



Общие вопросы философии науки

НАУКА БЫСТРЫХ ОТКРЫТИЙ КАК РЕЗУЛЬТАТ
СКРЕЩЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ*

P. Коллинз

Появление европейской философии Нового времени, по сравнению с тем, что происходило раньше, представляет собой победное шествие. Начиная примерно с 1600 г. возрождаются многие направления творчества, которые затем непрерывно поддерживаются на протяжении ряда поколений. Это в полной мере относится и к самому ядру абстрактной философии. Наблюдается настоящий взлет в эпистемологии, – теперь она разрабатывается глубже и занимает место, более близкое к центру, чем в любом философском сообществе в прошлом. Происходит и удивительное возрождение метафизики, как правила, под мощным воздействием новой эпистемологии. Процветает теория ценностей наряду с новыми наступательными подходами в эстетике, этике и политической философии. Все это осуществляется при вполне осознанном намерении вводить новшества в противоположность по-таенному характеру творчества в более ранние эпохи.

Вдобавок к этому и наиболее впечатляющим образом в этот же самый период разворачивается научная революция. Многие из ее участников входят в сети философов, что особенно характерно для поколений формативного периода революции. С этого времени наука ста-

* Фрагменты книги Р.Коллинза “Социология философий. Глобальная теория интеллектуального изменения” (*Collins R. Sociology of philosophies: A global theory of intellectual change.* – Cambridge (Mass.); London (England): Belknap Press of Harvard Univ. Press, 1998) публикуются с любезного разрешения автора. Перевод с английского Н.С.Розова и Ю.Б.Вертгейм. Публикация Н.С.Розова.

новится ключевой точкой отсчета для философов, в позитивном плане или негативном. Наука перестраивает все остальное интеллектуальное пространство.

Откуда же все эти инновации? В нашей общей теории утверждается, что творчество является результатом перестройки интеллектуальных сетей, причем это происходит одновременно в противостоящих друг другу фракциях. Мы предполагаем не единий дух времени (*Zeitgeist*), но изменение в боевом строем противостоящих сторон. Согласно двушаговому механизму причинности фундаментом этой перестройки сети являются институциональные изменения материальных основ интеллектуальной жизни. В указанный революционный период происходит два основных структурных изменения.

1. Ответвления интеллектуальных сетей, специализированные на знаниях о природе, неожиданно привлекают широкое внимание, а затем постепенно отделяются и образуют особую форму интеллектуальной организации, оставляя позади сузившуюся, хотя и более ясно очерченную сферу философии. Этот процесс принято называть научной революцией, но его содержание должно быть раскрыто по существу. Имеет место двойная революция – взлет как в математике, так и в естествознании, причем математическая революция была совершена на несколько поколений раньше. Какие аспекты включает в себя эта двойная революция, если ее рассматривать как социальную реорганизацию интеллектуальной практики? Как покажут исторические сравнения, дело здесь не просто в новом сосредоточении внимания на знаниях о природе, и не в растущем напоре со стороны эмпиризма, и даже не в появлении самой практики экспериментирования. Произошедшее социальное изменение интеллектуального мира состоит в том, что внимание фокусируется на быстро смещающемся переднем фронте исследований, а это, в свою очередь, есть результат технологизации данного фронта исследований. Ключом здесь является не столько материальное оснащение исследования, сколько, в более широком смысле, изобретение новых стандартизованных способов работы (“техник”) – вначале в математике, а затем в эмпирическом исследовании. Эта новая исследовательская техника состоит из процедур, которыми можно манипулировать в целях совершения новых открытий, и в то же время данная техника обеспечивает воспроизводимость результатов, а следовательно, возможность перенести их в неких стандартизованных формах в другие места. Такова машинария совершения открытий, механизм, в котором путем многократных скрещиваний по-

рождаются все новые и новые исследовательские техники, что еще более увеличивает скорость [научных] инноваций. Сеть исследовательских техник и приборов теперь образует симбиоз с межпоколенной человеческой сетью интеллектуалов. Происходит подлинная революция во внутренней организации интеллектуального мира, опрокидывающая закон малых чисел, который удерживает философское сообщество разделенным на фракции. Теперь в данной области появляется альтернативная организация, сфокусированная на быстром совершении открытий и оставляющая за собой шлейф научного консенсуса.

