «газом» из звёзд — вокруг которых, вероятно, тоже кружатся планеты, на поверхности которых процветает жизнь. Есть ли там разумные существа — не ясно, но тоже правдоподобно. . . В середине 15 века эта дерзость не вызвала возмущения католических верхов: много ли кто прочёл книгу Кребса?

Тем более не вызвали возражений книги астронома Мюллера. Он в 1472 году провёл наблюдение очередной яркой кометы и описал все подробности этой работы — как пример для коллег. Тот же Мюллер положил начало научному книгопечатанию: с его подачи в Венеции в 1482 году были опубликованы (по латыни, как Библия) «Начала» Евклида, а чуть позже — «Аль-Магест» Птолемея. Это произошло через

30 лет после первого тиража Библии Иоганна Гутенберга (Майнц, 1454: 200 экземпляров).

Создание печатного станка потребовало ряда открытий в химии и металлургии. Например, для шрифта нужен особый сплав — твёрдый, но легкоплавкий. Его получили из свинца с добавкой сурьмы: так раньше делали бронзу из меди, когда нехватало олова.

Географические открытия 15 века тоже потребовали союза между ремёслами моряка, картографа, астронома и кораблестроителя. Координацию этих профессий наладил в Португалии принц Энрике Навигадёр. В 1415 году он основал на мысе Саграда Морскую Академию: в ней учились будущие капитаны и штурманы, корабельщики и картографы. Через 20 лет после основания этой школы португальцы достигли мыса Зелёного на крайнем западе Африки. Для этого им пришлось обогнуть Канарские острова с запада — потеряв материк из виду, чтобы избежать рифов. Ещё через 20 лет (1460) моряки вошли в Гвинейский залив, достигли вулкана Камерун (туда doplывали финикийцы) и устья реки Конго, о которой в Карфагене не знали.

Достичь южной оконечности Африки португальцам удалось в 1487 году. А через 10 лет португальцы приплыли в Индию, благодаря муссонным ветрам и арабским лоцманам, которых они встретили близ Мадагаскара. Через 21 век после первого огибания Африки финикийцами, Средиземноморье было вновь связано с Индийским океаном. Тем временем испанский моряк Христофор Колумб пересёк Атлантику (1492) — через 5 столетий после того, как это сделали викинги. Колумбу помог пассат, постоянно дующий вдоль экватора — навстречу вращению Земли.

В последующие 30 лет португальцы и испанцы достигли Китая, плывя на восток, и обогнули земной шар, плывя на запад (Фернандо Магеллан и Себастьян эль-Кано, 1522). За эти десятилетия география стала успешной экспериментальной наукой — и, вдобавок, выгодной отраслью экономики. Новооткрытые земли за морем стали для европейцев сперва источником пряностей, золота и рабов; лишь в 18 веке их начали рассматривать, как источник новых знаний и научных открытий. Такова была новая эпоха Просвещения: она пришла на смену Научной Революции 16–17 веков.

Глава 14. Учёные пассионарии 16 века

Этот век стал для европейцев вершиной Возрождения (там, где оно уже началось) и эпохой Реформации для других католических стран. Рели-

гиозные, политические и экономические перевороты следовали один за другим, возбуждая всё новые вспышки страстей. Не осталась в стороне и наука: 16 век в ней отмечен таким разнообразием творцов, какого Европа не производила с Античной эпохи. Проследим за первенцами научной революции: кроме политика и историка Макиавелли, Флоренция породила небывало многогранного Леонардо да Винчи (1452–1519), Испытателя Природы всеми доступными средствами.

Каждому художнику полезно знание анатомии человеческого тела. Но не каждый художник готов стать вдобавок инженером — изобретать механизмы, воспроизводящие либо превосходящие движения людей и животных. Леонардо уверенно шёл этим путём: он изобрёл подъёмный кран и подводный колокол, составил чертежи первого вертолётa и первого самолётa (с машущим крылом) — по образцу бабочки, а не птицы. Он также предложил схему цифрового телеграфа и батисферы, способной выдержать давление воды в глубинах Океана.

Большая часть этих проектов осталась не воплощённой, по соображениям энергетики: не было двигателей для будущих подводных лодок и самолётов! Леонардо и его коллеги пытались построить паровую турбину — но безуспешно; она появилась лишь в конце 19 века.

Самое важное в инженерном творчестве Леонардо — уверенность в том, что человеческий разум может решить любые технические задачи. Даже те, которые Природа почему-то не решила без участия человека! Успехи Леонардо стали стимулом для учёных умов в разных сферах науки. Первыми на вызов отозвались врачи: Теофраст Парацельс в Швейцарии, Андреа Везалий в Нидерландах и Амбруаз Парé во Франции. Парацельс (1493–1541) начал свою карьеру профессора в Базеле с публичного сожжения двух классических трактатов по медицине: Галена (это был врач императора Марка Аврелия) и Авиценны (он работал в Бухаре в 11 веке).

Сжигая эти книги, Парцельс призывал коллег и студентов верить лишь тому, что они сами узнают, работая с больным или здоровым человеком — а не тому, что об этом написали другие люди в древности. Вторая смелая задумка Парацельса касалась Алхимии. Раз не удаётся создать Эликсир, превращающий все металлы в золото — надо испытать *все* полученные вещества в качестве лекарств! Именно Парацельс первый начал рассматривать организм человека, как *химическую фабрику*: изучать её детали (кровь, лимфу, желчь, мочу) так, как анатом изучает кости, мышцы и сухожилия.

Вызов Парацельса принял Везалий — врач императора Карла 5. В союзе с живописцем Тицианом, Везалий в 1543 году создал заме-

чательно точный и красочный Атлас Анатомии Человека. Другой преемник Парацельса и Везалия — испанец Мигель Сервет увлёкся динамикой кровообращения в организме человека и животных. Он следил за преобразованием тёмной (венозной) крови в светлую (артериальную) при её проходе сквозь лёгкие (у живой собаки). Угадать химическую суть этого процесса Сервет не смог: в 1550-е годы, не располагая ни микроскопом, ни понятиями «кислород» или «эритроциты», он ограничился описанием своих опытов. Лишь полвека спустя (1616) английский врач Вильям Гарвей сделал новый шаг в постижении кровообращения. Он рассмотрел сердце, как *насос*, перекачивающий кровь через мышцы и иные ткани. Гарвей доказал *замкнутость* большого круга кровообращения путём измерений и расчётов — но без микроскопа он не мог увидеть замкнутую сеть капилляров.

Обнаружить эритроциты сумел Ян Свámмердам в 1658 году, как только появился хороший линзовый микроскоп. Вскоре другой голландец — Антон Лёвенгук — открыл с помощью микроскопа дивный мир живых микробов внутри капли обычной воды, или в жидкостях человеческого тела.

Другой магистральный путь в химию проложили немцы Георг Бауэр (Агрикола, геолог) и Андреа Либав (Либавий). Первый составил трактат по горному делу (1555), где дал точные описания многих металлических руд: магнетита, галенита, пирита, антимонита, киновари, касситерита. Также Бауэр описал элементы, не известные в чистом виде античным металлургам: мышьяк, висмут, цинк.

Либавий порвал с последними остатками мистической традиции в химии, которую ещё исповедовал Парацельс. В 1590 году Либавий написал первый учебник химии с точными рецептами изготовления важнейших реагентов: соляной и серной кислот, царской водки и сильных щелочей. Чтобы шагнуть дальше вглубь реакций, нужна гипотеза об атомах или молекулах: её предложил (с физическим обоснованием) Роберт Бойль в 1660-е годы.

В отличие от классификации минералов, классификация живых организмов не развивалась в 16–17 веках — несмотря на множество новых растений и животных, привозимых моряками из дальних стран. Единственное оригинальное наблюдение в ботанике сделал в конце 16 века Альпини. Изучая в Египте финиковую пальму, он заметил, что это растение (подобно большинству животных) бывает либо женским, либо мужским: без опыления накрест новые плоды не появятся! Лишь столетие спустя (1735) системы размножения растений послужили Карлу Линнею основой для описания Живого Разнообразия на всей Земле.

Иные силы двигали вперёд математику в 16 веке. В университетах Италии возродился обычай публичных диспутов — теперь не на религиозные темы (как при Абельяре), но ради решения математических задач перед сборищем грамотных слушателей. Обычно два профессора соревновались перед толпой студентов; победитель получал прибавку к жалованью и приглашения в другие университеты — на самых лестных условиях. Такой соревновательный пресс способствовал важному прорыву в алгебре: Ферро, Кардано, Тарталья и Феррари постепенно открыли формулы (вернее — словесные алгоритмы) нахождения корней уравнений — многочленов степени 3 или 4 по их коэффициентам (чего не умели делать ни эллины, ни арабы). Кажется, что дело было примерно так.

Профессор Ферро около 1525 года открыл алгоритм решения некоторых кубических уравнений. Он хранил свой способ в тайне — но некий слух об этом достижении прошёл в учёных кругах. После смерти Ферро молодой алгебраист Тарталья купил у наследников Ферро право заглянуть в записи покойного — и сумел восстановить пропавшее решение по этим клочкам. Вскоре Тарталья вызвал на состязание другого известного математика — Фиори, и в 1535 году одолел его в публичном диспуте. При разборе задач после турнира Тарталья обронил некий намёк о своём алгоритме. Эти сведения дошли до ушей великого честолюбца — Джироламо Кардано (1501–1576); пообщавшись с Тартальей, он восстановил всё решение и рассказал его своему ученику Феррари. Тот вскоре решил тем же способом уравнение степени 4 — но со степенью 5 ничего сделать не удалось.

Обрадованный Кардано написал книгу об этих открытиях — и опубликовал её в 1545 году, нарушив монополию Тартальи. Тот был в ярости от раскрытого секрета — но ничего поделать не мог. Так в математике утвердился принцип: автором открытия считается тот, кто первый поведал о нём ученому сообществу во всех деталях. По этой причине изобретателем *комплексных* чисел считается Рафаэль Бомбелли: в 1572 году он опубликовал книгу «Алгебра», где изложил алгоритмы Кардано и Феррари с использованием ещё непонятных «мнимых» единиц. Однако долгое время многие математики (например, Пьер Ферма) не признавали комплексные числа законным математическим понятием. Их общеизвестное представление точками плоскости было придумано лишь в середине 18 века; первым мастером использования комплексных чисел в Анализе стал молодой Эйлер.

Соревновательная система исследований, с уклоном в расчёты, сохранилась и во второй половине 16 века. Крупным чемпионом той

эпохи стал Франсуа Виет (1540–1603) — француз и кальвинист, сподвижник короля Генриха Наваррского. Он обратил свои блестящие способности на формализацию новой алгебры, придуманной удалыми итальянцами. Виет первый начал записывать многочлены и иные выражения теми формулами, которыми мы пользуемся сейчас (включая тригонометрию). Виет также первый заметил и использовал аналогию между разложением многочлена в произведение двучленов — и разложением целого числа на простые множители. Конечно, «теорема Виета» была угадана и доказана автором для многочленов любой степени! Но добраться до корней произвольного многочлена степени 5 не удалось даже Виету — потому что это *невозможно*, если пользоваться только арифметическими операциями и извлечением корня любой степени. Доказать это «чудо» математики сумели лишь в начале 19 века.

Живя в эпоху религиозных войн и будучи первоклассным вычислителем, Виет не мог избежать вовлечения в шифровальное дело. Ему удалось невероятное: он разгадал испанский шифр, где число кодирующих символов было много *больше* числа кодируемых букв и цифр! Узнав об этом от своих разведчиков, испанский король Филипп 2 обратился к римскому папе с требованием: проклясть за колдовство двух еретиков — короля Наваррского и его придворного математика! Оба героя были отлучены от католической церкви — но ничего плохого с ними не случилось.

Таков был последний опыт идейной борьбы с научным прогрессом — в эпоху, когда даже Инквизиции не удавалось погасить огонь разномыслия, охвативший Европу. Некоторые учёные погибали на кострах (Мигель Сервет, Джордано Бруно) — но большинство их коллег выжило, продолжая работу даже в очень трудных условиях. Если же условия благоприятствовали — тогда возникали шедевры. Такова судьба упорного датчанина Тихо Браге и его изобретательного преемника — немца Иоганна Кеплера.

Богатый дворянин Тихо Браге (1546–1601) любил астрономию и любил работать в одиночку — быть может, потому, что в юности он на дуэли лишился большей части носа. Звёздный час Браге настал в 1572 году, когда на небе появилась Сверхновая звезда небывалой яркости: её было видно днём, её положение среди прочих звёзд не менялось со временем. Вспомнив опыт Гиппарха, измерившего расстояние до Луны по её суточному параллаксу, Браге попробовал измерить параллакс нового светила — разумеется, безуспешно. Мы-то знаем сейчас, что даже годовичные параллаксы звёзд астрономам удалось измерить лишь в 19 веке!

Неудача не смутила упорного датчанина. Он решил построить хорошую обсерваторию на уединённом острове — и ждать там появления новых светил. Удача пришла в 1577 году: на небе появилась яркая комета. Наблюдая за нею каждую ночь, Тихо Браге сумел измерить *переменное* расстояние до кометы. Она двигалась быстро; почему бы не проследить за более медлительными *планетами*, не навести порядок среди их движений? Архимеду и Гиппарху это не удалось. Но Тихо Браге может повезти: ведь его имя (Тихо) по-гречески значит «Судьба»!

Так начался 25-летний труд еженощных наблюдений за планетами — без телескопа, с такими же приборами, какими располагал Гиппарх. Правда, у Браге была удобная десятичная система записи чисел — но как обрабатывать громоздкие результаты своих наблюдений, он не сообразил до самого их конца. Браге видел, что положения планет среди звезд периодически повторяются. Для Марса длина «года» равна двум земным годам, для Юпитера — 12 годам, для Сатурна — примерно 30 годам. Ясно, что 25-летний срок наблюдений достаточен для уяснения сути дела; но как пройти через тёмный лес расчётов от огромной таблицы наблюдений к краткому списку закономерностей в движениях планет по их орбитам? Тут нужен профессиональный математик!

Сам Тихо Браге не обладал таким талантом — и не видел в Дании подобных самородков. Тогда он переехал в Прагу — ко двору императора Рудольфа 2 Габсбурга, любителя астрономии и иных наук. Сюда же в 1597 году прибыл из Австрии молодой математик Иоганн Кеплер (1571–1630). Два богатыря — старый и молодой — понравились друг другу. Не потому ли, что в 1577 году шестилетний мальчишка Кеплер тоже наблюдал «комету Браге» под руководством своей матери, от природы одарённой необычайно острым зрением? Она, вероятно, даже показала годовалому младенцу Иоганну Сверхновую звезду 1572 года!

Так или иначе, в 1600 году Иоганн Кеплер принял от Тихо Браге поручение: разобраться в истинном движении Марса по данным его многолетних наблюдений. На следующий год Тихо Браге умер; Кеплеру пришлось завершать великий труд в одиночку. Но он справился с труднейшей расчётной задачей, составив для этого первые таблицы логарифмов. В 1609 году Кеплер открыл два закона движения планет вокруг Солнца. Он узнал, что траекторией полета планеты является эллипс, что Солнце стоит в *фокусе* эллипса (а не в центре его!), и что планета летит по эллипсу в режиме «постоянных площадей». Так началась астрономия нового — 17 века. Её первыми героями стали Кеплер и Галилей.

Глава 15. Эпоха Кеплера и Галилея

Галилео Галилей (1564–1642) родился в один год с Шекспиром, а умер в тот год, когда родился Ньютон. Он тоже был человеком позднего Возрождения — и, быть может, последним среди таких мужей. Прежде всего, Галилей был великолепный лектор и талантливый писатель. Он умел со вкусом, увлекательно изобразить не только игру научных идей, но даже постановку экспериментов — дело зачастую скучное. Вообще, Галилей был первый среди теоретиков, кто стремился *проверить* свои догадки (гипотезы) — либо прямым опытом, либо точным расчётом показаний косвенных экспериментов. Ему принадлежит много важных афоризмов о науке, например:

«Великая Книга Природы написана на языке Математики».

«Человек только и может, что сдвигать и раздвигать предметы — всё остальное делает Природа».

«Измеряй всё, что поддаётся измерению — и делай измеримым то, что прежде измерению не поддавалось».

Стоит вспомнить, что при жизни Галилея физики не располагали не только точными часами (их изобрёл Гюйгенс в 1656 году), но даже хорошим термометром. Сам Галилей построил первый термометр, основанный на расширении газов. Галилей также открыл линейную зависимость между длиной растянутой пружины и весом того тела, которое её растягивает. Так, понемногу и с большим трудом, закладывались основы «Арифметической Физики», которую довёл до совершенства Исаак Ньютон.

Важнейшим открытием Галилея в механике стало выделение и различение *равномерных* и *равноускоренных* движений природных тел. Развивая Принцип Инерции, предложенный Буриданом в 14 веке, Галилей заявил: только равномерное *прямолинейное* движение происходит само собою; любое иное движение нужно объяснять с помощью некой *силы* взаимодействия тел!

Больше всего Галилея интересовала сила земного притяжения. Но её трудно наблюдать в прямом опыте: свободно падающее тело слишком быстро набирает скорость. Чтобы замедлить эту картину, Галилей стал наблюдать и измерять *скольжение* тел по наклонной плоскости. В этих опытах он обнаружил независимость ускорения от массы ускоренного тела. Что касается падения двух ядер разной массы, одновременно сброшенных с башни — этот эффектный опыт Галилей никогда не проделывал публично! Из домашних прикидок он знал, что тяжё-

лое ядро всегда обгоняет лёгкое — и он не сумеет убедить толпу зевак, что дело тут в сопротивлении воздуха, а не в зависимости ускорения от массы.

Другое важное открытие Галилея — принцип Независимости Движений тел. Он позволяет нам изучать свободное падение тел на Земле, отвлекаясь от всех возможных движений самой Земли: от её вращения вокруг оси, от обращения вокруг Солнца, от полёта вместе с Солнцем по окружности в Галактике, и т. д. Эта независимость движений позволила физикам 17 века (от Галилея до Ньютона) создать почти полную картину Механической Вселенной, где правит единственная сила — Тяготение тел друг к другу.

Вклад Галилея в астрономию оказался неожиданно огромен — потому что итальянец первым из физиков применил новоявленный *телескоп* для изучения небесных явлений. Галилею было 45 лет, когда он услышал об изобретении голландцами некоей трубы с линзами, которая якобы приближает дальние предметы к человеческому глазу. Все подробности держались в секрете — но Галилей был опытный механик, хорошо разбирался в оптике. Очень быстро он повторил путь первооткрывателей: сам начал рассчитывать и строить такие трубы, постепенно повышая их оптическое качество. Уже в 1610 году грянул залп замечательных открытий.

На Луне есть горы: под светом Солнца они отбрасывают тени, по этим теням можно рассчитать их высоту — как Фалес рассчитывал высоту пирамид в Египте. Далее: Венера меняет свою яркость в разные месяцы, потому что она имеет фазы — вроде фаз Луны; её диск часто выглядит, как серп. Различить фазы Юпитера Галилею не удалось — зато он обнаружил около яркой планеты 4 малые звёздочки, изменяющие своё положение в течение ночи. Это же «луны» Юпитера — вроде единственной Луны у Земли! Нет ли сходных лун у других планет?

Открыть спутники Марса Галилей не сумел: они слишком малы и близки к поверхности красной планеты. Зато по бокам Сатурна Галилей различил большие светлые «призраки» — вроде того «гало», которое можно наблюдать возле Солнца на земном небе. Низкое качество линз не позволило Галилею различить кольца Сатурна и угадать их строение: это сделал Гюйгенс, 40 лет спустя. Не имея точных часов, Галилей не сумел измерить периоды обращения четырёх спутников Юпитера. Если бы он это сделал — то он, а не Кеплер мог стать первооткрывателем законов движения планет! Или их спутников: тут законы одинаковые. . .

После таких открытий Галилей обратил свой взор на Солнце, и поплатился за эту дерзость ранней потерей зрения. Он хотел разо-

браться в природе солнечных пятен, которые иногда можно наблюдать через закопчёное стекло. Понять природу пятен Гюйгенс не смог — но заметил *периодическое* повторение картины пятен на Солнце, с интервалом около 25 суток. Вывод: Солнце вращается вокруг своей оси — как Земля, но гораздо медленнее!

Когда зрение начало слабеть, Галилей понял: пора писать книги о новой науке! В 1632 году он издал «Рассуждение о двух системах мира: Птолемеевой и Коперниковой». Прекрасный итальянский язык и большой дар популяризатора науки сделали эту книжку бестселлером. Но также обратили на автора внимание римской Инквизиции! Ещё раньше Галилея предупреждали: как учёный, он вправе верить или не верить в геоцентрическое учение, одобренное Церковью. Он может *использовать* модель Коперника в своих расчётах; но он не должен *пропагандировать* гелиоцентрическую гипотезу, которая противоречит текстам Библии! В 1633 году Галилей был предан суду Инквизиции — и принёс публичное покаяние в своих «ошибках», под угрозой смерти.

Это тоже был важный пример для будущих учёных: научная истина *не* требует публичного мученичества, но лишь *внутреннего* бесстрашия (в отличие от религиозных догматов). Последние годы жизни Галилея прошли под домашним арестом: ученики и коллеги иногда посещали его, ради научных бесед.

Почти так же коммунистические инквизиторы поступили в 20 веке с Петром Капицей и Андреем Сахаровым — хотя эти физики дожили до возвращения им интеллектуальной свободы. Участь многих других русских и германских учёных в 20 веке была ещё более трагичной. Оттого расхожий тезис о нераздельности научного и нравственного прогресса кажется сейчас заблуждением. . .

Иоганн Кеплер был персоной иного склада, чем Галилей. Обладая столь же пылкой фантазией, он был на редкость упорным вычислителем — тогда как Галилею долгие расчёты были не интересны. Такое редкое сочетание талантов и точных сведений позволило Кеплеру превзойти Архимеда в решении труднейшей задачи: выяснения точной формы планетных орбит и режимов движения планет по их орбитам. К счастью, архив Кеплера уцелел: в эпоху Екатерины 2 он попал в Петербург, и сейчас хранится в Пулковской обсерватории.

Разбираясь в этих записях, астрономы были поражены упорством Кеплера. Прежде чем угадать истинный режим движения планет, он перебрал почти 20 иных режимов — и отверг их с помощью громоздких расчётов, опираясь на огромный свод наблюдений Тихо Браге. Для этого вычислительного подвига понадобилась революция в технике рас-

чётов; Кеплер произвёл её, составив Таблицу Логарифмов.

Ещё Архимед знал мультипликативное свойство площадей трапеций, ограниченных гиперболой ($xy = 1$) и вертикальными отрезками:

$$S(1, a) + S(1, b) = S(1, ab)$$

Кеплер использовал это свойство для составления таблиц логарифмов и антилогарифмов путём прямого измерения площадей гиперболических трапеций. Имея эти таблицы, он смог заменить умножение и деление многозначных чисел — сложением или вычитанием их логарифмов. В итоге скорость расчётов резко возросла — и Кеплер преуспел там, где застрял Архимед. Открыв первые два закона (они регулируют движение *одной* планеты по эллипсу вокруг Солнца), Кеплер нашёл путём численных экспериментов связь в движениях *разных* планет:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{K_1^3}{K_2^3},$$

то есть квадраты периодов обращения планет относятся, как кубы больших полуосей их орбит. Продолжительность одного «года» на Марсе, Венере, Юпитере или Сатурне астрономы давно знали из наблюдений. Теперь Кеплер нашёл отношения между *радиусами* всех планетных орбит и ответил на давний вопрос Пифагора: выражаются ли они удобными *рациональными* числами? Нет, Природе это не угодно!

Ещё один вопрос Пифагора — о радиусе земной орбиты — остался без ответа даже у Кеплера. Прямые измерения этого радиуса не удались; Кеплер придумал красивый косвенный путь к ответу — но не успел воплотить сей проект за время своей жизни. Дело в том, что все планеты обращаются вокруг Солнца почти в одной плоскости. Оттого обе внутренние планеты — Венера и Меркурий — иногда проходят на фоне Солнца, перед глазом земного астронома. Последнее такое прохождение Венеры случилось в июне 2004 года: проведя *синхронные* наблюдения этой картины из разных точек Земли, астрономы смогли уточнить расстояние между Землёй и Венерой. Такие «везения» случаются с интервалами во много лет; Кеплер умер в 1630 году, не дожив до очередного противостояния Земли с Венерой или Меркурием. Эти противостояния случились в 1631 и 1639 годах — но синхронные наблюдения в Европе, охваченной Тридцатилетней войной, были тогда невозможны.

Истинный размер Солнечной системы стал известен астрономам только в 1672 году — когда два француза (Кассини и Рише) наблюдали положение Марса среди звёзд из Парижа и из Гвианы (на экваторе),

синхронизируя наблюдения посредством часов с маятником (их изобрёл Гюйгенс в 1656 году). Оказалось, что межпланетные расстояния примерно в 100 раз больше расстояния между Землёй и Луной. Что касается межзвёздных расстояний, то они оставались неизвестны до середины 19 века.

Пока Кеплер возился с расчётами площадей гиперболических трапеций (для таблицы логарифмов), он научился «вручную» вычислять площади, ограниченные графиками любых не очень сложных функций — будь то многочлен, синусоида, экспонента или рациональная дробь. Так он положил начало Исчислению Интегралов. Первые шаги на этом пути сделал ещё Архимед. Но ни Архимед, ни Кеплер не заметили необычную *связь* между расчётом *площади* под графиком функции и расчётом *угла* наклона прямой, касательной к этому графику. Открытие этой связи — то есть, соединение исчисления Интегралов с исчислением Производных в цельный Математический Анализ Гладких Функций — это открытие выпало на долю Исаака Ньютона, который родился через полгода после смерти Галилея.

Последние годы жизни Кеплера были заняты иными увлечениями. Галилей написал своё «Рассуждение о двух системах мира», следуя примеру Платона — в форме *диалога* представителей двух научных школ, один из коих явно умнее другого (как Сократ был умнее своих собеседников). Кеплер же заинтересовался тем, как он сам *становился умнее* в ходе научных поисков — перебирая и отвергая гипотезы до тех пор, пока он не добрался до истинных законов движения планет. В итоге Кеплер написал первую Научную Автобиографию, где игра страстей учёного человека сплелась с чехардой его научных догадок и прозрений. В 20 веке шедеврами такой научно-художественной литературы стали биографии Эрнеста Резерфорда и Нильса Бора, написанные Даниилом Даниным — а также автобиография Джемса Уотсона «Двойная Спираль», посвящённая открытию структуры ДНК.

Кеплер был не чужд и научно-популярной литературе. В этом жанре он писал о тех проблемах, которые не умел довести до численного ответа. Например, спектр межпланетных расстояний: отчего он такой, а не иной? Не происходит ли этот «случайный» набор чисел из неслучайного спектра размеров всех пяти правильных многогранников? Доказать эту гипотезу Кеплер не сумел — и нужда в ней отпала, когда стали ясны три закона движения планет. После этого Кеплер стал размышлять о форме снежинок — удивительно разнообразных природных кристаллов, которые образуются как-то сами собою при замерзании обычного тумана.

Как уходящая Теплота порождает возникающую Симметрию природных тел? Не схоже ли это явление с кипением человеческих Страстей, вдруг порождающих новую научную Истину — совершенную, как Снежинка? Если да, то как открыть природные *законы*, регулирующие переход Энергии в Симметрию, или Страсти — в Истину? Эти вопросы чрезвычайно трудны: строгие ответы на них не известны до сих пор — несмотря на появление таких разделов физики и математики, как Теория Катастроф и Синергетика. Интеллектуальная дерзость Кеплера и Галилея сияла на среднем фоне их эпохи так же ярко, как уверенность Пифагора — в его время, за 21 век до Кеплера. Современники и наследники пытались подражать страсти и удаче Кеплера или Галилея, как пифагорейцы подражали своему учителю. На плечах Пифагора выросли Анаксагор и Геродот, Сократ и Платон. На плечах Галилея выросли Гюйгенс и Валлис, Гук и Ньютон.

Глава 16. Рождение научных академий

В начале 17 века религиозные устои в Европе пошли на спад; деятельность учёного сообщества стала более заметна. В 1600-е годы в Риме, под эгидой папы и по инициативе Галилея, образовался кружок естествоиспытателей. Они назвали себя «Академия деи Линччи» — то есть, «Академия Рысей», чьи глаза замечают всё необычное в Природе. Вскоре в Англии возник сходный кружок ученых вокруг просвещённого канцлера — Френсиса Бэкона (1561–1626). Канцлер был любознателен, но скромностью не отличался; свою главную книгу он озаглавил «Новый Органон» — в подражание «Органону» Аристотеля. Мудрый грек изложил правила *дедуктивной* логики; теперь мудрый англичанин попытался изложить *индуктивную* логику, которая позволяет угадывать новые факты по наблюдениям Природы, отсеивая заблуждения человеческого ума.

Изобрести такую науку Бэкону не удалось; но правила поведения учёного сообщества (включая ремесло научной критики) Бэкон сформулировал удачно. Его кружок, названный (согласно диалогу Платона) «Новой Атлантидой», послужил образцом для Лондонского Королевского Общества. Оно сложилось в 1662 году — как только отгремела Английская Революция. Рассмотрим успехи и неудачи организаторов этого содружества учёных мужей Англии.

Математик Джон Валлис (1616–1703) был священник и увлекался теорией чисел. Он нашёл второе (после Виета) представление числа π

в форме бесконечного произведения рациональных чисел. Во время революции Валлис не сражался в боях — но он был шифровальщиком при штабе армии Кромвеля, как ранее Виет был шифровальщиком при штабе Генриха 4. После революции Валлис стал духовником нового короля Карла 2 и активно занялся Математическим Анализом. Самым важным открытием Валлиса в физике стал Закон Сохранения Импульса в упругих столкновениях тел. Валлис одним из первых распознал огромный талант Ньютона и помог его избранию в Королевское общество в 1672 году (за постройку первого зеркального телескопа).

Роберт Бойль (1627–1691) был вундеркинд из знатной семьи. Сначала он увлёкся иностранными языками; потом запоем читал книги Галилея и Декарта, а после захотел проверить гипотезы этих мыслителей путем прямых опытов. Услышав об опытах Отто Гёрике с «Магдебургскими полушариями», из которых выкачан воздух, Бойль придумал схему вакуум-насоса и построил его с помощью гениального механика Роберта Гука. Достигнув давления в 0,1 атм., Бойль смог впервые наблюдать эффект Галилея: синхронное падение пушинки и дробины в пустоте! Потом Бойль обнаружил, что пустота *не* проводит звук — но передаёт электрические и магнитные силы без изменений. Проверив гипотезу о сжимаемости воздуха, Бойль вывел свой закон связи между объёмом и давлением газа — и стал убеждённым атомистом.

Он пожелал проверить атомную модель вещества в химических опытах: если каждое вещество есть смесь атомов разного сорта, то любая реакция есть *перестановка* атомов! Эти воззрения Бойль изложил в книге «Химик — Скептик». Он также старался приучить всех химиков к подробному описанию хода и исхода тех реакций, которые им удалось провести. Можно назвать Бойля «Отцом Экспериментальной Химии и Физики» — хотя полная ясность понятий в этих науках была достигнута лишь веком позже, в трудах Лавуазье. Именно Бойль выбрал девиз Королевского Общества: *Nullius in Verba* — «Ничего на Словах!». Всякое открытие должно опираться не только на рассуждения, но также на опыт — либо на точный расчёт.

По этой причине Королевское Общество *не* рассматривало те открытия, которые Томас Гоббс (1588–1679) сделал в Исторической науке — пока он наблюдал Революцию изнутри и снаружи. Математик Гоббс в юности беседовал с Галилеем, а на старости лет — с Ньютоном. В среднем возрасте он учил математике детей Карла 1, вместе с ними оказался в эмиграции во Франции. Наблюдая оттуда Революцию, Гоббс оценил её как религиозный процесс «Боготворчества». Устав поклоняться старому идолу Монархии, соединённой с Англиканской Церковью, бун-

тари отвергли это чудище — и тут же изобрели другое, на смену ему! Теперь пресвитериане и индепенденты дружно поклоняются Богу Ветхого Завета, слившемуся с Республикой (=Commonwealth).

Ему регулярно приносят жертвы: то денежные, то человеческие. Похоже, что люди *не умеют* жить иначе — без поклонения тем или иным идолам, вроде сказочного Дракона или библейского Левиафана (кита)! Если так, то весь общественный прогресс можно рассматривать, как постепенное обучение рода людского *безопасному* общению с левиафанами разных сортов!

С современной точки зрения, Гоббс изобретал Социологию по образцу ещё не известной Микробиологии. Но микробиолог изучает организмы, живущие *внутри* человеческого тела — социолог же имеет дело с драконами, охватившими *извне* весь человеческий род! Держава или Партия, Церковь или Профсоюз, Научное Сообщество или Религиозная Секта — вот живые примеры левиафанов Гоббса. Для полного признания трудов Гоббса членам Королевского Общества нехватило одной «мелочи»: автор не умел *измерить числами* главные свойства левиафанов и не умел построить Математическую Модель Левиафана — хотя бы из дифференциальных уравнений, которые тогда уверенно составляли и решали Гюйгенс и Ньютон. Политическое учение математика Гоббса можно сравнить со сходным учением Лао-цзы о Дао и Дэ — универсальных движителях природной эволюции.

Глава 17. Наследники Виета во Франции

Франсуа Виет был протестант и самоучка. Его наследниками в науке стали питомцы колледжа иезуитов — монах Марен Мерсенн (1588–1648) и вольнодумец Рене Декарт (1596–1650). Их дружба стала зародышем Парижской Академии Наук, хотя оба друга не дожили до её основания.

Научный талант Мерсенна был довольно скромным. Но у него был огромный талант общения с одарёнными людьми и высоко развитое чувство такта. Мерсенн рано угадал своё призвание: быть *координатором* научных усилий многих талантливых и неуживчивых людей, которые сами не склонны к общению, а при личной встрече — скорее всего, поссорятся. Сидя в Париже, Мерсенн вёл огромную переписку со множеством учёных людей из всех концов Европы — от Стокгольма до Мадрида и Константинополя. Учёный монах сообщал каждому о тех открытиях, которые сделали его коллеги. Так Мерсенн в одиночку исполнял обязанности «редакции» первого научного журнала Европы;

этот «журнал» разросся в Парижскую Академию Наук вскоре после рождения Королевского Общества в Англии — в 1666 году.

У Декарта было пылкое воображение — но он не любил ставить сложные опыты (как Галилей), или производить громоздкие вычисления (что делал Кеплер). Оттого все открытия Декарта — прежде всего, Аналитическая Геометрия — суть подвиги его наглядной интуиции. По сути, вся геометрия Декарта выросла из одного гениального сопоставления: каждому уравнению с двумя неизвестными соответствует *кривая* на плоскости (составленная из всех решений этого уравнения), и обратно — каждой кривой соответствует её *уравнение*. Во многих важных случаях — это *многочлен* от двух переменных. Сходное учение можно развить и в пространстве: там уравнению соответствует *поверхность*, а системе уравнений — пересечение таких поверхностей. Но в пространстве Декарт не выходил — решив, что классификация уравнений с *тремя* неизвестными будет очень сложной. Даже на плоскости Декарт ограничился классификацией кривых второго порядка, которые все были знакомы ещё греческим геометрам. Среди кривых степени 3 Декарт разобрал один яркий пример — «лист Декарта», самопересекающийся в одной точке. Полную классификацию кубических кривых выполнил Ньютон, который не боялся трудных вычислений.

Огромная ценность математических открытий Декарта — не в их трудности, а в их своевременности. В 1637 году (вскоре после смерти Кеплера, ещё при жизни Галилея) он опубликовал своё описание геометрического подхода к изучению *графиков* любых функций. Наряду с прежним подходом Виета — через *формулы* — новый подход оказался необходим и достаточен для создания Математического Анализа Гладких Функций в последующие 30 лет. Сам Декарт в этой работе почти не участвовал: он увлёкся физикой и философией, стараясь заменить устаревшие модели Аристотеля более точными понятиями. Больших успехов в этой деятельности Декарт не добился. Пришлось сначала создать весь Анализ Функций, чтобы потом выбрать понятия и аксиомы Физики, подходящие для огромного ансамбля накопленных фактов.

Более надёжный путь в новую науку нашёл Пьер Ферма́ (1601–1665) — провинциальный юрист, который посвящал свой досуг алгебраическим изысканиям среди чисел и функций. Он стартовал там, где остановились Архимед (в геометрии) и Диофант (в арифметике). В отличие от греков, Ферма располагал удобным аппаратом *формул*, которые ввёл в науку Виет. С их помощью Ферма строил одновременно Алгебраическую Теорию Чисел и Алгебраический Анализ Функций — то и другое успешно, но с разным откликом в умах других математиков.

Функциями и графиками интересовались многие. Каждое открытие в этой сфере вызывало общий интерес; парижские учёные пристально следили за письмами Ферма из далёкой Тулузы. Напротив, числами тогда увлекались немногие — как Валлис в Англии. Оттого вслед за любым объявлением о новом факте из Анализа Ферма приходилось посылать доказательство этого факта — чтобы не прослыть болтуном и фантазёром. Напротив, объявленное открытие в Арифметике часто проходило незамеченным; даже ошибка Ферма порою оставалась без опровержения.

Так случилось дважды: с простыми числами вида

$$\varphi(k) = 2^{2^k} + 1$$

и с решениями уравнения Ферма

$$x^k + y^k = z^k$$

в целых числах. Ферма ошибся, предположив, что *все* числа вида $\varphi(k)$ — простые, и что его доказательство неразрешимости «уравнения Ферма» проходит для *всех* простых степеней $k > 2$. На самом деле «числа Ферма» $\varphi(k)$ просты, видимо, лишь для $k < 5$. Эйлер в 1740 году нашёл простое разложение числа $\varphi(5)$ с множителем 641. Позднее даже с помощью компьютеров не удалось найти *ни одного* нового *простого* числа $\varphi(k)$ — хотя доказать их непростоту тоже не удаётся.

В случае Большой Теоремы Ферма авторское доказательство «методом спуска» проходит без помех лишь для показателей $k = 3$ и $k = 4$. Уже при $k = 5$ возникают трудности, преодолеть которые смог Лагранж в середине 18 века. Общий случай Теоремы Ферма оказался столь сложен, что полное решение этой проблемы было найдено лишь в конце 20 века. При этом понадобились новые понятия и методы работы, неведомые и невообразимые для математиков 17–18 веков.

Академия Наук в Париже возникла вслед за Королевским Обществом в Лондоне — в 1666 году, когда соединились таланты и усилия трёх разных людей: Кольбера, Пикара и Гюйгенса. Кольбёр был фактический премьер-министр короля Луи 14: талантливый финансист и дальновидный администратор, терпимый к протестантам. Он восхищался покойным кардиналом Ришелье. Если тот основал в 1635 году Французскую Академию (языка и литературы), то теперь пора иметь свою Академию Математики и Естествознания — чтобы Франция не отставала от Англии и опережала Германию во всех сферах культуры.

Пока Кольбер был жив (до 1685) — академикам не о чем было беспокоиться!

Организатором новой Академии стал астроном Жан Пикар. Его самый важный результат — точное измерение диаметра Земли по методу Эратосфена, но с использованием телескопа и с заменой Солнца на одну из звёзд (это повышает точность измерений). Более оригинальные открытия Пикару не удавались — и он добровольно перешёл на организаторскую работу, стараясь привлечь в Париж самых ярких учёных из всех стран Европейского континента.

Первой и главной находкой Пикара стал Христиан Гюйгенс (1629–1695) из Республики Нидерландов, уже знаменитый механик и астроном. В 1656 году он построил первые точные часы с маятником и открыл кольцо вокруг Сатурна. Для этого нужен хороший телескоп: Гюйгенс сам его рассчитал и отполировал линзы. Он также изобрёл первый микроскоп для измерения малых расстояний и углов: этот прибор позволил Пикару превзойти Эратосфена в уточнении диаметра Земли.

С 1655 года Гюйгенс жил в Париже, привлечённый сюда высоким накалом интеллектуальной жизни. Он также посещал Лондон и был сразу принят в члены Королевского Общества. Но в Англии Гюйгенс не задержался; так он упустил шанс стать учителем молодого Ньютона — зато позднее стал в Париже учителем молодого Лейбница. Оба эти героя считали Гюйгенса своим прямым предтечей в создании Математического Анализа Функций. Ведь Гюйгенс первый составил и решил дифференциальное уравнение колебаний маятника — и воплотил это открытие в точной механике часов!

Второй блестящей находкой Пикара в ряду будущих академиков Франции стал итальянец Доменико Кассини из Болоньи. Он начал с наблюдений за движением спутников Юпитера, чтобы проверить: подчиняются ли эти «планетки» законам Кеплера? Оказалось, что да: законы Кеплера верны для любых систем из звёзд и планет! Затем Кассини стал наблюдать поверхность Юпитера — и открыл на ней Красное Пятно, которое позволило рассчитать длину суток на Юпитере. Угадать природу Пятна (или его окраски) Кассини, конечно, не мог. Лишь в 20 веке стало ясно, что это — устойчивый циклон в атмосфере огромной планеты, окрашенный органическими веществами.

Наблюдая кольцо Сатурна, Кассини нашёл в нём загадочную «щель». Позднее Ньютон угадал, что эта и другие щели в кольцах связаны с притяжением спутников Сатурна. Гюйгенс догадался, что кольца Сатурна не могут быть ни твёрдыми, ни жидкими — но состоят из пыли, снега и мелких камней. Строгое математическое доказатель-

ство этой гипотезы нашёл Максвелл в середине 19 века. И лишь в конце 20 века космические зонды, подойдя близко к Сатурну, открыли огромную сложность его колец: они суть сплетения снежных вихрей, образующие Странный Аттрактор. Математики открыли эту фигуру путём численного моделирования на компьютере в 1960-е годы — за 20 лет до космических зондов. Если бы Гюйгенс или Ньютон увидели кольцо Сатурна вблизи — развитие небесной механики могло бы пойти совсем иным путём. . .

Замечательным открытием парижских астрономов стало измерение расстояния между Землёй и Марсом. Для этого понадобились точные часы с маятником и хороший телескоп: то и другое изобрел Гюйгенс. В 1672 году Кассини и его ассистент Ришэ провели *синхронные* наблюдения Марса среди звёзд, одновременно следя за ним из Парижа и из Гвианы (на экваторе Земли). После этого *все* главные *расстояния* Солнечной системы стали известны астрономам (благодаря законам Кеплера). Но размеры и массы самих планет оставались неизвестны до середины 18 века.

В 1675 году очередной приезжий гений (на этот раз — Олаф Рёмер из Дании) сделал в Париже крупнейшее открытие: он впервые измерил скорость света! Для этого Рёмер использовал таблицы движения спутников Юпитера, составленные Кассини. Сначала Рёмер заметил нерегулярность в движении четырёх спутников, зависящую от *земного* календаря. Зимой спутники как бы *опережали* расчётное расписание Кеплера, летом они *отставали* от расписания. Коэффициент отставания составляет около одной десятитысячной: как его объяснить?

Рёмер сразу понял, что земная погода тут ни при чем. Для событий на Юпитере, наблюдаемых с Земли, важно лишь то, приближается или удаляется от Юпитера Земля в месяц наблюдения. Скорость движения Земли по её орбите Рёмер знал: она равна примерно 30 км/сек. Но любые сигналы о событиях с Юпитера на Землю приносит свет! Если его скорость *конечна* и превосходит скорость сближения Земли с Юпитером примерно в 10 000 раз — этот факт объясняет неточности в наблюдаемом с Земли движении спутников Юпитера!

Так в 1675 году было сделано последнее крупное физическое открытие 17 века — столь же важное, как законы Кеплера или формула сил тяготения по Ньютону. Но вскоре расцвет Парижской Академии Наук замедлился — из-за новой политики короля Луи 14, который решил укротить протестантов-гугенотов. В 1681 году Гюйгенс вернулся на родину, в Гаагу, где продолжал успешно работать до самой смерти. Вскоре умерли Пикар и Кольбер; роль Парижской Академии

в научной жизни Европы стала убывать. Но к этому времени по всей Европе выросли новые лидеры Математики и Естествознания: Ньютон в Англии, Лейбниц в Германии и Франции. Оба они были ученики Гюйгенса — очные либо заочные.

Глава 18. Время Ньютона и Лейбница: 1667–1727

Исаак Ньютон (1642–1727) говорил о себе, что он видит дальше других, потому что стоит на плечах гигантов. Это верно: предшественниками Ньютона были Галилей и Кеплер, Декарт и Гюйгенс. Что же сам Ньютон добавил к их открытиям? Из чего и как он смонтировал великое здание Математического Анализа Гладких Функций?