2. Имеет место еще одно, совершенно иное, структурное изменение в основах интеллектуальной жизни, а именно, вытеснение церкви из сферы контроля над основными средствами интеллектуального производства. Секуляризация является долговременным процессом, идущим по довольно извилистому пути. Она никоим образом не сводится к протестантской Реформации и была уже начата придворными и светскими чиновниками в конце средних веков. В середине 1600-х годов в центре интеллектуального притяжения находилась политика католической церкви при испанской и французской монархиях. В этой среде формировалась волна католических религиозных движений – иезуиты, янсенисты, ораторианцы, причем пересечение этих движений давало начало новым сетям. Политическое маневрирование между сооперничающими католическими государствами и изворотливая дипломатия религиозных войн открывают новое интеллектуальное пространство для иудеев и религиозных космополитов, для дейстов, а также для открытых циников и сторонников секуляризации. Протестанты в большей степени сосредоточены на богословской конкретике, их философские достижения зависят от контактов с католиками посредством космополитической сети. Наиболее выдающиеся философские школы в протестантских регионах появляются позже, когда религиозная мобилизация заходит в тупик и начинает формироваться религиозная терпимость. Позднее начинается еще одна волна секуляризации социальных институтов. В главе 11 я рассматриваю борьбу за секуляризацию системы образования, унаследованной от средневековой церкви. Она осуществляется в форме университетской революции, начатой в Германии около 1800 г. и постепенно распространившейся на все ведущие образовательные системы. Перестройка интеллектуальных сетей в ответ на эти изменения религиозной и светской организационной основы проходит через множество стадий. Альянсы, появление “перевалочных пунктов” [от религиозных учений к светским], прояв-

лении воинственности, подъемы реакции и новые сочетания позиций – вот что приводило в движение многое в философском творчестве с 1600 г. по начало 1900-х годов.

Два указанных типа структурных изменений – революция в математике и естествознании и секуляризация – аналитически различны. Секуляризация представляет собой долговременное смещение организационной власти церкви, причем фундаментальной причиной этого процесса не является наука или какая-либо иная новаторская форма рациональности. Кроме того, наука также не является идеологией Реформации или даже сторонников секуляризации. Мы должны остерегаться протестантской пропаганды, а также стараться не проецировать союз сторонников секуляризации и приверженцев науки, который будет господствовать в 1800-е годы, на интеллектуальную политику более ранних поколений. Связь между двумя указанными грандиозными изменениями является структурной: организационный распад церкви заставил интеллектуалов-теологов искать повсюду новые союзы, привел к энергетическому накалу конфликтов в астрономии и математике, а также придал им всеобщую значимость. На некоторое время состязание в области технических новшеств стало основным фокусом внимания у интеллектуалов. По мере создания исследовательских техник быстрых открытий недавно ставшие столь престижными математика и естествознание превратились в ресурсы, взятые на вооружение практически всеми фракциями, борющимися за властную основу, которая остается в наследство от уходящей церкви.

Одним из последствий секуляризации средств интеллектуального производства является выход философии на политическую арену в качестве самостоятельного действующего лица. На протяжении большей части истории покровительство интеллектуалам обеспечивали дворы при государях и церковь. Новым же было не просто восхваление интеллектуалами своих покровителей, но формирование ими нового интеллектуального и политического пространства. Одним из результатов стало превращение самой интеллектуальной сети в организационную основу политических фракций, – теперь мы имеем здесь не просто политические идеологии, но интеллектуализированные идеологии. Еще одним результатом оказалось изменение внутренней фокусировки интеллектуальных сетей: темы политического интереса стали новыми частями пространства внимания интеллектуалов, превратившимися в специализированные дисциплины. Таким образом возникли социальные науки и произошло соответствующее разделение прежних философских сетей.