Опыт Декарта приучил Ньютона верить, что наглядная Геометрия и формульная Алгебра — это два эквивалентных языка для описания единой реальности. Но алгебра Декарта легко охватывает лишь немногие удобные функции: многочлены, корни и кое-что ещё. Как охватить алгеброй *все* необходимые функции? Отсутствие страха перед Бесконечностью, унаследованное от богословов, побудило Ньютона работать со Степенными Рядами так же свободно, как с многочленами. Вскоре он убедился, что каждая нужная ему функция разлагается в степенной ряд; что среди таких рядов легко производить дифференцирование либо интегрирование, причём эти две операции *обратны* друг другу. С этого момента Анализ Гладких Функций стал зрелой областью Математики — и Ньютон начал смело использовать его, как аппарат постижения Физики.

От Гюйгенса Ньютон перенял ту мысль, что многие закономерности в Природе удобнее всего описывать на языке дифференциальных уравнений: их составление и решение выполняется с помощью Математического Анализа. Чтобы угадать форму уравнения, описывающего данный процесс, нужно знать связи между Движениями тел и Силами действия этих тел друг на друга. Такие силы зависят от расстояния между телами, от масс тел — и больше, пожалуй, они ни от чего не зависят!

Такова была главная физическая догадка Ньютона. Тут он превзошёл Галилея и Кеплера сразу. Ведь Галилей начал анализ силы земного тяготения — но не добрался до вывода законов движения произвольных тел в поле тяготения Земли. Напротив, Кеплер разобрался в законах

движения планет и комет вокруг Солнца — но не дошёл до вывода свойств той силы, которая связывает Солнце с его спутниками в устойчивую семью. Ньютон первый добрался до самых простых основ механики.

Если принять гипотезу, что сила тяготения обратно пропорциональна квадрату расстояния между телами и прямо пропорциональна их массам — тогда одна и та же сила регулирует падение брошенного камня и обращение Луны вокруг Земли! Более того: эта сила вызывает приливы и отливы в океанах Земли; она же позволяет рассчитать сплюснутость Земли возле её полюсов, и так далее. . .

Все эти факты Ньютон открыл за полтора года уединения: 1666–1667, когда он скрывался от эпидемии чумы в деревне; Кембриджский университет был закрыт в это время. Осенью 1667 года Ньютон вернулся в Кембридж: в 25 лет он стал самым знающим физиком Англии, Европы и всей Земли. Почему же его главная книга с описанием столь замечательных открытий вышла в свет лишь через 20 лет?

Дело тут не в зависти стариков. Маститые профессора, во главе с Валлисом и Бойлем, сразу признали блестящие открытия юного коллеги. В 1668 году Ньютон рассчитал и построил первый зеркальный телескоп; через четыре года он был избран членом Королевского Общества. Но как ввести эти открытия в учебный процесс, основанный на книгах Евклида и Аристотеля — если сам Ньютон учился геометрии по Декарту, а механику Аристотеля полностью отверг? Ньютон не был талантлив как лектор и не любил процесс преподавания. Он предпочитал вести диалог с Природой без свидетелей — а друзьям сообщать о своих открытиях в кратких письмах или в беседах с глазу на глаз. Оттого Ньютон не торопился писать свою главную книгу: он откладывал неприятный труд, понимая, что писать придётся на *неродном* языке!

Только в 1684 году (когда были напечатаны первые статьи Лейбница — и стало ясно, что приоритет открытия новой Физики и нового Анализа может уплыть из английских рук) — лишь тогда друзья, во главе с Эдмундом Галлеем, уговорили Ньютона написать итоговую книгу («Математические Принципы Naturфилософии»), и даже оплатили её печать. Ни Королевское Общество, ни король Англии не нашли тогда нужных средств — либо не имели охоты тратить эти средства ради научной славы страны. Эпоха Просвещения была ещё впереди. . .

Пока Ньютон с натугой писал свою книгу, в его голову приходили всё новые вопросы по физике; многие из них оставались без ответа. Например, Отто Гэрике выяснил существование *двух* разных сортов электрического заряда — и тот факт, что заряды одного знака *оттал-*

живаются друг от друга. Почему это происходит? Чем отличается сила электрическая от силы гравитации? Почему проявления гравитации мы видим и в небесах, и в лаборатории — а электрические явления видим только вблизи? Кстати, есть ещё магнитная сила: её природа тоже не ясна!

Наконец, что такое свет? Состоит ли он из частиц — или из волн, как утверждает Гюйгенс? Если это волна, то в какой среде она распространяется? Недавно Рёмер измерил скорость света: она колоссальна, в сравнении со скоростью звука, которую измерил Гассенди. Но известно, что скорость звука в воде *больше* его скорости в воздухе. Если так же ведёт себя свет — значит, межзвёздное пространство заполнено очень плотной материей! Как же могут планеты лететь сквозь эту среду, не тормозясь? Тут какая-то ошибка! Нет уж, проще считать свет потоком очень лёгких частиц! Можно ли их остановить? Как измерить их свойства?

Все эти вопросы остались без ответа до конца долгой жизни Ньютона. Прошло ещё полтора столетия, прежде чем Максвелл выяснил: электрические и магнитные силы передаются от тела к телу потоком электромагнитных волн (в том числе — светом). Эти же силы порождают правильную форму кристаллов и устойчивое свечение Солнца — а в глубокой древности они обусловили формирование Галактики и Солнечной системы! В нашу эпоху электромагнитные силы в атомах и в Космосе сбалансированы; на этом фоне стала заметна гораздо более слабая гравитация природных тел. . .

Так старый Ньютон застыл на рубеже между уже понятой механикой и ещё не понятым электромагнетизмом; между уже готовыми и едва намеченными разделами Математического Анализа. Тем временем более молодой Лейбниц старался превзойти Ньютона в тех областях науки, где мудрый англичанин не чувствовал себя уверенно.

Вильгельм Лейбниц (1646–1716) был вундеркинд, гуманный и энциклопедист по кругу интересов — в противоположность Ньютону, тугодуму и однолюбу. В математике Лейбниц был скорее алгебраист (не геометр), а в гуманитарии — скорее лингвист, чем литератор. Но оратор и дипломат он был незаурядный: из него вышел бы замечательный профессор университета!

Однако Лейбниц любил жизненные удобства — а оклады дипломатов во все века были выше, чем оклады профессоров. Оттого юный доктор философии Лейбниц стал дипломатом на службе у герцога Ганновера — и вскоре устроил себе командировку в Париж, где застрял на многие годы. Познакомившись с научной элитой Франции, Лейб-

ниц уговорил Гюйгенса дать ему приватные уроки высшей математики. Одновременно Лейбниц улучшал своё главное техническое изобретение: арифмометр, выполнявший все 4 действия с многозначными числами. (Первый арифмометр Паскаля мог только складывать и вычитать).

В 1675 году Лейбниц поехал в Лондон, чтобы показать своё детище Королевскому Обществу — и заодно побеседовать с Ньютоном о его открытиях, слухами о коих земля полнилась. В итоге Лейбниц был избран в Королевское Общество — но Ньютон отказался от встречи с не нужным ему иностранцем. А жаль! В разговоре Лейбниц, вероятно, сумел бы очаровать Ньютона; тогда два богатыря могли прожить жизнь союзниками, а не врагами.

Уязвлённый отказом Ньютона, Лейбниц решил открыть для себя Анализ самостоятельно — и преуспел в этом в последующие десять лет. Конечно, ему помогало сознание того, что Ньютон уже прошёл этот труднейший путь! Но свою дорогу Лейбниц торил сам: вводил оригинальные определения и обозначения, применял свои формулы там, где Ньютон рассуждал интуитивно — геометрически.

В итоге система Анализа по Лейбницу (с дифференциалами и интегралами — в отличие от флюксий и флюент Ньютона) оказалась более удобной для преподавания новой науки, чем система Ньютона. В 1690-е годы у Лейбница появились активные заочные ученики. Удачливее прочих были братья Якоб и Иоганн Бернулли в Базеле. Вокруг них собрался кружок талантливой молодежи — и уже в 1696 году молодой Франсуа Лопиталь составил первый учебник Математического Анализа Гладких Функций.

Между тем Лейбниц пытался соединить свои открытия в Анализе Функций и в вычислительной технике в новую цельную науку. Мы сейчас назвали бы её Теорией Искусственного Интеллекта. Развивая давнюю программу Раймонда Луллия, Лейбниц ввёл универсальное понятие Монады — природной единицы, которая может изменять свою структуру, в ответ на внешние воздействия. Это был первый шаг к общей Теории Симметрий, которая в математике обрела вид Теории Групп (1830) и их Представлений (1900), а в физике — вид теории Элементарных Частиц (1930). Созревание этих двух наук заняло 200 лет: Лейбниц не мог увидеть замечательные плоды своих трудов. Он умер в 1716 году (за 10 лет до смерти Ньютона), успев совершить ещё два важных дела для развития науки и её преподавания.

В 1700 году Лейбниц организовал в Берлине Прусскую Академию Наук и стал её первым президентом. В 1714 году, получив отставку от герцога Ганновера (теперь — короля Англии Георга 1), Лейбниц

встретился на курорте с Петром 1 — и по его заказу составил проект задач и учреждений Российской Академии Наук. Этот проект начал воплощаться в 1724 году в Петербурге. Три года спустя туда из Базеля прибыли два «научных внука» Лейбница: Даниил Бернулли и Леонард Эйлер, которым суждено было стать первыми Четырежды Академиками Европы.

Глава 19. Что делать после Ньютона?

Этот вопрос встал перед учёным сообществом в 1687 году — как только была опубликована книга Ньютона «Математические Принципы Натурфилософии». Казалось, что теперь известны все основные законы Природы — и те основные понятия Математики, которые позволяют постичь всю Природу за короткий срок. Если каждый смышлённый человек теперь может это сделать — значит, многие этого захотят! Если захотят многие — значит, у многих (хотя не у всех) это получится! Так началась кристаллизация исследовательских коллективов вокруг многих удачливых первооткрывателей — тех, кому доставлял удовольствие сам процесс преподавания новой науки. Ньютон оказался исключением: он не любил преподавать толпе студентов, хотя непрочь был обучать своих секретарей — то есть, аспирантов.

Каждый математик знает сейчас имя Брюса Тейлора — поскольку часто разлагает ту или иную функцию в степенной ряд Тейлора. Но сам Тейлор научился этому ремеслу у Ньютона, когда работал с ним вместе над изложением системы Анализа! Так же каждый знает имя Франсуа Лопиталья — самого «писучего» из питомцев школы Бернулли, автора первого популярного учебника по Анализу Функций.

Педагогический эксперимент Якоба и Иоганна Бернулли в Базеле на рубеже 17–18 веков особенно интересен — как модель светлого будущего любой науки. Два брата-профессора в провинциальном университете сначала изучили по статьям Лейбница новые открытия в Анализе Функций. Потом они сами стали делать открытия в этой сфере — и втянули в этот род занятий большую группу даровитой местной молодёжи. Двое юношей — Даниил Бернулли и Леонард Эйлер — стали потом членами всех научных академий Европы, даже не побывав в соответствующих столицах! Эйлеру это не было нужно: он регулярно читал или просматривал все доклады, публикуемые в «Известиях» основных академий, и сам посылал туда отчёты о своих открытиях. Опубликовать все труды Эйлера при его жизни (1707–1783) не сумели все академии!

Так учёное сообщество математиков, физиков и астрономов быстро охватило Европу. Академии наук стали размножаться, образуя новые центры роста во многих университетах. Таково было начало эпохи Просвещения — то есть, переноса научной культуры из академических кругов в широкие массы образованного или полубразованного населения Европы.

В 1727 году, случайно попав в Англию и присутствуя на похоронах Ньютона, молодой журналист Франсуа Вольтер (1694–1778) был поражён: англичане хоронят своих учёных наравне с королями! А ведь рядовые французы о Ньюtone ничего не знают! Надо рассеять это невежество, переведя великие книги Ньютона с учёной латыни на хороший французский язык! Сказано — сделано. Вольтер вошёл в историю науки, как первый публикатор трудов Ньютона на живых языках континентальной Европы. Его помощницами стали просвещённые парижские дамы, воспитанные на стихах Корнеля, Расина и Мольера: теперь в это созвездие был включён Ньютон.

Можно ли ограничить научное просвещение кругом любознательной аристократии — дворянской, или профессорской? Конечно, нет! Так считал разночинец Вольтер. Так же думал его преемник в просвещении французов — журналист Дени Дидро (1713–1784). В молодости он многое перепробовал, побывал и в тюрьме — как Вольтер, за сомнительные или несомненно безбожные статьи. В 1749 году один издатель предложил Дидро перевести на французский язык одну из английских энциклопедий. Конечно, дополнив её статьями, более близкими к запросам французов! Дидро поразмыслил над этим проектом — и решил, что пробил его звёздный час.

Можно и нужно расширить заурядный толковый словарь англичан статьями высокого научного уровня — так, чтобы на новой Энциклопедии выросли поколения просвещённых французов! Для этого нужно привлечь выдающихся авторов — хотя бы из Академии Наук. Но как их уговорить? Кто легче поддастся на такие уговоры? Даламбер — вот кто!

Дело в том, что академик и математик Жан ле Рон д'Аламбер был подкидыш: незаконнорождённый сын некой знатной дамы, воспитанный по указанию священника в семье стекольщика и нежно любивший своих приёмных родителей. Он не отказал в просьбе Дидро: стал научным редактором Энциклопедии и привлёк к этой работе многих учёных коллег. Астрономы Лаланд и Лакай, химики Фуркруа и Лавуазье, социолог и философ Кондорсе, много других ярких умов. В итоге Энциклопедия стала крупным памятником научной мысли. Она при-

учила многих французов без предубеждения смотреть на окружающий их мир — в том числе на церковь и на государство. Такой взгляд чреват ересью или революцией: заметив это, правители Франции запретили печатание Энциклопедии, после первого десятка её томов.

Многие академики отказались от дальнейшего сотрудничества. Но сам Дидро не колебался: он понял, что Энциклопедия — главное дело его жизни, и был готов довести его до конца хоть в одиночку, ценою любых усилий. Печатание новых томов было перенесено в Швейцарию и завершилось в 1771 году. Дидро, конечно, разорился при этом — и потому охотно пожертвовал накопленную им библиотеку Екатерине 2, готовой оплатить его долги. Он был приглашён в Петербург — но не встретил там ожидаемого восхищения и вернулся на родину, где умер в 1784 году, ненамного пережив Даламбера, Эйлера и Даниила Бернулли. До великой Революции, которую Дидро готовил всей своей работой, оставалось 5 лет.

Если в абсолютистской Франции 18 века журналисты и даже учёные мужи играли порою роль народных трибунов — глашатаев революции, то в Англии, давно пережившей свою революцию, атмосфера была совсем иная. Никого не заботило, что страну правят короли-немцы, или что кресло в парламенте можно купить за большие деньги. Зато небогатое Королевское Общество могло договориться с богатым Адмиралтейством о посылке в Тихий Океан научной экспедиции: так на сцене появился капитан Джемс Кук (1728–1779).

За последние 12 лет жизни он проделал три кругосветных путешествия, открыл и исследовал множество островов и архипелагов (от Новой Зеландии до Гаваев), составил первую подробную карту приполярных областей на юге и на севере Тихого океана. Куку не повезло открыть Антарктиду лишь потому, что предсказанный географами Южный материк оказался гораздо меньше, чем ожидалось. Он весь уместился внутри ледяных барьеров — и потому был замечен только в 1821 году русскими и английскими моряками.

Зато Бэнкс и другие натуралисты, сопровождавшие Кука, открыли удивительное своеобразие флоры и фауны Австралии. Одновременно был проверен способ борьбы с цингой (с помощью лимонов) — хотя первое представление о витаминах возникло через полтора столетия. Те же натуралисты заметили сходство между вулканами на Гавайях и в Исландии. Но угадать природу вулканизма, распознать глобальное движение земной коры за привычными землетрясениями и извержениями — на такую дерзость решился только кабинетный геолог Джемс Хаттон (1726–1797) — ровесник Кука и друг Уатта.

Глава 20. Новое созвездие астрономов

Благодаря трудам Галилея и Кеплера, в 17 веке астрономия стала главной ветвью естествознания. Конечно, прямые опыты со звёздами и планетами были ещё невозможны. Но очевидное разнообразие небесных тел позволяло проверять по их виду и движению самые изощрённые рассуждения теоретиков. Например, теория гравитации, предложенная Ньютоном, предсказала, насколько земной шар сплюснут возле полюсов. Как проверить эти предсказания?

Первую проверку нечаянно устроил астроном Жан Рише, посетив в 1672 году Гвиану — ради синхронных наблюдений Марса, для измерения межпланетного расстояния. Вернувшись в Париж, Рише заметил, что его маятниковые часы несколько отстали от часов, оставшихся в Париже. Согласно расчётам Гюйгенса, это означало, что экваториальный радиус Земли несколько *больше* её парижского радиуса. Насколько больше? Тут нужны точные измерения! Ради них Парижская Академия в 1730-е годы направила две экспедиции в Перу и Лапландию — для измерения длины одного градуса меридиана в экваториальной и приполярной областях. Результаты измерений подтвердили расчёты Ньютона. Между делом перуанская экспедиция впервые познакомилась с гигантским разнообразием природы Амазонии. Осмыслять его начал шведский биолог Карл Линней в середине 18 века.

Между тем Джон Флэмстид (1646–1719) — первый «государственный» астроном Англии — составил в начале 18 века новый звёздный каталог северного неба, используя телескоп и часы. В каталоге Флэмстида было втрое больше звёзд, чем у Тихо Браге, а точность их координат стала в шесть раз выше. К этому моменту Эдмунд Галлей (друг Ньютона, будущий преемник Флэмстида) составил первый каталог звёзд южного неба: он вёл наблюдения на острове св. Елены.

Вернувшись в Англию, Галлей (1656–1742) занялся упорядочением вороха наблюдений за кометами в истекшие десятилетия и века. Тут его ждало замечательное открытие: в 1705 году Галлей заметил *периодичность* возвращений одной кометы, которую он сам наблюдал в 1682 году. Оказалось, что за ней следили и раньше: в 1607, 1531 и 1456 годах! Значит, потомки увидят её вновь — в 1758 году!

Мы знаем теперь, что комету Галлея наблюдали (не зная друг о друге) античные астрономы в Китае и Элладе — ещё до Гиппарха. Она возвращается к Солнцу почти регулярно — с интервалом от 72 до 76 лет. Отклонения от точного периода вызваны тем, что на комету Галлея действует притяжение больших планет: Юпитера и Сатурна. Опозда-

ние этой кометы к сроку, рассчитанному Галлеем, позволило астроному следующего поколения — Алексису Клеро — впервые оценить массы больших планет. А в 1986 году навстречу вернувшейся комете Галлея с Земли вылетели сразу три автоматических зонда-исследователя. . .

Сменив Флэмстида на посту королевского астронома, Галлей продолжал следить за небесами. В 1718 году он заметил, что координаты трёх ярких звёзд — Сириуса, Арктура и Прόциона — изменились, в сравнении с каталогом Тихо Браге. Значит, эти звёзды движутся относительно Солнца — или оно летит мимо них! Значит, они «лежат» недалеко от Солнца — и есть надежда узнать расстояние до них, измерив их годовые параллаксы! Галлей попытался это сделать — но безуспешно: его телескопы были недостаточно точны. Успех пришёл лишь через сто лет — когда Фридрих Бессель измерил параллакс шустрой звёздочки 61 Лебеда, ещё не известной Галлею. Тогда же Фридрих Струве измерил расстояние до Веги, а Томас Гендерсон — до Альфы Центавра, ближайшей из ярких звёзд.

Завершая свою карьеру, Галлей знал, что передаёт обсерваторию в Гринвиче в хорошие руки: в Англии вырос Джеймс Брэдли (1693–1762). Безуспешно пытаясь измерить параллаксы ярких звёзд, Брэдли натолкнулся в 1728 году на ещё более интересное открытие: *одинаковый* сдвиг всех звёзд за полгода и их *возвращение* на прежние места ещё через полгода. Этот странный феномен напомнил Брэдли столь же странное наблюдение Кассини и Рёмера за спутниками Юпитера — полвека назад. Там все объяснилось конечной скоростью света; не вмешалась ли она и здесь? Да, именно так! Явление звёздной *абerrации*, открытое Брэдли, позволило ему измерить скорость света иным способом — независимым от способа Рёмера.

Регулярные точные измерения звёздных координат позволили Брэдли различить в сложном движении Земли «дрожь» следующего порядка малости — по сравнению с тысячелетней прецессией Земли, открытой Гиппархом. Эта новая дрожь (Брэдли назвал её *нутацией*) вызвана неравномерным притяжением Луны, движущейся по эллипсу (вокруг Земли): её измерение позволило Брэдли и Клеро оценить отношение масс Луны и Земли.

Ещё одним впечатляющим успехом Брэдли стало измерение углового диаметра Юпитера в 1733 году: оказалось, что эта планета гораздо больше Земли! Так новые поколения астрономов продолжали картировать Солнечную систему и звёздный мир.

Незадолго до очередного возвращения кометы Галлея (1755) в Кёнигсберге была напечатана первая книга математика и астронома

Иммануила Канта: «Естественная теория неба». Этот ровесник Кука и Хаттона попытался угадать механизм *развития* звёздного мира, не желая верить, будто этот мир работает неизменно — периодически, как идеальные часы. Кант (1724–1804) начал рассуждение с приливов в океане, которые (если верить Ньютону) вызваны притяжением Луны. Как они влияют на вращение земного шара, в масштабе тысяч или миллионов лет? Они тормозят это вращение! Кстати: обратное влияние Земли на Луну (ещё более сильное) уже затормозило наш спутник — так, что он постоянно обращён к Земле одной стороной! Такое же будущее ждет и нашу планету: через миллионы лет Луна будет постоянно видна в небе *одного* полушария Земли, а приливов в океанах вовсе не будет!

Раньше или позже сходная картина повторится, с участием Солнца. Ведь оно тоже вызывает приливы в теле Земли, тормозя её вращение! Значит, со временем Земля будет смотреть на Солнце одним боком: там будет вечный день, а в другом полушарии — вечная ночь!

Кстати: прекращение видимых вращений Луны и Земли вокруг их осей означает потерю *момента импульса* в системе Земля–Луна. Во что перейдёт эта сохраняющаяся механическая величина? Ответ ясен: Луна отойдёт дальше от Земли; быть может, она вовсе покинет Землю! Рассчитать точно исход такой эволюции Кант не смог и оставил эту проблему более молодым математикам — Лагранжу и Лапласу. Сам Кант задумался о другом: если Земля понемногу «теряет» Луну, то как она её обрела? Как Солнце обрело Землю и прочие планеты? Не извергло ли оно их из себя в форме огромного фонтана материи, вызванного неким внешним воздействием? Например, при пролетании рядом другой звездой?

Кстати: возможен ли такой контакт двух звёзд? Ведь они разделены огромным расстоянием — его даже измерить ещё не удалось! Как устроена и как ведёт себя совокупность звёзд, наполняющих Вселенную? Хаотично ли их движение — или оно упорядочено, как среди планет Солнечной системы? Например: что такое Млечный Путь? Похоже, что это диск, состоящий из множества звёзд; Солнце — рядовая звезда в нём, где-то на окраине диска. . . Как проверить эту гипотезу? Это Кант не сумел сделать — и стал философом, занявшись изучением возможностей и ограничений человеческого разума.

Первый наблюдатель, выяснивший некоторые детали строения Галактики, родился в 1738 году в Ганновере — германской области, принадлежавшей английскому королю. В 1757 году юный Вильгельм Гершель (сын военного музыканта и сам — органист) переехал в Англию, чтобы избежать солдатчины в Семилетней войне. В просве-

щённой Англии хороший музыкант не мог остаться без работы. Вдобавок, у парня были золотые руки: он научился сам чинить органы, а потом и строить их. Но чем заполнить досуг?

Гершель увлёкся процветающей английской наукой. Он прочёл книгу Ньютона «Оптика» и решил смастерить телескоп своими руками: быть может, ему повезёт открыть на небе некую новинку? С годами построенные Гершелем телескопы становились всё лучше: их бронзовые зеркала он шлифовал сам, вместе с сестрой Каролиной. В 1781 году труды любителя увенчались поразительным успехом: Гершель открыл в Солнечной системе новую планету — Уран.

Почему этого никто не сделал раньше? Потому, что никто не искал новые планеты: все любители искали новые кометы или новые звёзды. Гершель тоже сперва принял Уран за звезду; потом разглядел, что это не точка, а пятнышко — и принял его за комету. Но долгое слежение за «кометой» позволило рассчитать её орбиту: оказалось, что это планета с периодом около 80 лет (чуть больше, чем у кометы Галлея — но у той орбита более вытянута). Теперь Гершель прославился на всю Европу — но не почил на лаврах, а продолжил изучение планет и их спутников.

Он открыл два спутника Урана, ещё два спутника Сатурна; Гершель также выяснил периоды вращения Сатурна и его колец (для Юпитера это раньше сделал Брэдли). После таких открытий Гершель перенёс своё внимание в звёздный мир.

Он начал с попыток измерить параллаксы двойных звёзд; потерпев неудачу, Гершель установил, что большинство парных звёзд обращаются около общего центра тяжести, повинаясь законам Кеплера. Затем Гершель принялся измерять скорости сдвига тех звёзд, которые изменили своё положение на небе в темпе десятилетий или веков (как Сириус и Арктур). Изучив дюжину таких звёзд, Гершель нарисовал векторы их сдвигов по небу — и обнаружил, что все они «разбегаются» в стороны от некой точки на небосводе, ничем не примечательной.

Гершель сразу сообразил: это не звёзды разбегаются в стороны, а само Солнце летит в их сторону! Мы теперь часто видим такую картинку на телеэкране; то же самое видит лыжник или бегун, мчась среди деревьев.

Так Гершель узнал вектор скорости Солнца — в процессе вращения Галактики около её оси. Затем Гершель заинтересовался тонкой структурой Млечного Пути: из чего состоят заметные в нём светлые сгустки и тёмные пятна? Оказалось, что каждый яркий комок распадается на звёзды, тогда как туманности бывают светлые и тёмные. Они, вероятно, состоят из пыли, и иногда освещены соседними звёздами, как фонарями.

Поняв всё это, Гершель захотел понять строение Солнца: прежде всего, тёмных пятен на нём. Тут он грубо и показательно ошибся, ибо термодинамику вовсе не знал! Научиться ей тогда можно было только у инженеров-практиков (вроде Уатта) — но старый Гершель с такими людьми не общался. По неведению, он решил, что пятна на Солнце суть прогалины в его раскалённых облаках: там заметна тёмная (холодная) поверхность Солнца, мы же ощущаем только излучение верхнего слоя солнечной атмосферы! На всякого мудреца — довольно и простоты. . .

Однако не все увлечения старого Гершеля приводили к заблуждениям. Однажды он решил испытать: какую долю *тепла* несут от Солнца лучи разных цветов? Пропустив свет Солнца через призму, Гершель положил термометры в разные зоны спектра, не забыв (для контроля) положить два термометра по бокам спектра. И вот: один из них (рядом с красной зоной) заметно нагрелся! Так были нечаянно открыты инфракрасные лучи. Через год (1801) другой астроном — Риттер открыл ультрафиолетовые лучи: тут пригодилась химическая активность света.

Глава 21. Новая Империя Математиков

Успехи Математиков в 18 веке можно сравнить с триумфами астрономов: они тоже открывали крупные новинки в воображаемом мире моделей Природы, который создал Ньютон.

Первым новым континентом в мире Анализа стала Теория Функций Комплексного Переменного. Её создал Эйлер, начав с простого шага: в 1740 году он подставил комплексные числа (вместо действительных) в качестве значений переменной величины в те степенные ряды, которыми Ньютон изобразил давно привычные функции — логарифм и экспоненту, прямые и обратные тригонометрические функции. Сразу открылись чудеса: синус и косинус оказались родными братьями показательной функции! (См. формулу на стр. 100.) Потом логарифм стал многозначной функцией — и так далее. . .

За такие неудобства Эйлер получал всё новые награды от Природы. Сперва обнаружилась аналитическая связь между новым числом e и давно знакомым числом π :

$$e^{2\pi i} = 1$$

Потом Эйлер установил удивительную формулу: сумма ряда чисел,

обратных квадратам, равна одной четверти от π в квадрате!

$$\frac{1}{1^2} + \frac{1}{2^2} + \frac{1}{3^2} + \frac{1}{4^2} + \frac{1}{5^2} + \dots = \frac{\pi^2}{6}$$

Сходные формулы получились для других чётных степеней — но чему равна сумма ряда обратных кубов, неведомо до сих пор.

Так Математический Анализ Гладких Функций неожиданно сплёлся с Арифметикой Целых Чисел. Но не все проблемы этого рода Эйлеру удавалось решить. Попытка доказать Большую Теорему Ферма для степени $p = 5$ Эйлеру не удалась. Он обратил на неё внимание научной молодёжи: Лагранж справился со степенью $p = 5$, но общий случай любого простого p подчинился математикам лишь в конце 20 века.

Ещё интереснее получилось с доказательством иррациональности числа π . Первым его построил Иоганн Ламберт (1766), используя непрерывные дроби — но в 1947 году американец Нивен нашёл такое простое доказательство (с интегралами), открыть которое могли бы Ньютон, Лейбниц или Бернуллы! 250 лет его никто не замечал. . .

Так «чудесил» Эйлер в Аналитической Теории Чисел, которую он сам основал. Иные чудеса он открыл в Вариационном Исчислении — то есть, в теории гладких функций, зависящих от *бесконечного* семейства числовых переменных. Многие физические задачи на максимум и минимум требуют такого исчисления. Ещё Ньютон нашёл таким путём Брахистохрону (Циклоиду) — кривую наискорейшего спуска саней по ледяной горе. Эйлер нашёл общие методы решения многих вариационных задач. Так он рассчитал форму Цепной Линии — положение тяжёлой нити, закреплённой в двух точках. Оказалось, что это вовсе не парабола (как хочется думать), а график гиперболического косинуса! Если вращать эту линию вокруг горизонтальной оси, то получится поверхность минимальной площади, ограниченная двумя «параллельными» окружностями в пространстве. Её нетрудно получить из мыльной плёнки. . .

Эйлер нашёл также оптимальную форму упругой спирали (пружины), обеспечивающей равномерный ход заводных часов: это давно известная спираль Архимеда. Какие же задачи Анализа *не* удалось решить Эйлеру и его современникам?

Первым на такую проблему натолкнулся Пьер Мопертюй — новый берлинский друг Эйлера. Он прославился после экспедиции в Лапландию, где измерял сплюснутость земного шара около Северного полюса. Вскоре молодой король Пруссии Фридрих 2 пригласил Мопертюй в Берлин — чтобы тот омолодил и активировал здешнюю Академию

Наук. Для начала, Мопертюи переманил Эйлера из Петербурга: там 34-летнему гению было не с кем на равных поговорить о науке!

Мопертюи мечтал открыть новый закон Природы, не замеченный Ньютоном или Лейбницем. В 1744 году смелому французу повезло: он заметил, что все механические движения происходят так, что некий интеграл (Мопертюи назвал его Действием) принимает наименьшее значение на выбранном отрезке времени. Мгновенного значения Действие не имеет: поэтому «сохраняться» во времени (как энергия) оно не может. Физический смысл Действия таков: оно характеризует *переход* энергии из кинетической формы в потенциальную, или обратно. Принцип, открытый Мопертюи, утверждает, что все механические процессы переводят энергию из одной формы в другую *самым экономным путём* — как будто Природа «ленится», избегая лишних нагрузок.

Мопертюи был в восторге от своего открытия и сразу раструбил о нём на весь свет, добавив философские выводы: например, что наш мир — наилучший из всех возможных миров. Эта фраза тут же вызвала гневную отповедь Вольтера: какая чушь! Ведь в нашем мире так много зла! Вдобавок, наш мир изменяется — а наилучшему миру меняться было бы некуда! Так физик Мопертюи нечаянно разворошил осиное гнездо гуманитариев-прогрессистов, и горько поплатился за это. Програв письменный спор с непобедимым Вольтером, он был вынужден уйти с поста президента Берлинской Академии Наук.

Эйлер не участвовал в этой полемике, размышляя о математической сути принципа Мопертюи. Вскоре ему стало ясно то, чего Мопертюи не заметил: все физические примеры укладываются в принцип *экстремального* Действия — но не ясно, почему в механике Действие должно быть Минимальным! Геометрическая суть дела такова: график гладкой функции Действия (зависящей от очень многих переменных) имеет много разных критических точек, где касательная к графику горизонтальна. Среди них есть ямы (минимумы), седла (перевалы) и холмы — максимумы. Мопертюи заметил в механике только «ямы». А можно ли где-нибудь в Природе увидеть «седла» или «холмы» Действия?

Нет ли их в жизни человеческого общества? Биографию простого крестьянина или рядового священника можно, вероятно, считать траекторией Минимального Действия. Но вот сам Мопертюи открывает свой принцип; Вольтер замечает ошибку в рассуждении Мопертюи; Эйлер расшифровывает математический смысл рассуждений Вольтера... Каждое из этих прозрений *нельзя* изобразить «ямой» на графике Действия! Скорее, это «перевалы» — осенённые соседним холмом, откуда видна вся красота и мудрость Мироздания. Вероятно, учёные,

пророки и прочие герои отличаются от обычных людей именно тем, что их жизненный путь состоит из скачков с одного «перевала» на другой — включая передышки в «ямах» (за обедом или во сне), где лидеры (*пассионарии*) не отличаются от обычных граждан (*гармоников*).

Если эта модель Природы верна, то «холм» изображает биографию Божества — или святого человека. В таком случае суть споров между верующими и безбожниками сводится к простому вопросу: всегда ли занят хоть один «холм» на графике Действия? Или обычно холмы пустыют — кроме редких моментов, когда очередной пророк, прорицатель либо первооткрыватель говорит от имени Высшей Силы?

Сам Эйлер (как и Ньютон) был верующий христианин и постоянный открыватель научных истин. Он много раз чувствовал себя вдохновенным свыше — и готов был признать *постоянное* присутствие Бога в Природе. Однажды ему пришлось отстаивать эту точку зрения в публичном споре с Дидро. Дело было в 1770-е годы в Петербурге, куда Эйлер вернулся из Берлина по приглашению Екатерины 2, а Дидро напёс визит своей благодетельнице. Выступая на собрании российских академиков, Дидро стал убеждать их, что прогресс в науке и в обществе связан с торжеством атеизма. Мало кто из учёных согласился с этим тезисом — но возразил один Эйлер.

«Господин Дидро! Нам всем — учёным людям — приходится делать открытия. Я в такой момент чувствую, что Бог открывает мне новую истину, которой я не достиг бы своим человеческим умом. Можете ли Вы объяснить мне этот процесс, не привлекая Бога — раз Вы в Него не верите?»

Дидро промолчал: ему нечего было ответить, ибо сам он ни одного открытия в науке не сделал. Но замолчал и Эйлер — потому что свою догадку о роли «сёдел» и «холмов» на графике Действия в описании человеческих поступков он не мог превратить в строгую научную теорию. Как можно *измерить* Действие, необходимое для открытия одной из теорем Эйлера? Какое количество кинетической энергии перешло при этом открытии в потенциальную форму? Какой внешний толчок перебросил биографию Эйлера из очередной «ямы» в то «седло», где он сделал очередное открытие?

Все эти вопросы не получили удачных ответов даже в 20 веке. Дело в том, что они относятся к *неравновесным* физическим системам, где полная энергия *не* сохраняется — потому что регулярно притекает извне, либо утекает наружу в больших количествах. Физика таких систем, способных резко изменять свою структуру, начала развиваться в 1970-е годы. Она сразу породила новые разделы математического анализа:

Теорию Катастроф, Геометрию Странных Аттракторов и т. п. Через 200 лет после Эйлера его наследники заметили вдруг, что эта доля наследства оставалась почти не тронутой. Теперь она вновь бурно развивается под именем Синергетики — в том числе усилиями российских физиков, математиков и историков. Кое-кто был уже увенчан за это Нобелевской премией — хотя бы Илья Пригожин в 1977 году. Что будет дальше? Поживём — увидим.

Глава 22. Новый химический интернационал

До середины 18 века химические исследования в Европе шли малым ходом. Самые активные умы увлекались математикой, астрономией или небесной механикой. Химические реакции между бесчисленными непонятными веществами казались неким баловством — вроде сбора грибов в лесу. Гипотеза об атомах была близка физикам — но химики относились к ней скептически, не понимая, как можно изучать отдельные атомы железа или серы.

Напротив, теоретические рассуждения об универсальных природных стихиях (Теплороде и Флогистоне) плохо увязывались с опытами химиков. Например, в Петербурге Ломоносов был уверен, что никакого Теплорода в природе нет: теплота есть мера кинетической энергии атомов (или молекул) любого вещества. Но насчёт Флогистона Ломоносов не был уверен. В 1700 году химик Шталь догадался, что реакции горения угля и ржавения железа имеют общий механизм. Он предположил, что уголь и железо в этих реакциях *теряют* некое вещество (Флогистон), ответственное за любую реакцию с выделением тепла. Но уголь при горении теряет вес — железо же, ржавея, становится тяжелее! Ломоносов и другие химики в середине 18 века установили, что во многих (или во всех?) химических реакциях суммарный вес реагентов не изменяется. Каков же вес Флогистона: положительный или отрицательный? Тут явное противоречие!

Выход из тупика нашёл в 1750-е годы аккуратный шотландец Джозеф Блэк, занявшись химией и термодинамикой реакций, включающих уголекислоту. Этот газ был открыт Ван Гельмонтом еще в 1620 году; но открыватель понял только, что негорючий газ получается из горящего дерева и как-то используется живым растением при его росте; как именно — непонятно. Теперь Блэк выделил уголекислоту при прокаливании обычной извести — и обратно, получил обычную известь из прокалённой, оставив её на воздухе. Вскоре Блэк заметил: даже если

убрать углекислоту из «выгоревшего» воздуха, пропустив его через щёлочь — остаток воздуха всё равно не поддерживает горение! Исследовать остаток Блэк поручил своему ученику — Дэниэлу Резерфорду; тот открыл новый газ — азот (1772). Но ещё раньше более смелые химики — Кевендиш, Пристли и Шееле — выделили водород и кислород.

Кевендиша часто называют самым богатым из учёных, самым учёным из богатей и самым нелюдимым среди учёных. Всё это — правда, поскольку Генри Кевендиш (1731–1810) был шестым герцогом Девонширским — потомком знаменитого корсара времён Елизаветы 1. Но этот герцог испытывал робость от общения с людьми — если их бывало более одного сразу. Оттого всю долгую жизнь Кевендиш прожил в одиночестве: один работал в библиотеке и в лаборатории, домашней прислуге велел не попадаться ему на глаза. Конечно, о своих открытиях Кевендиш сообщал Королевскому Обществу только письменно! А открытия были замечательные — ибо руки работали так же уверенно, как соображала голова. В 1766 году Кевендиш доложил Обществу, что он выделил из разных кислот удивительно лёгкий горючий газ; имя «водород» этот газ получил лишь в 1774 году, когда Кевендиш сжёг его в кислороде и получил воду.

В получении кислорода Кевендиша опередили два удалых молодца: британский священник Джозеф Пристли и шведский аптекарь Карл Шееле. У них были свои причуды. Пристли был демократ: он одобрял американских колонистов, восставших против Англии (1776), и в конце концов переселился в Америку. Перед этим Пристли устроил великую охоту за новыми газами, выделяя их в разных реакциях и собирая над ртутью. Так удалось различить три газа, растворимых в воде: аммиак, двуокись серы и хлористый водород (их состав был не известен Пристли). Затем, нагрев красную окись ртути (1774), Пристли выделил из неё активный газ — кислород. Однако Пристли нехватило дерзости и упорства, чтобы понять: активность кислорода достаточна для объяснения почти всех химических реакций, без привлечения вымышленного Флогистона! Этот смелый тезис выдвинул и доказал через 10 лет Антуан Лавуазье; Пристли тогда был уже в Америке и химию оставил.

Карл Шееле (1742–1786) прожил недолгую жизнь, поскольку регулярно травился разными химикалиями, пробуя их на запах и на вкус. Среди испробованных им были такие яды, как сероводород, фтористый водород и цианистый водород. Как Шееле ухитрился дожить до 43 лет — трудно уразуметь! Видимо, он был ловок и осторожен в чудовищно опасных опытах. . . Так или иначе, Шееле сыграл ведущую роль

в открытии хлора, марганца, бария, вольфрама, молибдена, кислорода и азота. Хотя он часто опаздывал с публикацией своих открытий, и приоритет доставался другим учёным. Шееле решительно отклонял все предложения стать профессором или придворным химиком в разных столицах. Возня в лаборатории была высшим счастьем его жизни. Кроме новых элементов, Шееле выделил большое семейство новых кислот: неорганических и органических. Но о том, что общим активным фактором в кислотах является водород, Шееле так и не успел узнать. . .

Не узнал этого и последний великий химик 18 века — Антуан Лавуазье (1743–1794). Сын зажиточного крестьянина, он хотел быть богатым и независимым человеком. Даже став академиком, Лавуазье стремился к новому богатству. Он стал консультантом объединения откупщиков налогов и ввёл научную организацию труда в их разнообразные предприятия. Эффект был велик: Лавуазье стал богат, но его имя стало ненавистно многим лидерам будущей революции. Когда грянула революция, Лавуазье не решился бежать из страны (бросив нажитое имущество), но вступил в Комиссию по разработке новой системы мер и весов. Здесь он работал так же успешно, как прежде — среди финансистов; но новые заслуги не заслонили старых грехов — в глазах Марата и Робеспьера. С началом якобинского террора Лавуазье был арестован; вскоре его голова упала под гильотину. Что осталось для живых?

Очень многое! Лавуазье первый начал составлять таблицу химических элементов, стремясь представить все реакции между веществами как комбинаторику элементов, в точно измеренных весовых пропорциях. Тщательно описывая условия всех реакций и ту аппаратуру, в которой они идут, Лавуазье ввёл в химии единую систему научной документации. В ней появились краткие *обозначения* элементов: большинство новых названий предложил сам Лавуазье (1785), хотя во многих случаях он ошибался. Ошибки были связаны либо с неумением выделить истинный элемент из его соединения (обычно — окисла), либо с неспособностью поверить в наличие двух разных элементов со сходными свойствами.

Так, Лавуазье считал кислород единственным, универсальным окислителем. Значит, любая кислота содержит кислород! А тяжёлый газ хлор — это какое-то соединение кислорода, раз он обладает сходной активностью! Все эти открытия и заблуждения Лавуазье воплотил в новом *учебнике* химии, изданном в Париже в год начала революции — 1789.

Почти одновременно (1787) в Париже был издан последний том учебника Лагранжа «Аналитическая механика». Через сто лет после

великой книги Ньютона французский математик решил придать окончательную алгебраическую форму аксиомам и теоремам Математической Физики. Чертежи и геометрические рассуждения Лагранж изгнал из своего курса; работа идёт с дифференциальными уравнениями, которые берутся из вариационного исчисления — согласно принципу Наименьшего Действия.

Главной целью своей работы Жозеф Лагранж (1736–1813) считал доказательство *устойчивости* Солнечной системы. Он уподобил набор планет — системе взаимосвязанных маятников, передающих друг другу избыток кинетической энергии. Каждая планета подобна двумерному маятнику: ведь её орбита есть эллипс с определённым эксцентриситетом (отношением расстояния между фокусами к длине большой оси), а плоскости разных эллипсов пересекаются в общем фокусе (где стоит Солнце) под малыми углами. В ходе вековой эволюции эти плоскости слегка колеблются, эллипсы сжимаются, раздуваются либо поворачиваются — но вся система не идёт вразнос и не вырождается, ввиду сохранения полной механической энергии (открытого ещё Лейбницем).

Так Лагранж доказал «вечность» Солнечной системы — в рамках законов всемирного тяготения и сохранения энергии. Но как могла *возникнуть* такая система? Ясно, что при этом должны были действовать *иные* природные силы (кроме тяготения) и *иные* источники энергии! Для понимания этих вещей понадобилась новая физика Электромагнитных явлений: она развилась в 19 веке, ради объяснения огромного и сложного зоопарка химических процессов.

Глава 23. Союз электричества и химии

В НОВОМ ВЕКЕ

Началом электроэнергетики можно считать изобретение первого электроконденсатора — «Лейденской банки» — в 1745 году физиком Мушенбруком. Вскоре американец Бенджамин Франклин (будущий посол США при Французской Республике) сопоставил треск искр при разряде банки — с громом и молнией во время грозы. На этой основе Франклин изобрёл громоотвод (1770). Другое применение лейденской банке нашёл изобретательный Кевендиш: в 1785 году он использовал искровой разряд для того, чтобы сжечь азот в атмосфере кислорода — сама собою эта реакция не идёт. В итоге Кевендищу удалось произвести полный анализ газов атмосферы. Кроме углекислоты, кислорода

и азота, остался малый пузырек «воздуха», который не участвовал ни в каких реакциях. Это был первый благородный газ — Аргон. Но его открыл Вильям Рамзай (1852–1916) лишь через сто лет после Кевендиша (в 1894 году); до того никто из химиков не мог вообразить «нереагирующие» вещества, поэтому их не искали в природе.

Полвека работы химиков и физиков с Лейденской банкой породили букет интересных открытий. Так в 1777 году Шарль Кулон с помощью изобретённых им (и Кевендишем) крутильных весов измерил силу притяжения электрических зарядов. Она оказалась обратно пропорциональна квадрату расстояния между зарядами — аналогично гравитации, хотя намного *сильней* её. Однако полноценное применение электричества как химической силы требовало источника *постоянного тока* зарядов по проводнику. Это изобретение сделал Алесандро Вольта (1745–1827) в 1799 году. По сути дела, он обратил открытие Кевендиша: использовал реакцию между металлом и кислотой, как источник электрического тока. Этот ток можно использовать, как инициатор новых реакций — что и начали делать удалые химики 19 века.

В 1800 году Вильям Никольсон разложил током воду на водород и кислород. Затем на сцену вышел Хамфри Дэви (1778–1829) — самоучка и аптекарь, ставший великим добытчиком новых элементов, учителем нового поколения электрохимиков. Сначала Дэви пытался разложить электротокком растворы обычных солей; но вода мешала выделению продуктов электролиза. Тогда Дэви перешёл к электролизу *расплавов* солей; перед этим он построил электробатарею большой мощности — и получил Электрическую Дугу в воздухе между электродами (1805).

В 1807 году Дэви выделил Калий и Натрий из расплавов их солей — хлоридов. Одновременно он получил Хлор и понял, что этот газ — особый элемент, близкий по свойствам кислороду. Вскоре Дэви разобрался в строении соляной кислоты: он понял, что кислота может *не содержать* кислорода! Коллега и соперник Дэви во Франции — Гей-Люссак — доказал, что Иод, недавно выделенный из золы водорослей — тоже элемент, близкий к хлору. На основе этих открытий Дэви впервые объявил, что водород (а не кислород!) является общим активным началом всех кислот.

Но как увязать этот факт с *восстановительной* (а не окислительной!) активностью газа водорода — это оставалось не ясным ещё 30 лет. Разрешить эту загадку сумел лучший ученик Дэви — Майкл Фарадей (1791–1867). Дело в том, что Дэви оказался ещё и превосходным лектором. Этот талант проявился в Королевском Институте — новой организации народного просвещения, возникшей в 1800 году, когда война

против Франции вынудила многих состоятельных англичан прекратить поездки на материк. Публичные лекции Дэви по химии сопровождалась красивыми опытами и были образцом артистической педагогики. Подросток Фарадей случайно попал на такую лекцию — и страстно захотел превратиться из подмастерья переплётчика в ассистента учёного химика.

Поскольку оба героя — Дэви и Фарадей — были «трудоголиками», их союз быстро развился в тесное сотрудничество. В 1813 году Фарадей сопровождал Дэви в поездке во Францию. Там Фарадей присутствовал при беседах Дэви с его коллегами и тихо наматывал на ус обсуждаемые проблемы, выбирая самые яркие темы для будущих самостоятельных исследований.

Первым крупным успехом Фарадея в 1820 году стало ожижение первых газов (CO_2 , H_2S , NH_3) путём высокого давления (ведь холодильников ещё не было). Затем Фарадей продолжил изыскания Дэви в области электролиза, пытаясь навести там *количественный* порядок и связать его с гипотезой об *атомах* элементов, вновь возрождённой Дальтоном.

Основой такого возрождения стало открытие французского химика Жозефа Пруста. Накануне революции (1788) он заметил, что отношения весов веществ — участников реакции обычно выражаются несложными рациональными дробями. Проверка этой гипотезы заняла всю творческую жизнь Пруста. Но уже в 1800 году Джон Дальтон (1766–1844) сделал из наблюдений Пруста далеко идущие выводы. Если все химические элементы состоят из атомов, то чем различаются эти атомы? Какие их различия легче измерить в эксперименте? Конечно, это *веса* атомов! Ясно, что соотношения Пруста выражают различные веса атомов разных элементов. . .

Но без понимания разницы между Атомом и Молекулой вывести веса атомов из соотношений Пруста было очень трудно. Эта работа затянулась до середины 19 века, когда химики изобрели понятие *валентности* атомов, не связанной с их весом. Перед этим — в 1832 году — Фарадей опубликовал 3 закона электролиза: они связали количество электрического заряда, пропущенное через электролит, с весом металла, выделенного возле одного из электродов.

Какие заряженные частицы движутся в растворах или расплавах химических веществ? Фарадей назвал их Ионами. Он понимал, что ионы прямо связаны с атомами — но не мог предложить на сей счёт никакой *проверяемой* гипотезы, а от общих фантазий он всю жизнь воздерживался. Мысль о том, что Ион — это «ущерблённый» Атом — эта мысль отвергалась учёным сообществом до 1880-х годов, когда её

впервые высказал молодой швед Сванте Аррениус. Но даже тогда на молодца зашикали: не может быть! Ведь Атом неделим — по определению! В то, что атом лишь *механически* неделим, но его электрическое деление возможно — в это «чудо» европейские химики уверовали лишь после детального исследования Круксом и Томсоном тока электронов сквозь металлы и газы (в 1880–1895 годах).

Глава 24. Роль наук и учёных во Французской революции

Учёное сословие Франции сыграло большую роль в подготовке общественного мнения французов к грядущей революции. Но в ходе её профессиональные учёные оказались (как правило) неудачниками. Астроном Байи, избранный мэром Парижа от умеренно левой партии, при якобинцах был казнён на гильотине. Чтобы избежать такой же участи, отравился в тюрьме Кондорсе — социолог и философ, один из авторов Энциклопедии. Великий химик Лавуазье тоже погиб на гильотине, став жертвой своего корыстолюбия и недалёковидности. Другой талантливый химик — Пруст остался верен идеалам монархии. После объявления Республики он бежал в Испанию (где ещё правили Бурбоны) и там завершил работу над законом пропорциональности весов веществ-реагентов. Затем в Испанию вторглись войска Наполеона: лаборатория Пруста была разорена, и он прекратил работу.

Другие химики — как Леблан, наладивший производство соды — остались живы, но были разорены конфискациями. Кто же из учёных мужей преуспел в революции? Удачливее прочих были математики — те из них, кто решил оставить (на время) чистую науку и погрузиться в «научную организацию труда» в той или иной сфере революционного хозяйства. Математик Лагранж и химик Лавуазье удачно работали в Комиссии мер и весов, вводя там десятичную систему. Геометр Гаспар Монж был успешным министром морского флота в правительстве жирондистов. Он сочувствовал более решительным якобинцам, пока они были в оппозиции — но после их победы Монж ушёл в отставку, не желая соучаствовать в терроре. Напротив, математик Лазар Карно (1753–1823) пошёл с якобинцами до конца — и, как ни странно, уцелел при этом.

Карно стал на редкость удачливым «Организатором Побед» — начальником Генерального Штаба новой массовой армии. Эти успехи

спасли жизнь Карно в 1794 году — после свержения и казни Робеспьера. Вскоре Карно начал новую жизнь в роли организатора новых учебных заведений: Политехнической и Нормальной (Педагогической) школ. Там нашли себе работу Монж, Лагранж и многие другие учёные мужи Франции.

Но самые яркие успехи в Революции выпали на долю полужнаек — таких, как Марат, Робеспьер и Бонапарт. Жан Поль Марат был хороший врач и химик-любитель. Он считал себя автором новой научной теории огня — и очень обиделся на Академию Наук, когда она отказалась публиковать его теорию. Став во время революции популярным трибуном и пророком, Марат расквитался с Академией: в 1793 году она была распущена, как «неисправимо роялистское учреждение».

Адвокат Робеспьер прославился в иной роли: как изобретатель и распространитель новых религий. В 1790 году парижане учредили «праздник Разума» в честь нового божества, пришедшего на смену Яхве и Христу и ведущего всю нацию к полному счастью. Однако у каждого гражданина — *свой* разум в голове; поэтому новому культу священники не нужны! Этот вывод Робеспьеру не понравился. Ведь он мечтал стать главным Идеологом Революции — вроде Парижского Папы. Оттого в мае 1794 года Максимилиан Робеспьер провозгласил новый государственный культ Высшего Существа (вроде Бога Творца). При этом Робеспьер гневно обрушился на «вредный дух атеизма», распространяемый учёными безбожниками. Через несколько дней упала голова Лавуазье; через три месяца упала голова Робеспьера...

Наполеон Бонапарт перед Революцией подумывал о карьере учёного — математика или механика, то и другое легко давалосьмышлёному артиллеристу. Но Революция открыла столь широкие перспективы в сфере *управления* человеческими массами, что лейтенант Бонапарт пренебрёг учёной карьерой — и прославился на века. Уважение к науке, как могучей силе — военной, экономической и религиозной — Наполеон сохранил на всю жизнь, и французское учёное сословие при нём процветало.

Академия Наук возродилась в 1795 году — в рамках Института Франции, вместе с прочими академиями. В 1798 году экспедиция Бонапарта в Египет включила в себя большой исследовательский отряд для изучения новой страны и эксплуатации её ресурсов. Там были математик Монж, химик Бертолле и молодой инженер Фурье (1768–1830) — первый выпускник Нормальной школы. В Египте Жозеф Фурье быстро вырос как администратор: он стал наместником Верхнего Египта после отъезда Бонапарта и гибели Клебера. По возвращении во Францию

Наполеон предложил Фурье пост министра внутренних дел (с которым не справился Лаплас). Но опытный учёный и администратор предпочёл стать префектом своего родного департамента — чтобы иметь (подобно Пьеру Ферма) досуг для научной работы.

Фурье оказался прав: в 1808 году он сделал замечательное открытие в Анализе (ряды Фурье), был избран в Академию и перебрался в Париж, где дорос до поста президента Академии Наук. Эта должность не мешала Фурье руководить научным семинаром для студентов-математиков. Среди его питомцев оказались Галуа и Лиувиль, Якоби и Абель, много других талантов.

Столь же удачную карьеру в науке и в управлении сделал другой ровесник Бонапарта — Жорж Кювье, основатель палеонтологии и сравнительной геологии. Напротив, математик Симон Лаплас был уволен Наполеоном «за внесение духа бесконечно малых в государственные дела». Император отлично чувствовал разницу между строгими математическими задачами «на прогнозирование» и нестрогими задачами «на управление», где адекватность начальной модели не столь важна, как её перенастраиваемость — в ответ на резкие, неожиданные изменения внешней среды.

Став императором, Наполеон сохранил прежние манеры генерала и мецената — но утратил склонность глубоко вникать в научную суть проблем. Учёным иностранцам он вообще не уделял внимания — если те не были уже всемирно известны, как Вольта или Дэви. Так случилось с Гауссом после оккупации Германии французами: ничем не выделенный из ряда германских профессоров, он потерял все свои сбережения при выплате контрибуции победителям. Одной рукой раздавая премии немногим удачникам, другой рукою Наполеон грабил всех покорённых иностранцев. Став успешным *пользователем* завершённой им политической революции, Наполеон старался столь же эффективно использовать плоды другой революции — но не считал учёных революционеров своей ровней. Они — фигуры на доске, а он — игрок!

Глава 25. Рождение Электромагнетизма

Первый шаг в этой теории сделал Гюйгенс в 1690 году: он заявил, что свет состоит из волн, скорость которых измерил Рёмер в 1675 году. Следующим шагом должно стать измерение *длины* волн света! Но тут дело застопорилось: только в 1803 году Томас Юнг сумел измерить длину световых волн по их интерференции в тонкой масляной плёнке на воде.

Юнг выяснил диапазон волн света: он оказался мал. Самая короткая видимая волна (фиолетовая) *вдвое* короче самой длинной (красной), меж тем как самая короткая *слышимая* волна звука в *тысячу* раз короче самой длинной слышимой волны! Ясно, что те «антенны» в теле человека, которые принимают свет и звук, устроены по-разному! Каковы приёмники и излучатели света в природе — это физики поняли лишь в середине 19 века, когда Кирхгоф и Бунзен изобрели (1858) спектральный анализ химических элементов.

Следующий шаг к объединению Электричества с Магнетизмом был сделан поздно и нечаянно. Только в 1820 году датчанин Ханс Эрстед заметил, что стрелка компаса отклоняется вблизи проводника, если по нему течёт ток. В какую сторону он течёт, из каких зарядов состоит, чем он действует на магнитную стрелку — всё это было непонятно. Но измерить отклонение стрелки компаса совсем легко; значит, теперь можно измерять *силу* тока специальным прибором! Можно также измерить силу взаимного действия *двух* токов: модуль и направление этой силы. Всё это было сделано за считанные месяцы после открытия Эрстеда: первым удачливым теоретиком электромагнетизма стал Андре Ампер (1775–1836). Он недолго работал в науке — но успел увидеть успехи великого экспериментатора Фарадея.

Этот тихий гений не считал себя теоретиком или математиком. Его дело — точно измерить показания приборов, а перед этим — наладить приборы так, чтобы они измеряли то, что нужно! Экспериментатор должен обладать «терпением дюжины Иовов» — но модели природных явлений он должен получать от теоретиков!

А если у теоретиков нет таких моделей? Дважды Фарадей оказывался в таком положении: когда он исследовал законы электролиза, и когда изучал движение проводника с током в магнитном поле. Оба раза Фарадей предлагал простые, наглядные понятия для описания наблюдаемых чудес: в первом случае это были Ионы, во втором — Силовые Линии поля, которые проводник пересекает при своём движении. И которые появляются в пространстве в тот момент, когда мы вносим туда магнит — или включаем ток, замкнув цепь проводников. Из чего состоят загадочные силовые линии — неизвестно; но их можно увидеть глазами, ибо железные опилки выстраиваются вдоль этих линий!

Длинная цепь изящных опытов и аккуратных измерений в 1830-е годы привела Фарадея к пониманию простой природной двойственности. Вероятно, любое *движение* электрического заряда вызывает *изменение* магнитного поля — и обратно! Значит, *механическое* движение можно преобразовать в *электрическое* движение — и наоборот! Напри-

мер: крутится мельничное колесо под напором падающей воды. Энергию этого вращения можно превратить в электрический ток: тогда вместо мельницы у нас будет электростанция! Зачем она нужна? Затем, что электрический ток можно передавать по проводам сколь угодно далеко — с небольшими потерями, в отличие от передачи механического вращения!

Таковы ворота в электротехнику: Фарадей широко распахнул их в 1832 году, когда изобрёл первый электромотор и генератор постоянного тока. Это была уже *вторая* энергетическая революция в европейской промышленности: она началась через полвека после первой революции, совершённой Уаттом. В 1781 году он построил первую универсальную паровую машину; теперь Фарадей построил первый электромотор. Юношеские годы Фарадея были отмечены грохотом первых паровозов по рельсам железной дороги. Его старость отмечена уверенными победами паровых броненосцев над деревянными парусниками (1862). Корабельную броню ковали паровые молоты; орудийные стволы сверлили станки, приводимые в движение электромоторами; вести о начале войн разносились по всему свету посредством электрического телеграфа.

Его изобрели в конце 1830-х годов американцы: Томас Генри и Уэйн Морзе. Тут же родилась мечта о прокладке телеграфного кабеля поперёк Американского континента — или поперёк Атлантического океана! За энергетической революцией могла (и должна была) последовать информационная революция 19 века, сравнимая с изобретением книгопечатания 400 лет тому назад.

Каких ещё научных открытий нехватало для новой технической революции? Оказалось, что нужно научиться *рассчитывать* две новые вещи: Энергию и Симметрию. Первая ветвь новых расчётов породила Термодинамику, а вторая — Теорию Поля.

Глава 26. Развитие Термодинамики в 18–19 веках

Ещё в 1760-е годы химик Джозеф Блэк научился различать такие характеристики нагретого тела, как Температура, Количество Теплоты и Теплоёмкость. Он же измерил и оценил большую разницу между удельной теплотой нагрева воды до кипения и удельной теплотой её замерзания, либо испарения. Таким путём Блэк рассчитал основу водно-паровой энергетики — меж тем, как первые изобретатели

паровых насосов (Ньюкомен и Сэвери) не размышляли о том, *почему* их машины работают столь эффективно, и каковы пределы их эффективности. Первым учеником Блэка (профессора в Эдинбурге) стал его друг — механик того же университета Джеймс Уатт. Из бесед с Блэком он понял главное: что можно заставить горячий водяной пар совершать *любую* механическую работу при расширении и охлаждении пара!

В 1770-е годы Уатт изобретает и совершенствует свою машину; с 1781 года в Англии началось серийное производство универсальных машин, приводящих в движение любой аппарат — от парового молота или токарного станка до парохода или паровоза. Два последних изобретения потребовали немалого труда умных механиков: Фултона, Стефенсона и других. Но Уатт сделал главный шаг в паровой энергетике — как Галилей сделал главный шаг в телескопной астрономии.

Не удивительно, что друг Блэка и Уатта — Джеймс Хаттон вдохновился их успехами и попытался представить в качестве тепловой машины всю Землю — с её вулканизмом, землетрясениями и прочей энергетикой. Хаттон первый задался вопросом о том источнике энергии, который скрыт внутри Земли и нагревает её недра. Может ли это быть горение угля, или иного топлива? Если да, то может ли тот же источник объяснить свечение Солнца на протяжении всей истории Земли?

Ответить на эти вопросы Хаттон не сумел, поскольку не смог точно измерить термические параметры Земли — особенно тепловой поток из её недр, заметный в глубоких угольных шахтах. Рассчитать теплоёмкость земного шара, оценить реальный срок его остывания от тысяч градусов до холодного камня — эти задачи стали посильны физикам лишь в середине 19 века. Тогда Вильям Томсон (лорд Кельвин) доказал, что горячая Земля остыла бы за 50–100 миллионов лет. Тогда же Герман Гельмгольц рассчитал максимальный срок «горения» Солнца, будь это химическое горение водорода или разогрев за счёт гравитационного сжатия. Его оценка была такой же: менее ста миллионов лет!

Этот срок огромен, в сравнении с гипотезами богословов — но он был уже слишком мал для геологов середины 19 века. Ещё в 1800-е годы геодезист Смит открыл то, что мы теперь именуем Каменной летописью Земли: устойчивую смену различных слоёв в горных породах, каждый из которых отмечен своим набором окаменелостей. Преемник Смита — геолог Ляйел в 1830-е годы сравнил наблюдаемый в последние тысячелетия темп отложения осадков в пустынях или водоёмах Земли с толщиной известных геологических горизонтов. Итог сравнения был поразителен: возраст земной коры составляет сотни миллионов лет!

Биологи приняли этот результат с облегчением. Если эволюция от первых червей и водорослей заняла 300–500 миллионов лет, то огромная сложность такой эволюции перестаёт казаться чудом! Но физикам было туже: они не могли предложить удачный механизм свечения Солнца в течение сотен миллионов лет вплоть до 1930-х годов — до открытий Резерфорда, Эддингтона и Бете в области ядерной энергии.

Основу теоретической термодинамики заложил в 1824 году Сади Карно — сын Лазара Карно, организатора побед Французской республики. Карно-младший изучил работу паровой машины с позиций сохранения полной энергии — и нашёл, что КПД такой машины более всего зависит от *разности* температур рабочего тела на входе и на выходе из системы. Для водяного пара эта разность порядка 100–200 градусов; но для газов — продуктов быстрого сгорания нефти — она может быть в 3–5 раз больше. Вывод Сади Карно: нужно изобретать двигатели Внутреннего Сгорания, где рабочее тело является одновременно топливом! Этот проект удалось воплотить Никласу Отто в 1870-е годы; после этого открылся путь к созданию автомобилей, самолетов, подводных лодок и иных технических чудес 20 века.

Глава 27. Триумф Электромагнетизма

На плечах у двух великих экспериментаторов — Томаса Юнга и Майкла Фарадея — могла уместиться дюжина удачливых теоретиков. Но их понадобилось меньше: трое французов (Араго, Пуассон и Френель) и один гениальный шотландец — Максвелл. Огюстен Френель выяснил в 1820-е годы максимум того, что можно было извлечь из опытов Юнга с волнами и с поляризацией света в кристаллах турмалина либо исландского шпата: что свет состоит из *поперечных* волн и что его скорость в прозрачном веществе *меньше*, чем в вакууме: отношение этих скоростей равно коэффициенту преломления вещества. Тем временем неутомимый старик Фарадей заметил, что магнитное поле слегка *поворачивает* плоскость поляризации света; позднее молодой Пастер наблюдал тот же эффект в растворах органических кислот.

Значит, свет как-то связан с магнитным полем! Нужно облечь эту связь в математическую форму! Всё это сделал Джеймс Максвелл в 1860-е годы. Этот гений прожил недолго (1831–1879), но успел сделать очень многое. Попад в Кембридж в 1850 году, юный Максвелл был поражён двумя новинками: законом сохранения полной энергии при переходе работы в тепло (его проверили Майер и Джоуль) и новой

ролью многомерной геометрии в описании физических процессов (её открыл Вильям Гамильтон).

Первым математическим увлечением Максвелла стала теория колец Сатурна: он строго доказал давнюю гипотезу Гюйгенса, что эти кольца не могут быть ни твёрдыми, ни жидкими, но состоят из пыли, снега и мелких камней. Решив эту проблему в 1857 году, Максвелл перешёл к следующему объекту того же сорта: совокупности молекул газа в данном объёме. Их ведь можно считать пылинками, применить к каждой из них законы Ньютона, а ко всей их совокупности — законы вероятностей, открытые Якобом Бернулли и Симоном Лапласом! Можно ли вывести таким путём все известные газовые законы: Бойля-Мариотта, Шарля и т. д.? Оказалось: да, можно! Вся физика газов математически выводится из механики частиц.

После этого успеха Максвелл приступил к геометрическому моделированию электрического и магнитного полей. Как связать изменения их напряжённостей с движением заряженных частиц? Можно ли объяснить явление магнетизма в металле с помощью кольцевых электрических токов? Чтобы понять эти чудеса, Максвелл придумал очень сложный механизм из крошечных колесиков, заполняющий собою весь Вакуум и передающий круговое возмущение от любой точки к любой другой — согласно принципу Гюйгенса. Модель была уродлива: сам Максвелл это чувствовал. Но она позволила связать векторы электрической и магнитной напряжённости поля системой из красивых дифференциальных уравнений — вроде тех, которыми Лагранж и Гамильтон связали координаты и импульсы частиц в механике.

Максвеллу также удалось получить удачное выражение *энергии* единого Электромагнитного поля. Наконец, Максвелл рассчитал *скорость* движения этого поля в вакууме (по данным экспериментов Фарадея): она примерно равна скорости света, измеренной Рёмером и Брэдли. Значит, Свет — это разновидность Поля, воспринимаемая человеческим глазом! Та самая разновидность, которую поглощают или излучают атомы химических элементов, как недавно (1858) выяснили Кирхгоф и Бунзен! Итак, весь физический мир заполнен атомами, которые «говорят» между собой на электромагнитном «языке»! Притом, подслушанный Кирхгофом и Бунзеном электромагнитный «разговор» гораздо громче гравитационного «разговора» тех же атомов, замеченного Ньютоном. . .

Это ясно из сравнения гравитационной постоянной (её измерил Кевендиш в конце 18 века) и электрической постоянной; её измерил Кулон в те же годы. Вероятно, молекулы веществ — это тесные коллективы атомов, сплочённые электромагнитной силой! И, быть может, сами

атомы — тоже электромагнитные коллективы из мелких заряженных частиц, чьи заряды сбалансированы — так, что атом снаружи выглядит электрически нейтральным, а светиться он начинает лишь при сильном нагреве или ударе?

Так Максвелл распахнул для физиков двери второй (электромагнитной) Вселенной — через 200 лет (1667–1873) после того, как Ньютон распахнул двери первой, механической Вселенной. Теперь промежуточная механическая модель Вакуума (заполненного сцепленными колёсиками) стала никому не нужна. Нужна новая модель, которая соединит механику Ньютона (для массивных тел) с электродинамикой Максвелла (для волн Поля). Для начала нужно понять главное: как колебание электрического заряда порождает электромагнитную волну? Затем нужно отыскать в Природе источники электромагнитных волн *иной* длины — много длиннее или гораздо короче волн видимого света. И ещё: пора проверить галилеев закон сложения скоростей для скорости света! Как связаны между собой скорости световых волн, излучаемых покоящимся либо движущимся телом?

Ответы на два последних вопроса были получены одновременно. В 1887 году Альберт Майкельсон и Морли измерили скорость света вперёд и назад по движению Земли; она оказалась одинаковой! Генрих Герц построил простой колебательный контур на основе электрической цепи — и получил электромагнитные волны длиной в 1 метр, которые вскоре назвали радиоволнами. Между тем в год смерти Максвелла (1879) родился Альберт Эйнштейн — подобно тому, как Исаак Ньютон родился в год смерти Галилея.

Глава 28. Математические новинки 19 века: от Фурье до Шёнфлиса

Развитие Математического Анализа Функций в 17–18 веках происходило под большим давлением запросов практики. Сначала инженерам и астрономам понадобилось вычислить площадь, ограниченную заданной кривой: для этого были изобретены Интегралы. Потом потребовалось быстро найти точки максимума гладкой функции по её формуле: в ответ математики придумали исчисление Производных, которое неожиданно связалось с исчислением Интегралов. Затем — в 18 веке — важнейшей прикладной задачей стало решение дифференциальных уравнений разного сорта. В этом искусстве Эйлер и его современники достигли такого

мастерства, что их успехов хватило на весь 19 век. Ни Гамильтону в механике, ни Максвеллу в электродинамике не встретились уравнения, которые были бы не под силу математикам той поры. Единственное неожиданное открытие в решении дифференциальных уравнений сделал в начале 19 века Жозеф Фурье — первый питомец Нормальной школы в Париже, спутник Наполеона в Египте. Он заметил, что *любую* периодическую функцию можно и полезно разлагать не только в степенной ряд (как делали Ньютон и Тейлор), но также в тригонометрический ряд из синусов и косинусов — как делал Эйлер.

Какая может быть связь между алгебраическими и тригонометрическими рядами? Этого никто не понимал до конца 19 века — пока Вейерштрасс и Фреше (а за ними — Гильберт) не начали рассматривать множество *всех* гладких или непрерывных функций как «хорошее» Векторное Пространство, где определено расстояние между точками и даже угол между векторами. В этом пространстве можно решать линейные уравнения и их системы так же, как это делается в k -мерном евклидовом пространстве. Решение дифференциальных уравнений над функциями, важными для физики, часто сводится к решению *линейных* уравнений в бесконечномерном пространстве гладких функций и их степенных рядов. Вот и вся хитрость!

Её нечаянно использовал ещё Евдокс, когда он разлагал неизвестное периодическое движение планеты в сумму равномерных движений точек по окружностям. Но вылущить и понять математическую суть этого удачного «трюка» удалось лишь 20 веков спустя, в течение столетий: от Фурье до Гильберта.

Ещё дольше ждала своего понимания проблема геометрических построений циркулем и линейкой, над которой мучились Пифагор и его ученики. Лишь в конце 18 века юный Карл Гаусс (1777–1855) заметил, как упрощается древняя проблема при переводе на язык комплексных чисел. Построение циркулем и линейкой новых точек на плоскости равносильно решению квадратных уравнений в комплексных числах! Всё, что можно построить циркулем и линейкой, служит корнем квадратного уравнения, коэффициенты которого суть корни квадратных уравнений, . . . и так далее, много раз; коэффициенты последнего уравнения — рациональные числа.

Уразумев эту красивую схему, Гаусс перевёл её на геометрический язык — но теперь уже не в плоскости, а в *многомерном* векторном пространстве над полем рациональных чисел. Возник новый наглядный образ: нечто вроде числового облака, раздуваемого вдвое при решении очередного квадратного уравнения. Точку на плоскости можно

построить циркулем и линейкой, только если «облако» поглощает её на некотором шаге. Ну, а если эта точка — корень неразложимого *кубического уравнения*? Тогда ничего не выйдет! Кубическим поглощением до неё можно добраться за один шаг; но квадратичными поглощениями — никогда! По этой причине не удаётся трисекция произвольного угла; не всегда строится треугольник по трём биссектрисам — и так далее. Не удаётся построить правильный 7- или 9-угольник; правильный 5-угольник строится, но 25-угольник — нет. . .

А можно ли построить квадрат, равновеликий данному кругу? На этот греческий вопрос Гаусс ответить не смог, потому что не знал: является ли число π корнем какого-либо многочлена с рациональными коэффициентами? Эта проблема оставалась не решённой до 1882 года — пока Фердинанд Линдеман не доказал, что число π *трансцендентно* (то есть, не является корнем никакого целого многочлена). Кстати, первый пример трансцендентного числа построил (с доказательством) в 1835 году Жозеф Лиувиль — один из лучших учеников Жозефа Фурье.

Другой ученик из той же команды — Эварист Галуа́ (1811–1832) оказался самым блестящим, но непонятым и недолговечным из гениев 19 столетия. Он продолжил работу Гаусса над достижимыми либо недостижимыми числами, выбрав иной способ достижения корней многочленов. Что, если мы умеем извлекать корни *любой* степени из элементов числового поля: сумеем ли мы таким путём выразить корень *любого* многочлена через его коэффициенты? Ещё в 16 веке Кардано и Феррари решили эту задачу для многочленов степеней 3 и 4. Но теперь Галуа и Абель доказали, что для степени 5 она *не разрешима!*

Галуа рассуждал по схеме Гаусса. Но он обратил внимание на *форму* разбухающего «облака» чисел, достижимых путём циклического расширения поля рациональных чисел. Оказалось, что это «облако» более похоже на «кристалл»: оно имеет довольно сложную Группу Симметрий. Сравнив две группы симметрий: ту, которую может иметь ансамбль корней *произвольного* многочлена данной степени, и ту, которую имеет многократное *циклическое* расширение поля, Галуа заметил, что они не равны (*не изоморфны*), если степень многочлена больше, чем 4. Значит, *есть* такие многочлены степени 5 (и выше), корни которых *нельзя* получить из их коэффициентов с помощью действий арифметики и извлечения корня *любой* (натуральной) степени!

Так юный француз Галуа и юный норвежец Абель основали Теорию Групп и решили её первую сложную проблему — родом из древнегреческой геометрии. Заодно они положили начало новой теории Алгебраических Функций: её первыми объектами (кроме многочленов и кор-

ней) стали специальные функции от нескольких переменных, выражающие корни любых многочленов через их коэффициенты. В этой теории тоже началось изучение симметрий «облака полей»: такая работа позже привела алгебраистов к доказательству Большой Теоремы Ферма. Но привыкание математического сообщества к новым идеям Теории Групп заняло 40 лет. Только в 1872 году молодой немец Феликс Клейн (1849–1925) заметил, что Теория Групп открывает удобнейший путь к описанию *всех* возможных геометрий. . .

А когда физики заметили успехи новой Теории Групп? Очень не скоро! Лишь в 1891 году русский кристаллограф Евграф Фёдоров и его немецкий коллега Артур Шёнфлис начали изучать *все возможные* симметрии природных кристаллов. Их семейство оказалось не слишком большим: 230 разных кристаллических решёток, которые встречаются у миллионов разных веществ! Так Теория Групп пожаловала Химии новый способ изучения структуры веществ: не только «снизу» (от атомов), как начинали химики 18 века, но и «сверху» (от симметрий). Этот последний способ оказался особенно важен для сверхсложных молекул органических веществ, включая ДНК и белки. В начале 20 века этот способ пригодился Нильсу Бору при изучении симметрий атомов; в середине 20 века физики воспользовались им при изучении ядер атомов и тех частиц, что составляют эти ядра. Эйнштейн выяснил, что кванты гравитации (гравитоны) имеют другую симметрию, чем кванты света (фотоны): оттого одинаковые массы притягивают друг друга, а одинаковые заряды — отталкиваются. . . Значит, лучшие алгебраисты начала 19 века нечаянно трудились на благо геометрии следующего полувека — и физики следующего столетия!

Глава 29. Основания Анализа: от Коши до Кантора

Огюстен Коши (1789–1857) родился в самом начале Французской революции; он всю жизнь ненавидел эту революцию — со всеми её последствиями. Впрочем, преподавать в Нормальной и Политехнической школах Коши был готов — пока у власти стояли «правильные» Бурбоны. В рядах Академии Наук Коши заменил в 1815 году уволенного республиканца Монжа. Но на склоне лет Коши примирился с «избранным» королём Луи Филиппом — а потом и с императором Наполеоном 3, который не требовал от Коши никаких клятв верности.

Преподавая студентам Анализ, Коши глубже вдумался в основные понятия этой науки — и обнаружил отсутствие строгих определений самых естественных вещей! Что такое *предел* функции $f(x)$ в точке a , лежащей на числовой оси? Что такое предел *последовательности* чисел? Какой числовой ряд можно назвать сходящимся? Сохраняется ли сумма ряда при любой перестановке его членов? При каких условиях ряд Тейлора гладкой функции $f(x)$ сходится на всей числовой прямой? Если он сходится везде — то везде ли его сумма равна исходной функции $f(x)$?

Все эти и многие другие вопросы Коши выяснил для себя и изложил в своих лекциях. Так математики впервые узнали, что мир Аналитических функций (равных своим рядам Тейлора) составляет малую долю мира Бесконечно Гладких функций — а все Гладкие функции заполняют малый островок в море Непрерывных, но не дифференцируемых функций. Те же вопросы возникли применительно к рядам Фурье: всегда ли такой ряд сходится к той функции, которая его породила? Этот вопрос был окончательно выяснен лишь в середине 20 века.

Дурной пример сомнений, поданный Коши, заразил многих математиков 19 века. Из каких чисел состоит числовая прямая? Каких среди них больше: рациональных, или иррациональных? Есть ли во множестве чисел «щели» — или прямая *плотна* в том смысле, что любая стягивающаяся последовательность отрезков в ней имеет общую точку? Ответить на эти вопросы сумели два очень умных немца: Рихард Дедекин (1831–1916) и Георг Кантор (1845–1918).

Следуя примеру Евдокса, Дедекин развивал *геометрическую* теорию Действительных чисел. Он начал с того, что «заткнул» каждую щель во множестве Рациональных чисел новым Иррациональным числом — а потом доказал, что в такой пополненной числовой прямой *нет* щелей. Из этой процедуры стало ясно, что каждое действительное число имеет запись в виде бесконечной десятичной дроби. Как правило, эта запись единственна; все исключения хорошо известны и понятны.

Далее на сцену вышел Георг Кантор. Он задался простым вопросом, который приходил на ум ещё Галилею (но тот отбросил его, как лишённый физического смысла). Бывают ли *разные* бесконечные множества? Или между любыми двумя «бесконечностями» можно установить взаимно-однозначное соответствие — как между всеми натуральными числами и всеми их квадратами?

В 1874 году Кантор совершил великий прорыв в Неведомое. Он сначала построил взаимно-однозначное соответствие между всеми Натуральными и всеми Рациональными числами — а потом доказал *невоз-*

возможность взаимно-однозначного соответствия между всеми Натуральными и всеми Действительными числами. Так выяснилось, что есть, по крайней мере, *две* разные бесконечности: Счётная и Континуальная. Вскоре Кантор доказал, что семейство «разных» бесконечностей неограниченно велико! Впрочем, для привычного Анализа Функций довольно двух или трёх первых членов этого огромного семейства. . .

Но остался один безответный вопрос: есть ли между Счётным и Континуальным множествами некая «промежуточная» мощность (более чем счётная — но менее чем континуальная)? Или её нет и быть не может?

Весь остаток жизни Кантор посвятил изучению этой проблемы — и свихнулся на ней, кончив свои дни в психбольнице. А сама проблема решения не имела: Континuum-Гипотеза Кантора оказалась одной из необходимых *аксиом* Теории Множеств. Можно принять за истину *любое* её решение: есть промежуточная мощность, или её нет. В любом случае мы получаем непротиворечивую аксиоматику — в которой, однако, найдутся другие безответные вопросы. Всё это было доказано в 20 веке: Куртом Гёделем (1931) и Полем Коэном (1963). Первый разделил печальную судьбу Кантора, кончив дни в безумии. . . Трудная вещь — Основания Математики!

Прежде чем Кантора постигло несчастье, он успел основать вторую (геометрическую) половину Теории Множеств: Общую Топологию, которая прямо связана с Анализом. Среди огромного (более чем континуального) семейства всех подмножеств числовой оси Кантор выделил два важнейших сорта: замкнутые (которые содержат все свои предельные точки) и открытые (которые содержат каждую точку вместе с некоторой её окрестностью). Оба эти определения оказались столь удачны, что математики легко перенесли их с прямой на евклидово пространство, а с него — на любые фигуры, лежащие в нём.

Общая Топология изучает методами Анализа свойства любых фигур, вложенных в пространство большой, или даже бесконечной размерности. В нём тоже можно ввести расстояние между точками (например — между двумя непрерывными функциями); можно определить предел последовательности точек, замкнутое множество и все связанные с этим геометрические понятия. Всё это было сделано к концу 19 века наследниками Кантора: Вейерштрассом и Фрешё, Борелем и Лебегом.

Они ввели новый критерий эквивалентности фигур: *гомеоморфизм*, то есть взаимно-однозначное и взаимно-непрерывное отображение между подмножествами метрических пространств. Из этого понятия сразу родился ансамбль наглядных задач Топологии.

Гомеоморфна ли окружность всей числовой прямой — или её отрезку, или кругу? Если нет, то какие инварианты различают эти фигуры? Можно ли придумать конечный или счётный ансамбль инвариантов, различающий любые не гомеоморфные друг другу фигуры? И так далее... Решение большинства этих задач оказалось не под силу «чистой» теоретико-множественной топологии. Пришлось геометрам опять идти на поклон к алгебраистам: подарите нам новые виды инвариантов, как подарили их нашим предкам Гаусс и Галуа! Алгебраисты охотно вмешались в этот спор — и получилась Алгебраическая Топология, процветающая весь 20 век.

Глава 30. Все возможные математические миры

В 1818 году Гаусс написал одному из своих друзей, что размышления над пятым постулатом Евклида (о единственности параллельной прямой) привели его к выводу: этот постулат *недоказуем* и *неопровержим*! Значит, можно принять за аксиому либо сам постулат Евклида, либо его отрицание! Каково оно может быть? Либо на изучаемой поверхности нет *ни одной* прямой, проходящей через данную точку и *не* пересекающей данную прямую, либо таких прямых *много*. Первый вариант кажется нелепостью; но он осуществим на сфере, где роль «прямых» играют окружности наибольшего радиуса! Любые две такие окружности пересекаются в двух концах одного диаметра. Это, конечно, непорядок: две «прямые» должны пересекаться не более чем в *одной* точке. Чтобы этого добиться, нужно считать каждую *пару* противоположных точек сферы за *одну* точку новой фигуры: Проективной Плоскости. Кстати: геометры сконструировали её ещё в 17 веке — во времена Декарта!

Итак, есть один вариант *неевклидовой* геометрии, где параллельных прямых вовсе нет! Логически возможен и другой вариант — тот, где бывают пары *не* пересекающихся друг друга, но *не* параллельных прямых! Возможен ли такой вариант геометрически? Можно ли указать в пространстве такую поверхность, на которой через данную точку проходит *много* разных «прямых» (то есть, геодезических линий), не пересекающих данную геодезическую линию?

Построить такой пример Гаусс не смог — и потому не стал публиковать свои соображения об аксиомах евклидовой геометрии. Иначе поступили младшие современники Гаусса: россиянин Николай Лобачев-

ский в Казани и мадьяр Янош Бойяи в Темешвароше. Оба опубликовали свои изложения неевклидовой планиметрии, не дожидаясь, когда кто-либо изобретёт подходящую для неё поверхность.

И правильно сделали: необходимый пример «псевдосферы» был построен итальянцем Бельтрами только в 1863 году, когда ни Гаусса, ни Лобачевского, ни Бойяи уже не было в живых. Зато жил и действовал самый великий ученик Гаусса — Георг Риман (1826–1866). Но ему работа Бельтрами была уже не очень нужна: Риман начал строить Геометрию, как единую науку о свойствах *всех* возможных геометрических миров!

Например, двумерных геометрий может быть *три* — согласно трём возможным значениям кривизны на соответствующей поверхности. Если она равна 0, то мы получаем обычную плоскость, описанную (на разных языках) Евклидом и Декартом. Если кривизна поверхности положительна, то эта поверхность — проективная плоскость; если она отрицательна, то Бельтрами назвал её Псевдосферой.

Тут бы можно и остановиться — но Риман шагнул дальше. Три варианта, рассмотренных выше — это поверхности *постоянной* кривизны. Но она может быть *переменной* — как, например, на поверхности бублика, которую геометры называют словом Тор. Геодезические линии на нём устроены причудливо: они наматываются на бублик под разными углами и потому либо замыкаются в окружность, либо создают плотную «обмотку», покрывающую почти весь тор. Рассмотрев эти примеры, Риман понял: классификация всех возможных *планиметрий* требует перечисления *всех* возможных поверхностей! А если мы хотим классифицировать все *стереометрии*, то нужно перечислить *все* возможные 3-мерные многообразия — начиная с обычного пространства и трёхмерной сферы, продолжая трёхмерным проективным пространством и трёхмерным тором. Таково начало новой геометрии; чем всё это кончится, одному богу известно!

Риман был гений, и потому не трус. Ещё в 1854 году он изложил программу перестройки геометрической науки перед лицом старого Гаусса — и заслужил его безмолвное восхищение. Через год Гаусс умер, не беспокоясь о судьбе своей науки: она процветёт в новых крепких руках! К сожалению, Природа не пожаловала Риману долголетия: он умер в 40 лет, и многие его гипотезы остались не доказаны. Но уже подрастали новые богатыри: за Риманом в геометрию ворвался Феликс Клейн (1849–1925). В 1872 году он продолжил реформу Римана в геометрии, огласив свою Эрлангенскую программу.

Не обладая огромной научной силой Гаусса или Римана, Клейн решительно упростил свою задачу, следуя примеру Галуа. Тот доказал

неразрешимость уравнения степени 5 в радикалах, используя алгебраические свойства соответствующей группы симметрий (перестановок). Эта группа небольшая — из 120 элементов — и все её свойства доступны прямому перебору, без компьютера.

Теперь Клейн предложил универсальную модель любой Геометрии в виде *пары* объектов: Многообразия M (которое около каждой точки устроено, как евклидово пространство) и Группы G (она может перевести любую точку многообразия M в любую другую его точку). При этом группа G сохраняет все интересующие нас свойства геометрических фигур.

Например, в евклидовой Планиметрии группа Клейна G состоит из сдвигов, поворотов, отражений и растяжений (гомотетий) плоскости. Это — довольно большой геометрический объект, 4-мерное многообразие особого вида.

Клейн надеялся, что *разнообразие* в ансамбле всевозможных групп, естественных для геометрической науки, окажется не слишком велико и обозримо — как в алгебре обозримы все группы перестановок корней уравнений, использованные в теории Галуа. В этой надежде Клейн оказался прав; но его сил не хватило для полного обзора всех возможных групп, преобразующих евклидово пространство. Эту работу проделал в 1880-е годы норвежец Софус Ли (1842–1892); оттого сами группы получили имя «групп Ли».

Их строгую классификацию с полными доказательствами завершил француз Эли Картан в 1913 году. После этого другие математики занялись *представлениями* групп Ли — то есть, их действиями друг на друге, описывающими *изменения* природных симметрий.

Сам Клейн потерпел в 1880-е годы тяжкое поражение в соревновании с новым французским гением — Анри Пуанкаре (1854–1912). Оба молодца пытались выяснить разнообразие тех алгебраических функций, которые переводят комплексную плоскость в себя и обладают особой (автоморфной) симметрией. В этой гонке за открытием юный дерзкий француз одолел молодого, но более осторожного немца.

Тот «отомстил» победителю, став удачливым *учителем* новых поколений математиков всех наций — меж тем, как у Пуанкаре не было склонности к воспитанию студентов. Лучшим в ряду учеников Клейна стал Давид Гильберт — научный «отец, дед и прадед» самых славных математиков 20 века.

Веком раньше Гаусс оказался родоначальником нового поколения творцов Теории Чисел. В отличие от Ферма и Эйлера, удалыцы 19 века старались перевести любую проблему арифметики чисел на язык Тео-

рии Функций с тем, чтобы применить к ней всю мощь методов Анализа. Образцом такой работы стала теорема Эрмита (1873) о трансцендентности числа e . Вместо многочленов от числа e Эрмит рассмотрел многочлены от показательной функции e^x — и доказал, что ни один такой многочлен не является нулём. Вскоре (1882) этот же метод позволил Линдеманду доказать трансцендентность числа π . Но наличие или отсутствие алгебраической связи между числами e и π не выяснено до сих пор.

Другим триумфом Аналитической Теории Чисел стала теорема Дирихле (1855) о наличии бесконечного семейства простых чисел в любой арифметической прогрессии, где первый член и разность взаимно просты. Тот же Петер Дирихле (1805–1859) навёл алгебраический порядок в новой теории *делимости идеалов*, нечаянно открытой Куммером в поисках доказательства Большой Теоремы Ферма.