Принято начинать изложение данной истории с Гоббса и Локка, но упомянутый паттерн впервые обнаруживается в католичестве – в связи с деятельностью Витории, Суареса и испанских либералов, создавших международное право. Политическая философия Нового времени возникла из властных отношений церкви и государства. До своей секуляризации пространство политической мысли структурировалось такими вопросами, как воссоединение церкви и замирение Европы (тема политических проектов от Бруно и Кампанеллы до Лейбница). По мере институционального вытеснения церкви политическая философия становилась все более светской, каждое продвижение в философских рассуждениях, включая идеализм и утилитаризм, втискивалось в рамки служения [тем или иным политическим целям]. Линия преемственности ведет напрямую от немецких университетов, где готовили теологов для прусской государственной церкви, к ориентированному на захват государства движению социалистов – сторонников Маркса. В то же время структура интеллектуального пространства высвобождается для новых дисциплин. <...> Мыслители, которые в ретроспективе считаются родоначальниками практически всех социальных наук, – от Гоббса и Смита до Конта и Вундта, Фрейда и Дюркгейма — вышли из основных философских сетей.

Все три интеллектуальные структуры: естествознание, секуляризация, социальные науки – дают некоторые основания для интерпретации философии как умирающей дисциплины. В течение почти 400 лет та или иная фракция в ходе интеллектуальных войн заявляла, что философия является всего лишь наукой в зачаточном состоянии, естественной или социальной, а возможно, включает в себя остатки устаревших религиозных верований. Следует подчеркнуть, что с 1600 г. философия на своей собственной территории была столь же творческой, как и в любой другой период мировой истории. Условия, порождавшие идеологию смерти философии, дали философии новые материалы, позволяющие ей саму себя воссоздать. Представители поколений с 1600 по 1665 г. были убеждены в том, что разработанная ими новая философия, состоявшая из естествознания, полностью вытеснит прежнюю. Тем не менее последнее поколение 1600-х годов стало свидетелем величайшего всплеска новых метафизических систем в масштабе столетий. Этот процесс достиг кульминации вскоре после 1700 г. в одной из самых крайних среди существовавших в истории идеалистических систем – в учении Беркли. Энциклопедисты эпохи Просвещения возобновили нападки на философию в более

секуляристском духе, но были вскоре оттеснены на задний план немецкими идеалистами.

Наука и секуляризация перестроили философскую сеть, но не заменили собой ее ядро, она перенесла собственные понятия и проблемы из более ранних периодов. Метафизика не исчезает, она также полностью и в научную космологию. Кроме того, даже невзирая на заявления интеллектуалов от политики начиная с Маркса и до наших современников, она не сводится к политике и не исчезает в ней. Философия является некой сферой аналитической деятельности, очертания которой становятся еще более отчетливыми, когда религиозная догматика модели природы выделяется в специализированные разделы интеллектуального мира, и это происходит независимо от мнения философов о том, делают ли они метафизику или науку. Эпистемология не входит в основную деятельность ученых, – споры об основаниях познания являются частью конкурентного пространства философов, хотя в качестве примера могут использоваться знания, полученные на любой стадии развития и в любой области. Таким образом, мы можем обнаружить философов науки, например Фрэнсиса Бэкона или Декарта, которые больше всего хотят уничтожить философский тип аргументации и продвинуть [естественную] науку, но чьи усилия приводят к тому, что эпистемология становится творческим центром философского пространства. Расщепление между секуляризованными политическими идеологиями, с одной стороны, и специализированными социальными науками – с другой, происходит параллельно с фокусированием внимания внутри философии на теории ценностей, что придает философии более автономное содержание, чем в те времена, когда она была стеснена теологической ортодоксией и авторитарным правлением. Отсюда воинственная направленность различных типов теории ценностей в Новое время – начиная с гегельянцев, марксистов и утилитариев и вплоть до экзистенциалистов и постмодернистов.

Отделение [теологических и научных] специальностей от философских сетей обнажило внутреннюю область абстрактного рефлексивного размышления, которая и образует данное интеллектуальное поле. Философия, воссоздавая свое собственное пространство в гуще остальных специальностей, все в большей мере выстраивает нечто особое и отличное от других. <...>

Возникновение науки быстрых открытий

Почему же философские сети вовлекаются в научное творчество? Чтобы решить эту проблему, нам нужно ответить на два взаимосвязанных вопроса. Во-первых, в чем заключается разница между социальной организацией науки до научной революции и после нее? И во-вторых, в чем состоит социологическое различие между наукой и философией?

Научная революция отнюдь не являла собой возникновение науки. Знание, основанное на наблюдении и вычислении, существовало во всех основных мировых регионах еще до событий в Европе 1600-х годов, – именно это, как мы вскоре увидим, дает возможность рассматривать пересечения (или отсутствие таковых) между философскими сетями и сетями астрономов, математиков и исследователей в области медицины в Греции, Китае и Индии [1]. Что же сделала научная революция для изменения науки как формы социальной организации? Ответ на данный вопрос не следует сводить только к большей обоснованности научных знаний Нового времени. Некоторые разделы китайской или греческой математики, биологии или астрономии планет могут оцениваться как вполне достоверные даже с современной европейской точки зрения, так что обоснованность здесь не является отличительной характеристикой. Оставляя в стороне эти проблемы, касающиеся содержания науки, мы должны рассмотреть два основных социальных отличия.

Во-первых, европейская наука продвигалась намного быстрее. Она была сфокусирована на быстро перемещающемся фронте исследований, при этом в течение нескольких лет совершались и обсуждались новые открытия, а затем ученые переходили к чему-нибудь иному. Европейские интеллектуалы весьма ясно осознавали это движение быстрых открытий. В научных идеологиях Фрэнсиса Бэкона, Декарта и Бойля мы это обнаруживаем в эксплицитной форме – в представлении о том, что метод совершения открытий найден и что проблемы, которые возникнут в будущем, быстро будут решены. Это не было всего лишь идеологией, – начиная с этого момента и в самом деле шло непрерывно ускорявшееся накопление научно-исследовательской литературы [2]. Таким образом, мы можем обозначить науку до и после научной революции соответственно как “традиционную науку” и “науку быстрых открытий”.

Во-вторых, европейская наука добилась более высокой степени согласия, или консенсуса. Нельзя сказать, что в ней не было споров, – скорее, научные споры в течение ряда лет получали социальное разрешение, а затем сообщество ученых уже рассматривало прежние проблемы как разрешенные и сосредоточивалось на новых. И вновь европейские интеллектуалы ясно осознавали эту особенность, после 1600 г. они были склонны превозносить естествознание и математику как примеры наиболее высокого уровня консенсуса, которого только можно достичь. В общем и целом в неевропейской науке подобного согласия было гораздо меньше, и у нее почти (или вообще) не было репутации образца прочного знания.

Это не значит, что в неевропейской науке никогда не было социального консенсуса по отдельным аспектам. Например, элементарные разделы греческой геометрии (после Евклида) были широко принятыми среди математиков. Однако более сложные и утонченные работы Архимеда, Эратосфена и Аполлония были только изредка представлены в позднейших учебниках; в римский период результаты Никомаха обычно учитывали, но Диофанта зачастую игнорировали, а в поздних текстах, например у Боэция, пропускались доказательства, составлявшие главное достижение греков в абстрактной математике. Те, кто занимался греческой математикой, в целом достигли только некоего “консенсуса ленивых”, прежде всего за счет пренебрежения более сложными достижениями. Эта черта еще более выражена у китайских математиков: во многих случаях полученные утонченные результаты и методы впоследствии утрачивались [3].

В традиционной науке также существовали обширные и сохраняющиеся в течение долгого времени области несогласия. В греческой астрономии стало влиятельным геоцентрическое учение Евдокса (ок. 370 г. до н.э.), гелиоцентрическая же модель Аристарха (ок. 270 г. до н.э.) обычно не принималась. После 300 г. до н.э. были заимствованы вавилонские астрономия и астрология, что добавило еще две системы предсказаний по солнцу и луне, а также большое разнообразие теорий, касающихся планет. После 150 г. н.э. учебным стандартом в конце концов стала всеохватывающая и математически изощренная модель Птолемея, хотя другие модели также были известны на протяжении столетий [Dictionary..., 1981, v. 11, p. 188, 202; Neugebauer, 1957, p. 115; Jones, 1991]. В исследовании звуковой гармонии существовали соперничающие теории, восходившие к пифагорейцам и Аристоксену – аристотелевскому протеже. Птолемей предложил улучшенную модель,

однако соперничество между системами продолжалось и несколько из них были около 530 г. н.э. включены Боэцием в его труды [Dictionary..., 1981, v. 11, p. 203]. За пределами Греции обычным было отсутствие консенсуса в технических вопросах науки [4].