В 1840-е годы Эрнст Куммер (1810–1893) пытался доказать Теорему Ферма сразу для всех простых степеней $p > 2$ (она уже была доказана для $p < 13$). Вскоре Куммеру пришла в голову красивая идея общего доказательства. Она опиралась на факты о делимости целых комплексных чисел, установленные Гауссом. Но осторожный Куммер не стал сразу публиковать своё открытие, а отложил его в долгий ящик, чтобы прочесть позже — когда испарится начальное ослепление творца, и станут заметны ошибки.

Перечитав свой текст и рассказав его своему другу — Дирихле, Куммер заметил, что он пользуется более сильными свойствами делимости, которые Гаусс не доказал: их нужно ещё проверить! Куммер их проверил — и обнаружил поразительный факт. Для простого числа $p > 19$ в кольце $\mathbb{Z}[\sqrt[p]{1}]$ целых комплексных чисел, порождённых всеми корнями степени p из 1, разложение на множители может *не быть* единственным!¹ Эта «мелкая деталь» обрушила всё доказательство Куммера. Но упрямый немец не сдался Судьбе: применив более хитрые методы, он обошёлся *многозначным* разложением на множители, если степень этой многозначности *не делится* на исходное простое число p . Так обстоит

¹Кольцо $\mathbb{Z}[\sqrt[p]{1}]$ состоит из чисел вида $A = a_0 + a_1\omega_1 + a_2\omega_2 + \dots + a_{p-1}\omega_{p-1}$, где $a_0, a_1, a_2, \dots, a_{p-1}$ — это обычные целые числа, а $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_{p-1}$ — это такие различные комплексные числа, что $\omega_1^p = \omega_2^p = \dots = \omega_{p-1}^p = 1$ (их также называют корнями из единицы степени p). Элементы кольца $\mathbb{Z}[\sqrt[p]{1}]$ можно складывать и умножать по обычным правилам для комплексных чисел, и при этом будут получаться также только элементы $\mathbb{Z}[\sqrt[p]{1}]$. Число A , являющееся элементом $\mathbb{Z}[\sqrt[p]{1}]$, называется простым (в этом кольце), если оно не представляется в виде произведения других чисел — элементов этого кольца («тривиальные» разложения типа $A = A \cdot 1 = A \cdot B \cdot C$, где $B \cdot C = 1$, не считаются).

дело для $p = 23$; но уже для $p = 37$ это не так! Тут Куммеру пришлось остановиться: общее доказательство Большой Теоремы Ферма у него не получилось. Зато алгебраисты узнали, что свойства произвольных колец бывают гораздо сложнее и интереснее, чем свойства кольца обычных целых чисел или многочленов от одной переменной.

В итоге к концу 19 века Алгебра превратилась из искусства решения *уравнений* в науку, изучающую всевозможные алгебраические миры: Группы, Кольца, Поля, Векторные Пространства — которые возникают при решении уравнений. Последним новым миром этого сорта, открытым в 19 веке, стали p -адические числа Гензеля (1893). Речь идёт о *бесконечнозначных* целых и дробных числах, служащих решениями обычных уравнений. Например, равенство $x \cdot x = x$, кроме 0 и 1, имеет ещё два бесконечнозначных 10-адических решения: (...625) и (...376). (В каждом 10-адическом числе выписано по три «последние» цифры, а «бесконечное» количество «предыдущих» цифр обозначено многоточиями.)

Курт Гензель открыл, что для каждого простого p существуют кольцо $\mathbb{Z}[p]$ и поле $\mathbb{Q}[p]$, которые *пополняют* кольцо \mathbb{Z} целых чисел и поле \mathbb{Q} рациональных чисел. Каждое пополнение изображается геометрической фигурой: например, кольцо $\mathbb{Z}[2]$ гомеоморфно «бесконечно дырявому» Канторову Множеству на отрезке $(0, 1)$. В 20 веке наследники Гензеля развили в p -адических полях полную систему Анализа Функций. Различия между высшими сортами вечного Анализа оказались очень полезны для разных ветвей математики 20 века.

Глава 31. Постигание биологической Вселенной

В золотой век Античности даже Аристотелю не удалось создать полноценную науку — Биологию. Почему так? Видимо, потому, что сама греческая наука той поры была устроена *проще*, чем земная Биосфера; даже проще, чем один биологический ценоз — вроде луга, тайги или дубравы. Но в 18 веке ситуация изменилась. В 1735 году Карл Линней дерзнул опубликовать первую удачную классификацию живых организмов. Отчего Линнею удалось то, что не вышло у Аристотеля?

Опыт творчества Ньютона и Лейбница приучил их наследников в Анализе и Механике пренебрегать второстепенными деталями, обращая внимание лишь на общие черты изучаемых объектов. Например, два

графика функций — экспонента и синусоида — выглядят совсем поразному. Но стоит нам заменить эти функции их степенными рядами, как обнаруживается огромное сходство: Эйлер выразил его формулой

$$\exp(i \cdot x) = \cos(x) + i \cdot \sin(x).$$

Аналогично действовал Линней (1707–1778) — ровесник Эйлера. Он «заменял» всех млекопитающих, рептилий и земноводных их *скелетами*, которые оказались «сработаны по единому плану». В рамках этого плана три большие группы животных различаются по их системам размножения; именно так Линней построил свою классификацию животных.

Перейдя к растениям, Линнеем «заменял» каждое из них — его *цветком* (если такой цветок есть), и начал классифицировать разнообразие цветков по числу и форме их лепестков, тычинок, пестика и т. п. Успех этой классификации доказал, что Линнеем удачно выбрал главные черты строения животных и растений, наиболее многочисленных на Земле и наиболее доступных человеческому глазу (бактерий гораздо больше — но кто их видел тогда?)

В течение 40 лет (1735–1775) ученики Линнея, идя по стопам учителя, посетили многие дальние страны тропического пояса Земли и привезли оттуда тысячи новых видов растений и животных. Все они хорошо укладывались в систему Линнея: к концу его жизни список насчитывал более 10 000 видов, из них 18 видов одних муравьёв.

Чтобы не заблудиться в этом разнообразии, Линнеем начал объединять близкие по строению тел виды животных и растений в их *роды*, затем роды — в *семейства*, а их — в *отряды*. Отражает ли такая группировка некое родословное древо — схему последовательного *возникновения* новых разновидностей в живом мире? Линнеем не хотел соглашаться с этой гипотезой: он исчерпал свой внутренний ресурс инноваций и перестал быть властителем дум новых поколений биологов. Пальму лидерства подхватил ещё один ровесник Линнея и Эйлера — Жорж Бюффон (1707–1788).

Соперничая с Дидро, он составил свою энциклопедию «История Природы», где описал в увлекательной форме огромное разнообразие Земли и жизни на ней. В отличие от Линнея, Бюффон не прошёл ни мимо *экологии* живых сообществ, ни мимо разнообразия *ископаемых* остатков древней жизни. Он ввёл идею *развития* Природы в арсенал понятий биологической науки — хотя не сумел подтвердить эту гипотезу ни одним бесспорным примером. Такой труд выпал на долю

следующего поколения классификаторов: Жана Ламарка (1744–1829) и Жоржа Кювье (1769–1832).

Ламарк постарался расширить классификацию Линнея на царство беспозвоночных животных. В этом царстве он выделил членистоногих и иглокожих, моллюсков и червей — и разобрался в их ансамбле достаточно, чтобы заявить: весь живой мир непрерывно *развивается* в течение миллионов лет! Все современные животные и растения суть потомки более примитивных предков! Но каковы могут быть «движущие силы» всеобщей Эволюции?

Это был вопрос в духе Ньютона или Галилея. Но Ламарку нехватило фантазии, чтобы угадать: как в звёздном мире, так и в биосфере многие (или почти все?) движения тел происходят «по инерции», не побуждаемые никакими особыми силами. Следуя примеру Кеплера, нужно наблюдать *траектории* природных движений, отыскивать закономерности в их формах и в темпах движения живых тел — и сравнивать между собою разные траектории. Например, вид «собака» подвержен быстрой эволюции — благодаря общению с человечеством. Подвергалось ли сходной эволюции (в ином темпе) всё семейство псовых? Или весь отряд хищников? Или весь класс млекопитающих? Если да, то какая внешняя среда могла играть в «воспитании» этих таксонов биосферы роль, сравнимую с ролью человека в развитии собаки?

Для лютеранина Линнея ответ на такой вопрос был ясен заранее: наладить развитие Биосферы может только Бог! Ламарк не был столь наивен; он предположил, что живые организмы развиваются благодаря их собственным *усилиям* — волевым и механическим. Напротив, Кювье поверил в самопроизвольную эволюцию биосферы — но решил, что для быстрой смены биологических эр достаточно регулярных *катастроф* в геологической истории Земли. При этом заполнение вакантных «экологических ниш» происходит вновь и вновь — само собою или по воле Бога, но очень быстро.

Для таких выводов у Кювье были солидные основания. В начале 19 века он оказался первым действующим палеонтологом Европы и всей Земли. Ещё в 1796 году Кювье описал мамонта, как особый вымерший вид слона. Позднее Кювье изучил и описал много вымерших видов млекопитающих — из «Третичного» периода, который предшествовал великому Оледенению Евразии и Северной Америки.

А что было на Земле ещё раньше? Всегда ли на ней жили млекопитающие животные? На этот вопрос Кювье не успел найти ответ среди ископаемых костей. Только в 1840-е годы Роберт Оуэн выделил особую «Фауну Динозавров», которая преобладала на Земле до ураганного

распространения млекопитающих в Третичном периоде геологической истории Земли.

В 1851 году на Всемирной выставке в Лондоне были показаны первые реконструкции динозавров по их скелетам. Тем временем Чарлз Дарвин (1809–1882) завершал свою книгу «Происхождение видов», основанную на наблюдениях фауны и флоры Земли во время кругосветного путешествия 1831–1836 годов.

По сравнению с Кювье, Дарвин предложил одну важную новинку. Он отказался от редких геологических катастроф, сокрушающих всю биосферу Земли — и заменил их постоянным умеренным *давлением* внешней среды на живые организмы. Такое давление порождает Отбор самых приспособленных особей из их природного разнообразия. Отбор «ограничивает» новые виды животных и растений из тех разновидностей, которые стихийно порождает внутренняя изменчивость организмов.

Чем обусловлена такая Изменчивость? Хаотична ли она (как облако) или упорядочена (как кристалл)? На чём основана удивительная стабильность внешних данных среди особей одного вида? На эти вопросы Дарвин не смог предложить удачного ответа до конца своей жизни. Между тем в год публикации главной книги Дарвина (1859) чешский монах и натуралист Грегор Мендель уже вёл эксперименты над наследственностью обычного гороха. К 1865 году Мендель получил чёткие результаты о *раздельном* наследовании важнейших признаков: цвета лепестков или зёрен гороха, формы лепестков и горошин, и т. п. Математическую обработку своих данных Мендель провёл на высоком уровне. Именно по этой причине работы Менделя остались *не замечены* профессиональными биологами и широкой публикой Европы. . .

Во всякой науке, в любую эпоху преобладает тот или иной стиль исследовательской работы. Учёные люди тоже делятся на разные психологические типы — и люди разного сорта устремляются в разные науки, согласно своим личным данным. Ещё в 18 веке (в эпоху Просвещения) в умах европейцев утвердилось мнение, что есть науки строгие (расчётные) и есть нестрогие — гуманитарные, дискуссионные. В первый класс сразу попали математика, механика и астрономия, а в конце 18 века — ещё и химия. А вот биология попала во второй класс — благодаря огромной популярности книг Бюффона (которые читали все) и сухому стилю Линнея, которого мало кто читал.

В первой половине 19 века эта традиция закрепились в умах просвещённых европейцев. Популярность книг Дарвина проистекала именно из их «гуманитарного» стиля, который допускал чтение «по диагонали» — и немедленное участие новичков в дискуссиях вокруг нового

учения. Напротив, статьи Менделя были написаны в стиле Королевского Общества: «Ничего на словах!» Но безвестный в учёном мире монах Мендель не дерзнул направить свои письма прямо в Лондон или в Париж, где они наверняка попали бы на глаза математикам и физикам.

Дарвин получил письмо от Менделя в 1865 году — но не захотел разбираться в его расчётах и не ответил на письмо. Технически Дарвин был прав: аргументы Менделя касались *Происхождения* Разнообразия в Биосфере, тогда как споры кипели вокруг «Огранки» этого разнообразия при возникновении новых видов или высших таксонов Биосферы. В итоге такой небрежности знатоков открытия Менделя не были замечены — и забылись на 35 лет, до 1900 года, когда сразу несколько биологов перепроверили основные факты наследственности живых организмов.

Глава 32. Биохимическая революция 19 века

В 1824 году в небольшом немецком городе Гисен молодой химик Юстус Либих организовал первый химический факультет. Его студенты обучались ремеслу, ставя новые опыты под руководством своего талантливого и увлечённого учителя. В итоге скорость роста новых химиков в Гисене стала выше, чем где-либо в Европе. Можно сказать, что Либих перенёс в химию тот дух взаимного обучения и увлечения, который в математику внесли братья Бернуллы в конце 17 века.

Новые открытия пошли лавиной; многие из них были неожиданны. Так в 1824 году Либих и его будущий друг — Фридрих Вёлер — открыли удивительное сходство солей двух органических кислот: цианатов и фульминатов. Обладая разными свойствами, эти соли имели одинаковый количественный состав разных элементов! Так был открыт феномен *изомерии* органических молекул, и стала ясна новая проблема: создать атомную теорию *структуры* органических молекул. Вскоре (1828) Вёлер разрушил воображаемую границу между органическими и неорганическими веществами: он изготовил давно знакомую биологам мочевины из неорганического сырья!

Перед химиками мелькнула фантастическая надежда: нельзя ли таким путём синтезировать *любое* органическое вещество? Нельзя ли в итоге искусственно создать новые живые существа? Не так ли действовала Природа в долгие века, предшествовавшие появлению Жизни на Земле?

Но это всё были журавли в небе. Первой крупной и яркой синицей в руках химиков-органиков стала модель органических молекул на основе углеродных цепочек, предложенная в 1860-е годы Александром Бутлеровым и Августом Кекуле. Начав с предельных углеводородов, эти два богатыря постепенно охватили мир более сложных изомеров — например, научились различать молекулы спиртов и эфиров. Затем были открыты и поняты двойная либо тройная связь атомов углерода в непредельных углеводородах — и наконец, в 1865 году Кекуле угадал (во сне) кольцевую структуру бензола, нечаянно открытого Фарадеем в 1825 году.

Затем пришла пора химиков-практиков. Ученик Либиха — Хофман — переехал в Англию, где у него появился необычайно работающий ученик — Вильям Перкин. Этот «химический Фарадей» (или химический Эдисон?) в 1856 году создал на основе анилина первый краситель (пурпур), пригодный для стойкой окраски органических волокон. Вскоре родилась и расцвела индустрия органических красок; в 1870-е годы химики поняли, что она может принести немалую научную пользу.

Любой краситель действует выборочно: он связывается с узким кругом органических молекул. Что, если ввести такой краситель в живую клетку? Она перестанет быть прозрачной! В ней станут заметны органеллы одного состава — как на эскизе художника, где белый фон не мешает видеть главное изображение. А если ввести в клетку *много* разных красителей? Тогда она превратится в цветной «атлас», который легко изучать под микроскопом! Вот путь к постижению тайн живой Природы! Так в 1870-х годах родилась новая наука — Биохимия.

С самого начала она разделилась на два направления: Химический Анализ молекул и Геометрический Анализ органелл, заметных внутри клетки. Долгое время (до 1900-х годов) эти две ветви биохимии развивались порознь, не замечая их общего ствола. Только после появления на нем третьей ветви — Генетики — биологи поняли, что эти три науки изучают один объект!

Таким объектом стал Нуклеин — загадочное, но легко окрашиваемое вещество, которое преобладает в составе клеточного ядра (открытого ботаником Броуном ещё в 1830 году). В 1869 году Эрнст Хоппе-Зайлер (1825–1895), который первый сумел кристаллизовать Гемоглобин, поручил своему студенту Мишеру разобраться в составе Нуклеина: его легко выделить из клеток, разрушенных инфекцией. Итог анализа удивил обоих учёных: Нуклеин изобилует азотом и фосфором сразу!

Хоппе-Зайлер занялся Нуклеином всерьёз — и вскоре заметил в нём две разные компоненты: одну кислоту (нуклеиновую кислоту, НК) и

разные белки. Все эти молекулы очень велики; Хоппе-Зайлер предложил своим ученикам — Альбрехту Косселю и Эмилю Фишеру — разложить НК и белки на более простые компоненты. Обе эти работы были увенчаны Нобелевской премией в 1900-е годы — уже после смерти Хоппе-Зайлера.

Разделив в 1879 году Нуклеин на НК и белки, Коссель занялся дальнейшим разложением НК. Вскоре он выделил из неё довольно простые молекулы двух сортов: пиримидины (они содержат одно бензольное кольцо) и пурины (в них — два таких кольца). В итоге Коссель выделил два сорта пуринов (Аденин и Гуанин) и три сорта пиримидинов — Тимин, Цитозин и Урацил. Остаток НК содержал некие углеводы — но расшифровать их структуру Коссель не смог. Только в 1909 году в США российско-еврейский эмигрант Фёдор Левин выделил из Нуклеиновой Кислоты первый явный сахар — Рибозу; в 1929 году он выделил второй сахар — Дезоксирибозу. В честь их были названы два сорта НК — ДНК и РНК. Их роль в живой клетке начала проясняться в 1940-е годы; но полная ясность наступила лишь с появлением Кибернетики и с уподоблением Клетки Компьютеру.

Эмиль Фишер начал работу с анализа состава сахаров и пуринов. Именно он выяснил наличие двух бензольных колец в пурине, а среди сложных сахаров заметил два стереоизомера: «левый» и «правый» сахара́ одного количественного состава. Фишер заметил (вслед за Пастером), что живые организмы используют только *правовинтовые* молекулы сахара, расщепляя их с помощью особых сложных белков — ферментов. Ещё раньше Пастер выяснил, что такова химическая суть брожения вина или пива.

Не ограничиваясь анализом сахаров (отмеченным Нобелевской премией 1902 года), Фишер приступил к разложению белков на их несложные компоненты (аминокислоты) и обратным синтезом несложных белков из аминокислот. В 1907 году Фишеру удалось синтезировать из 18 молекул аминокислот такой белок, который охотно поедали микроорганизмы. Таков был очередной шаг к синтезу «нормальных» веществ живой клетки из неорганического сырья. Редукция Жизни к Химии успешно продолжалась — хотя каждый новый шаг на этом пути оказывался сложнее всех предыдущих шагов к желанной истине.

Глава 33. Рождение и триумф Микробиологии

Научная карьера Луи Пастёра (1822–1895) началась в 1848 году с важного открытия в кристаллографии. Он получил кристаллы виннокаменной кислоты в таких редких условиях, когда право- и левовинтовые молекулы группируются порознь. Пастер различил эти кристаллики под микроскопом и сумел разделить их механически. Растворив каждый сорт кристаллов отдельно, Пастер обнаружил, что каждый раствор вращает плоскость поляризации света в свою сторону. Через 10 лет Пастер обнаружил, что лишь *один* зеркальный сорт кислоты поедается микроорганизмами — как если бы Природа нарушила зеркальную симметрию Физики и Химии, когда она создавала Жизнь!

Между тем практика виноделов Франции предъявила свои запросы к научной силе химиков. В 1856 году Пастера убедили изучить причины скисания зрелого пива или вина. Он сразу использовал микроскоп — и заметил, что в вине видны скопления дрожжей двух форм: шарообразные и эллипсоидные. В кислом вине их было поровну. А в свежем вине изобиловали только шаровые скопления. Пастер понял, что эллипсоидные дрожжи — вредители; нужно от них избавиться, не повреждая вино!

Как это сделать? Пастер придумал простой способ — «пастеризацию». Нужно быстро *нагреть* вино в закрытом сосуде выше точки кипения — и столь же быстро охладить, не дав ему закипеть. При этом погибнут *все* дрожжи — и вредные, и полезные. Но полезные уже сыграли свою роль: теперь не жаль их убить, а вино без дрожжей можно долго хранить на холоде.

Сначала винные фабриканты были в ужасе от столь дикого предложения. Но скоро опыт показал, что пастеризация — надёжный способ спасения пива и вина от скорой порчи. Пастер прославился на всю Францию. После этого шелководы попросили его спасти «больные» рассадники гусениц от некоей заразной болезни. Вдумавшись в эту проблему, Пастер понял, что спасти заражённый рассадник невозможно: ведь гусениц не расселишь поодиночке, как спасались от чумы европейские горожане в Средние века. С «чумою» насекомых можно бороться так же решительно, как Пастер боролся с «пивной чумой»: сжигать больные колонии и размножать здоровые семьи шелкопряда. Тут Пастер выступил в роли ученика Кювье: он одолел болезнь бабочек путём искусственной «катастрофы»! Но людей так лечить нельзя — и даже со скотом так лучше не поступать. . .

Об этом Пастер задумался в 1876 году — когда его попросили одолеть «сибирскую язву» (Антракс), поражающую лошадей, коров и людей. В этой сфере Пастер имел двух предшественников: Роберта Коха (1843–1910), который открыл бактерию Антракса, и Эдварда Дженнера, который в конце 18 века справился с неизвестным возбудителем Оспы. Дженнеру тогда повезло: он нашёл в природе (у коров) ослабленную разновидность Оспы. Стоит заразить ею человека, как тот приобретает иммунитет ко всем видам Оспы. Где бы найти «слабую» разновидность Антракса?

В Природе её нет — значит, нужно её вырастить искусственно! Для этого нужно наладить Искусственный Отбор микроорганизмов в теле большого животного, подвергая их разнообразным «катастрофам»!

Пастер начал переливать сыворотку крови больной лошади к её здоровым коллегам, предварительно нагревая сыворотку — чтобы белки не свернулись, но бактерии Антракса испытали максимальный дискомфорт. Как ни странно, опыт Пастера удался: после нескольких десятков нагреваний и переливаний крови между лошадьми была получена удачная вакцина против Антракса, которая вызывала иммунитет даже у человека.

После этих событий Пастер стал самым знаменитым врачом в Европе. Он сам и его ученики разъезжали по всей Земле, разыскивая и выделяя микроскопических возбудителей всё новых болезней и пытаются искусственно вырастить их безобидные разновидности. То же самое делали Роберт Кох и его ученики. Их успехи в изучении микробов были велики — хотя некоторых «вредителей» увидеть не удалось.

На рубеже 19–20 веков были открыты: бактерии чумы и туберкулёза, вибрион холеры, плазмодий малярии, риккетсия сыпного тифа. Но *вирусы* оспы, кори и бешенства открыты не были: их малый размер не позволяет различить их в обычный световой микроскоп. Увидеть эту «мелочь» удалось лишь в середине 20 века — после того, как Владимир Зворыкин и его коллеги изобрели электронный микроскоп. Тем не менее, Пастеру удалось создать вакцину против бешенства (1885): даже невидимый вирус оказался подвержен искусственной эволюции!

В ходе таких исследований было сделано замечательное наблюдение. Мир микробов поразительно разнообразен — более многолик, чем царство позвоночных животных! Все микробы — одноклеточные существа; не от них ли произошли все многоклеточные существа — от водорослей до человека? Не была ли когда-то Земля заселена одними микробами? Многие микробы (бактерии) не имеют даже ядра, обычного для прочих клеток: не были ли они предками более сложных «ядерных» кле-

ток — эвкариот? Каким путём произошли эвкариоты от безъядерных прокариот? Не был ли этот путь *симбиозом* разных прокариот в одной оболочке, где они потом превратились в клеточные органеллы?

Все эти смелые вопросы оставались без ответа до середины 20 века. Но уже в 1880-е годы первое поколение клеточных биологов, овладев анилиновыми красителями, приступило к «клеточной хирургии». Первопроходцем здесь оказался Вальтер Флеминг (1843–1905). Окрашивая (и тем самым — убивая) клетки на разных стадиях их жизненного цикла, Флеминг смог подробно проследить за динамикой клеточного ядра: его химическая основа хорошо схватывается с анилиновой краской. В итоге Флеминг сначала различил отдельные окрашенные тельца — Хромосомы, которые оказались клубками каких-то нитей. Затем Флеминг увидел, как хромосомы удваиваются; их копии-близнецы расходятся к разным полюсам клетки, которая после этого делится на две равноправные половины.

Итоговая книга Флеминга была напечатана в 1882 году. Тогда умерли Дарвин и Мендель, а Хоппе-Зайлер и его ученики разбирались химическими методами в загадочном Нуклеине — не ведая, что Флеминг изучает ту же субстанцию (под именем Хроматин) путём наглядной геометрии! Все эти учёные не ведали о давних, но забытых открытиях Менделя в области Арифметической Генетики. Главная тайна Жизни лежала перед ними, открытая — но учёные мужи 19 века глядели на неё со своих особых колоколен, не общаясь друг с другом, пока не начался новый век.

До тех пор микробиологам удалось сделать ещё одно важное открытие и одно полезное изобретение. Бельгиец Эдвард Бенеден в 1887 году начал *считать* хромосомы в ядрах разных клеток. Он сразу обнаружил *одинаковое* количество хромосом в клетках одного организма (кроме половых клеток, где хромосом вдвое меньше) и *разное* число хромосом в ядрах клеток разных *видов* живого царства. Так открылся новый путь классификации видов в Биосфере. В середине 20 века он позволил, например, выяснить те места на Земле, где впервые были приручены или одомашнены овцы и кони, ячмень и овёс, вообще все «домашние» животные и растения.

Другое блестящее изобретение в медицине сделал Пауль Эрлих. Он начал синтезировать новые *лекарства* на основе анилиновых красок! Если данная краска легко связывается с клеткой данного микроба — значит, химически сходное с нею лекарство будет выборочно убивать клетки этого микроба, не повреждая прочие клетки больного организма! В 1907 году Эрлих нашел «волшебную пулю» против африкан-

ской сонной болезни, а через три года он одолел таким путём сифилис. Возбудители обеих болезней — довольно крупные и сложные клетки. Перенести методы Эрлиха на борьбу с вирусами удалось лишь в середине 20 века.

Глава 34. Историческая наука в 19 веке

Европейская школа историков зародилась в 16 веке — когда итальянские гуманисты (начиная с Макиавелли) освоили ремесло научной *критики* текстов и начали сравнивать книги древних историков с современными событиями. Эта волна гуманитарных успехов завершилась в 18 веке — в эпоху Просвещения, когда была составлена Энциклопедия. Случившаяся вскоре Французская Революция (1789) дала европейцам ценный опыт *управления* историческим процессом, который осмысливался более или менее успешно — вплоть до следующего опыта Российской Революции 1917 года.

Тем временем (с начала 19 века) европейские историки начали создавать две новые ветви своей древней науки: Сравнительную Лингвистику и Археологию. Обе были нужны для изучения Древнего Востока — той колыбели, где возникла Библия и где спутники Наполеона Бонапарта открывали чудеса Египта.

Первый важный шаг в изучении древней клинописи Двуречья сделал в 1804 году немецкий учитель Георг Гротефенд. Разбирая надписи на гробницах древних персидских царей (Ахеменидов), он сумел прочесть первые имена (Кир, Камбиз, Дарий) и первые буквы клинописного арамейского алфавита. Следующий успех в этой области достался британскому разведчику Генри Роулинсону: в 1846 году он сумел скопировать огромную трёхязычную надпись Дария 1 со скалы Бехистун и прочёл её арамейский текст. После этого многие лингвисты взялись за дешифровку клинописи Аккада, состоящей из иероглифов. Используя успех Шампольона (1822) в чтении иероглифов Египта, в 1850-е годы ассириологи сделали свою ветвь языкознания зрелой наукой.

Одновременно ряд упорных и удачливых археологов (англичанин Лэйярд, француз Ботта) сумели раскопать руины Ниневии и других ассирийских столиц. Пришла пора сравнительного изучения истории Древнего Востока: по библейским текстам, по раскопкам царских дворцов, по клинописным текстам из архивов древних царей.

В 1880-е годы была раскопана и прочитана большая часть библиотеки Ашшурбанапала — последнего выдающегося царя и книжника

Ассирии. В ней были найдены тексты на таких языках (эламском, шумерском, хурритском, хеттском), о которых историки раньше не подозревали. Особенно важна оказалась находка в архиве Ашшурбанапала аккадского текста о Всемирном Потопе: эта запись была явно намного древнее всех книг Библии! В конце 19 века британский археолог Колдвей начал научные раскопки Вавилона, чтобы потрогать рукой и лопатой обиталища героев Библии.

Между тем любознательный немецкий купец Генрих Шлиман, наживший большое состояние в России, поверил в реальность мифов Гомера — и решил найти сказочную Троию там, где топография будет похожа на гомеровскую. Это удалось Шлиману в 1880-е годы — хотя город, раскопанный им на восточном берегу пролива Дарданеллы, вряд ли назывался Троя или Илион. Тут важно не имя, а факт: Шлиман нашёл первые следы Переселения варварских народов, овладевших железом и сокрушивших многие державы Древнего Востока в 13–12 веках до н. э.

Прежде египтологи знали только, что при фараоне Рамзесе 3 египтяне с трудом отразили натиск неких варваров с моря; теперь стало ясно, что поэмы Гомера описывают события той же эпохи! Не случайно в те же века в Финикии сложился первый алфавит — удобное средство для общения разноязычных варваров между собой и с покорёнными имперскими жителями.

Столь же впечатляющих успехов достигла в 19 веке сравнительная лингвистика. Ещё в 1780-е годы Вильям Джонс обнаружил грамматическое родство между языком Древней Индии (санскритом) и многими европейскими языками. Вскоре Франц Бопп начал построение *генетического древа* Индоевропейских языков, которое постепенно охватило почти все языки Западной Евразии: от латыни до греческого и персидского, от русского до армянского и хинди. В последнюю очередь — в начале 20 века — чешский лингвист Бедржих Грозный обнаружил индоевропейские черты в новонайденном языке хеттов — тех, которым подчинялась древняя Троя и с которыми за сто лет до её падения воевал Рамзес 2.

Таким путём непрерывная история человечества в Западной Евразии удлинилась ещё на 20 веков — по сравнению с давно знакомой эпохой Библии и Гомера. Стало ясно, что историю человечества можно продлить ещё глубже — если умело сочетать и осмысливать открытия археологов и лингвистов.

Но в одиночку археологи проникли ещё дальше — вплоть до Каменного Века! В 1830-е годы Бюше де Перт раскопал во Франции пещеры,

прежде населённые древними людьми. Вскоре их называли Неандертальцами — согласно месту первых находок человеческих останков в Германии. Воображение европейцев было потрясено тем фактом, что их «соотечественники» и, видимо, далёкие предки охотились на мамонтов, делали орудия из камня, рисовали на стенах пещер шедевры натуралистической живописи. На каких языках говорили эти люди? Что мешало им перейти из каменного века в век металлов и керамики, письменности и государств? Откуда они пришли в Европу? Где и когда они выделились из рядов своих предков, похожих на обезьян? И так далее. . .

Ясно было одно: пора начать поиски обезьянолюдей (их костных останков и их каменных орудий) по всему земному шару — преимущественно, в тропиках и в субтропиках, где поныне живут человекообразные обезьяны. Дарвин не дождался обнаружения первых костей «человекообезьяны» — Питекантропа, найденных Эженом Дюбуа на острове Ява в 1892 году. Много позже — в 1924 году Раймонд Дарт нашёл в Южной Африке кости и орудия первой человекоподобной обезьяны — Австралопитека, явно не владевшего огнём.

Первые следы Огня и каннибализма древних обезьянолюдей — Синантропов — были найдены в Китае в 1930-е годы. Наконец, в 1960-е годы Луис Лики обнаружил в Эфиопии и Кении орудия и останки паразитически древних и разнообразных предков нынешних людей. Тогда стало ясно, что именно Африка (слабо затронутая Оледенением) стала прародиной человечества; что процесс выделения рода людского из обезьяньих стад начался более 3 миллионов лет назад; что этот процесс был сложным и долгим — так что уверенно судить о его закономерностях или «движущих силах» мы не можем до сих пор.

Глава 35. Эпоха Гильберта и Пуанкаре

В конце 19 века Математика явно разделилась на 4 ветви: Теорию Чисел, Теорию Функций, Геометрию и Алгебру. Алгебра отделилась от Теории Чисел тем, что сменила свой основной объект: место Уравнений и их корней заняли Группы, Кольца, Поля и Векторные Пространства. Нетрудно было догадаться, что сходное будущее ждёт Геометрию; но что станет её основным объектом, вместо привычных многоугольников, окружностей и иных фигур — на плоскости или в пространстве?

Ответ на этот вопрос угадал Риман и до конца понял Феликс Клейн. Главный объект Геометрии — *Многообразие M* , то есть фигура, около каждой своей точки устроенная, как евклидово пространство выбран-

ной размерности k . А как можно различать между собой разные многообразия? За отношение их эквивалентности можно принять *гомеоморфизм* — взаимно-однозначное и взаимно-непрерывное отображение. Но как доказать, что двумерный тор *не* гомеоморфен бутылке Клейна? Или что трёхмерный тор *не* гомеоморфен произведению окружности на сферу? Или что плоскость *не* гомеоморфна трёхмерному пространству?

Первым начал решать такие задачи Анри Пуанкаре (1854–1912) — очередной французский вундеркинд, сохранивший мощную интуицию и ненасытное трудолюбие до конца своих лет. В 1895 году Пуанкаре придумал замечательно простой способ классификации многообразий при помощи новой алгебры: нужно сопоставить каждой *Фигуре* некую *Группу* так, чтобы *не* гомеоморфным фигурам соответствовали *разные* группы! Тогда достаточно будет различать группы — вместо многообразий; это гораздо проще, ибо группы часто состоят из немногих элементов, или множество их элементов легко обозримо.

Первый образец «различающей» группы $\Pi_1(M)$ Пуанкаре придумал сразу: она состоит из всех *петель* с общей вершиной в многообразии M . Умножение петель означает их последовательное пробегание; нетрудно построить петлю, *обратную* к данной петле.

Так получилась Фундаментальная Группа $\Pi_1(F)$ произвольной связной фигуры F . С её помощью Пуанкаре легко различил все замкнутые поверхности и многие трёхмерные тела. Например, фундаментальная группа Тора коммутативна, и в ней *нет* элементов конечного порядка. Напротив — у Проективной Плоскости фундаментальная группа состоит всего из двух элементов, а у бутылки Клейна она *не* коммутативна.

Сходным путём Пуанкаре доказал, что плоскость *не* гомеоморфна пространству. Действительно: если выколоть одну точку из плоскости, то остаток стянется к окружности; если точку выколоть из пространства, то остаток стянется к сфере. Но у сферы и окружности — разные фундаментальные группы! Вот и всё рассуждение. . .

К сожалению, оно *не* проходит, если мы хотим топологически различить трёх- и четырёхмерное евклидовы пространства: ведь двумерная и трёхмерная сферы имеют одинаковую (тривиальную) фундаментальную группу! Значит, нужны новые топологические инварианты, в чём-то превосходящие фундаментальную группу. Как их изобрести?

Пуанкаре увидел два возможных пути. Во-первых, можно рассмотреть вместо *петель* в многообразии — «пузыри» в нём (то есть, сферы размерности 2 или более). Из них тоже можно составить группу — но вычислять её будет труднее, чем фундаментальную группу. Дело в том,

что каждое известное ему многообразие Пуанкаре сумел разложить в объединение *клеток*: отрезков, многоугольников, многогранников и так далее. Для вычисления фундаментальной группы довольно рассмотреть *двумерный* остов многообразия: отрезки задают образующие элементы группы, многоугольники задают соотношения между ними.

Такую конструкцию можно обобщить на более высокие размерности; сделав это, Пуанкаре определил Группы Гомологий многообразия M^n (n — размерность многообразия) и сразу нашёл красивое соотношение между ними $H_k(M^n) = H^{n-k}(M^n)$.

Так родилась Алгебраическая Топология — самая удачливая ветвь геометрии 20 века. Наследники Пуанкаре развили его идеи до сложной Теории Гомотопий и Гомологий. Оказалось, что построение новых инвариантов фигуры через *клетки* и через *пузыри* даёт нам разные системы групп (Гомологии и Гомотопии); они дополняют друг друга и вместе *полностью* определяют *гомотопический* тип многообразия M . Но его *топологический* тип *не* задаётся одними гомотопиями и гомологиями!

Нужны ещё Пучки и Характеристические Классы пучков над многообразиями. Их изобрели в 1930–1950 годах геометры следующего поколения: американцы Марстон Морс, Норман Стинрод и Хаслер Уитни; россиянин Лев Понтрягин. Ещё позже — между 1950 и 1970 годами — очередное поколение геометров (американцы Джон Милнор и Стефан Смейл, британец Майкл Атья и россиянин Сергей Новиков, французы Рене Том и Рауль Ботт, американцы Робион Кирби и Лоуренс Зибенман) завершило (в принципе) классификацию многообразий — гладких и несглаживаемых — по их алгебраическим инвариантам.

При этом были открыты различные чудеса. Например: замкнутое многообразие M (хотя бы Проективная Плоскость) может *не быть* краем никакого тела следующей размерности! Или: два гладких многообразия (даже две сферы) могут быть гомеоморфны — но их гомеоморфизм *нельзя сгладить*! Одним словом, новая Геометрическая Вселенная, составленная Пуанкаре из многообразий и их алгебраических инвариантов, оказалась столь же сложной, как старая Алгебраическая Вселенная — составленная Ферма и Эйлером, Гауссом и Куммером из чисел и их алгебраических инвариантов.

Что самое интересное — обе новые математические вселенные оказались неразрывно связаны между собой. Многие трудные геометрические факты получили простые алгебраические доказательства в Теории Групп или Колец. И обратно — многие классические проблемы алгебры получили изящные топологические решения. Эту традицию начал Пуанкаре: он нашёл *два* новых доказательства существо-

вания комплексного корня у всякого комплексного многочлена. Одно из них опирается на фундаментальную группу окружности; другое — на группу гомологий двумерной сферы.

Другой пример: в середине 19 века Вильям Гамильтон и Артур Кэли построили два разных обобщения комплексных чисел — Кватернионы (размерности 4) и Октавы (размерности 8). Оба эти объекта *не* коммутативны; октавы даже *не* ассоциативны — но в обоих царствах можно делить любой вектор на другой ненулевой вектор.

Можно ли ввести похожее умножение с делением в других евклидовых пространствах — хотя бы размерности 16? Нет, нельзя!

Этот алгебраический факт получил топологическое доказательство: его придумали Милнор, Адамс и Атья. Сначала Милнор перевёл исходную алгебраическую проблему на геометрический язык гладких многообразий: получилось новое утверждение о «причёсывании» касательных векторных полей на многомерной сфере. Потом Адамс перевёл эту геометрическую задачу на алгебраический язык Кольца Когомологий, в котором действуют «операции Адамса». Получилось новое алгебраическое тождество. Наконец, Майкл Атья (британец и араб — в одном лице) свёл алгебраическую проблему к арифметической задаче: при каких k число $3^k - 1$ делится на 2^k ? Легко доказать, что это бывает только при $k = 1, 2, 4$; значит, хорошее умножение векторов можно ввести лишь в евклидовых пространствах размерностей 2, 4 или 8.

Такой облик приняла Математическая Вселенная в 20 веке. Есть небольшое семейство независимых царств со своими конституциями: они состоят из определений, аксиом, теорем, задач и решений этих задач. Но в каждом царстве найдется «родная» задача, которую *невозможно* решить «домашними» средствами!

Это — не просто экспериментальный факт, но строгая теорема Курта Гёделя, доказанная в 1931 году с помощью логики и арифметики и поразившая сообщество математиков. Многие её испугались; возможно, что первым её угадал и испугался ещё Гаусс. Если в каждой математической теории можно высказать такое утверждение, которое внутри этой теории невозможно ни доказать, ни опровергнуть — значит, не будет конца размножению математических миров!

Так Геометрия Евклида разделилась на три ветви — согласно трём вариантам Постулата о Параллельных Прямых. Аналогично, Теория Множеств Кантора разветвилась надвое по Континуум-Гипотезе. И не будет конца такому ветвлению Математического Древа. . .

В конце 20 века это положение дел стало для большинства математиков привычным — и даже радостным! Если «своя» задача не решается

«по-своему», то можно и нужно отдать её в хорошие руки, на сторону. Авось, в соседнем царстве её перефразируют так, что она станет разрешимой! А если нет — пусть её оттуда передадут в тридевятое царство — и так далее, до победного конца в родной Вселенной! Именно так получилось с Большой Теоремой Ферма.

Пуанкаре и Гильберт избегали её, не желая тратить годы на размышления с неясным исходом: ведь кругом столько красивых и трудных, но доступных задач! Более слабые или менее знаменитые математики избегали Теоремы Ферма до 1970-х годов — пока Царство Алгебры не сравнялось в сложности с Топологической Империей. В 1983 году начался прорыв: дерзкий молодой немец Герд Фальтингс доказал давнюю гипотезу англичанина Морделла. Из неё следует, что в степенях, больших, чем 2, уравнение Ферма может иметь лишь *конечный набор* независимых решений. Тут математическая молодёжь зашевелилась: кажется, пришёл её час!

В 1986 году ещё один смелый немец — Герхард Фрай заметил, что Теорема Ферма, кажется, вытекает из давней гипотезы Танияма об эллиптических кривых. Эту гипотезу мог бы высказать ещё Пуанкаре — большой знаток эллиптических функций, автоморфных и модулярных форм. Но знатный француз прошёл мимо; зато безвестный японец увлёкся этой проблемой в 1950-е годы — но вскоре умер, и гипотеза осталась бесхозной. Как её доказать — об этом никто не задумывался, не предвидя особой пользы от явно трудной работы. Но если Фрай утверждает, что из гипотезы Танияма следует Теорема Ферма — тогда над нею стоит потрудиться!

Кстати, правду ли говорит Фрай? Почему он не публикует строгое изложение своих рассуждений?

Через год (1987) гипотезу Фрая аккуратно доказал молодой американский алгебраист Кен Риббет, с помощью своего учителя — матёрого тополога Барри Мазура, ученика знаменитого Милнора. После этого молодые алгебраисты по всему свету тайне набросились на гипотезу Танияма: кто первый её одолеет, и когда?

Первым пробился к цели сквозь лес неудач англичанин Эндрю Уайлз в 1994 году. Сразу стало ясно, что это доказательство *не могло* быть придумано не только во времена Ферма и Эйлера, но даже в эпоху Пуанкаре и Гильберта. Правильно сделали классики, что не стали срывать зелёный плод с дерева познания! Плод должен созреть — и должен вырасти тот садовник, который заметит, что плод созрел.

Пуанкаре был великий садовник в математическом саду: он открыл много новых фактов и ввёл немало новых понятий, отражающих суще-

ство дела. Но — подобно Гауссу или Ньютону — Пуанкаре не любил и не очень умел учить своему ремеслу юных садовников. У него было много *заочных* учеников (как у Лейбница), но прямых преемников не было. Антиподом Пуанкаре в педагогическом ремесле был великий немец — Давид Гильберт (1862–1943).

Подобно Ньютону, Эйнштейну или Бору, Гильберт был не вундеркинд, но тугодум с сильной интуицией и огромной работоспособностью. В отличие от Ньютона или Эйнштейна (но в согласии с Нильсом Бором) Гильберт любил *передавать* свои знания смышлёной молодёжи — и вскоре (1895) он стал весьма удачливым лектором. Чувствуя себя в ответе за учеников, Гильберт (в отличие от Пуанкаре) покидал очередную для себя область математики лишь после того, как в течение 3–5 лет осваивал её, ежегодно читая новый спецкурс и редактируя конспекты своих студентов так, что они могли служить учебниками для следующего поколения математиков.

Пуанкаре никогда этого не делал — хотя его лекции были столь же ясны и элегантны, как лекции Гильберта. Но Пуанкаре был великий импровизатор; Гильберт же, напротив, был великий мастер подготовки будущих шедевров.

По-разному относились эти два гения и к научным проблемам — хотя оба считали их главным движителем научного прогресса. Пуанкаре вольно перескакивал от одной проблемы к другой (часто — весьма удалённой), как только прежняя проблема была решена. Напротив — Гильберт сознательно выдумывал и перебирал *все* вообразимые проблемы в новой области математики или физики — до тех пор, пока они не образовали прочный скелет для данной ветви науки.

Первый пример такого творчества 38-летний Гильберт представил научному сообществу на Всемирном конгрессе Математиков (1900 год). Он огласил 23 ещё не решённые проблемы, которые, по его мнению, могут сильно повлиять на развитие математики в грядущем веке. Все эти проблемы были выбраны со вкусом и целенаправленно: так, что решение каждой из них, видимо, невозможно *внутри* той области, где проблема сформулирована. Гильберт явно пытался сплотить «соседние» математические королевства в единую, прочную Империю. . .

Пуанкаре хотел и делал то же самое — но только своим *личным* примером, перескакивая из Функций Комплексного Переменного в Дифференциальные Уравнения, оттуда в Топологию Многообразий, из неё в Математическую Физику — и так далее. Гильберт же не делал «нелогичных» скачков: он переходил из одной научной области в другую во главе каравана учеников, тщательно объясняя им все предвидимые

трудности маршрута. В итоге Гильберт за 40 лет работы создал не одну или две, а 8 научных школ в разных ветвях математики: в Коммутативной Алгебре и в Теории Чисел, в Функциональном Анализе и в Математической Логике, в классической Геометрии и в теории Дифференциальных Уравнений Физики. Всего Гильберт вырастил не менее 70 самобытных учеников. Не удивительно, что большинство знаменитых и не очень известных математиков 20 века было или считало себя «детьми», «внуками» либо «правнуками» Гильберта!

Например, автор этих строк унаследовал область своей научной работы от Пуанкаре. Но он считает себя «праправнуком» Пуанкаре лишь по одной линии — через Морса и Понтрягина, Тома и Смейла, С. П. Новикова с Д. Б. Фуksom — а «правнуком» Гильберта сразу по трём линиям! Один из моих учителей (Н. Н. Константинов) увлёк меня красотой «олимпиадных» математических задач на школьном кружке. Другой (В. М. Алексеев) научил меня Математическому Анализу и тому, как его следует преподавать. Третий (В. И. Арнольд) показал личным примером, как математику следует осваивать смежную область науки, не забывая ранее нажитых навыков. Все трое были учениками А. Н. Колмогорова и «внуками» Давида Гильберта!

Показателен был ответ Гильберта (в пожилые годы) на вопрос студентов: решение какой проблемы *сейчас* принесло бы наибольшую пользу всей науке? В 1920 году Гильберт ответил так: «Доказать гипотезу Римана в теории чисел и поймать муху на обратной стороне Луны!» — «А зачем это нужно — ловить мух?» — «Это никому не нужно! Но подумайте сами: какие мощные научные средства вам пришлось бы изобрести для решения этой проблемы! И какое множество иных полезных задач вы бы с их помощью успешно решили!»

Такова была мудрость стареющего Гильберта в последние годы расцвета великой германской математической школы — перед тем, как невежественное господство Гитлера разогнало и подавило этот великолепный научный Интернационал. . .

Глава 36. Рождение ядерной физики

Для физиков 20 век начался в 1895 году — когда Рентген обнаружил X-лучи, Беккерель заметил потемнение фотопластинок рядом с солями урана, а Джозеф Томсон измерил отношение заряда электрона к его массе. Заметим: всё это произошло за 15 лет до выяснения «планетной»

структуры атома. То есть, *ядерная физика* родилась раньше завершения *атомной* теории! Эксперимент шёл впереди, очень быстрыми шагами. Уже в 1903 году Резерфорд и Содди заметили, что радиораспад атомов превращает один химический элемент в другой: сбылась вековая мечта алхимиков! Одновременно Резерфорд выделил из потока радиоактивных лучей его самую активную часть: Альфа-частицы, которые оказались ядрами атомов Гелия. На 30 лет эти частицы стали основным реагентом в руках физиков — ядерщиков. С их помощью экспериментаторы вызывали всё новые реакции внутри прежде недоступных и непостижимых атомов.

Показательно, что в 1908 году Резерфорд получил Нобелевскую премию по Химии — как самый удачливый алхимик всех времён и народов. Его ученик Мозли наверняка получил бы такую же премию — за окончательное выяснение смысла таблицы Менделеева! В 1914 году Мозли измерил спектры излучения почти всех(!) атомов в рентгеновском диапазоне волн — и установил, что *номер* любого элемента равен *заряду* ядра его атома. К сожалению, ни Менделеев, ни Мозли Нобелевскую премию не получили: русский патриарх умер (1907) раньше, чем о нём вспомнил Нобелевский комитет, а молодой англичанин погиб в Первой Мировой войне (1915).

Среди любимых поговорок Эрнста Резерфорда (1871–1937) была такая: «Хорош тот экспериментатор, чьи результаты бесят теоретиков!» Сам Резерфорд был очень хорош в этом смысле. Сперва он ухитрился превратить один атом в другой. Потом он обнаружил атомы с разной массой, но одинаковыми химическими свойствами — Изотопы. Наконец, Резерфорд обнаружил, что большая часть объёма атома — пустая; только в центре присутствует заряженное ядро огромной плотности.

Но как электроны ухитряются *вечно* обращаться вокруг такого ядра, *не* излучая энергию вовне (согласно уравнениям Максвелла) и не падая на ядро?

На этот вопрос сумел ответить в 1913 году Нильс Бор (1885–1962) — основатель Квантовой Механики, младший друг Резерфорда. А почему возможны изотопы разного веса? На этот вопрос Резерфорд ответил сам, предположив в 1920 году существование Нейтрона. Какие силы удерживают в ядре одинаково заряженные протоны, которых электрическая сила должна бы разогнать в разные стороны? На сей вопрос в 1935 году (ещё при жизни Резерфорда) ответил дерзкий японец Юкава Хидэки (1907–1981).

Он угадал и рассчитал действие особой *ядерной* силы среди протонов и нейтронов, когда те сближены почти вплотную — на 10^{-13}

сантиметра. Эта сила возникает вследствие *обмена* особой частицей: π -мезоном, который примерно в 10 раз легче протона или нейтрона. Юкава рассчитал массу мезона на основе Соотношения Неопределённостей, открытого Гайзенбергом (1927). До обнаружения π -мезона в космических лучах (1947) Резерфорд не дожил. Не увидел он и первых признаков цепной реакции ядер урана: они были замечены через год после смерти Резерфорда. Так что гонка ядерных вооружений осенила поколение учеников Резерфорда. . .

Понятно, что ураган неожиданных экспериментальных открытий вынудил теоретиков измышлять такие гипотезы, каким в иную пору никто бы не поверил и постеснялся бы их высказать. Так в 1900 году добропорядочный физик из старшего поколения — Макс Планк (1858–1947) предложил странную идею: будто атом излучает либо поглощает свет не непрерывно, а отдельными порциями — Квантами. Эту идею одобрил бы Ньютон — но не одобрили бы Гюйгенс и Максвелл. Зато она хорошо увязывалась с дискретным спектром излучения атомов — и, главное, она позволила Планку рассчитать наблюдаемый спектр излучения Чёрного Тела!

Двенадцать лет физики-теоретики терпели ересь старого Планка. Потом молодой Нильс Бор перекрыл её ещё более дерзкой ересью. Он предложил новую *аксиому* ядерной физики: что атом излучает либо поглощает квант света только в момент *перескока* (перехода) одного из электронов с одной орбиты на другую. Этой аксиомы хватило для количественного объяснения спектров атомов — включая расчёт константы Ридберга, которая издавна считалась одним из «чудес» экспериментальной физики.

Но почему электрон *не* излучает кванты света, пока он обращается вокруг ядра атома по стабильной орбите? Ведь это движение — криволинейное, а потому — ускоренное! Чтобы обойти это противоречие с теорией Максвелла, Нильс Бор и его ученики (Гайзенберг, Паули, Йордан и другие) предположили, что «полёт» электрона вокруг ядра *не* является движением механической частицы, но лишь электрическим *током*, который *не* имеет определённого положения в пространстве в данный момент времени! Гайзенберг даже вывел Соотношение Неопределённостей в наблюдаемых значениях двух величин, произведение которых имеет размерность Действия. Это могут быть Энергия и Время, или Импульс и Расстояние, или Амплитуда колебаний и их Частота. . .

Оказалось, что Природа «подслеповата»: она допускает даже *несохранение* Энергии, если оно длится очень недолго. Например, ядро атома излучает фотон — а электрон на орбите успевает поглотить сей

фотон быстрее, чем любой физик успеет заметить такой процесс. Или протон в ядре атома: он испускает π -мезон (превращаясь из-за этого в нейтрон) и передаёт сей мезон соседнему нейтрону (который превращается в протон). Всё это происходит столь быстро, что обмен «виртуальными» фотонами (либо мезонами) незаметен извне атома или его ядра. Мы уверенно наблюдаем лишь *последствия* такого обмена: прочную связь между ядром и электроном в атоме, или между нуклонами в ядре.

В чём выражается эта связь? В том, что масса атома водорода *меньше* (примерно на одну *стотомиллионную* долю), чем сумма масс его частей — протона и электрона. Оттого атом водорода стабилен: чтобы разделить его на протон и электрон, нужно добавить извне малую порцию энергии (13 электронвольт) в форме короткого (рентгеновского) фотона.

По той же причине стабильна Альфа-частица, состоящая из 2 протонов и 2 нейтронов. Её масса *меньше* суммы их масс примерно на одну *тысячную* долю. Для «развала» Альфа-частицы на её компоненты нужно добавить ей в 100 000 раз больше энергии, чем для «развала» атома водорода. Вот причина огромной разницы между Химической (атомной) и Ядерной энергетикой! Оттого взаимодействие ядерных частиц называется *сильным* — в сравнении с взаимодействием электрона с ядром в атоме.

Все эти факты были поняты Резерфордом и его учениками к 1930 году. Одновременно Нильс Бор и его ученики создали Квантовую Механику — новую математическую модель зоопарка элементарных частиц, соответствующую атомным и ядерным процессам. После этого встал вопрос: какие *приборы* нужны для вызывания ядерных реакций? Химикам в 19 веке довольно было простой печки; что нужно физикам-ядерщикам?

Ответ оказался прост: нужен электромагнитный *ускоритель* электронов или протонов, который повышает их кинетическую энергию во много раз, превращая биллиардные шары в пушечные ядра! Первый ускоритель протонов построил в 1932 году Джон Кокрофт (1897–1967) — ученик Резерфорда, друг Петра Капицы и его преемник во главе лаборатории в Кембридже. Кинетическая энергия протонов на выходе из первого ускорителя составляла малую долю от полной энергии этих частиц, рассчитанной по формуле Эйнштейна ($E = mc^2$). Но полвека спустя — в 1980 году мощный ускоритель разгонял протоны до энергии в 400 масс протона!

При столкновении такого снаряда с неподвижной мишенью рождается уйма новых частиц — порою не предсказанных заранее. Таким

путём ускорители протонов и электронов превратили Ядерную Физику в Физику Элементарных Частиц, скрытых внутри ядра — или даже внутри протона.

Дело в том, что разгон частицы до скорости, близкой к скорости света, сжимает (согласно формуле Лоренца-Эйнштейна) размер частицы вдоль оси её движения. Например, диаметр неподвижного протона равен 10^{-13} см. Но протон, разогнанный до энергии в 400 протонных масс, стал в 400 раз короче! Так ускоритель обретает новую роль «микроскопа» в ядерном мире. Таким путём физики «заглянули» внутрь протона в 1968 году — и различили там загадочные *кварки* и *глюоны*, предсказанные семью годами ранее на основе чистой математики. С тех пор стали говорить, что вся Физика Элементарных Частиц — это Симметрия, воплощённая и окрашенная Энергией.

Глава 37. От Астрономии — к Астрофизике и Космологии

Самым важным открытием 19 века в звёздной астрономии было, безусловно, измерение межзвёздных расстояний с помощью годичного параллакса звёзд (в 1838 году). Но этот способ годится лишь для достаточно близких звёзд; он не позволяет выяснить размер нашей Галактики. Как за это браться — было не ясно до 1910-х годов, когда Генриэтта Ливит занялась изучением звёзд в Магеллановом Облаке — ближайшей к нам внешней галактике. Там обнаружили переменные звёзды хорошо знакомого типа, уже названные «цефеидами». Ливит обнаружила *линейную* связь между видимой яркостью этих звёзд и периодом их пульсаций. Но такой простой зависимости *нет* среди цефеид, наблюдаемых в *нашей* Галактике! В чём тут дело?

Генриэтта Ливит сообразила, что все звёзды в Магеллановом Облаке почти одинаково удалены от нас. А внутри Галактики *истинные* расстояния до звёзд нам обычно *не* известны — как и их истинные яркости! Зато теперь стало возможно узнать *точные* расстояния до всех цефеид — если удастся напрямую измерить расстояние хоть до одной из них. Такою пробной звездой послужила Полярная. Эйнар Герцшпрунг (1873–1967) измерил расстояние до неё (1910): в итоге цефеиды получили новое прозвище: «маяки Вселенной».

Ещё более важное открытие Герцшпрунг сделал, когда начал фотографировать звёзды через цветные светофильтры. Оказалось, что на

диаграмме с координатами «цвет-светимость» большинство звёзд уместается около главной диагонали: чем звезда «голубее», тем она ярче, а чем «краснее», тем тусклее. Наше жёлтое Солнце — типичный малыш в мире звёзд, в сравнении с Вегой или Сириусом. Они — голубые гиганты; есть ещё красные карлики, белые карлики и красные гиганты — эти последние *не* лежат на главной диагонали в диаграмме Герцшпрунга. . .

Тут датчанина поразила большая соблазн: не оттого ли звёзды краснеют и тускнеют, что они «выгорают» каким-то неизвестным путём, постепенно уменьшая свою массу? Позднее расчёты астрофизиков показали, что самые мелкие звёзды примерно в 100 раз легче самых массивных звёзд; это согласуется с гипотезой Герцшпрунга. Но куда девать при этом небольшие кучки красных гигантов и белых карликов? Откуда берутся Сверхновые звёзды? На такие вопросы не было ответов, пока в 1930-е годы физики не занялись энергетикой звёздного «горения» на основе ядерных реакций, понятых к этому времени.

Но прежде — в 1920-е годы в Калифорнии Эдвин Хаббл (1889–1953) открыл с помощью нового огромного телескопа безбрежный мир галактик. До той поры астрономы считали эти пятнышки мелкими туманностями внутри нашей Галактики, а её — главной частью Вселенной. Что в сравнении с нею небольшие Магеллановы Облака! Но в 1924 году Хаббл различил отдельные звёзды в «небольшой» Туманности Андромеды, которая значилась как М31 ещё в первом каталоге Мессье (18 век). Среди тамошних звёзд Хаббл нашёл цефеиды; по их блеску и периодам миганий он рассчитал расстояние до Туманности Андромеды. Оно в десятки раз превосходит размеры нашей Галактики — значит, эта «мелкая» туманность есть «близнец» нашего звёздного острова! И, наверное, таких островов ещё много во Вселенной!

Хаббл начал охоту за новыми галактиками; их ансамбль действительно огромен — сродни ансамблю звёзд в нашей Галактике. Какие закономерности можно заметить в новом ансамбле галактик? В 1929 году Хаббл нашёл первую неожиданную связь: чем *дальше* галактика от нас, чем с *большой скоростью* она от нас удаляется! Эти измерения проводились на основе эффекта Доплера-Физо: сдвиг характерных линий в спектре звезды или галактики в красную сторону говорит о её удалении от наблюдателя, а фиолетовый сдвиг — об их сближении.

Неужели наша Галактика — центр Вселенной, откуда всё разлетается в стороны? Трудно в это поверить! Более понятна другая геометрическая картина. Все попарные расстояния между галактиками во Вселенной растут, так что *каждую* галактику можно принять за «центр» разбегания прочих галактик. Чем дальше галактика, тем быст-

рее она удаляется от «центра». Как если бы галактики были «точками» на поверхности резиновой «сферы» — и эта сфера раздувалась бы, как единое целое. . .

«Резиновая» модель Вселенной сразу вызвала вопрос: *что* раздувает трёхмерную Небесную Сферу? Был ли в её начале некий Большой Взрыв? Если да, то какие его прямые последствия можно наблюдать на небе сейчас? В 1948 году удачный ответ на сей вопрос нашёл американский физик родом из Одессы Георгий Гамов (1904–1968) — друг Льва Ландау, успевший сбежать из-под власти Сталина раньше, чем упал Железный Занавес между Россией и Европой. Гамов знал о ядерных реакциях достаточно, чтобы понять: в начале Большого Взрыва рождались не звёзды и не галактики, даже не атомы — а элементарные частицы! Среди них наверняка были фотоны: их было много, их энергии распределялись по спектру Чёрного Тела, описанному Планком в 1900 году.

Что могло произойти с этим фотонным газом за миллиарды лет? Он расширялся и охлаждался; сейчас максимум его энергии приходится на длинные радиоволны. . . Ау! Владельцы радиотелескопов, поищите на небе «реликтовое» излучение! Оно должно одинаково интенсивно приходить со всех сторон на матушку Землю!

Первый радиотелескоп был построен в США Карлом Янским в 1932 году — в процессе изобретения радиолокаторов. Реликтовое радиоизлучение было случайно замечено в 1963 году — в форме однородного «шума», мешающего вести наблюдения и имеющего среднюю температуру около 3 градусов Кельвина. Холоднее этого во Вселенной ничего нет — разве что в человеческих лабораториях, где физики стараются подойти поближе к Абсолютному Нулю, оживая гелий и изучая диковинные свойства квантовой жидкости.

Но в конце 1930-х годов физики уделяли больше внимания самым горячим точкам нашей Вселенной — тем, где идут ядерные реакции с огромным выделением энергии. В 1938 году немецкий физик Ханс Бете (1906–2005), эмигрировавший в США, предложил схему Углеродного Цикла — системы ядерных реакций, которая превращает 4 протона в ядро гелия. Согласно расчётам Бете, этот цикл может обеспечить свечение Солнца в течение миллиардов лет. Столь давно процветает Жизнь на Земле, питаясь энергией от огромной, постоянно действующей Водородной Бомбы. Но что её зажгло?

На этот вопрос ещё в 1920-е годы ответил британский физик Артур Эддингтон — тот, кто первый экспериментально проверил Общую Теорию Относительности в 1919 году, во время солнечного затмения.

Теперь сэр Артур заявил, что звезду разогревает и зажигает её гравитационное сжатие! Небесный огонь добывается механическим путём — как поступали первобытные люди, не знавшие химии и электричества. . . Какова дальнейшая судьба молодой звезды? Прав ли был Герцшпрунг, предполагая медленный спуск звёзд вдоль главной диагонали в своей диаграмме?

Первый шаг к пониманию сложности этой проблемы сделал заочный ученик Эйнштейна — Карл Шварцшильд. В 1916 году он использовал Общую Теорию Относительности для расчёта «гравитационного радиуса» тела данной массы m . Оказалось, что при сжатия такого тела до радиуса $2Gm/c^2$ (G — гравитационная постоянная, c — скорость света) тяготение вокруг становится столь сильным, что даже свет не может его одолеть! Тело претерпевает «коллапс»: оно перестаёт быть видимо извне и действует наружу лишь своим тяготением. Астрофизики назвали такой объект Чёрной Дырой и попробовали рассчитать: реально ли превращение в неё для наблюдаемых нами звёзд?

Оказалось, что *да* — реально, если масса звезды больше примерно трёх солнечных масс. Этот факт установил в 1931 году индеец Субрахманьян Чандрасекар (1910–1995). Прошло полвека, прежде чем он получил за это предсказание Нобелевскую премию (1983)! Дело в том, что обнаружить в Космосе Чёрную Дыру очень трудно — хотя в центре каждой большой галактики (включая наш звёздный остров) присутствует Чёрная Дыра огромной массы, пожирающая окрестные звёзды. Первые объекты такого рода (Квazarы) были замечены в 1960-е годы — по огромному красному смещению в их спектрах. При том, они «мигают» довольно часто — с интервалом в дни или часы. Как это можно объяснить? Период «миганий» соответствует «световому радиусу» самого объекта: он одного размера с нашей Солнечной системой. Но яркость квазара соответствует яркости целой галактики, наблюдаемой с того расстояния, которое рассчитываемо по красному смещению квазара.

Астрофизики предложили такую модель квазара: вращаясь, он втягивает в себя окрестные звёзды и туманности со стороны своего экватора, но излучает полученную энергию из своих полюсов! Как будто «Лазер» — огромной мощности, но излучающий все длины волн, заряжаемый путём гравитации. . . Понятно, отчего мы видим во Вселенной так мало квазаров — и все они далеки от нас. Близкий квазар сожжёт любую галактику, которая окажется напротив его полюсов!

Но что происходит с обычной звездой, прежде чем она схлопнется в Чёрную Дыру небольшого размера? (Для нашего Солнца гравита-

ционный радиус равен примерно 3 км, а для Земли — 1 см.) Тот же Чандрасекар рассчитал, что полное «выгорание» водорода в гелий уменьшает массу звезды менее, чем на 1%. После этого световое давление внутри слабеет — и звезда сжимается до своего предела. Сперва деформируются электронные оболочки: размеры атомов уменьшаются, плотность вещества резко возрастает, и звезда становится «белым карликом», который постепенно остывает.

Дальше — пуще: если масса звезды больше солнечной в полтора раза, то электроны вдавливаются вглубь ядер атомов; они сливаются с протонами, образуя нейтроны. Получается Нейтронная Звезда: она, по сути, являет собою огромное Ядро Атома, с колоссальным перевесом нейтронов над протонами. Как можно заметить эти чудища на небе?

Их заметили в 1967 году, и назвали Пульсарами — за очень быстрые (короче одной секунды) и очень регулярные колебания их яркости. Отбросив гипотезу о сигналах «внеземного Разума», пульсары вскоре опознали как *вращающиеся* Нейтронные звёзды с неровной поверхностью. Минимальные «землетрясения» на поверхности такой звезды вызывают мощное излучение фотонов по всей длине спектра: мы «слышим» грохот этих обвалов в диапазоне от радио до гамма-лучей.

А как выглядит Нейтронная звезда в момент своего рождения? Это — Сверхновая звезда! При «схлопывании» выгоревшей звезды в нейтронный «огарок», момент её импульса сохраняется. Оттого сердцевина нейтронной звезды приобретает быстрое вращение (пульсар часто мигает) — зато внешняя оболочка звезды слетает с неё наружу, колоссально разогреваясь при этом. В оболочке Сверхновой идут такие реакции, какие невозможны для обычных звёзд. Ядра атомов сливаются, порождая всё богатство таблицы Менделеева — до трансурановых элементов (например, калифорния). Его сперва обнаружили в спектрах термоядерных взрывов на Земле (1954); скоро те же линии были замечены в спектрах Сверхновых звёзд.

Если масса звезды недостаточна для рождения Сверхновой, то получается просто Новая звезда: красный гигант, внутри которого прячется белый карлик. Вот откуда взялись те звёзды, которые *не* укладываются на главную диагональ диаграммы Герцшпрунга-Рассела! В них «топливом» служит уже не водород, а гелий — он перегорает в литий, углерод, кальций и другие элементы — вплоть до железа. Так шёл в древних массивных звёздах синтез тяжёлых элементов, которые обогатили собою космическую пыль — и потом вошли в состав звёзд следующего поколения (вроде нашего Солнца) и их планет. Без этой «тяжёлой пыли» Жизнь на Земле, вероятно, не возникла бы. . .

Кстати: именно расчёты водородных бомб в 1950-е годы позволили опровергнуть гипотезу Герцшпрунга о «сползании» звёзд вдоль главной диагонали на известной диаграмме. Наоборот: звёзды движутся *поперёк* этой диагонали! Но *на ней* они *задерживаются* надолго — на десятки миллионов и миллиардов лет, в зависимости от массы звезды. Лишь когда почти весь водород выгорел (превратился в гелий), звезда начинает «гулять» по диаграмме Герцшпрунга, превращаясь в белого карлика, нейтронный пульсар или небольшую Чёрную Дыру. В мире звёзд (как и в Биосфере) наблюдатель замечает, в основном, *стабильные* состояния объектов и *устойчивые* процессы. Неустойчивую Эволюцию в Природе нужно долго искать — или спровоцировать своими усилиями.

Глава 38. Возрождение Генетики

Переоткрыватель законов Менделя голландец Хуго де Фриз (1848–1935) смолоду поверил в теорию Дарвина, и потому старался уловить образование новых видов везде, где возможно. В 1886 году ему повезло: де Фриз заметил появление островков новой окраски среди американских примул и выяснил, что новая окраска передаётся к потомкам. Так была замечена первая природная *мутация*. Пытаясь навести арифметический порядок в наследовании мутаций, де Фриз переоткрыл в 1900 году правила Менделя — и догадался, как их можно объяснить. Загадочное вещество Наследственности, скрытое где-то в глубине живой клетки, имеет *дискретную* структуру! Один *ген* ответствен за белый цвет цветка, другой — за красный цвет, и второй почему-то сильнее первого. . . Но окраска зёрен задана совсем другим геном: эти гены *не* взаимодействуют между собой в ходе наследования признаков.

Чтобы постичь более сложные тайны наследственности, нужно было найти более удобный объект изучения, чем горох или фиалки. Его нашёл в 1907 году американец Томас Морган (1866–1945) в лице мелкой плодовой мушки — Дрозофилы. В клетках её слюнных желёз видны 4 очень крупные хромосомы: их легко увидеть даже в лупу, так что можно связать изменения внешнего вида хромосом (*генные* вариации) с изменениями внешности самого насекомого — вариациями Фенотипа. С 1907 по 1926 год Морган и его ученики вели наблюдения над наследственностью Дрозофилы — благо, она оказалась столь же многогранной и неустойчивой, как наследственность собак. Моргану удалось различить *сотни* вариаций во внешности дрозофил и составить Атлас расположения соответствующих генов в хромосомах плодовой мушки.

Тут же встал вопрос о Мутагенных Факторах: какими воздействиями можно увеличить либо уменьшить частоту мутаций у дрозофил? Первый такой фактор открыл в 1937 году ботаник Артур Блэксли. Оказалось, что растительный алкалоид Колхицин предотвращает разделение клетки после того, как её хромосомы раздвоились на пути обычного деления. Так возникают *полиплоидные* виды растений — например, культурная гречиха и свёкла произошли таким путём.

Совсем иным мутагеном служит рентгеновское излучение, как обнаружил в 1926 году американец Герман Мюллер. Оно повреждает хромосомы беспорядочно, порождая множество уродов. Изучение и классификация уродов оказались важным методом картирования генома многих растений и животных. Конечно, генетикам хотелось бы получить более тонкие инструменты Генной Хирургии — или Инженерии. Но такие инструменты появились лишь после выяснения *химической* природы наследственного вещества клеток. Ясность наступила в 1950-е годы, когда многочисленное поколение физиков и химиков, усталых от военных исследований, переселилось в биологию со своими привычными (очень мощными) методами исследования молекул и кристаллов.

Только в 1944 году американец Теодор Эйвери установил в эксперименте, что носителем генетической информации служит Нуклеиновая Кислота — тогда как белки составляют лишь оболочку хромосом. После этого открытия началась большая работа по выяснению химической и геометрической структуры ДНК. К счастью, эта кислота и её соли успешно кристаллизуются: это указывает на правильную, периодическую структуру молекул. Анализ строения кристаллов издавна — с 1920-х годов — вёлся путём рентгенографии. Один из открывателей этого метода — старый Лоуренс Брэгг в 1950-е годы руководил лабораторией Кевендиша в Кембридже (где раньше командовал Резерфорд). Не удивительно, что здесь собралась замечательная команда биохимиков и кристаллографов.

Химики Макс Перутц и Джон Кендрию (они расшифровали химическое строение Гемоглобина и других белков); физик Френсис Крик (1916–2004), химик Джон Донохью и биолог Джемс Уотсон (эти двое — американцы). Вся эта бригада заочно соперничала с великим биохимиком Лайнусом Полингом (1900–1993) из Калифорнии, автором первого учебника Квантовой Химии. Американец-одиночка первым открыл спиральное строение белка Коллагена, из которого состоят волосы и ногти; но потом его прогресс замедлился. Между тем в Лондоне физик Морис Уилкинс (1916–2004) и кристаллограф Розалинда Франклин (1920–1956) получали рентгенограммы ДНК высшего качества.

Как только их снимки попали в руки Крика и Уотсона, те стали подбирать возможные химические структуры, совместимые с этими рентгенограммами. К счастью, строение элементарных блоков НК (пуринов, пиримидинов и сахаров) было давно известно; теперь требовалась грамотная «комбинаторика» этих элементов. Весною 1953 года Крик и Уотсон угадали и проверили форму молекулы ДНК. Это Двойная Спираль — или Винтовая Лестница, «поручни» которой состоят из сахаров и фосфатов, а «ступеньки» составлены из взаимно дополняющих пар оснований: (Аденин+Тимин), или (Гуанин+Цитозин). Так открылась химическая суть Генетического Кода всех живых организмов Земли. Геном организма есть длинная «телеграмма» в алфавите из 4 букв (АТГЦ), которые как-то кодируют все возможные аминокислоты, входящие в состав любого живого белка.

Ансамбль «живых» аминокислот был тогда уже известен: их 20 разных сортов. Для кодировки такого числа молекул мало *двух* букв 4-значного алфавита — но *трёх* букв достаточно! (Первым это угадал тот же Георгий Гамов). Оставалось выяснить природное соответствие между всевозможными тройками букв (вроде АТГ) и теми аминокислотами, которые кодируют тройки. Эту большую работу завершила в 1964 году новая интернациональная команда удальцов: Крик, Холли, Ниренберг, Очоа, Корана и другие «молекулярные биологи». Такое имя получила новая синтетическая наука на стыке физики, химии, биологии и компьютерной науки. Вскоре она сделалась лидером Естествознания — на весь остаток 20 века.

Постепенно биологи привыкли к мысли, что живая клетка являет собою особый вид самообслуживающего Компьютера. В нём Митохондрии и Хлоропласты суть Энергостанции; ДНК играет роль Постоянной Памяти; небольшие молекулы РНК играют роль Процессоров, а разные белки суть детали Компьютера, катализирующие деятельность его процессоров и производимые ими — по мере надобности.

В свете этой новой модели обрели новый смысл и правдоподобность многие старые гипотезы биологов. Например, о *симбиозе* органелл — как пути образования сложных «ядерных» клеток всех высших организмов земной биосферы. Или о малых молекулах РНК, ставших первым зародышем Жизни в густом белковом «бульоне» древних океанов Земли. И так далее...

Химическая суть копирования молекул ДНК и синтеза белковых молекул на базе специальной (информационной) РНК была выяснена довольно быстро — поскольку эти процессы протекают в клетке часто или непрерывно. Но как происходит *обратный* перенос информации из

РНК в ДНК, без которого трудно вообразить эволюцию генома живых органелл? Для этого нужен особый фермент — «Ревертаза»: его открыл в 1968 году американец Говард Темин (1934–1994). В руках экспериментаторов Ревертаза и её родичи стали точным «скальпелем», позволяющим резать или сшивать молекулы РНК или ДНК в желаемых местах.

Так Молекулярная Генетика переросла в Биоинформатику и Биоинженерию. Одновременно она вступила в диалог со Сравнительной Лингвистикой, которая тоже изучает природные информационные процессы большой сложности. Геном человека (расписанный по *буквам* около 2000 года — но пока не прочитанный полностью по *словам* — то есть, по генам) стал сейчас для биологов тем, чем около 1900 года был клинописный архив царя Ашшурбанапала для историков Древнего Востока. Переход от изучения и моделирования биологических *деталей* (белков или клеток, хромосом или органелл) к исследованию сложных, самоорганизующихся природных *систем* (вроде организма, биоценоза или семейства в Биосфере) — вот магистраль развития биологии в конце 20 века. К счастью, на этот путь тогда же или раньше вступили многие другие науки: Всемирная История и Технология, Политика и Психология, Физика Твёрдого Тела и Теория Информации. Так Естествознание перетекло из бурного 20 века в ещё более сложный и интересный 21 век.

Глава 39. Большая Техника и Большая Наука

О том, что наука может приносить материальные блага и деньги, западные европейцы догадались в конце 18 века — после того, как Джеймс Уатт изобрёл универсальный паровой двигатель для фабричного производства. Прошло ещё сто лет — и в 1876 году американский инженер Томас Эдисон положил начало организованному изобретательству. Он основал конструкторскую фирму, которая принимала заказы на новые изобретения от всех платёжеспособных клиентов — либо угадывала такие изобретения сама, делала их, брала на них патент и потом торговала патентами, выдавая лицензии на производство новинок промышленным фирмам.

Этот новый вид предпринимательства рядом с наукой оказался очень выгодным делом. За полвека хозяйство Эдисона получило 1300 патентов на разные новинки. Среди них были фонограф и микрофон, электролампа накаливания и первая электростанция — для поддержки освещения во многих домах Нью-Йорка. Пример Эдисона заразил многих его коллег. Александр Белл создал индустриальную импе-

рию вокруг телефона; Гульельмо Маркони — вокруг радиопередатчика; Вильгельм Даймлер — вокруг двигателя внутреннего сгорания (изобретённом Никласом Отто в 1876 году). С началом 20 века поголовье исследователей фирм начало расти очень быстро. Первая мировая война ускорила этот процесс, ибо правители воюющих сторон жаждали эффективных военных новинок и были готовы их оплатить.

В итоге возникла сначала автомобильная индустрия, за нею — авиационная (через 10 лет после первого полёта аэроплана братьев Райт в 1903 году). Химическая промышленность, начав с производства анилиновых красок (1875), вскоре перешла к синтезу новых взрывчатых веществ (пироксилин, нитроглицерин), потом — к синтезу и производству отравляющих веществ (иприт, люизит, фосген).

Показательно, что в 1854 году Майкл Фарадей резко отказался от предложения разработать отравляющий газ — чтобы выкурить защитников Севастополя из их окопов. Но сорок лет спустя (1895) инженер Альфред Нобель завещал учредить научные премии на проценты с того капитала, который он нажил, производя динамит в Швеции и перерабатывая нефть в Баку. Ещё через 20 лет (1918) Нобелевская премия по химии была пожалована Фрицу Хаберу — за изобретение способа синтеза аммиака из атмосферного азота. Члены Нобелевского кабинета знали, что в военные годы Хабер возглавил синтез боевых отравляющих веществ в Германии — но это не смутило «нейтральных» академиков.

Зато политика 20 века посмеялась над Хабером: после прихода к власти Гитлера «расово неполноценный» Хабер был изгнан из Германии и нашёл приют в Англии, против которой он прежде воевал.

В интервале между двумя мировыми войнами большинство учёных привыкло жить на зарплату, которую платит правительство — прямо, или через заказы фирмам либо университетам. Оттого быстрое развитие военно-промышленного комплекса не вызвало возмущения в большинстве учёных умов. Правители платили за изобретение радиолокатора для воздушных боёв; но тот же прибор стал радиотелескопом и резко расширил поле зрения астрономов во Вселенной. Ракетные исследования изначально велись с двойной целью: забросить человека на Луну — и перебросить сверхбомбу в другое полушарие Земли.

Изучение ядерной энергии с 1939 года приняло форму гонки: какая из великих держав раньше создаст урановую бомбу — и выиграет войну с её помощью, станет хозяйкой послевоенного мира? После 1945 года выяснилось, что немцы проиграли ядерную гонку американцам из-за сочетания двух причин: Гитлер и его команда не верили в огромные возможности ядерной физики (ибо совсем не знали её), а Гайзенберг и

его команда работали «спустя рукава» на презируемое ими начальство. Иначе было в США и СССР, где страх перед нацистской Германией сплотил ненадолго учёных и политиков самого разного сорта.

Показательны ответы двух великих физиков Запада и Востока — Энрико Ферми (1901–1954) и Льва Ландау (1908–1968) на прямой вопрос: стоило ли физикам делать ядерное оружие? Ферми ответил в 1950 году: «Конечно, стоило; ведь это, прежде всего — очень хорошая физика!» Раньше — перед войной, живя под властью Муссолини в фашистской Италии, Ферми говорил иначе: «Физика — наша Сомма (то есть, наркотик)» Но в 1938 году Ферми, получив в Стокгольме Нобелевскую премию, отбыл оттуда прямо в США — чтобы через 4 года запустить в Чикаго первый урановый реактор, а ещё через 3 года стать «Отцом Ядерной Бомбы». Но после войны Ферми занимался только физикой Элементарных Частиц; водородную бомбу он оставил Эдварду Теллеру, Станиславу Уламу и другим выходцам из Восточной Европы.

Лев Ландау в 1940 году был арестован сталинской охранкой — и чудом уцелел, из-за личного вмешательства Петра Капицы. После этого опыта Ландау ненавидел Сталина — но не мог уклониться от участия в ядерном проекте. После взрыва первой советской бомбы в 1949 году Ландау сказал: «Наконец-то ядерное оружие стало средством *нашей* защиты (от политиков)!» Позднее он участвовал в расчётах водородной бомбы, о которой потом сказал: «Если бы я первый понял, что она осуществима — я бы всё аккуратно досчитал до конца, а потом сжёг бы бумаги!» Наконец, в 1953 году — после смерти Сталина и ареста Берия — Ландау заявил: «Их нет, я их больше не боюсь — и на войну больше не работаю!» Но до конца жизни Ландау оставался под надзором охраны — и конечно, за границу СССР его не выпускали.

Такова была расплата больших ученых за участие в Большой Науке, оплачиваемой «большими» правителями. После смерти Сталина страх правителей США и СССР перед взаимной агрессией ослабел — и наступила, быть может, самая благоприятная пора для развития мировой науки. Правители соперничающих лагерей — коммунистического и либерально-буржуазного — были готовы тратить на научные исследования заметную долю государственного бюджета и поощряли к тому же своих граждан. В итоге между 1956 и 2000 годами были успешно воплощены столь дорогие и сложные проекты, как запуск первых искусственных спутников Земли (1957), первый полёт человека в Космос (1961), первая высадка людей на Луне (1969) и автоматических станций на Луне, Венере и Марсе, а затем — полёты автоматических зондов к дальним планетам.

На околоземной орбите появились спутники-телескопы для всего диапазона электромагнитных волн: от радиоволн до гамма-квантов. Автоматические зонды были запущены ко всем внешним планетам Солнечной Системы (вплоть до Нептуна), а также к комете Галлея (1986). На Земле тем временем были построены телескопы, ловящие самую призрачную элементарную частицу: Нейтрино. В 1970 году были отмечены нейтрино, испущенные Солнцем — но их число оказалось в 3 раза меньше, чем предсказывала теория ядерных реакций. Теоретики нашли «невозможное» объяснение этому чуду: нейтрино из трёх разных семейств «осциллируют», превращаясь друг в друга — поэтому все они имеют ненулевую массу! Только в 2002 году эти осцилляции были замечены в экспериментах. . .

Чуть легче оказалось обнаружить *кварки* — те кирпичики, из которых «склеены» протоны и другие ядерные частицы (адроны). Уже в 1975 году экспериментаторы сумели сфотографировать следы распада кварков («струи») с помощью нового поколения протонных ускорителей огромной мощности. Вскоре там же были замечены следы квантов «ядерного клея» — *глюонов*.

Между 1955 и 1990 годами США и СССР вели явную гонку: кто построит более мощный ускоритель и глубже заглянет внутрь протона — где, быть может, найдутся ещё более мощные источники энергии? Например, долгое время был популярен проект Гразера — аналога Мазера и Лазера (построенных в 1954 году), излучающего не радиоволны и не свет, а гамма-лучи! С помощью Гразера энергия ядерного взрыва могла бы испускаться целенаправленно — а не во все стороны, как в любой звезде или в обычных ядерных бомбах. Если бы этот проект удался, то человечество получило бы действующую модель Чёрной Дыры (Квазара) — и, вероятно, уничтожило бы себя новым оружием, успев лишь привычно заметить: «Это очень хорошая физика!» К счастью, этого не случилось: не все учёные мечты сбываются. . .

Гораздо важнее оказалось обнаружение на тех же сверхмощных ускорителях (до 400 ГэВ) новых тяжёлых кварков и глюонов, которые их связывают в протоне. Самый тяжёлый — шестой кварк (найденный в 1995 году) имеет такую же массу, как тяжёлый атом — вроде Гафния. Столь же огромную массу (около 90 ГэВ) имеют W^- и Z^0 -бозоны — кванты *слабого* взаимодействия частиц, предсказанные Вайнбергом и Саламом (1967) и обнаруженные командой Руббиа (1983). Затем на повестку дня встали поиски Скалярных Бозонов Хиггса: видимо, они ответственны за отделение Фотона от W^- и Z^0 -бозонов, их масса не менее 1000 ГэВ. . .

Но тут наступил экономический крах СССР и его политический распад. Вооруженное противостояние двух сверхдержав оборвалось, и правители США потеряли интерес к слишком дорогим исследовательским проектам.

Единственной процветающей ветвью Большой Науки на рубеже 20–21 веков осталась Большая Биология (она же — Генная Инженерия). Секвенирование (то есть, роспись по буквам АТГЦ) ДНК из всех хромосом человека (в них около 3 миллиардов букв) и других живых организмов, а также геномное Картирование нити ДНК (в ней десятки тысяч осмысленных слов — генов) — все эти сложные и очень дорогие операции оправданы надеждой на синтез исключительно эффективных лекарств против любых болезней: от гриппа и чумы до рака и СПИД.

Такой путь ведет Человечество к *равноправному* диалогу с Природой — на самом глубоком, молекулярном уровне. Попросту говоря, человек получает возможность *редактировать* доставшуюся ему Биосферу, как программист за компьютером редактирует не вполне удачную программу! Сбываются очередные мечты Алхимиков: создать в лаборатории новое живое существо, а потом — ужиться с ним в общем Мире.

Понятно, что это новое ремесло требует новых, непривычных знаний об очень сложных и динамичных системах. Необходимые для такой работы ветви классических наук — Физики и Химии, Математики и Кибернетики, Истории и Палеонтологии — находятся ещё в зародыше. Объединить их в цельную и умную науку об Автоэволюции Человечества — вот главная задача для учёных и не учёных людей 21 века. Решить её нужно раньше, чем стихийная эволюция Социума уничтожит современную цивилизацию — как 17 веков назад она уничтожила античные цивилизации Средиземноморья и Китая. Их науки с теми проблемами не справились; возможно, наша наука окажется более способной, или более везучей?

Глава 40. Российские научные школы в 20 веке

К концу 19 века Россия сделалась первоклассной научной державой, уступая в этом отношении только Англии, Германии и Франции. Почти в каждой области науки Россия имела 1–2 учёных мирового класса; почти каждый из них был окружён дружиной учеников, готовых под-

ражать Мастеру, не чураясь долгого и напряжённого труда — ради кратких мгновений научного открытия. Таков был итог правления двух последних оригинальных царей из дома Романовых: нерешительного реформатора Александра 2 и патриотичного консерватора Александра 3. Показательно, что многие несостоявшиеся русские учёные той поры находили себя в роли удачливых министров. Таковы были математики А. И. Вышнеградский, С. Ю. Витте и П. А. Столыпин.

Бездарное и неудачливое правление Николая 2 убедило многих россиян, что можно связать свою жизнь с надеждой на успех очередной революции — или что полезнее уехать за границу, где условия для научной работы лучше, чем в России. Так Россия потеряла талантливого химика Александра Ульянова и выдающегося биолога Илью Мечникова. Первый из них приехал из Казани в Петербург, стремясь учиться у Менделеева. Но в стенах университета Александр встретил пропагандистов-революционеров, увлёкся их проповедью и вошёл в состав группы, готовившей покушение на царя Александра 3. В 1887 году заговор был раскрыт, Ульянов и его друзья — казнены. Эта гибель сделала младшего Ульянова — Владимира — пламенным революционером, разрушителем империи Романовых и творцом новой Коммунистической империи.

Неустанная слежка полиции после убийства Александра 2 в 1881 году вынудила молодого радикального профессора биологии — Илью Мечникова — уехать из Одессы во Францию. Там его заметил Луи Пастер и пригласил к себе — в Институт Микробиологии. Вскоре Мечников сделал крупное открытие в постижении иммунитета живых организмов — Фагоцитоз. После смерти Пастера (1895) Мечников возглавил его Институт, а в 1908 году он стал Нобелевским лауреатом — вторым среди россиян.

Первый лауреат (1904 года) — Иван Павлов (1849–1936), сын священника из Рязани и талантливый физиолог — нашёл своё рабочее место в Петербургской Медико-Хирургической Академии. Там он стал генералом, Нобелевским лауреатом, защитником студентов от притеснений полиции. В 1917 году Павлов приветствовал демократическую буржуазную революцию; скорая победа безбожников-большевиков Павлова не обрадовала. Но он принял на себя роль критика самых очевидных глупостей и преступлений новой власти. Сперва Ленин, за ним — Сталин с интересом читали письма Павлова, признавая его роль народного трибуна в учёном сословии. До самой смерти (1936) Павлов упорно работал над моделированием высшей нервной деятельности человека. Перед смертью Павлов назначил своим преемником в роли учёного три-

буна Петра Капи́цу — физика, выросшего в лаборатории Резерфорда в Кембридже.

Третий (увы — не состоявшийся!) Нобелевский лауреат России был бы физик Пётр Лебедев (1866–1912). Один из учеников знаменитого германского оптика Гельмгольца (преемника Максвелла) — Генрих Герц получил в эксперименте (1884) радиоволны. Другой — Пётр Лебедев — измерил в эксперименте (1901) механическое давление света, предсказанное и рассчитанное Максвеллом. Вскоре Лебедев стал профессором Московского Университета, любимцем студентов. Эта любовь заставила Лебедева уйти в отставку (1911) — в ряду десятков других преподавателей, возмущённых полицейскими мерами тогдашнего министра просвещения России.

В ответ московские меценаты во главе с генералом Шанявским создали Независимый Университет на Миусах; в нём нашлось место для лаборатории Лебедева, позднее превращённой в Физический Институт Академии Наук. Но сам Лебедев умер от инфаркта, не дождавшись Нобелевской премии.