Возникновение европейской науки быстрых открытий обострило различия между наукой и философией. Решающим отличием здесь была возросшая степень консенсуса в науке. Философские споры, как правило, так и остаются неразрешенными, а прежние позиции обычно впоследствии возрождаются. Однако в науке быстрых открытий исследователи приходят к согласию, причем прежняя работа либо рассматривается как частичный вклад, либо считается устаревшей. Впервые данный контраст между философией и наукой стал явным предметом внимания после 1600 г. Декарт и другие идеологи новой “механической философии” стремились заменить один способ интеллектуальной жизни другим. Тот факт, что философия выжила как особая сфера деятельности, а состязание философских позиций на деле продолжалось и во времена Декарта, подчеркивает, что это два разных способа организации интеллектуальных сообществ.

Тем не менее существует сходство между научными и философскими сетями, а в чем-то они даже перекрываются. В обоих типах сетей творчество концентрируется в группах, а творческие результаты надстраиваются друг над другом в межпоколенных цепочках. Рассмотрим теперь социологические последствия научного консенсуса для структурной организации данного сообщества. Означает ли этот консенсус то, что наука избегает состязательности – движущей силы развития в интеллектуальных областях, в то время как философия остается верной разделению на фракции, включающие от трех до шести активных позиций, что и составляет закон малых чисел?

В действительности в науке на различных фазах исследовательского процесса обнаруживаются оба этих паттерна. Наука основывается на состязательности и спорах, пока тема находится на переднем крае исследовательского фронта. В конце концов эти споры разрешаются, а проигравшие позиции покидаются учеными. В этот момент выигравшая позиция воспринимается как достоверное знание, а внимание перемещается к каким-то иным проблемам. Таковы рассмотренные Бруно Латуром два лика науки: “делающаяся наука” (science-in-the-making) ведет себя как философия; “уже сделанная наука” (science-already-made) – это наука после перемещения фронта исследований, когда преобладают консенсус и кумулятивность [Latour, 1987]. Наука на исследовательском фронте подчи-

няется закону малых чисел, поскольку ученые борются между собой, разделяясь в соответствии с линиями структурирования пространства внимания [5]. Однако со временем эта борьба прекращается, главным образом потому, что ученые больше склонны продвинуться к новому исследовательскому фронту, чем оставаться защищать проигрывающие позиции. Таким образом, из двух аспектов отличия науки от философии – достигаемого в конечном итоге консенсуса и быстро продвигающегося исследовательского фронта – именно последний обусловливает различие <между наукой и философией> относительно первого. Наука достигает социального консенсуса, потому что исследовательский фронт продолжает продвигаться и проще создать репутацию в этом пространстве, чем цепляться за старые споры.

Каковы же тогда социальные условия, сформировавшие данное сочетание быстро движущегося фронта исследований и согласия относительно ранее полученных результатов? Одной из возможностей является эмпиризм. К 1600-м годам в Европе развивалось много различных типов организации эмпирических исследований. В 1543 г. опыты по препарированию, осуществлявшиеся на медицинском факультете в Падуе, привели к возникновению новой анатомии Везалия; с 1576 по 1600 г. в обсерваториях Тихо Браге в Дании и Праге получали детальные астрономические данные; к концу 1600-х годов начали с подлинным энтузиазмом собирать частные натуралистические коллекции. Однако различие между европейской наукой быстрых открытий и традиционной наукой состоит не в эмпиризме. Традиционная наука по своему существу является вполне эмпирической. Мы видим пределы самого настоящего накопления эмпирических данных на примере официальных китайских астрономических учреждений, когда такое накопление не влекло за собой ни быстрых открытий, ни консенсуса, несмотря на столетия наблюдений. Сходным образом коллекция природных экспонатов, собранная Альбертом Великим, не стала отправной точкой для появления какого-либо исследовательского фронта. Эти коллекции, модные среди дворян в 1600-е годы, как правило, состояли из разного рода диковинок, любопытных аномалий, но при этом мало способствовали развитию объяснительных теорий [The Origins..., 1985; Girouard, 1978, p. 163–180]. Можно заключить, что сам по себе эмпиризм не ведет к появлению высоких уровней интеллектуальной абстракции и систематизации, – это происходит, только если натуралисты-эмпирики вступают в контакт с интеллектуальным сообществом конкурирующих между собой философов. Философия плюс

эмпиризм еще не создают науки с исследовательским фронтом, однако философские сети являются одной из необходимых составляющих.