Следующий великий физик России — Пётр Капи́ца (1894–1984) дождался Нобелевской премии лишь на 85 году своей долгой жизни (1978). Он вырос в Кронштадте, где его отец был инженер-генералом. Вместо университета Капица поступил в Политехнический институт — более богатый и либеральный в ту пору. Там Капица встретил своего Учителя — Абрама Иоффе (1880–1960), ученика Рентгена, которому «неправославное» происхождение закрыло двери в Университет. «Папа Иоффе» был большой фантазёр, увлекающий лектор и добрый человек. Вокруг него быстро собрался кружок талантливой молодёжи, увлечённой физическими опытами.

Революцию эти люди приняли благожелательно, надеясь на падение бюрократических барьеров перед незначительной одарённой молодежью России. Но революция вызвала разруху в экономике; всемирная эпидемия гриппа унесла из России более миллиона жизней. Среди жертв была почти вся семья Петра Капицы. Чтобы тот не свихнулся, «папа Иоффе» взял его с собою в Англию (для возобновления научных контактов) и оставил в лаборатории Резерфорда на 13 лет (1921–1934).

Сам будучи крупной личностью и вожак по складу характера, Резерфорд ценил эти качества в своих подчинённых. Капица сожалел, как хороший инженер, и работал, как вол: недаром позднее его прозвали «Кентавром»! Первый крупный успех пришёл к новичку на инженерном пути: Капица создал сильные магнитные поля, способные изогнуть траектории альфа-частиц. Эти поля возникали лишь в момент

включения тока; они существовали сотую долю секунды — потом проволочная катушка взрывалась. Но генератор тока оставался цел — а для фотоснимка сотой доли секунды вполне достаточно!

Вскоре Пётр Капица стал одним из лидеров научной молодёжи Кембриджа, личным другом Резерфорда. Другими членами «клуба Капицы» стали Дирак и Чедвик, Кокрофт и Олифант. Все они прославились, стали членами Королевского Общества и Нобелевскими лауреатами — но Капица задержался на последнем рубеже, ибо в 1934 году его не выпустили из России (где он проводил летние отпуска у матери). Сталин пожелал, чтобы сильнейшие русские учёные работали в России — на благо военно-промышленного комплекса новой Коммунистической империи.

Вскоре Капица оправдал надежды — не только Сталина, но всего учёного сословия России. Став директором нового Института Физических Проблем на окраине Москвы, он изобрёл новый способ ожигения воздуха — турбодетандерный. Отныне потребность российской промышленности в жидком кислороде была удовлетворена; ради этого Капица несколько лет провёл в роли заместителя министра чёрной металлургии СССР.

Одновременно Капица погрузился в изучение самого непокорного из жидких газов — гелия (его ожигил в 1908 году Каммерлинг-Оннес). В 1938 году Капица обнаружил Сверхтекучесть гелия — непонятный феномен, вроде сверхпроводимости металлов, охлаждённых жидким гелием. Чтобы понять тайну сверхтекучести, Капице был нужен исключительно сильный теоретик. Такой человек в Москве был: Лев Ландау, один из младших питомцев школы Иоффе, ставший в Копенгагене учеником Нильса Бора, мастером квантовой механики. Но весной 1938 года Ландау был арестован сталинской охранкой за участие в составлении политической листовки против большевиков.

Гибель Ландау была бы неминуема — если бы Пётр Капица не написал Сталину очередное письмо с просьбой выдать «преступника» ему на поруки. Капица был лично нужен Сталину, как «главный физик страны» — и Ландау выпустили на волю в 1939 году. Через год он создал квантовую теорию сверхтекучести гелия, за которую получил Нобелевскую премию в 1962 году — уже в положении инвалида, под надзором секретных служб СССР. Такую цену платили российские физики за право заниматься своей наукой — за счёт государства, но с выплатой «оброка» военно-промышленному комплексу.

Только Пётр Капица осмелился выйти из работ по созданию ядерного оружия. В 1946 году он написал Сталину, что Берия (шеф секрет-

ных служб и контролёр ядерной программы) технически безграмотен и не соответствует занимаемой должности. Это была правда — но в высшем слое руководителей СССР *не было* человека, более грамотного технически, чем Берия! Тот потребовал у Сталина разрешения на арест Капицы; Сталин не разрешил — но снял Капицу с поста директора института и сослал его на дачу — под домашний арест, как опального боярина в 17 веке. Там Капица прожил до 1953 года — когда Сталин умер, а Берия был арестован и казнён.

Не удивительно, что в последующие годы Капица был защитником «диссидентов»; особенно — академика Андрея Сахарова, «отца» советской водородной бомбы. Тот оставался пленником секретных служб до прихода к власти М. С. Горбачёва (1986). Капица, не причастный к ядерным секретам, смог вновь посетить Англию лишь в 1966 году — после свержения Н. С. Хрущёва, во время очередной недолгой либерализации коммунистической системы в СССР. Следующий его выезд за границу был в Стокгольм — за Нобелевской премией, в 1978 году.

Железные характеры не были исключением среди российских естествоиспытателей 20 века. Но не всем так везло, как Ивану Павлову и Петру Капице. Иная судьба выпала двум великим биологам — Николаю Вавилову и Николаю Тимофееву-Ресовскому, ученикам ещё одного Николая — Н. К. Кольцова, замечательного эмбриолога и генетика. Вавилов успел поработать в лаборатории Томаса Морганна до российской революции; там он сделался профессиональным генетиком и решил навести порядок в геномном разнообразии культурных растений Ближнего Востока (где люди их осваивали в эпоху Неолита).

В 1920-е годы Вавилов совершил ряд трудных путешествий по горным районам Закавказья: Турции, Ирана, Афганистана. В итоге появилась богатейшая коллекция семян злаков и других растений, хранимая сейчас в Петербурге, сохранённая там даже в голодные годы военной блокады (1941–1943).

На основе «закона гомологических рядов» Вавилов установил, что Ближневосточный горный узел был родиной всех известных сортов пшеницы, ячменя, капусты, репы, огурцов и многих других овощей. Но просо и рис были впервые окультурены в Юго-Восточной Азии: это Вавилов выяснил во время следующих путешествий (включая Китай и Эфиопию, Мексику и Перу).

Составленная Вавиловым карта центров происхождения культурных растений в послевоенные годы послужила географической основой для модели Неолитической Революции (Гордон Чайлд и его коллеги). Но сам Вавилов этих успехов не увидел: в 1938 году он был арестован

сталинской охранкой, по наветам своих коллег-завистников, во главе с Трофимом Лысенко. Этот талантливый и хитрый агроном не признавал генетику и прочие высокие науки — но утверждал, что любое растение можно «перевоспитать» за счёт изменения внешней среды. Именно так правители СССР перевоспитывают советский народ, превращая бывших имперских обывателей в строителей Коммунизма на всей Земле!

Такие рассуждения учёного агронома нравились и Сталину, и Хрущёву. Оттого Лысенко пребывал в роли «главного биолога СССР» до 1964 года — а Николай Вавилов умер от голода в тюрьме в 1943 году. Развитие генетики в России было подавлено Сталиным до 1960-х годов — за исключением нескольких лабораторий ядерно-исследовательского комплекса.

Видную роль в этом комплексе играл другой ученик Н. К. Кольцова — Н. В. Тимофеев-Ресовский (1900–1980), удачливый зоолог и талантливый генетик, с огромной работоспособностью и бурным темпераментом (как у М. В. Ломоносова). В 1925 году Кольцов направил Тимофеева на работу в Берлин: там оснащение лабораторий было гораздо лучше, чем в России. Там Тимофеев застрял до 1945 года — ибо Кольцов посоветовал ему не возвращаться в СССР, чтобы не разделить судьбу Н. И. Вавилова. Сам Кольцов умер в 1940 году — в ужасе от разгрома своей научной школы сталинской охранкой.

Тимофеев-Ресовский в Берлине быстро стал процветающим профессором — вроде Капицы в Кембридже. Даже нацисты после 1933 года почти не беспокоили профессора, считая его «русским немцем». В последние месяцы войны Тимофеев не пожелал бежать в США и сдал свою лабораторию наступающим русским войскам — а сам тут же попал в лагерь для «военных преступников». Через год его вызволил оттуда всемогущий Игорь Курчатов — шеф российской ядерной программы, которому нужны были крупные биологи для работ по радиационной генетике и медицине.

Так Тимофеев стал продолжателем дел своего давнего знакомого — Германа Мюллера, получившего в 1945 году Нобелевскую премию за открытие радиационного мутагенеза. Но Тимофееву пришлось работать в секретном военном городке на Урале до 1958 года — когда Хрущёв частично рассекретил российские исследования по управляемым термо-ядерным реакциям. После этого Тимофеев стал появляться в Москве; он сделался заметен в учёных кругах. Но никаких учёных премий в СССР он не получал, и в Академию Наук избран не был — ибо многие академики по привычке считали его «иностранцем», чуть ли не «изменником Родины».

На фоне этих учёных страстей развитие математики в России выглядит почти благополучным. В 19 веке у нас вырастали лишь отдельные математики мирового уровня; геометр Николай Лобачевский (1792–1856) в Казани; аналитик, численик и механик Пафнутий Чебышёв (1821–1895) в Москве и Петербурге. Лишь в 1864 году сложилось Московское Математическое Общество. До конца века оно не произвело выдающихся открытий. Причина проста: недостаточно интенсивное общение российских и зарубежных математиков. В 18 веке здесь работали Эйлер и Бернулли — но русское общество было тогда не готово у них учиться. После 1860 года общество было готово — но новые Эйлеры и Риманы не стремились в Россию, на Западе им хватало рабочих мест.

Только именитый Чебышёв позволял себе 2–3 месяца в году проводить в Париже, впитывая новые идеи; остальное время он тихо работал дома. Нужно дать российской ученой *молодёжи* возможность пообщаться с лидерами европейской науки — такими, как Клейн и Пуанкаре, Эрмит и Гильберт! В революционном 1905 году московский профессор геометрии Дмитрий Егоров (1869–1931) сумел послать на год в Париж своего лучшего ученика — сибиряка Николая Лузина (1883–1950). По возвращении Лузин защитил диссертацию и оказался столь успешным преподавателем, что в 1910 году он был вновь командирован в Париж и Гёттинген. Оттуда он вернулся в 1914 году — во всеоружии новых идей в геометрической Теории Множеств и Функций.

Вокруг Лузина и Егорова быстро сложился кружок одаренных, восторженных студентов, прозванный «Лузитанией». Ни военные лишения, ни революционная разруха не смогли потопить этот корабль. Когда в Университете прекратилось отопление, студенты собирались на квартире у Лузина на Арбате — где интенсивные занятия с глазу на глаз чередовались с общей дискуссией за чаепитием. В такой атмосфере выросли два десятка будущих профессоров и академиков: Павел Урысон и Павел Александров, Дмитрий Меньшов и Андрей Колмогоров, Лазарь Люстерник и Лев Шнирельман, Пётр Новиков и Людмила Келдыш. Сразу по окончании Гражданской войны (осенью 1921 года) эта дружина удальцов совершила коллективный десант в Петербург, где провела первую общероссийскую Математическую Конференцию вместе с петербуржцами.

Так сообщество российских математиков возродилось и заявило о себе новым правителям России. Те не возражали — ибо Маркс был любителем математики, а занятия ею обычно отвлекают молодёжь от революционной активности. Вскоре (с лёгкой руки Ленина) изучение математики и естествознания в большом объёме стало частью государственной

образовательной политики в СССР. Молодым учёным хватало рабочих мест и смыслённых учеников. 1925–1935 годы стали временем небывалого расцвета математики в России. Андрей Колмогоров (1903–1987) создал аксиоматику Теории Вероятностей (на основе измеримых множеств) и ввёл в Топологию Кольцо Когомологий. Александр Гельфонд (1906–1968) решил одну из проблем Гильберта: о трансцендентности чисел вида a^b . Лазарь Люстерник (1899–1981) доказал существование трёх замкнутых геодезических линий на любой искривлённой сфере.

Павел Урысон (1898–1924) создал геометрическую теорию размерности произвольных фигур и основал Московскую Топологическую Школу. После гибели Урысона её возглавили П. С. Александров (1896–1982) и Л. С. Понтрягин (1908–1988). Молодой Лев Понтрягин (ослепший в 15 лет) создал полную классификацию топологических групп на основе Теории Морса. Позднее он открыл Характеристические Классы гладких многообразий и вычислил первые две гомотопические группы сфер большой размерности.

Каждый учёный хочет иметь учеников, похожих на себя. По примеру Гильберта и Лузина, многие «матросы Лузитании» начали воспитывать свою смену не только в университете, но и в *кружках* для школьников. В 1935 году в Ленинграде и Москве состоялись первые Математические Олимпиады для школьников. Их возглавили А. Н. Колмогоров, его сильнейший аспирант — И. М. Гельфанд, московские профессора Лазарь Люстерник и Лев Шнирельман, питерский профессор Борис Делоне (1890–1980) и московский студент Давид Шклярский (1919–1942) — неподражаемый выдумщик увлекательных задач по математике. Он погиб на фронте Отечественной войны. . .

Именно работа с одарёнными детьми во всех университетских центрах России сделала российскую математическую школу сильнейшей в мире. Это было особенно заметно между 1933 и 1945 годами — когда гитлеровский режим разогнал немецких математиков, и пока они ещё не нашли новую родину за океаном.

Как повлиял на российское математическое содружество Сталинский режим? Прямых жертв было немного. Умер в ссылке Дмитрий Егоров (1931) — убеждённый христианин и антикоммунист. Погиб Лев Шнирельман. Сам Лузин подвергся в 1936 году шельмованию в советской печати — но ареста он избежал, ибо сообщество академиков не пожелало его выдать, а в математических трудах Лузина не нашлось ничего худшего, чем «идеализм». Спасению Лузина помог новый академик Г. М. Кржижановский — друг покойного Ленина, имевший свободный доступ к Сталину.

Незначительность репрессий против российских математиков в военные и послевоенные годы связана с тем, что большинство крупных учёных так или иначе участвовало в решениях военных задач: от расчёта самолётов и танков до проектирования ЭВМ и составления алгоритмов вычислений. Самую яркую карьеру на этом фронте сделал Мстислав Келдыш (1911–1978), брат Людмилы Келдыш и тоже питомец школы Лузина (ученик М. А. Лаврентьева).

В 1934 году он начал работать в ЦАГИ — главном научном центре авиастроения России. Там Келдыш успешно решил проблему борьбы с «флаттером» и «шимми». Позднее он стал видным лидером космической программы СССР и в 1961 году (после полёта Юрия Гагарина) был назначен президентом Академии Наук СССР. В 1957 году М. В. Келдыш едва избежал Нобелевской премии (вместе с С. П. Королёвым) за первый искусственный спутник Земли. Шведская Академия прислала запрос в Москву — но российские чиновники побоялись нарушить режим секретности вокруг советской космической программы. К тому же, Н. С. Хрущёв заявил: «Это — подвиг не двух или трёх человек, но всего советского народа!»

Если бы не бюрократические препоны, то Нобелевскую премию 1958 года «за Космос» могли бы разделить два «коммуниста» (Королёв и Келдыш) и один «нацист» — Вернер фон Браун, который в Германии при Гитлере был главным конструктором ракет Ф-2, а после войны стал главным конструктором в космической программе США.

Распад СССР в 1990-е годы привёл к массовой эмиграции безработных математиков и физиков в США, Канаду, Австралию, Израиль и другие «западные» страны. Однако плотность и активность российской математической школы при этом не уменьшилась. Скорее это движение напоминает испанско-португальскую Конкисту 16 века. Тогда западный образ жизни распространился почти на всю Землю — и вступил в творческий диалог с другими цивилизациями. В наши дни глобальная компьютерная сеть Интернет стала важнейшим фактором нового симбиоза естествоиспытателей и математиков с обществоведами.

Столь же бурно развивались в 20 веке науки о Земле; огромные просторы России предоставили русским учёным видное место в этом всемирном процессе. Но ключевую идею геологии 20 века высказал в 1912 году немец Альфред Вёгнер (1880–1930). Дрейф континентальных плит по поверхности мантии (вроде ледохода на реке) — вот что определяет контуры новых океанов и континентов, рождение и распад горных цепей, образование крупных месторождений металлических руд и иных минералов.

Огромный интерес представляет Евразия — сrostок пяти (или более?) континентальных плит. Недавние швы между ними — это Гималаи и Тянь-Шань, Кавказ и Альпы. Более древние швы — Урал и Каледон в Европе, Алтай и Саян в Центральной Азии, Тибет, Куньлун и Хинган на стыке Евразии с Тихим океаном. Начиная с Петра Семёнова и Николая Пржевальского, русские землепроходцы постигали рельеф этих диких мест. В начале 20 века Александр Ферсман, Владимир Обручев и Николай Урванцев (ученики геохимика Владимира Вернадского) открыли неожиданно огромные минеральные богатства этих краёв.

Сталинский режим мешал свободному научному общению геологов России и зарубежья: оттого Глобальная Тектоника Плит оформилась в США (1958). Но вскоре российские геологи-мобилисты встали в общий ряд первооткрывателей. В 1970-е годы Олег Сорохтин, Лев Зонненшайн и Владимир Ларин создали первые глобальные модели эволюции Земли за последние 4 миллиарда лет. Сорохтин предложил модель медленной конвекции тепловых потоков в мантии Земли: этот «мотор» движет материи, как льдины. Ларин предложил модель «водородной продувки», которая вынесла на поверхность Земли кислород и многие рудные элементы. Зонненшайн навёл порядок в расположении материков и океанов за последние 2 миллиарда лет. Его сотрудником был известный поэт и бард, путешественник и геолог Александр Городничкий.

Как водится со времён Дарвина, открытия геологов заставили биологов и палеонтологов пересмотреть прежние концепции равномерного либо скачкообразного развития земной биосферы. В 1970-е годы Сергей Мейен (1935–1987), продолжая работы Николая Вавилова, построил первую глобальную модель рождения и распространения растительных таксонов, ценозов и флор на Земле — «Фитоспреди́нг», названный по аналогии со Спреди́нгом (расширением) океанского дна от срединных хребтов. Центрами образования всех крупных таксонов биосферы становятся *тропические* области Земли; потом эти таксоны ветвятся в средних широтах, образуя всё новые биоценозы согласно перегруппировке континентальных плит в разные времена.

Мейен также предложил две гипотезы, важные для генетиков. Во-первых, что в геноме каждого организма закодированы («спящими» генами) все возможные *направления* будущей *эволюции* этого организма и всех таксонов, его содержащих! Угадать их спектр заранее можно по наблюдаемому сейчас ансамблю *уродств*. Именно так Морган и Мюллер изучали геном Дрозофилы, не задумываясь о её будущем. . .

Вторая гипотеза Мейена касалась возникновения Цветковых Растений, и была ещё более дерзкой: что вирусы или иные переносчики малых

и больших блоков генома внутри одного биотаксона создают *новые хромосомы* для новых видов, родов и семейств. На примере вымерших Беннетитов Мейен построил модель возможного происхождения Цветковых из Голосеменных путём Гамогетеротопии — переноса генов-регуляторов между мужским и женским геномом.

Ранняя смерть С. В. Мейена (1987), как ранняя смерть геометра Г. Римана (1866) или лингвиста С. А. Старостина (2005), помешала быстрому освоению их гипотез. Вероятно, они будут проверены и превзойдены в 21 веке, на основе лучшего понимания Генной Инженерии, Математики и Лингвистики.

Столь же ранняя гибель оборвала работу самого оригинального из российских лингвистов 20 века: Владислава Иллич-Свитыча (1934–1966), открывателя Ностратической сверхсемьи языков Евразии. Кроме давно знакомой Индоевропейской семьи, она охватила ещё 4 семьи: Уральскую (венгры, финны, ненцы), Алтайскую (турки, монголы, маньчжуры), Картвельскую (грузины), Дравидскую (тамилы, телугу и другие южные индийцы). За пределами (или на границе?) Ностратической общности остаются *три* больших древа евразийских языков: Афразийская семья (древние египтяне и вавилоняне, эфиопы, арабы, берберы, фульбе и хауса в Нигерии); также Сино-Тибетская семья (китайцы, бирманцы, тибетцы) и Австронезийская семья (индонезийцы, малайцы, кхмеры, вьетнамцы, полинезийцы).

Можно ли расширить классификацию Иллич-Свитыча на всю Евразию — или даже вне её, на Африку и Америку? На этот вопрос положительно ответил в 1980-е годы молодой россиянин — Сергей Старостин (1953–2005). Ему удалось найти промежуточное звено между Кавказской и Сино-Тибетской семьями в малом народе Севера Сибири — Кéтах (на Нижнем Енисее). Так Старостин установил родство Сино-Тибетской семьи с Северо-Кавказской семьёй (абхазы, адыги, вайнахи, аварцы). Это — на западе Евразии; на северо-востоке её Старостин связал Сино-Кавказскую сверхсемью с языками чукчей, эскимосов и алеутов, и далее — с большой группой (На-Денé) индейских языков Аляски и Канады (атапаски, тлингиты и другие, вплоть до навахо и апачей на юге США). Похоже, что новая трансконтинентальная сверхсемья может включить языки басков (в Испании), бурушей (Гиндукуш), древних эламитов (Хузистан) — и кто знает, что ещё. . .

Вероятно, такой путь генетического воссоединения распавшихся языков Земли позволит в 21 веке создать полное генетическое древо языков человечества: от нынешних бушменов (с поразительно сложной фонетикой) до древних шумеров (с абсолютно необычной граммати-

кой) и современных папуасов (где пока не удалось различить генетические связи между языками). При этом ныряние в глубь тысячелетий обязательно! Ведь около 10 000 лет назад Неолитическая Революция (освоение земледелия и скотоводства) вызвала первый Демографический Взрыв на Ближнем Востоке — замеченный в 1940-е годы британским археологом Гордоном Чайлдом. Он-то и породил на смутном фоне Палеолита искры первых языковых семей. Центрами их конденсации и ветвления были, видимо, важнейшие хозяйственные изобретения Неолита.

Экономическая Революция Неолита породила Лингвистическую Революцию Евразийцев — по той же схеме, по которой много раз очередная Геологическая Революция порождала Генетическую Революцию в Биосфере Земли. Первую из этих «индукций» угадал археолог Гордон Чайлд, вторую — палеоботаник Сергей Мейен. Понимание того и другого «чуда», видимо, невозможно без интенсивного совместного труда разнокультурных специалистов: источниковедов, осмыслителей и «гипотезёров». Какую роль могут (или должны) сыграть в этом комплексном труде высшие достижения Физики и Математики? Пригоден ли их понятийный аппарат для моделирования тех вещей, о которых не задумывались творцы науки 20 века? Это — вопрос для учёных мужей следующего столетия.

Глава 41. Чудеса в мире Элементарных Частиц

До Эйнштейна физика частиц была чисто экспериментальной наукой. Сначала (1895) Вильям Крукс и Джозеф Томсон обнаружили и изучили квант электрического тока — Электрон. Потом (1900) Макс Планк угадал существование кванта электромагнитного поля — Фотона — а Эйнштейн (1905) объяснил с помощью фотонов так называемый Фотозэффект (почему можно проявлять фотоплёнку при красном свете). Затем (1915) Эйнштейн попробовал породнить между собой Электромагнетизм и Гравитацию; в итоге он угадал свойства квантов тяготения — Гравитонов. Но наблюдать их физики не сумели до конца 20 века — видимо, потому, что летящие мимо нас гравитоны несут слишком малую энергию и почти не искривляют пространство!

Где энергия гравитонов велика (например, возле Чёрных Дыр) — там пространство туго закручено, жизнь невозможна, и наблюдателей

там нет! Но физики-теоретики могут долго обходиться без экспериментов. Через 15 лет после Эйнштейна (1930) молодой Поль Дирак составил квантовое уравнение Электрона — и заметил, что ему может удовлетворять сходная частица с *положительным* зарядом. Есть ли в Природе такие «Позитроны»? Да, есть; их много — хотя бы в космических лучах! В 1932 году это обнаружил американец Карл Андерсон (1905–1991). На сей раз Нобелевский комитет действовал проворно: Дирака наградили в 1933, Андерсона — в 1936 году.

Чуть позже (1938) упорный Андерсон нашёл в космических лучах ещё одну частицу — промежуточную по массе между Электроном и Протоном. Физики тут же назвали её Мезоном (или Мюоном) — и очень обрадовались, ибо только что японский теоретик Юкава Хидэки предсказал существование подобных частиц! Они нужны для объяснения адронных сил, склеивающих протоны и нейтроны в ядре атома — так, что электрические силы не могут разнести ядро в клочья.

Но в этот раз теоретики обознались! Открытый Андерсоном Мюон очень неохотно взаимодействует с ядром атома. По свойствам он ближе к Электрону — но почему-то в 206 раз тяжелее его... Поэтому можно *заместить* в атоме один из электронов — мюоном. Он будет долго обращаться вокруг ядра — или даже *внутри* ядра, если наш атом достаточно массивен (золото, уран, свинец), и радиус его ядра достаточно велик. Так что Мюон среди прочих частиц долго выглядел чужаком — в отличие от Нейтрино, которого физики ждали долго и безнадежно.

Эту почти неуловимую частицу придумал Вольфганг Паули в 1931 году — только для того, чтобы полная энергия и импульс сохранялись в распаде радиоактивных ядер атомов. Законы сохранения — превыше всего, ибо они следуют из Симметрии Вакуума!

Паули понимал, сколь мал шанс обнаружить нейтрино в эксперименте. Крошечная (или нулевая?) масса, нулевой заряд, безразличие к ядерным силам... Столь же мал был шанс обнаружить Антипротон (предсказанный Дираком) — партнёр обычного протона, рождаемый с ним вместе при высокой плотности энергии, как позитрон с электроном рождаются из фотона.

Для рождения малышей довольно космических лучей; для массивных частиц нужны протонные ускорители большой мощности. В 1955 году такой ускоритель заработал в Калифорнии; через год экспериментаторы увидели в нём Антипротон, Антинейтрон и даже желанное Нейтрино! И, конечно, не только их: ускоритель породил множество «странных» частиц, чьи распады нарушали многие привычные физикам законы сохранения.

Два смелых китайца: Янг Чжэнь-нин и Ли Цзун-дао — первые догадались, в чём тут дело. Разные реакции среди элементарных частиц подчиняются *разным* законам сохранения, потому что они протекают в *разных* состояниях Вакуума! У этих физических пространств — разные симметрии. Например, вакуум *сильного* (адронного) взаимодействия вполне симметричен: всё, что в нём происходит с протоном или нейтроном, объясняется *перестановкой* их внутренних блоков (Кварков). Но вакуум *слабого* (лептонного) взаимодействия менее симметричен: он *не* обладает *зеркальной* симметрией, а старший кварк может в нём распасться на младший кварк и Лептоны (электрон, мюон, нейтрино)... Именно так нейтрон распадается на три части (протон, электрон и антинейтрино), прожив около 1000 секунд. Чудовищно долгий век — в сравнении с ядерными реакциями!

Гипотезу о Кварках сочинили в 1961 году два отменных хитреца: американец Марри Гелл-Манн (ученик хитроумного Ричарда Фейнмана) и израильтянин Ювал Нееман. Идея была проста: «странных» частиц нашлось слишком много, они не могут *все* быть элементарными! Опять, как в таблице Менделеева, «атомы» имеют сложное нутро... Из каких деталей их можно составить?

Гелл-Манн, Нееман и японец Нисидзима построили модели кварков из подручного алгебраического материала — из неприводимых представлений унитарных групп Ли. Но семейство таких представлений бесконечно! Неужели множество кварков в Природе тоже бесконечно? Или есть некий природный запрет? Например: «масса любого кварка не больше массы протона», или нечто иное, в том же духе... Кстати: откуда взялись *массы* элементарных частиц? Можно ли их рассчитать на основе какой-нибудь модели?

Пока такой модели нет — хотя первая же попытка создать её оказалась неожиданно удачной. Дело было в 1968 году — через семь лет после появления гипотезы о Кварках. Именно тогда бледные «тени» кварков (*партоны*) были замечены при просвечивании протона энергичными электронами. Значит, *внутри* протона кварки есть — хотя наружу они почему-то не вылетают! Видимо, внутри протона Вакуум какой-то иной — заповедный... Не такой ли Вакуум заполнял всю Вселенную в первые мгновения Большого Взрыва? Может быть, тогда и массы всех частиц не имели особого значения — попросту говоря, они были нулевые, и частицы различались только своими симметриями? Надо эту догадку превратить в строгую модель!

Сказано — сделано: сказать мог каждый, сделать сумели три хитреца. Стивен Вайнберг из Нью-Йорка (выпускник известного лицея в

Бронксе); Абд ас-Салам из Пакистана (выпускник Кембриджа) и упорный голландец Герхард Хуфт, который довёл до конца самые трудные расчёты. Результат был поразительный. Да, на ранних этапах Большого Взрыва горячий Вакуум был таков, что в нём *не* различались слабые и электромагнитные взаимодействия частиц! Да, массы всех частиц тогда равнялись нулю — а заряды у них были совсем иные!

Дирижёром всех этих чудес был заполняющий Вселенную «газ» из частиц Хиггса. Когда температура Вакуума достаточно снизилась — газ Хиггса обратился в «жидкость» (конденсат), которая заполняет наш нынешний Вакуум, придавая массы покоя почти всем его обитателям.

Напомним: всё это были не только красивые образы, но и строгие расчёты. Из них следовало существование в нашем мире особых квантов Поля Слабых Взаимодействий: заряженных (W) или нейтральных (Z) частиц с массой около 90 масс протона. Надо их искать! Для этого нужно строить новый сверхмощный ускоритель! Где его раньше построят: в США или в СССР?

Американцы занялись этим делом вскоре после высадки своих космонавтов на Луне. Через 10 лет ускоритель протонов в Брукхейвене начал работать, и в 1983 году он выдал физикам первый десяток (W) и (Z)-частиц. Теория Вайнберга-Салама блестяще подтвердилась. Появился соблазн: расширить «большое» (Электрослабое) объединение природных сил до их «великого» объединения, охватив *сильные* взаимодействия ядерных частиц! Ведь очень хочется знать: сколько кварков использует Природа? Чем ещё, кроме кварков, заполнен протон? Отчего он стабилен — а не распадается на лептоны и фотоны?

Для построения обычных атомов Природе хватило бы Фотона и Электрона, двух сортов кварков (u , d) — и ещё ей зачем-то нужно Нейтрино ν_e — родич электрона. Но в Природе есть ещё «странные» частицы: для них нужен третий — «странный» кварк. А ещё есть тяжёлый двойник электрона — Мюон (μ). Нет ли у него «персонального» Нейтрино ν_μ , отличного от ν_e ?

Этот вопрос поставил Бруно Понтекорво — ученик и соратник Энрико Ферми, участник американского ядерного проекта, перескочивший в 1950 году в российский ядерный проект. Он предложил «двухнейтринный» эксперимент; американцы поставили его в 1962 году, и гипотеза Понтекорво подтвердилась. После этого физики начали искать следующие — более тяжёлые кварки в составе новых неустойчивых мезонов. К 1975 году число известных кварков достигло 5, ещё один был предсказан; у Электрона появился третий сверхтяжёлый родич — Тауон со своим особым нейтрино ν_τ .

Таблица Менделеева, как известно, ограничена сверху. В Природе нет атомов с зарядом ядра, бóльшим 170 — ибо спонтанное рождение электрон-позитронных пар в ядре разрушило бы такие атомы. Повторяется ли этот феномен в глубине протона? Хватило ли Природе для создания Вселенной *трёх* кварково-лептонных семейств? Физикам удалось доказать эту гипотезу в 1990-е годы, при анализе распадов (W) и (Z)-частиц. К тому времени массы всех 6 известных либо ожидаемых кварков были уже рассчитаны: самый лёгкий из них втрое тяжелее электрона, зато самый тяжёлый равновесен с ядрами тяжёлых атомов (170 Гэв — это примерно масса атома Гафния!) Тут проблема Массы Протона встала во весь свой богатырский рост. . .

Оказалось, что сумма масс трёх кварков (uud), составляющих Протон, в 100 раз *меньше* массы Протона. Как будто они — три горошины в тарелке жидкого супа! Из чего состоит остальной внутриядерный суп?

До триумфа Вайнберга и Салама такой вопрос мог напугать теоретиков; после 1975 года они разучились пугаться. Ещё Гелл-Манн и Нисидзима предположили существование особого «ядерного клея», соединяющего невидимые нам кварки в наблюдаемые протоны и мезоны. Кванты этого «клея» — *глюоны* перескакивают от кварка к кварку так же, как невидимые (виртуальные) фотоны скачут между электроном и протоном в атоме водорода. Но глюоны (в отличие от фотонов) сильно взаимодействуют друг с другом. Поэтому они могут образовать в Вакууме не только «газ», но и «капли» разных квантовых жидкостей! Вот он — «суп» в тарелке, которую мы называем Протоном или Мезоном!

Первые расчёты масс ядерных частиц на основе глюонных и более сложных конденсатов были проделаны в 1990-е годы, с помощью сложных компьютерных моделей. Оказалось, что в простых π -мезонах (которые предсказал ещё Юкава) хватает чистого Глюонного Конденсата. Для Протона нужно больше: в нём присутствует сложный Кварково-Глюонный Конденсат. Можно ли наблюдать в Природе отдельные капельки таких конденсатов («глюболы») — пусть возникающие ненадолго, при самых энергичных столкновениях частиц? Это пока не известно ни теоретикам, ни экспериментаторам.

А Протону всё-таки предсказан конечный срок жизни! Правда, очень длинный: дольше, чем минуло лет от начала Большого Взрыва в нашей Вселенной. Но всё же за год в одном кубометре любого вещества могут распасться несколько протонов. Вопрос лишь в том, как заметить эти распады на фоне прочих ядерных реакций. . . Это пока не удалось никому из физиков-экспериментаторов. Оттого теоретики не знают точно: какова та Группа Симметрий, которая управляет слия-

нием Сильного и Электрослабого взаимодействий частиц. Каковы были обменные кванты тройного Электросильного взаимодействия в пору Большого Взрыва? Каковы их массы сейчас? Ясно, что они огромны — настолько, что нет шансов наблюдать их ни в космических лучах, ни в самых мощных ускорителях. . .

Также непонятно, какие силы *не* позволяют сейчас кваркам и глюонам вылетать из протона наружу. Эти «запретные» силы теоретики изображают с помощью трёх «цветов», которыми обладают кварки и глюоны — но не обладают фотоны, лептоны, нейтрино и их родичи. Можно ли объяснить появление «цветов» воздействием некоего Конденсата Цветовых Полей — вроде Конденсата Хиггса, порождающего массы частиц? Этого пока не ведаёт ни один теоретик. Что же делать неукротимым физикам в таком положении?

Многие из них превратились на время в геометров — и рассуждают о той Суперсимметрии, которая может объединить все 4 взаимодействия частиц и полей: Гравитацию, Сильное, Слабое и Электромагнитное поля. За последние 20 лет 20 века в этой области науки открыто немало красивых геометрических фактов.

Суперсимметрии, Струны и Суперструны — все эти новинки предсказывают огромное расширение зоопарка тех частиц материи, которые мы привыкли считать «элементарными». Рядом с Фотоном, Глюоном и Гравитоном встают Фотино, Гравитино и Глюино: симметрии этих новичков должны быть близки к симметриям Кварка, Электрона и Нейтрино. Но где и как наблюдать новых зверей, если мощности ускорителей протонов для этого нехватает — и в космических лучах не видно желанных незнакомцев?

Наше тренированное воображение подсказывает не менее двух разных выходов из безвыходного положения. Во-первых, можно заглянуть вглубь Большого Взрыва Вселенной по его нынешним следам. Они включают не только реликтовый газ фотонов, но ещё много других реликтов. Например, средняя плотность материи во Вселенной: какова она сейчас, и какие формы материи в ней преобладают?

За последние 30 лет астрономы накопили много неожиданностей в этой сфере. К 2000 году космические эксперименты показали, что видимое вещество (звёзды) составляет не более 5% общей массы галактик и межгалактической среды. Далее: общая масса галактик составляет не более *четверти* массы Вселенной! Из чего состоит невидимый, но решающий «довесок» — вроде глюонного «супа» внутри Протона?

Возможно, что здесь проявилась малая (но ненулевая) масса многочисленных реликтовых нейтрино? Или это не замеченные пока легионы

суперсимметричных «двойников» хорошо знакомых нам частиц? Или нечто третье — непонятное нам не оттого, что понятия наши слабы, но оттого, что вещи эти ещё не вошли в круг наших понятий?

Обоснованных ответов на такие вопросы физики пока не имеют. Поэтому самые дерзкие мечтатели надеются найти ответы там, где Природа издавна ведёт непрерывную Эволюцию: в Биосфере Земли и в Ноосфере Человечества. Тамошние катастрофы и фазовые переходы напоминают Большой Взрыв Вселенной. Но их следы гораздо легче наблюдать; с ними легче ставить опыты — иногда рискуя своей и чужой жизнью, как рисковали Сократ и Цезарь, апостол Павел и Карл Маркс. Чему могут научиться физики-теоретики, наблюдая Биосферу и Ноосферу? Это вопрос к ещё не известным никому героям науки 21 столетия. Но давайте поищем ответ на него прямо сейчас — идя по следам наивных, но гениальных обществоведов предыдущего века!

Глава 42. Вторжение физиков и математиков в Обществознание

Мировые войны и революции 20 века постепенно убедили учёных мужей в том, что социальные процессы тоже достойны научного моделирования. Хотя бы для того, чтобы ясно понимать: какие процессы в обществе *устойчивы* (и потому поддаются Прогнозированию — зато *не* поддаются Управлению), а какие *неустойчивы* и потому *не* доступны Прогнозированию — зато поддаются Управлению личными сознательными усилиями людей.

Первопроходцем научного обсуждения этих проблем оказался Освальд Шпенглер (1880–1936) — германский историк, специалист по Древнему Риму, взбудораженный ходом и исходом Первой Мировой войны. В 1918 году он опубликовал книгу «Закат Европы», где попытался осмыслить военный кризис западноевропейской цивилизации.

Когда и как начался тот виток Истории Европы, который оборвался в 1914 году? Шпенглер решил, что «довоенный» европейский социум был рождён в эпоху Реформации. Начало ему положил Лютер (1517), а окончательная форма Европейского Равновесия Сил сложилась через полтора столетия — в конце «мировой» Тридцатилетней войны (1648). С точки зрения католиков 16 века, Реформация была таким же чудом и катастрофой, как война 1914 года — в глазах веротерпимых западных европейцев начала 20 века.

Когда же *родился* тот Католический Интернационал Европейцев, который разрушился от толчка Лютера в 1517 году? Видимо, его рождение соответствует успеху Первого Крестового Похода! В 1099 году западные рыцари отобрали Иерусалим у мусульман. Полтора столетия спустя (1250) оборвалась карьера последнего удачливого крестоносца — императора Фридриха 2 Штауфена. Он — последний «западник», который овладел Иерусалимом, договорившись с султаном Египта и поссорившись с Римским папой!

Нет ли в этих событиях указания на 4-вековую *периодичность* универсальных циклов Мировой Цивилизации в рамках одной ойкумены? Эту дерзкую гипотезу выдвинул в 1931 году преемник Шпенглера — англичанин Арнольд Тойнби (1889–1975). Он представил всю Историю Человечества, как цепь переплетающихся цивилизаций, друг за другом заполняющих всё те же ойкумены: Европейскую, Ближневосточную, Индийскую, Дальневосточную, Мексиканскую, Перуанскую и т. д. Всего Тойнби насчитал около 20 цивилизаций, известных историкам. Каждая из них проходит в своём развитии одни и те же фазы почти в одинаковом темпе: полный цикл занимает около 12 веков, потом память о прошлом затухает.

Создателей каждой цивилизации Тойнби назвал «творческим меньшинством». Моделировать их поведение Тойнби не сумел, ибо не имел подходящих научных понятий. Преемником Тойнби в этой сфере стал Лев Гумилёв (1912–1992) — сын двух знаменитых русских поэтов, многократно репрессированный партократами из команды Сталина.

Оказавшись в сибирском каторжном лагере (1937), Гумилёв использовал уникальную среду из разноплеменных заключённых, как лабораторию этнографа и этнолога. Он почувствовал: накал страстей, межличностные конфликты и образование товарищеских групп (*консорциев*) в окружающем аду — всё это точно воспроизводит рождение Творческих Меньшинств, которые создавали новые государства и цивилизации в прежние века!

В такой обстановке Лев Гумилёв создал свою «Теорию Пассионарности» — учение о Пассионарных Вспышках в человеческой популяции, которые в подходящих условиях становятся зародышами новых партий или сект, народов или цивилизаций. Можно сказать, что Гумилёв повторил опыт революционных наблюдений Гоббса. Присутствуя при рождении очередной группы «левиафанов», учёный россиянин, как мог, противился их давлению — и описал условия их рождения и ранней эволюции на обычном русском языке. В отличие от Гоббса (который был математик), Гумилёв получил хорошее гуманитарное образование на

истфаке ЛГУ. Но математике и физике его совсем не учили. Оттого Гумилёв не чувствовал разницы между Энергией и Действием — и не опознал в замеченной им Пассионарности того Действия, которое двумя веками ранее Мопертюи с Эйлером открыли в динамике физических процессов неживой Природы.

Не ведая Вариационного Исчисления (ни на уровне формул — как Мопертюи, ни на языке геометрических картин, как Эйлер или Пуанкаре), Гумилёв мог описывать поведение консорциев (коллективов) и этносов (народов) лишь на общедоступном языке литературных аналогий. Это сделало гумилёвские идеи популярными в широких кругах просвещённых россиян — но помешало их творческому освоению профессионалами Физики и Математики.

Между тем в 1930-е годы тополог Марстон Морс и его последователи (Лев Понтрягин, Хаслер Уитни) нечаянно создали все необходимые блоки наглядно-геометрической модели развивающегося человеческого коллектива. Это — гладкое Многообразие M с определённой Симметрией и функцией Действия D на нём. Критические точки Действия D задают разбиение многообразия M на *клетки* разных размерностей. Каждая клетка соответствует возможной *биографии* человека в данном коллективе; размерность клетки изображает творческие возможности человека.

Интеллектуальный обмен между разными членами коллектива задаётся геометрией взаимного примыкания разных клеток в многообразии M — так называемыми «перестройками Морса». Их детально исследовали Лев Понтрягин, Рене Том и Джон Милнор в 1950-е годы — когда Лев Гумилёв служил библиотекарем в сибирском лагере, а после освобождения (1955) — младшим научным сотрудником Эрмитажа в родном Петербурге-Ленинграде.

В эти годы Лев Гумилёв написал свои главные книги: Историю Кочевых Народов Евразии (хуннов, тюрок, монголов) и задумал итоговый труд — «Этногенез и Биосфера Земли», который был завершён в 1980 году. Так гуманитарный эскиз новой Физики Социума появился в ту пору, когда экспериментальная физика Вакуума, Элементарных Частиц и Большого Взрыва была остановлена экономическими барьерами — и развитие Теоретической Физики Неживой Природы также затормозилось.

В ответ математики и физики начали присматриваться к непривычной гумилёвской социологии. Если в ней заметно физическое Действие, то не найдутся ли аналоги других физических понятий? Не похож ли каждый крупный скачок Эволюции (в Биосфере — или в Социуме) на

Большой Взрыв, породивший нашу Астрономическую Вселенную? Если такое сходство есть, то стоит поискать в текущей Истории Человечества аналоги тех объектов Физики, которые мы не в силах различить в Физическом Вакууме!

Например: физикам остро нехватает «суперсимметричных» партнёров хорошо знакомых им частиц, передающих 4 фундаментальных взаимодействия. Гравитино, Фотино, Глюино, Вино, Зино — где они? Что служит их аналогом в человеческом коллективе — если уподобить привычные гравитон, фотон, глюон, *W* и *Z*-частицы квантам *информационных* полей, циркулирующих в социуме?

Главная разница между Фотино и Фотоном — в численном значении их *спина*. У Фотона он равен 1 (поэтому возможна *стая* одинаковых фотонов, вылетающая из лазера); у Фотино спин равен $1/2$ — оттого эти кванты летают поодиночке. Не такова ли разница между обычным *сообщением* — и *приказом*, или *вопросом*, перелетающим от одного партнёра к другому в человеческом диалоге? Сообщения легко группируются или конденсируются — хотя бы в виде книг. Приказ, вопрос или гипотеза существуют порознь — либо парами, дополняющими друг друга (вопрос — ответ, гипотеза — доказательство, или опровержение).

Если эта аналогия глубока, то лучшим полигоном для испытания физических моделей в социуме служит Учебный Процесс! Переход от заучивания тезисов Аристотеля или Августина к их живому обсуждению (великое открытие Пьера Абеляра в 12 веке — или Сократа в 5 веке до н. э., или Николая Лузина в недавнем 20 веке) — это есть переход от *слабого* взаимодействия элементарных частиц познания к их *суперслабому* взаимодействию, где между партнёрами скачут не только *бозоны* (с *целым* спином), но также *фермионы* (с *дробным* спином). Оттого Суперслабое взаимодействие, вероятно, нарушает все воображаемые законы сохранения в Вакууме: ведь нарушение Симметрий есть необходимое условие Эволюции! Именно так Пассионарная Педагогика 20 века породила новые поколения гениев в Математике, Физике и иных науках.

А как насчёт *унификации* 4 основных физических сил — в Природе, или в Социуме? Какие взаимодействия людей в коллективе можно уподобить Гравитации, Электромагнетизму, Ядерным (адронным) силам или Слабому (лептонному) взаимодействию привычных физических частиц?

Слабое взаимодействие частиц мы уже сравнили с Познавательным Процессом — учёбой у Природы и друг у друга. Электромагнетизм — это, вероятно, экономика и бизнес: они правят бал там, где высшая

интеллектуальная и силовая деятельность остановились. Тогда Фотоны соответствуют Товарам и Деньгам. Фотино же суть бизнес-проекты: каждый из них оригинален и уникален!

Так мы включили в будущую модель социума Знание и Богатство. Остаются ещё Власть и Дружба: без того и другого социум не может существовать! Власть — это, конечно, Сильное взаимодействие людей. Роль Глюонов среди них играют Указания, соответствующие ранее принятым Законам. Глюино же — это любые *инициативы* властителей либо взыскиующих власти, от начала войны или революции до учреждения парламентов или сословий.

Наконец, Дружба и Вражда — это взаимно дополняющие формы самого глубокого социального взаимодействия людей, сходного с тяготением в физическом Вакууме. Их простейшая форма — Приязнь к «своему», либо Настороженность к «чужаку» — издавна моделируется психологами на уровне «Гравитонов». А вот вспышки Любви или Ненависти в форме коллективного Обожания либо Погрома — эти реалии 20 столетия требуют новых корректных физических определений, вроде «Гравитино».

Неутомимый Лев Гумилёв много раз ощущал потоки этих первозданных страстей на своей неказистой шкуре. Потому и сумел сплавить их в цельную *гуманитарную* модель Пассионарных Вспышек в социуме. Теперь пора переплавить и перекристаллизовать сию модель в круге понятий Математики и Физики 20 века. Такая перефразировка, вероятно, поможет избавлению Человечества от Мировых Войн в новом 21 веке — не говоря уже о преодолении глобального Экологического Кризиса нашей Индустриальной Цивилизации, и иных столкновений между разными мирами Биосферы и Ноосферы матушки Земли.

Глава 43. Что делать, если Ньютон не придёт...

Более трёх веков назад Исаак Ньютон создал первую полноценную математическую модель механической Вселенной. Она позволяет рассчитывать любые движения небесных или земных тел, опираясь на очень немногие физические аксиомы, но пользуясь довольно сложным Математическим Анализом Гладких Функций. Всю эту науку Ньютон изобрёл в одиночку — опираясь на готовые открытия предшественников и современников, но не вступая с ними в диалог.

Через два века после Ньютона Джемс Максвелл построил модель Электромагнитного Поля из дифференциальных уравнений. При этом он вводил новые физические понятия и аксиомы, но не изобретал новый математический аппарат — у математиков всё было уже готово. Однако Максвеллу не удалось связать свою модель Зарядов и Поля с Механикой Тел в цельную модель Физического Мира. За эту проблему взялся Альберт Эйнштейн через 30 лет после открытий Максвелла.

Обладая гениальной интуицией в физике, Эйнштейн был зауряден как математик. Весь необходимый для Теории Относительности математический аппарат был придуман современниками Эйнштейна — питомцами школы Гильберта. С их помощью Эйнштейн создал первую модель Гравитации, во многом сходную с максвелловой моделью Электромагнетизма. Но как включить в эту модель Мира новые факты о распаде атомов? Как нужно изменить механику Ньютона, чтобы она включила в себя движение электрона и фотона?

Эти проблемы решала в 1920-е годы активная команда молодых физиков в Копенгагене — под крылом Нильса Бора. К сожалению, молодые гении не следили за процессом своего творчества — хотя они пытались заменить своим коллективным разумом одну гениальную голову Ньютона, Максвелла или Эйнштейна. Их общий труд увенчался успехом к 1930 году — появилась Квантовая Механика. Но как можно повторить этот труд при новом коллективном штурме очередной физической проблемы? Это оставалось непонятно ни физикам, ни математикам. Хотя младшие ученики Гильберта быстро разработали математический аппарат квантовой механики — на основе теории матриц и представлений линейных групп, которые понадобились алгебраистам на одно поколение раньше, чем физикам.

Первый шаг в математическом моделировании творческой работы учёного или иного коллектива нечаянно сделал в 1930 году Марстон Морс. Используя открытия Эйлера и Пуанкаре, он впервые представил ансамбль возможных биографий людей в рамках одной культуры, как ансамбль критических точек Действия на бесконечномерном многообразии — на пространстве петель фазового множества Φ всех состояний изучаемой физической системы. После этого подвига математикам стала ясна главная трудность в моделировании личности или коллектива. Нужен особый математический аппарат для исчисления *взаимодействия* разных людей в коллективе!

Первым шагом математиков на этом пути стала теория Морса о склеивании любого многообразия из «ручек», примыкающих друг к другу согласно разным представлениям групп Ли. Но как связать этот

непростой алгебро-геометрический язык с другими языками описания той же ситуации? Например, с физическим языком «диаграмм Фейнмана», который был придуман для Квантовой Электродинамики в 1948 году? Или с гуманитарным языком «теории Пассионарности», который Лев Гумилёв создал в 1960-е годы?

Чтобы удачно соединить теорию Морса, теорию Фейнмана и теорию Гумилёва, желательнее вырастить нового универсального гения — превосходящего Морса, Фейнмана и Гумилёва так же, как Ньютон превосходил Кеплера, Декарта и Гюйгенса. Но разрешима ли эта задача в рамках научной педагогики — привычной со времён Ньютона, или какой-то новой?

Вспомним, что даже Аристотель, выросший в школе Платона, не пробовал сам вырастить нового гения — ни в своем афинском Ликее, ни в македонской столице, куда его закинула Судьба. В обоих случаях мудрый грек пытался создать «питомник гениев» — в надежде, что среди большой команды взаимодействующих талантов вырастет хоть один гений, способный превзойти всех учителей. В Афинах это Аристотелю не удалось — быть может, потому, что сей славный город утратил политическую удачу и кураж ещё до рождения Аристотеля. Но в Македонии шла череда сплошных удач — и вот, вокруг Аристотеля выросла команда военных героев во главе с царевичем Александром. В следующем поколении на их плечах вырос александрийский заповедник ученых эллинистов: Евклид, Аристарх и другие. Эти люди вырастили Эратосфена и Архимеда. . .

Почти так же вырастал Ньютон на плечах отцов-основателей Королевского Общества и просвещённых ими политиков: республиканцев и монархистов. Но, выросши в научной республике, стареющий Ньютон превратил её в свою монархию. Оттого английская научная школа утратила мировое лидерство на полвека, пока новый научный бум не начался в Химии и на передний план не вышел лорд Кевендиш (1766).

Последующие два столетия мало что изменили в этой схеме научной эволюции. Политический триумф объединённой Германии над имперской Францией в 1870 году вынес на поверхность научного моря сильную когорту германских математиков и физиков. Сначала Линдeman превзошёл Эрмита, доказав трансцендентность числа π (1882). Потом Герц выполнил завет Максвелла, открыв в эксперименте радиоволны (1888). Затем Гильберт основал в Гёттингене самую плодотворную республику учёных (1895). Ему сознательно подражали самые успешные научные педагоги 20 века: Нильс Бор в Копенгагене и Резерфорд в Кембридже, Николай Лузин в Москве и Николай Вавилов в Ленин-

граде, Макс Дельбрюк в Европе и Америке, Жан Лёрé в Париже. В этих гнёздах выростали универсальные богатыри: в Москве — Андрей Колмогоров и Лев Понтрягин, в Париже — Жан Серр и Александр Гротендик, в Копенгагене — Вернер Гайзенберг и Вольфганг Паули. Но вот беда: серьёзного взаимодействия между гениями из разных школ не было на всём протяжении 20 века!

Единственное яркое исключение — Макс Дельбрюк, немецкий физик из квантовой школы Нильса Бора. В Берлине он познакомился с Тимофеевым-Ресовским и заразился от него любовью к тайнам генетики. Вскоре Дельбрюк заразил этой страстью великого физика Шрёдингера: устав от квантовой теории, тот увлёкся генетикой и написал замечательную книжку: «Что такое жизнь, с точки зрения физики?»

Этот маленький шедевр стал для множества биофизиков и биохимиков путеводителем из привычного физического мира в неведомую Живую Вселенную. Но Дельбрюку этого показалось мало. Перебравшись в США, он и здесь вдохновил новых биохимиков: Сальвадора Лурия в Индиане, Лайнуса Полинга в Калифорнии. Эти двое стали учителями Джемса Уотсона — юного и мало сведущего зоолога, дерзкого и везучего открывателя тайн ДНК. Какие уроки на будущее можно и нужно извлечь из этих опытов 20 века?

Во-первых, выращивание новых Ньютонов — процесс многофакторный и многоступенчатый, а потому почти не прогнозируемый, с очень малым КПД. Управлению он поддается — если это продуманное управление, на основе добротных моделей самоорганизации в человеческих коллективах. Похоже, что все необходимые блоки для таких моделей уже налицо. Математики и физики хорошо поработали в 20 веке, биологи и этнологи многому у них научились к концу столетия!

Не забудем и важнейший практический опыт организации громадных и срочных конструкторских проектов — будь то гонка за урановой бомбой, за электронным компьютером или за лунной ракетой. Удачливых организаторов этой гонки (Ошпенгеймера и Курчатова, Келдыша и Королёва, фон Ноймана и фон Брауна, Ферми и Зельдовича) справедливо назвать первопроходцами в экспериментальной физике научных коллективов — в новейшем разделе той Физики Социума, которая была замечена и опознана лишь в середине 20 века.

Обыдённое сознание просвещённых европейцев ещё раньше отреагировало на сей вызов бурным ростом нового вида литературы: Научной Фантастики, которая вовлекает юные умы в научный оборот ещё более успешно, чем это делает массовая школа. Показательно, что лидерами этой литературы сделались крупные учёные: биохимик Айзек Азимов,

палеонтолог Иван Ефремов, врач Станислав Лем (1921–2006), астрофизик Фред Хойл, астроном и лингвист Аркадий Стругацкий. Все вместе они составили небывалый литературный университет. Он повлиял на интеллектуальную эволюцию человечества в 20 веке не слабее, чем это сделал Платон с его диалогами в 4 веке до н. э!

Но в школе Платона под литературно-философской оболочкой было солидное математическое ядро: все студенты сдавали экзамен по геометрии. К сожалению, немногие авторы 20 века (как Азимов и Лем) продолжили ряд своих фантастических опусов научно-популярными книгами. Зияющая пропасть между ефремовской «Туманностью Андромеды» и фейнмановскими «Лекциями по Физике» до сих пор не перекрыта прочным педагогическим мостом. То же самое можно сказать о пропасти между «Занимательной Алгеброй» Перельмана и университетским учебником Фихтенгольца.

Нельзя сказать, что эти пропасти ничем не заполнены. В них постоянно действуют физические и математические кружки, турниры и олимпиады. Но эта работа более напоминает тайную школу Пифагора, чем академию Платона. Она не породила пока непрерывную систему универсального обучения Науке (всем её ветвям) всех молодых людей, охочих и готовых к такому образованию. Оттого глобальный КПД человеческого интеллекта на Земле остаётся пока весьма мал — слишком мал для 7-миллиардного человечества. Насколько его нужно повисить, чтобы 21 век закончился не хуже, чем 20 век?

Это никому не известно заранее. Может быть, искомый коэффициент равен отношению двух глобальных энергопотреблений: в 2000 и в 1900 годах? Или он равен отношению числа земель, погибших во Второй Мировой войне, к числу жертв Франко-Прусской войны 1870 года? Всяко может быть... Но ясно, что создание научной Физики Социума (а за нею — и Физики Биосферы) в 21 веке не менее актуально, чем было создание Физики Космоса в 17–20 веках.

Сейчас кажется, что Учёное Сообщество землян устроено и работает проще, чем все другие социальные механизмы. Вроде того, как в 17 веке Планетная Астрономия казалась много проще Механики Жидкостей или Химии Атомов. Например, изложить историю земной науки можно на двух сотнях страниц — что и попытался сделать автор данной книги. Но никакого числа книг не хватит, чтобы превратить их усердного Читателя в профессионального Мастера Науки. Эту искру можно перенять лишь от другого живого Мастера, работая рядом с ним, учась на его удачах и ошибках. Автор желает всем читателям такого счастья в их трудной и увлекательной жизни на нашей Земле.

Предметный указатель

- π -мезон 119, 148
 p -адические числа 99
 W и Z -бозоны 132
 X -лучи (рентгеновские) 117
«Академия деи Линчеи» 53
«Аль-Магест» 20, 32, 41
«Аналитическая механика» 77
«Всеобщая история» 26
«выгорание» водорода 125
«газ» из звёзд 41
«глоболы» 148
«Государь» 41
«Двойная Спираль» 52
«Естественная теория неба» 69
«Закат Европы» 150
«Илиада», хронология 23
«Коники» 19
«Кремонские статуты» 36
«Лейденская банка» 78
«Лузитания» 139
«луны» Юпитера 49
«Математические Принципы
Натурфилософии» 61,
64
«Начала» Евклида 19, 41
«Новая Атлантида» 53
«О природе вещей» 20
«Оптика» 70
«Органон» 18
«Осёл» буриданов 38
«перегорание» гелия 125
«праздник Разума» 82
«Происхождение видов» 102
«Рассуждение о двух системах
мира: Птолемеевой и
Коперниковой» 50
«Рассуждения на Тита Ливия»
41
«творческое меньшинство» 151
«Теория Пассионарности» 151
«Физика» Аристотеля 18
«Химик — Скептик» 54
«Что такое жизнь, с точки зрения
физики?» 157
«щель» Кассини 58
«Этногенез и Биосфера Земли»
152
3-мерные многообразия 96
61 Лебеда, звезда 68
Nullius in Verba 54
Абд ас-Салам 132, 147
Абеляр, Пьер 35
абберация звёздная 68
абстракций мир 13
Август Кéкуле 104
Августин Блаженный 33
Австралия
флора и фауна 66
австралопитек 111
Австронезийская семья 143
автобиография научная 52
автомобиль 130
Агрикола 44
аденин 105
адрон 132
Азимов, Айзек 157
азот 76
сжигание 78
Айзек Азимов 157
Академия Афинская 13, 16, 33
Академия Морская 42

Академия Наук Парижская 56,
 57, 67
 Академия Наук Прусская 63
 Академия Наук Российская 64
 Академия Наук СССР 141
 Академия Парижская, роспуск
 82
 Академия Платона 13, 16, 33
 Аквинский, Фома 38
 аккадская клинопись 109
 аксиома выбора 38
 аксиомы геометрии 18
 аксиомы математической физики
 78
 алгебра 31, 45, 99
 с делением 114
 формализация 46
 алгебраическая теория чисел 56
 алгебраическая топология 95,
 113
 алгоритм 31, 45
 Александр Белл 129
 Александр Македонский 10, 17
 Александрийская школа 24
 Александрийский Музей 18, 20,
 22
 Александров П. С. 139
 Алексис Клеро 68
 Алигьери, Данте 40
 Алкуин 33
 Алтайская семья 143
 алфавит арамейский 109
 алхимия 43
 аль-Хорезми 31
 Альберт Майкельсон 89
 Альберт Эйнштейн 89, 92, 144
 Альбрехт Коссель 105
 альфа-частица 118, 135
 стабильность 120
 Альфред Вегенер 141
 Альфред Нобель 130
 Амазония
 флора и фауна 67
 Амбруаз Паре 43
 аминокислоты 105, 128
 аммиак 76
 синтез 130
 Ампер, Андре 84
 Анаксагор 9
 Анаксимандр 7
 анализ
 молекул 104
 элементов, спектральный 84
 анализ математический 21, 52,
 56, 60, 72
 основания 93
 учебник 63
 аналитическая геометрия 56
 аналитические функции 93
 аналоговый компьютер 22
 анатомии атлас 44
 Андерсон, Карл 145
 Андре Ампер 84
 Андреа Везалий 43
 Андреа Либавий 44
 Андромеды Туманность 122
 анилиновые красители 104, 108
 лекарства 108
 Анри Пуанкаре 97, 112, 115
 ансамбль инвариантов 95
 Антарктида 66
 антинейтрон 145
 антипротон 145
 Антон Лёвенгук 44
 антракс 107
 вакцина 107
 Антуан Лавуазье 77
 Апейрон 7
 Аполлоний 19
 арамейский алфавит 109

Арбат 139
 аргон 79
 Аристарх 15
 аристократия 17, 26
 Аристотель 16
 Аристотеля логические правила 37
 арифметика 6, 18, 30, 72
 арифметическая генетика 108
 арифмометр 63
 аркебуза 40
 Арнольд В. И. 117
 Арнольд Тойнби 151
 Аррениус, Сванте 81
 Артур Кэли 114
 Артур Эддингтон 123
 археология 109
 Архимед 21
 Архимед, письма 21
 Архимеда спираль 72
 Арьяхата 30
 ассириология 109
 астролябия 22
 астрономия 9, 15, 49
 астрономия экспериментальная 9
 атеизм 74, 82
 атлас анатомии 44
 атлас генов 126
 атом 10, 12, 80
 валентность 80
 вес 80
 во Вселенной (Демокрит) 12
 водород, стабильность 120
 измерения свойств 12
 модель вещества 54
 перестановки 19
 превращения 118
 радиораспад 118
 симметрии 92
 спектр излучения 119
 электромагнитное взаимодействие 88
 ядро 118
 аттрактор странный 59, 75
 Атья, Майкл 113, 114
 Афинская Академия 13, 16, 33
 Афины 9
 Афразийская семья 143
 ахейцы 23
 Ахен 33
 Ахилл 23
 Ашшурбанапала библиотека 109
 аэроплан 130
 Багдад 30
 батисфера 43
 бактерии 107
 Бедржих Грозный 110
 белков синтез 105
 Белл, Александр 129
 белый карлик 122, 125
 Бельтрами, Эудженио 96
 Бенджамин Франклин 78
 бензол, структура 104
 беннетиты (растения) 143
 Берия Л. П. 136
 Бернар (святой) 35
 Бернулли, Даниил 64
 Бернулли, Иоганн 63, 64
 Бернулли, Якоб 63, 64
 бесконечная десятичная дробь 93
 бесконечномерное пространство 90
 бесконечность 14, 60
 континуальная 94
 счётная 94
 бесконечные множества разные 93

беспозвоночные 101
 Бессель, Фридрих 68
 Бете, Ханс 123
 Бехистун 109
 бешенство, вакцина 107
 библиотека Ашшурбанапала 109
 Библия 5, 42
 биоинженерия 129
 биоинформатика 129
 биологическая эволюция 101,
 107
 биологический
 вид 100
 род 100
 ценоз 142
 биологическое семейство 100
 биосфера 103, 133
 таксоны 101
 биохимия 104
 биоценоз 99, 142
 благородные газы 79
 Ближний Восток 137
 близнецы простые (числа) 24
 Блэк, Джозеф 75, 85
 бозоны 132
 скалярные 132
 Бойль, Роберт 54
 Большая Теорема Ферма 57, 92,
 98, 115
 Большой Взрыв 123, 146, 149
 бомба водородная 123, 126, 131,
 137
 бомба урановая 130
 Бомбелли, Рафаэль 45
 Бонапарт, Наполеон 82
 Бопш, Франц 110
 Бор, Нильс 52, 118, 136
 борьба природных сил 11
 Ботт, Рауль 113
 Браге, Тихо 25, 46
 Браун, Вернер 141
 Брахистохрона 72
 брожения ферменты 105
 Бруно Понтекорво 147
 Брэгг, Лоуренс 127
 Брэдди, Джемс 68
 буквенная запись цифр 30
 бумажные деньги 37
 Бунзен, Роберт 84
 Буридан, Жан 38
 буриданов «Осёл» 38
 Бутлеров А. М. 104
 бутылка Клейна 112
 Буше де Перт 110
 бушмены 143
 Бэкон, Роджер 36
 Бэкон, Френсис 53
 Бюффон, Жорж 100
 Вавилов Н. И. 137
 Вавилон 5
 Вавилон, раскопки 110
 Вайнберг, Стивен 132, 146
 Вайнберга-Салама теория 147
 вакуум 7, 54, 146
 вакуум-насос 54
 Вакуума модель 89
 Вакуума Симметрия 145
 вакцина
 антракс 107
 бешенство 107
 валентность атомов 80
 Валлис, Джон 53
 Вальтер Флеминг 108
 вариации генные 126
 вариационное исчисление 72
 Вега 68
 Вегенер, Альфред 141
 Везалий, Андреа 43
 Вейерштрасс, Карл 94

Век Каменный 110
 вектор скорости 11
 вектор скорости Солнца 70
 векторное пространство 90, 99
 многомерное 90
 векторные поля касательные 114
 векторные пучки 113
 Великая Хартия Вольностей 36
 Великое объединение сил 147
 Венера
 масса 25
 прохождение 51
 фазы 49
 Вернадский В. И. 142
 Вернер фон Браун 141
 вероятностей законы 88
 вероятностей теория 140
 вертолёт 43
 веса атомов 80
 весы крутильные 79
 ветры муссонные 42
 вещество
 атомная модель 54
 отравляющие 130
 синтез 103
 Вёлер, Фридрих 103
 взаимодействие
 сильное 120
 слабое 132, 147
 поле 147
 электромагнитное 147
 электромагнитное атомов 88
 взаимодействие зарядов
 электрических 61, 79, 92
 Взрыв Большой 123, 146, 149
 Взрыв Демографический 144
 вибрион 107
 вид
 биологический 100
 древо родословное 100
 полиплоидный 127
 Виет, Франсуа 46
 Виета теорема 46
 Вильгельм Гершель 69
 Вильгельм Даймлер 130
 Вильгельм Лейбниц 62
 Вильгельм Рентген 135
 Вильям Гамильтон 88, 114
 Вильям Гарвей 44
 Вильям Крукс 81, 144
 Вильям Перкин 104
 Вильям Рамзай 79
 Вильям Томсон (Кельвин) 86
 виртуальные мезоны 120
 виртуальные фотоны 120
 вирусы 107
 витамины 66
 Витте С. Ю. 134
 внутреннего сгорания двигатель
 87, 130
 водно-паровая энергетика 85
 водород 77, 79
 водорода «выгорание» 125
 водорода атом, стабильность 120
 водородная бомба 123, 126, 131,
 137
 водородная продувка 142
 воды разложение 79
 военно-промышленный комплекс
 130
 возраст земной коры 86
 возраст пирамид 22
 Возрождение 39, 42, 48
 война Гражданская 139
 война Первая Мировая 150
 волны электромагнитные 62
 Вольтер, Франсуа 65, 73
 Вольфганг Паули 145
 вращение Солнца 50
 время жизни протона 148

- все возможные геометрии 92
- Вселенная
 - атомы 12
 - масса 149
 - механическая 49
 - плотность 149
 - электромагнитная 89
- Всемирная выставка 1851 г. 102
- Всемирный конгресс Математиков (1900 год) 116
- Всемирный Потоп, текст 110
- вулкан 66
- вулканизм 86
- выбора аксиома 38
- высадка на Луне 131
- высказывания, смысл 38
- Высшего Существа культ 82
- вычисление объёмов 19, 21
- Гавайи 66
- Гагарин Ю. А. 141
- газ фотонный 123
- газ Хиггса 147
- газы 76
 - благородные 79
 - ожигение 80
- галактика 122
 - масса 149
 - разбегание 122
 - строение 69
- Галилей, Галилео 48
- Галилея эффект 54
- Галлей, Эдмунд 67
- Галлея комета 67
- Галуа, Эварист 91
- Гамильтон, Вильям 88, 114
- гамма-кванты 132
- гамма-лучи 125
- Гамов, Георгий 123, 128
- гамогетеротопия 143
- Гарвей, Вильям 44
- гармоники (люди) 74
- гармонический ряд, расходимость 38
- гармония Вселенной 8
- Гаспар Монж 81
- Гаусс, Карл 14, 83, 90, 95, 96
- гелий 118
 - «перегорание» 125
 - жидкий 123, 136
- гелиоцентрическая гипотеза 50
- Гелл-Манн, Марри 146
- Гельмгольц, Герман 86
- Гельфанд И. М. 140
- Гельфонд А. О. 140
- гемоглобин 127
 - кристалл 104
- ген 126
- Гендерсон, Томас 68
- генетика 137, 138, 142
 - арифметическая 108
- генетический код 128
- генетическое древо языков 143
- Гензель, Курт 99
- генная инженерия 133
- генная хирургия 127
- генные вариации 126
- генов атлас 126
- геном 128, 142
 - картирование 127
 - человека 129
- Генри Кевендиш 76
- Генри Роулинсон 109
- Генрих Герц 89, 135
- Генрих Шлиман 110
- Генриэтта Ливит 121
- географические открытия 42
- география экспериментальная 42
- геодезические замкнутые 140

геодезические линии 95
 геология 86, 141
 геометрическая прогрессия 21, 38
 геометрический мир 19
 геометрия 6
 аксиомы 18
 аналитическая 56
 все возможные 92
 и религия 20
 многомерная 88
 модель 97
 неевклидова 95
 определения объектов 18
 Георг Гротенфенд 109
 Георг Кантор 93
 Георг Риман 96
 Георгий Гамов 123, 128
 геоцентрическое учение 50
 Гераклд 15
 Гераклит 11
 Герберт из Орильяка 34
 Герд Фальтингс 115
 Герице, Отто 54
 Герман Гельмгольц 86
 Герман Мюллер 127, 138
 Геродот 9
 Герхард Фрай 115
 Герц, Генрих 89, 135
 Герцшпрунг, Эйнар 121
 Герцшпрунга гипотеза 126
 Герцшпрунга диаграмма 122
 Гершель, Вильгельм 69
 Гёдель, Курт 94
 Гёделя теорема 114
 гиганты голубые 122
 гиганты красные 122
 Гильберт, Давид 97, 116
 Гильберта проблемы 116
 гиперболоа 19
 гиперболическая трапеция,
 площадь 51
 гипотеза Герцшпрунга 126
 гипотеза Гюйгенса 88
 гипотеза Канта-Лапласа 69
 гипотеза Мейена 142
 гипотеза Морделла 115
 гипотеза Пруста 80
 гипотеза Римана 117
 гипотеза Танияма 115
 гипотезы, проверка 48
 Гитлер 130
 гладкие функции 93
 глобальная тектоника 142
 глюонный конденсат 148
 глюоны 121, 132, 148
 Гоббс, Томас 54
 Говард Тёмин 129
 год марсианский 47
 годичный параллакс звёзд 46,
 68, 121
 голосеменные 143
 голубые гиганты 122
 гомеоморфизм 94, 112
 Гомер, поэмы 110
 гомологий группа 113
 гомологических рядов закон 137
 гомология (матем.) 113
 гомотопическая группа 140
 гомотопический тип 113
 гомотопия 113
 гонка ядерная 130
 Гордон Чайлд 137, 144
 Городницкий А. М. 142
 горох, наследственность 102
 горы на Луне 49
 гравитационная постоянная 88
 гравитационное сжатие 124
 гравитационный радиус 124
 гравитон 144

- Гражданская война 139
 гразер 132
 грамматика санскрита 30
 график функции 56
 Грегор Мендель 102
 греческое Просвещение 8
 Грозный, Бедржих 110
 громоотвод 78
 Гротефенд, Георг 109
 групп разнообразия 97
 групп теория 91
 группа 97, 99
 группа гомологий 113
 группа гомотопическая 140
 группа симметрий 91
 группа фундаментальная 112
 группы Ли 97
 представления 97, 146
 группы перестановок 97
 гуанин 105
 Гук, Роберт 54
 Гулливер, Лемюэль 37
 Гульельмо Маркони 130
 Гумилёв Л. Н. 151, 152
 Гутенберг, Иоганн 42
 Гюйгенс, Христиан 57, 58
 Гюйгенса гипотеза 88

 да Винчи, Леонардо 43
 Давид Гильберт 97, 116
 давление световое 125
 Даймлер, Вильгельм 130
 Даламбер, Жан 65
 Дальтон, Джон 12, 80
 Даниил Бернулли 64
 Данин Д. С. 52
 Данте Алигьери 40
 Дао 27
 Дар аль-Хикмат 31
 Дарвин, Чарлз 102

 Дарт, Раймонд 111
 двигатель внутреннего сгорания
 87, 130
 движение звёзд 68
 движение Земли 15
 движение Марса 47
 движение планет 47
 законы 47
 режим 22, 50
 движение равноускоренное 48
 движения и силы 60
 Двойная Спираль (ДНК) 128
 двойные звёзды 70
 двухнейтринный эксперимент
 147
 Дедекин, Рихард 14, 93
 дезоксирибоза 105
 действие 27, 73, 119
 «ямы», «сёдла» и «холмы»
 73
 экстремальное 73
 Декарт, Рене 55
 делимость идеалов 98
 делимость комплексных чисел
 98
 Делоне Б. Н. 140
 Дельбрюк, Макс 157
 Демографический Взрыв 144
 демократия 17, 26
 Демокрит 10, 12
 Дени Дидро 65
 деньги бумажные 37
 десятичная дробь бесконечная
 93
 десятичные дроби 30
 десятичные цифры 35
 дефект массы 120
 Джабир ибн Хайян 30
 Джемс Брэдли 68
 Джемс Кук 66

Джемс Максвелл 87
 Джемс Уатт 85, 86, 129
 Джемс Уотсон 52, 127
 Джемс Хаттон 66, 86
 Дженнер, Эдвард 107
 Джироламо Кардано 45
 Джозеф Блэк 75, 85
 Джозеф Пристли 76
 Джозеф Томсон 81, 117, 144
 Джон Валлис 53
 Джон Дальтон 12, 80
 Джон Донохью 127
 Джон Кендрью 127
 Джон Кокрофт 120, 136
 Джон Милнор 113
 Джон Флэмстид 67
 диаграмма Герцшпрунга 122
 диалоги Платона 13
 диаметр Земли 22
 диаметр Луны 16
 диаметр Солнца 16
 диаметр тени Луны 9
 диаметр угловой Юпитера 68
 Дидро, Дени 65
 динамит 130
 динозавры 101
 Диофант 56
 Дирак, Поль 136, 145
 Дирихле, Петер 98
 дискуссия научная 10
 диспуты 45
 дифференциал 63
 дифференциальное уравнение
 колебаний 58
 дифференциальные уравнения
 60, 78
 длина волны света 83
 ДНК 105
 картирование 133
 рентгенограммы 127
 Дом Мудрости 31
 Доменико Кассини 51, 58
 Донохью, Джон 127
 Доплера-Физо эффект 122
 Дравидская семья 143
 Древний Восток, история 109
 древо Индоевропейских языков
 110, 143
 древо родословное видов 100
 древо языков генетическое 143
 дрейф континентальный 141
 дробь десятичные 30
 дробь бесконечная десятичная
 93
 дрожжи 106
 дрозofiла 126
 дуга меридиана 23
 дуга электрическая 79
 дыра чёрная 124
 Дэ 28
 Дэви, Хамфри 79
 лекции 80
 Дэниэл Резерфорд 76
 Дюбуа, Эжен 111
 Евдокс 14, 22, 90
 Евклид 8, 18
 Евклида теорема 38
 евклидово пространство 90, 111
 Египет, история 23, 29
 египетские иероглифы 109
 Егоров Д. Ф. 139, 140
 естествознание 139
 Ефремов, Иван 158
 Жан Батист Кольбер 57
 Жан Батист Ламарк 101
 Жан Буридан 38
 Жан Даламбер 65
 Жан Пикар 58

Жан Поль Марат 82
 Жан Рише 51, 67
 животных классификация 16
 жидкий гелий 123, 136
 жидкость квантовая 123
 Жозеф Лагранж 72, 78
 Жозеф Лиувиль 14, 91
 Жозеф Пруст 80, 81
 Жозеф Фурье 82
 Жорж Бюффон 100
 Жорж Кювье 83, 101, 106
 журнал научный 55

задачи

- «на прогнозирование» 83
- «на управление» 83

закон гомологических рядов 137

законы вероятностей 88

законы движения планет 47

законы сохранения 145

законы электролиза 80, 84

замкнутое множество 94

замкнутые геодезические 140

запись цифр буквенная 30

заряды электрические

- взаимодействие 61, 79, 92
- два сорта 61

затмения лунные 9

затмения солнечные 9

звезда 12, 41

- 61 Лебеда 68
- аберрация 68
- годи́чный параллакс 46, 68, 121
- движение 68
- двойная 70
- коллапс 124
- нейтронная 125
- новая 125
- пульсар 125
- разбегание 70
- сверхновая 46, 122, 125
- скорость сдвига 70
- эволюция 126
- южное небо 67

звёздного неба карта 24

Зворыкин, Владимир 107

землетрясение 66, 86

Земля

- движение 15
- диаметр 22
- Каменная Летопись 86
- конвекция в мантии 142
- кора, возраст 86
- орбита, радиус 51
- противостояние 51
- термические параметры 86
- эволюция 142

Зенон 11

Зенона парадоксы 11, 21

зеркальная симметрия молекул 106

зеркальной симметрии

- пространства нарушение 28

зеркальный

- телескоп 54

зеркальный телескоп 61

Зибенман, Лоуренс 113

злаки, коллекция семян 137

зонд космический 59, 131

Зонненшайн Л. П. 142

ибн Хальдун 39

Иван Ефремов 158

идеалов делимость 98

идиот 34

Иеремия 5

иероглифы египетские 109

иероглифы китайские 27

излучение атомов, спектр 119
излучение реликтовое 123
излучение рентгеновское 127
изменения симметрий 97
изменчивость организмов 102
измерения свойств атомов 12
изобретения 129
изомерия молекул 103
изотопы 118
Иллич-Свитыч В. М. 143
Иммануил Кант 69
иммунитет 107
импульс 18
 сохранение 54
инвариантность размерности 112
инвариантов ансамбль 95
инварианты топологические 95
индейские языки 143
Индия 29, 37, 42, 110
Индоевропейская семья 143
Индоевропейских языков древо
 110, 143
индуктивная логика 53
инерции принцип 38, 48
инженерия генная 133
инквизиция 46, 50
Иннокентий 3 36
Институт Королевский 79
Институт Физических Проблем
 136
Институт Франции 82
интеграл 63
интегральное исчисление 52
интеллект искусственный 37
Интернационал Католический
 151
Интернет 141
интерференция 83
информационная революция 85
информационная РНК 128
инфракрасные лучи 71
Инь (царство) 28
Иоганн Бернулли 63, 64
Иоганн Гутенберг 42
Иоганн Кеплер 47, 50
Иоганн Ламберт 32, 72
Иоганн Мюллер 41
ион 80, 84
Иония 5
Иоффе А. Ф. 135
иприт 130
иррациональность числа π 72
иррациональные числа 14, 32
искусственные спутники 131
искусственный отбор
 микроорганизмов 107
искусственный интеллект 37
исторический процесс, управление
 17, 109
история 9, 39, 41, 150
 Древний Восток 109
 Египет 23, 29
 Китай 28
 кочевых народов Евразии
 152
 экспериментальная 10, 17,
 151
исчисление вариационное 72
исчисление интегральное 52
калий 79
Каменная Летопись Земли 86
каменный век 110
Каммерлинг-Оннес, Хейке 136
Кант, Иммануил 69
Кантор, Георг 93
Канторово множество 99
Капица П. Л. 131, 135, 136
капуста 137
Кар, Лукреций 20

Кардано, Джироламо 45
 Карл Андерсон 145
 Карл Вейерштрасс 94
 Карл Великий 33
 Карл Гаусс 14, 83, 90, 95, 96
 Карл Линней 16, 99
 Карл Шварцшильд 124
 Карл Шееле 76
 карлик белый 122, 125
 карлик красный 122
 Карно, Лазар 81
 Карно, Сади 87
 карта звёздного неба 24
 карта неба координатная 15
 Картвельская семья 143
 картирование генома 127
 картирование ДНК 133
 касательные векторные поля 114
 касательных расчёт 21
 Кассини, Доменико 51, 58
 катализаторы 31
 катастроф теория 53, 75
 катастрофы (в биосфере) 101
 Католический Интернационал 151
 католический университет 35
 квадратура круга 91
 квазар 124, 132
 модель 124
 квант 119
 квантовая жидкость 123
 квантовая механика 118
 квантовая химия 127
 кварк 121, 132, 146
 модели 146
 странный 147
 тяжёлые 132, 147
 кварково-глюонный конденсат 148
 кварково-лептонные семейства 148
 квартернионы 114
 Кевендиш, Генри 76
 Кевендиша лаборатория 127
 Кекуле, Август 104
 Келдыш М. В. 141
 Кельвин (Томсон) 86
 Кембридж 61, 120, 127
 Кен Риббет 115
 Кендрью, Джон 127
 Кеплер, Иоганн 47, 50
 кеты (народ) 143
 кибернетика 105
 кинетическая энергия 75
 Кирби, Робион 113
 Кирхгоф, Роберт 84, 88
 кислород 76, 77
 кислота 77, 79
 нуклеиновая 104, 127
 серная 39
 соляная, строение 79
 Китай, история 28
 китайские иероглифы 27
 Клавдий Птолемей 20, 31
 классификация животных 16
 классификация многообразий 113
 классификация организмов 99
 классификация уродов 127
 классы характеристические 113, 140
 Клейн, Феликс 92, 96
 Клейна бутылка 112
 Клеро, Алексис 68
 клетка (биол.) 104
 клетка (матем.) 113
 клеточное ядро 104, 107
 клинопись 109
 аккадская 109

книга научно-популярная 20
 книгопечатание 41
 когомологий кольцо 114, 140
 код генетический 128
 Кокрофт, Джон 120, 136
 колебаний дифференциальное
 уравнение 58
 количество хромосом 108
 коллаген 127
 коллапс звезды 124
 коллекция семян злаков 137
 Колмогоров А. Н. 117, 139, 140
 Колумб, Христофор 42
 колхицин 127
 Кольбер, Жан Батист 57
 кольца Сатурна 49, 58, 88
 кольцо (матем.) 99
 когомологий 114, 140
 Кольцов Н. К. 137, 138
 комета 41
 Галлея 67
 периодичность 67
 расстояние переменное 25,
 47
 коммуны 40
 компас 37
 компас, отклонение стрелки
 током 84
 комплекс военно-промышленный
 130
 комплексные числа 45, 90
 комплексных чисел делимость
 98
 компьютер аналоговый 22
 компьютер механический 18, 37
 компьютер электронный 37
 конвекция в мантии Земли 142
 Конго, река 42
 конденсат глюонный 148
 конденсат кварково-глюонный
 148
 конденсат Хиггса 147
 конические сечения 19
 Конкиста 141
 консорции 151
 Константинов Н. Н. 117
 конституция Римско-Германской
 империи 36
 континентальный дрейф 141
 континенты, спрединг 142
 континуальная бесконечность 94
 континуум-гипотеза 94, 114
 конуса объём 21
 Конфуций 28
 координатная карта неба 15
 координаты числовые 19
 Корана, Хар Говинд 128
 Кордова 34
 корень любой степени 91
 корень многочлена 91
 корень уравнения 45
 Королевский Институт 79
 Королевское Общество
 Лондонское 53, 136
 Королёв С. П. 141
 коры земной возраст 86
 космическая программа 141
 космические лучи 145
 космический зонд 59, 131
 космический полёт человека 131
 космическое расстояние первое
 24
 Коссель, Альбрехт 105
 Кох, Роберт 107
 Коши, Огюстен 92
 Коэн, Поль 94
 коэффициент преломления 87
 красители анилиновые 104, 108
 Красное Пятно (Юпитер) 58

- красное смещение 124
 красный гигант 122
 красный карлик 122
 Кребс, Никлас 41
 кривизна поверхности 96
 кривой уравнение 56
 кривые эллиптические 115
 Крик, Френсис 127
 кристалл 14, 127
 гемоглобин 104
 решётка 92
 критика текстов научная 109
 критические точки (функции) 73
 кровообращение 44
 Кротон 7
 круга квадратура 91
 кругосветное путешествие 23,
 36, 42
 кружки школьные 140
 Крукс, Вильям 81, 144
 крутильные весы 79
 кубическое уравнение 45, 91
 Кузанский, Николай 41
 Кук, Джемс 66
 Кулон, Шарль 79
 культ Высшего Существа 82
 культурных растений
 разнообразие 137
 Куммер, Эрнст 98
 Курт Гензель 99
 Курт Гёдель 94
 Курчатов И. В. 138
 Кэли, Артур 114
 Кювье, Жорж 83, 101, 106

 лаборатория Кевендиша 127
 Лавуазье, Антуан 77
 Лагранж, Жозеф 72, 78
 Лазар Карно 81
 лазер 124, 132

 Лайнус Полинг 127
 Ламарк, Жан Батист 101
 Ламберт, Иоганн 32, 72
 Ландау Л. Д. 131, 136
 Лао-цзы 28
 Лаплас, Симон 83
 Ларин В. Н. 142
 Лебедев П. Н. 135
 Левиафан 55
 Левин, Фёдор 105
 Лейбниц, Вильгельм 62
 лекарства 43
 анилиновые красители 108
 лекции Дэви 80
 Лем, Станислав 158
 Лемюэль Гулливер 37
 Ленгтон, Стефан 36
 Ленин В. И. 134, 139
 Леонард Эйлер 38, 64, 71
 Леонардо да Винчи 43
 лептоны 146
 Летопись Земли Каменная 86
 Лёвенгук, Антон 44
 Ли групп представления 97, 146
 Ли группы 97
 Ли, Софус 97
 Ли, Цзун-дао 28, 146
 Либавий, Андреа 44
 Либих, Юстус 103
 Ливит, Генриэтта 121
 Ликей Аристотеля 13
 Лики, Луис 111
 лингвистика сравнительная 109,
 110, 129, 143
 лингвистика структурная 30
 Линдеман, Фердинанд 91
 линии геодезические 95
 линии силовые поля 84
 линия (определение) 18
 линия цепная 72

Линней, Карл 16, 99
 Лиувиль, Жозеф 14, 91
 Лобачевский Н. И. 95, 139
 логарифмов таблица 47, 51
 логика 18
 индуктивная 53
 правила Аристотеля 37
 формальная 18
 Лодовико Феррари 45
 Ломоносов М. В. 75
 Лондонское Королевское
 Общество 53, 136
 Лопиталь, Франсуа 63
 Лоренца-Эйнштейна формула
 121
 Лоуренс Брэгг 127
 Лоуренс Зибенман 113
 Лузин Н. Н. 139, 140
 Луи Пастер 106
 Луис Лики 111
 Лукреций Кар 20
 Луллий, Раймонд 18, 37
 Луна
 высадка людей 131
 горы 49
 диаметр 16
 диаметр тени 9
 масса 25
 размеры 9
 суточный параллакс 24, 46
 лунные затмения 9
 лучи инфракрасные 71
 лучи космические 145
 лучи ультрафиолетовые 71
 Лысенко Т. Д. 138
 люизит 130
 Люстерник Л. А. 139, 140
 Ляйел, Чарлз 86
 Маамун 30
 Магеллан, Фернандо 42
 Магелланово Облако 121
 Магнавра 34
 магнитное поле 87, 88, 135
 магнитные силы 62
 Майкельсон, Альберт 89
 Майкл Атья 113, 114
 Майкл Фарадей 79, 84, 130
 Македония 17
 Македонский Александр 10, 17
 Макиавелли, Никколо 41
 Макс Дельбрюк 157
 Макс Перутц 127
 Макс Планк 119, 144
 Максвелл, Джемс 87
 Максимилиан Робеспьер 82
 мамонт 101
 Манефон (историк) 23
 мантия, конвекция 142
 Марат, Жан Поль 82
 Марен Мерсенн 55
 Марко Поло 36
 Маркони, Гульельмо 130
 Марри Гелл-Манн 146
 Марс, год 47
 Марс, движение 47
 Марстон Морс 113
 Маршал Ниренберг 128
 масса
 Венера 25
 Вселенная 149
 галактики 149
 дефект 120
 Луна 25
 протон 148
 элементарные частицы 146
 Юпитер 67
 масса Луна/Земля (отношение)
 68
 математика 32, 139

- основания 94
- математическая физика 8
 - аксиомы 78
- математическая школа
 - российская 140
- математические олимпиады 140
- математический анализ 21, 52,
 - 56, 60, 72
- учебник 63
- Математический конгресс
 - Всемирный (1900 год) 116
- материков расположение 142
- материя тёмная 149
- машина паровая 85
- маятниковые часы 52, 58
- межзвёздные расстояния 121
- межпланетные расстояния 25, 52
 - спектр 52
- мезон 28, 145
 - виртуальный 120
- Мейен С. В. 142
- Мейена гипотеза 142
- Менделеев Д. И. 118
- Менделеева таблица 118, 125, 147
- Мендель, Грегор 102
- Менделя правила 126
- Меньшов Д. Е. 139
- меридиана дуга 23
- Мерсенн, Марен 55
- металлическая руда 44
- метеориты 9
- метрические пространства 94
- механизм свечения Солнца 87
- механика квантовая 118
- механическая Вселенная 49
- механическая модель Солнечной системы 22
- механический компьютер 18, 37
- механической энергии сохранение 78
- Мечников И. И. 134
- Мигель Сервет 44
- микробы 44, 107
- микрометр 58
- микроорганизмы, искусственный отбор 107
- микроскоп 44
 - электронный 107
- микрофон 129
- Милет 6
- Милнор, Джон 113
- мир абстракций 13
- мир геометрический 19
- мир объектов 13
- митохондрии 128
- Млечный Путь 12, 69
- многогранники правильные 8, 14, 52
- многозначное разложение на множители 98
- многомерная геометрия 88
- многомерное векторное пространство 90
- многообразии 97, 111, 113
 - 3-мерные 96
 - классификация 113
- многочлен
 - корень 91
 - разложение 46
- множеств теория 14, 94, 139
- множество
 - бесконечные разные 93
 - замкнутое 94
 - Канторово 99
 - открытое 94
 - точек на прямой 11
 - функций 90
- мобилизм 141

модели кварков 146
 модель Вакуума 89
 модель вещества атомная 54
 модель геометрии 97
 модель квазара 124
 модель механическая Солнечной системы 22
 модель прямой 12
 модель явления 11
 молекула 80
 анализ 104
 зеркальная симметрия 106
 изомерия 103
 правовинтовые 105
 монада 63
 Монарх Просвещённый 17
 монархия 17, 26, 41
 монастыри 33
 Монж, Гаспар 81
 Мопертюи, Пьер 72
 Морган, Томас 126, 137
 Морделла гипотеза 115
 Морис Уилкинс 127
 Морис Фреше 94
 Морс, Марстон 113
 Морская Академия 42
 морские приливы 17, 69
 московская топологическая школа 140
 Московское Математическое Общество 139
 мочевина 103
 Музей Александрийский 18, 20, 22
 муссонные ветры 42
 мутагенные факторы 127
 мутация 126
 Мушенбрук, Питер 78
 мю-атомы 145
 Мюллер, Герман 127, 138
 Мюллер, Иоганн 41
 мюон 145, 147
 Навигадор, Энрике 42
 Навуходоносор 5
 напалм 39
 Наполеон Бонапарт 82
 направления эволюции 142
 народов переселение 110
 нарушение зеркальной симметрии пространства 28
 наследственность 126
 гороха 102
 натрий 79
 научная автобиография 52
 научная дискуссия 10
 научная критика текстов 109
 научная организация труда 77
 научная фантастика 157
 научно-популярная книга 20
 научный журнал 55
 неандертальцы 111
 неба звёздного карта 24
 неба координатная карта 15
 небесные сферы, радиусы 8
 неевклидова геометрия 95
 Нееман, Ювал 146
 независимости движений принцип 49
 Независимый Университет 135
 нейтрино 132, 145, 147, 149
 осцилляции 132
 нейтрон 118, 145
 распад 146
 нейтронная звезда 125
 неолит 137
 неолитическая революция 137, 144
 неопределённостей соотношение 119

- непрерывные функции 93
 неразрешимость уравнения в
 радикалах 97
 несохранение энергии 119
 Нивен, Чарлз 72
 Никколо Макиавелли 41
 Никколо Тарталья 45
 Никлас Кребс 41
 Никлас Отто 130
 Николай Кузанский 41
 Николай Орэм 38
 Нильс Бор 52, 118, 136
 Ниневиа, раскопки 109
 Ниренберг, Маршал 128
 нитроглицерин 130
 ниша экологическая 101
 Нобелевская премия 105, 118,
 130, 134, 136, 137
 Нобель, Альфред 130
 новая звезда 125
 Новиков П. С. 139
 Новиков С. П. 113, 117
 новые хромосомы 143
 Нормальная школа 82
 Норман Стигрод 113
 Ностратическая сверхсемья 143
 нуклеин 104
 нуклеиновая кислота 104, 127

 Облако Магелланово 121
 обозначения химических
 элементов 77
 образование таксонов 142
 Обручев В. А. 142
 общая теория относительности
 123
 общая топология 94
 Общество Королевское
 Лондонское 53, 136

 Общество Московское
 Математическое 139
 объединение сил Великое 147
 объектов мир 13
 объём конуса 21
 объём полусфера 21
 объёмов вычисление 19, 21
 огурец 137
 Огюстен Коши 92
 Огюстен Френель 87
 ожижение газов 80
 окружность 18
 Оксфорд 36
 октавы (числа) 114
 Олаф Рёмер 59
 оледенение 101, 111
 олимпиады математические 140
 оператор энергии 28
 определения объектов 16
 геометрии 18
 орбита земная, радиус 51
 орбиты планет, форма 22, 50
 органелл симбиоз 128
 организация труда научная 77
 организмы
 изменчивость 102
 классификация 99
 Орэм, Николай 38
 Освальд Шпенглер 150
 основания математики 94
 основания математического
 анализа 93
 особой отбор 102
 оспа 107
 осцилляции нейтрино 132
 отбор искусственный
 микроорганизмов 107
 отбор особой 102
 открытия географические 42
 открытое множество 94

Относительности Общая Теория 123

отношение масс Луны и Земли 68

отношение расстояний
Земля–Луна и
Земля–Солнце 15

отравляющие вещества 130

отряд биологический 100

Отто Герике 54

Отто, Никлас 130

Оуэн, Роберт 101

Павлов И. П. 134

палеонтология 83, 101

Панини (лингвист) 30

парабола 19

парадоксы Зенона 11, 21

параллакс звёзд годичный 121

параллакс суточный Луны 24, 46

параметры термические Земли 86

Парацельс, Теофраст 43

Паре, Амбруаз 43

Париж 35, 55

Парижская Академия Наук 56, 57, 67

паровая машина 85

паровая турбина 43

паровоз 86

пароход 86

партоны 146

пассат 42

пассионарии (люди) 74

Пастер, Луи 106

пастеризация 106

Паули, Вольфганг 145

Пауль Эрлих 108

Первая Мировая война 150

первое космическое расстояние 24

первый термометр 48

Перельман Я. И. 158

переменное расстояние до кометы 25, 47

переселение народов 110

перестановки атомов 19

перестановок группы 97

переход работы в тепло 87

переход энергии в симметрию 53

переходы электронные 119

перечень фараонов 23

Перикл 10

периодичность комет 67

Перкин, Вильям 104

Перт, Буше 110

Перутц, Макс 127

Петер Дирихле 98

печатный станок 42

Пётр 1 64

Пикар, Жан 58

пирамид возраст 22

пиримидины 105, 128

пироксиллин 130

письма Архимеда 21

питекантроп 111

Питер Мушенбрук 78

Пифагор 7, 51, 90
школа 7

плазмодий 107

планета 15
движение 47
законы движения 47
режим движения 22, 50
форма орбиты 22, 50

Планк, Макс 119, 144

Платон 13

Платона диалоги 13

плоскость 19, 112

- плоскость проективная 95, 112
 Плотин 33
 плотность Вселенной 149
 площади гиперболических трапеций 51
 поверхности кривизна 96
 позитрон 145
 поле (матем.) 99
 векторное касательное 114
 поле (физич.)
 магнитное 87, 88, 135
 силовые линии 84
 слабых взаимодействий 147
 электрическое 88
 электромагнитное 88
 полёт человека в Космос 131
 Полибий 26
 Полинг, Лайнус 127
 полиплоидные виды 127
 полисы 10, 11, 19, 26, 29, 40
 Политехническая школа 82
 Политехнический институт 135
 политика 16
 Поло, Марко 36
 полушара объём 21
 Поль Дирак 136, 145
 Поль Коэн 94
 поляризация света 87
 Понтекорво, Бруно 147
 Понтрягин Л. С. 113, 140
 понятия физические 27
 популярный учебник 20
 порох 36, 39
 португальцы 40, 42
 последовательности предел 93
 постоянная гравитационная 88
 постоянный ток 79
 построения циркулем и линейкой 14, 38, 90
 постулат о параллельных прямых 114
 поэмы Гомера 110
 правила логические Аристотеля 37
 правила Менделя 126
 правильные многогранники 8, 14, 52
 правильный 5-угольник 14
 правильный 7-угольник 14, 91
 праввинтовые молекулы 105
 превращения атомов 118
 предел последовательности 93
 предел функции 93
 представление числа π 53
 представления групп Ли 97, 146
 преломления коэффициент 87
 премия Нобелевская 105, 118, 130, 134, 136, 137
 прецессия 25
 Пржевальский Н. М. 142
 приливы морские 17, 69
 принцип инерции 38, 48
 принцип независимости движений 49
 Природа, развитие 100
 природных сил борьба 11
 Пристли, Джозеф 76
 проблемы Гильберта 116
 проверка гипотез 48
 прогнозирование 150
 программа космическая 141
 программа Эрлангенская 96
 прогресс социальный 16, 41
 прогрессия геометрическая 21, 38
 продувка водородная 142
 проективная плоскость 95, 112
 происхождение растений, центры 137

происхождение цветковых 143
 прокариоты 108
 Просвещение 65
 Просвещение греческое 8
 Просвещённый Монарх 17
 просо 137
 пространство 112

- бесконечномерное 90
- векторное 90, 99
- евклидово 90, 111
- зеркальной симметрии
 - нарушение 28
- метрическое 94
- многомерное векторное 90

 простые числа

- близнецы 24
- таблица 23

 противостояние Земли 51
 протон 118, 145

- время жизни 148
- масса 148
- структура 146
- ускоритель 120, 145

 прохождение Венеры 51
 процесс исторический, управление

- 17, 109

 пружина 48
 Прусская Академия Наук 63
 Пруст, Жозеф 80, 81
 Пруста гипотеза 80
 прямая

- множество точек 11
- модель 12
- числовая 11, 14, 93

 Псамметих, фараон 6
 псевдосфера 96
 Птолемей Сотер 18
 Птолемей, Клавдий 20, 31
 Пуанкаре, Анри 97, 112, 115
 пульсар 125
 пурины 105, 128
 пустота (вакуум) 12, 54
 путешествие кругосветное 23,

- 36, 42

 Путь Шёлковый 29, 37
 пучки векторные 113
 пушка 37, 40
 пшеница 137
 Пьер Абеляр 35
 Пьер Мопертюи 72
 Пьер Ферма 56
 пятна солнечные 50, 71
 Пятно Красное (Юпитер) 58
 равноускоренное движение 48
 радиоволны 89, 135
 радиолокатор 123, 130
 радиопередатчик 130
 радиораспад атомов 118
 радиотелескоп 123, 130
 радиус гравитационный 124
 радиус земной орбиты 51
 радиусы небесных сфер 8
 разбегание галактик 122
 разбегание звёзд 70
 развитие Природы 100
 разложение воды 79
 разложение многозначное на

- множители 98

 разложение многочлена 46
 размер Солнечной системы 51
 размерности инвариантность 112
 размерности теория 140
 размеры Луны и Солнца 9
 размеры Солнца 9
 размножения системы 16, 100
 разнообразие групп 97
 разнообразие культурных

- растений 137

- разные бесконечные множества 93
- Раймонд Дарт 111
- Раймонд Луллий 18, 37
- Райт, братья 130
- Рамзай, Вильям 79
- Рамзес 2 23
- раскопки археологические
 - Вавилон 110
 - Ниневия 109
 - Троя 110
- распад нейтрона 146
- расплавов электролиз 79
- расположение материков 142
- расстояние
 - до кометы
 - переменное 25, 47
 - Земля–Луна 24
 - Земля–Луна и Земля–Солнце, отношение 15
 - космическое, первое измерение 24
 - Мартс–Земля 59
 - межзвёздные 121
 - межпланетные 25, 52
 - межпланетные, спектр 52
- растения
 - беннетиты 143
 - культурные, разнообразие 137
 - таксоны 142
 - цветковые 142
 - центры происхождения 137
- расходимость гармонического ряда 38
- расчёт касательных 21
- Рауль Ботт 113
- Рафаэль Бомбелли 45
- рациональные числа 8, 93
- реактор урановый 131
- реакции ядерные 122
- реакция цепная 119
- ревертаза 129
- революция информационная 85
- революция неолитическая 137, 144
- Региомонтан (И. Мюллер) 41
- режим движения планет 22, 50
- Резерфорд, Дэниэл 76
- Резерфорд, Эрнест 52, 118, 127, 135
- река Конго 42
- реликтовое излучение 123
- Рене Декарт 55
- Рене Том 113
- Рентген, Вильгельм 135
- рентгеновское излучение 127
- рентгенограммы ДНК 127
- рентгенография 127
- репа 137
- республика 41
- решётка кристаллическая 92
- Рёмер, Олаф 59
- Риббет, Кен 115
- рибоза 105
- риккетсия 107
- Риман, Георг 96
- Римана гипотеза 117
- Римско-Германская империя, конституция 36
- рис 137
- Рихард Дедекинд 14, 93
- Ричард Фейнман 146
- Рише, Жан 51, 67
- РНК 105
 - информационная 128
- Робер Сорбон 37
- Роберт Бойль 54
- Роберт Бунзен 84
- Роберт Гук 54

- Роберт Кирхгоф 84, 88
 Роберт Кох 107
 Роберт Оуэн 101
 Робеспьер, Максимилиан 82
 Робион Кирби 113
 род биологический 100
 Роджер Бэкон 36
 родословное древо видов 100
 рождение частиц 120
 Розалинда Франклин 127
 роспуск Парижской Академии 82
 Российская Академия Наук 64
 российская математическая школа 140
 Роулинсон, Генри 109
 руда металлическая 44
 ряд
 гармонический, расходимость 38
 степенной 60, 71, 90, 100
 Тейлора 64
 тригонометрический 90
 Фурье 83
 числовые 38
 рядов гомологических закон 137
 Саграда 42
 Сади Карно 87
 Салам, Абд 132, 147
 Салерно 35
 санскрит 110
 грамматика 30
 Сатурн, кольца 49, 58, 88
 сахара 128
 Сахаров А. Д. 137
 Свамердам, Ян 44
 Сванте Аррениус 81
 сверхновая звезда 46, 122, 125
 сверхпроводимость 136
 сверхсемья языковая
 Ностратическая 109, 143
 Сино-Кавказская 143
 сверхтекучести теория 136
 сверхтекучесть 136
 свет 87
 давление 125
 длина волны 83
 поле 88
 поляризация 87
 скорость 59, 68
 частицы и волны 62
 свечение Солнца 123
 механизм 87
 стгорания внутреннего двигателя 87, 130
 сдвига звёзд скорость 70
 Себастьян эль-Кано 42
 Севастополь 130
 Северо-Кавказская семья 143
 семейства кварково-лептонные 148
 семейство биологическое 100
 семья языковая 110
 Австронезийская 143
 Алтайская 143
 Афразийская 109, 143
 Дравидская 143
 Индоевропейская 110, 143
 Картвельская 143
 Северо-Кавказская 143
 Сино-Тибетская 143
 Уральская 143
 семян злаков коллекция 137
 Сервет, Мигель 44
 серная кислота 39
 сечения конические 19
 сжатие гравитационное 124
 сжигание азота 78
 сил природных борьба 11

сила 18
 адронные 3, 145
 Великое объединение 147
 лептонные 3, 146, 147, 153
 магнитные 62
 тяготения 3, 49, 61
 электрические 62
 электромагнитные 3
 ядерные 118
 силовые линии поля 84
 Сильвестр 2 34
 сильное взаимодействие 120
 симбиоз органелл 128
 симметрии атомов 92
 симметрии пространства
 зеркальной нарушение
 28
 симметрий группа 91
 симметрий изменения 97
 симметрия 8, 53
 симметрия вакуума 145
 симметрия зеркальная молекул
 106
 Симон Лаплас 83
 симфония 8
 синантропы 111
 синергетика 53, 75
 Сино-Кавказская сверхсемья 143
 Сино-Тибетская семья 143
 синтез аммиака 130
 синтез белков 105
 синтез веществ 103
 синтез тяжёлых элементов 125
 синус 31
 таблица 24
 синусоида 100
 Сиракузы 21
 система Солнечная, размер 51
 системы размножения 16, 100
 скалярные бозоны 132
 скелеты 100
 скоростей сложение 89
 скорости вектор 11
 скорости Солнца вектор 70
 скорость света 59, 68
 скорость сдвига звёзд 70
 слабое взаимодействие 132, 147
 поле 147
 сложение скоростей 89
 Смейл, Стефан 113
 смещение красное 124
 смысл высказываний 38
 Сократ 10
 Солнечная система
 механическая модель 22
 размер 51
 устойчивость 78
 солнечные затмения 9
 Солнце
 вектор скорости 70
 вращение 50
 диаметр 16
 пятна 50, 71
 размеры 9
 свечение 123
 механизм 87
 соляная кислота, строение 79
 сомнения в поисках истины 10
 соотношение неопределённостей
 119
 Сорбон, Робер 37
 Сорбонна 37
 Сорохтин О. Г. 142
 Сотер, Птолемей 18
 Софус Ли 97
 сохранение импульса 54
 сохранение механической энергии
 78
 сохранения законы 145
 социальный прогресс 16, 41

- социология 55
 спектр излучения атомов 119
 спектр межпланетных расстояний 52
 спектр чёрного тела 123
 спектральный анализ элементов 84
 спираль Архимеда 72
 Спираль Двойная (ДНК) 128
 спирт 40
 спрединг континентов 142
 спутники искусственные 131
 спутники Юпитера 58
 спутники-телескопы 132
 сравнительная лингвистика 109, 110, 129, 143
 стабильность
 альфа-частица 120
 атом водорода 120
 Сталин И. В. 131, 134, 137, 138
 Станислав Лем 158
 Станислав Улам 131
 станок печатный 42
 Старостин С. А. 143
 степенной ряд 60, 71, 90, 100
 стереоизомеры 105
 Стефан Ленгтон 36
 Стефан Смейл 113
 Стивен Вайнберг 132, 146
 Стинрод, Норман 113
 стихии, четыре 7
 Стольпин П. А. 134
 странные частицы 145, 147
 странный аттрактор 59, 75
 странный кварк 147
 строение Галактики 69
 строение соляной кислоты 79
 Струве, Фридрих 68
 Стругацкий А. 158
 струи (кварковые) 132
 структура бензола 104
 структура протона 146
 структурная лингвистика 30
 струны (в микромире) 149
 Субрахманьян Чандрасекар 124
 Сугерий 36
 суперсимметрия 149, 150
 суперструны 149
 суточный параллакс Луны 24, 46
 сфера трёхмерная 96
 сферы небесные, радиусы 8
 Сципион Африканский 26
 Сципион Ферро 45
 счётная бесконечность 94
 Сыма Цянь 39
 таблица
 логарифмов 47, 51
 Менделеева 118, 125, 147
 простых чисел 23
 синусов 24
 химических элементов 77
 таксонов образование 142
 таксоны биосферы 101
 таксоны растительные 142
 тангенс 15, 32
 Танияма гипотеза 115
 Тарталья, Никколо 45
 Тейлора ряд 64
 текст о Всемирном Потопе 110
 текстов научная критика 109
 тектоника глобальная 142
 телеграф электрический 85
 телескоп 36, 49
 зеркальный 54, 61
 телефон 130
 Теллер, Эдвард 131
 тело чёрное 119
 Теодор Эйвери 127
 теорема

- Виета 46
 Гёделя 114
 Евклида 38
 Пифагора 6
 Ферма Большая 57, 92, 98,
 115
 Эрмита 98
 теория
 Вайнберга-Салама 147
 вероятностей 140
 групп 91
 катастроф 53, 75
 множеств 14, 94, 139
 относительности общая 123
 размерности 140
 сверхтекучести 136
 функций 97, 139
 функций комплексного
 переменного 71
 чисел 72, 97
 чисел алгебраическая 56
 Теофраст Парацельс 43
 Теплоход 75
 термические параметры Земли
 86
 термодинамика 71, 87
 термометр 71
 термометр первый 48
 Тёмин, Говард 129
 тёмная материя 149
 тимин 105
 Тимофеев-Ресовский Н. В. 137,
 138
 тип гомотопический 113
 тип топологический 113
 Тихо Браге 25, 46
 Тициан 43
 Тойнби, Арнольд 151
 ток постоянный 79
 ток электронов 81
 ток, отклонение стрелки компаса
 84
 Том, Рене 113
 Томас Гендерсон 68
 Томас Гоббс 54
 Томас Морган 126, 137
 Томас Эдисон 129
 Томас Юнг 83
 Томсон, Вильям (Кельвин) 86
 Томсон, Джозеф 81, 117, 144
 топологическая школа московская
 140
 топологические инварианты 95
 топологический тип 113
 топология алгебраическая 95,
 113
 топология общая 94
 тор 96, 112
 торможение Земли и Луны 69
 точки критические (функции) 73
 точные часы 48
 трансцендентность
 π 91, 98
 e 98
 числа 91
 трапеция гиперболическая,
 площадь 51
 трёхмерная сфера 96
 тригонометрический ряд 90
 трисекция угла 91
 Троя, раскопки 110
 труда научная организация 77
 туманности 70
 Туманность Андромеды 122
 турбина паровая 43
 Тэтет 14
 тяготения сила 49, 61
 тяжёлые кварки 132, 147
 тяжёлых элементов синтез 125

Уайлз, Эндрю 115
 Уатт, Джемс 85, 86, 129
 углекислота 75
 углеродные цепочки 104
 углеродный цикл 123
 угловой диаметр Юпитера 68
 угол, трисекция 91
 удвоение хромосом 108
 Уилкинс, Морис 127
 Уитни, Хаслер 113
 Улам, Станислав 131
 ультрафиолетовые лучи 71
 Ульянов А. И. 134
 университет католический 35
 Университет Независимый 135
 Уотсон, Джемс 52, 127
 управление 150
 управление историческим
 процессом 17, 109
 уравнение
 дифференциальные 60, 78
 колебаний дифференциальное
 58
 корень 45
 кривой 56
 кубическое 45, 91
 Ферма 57
 Уральская семья 143
 Уран (планета) 70
 урановая бомба 130
 урановый реактор 131
 урацил 105
 Урванцев Н. А. 142
 уродов классификация 127
 уродства 142
 Урысон П. С. 139, 140
 ускорение и масса 48
 ускоритель
 протонов 120, 145
 электронов 120
 устойчивость Солнечной системы
 78
 учебник Математического
 Анализа 63
 учебник популярный 20
 учебник химии 44, 77
 фагоцитоз 134
 фазы Венеры 49
 факторы мутагенные 127
 Фалес 6
 Фальтингс, Герд 115
 фантастика научная 157
 Фарадей, Майкл 79, 84, 130
 фараонов перечень 23
 фарфор 37
 фауна 66
 Фейнман, Ричард 146
 Феликс Клейн 92, 96
 фенотип 126
 Фердинанд Линдеман 91
 Ферма Теорема Большая 57, 92,
 98, 115
 Ферма уравнение 57
 Ферма числа 57
 Ферма, Пьер 56
 ферменты брожения 105
 Ферми, Энрико 131
 Фернандо Магеллан 42
 Феррари, Лодовико 45
 Ферро, Сципион 45
 Ферсман А. Е. 142
 Фёдор Левин 105
 физик-экспериментатор 21
 физика 17
 физика математическая, аксиомы
 78
 физика социума 157
 физика элементарных частиц
 121, 144

физика ядерная 118
 физические понятия 27
 философ 14
 философия 6
 фитоспреди́нг 142
 Фишер, Эмиль 105
 флаттер 141
 Флеминг, Вальтер 108
 Флогистон 75
 флора 66, 142
 Флоренция 40
 Флэмстид, Джон 67
 Фома Аквинский 38
 фонограф 129
 форма планетных орбит 22, 50
 формализация алгебры 46
 формальная логика 18
 формула Лоренца-Эйнштейна
 121
 формула Эйлера 100
 формула Эйнштейна 120
 формулы 46
 фосген 130
 Фотий (патриарх) 34
 фотино 153, 154
 фотон 92, 123, 144
 виртуальный 120
 фотонный газ 123
 фотоэффект 144
 Фрай, Герхард 115
 Франклин, Бенджамин 78
 Франклин, Розалинда 127
 Франсуа Виет 46
 Франсуа Вольтер 65, 73
 Франсуа Лопиталь 63
 Франсуа Шампольон 109
 Франц Бопп 110
 Франции Институт 82
 Фред Хойл 158
 Френель, Огюстен 87
 Френсис Бэкон 53
 Френсис Крик 127
 Фреше, Морис 94
 Фридрих Бессель 68
 Фридрих Вёлер 103
 Фридрих Струве 68
 Фриц Хабер 130
 Фукс Д. Б. 117
 фундаментальная группа 112
 функция
 аналитическая 93
 гладкая 93
 график 56
 критические точки 73
 математический анализ 56,
 60, 72
 множество 90
 непрерывная 93
 предел 93
 теория 97, 139
 Фурье ряды 83
 Фурье, Жозеф 82
 Хаббл, Эдвин 122
 Хабер, Фриц 130
 Халифат 30
 Хальдун 39
 Хамфри Дэви 79
 Ханс Бете 123
 Ханс Эрстед 84
 Хань (империя) 28
 Хар Говинд Корана 128
 характеристические классы 113,
 140
 Хартия Вольностей Великая 36
 Хаслер Уитни 113
 Хаттон, Джемс 66, 86
 хеттский язык 110
 Хиггса газ 147

- Хиггса конденсат 147
 Хиггса частицы 147
 Хидэки Юкава 28, 118, 145
 химические элементы 12
 обозначения 77
 таблица 77
 химия 30
 квантовая 127
 учебник 44, 77
 хирургия генная 127
 хлор 77, 79
 хлоропласты 128
 Хойл, Фред 158
 Хоппе-Зайлер, Эрнст 104
 Христиан Гюйгенс 57, 58
 Христофор Колумб 42
 хроматин 108
 хромодинамика 149
 хромосомы 108, 126
 количество 108
 новые 143
 удвоение 108
 хронология «Илиады» 23
 Хрущёв Н. С. 141
 Хуго де Фриз 126
 хурритский язык 110

 ЦАГИ 141
 цветковые растения 142
 происхождение 143
 цветок 100
 ценоз биологический 142
 центры происхождения растений 137
 цепная линия 72
 цепная реакция 119
 цепочки углеродные 104
 цефеиды 121
 Цзу Чун-чжи 32
 Цзун-дао, Ли 146

 цикл углеродный 123
 цинга 66
 циркулем и линейкой построения 90
 цитозин 105
 цифры десятичные 35
 цифры, буквенная запись 30
 Цянь, Сыма 39

 Чайлд, Гордон 137, 144
 Чандрасекар, Субрахманьян 124
 Чарлз Дарвин 102
 Чарлз Ляйел 86
 Чарлз Нивен 72
 частицы элементарные
 массы 146
 рождение 120
 симметрия 148
 странные 145, 147
 физика 121, 144
 Хиггса 147
 часы маятниковые 52, 58
 часы точные 48
 Чебышёв П. Л. 139
 человек, полёт в Космос 131
 человека геном 129
 четыре стихии 7
 чёрная дыра 124
 чёрное тело 119
 спектр 123
 Чжэнь-нин, Янг 28, 146
 числа 14
 π 32
 иррациональные 72
 представление 53
 e 71
 p -адические 99
 алгебраическая теория 56
 иррациональные 14, 32
 комплексные 45, 90

- комплексные, делимость 98
 - простые, таблица 23
 - рациональные 8, 93
 - теория 72, 97
 - трансцендентные 91
 - Ферма 57
- числовая прямая 11, 14, 93
- числовые координаты 19
- числовые ряды 38
- Шампольон, Франсуа 109
- Шанявский А. Л. 135
- Шарль Кулон 79
- шахматы 35
- Шварцшильд, Карл 124
- Шееле, Карл 76
- Шёлковый Путь 29, 37
- шимми 141
- шифровальное дело 46
- Шклярский Д. О. 140
- школа Александрийская 24
- школа Нормальная 82
- школа Пифагора 7
- школа Политехническая 82
- школа российская
 - математическая 140
- школьные кружки 140
- Шлиман, Генрих 110
- Шнирельман Л. Г. 139
- Шпенглер, Освальд 150
- Шу Сюэ 32
- шумерский язык 110, 143
- шумеры 143
- Эварист Галуа 91
- эвклиоты 108
- эволюции направления 142
- эволюция биологическая 101, 107
- эволюция звёзд 126
- эволюция Земли 142
- эволюция этноса 39
- Эдвард Дженнер 107
- Эдвард Теллер 131
- Эдвин Хаббл 122
- Эддингтон, Артур 123
- Эдисон, Томас 129
- Эдмунд Галлей 67
- Эжен Дюбуа 111
- Эйвери, Теодор 127
- Эйлер, Леонард 38, 64, 71
- Эйлера формула 100
- Эйнар Герцшпрунг 121
- Эйнштейн, Альберт 89, 92, 144
- Эйнштейна формула 120
- экологическая ниша 101
- экология 100
- эксперимент двухнейтринный 147
- экспериментальная астрономия 9
- экспериментальная география 42
- экспериментальная история 10
- эксперименты в политике 17
- экспонента 100
- экстремальное Действие 73
- эксцентриситет 78
- эламский язык 110, 143
- электрическая дуга 79
- электрические заряды
 - взаимодействие 61, 79, 92
 - два сорта 61
- электрические силы 62
- электрический телеграф 85
- электрическое поле 88
- электродинамика 89
- электролампа 129
- электролиз расплавов 79
- электролиза законы 80, 84

- электромагнетизм 84
- электромагнитная Вселенная 89
- электромагнитное взаимодействие
 - атомов 88
- электромагнитное поле 88
- электромагнитные взаимодействия 147
- электромагнитные волны 62
- электромагнитные явления 78
- электромотор 85
- электрон 144
 - переходы 119
 - ток 81
 - ускоритель 120
- электронный компьютер 37
- электронный микроскоп 107
- электростанция 85, 129
- электроэнергетика 85
- элементарные частицы
 - массы 146
 - рождение 120
 - симметрия 148
 - странные 145, 147
 - физика 121, 144
 - Хиггса 147
- элементы химические 12
 - обозначения 77
 - спектральный анализ 84
 - таблица 77
 - тяжёлые, синтез 125
- Эликсир 31
- Эллада 5
- эллипс 19
- эллиптические кривые 115
- эль-Кано, Себастьян 42
- Эмиль Фишер 105
- Эндрю Уайлз 115
- энергетика водно-паровая 85
- энергетика электрическая 85
- энергетика ядерная 120
- энергии механической сохранение 78
- энергии несохранение 119
- энергии оператор 28
- энергия кинетическая 75
- энергия ядерная 130
- Энрике Навигадор 42
- Энрико Ферми 131
- Энциклопедия 65
- Эратосфен 6, 22, 29, 58
- эритроциты 44
- Эрлангенская программа 96
- Эрлих, Пауль 108
- Эрмита теорема 98
- Эрнест Резерфорд 52, 118, 127, 135
- Эрнст Куммер 98
- Эрнст Хоппе-Зайлер 104
- Эрстед, Ханс 84
- этнография 151
- этнология 151
- этнос
 - рождение 152
 - эволюция 39
- этруски 11
- Эудженио Бельтрами 96
- эффект Галилея 54
- эффект Доплера-Физо 122
- Ювал Нееман 146
- Юго-Восточная Азия 137
- южное небо, звёзды 67
- Юкава Хидэки 28, 118, 145
- Юнг, Томас 83
- Юпитер
 - «луны» 49
 - Красное Пятно 58
 - масса 67
 - спутники 58
 - угловой диаметр 68

Юстус Либих 103

явления модель 11

явления электромагнитные 78

ядерная гонка 130

ядерная физика 118

ядерная энергетика 120

ядерная энергия 130

ядерные реакции 122

ядерные силы 118

ядро атомное 118

ядро клеточное 104, 107

язык

генетическое древо 143

индейские 143

индоевропейские, древо 110,
143

родство и семьи 110, 143

хеттский 110

хурритский 110

шумерский 110, 143

эламский 110, 143

Якоб Бернулли 63, 64

якобинцы 81

Ян Сваммердам 44

Янг Чжэнь-нин 28, 146

ячмень 137

Библиография

1. Дж. Д. Уотсон. Двойная Спираль (история открытия ДНК). РХД, 2001.
2. Р. Ф. Фейнман. Вы, конечно, шутите... РХД, 2001.
3. Дж. и М. Гриббин. Ричард Фейнман: жизнь в науке. РХД, 2003.
4. Л. Ферми. Атомы у нас дома. Инлитиздат, 1958.
5. М. Бессараб. Формула счастья Ландау. «Терра», 1999.
6. А. М. Ливанова. Л. Д. Ландау. «Знание», 1983.
7. Е. Добровольский. Почерк Капицы. «Московский рабочий», 1968.
8. П. Л. Капица. Эксперимент. Теория. Практика. Письма о науке. «Московский рабочий», 1989.
9. Д. С. Данин. Резерфорд, Нильс Бор. (ЖЗЛ) «Молодая гвардия», 1967, 1978.
10. Б. Л. Иоффе. Без ретуши: портреты физиков. «Фазис», 2004.
11. Ч. П. Сноу. Пора надежд. Инлитиздат, 1958.
12. Д. А. Гранин. Иду на грозу. Эта странная жизнь. Зубр. «Советский писатель», 1976, 1987.
13. В. Л. Гинзбург. О науке, о себе и о других. Физматлит, М, 2004.
14. Е. Л. Фейнберг. Эпоха и Личность. Физики. Физматлит, 2003.
15. В. Гейзенберг. Часть и Целое. УРСС, 2004.
16. Физики шутят. Физики продолжают шутить. Физики смеются. (1965, 1968, 2005) «Мир» — РФО, «Совпадение».
17. М. Е. Левинштейн. Когда физики ещё шутили. ИКИ, 2003.
18. Ю. А. Храмов. Физики (биографический справочник). Физматлит, 1983.
19. А. И. Бородин, А. С. Бугай. Выдающиеся математики (справочник). Радяньска Школа, Киев, 1987.
20. К. Рейд. Гильберт. Физматлит, 1977.
21. Н. Винер. Я — математик. Физматлит, 1964.
22. Г. Х. Харди. Апология математика. УРСС, М, 2004.
23. Дж. И. Литлвуд. Математическая смесь. Физматлит, 1978.
24. А. Пуанкаре. О Науке. Физматлит, 1983.
25. А. Тяпкин, А. Шибанов. Пуанкаре. (ЖЗЛ) Молодая гвардия, 1982.
26. В. И. Арнольд. Что такое математика? МЦНМО, 2002.
27. Г. Вейль. Математическое мышление. Физматлит, 1989.
28. А. Реньи. Диалоги о Математике. Мир, 1980.
29. Э. Т. Белл. Творцы Математики. Просвещение, 1979.

30. А. Даан-Дальмедико, Ж. Пейфер. Пути и Лабиринты. Мир, 1986.
31. А. Гротендик. Урожай и Посевы (автобиография). РХД, 2002.
32. Д. Пойя. Математика и правдоподобные рассуждения. Математическое открытие. Физматлит, 1975.
33. Ф. Клейн. Элементарная Математика с высшей точки зрения. Физматлит, 1987.
34. Ф. Клейн. Лекции о развитии математики в 19 столетии. Физматлит, 1989.
35. А. Н. Колмогоров. Математика в её историческом развитии. Физматлит, 1991.
36. В. Бюлер. Гаусс. Физматлит, 1989.
37. Л. Инфельд. Эварист Галуа. (ЖЗЛ) Молодая гвардия, 1965.
38. Л. Миттаг-Леффлер. Нильс Хенрик Абель. ИКИ, 2002
39. В. М. Тихомиров. Великие математики прошлого и их великие теоремы. МЦНМО, 2003
40. А. А. Болибрух. Проблемы Гильберта (100 лет спустя). МЦНМО, 2001
41. С. Г. Гиндикин. Рассказы о физиках и математиках. МЦНМО, 2001.
42. М. И. Монастырский. Риман, Топология, Физика. «Янус-К», 1999.
43. М. И. Монастырский. Современная Математика в отблеске медалей Филдса. «Янус-К», 2000.
44. С. Сингх. Великая Теорема Ферма (история открытия). МЦНМО, 2000
45. В. П. Смилга. В погоне за красотой. Молодая Гвардия, 1968.
46. Явление Чрезвычайное (книга о А. Н. Колмогорове). ФАЗИС, МИРОС, 1999.
47. Колмогоров в воспоминаниях. Физматлит, 1999.
48. Л. С. Понtryгин. Жизнеописание. Авт. издание, 1998.
49. А. Н. Крылов. Мои воспоминания. М, «Судостроение», 1979.
50. Ж. Адамар. Исследование психологии процесса изобретения в математике. МЦНМО, 2001.
51. Н. Бурбаки. Очерки по Истории Математики. Инлитиздат, 1963.
52. Я. Г. Дорфман. Всемирная история Физики. Физматлит, 1974, 1979.
53. А. В. Волошинов. Пифагор. «Просвещение», 1993.
54. Н. Я. Виленкин. Рассказы о множествах. МЦНМО, 2005
55. А. К. Толпыго, Г. А. Гальперин. Задачи Московских Математических Олимпиад. «Просвещение», 1986.

56. С. Г. Смирнов. От Фалеса до Ньютона (задачник по истории науки). МИРОС, «Наука», 2001.
57. Я. Г. Голованов. Этюды об учёных. Молодая Гвардия, 1976.
58. И. С. Шкловский. Эшелон (воспоминания). «Новости», 1991.
59. И. С. Шкловский. Вселенная. Жизнь. Разум. «Физматлит», 1965.
60. К. Саган. Космос. М–СПБ, «Амфора», 2004.
61. Дж. Глейк. Хаос. Создание новой науки. М–СПБ, «Амфора», 2001.
62. С. Лем. Сумма Технологии. М, АСТ, 2002.
63. С. Хокинг. Чёрные Дыры и Молодые Вселенные. М–СПБ, «Амфора», 2001.
64. Б. Грин. Элегантная Вселенная. УРСС, 2004.
65. П. Дэвис. Суперсила. «Мир», 1989.
66. С. Вайнберг. Первые 3 секунды. Мечты об окончательной теории. УРСС, 2004.
67. Ш. Л. Глэшоу. Очарование физики. РХД, 2002.
68. Н. Винер. Кибернетика. Кибернетика и Общество. «Советское радио», 1958.
69. А. Тьюринг. Может ли машина мыслить? Физматлит, 1960.
70. М. Д. Франк-Каменецкий. Век ДНК. М, КДУ, 2004.
71. П. С. Александров, Л. А. Люстерник. Воспоминания о школе Н. Н. Лузина. «Успехи математических наук», т. XXIX, № 5, 6, 1974.
72. С. С. Демидов. Дело академика Н. Н. Лузина. СПб, РХГИ, 1999.
73. Записки о Второй Школе (выпуск 1). М, Грантъ, 2003.
74. В. Сойфер. Арифметика наследственности. Детгиз, 1970.
75. Э. Шрёдингер. Что такое жизнь — с точки зрения физики. Инлитиздат, 1947.
76. И. Шкловский «Разум, Жизнь, Вселенная». Сборник под редакцией Т. К. Бреус. М, Янус-К, РФФИ, 1996.
77. Нобелевские Лауреаты (биографическая энциклопедия, пер. с англ.). Прогресс, 1992.
78. Дж. Кларк. Иллюстрированная Хроника Открытий и Изобретений. М, АСТ, 2002
79. А. Кларк. Черты Будущего. Мир, 1966.
80. И. А. Ефремов. Дорога Ветров. «Молодая гвардия», 1980.
81. Всемирная История в датах и событиях. Ларусс–Радуга, 2002.
82. С. А. Бурлак, С. А. Старостин. Сравнительно-историческое языкознание. М, «Академия», 2005.
83. А. А. Леонтьев. Путешествие по карте языков мира. Просвещение, 1982.

84. С. Б. Лавров. Лев Гумилёв: судьба и идеи. «Сварог и К», М, 2000.
85. Российская научная эмиграция: 20 портретов. 2001. УРСС, 2001.
86. М. Л. Галлай. Сквозь невидимые барьеры. Испытано в небе. С человеком на борту. Молодая Гвардия, 1969.
87. С. В. Мейен. Следы трав индейских. «Мысль», 1981.
88. С. В. Мейен. Листья на камне. «ГЕОС», 2001.
88. С. В. Мейен. Из истории растительных династий. «Наука», 1971.
90. I. Asimov. Biographical Encyclopedia of Science and Technology. "Pan", London, 1975.
91. С. П. Капица. Жизнь Науки (сборник предисловий классиков). Наука, 1979.
92. Дж. Тойнби. Постигжение Истории. Прогресс, 1996.
93. И. М. Дьяконов. Пути Истории. Наука, 1995.
94. Г. Горелик. Андрей Сахаров: наука и свобода. «Вагриус», 2004.
95. И. С. Лисевич. Литературная мысль Древнего Китая. «Наука», 1975.
96. Атлас Языков Мира. «Лик пресс», 1998.

Оглавление

Введение	3
Глава 1. Рождение науки. Эпоха Фалеса	4
Глава 2. Созревание геометрии: школа Пифагора	7
Глава 3. Рождение афинской школы	9
Глава 4. Эпоха великих сомнений	11
Глава 5. Вершина греческой науки: школа Платона	12
Глава 6. Эллинизм — время Аристотеля и Евклида	16
Глава 7. Архимед и его эпоха	19
Глава 8. Финал Александрийской школы	22
Глава 9. Наука в Древнем Китае	27
Глава 10. Наука у индийцев и мусульман	29
Глава 11. Религия и наука в Католической Европе	33
Глава 12. Католические университеты: от Абеяра до Буридана	35
Глава 13. Наука Европейского Возрождения	39
Глава 14. Учёные пассионарии 16 века	42
Глава 15. Эпоха Кеплера и Галилея	48
Глава 16. Рождение научных академий	53
Глава 17. Наследники Виета во Франции	55
Глава 18. Время Ньютона и Лейбница: 1667–1727	60
Глава 19. Что делать после Ньютона?	64
Глава 20. Новое созвездие астрономов	67
Глава 21. Новая Империя Математиков	71
Глава 22. Новый химический интернационал	75

Глава 23. Союз электричества и химии в новом веке	78
Глава 24. Роль наук и учёных во Французской революции	81
Глава 25. Рождение Электромагнетизма	83
Глава 26. Развитие Термодинамики в 18–19 веках	85
Глава 27. Триумф Электромагнетизма	87
Глава 28. Математические новинки 19 века: от Фурье до Шёнфлиса	89
Глава 29. Основания Анализа: от Коши до Кантора	92
Глава 30. Все возможные математические миры	95
Глава 31. Постигание биологической Вселенной	99
Глава 32. Биохимическая революция 19 века	103
Глава 33. Рождение и триумф Микробиологии	106
Глава 34. Историческая наука в 19 веке	109
Глава 35. Эпоха Гильберта и Пуанкаре	111
Глава 36. Рождение ядерной физики	117
Глава 37. От Астрономии — к Астрофизике и Космологии	121
Глава 38. Возрождение Генетики	126
Глава 39. Большая Техника и Большая Наука	129
Глава 40. Российские научные школы в 20 веке	133
Глава 41. Чудеса в мире Элементарных Частиц	144
Глава 42. Вторжение физиков и математиков в Обществознание	150
Глава 43. Что делать, если Ньютон не придёт...	154
Предметный указатель	158
Библиография	191

Известно, что науку делают матёрые волшебники и их дерзкие ученики. Поэтому каждый учитель должен быть немножко волшебником — чтобы передать эстафету волшебства своим питомцам. Но как быть учителю или студенту, если судьба не подарила им личного знакомства с настоящим волшебником науки. Остаётся подражать литературным героям. Их легко найти в научной фантастике — но трудно поверить в реальность придуманных там открытий и изобретений. Напротив, курс «Концепции современного естествознания» содержит богатый перечень реальных чудес науки — без объяснений того, как рассуждали или чем мучались их открыватели.

Эта книга служит мостиком из мира открытий в мир открывателей. Автор много раз прогуливался по этому мосту с командой удалых школьников, студентов и учителей, постепенно приучая их к ремеслу волшебника. Результаты были неплохие. Теперь каждый читатель может сам пройтись по следам Ньютона или Гаусса, Петра Капицы или Льва Гумилёва — и выбрать себе героя, по душевной близости, прежде чем погружаться в детали соответствующего раздела науки. Не забудем, что научный интеллект россиян составляет сейчас вторую важнейшую компоненту национального богатства — наравне с газом и нефтью, запасы которых рано или поздно исчерпаются. Научный ресурс неисчерпаем — пока не перевелись волшебники, способные его возобновлять.

Добро пожаловать в сословие чародеев!

ISBN 5-94898-081-2



9 785948 980812 >

Лекции по истории науки

С. Г. Смирнов

Москва
Издательство МИОО
2006