Что же еще требуется? Два других возможных компонента – это *технология исследований* и *математика*. Обе они ускоренно развиваются в период научной революции. В некотором отношении эти линии развития альтернативны. Какие-то составляющие бурного развития науки, например результаты, полученные Галилеем или Бойлем, связаны с исследовательскими технологиями, другие, например астрономия Коперника и Кеплера, были, по существу, основаны на применении математики. Мы увидим, что на более глубоком уровне и исследовательская технология, и математика того времени развивались в рамках сходной социальной организации.

Технологизация исследовательского фронта

Наука быстрых открытий является не просто сетью личностей или идей, – она представляет собой связь между человеческой сетью и, так сказать, генеалогией исследовательских технологий. Исследовательский фронт образуется по самому переднему краю развития данных технологий. Научная революция совпала с началом движения этого технологического фронта разработки лабораторного оборудования, а также инструментов наблюдения и измерения.

Главный динамизм научных открытий, как утверждает Дерек Прайс, задается скорее развитием не теорий, а лабораторного оборудования [Price, 1986, p. 237–253]. Примером бурного роста науки 1600-х годов служит использование Галилеем телескопа для открытия новых явлений в астрономии. Галилей перенимал или изобретал технологии: маятник для измерения времени, линзы для телескопа и микроскопа. Его последователи изобретали барометры, термометры и вакуумные насосы. Пошла волна подражания *методу* Галилея – использованию новых инструментов для совершения открытий. Видоизменения телескопа привели к появлению микроскопа, а тем самым к открытиям в других областях, весьма далеких от галилеевских механики и астрономии. Общая концепция, состоявшая в том, чтобы пытаться использовать новые приборы для проведения экспериментов, вела самого Галилея к использованию наклонных плоскостей в изучении механики, а применение уже существовавших насосов привело за собой появление новых приборов и открытий, связанных с давлением и температурой.

Технологии развиваются через частные усовершенствования. Ранние машины видоизменялись, их приспосабливали к новым обстоятельствам, сочетали с другими линиями развития технологий. Поэтому их можно рассматривать как самостоятельные сети, а точнее, генеалогии. Имеется существенная преемственность *от машины к машине*, а не просто от личности к личности [6]. Технология обычно существует в собственном историческом потоке еще до того, как ее подхватывает та или иная интеллектуальная сеть. Так, линзы до их приспособления к научным целям в поколении Галилея уже имели предшественников и восходили к стеклам очков, появившихся в 1200-х годах, а Бойль и Герик стали использовать насосы, применявшиеся в шахтах, для проведения научных экспериментов. В отличном от интеллектуального мире практической деятельности технологии, как правило, не является предметом экспериментирования и изменения. Однако когда интеллектуальная сеть организуется вокруг применения исследовательского оборудования, в ней начинают подправлять и совершенствовать технологию для получения явлений, которые члены сети могут использовать в своей аргументации и соответствующей борьбе за внимание. Исследовательская технология – это не воплощенная теория, но воплощенное накопление практики. Лабораторное оборудование на переднем исследовательском фронте является воплощением многих поколений предыдущих усовершенствований. Научные теории представляют собой идеологии – интерпретации, полученные в ходе социальных переговоров, которые узаконивают данную генеалогию технических переделок.

Почему же это должно преобразовать философию в науку? Иначе говоря, почему исследовательская технология должна создавать быстро продвигающийся исследовательский фронт с достижением согласия по мере прохождения его переднего края? Технология, оставленная за пределами интеллектуального мира, вовсе не обязательно быстро изменяется [7]. Интеллектуальное состязание – вот что ускоряет данное изменение. Тогда каким же образом применение исследовательского оборудования приводит к прекращению интеллектуального соперничества, что преодолевает закон малых чисел, господствующий в философии?

Исследовательское оборудование легко монополизировать, особенно если оно постоянно изменяется на своем быстро продвигающемся переднем крае. Открытия могут осуществляться достаточно предсказуемым образом посредством переделок оборудования, которое использовалось

для предыдущих открытий. “Нормальная наука” состоит в осуществлении небольших модификаций имеющегося оборудования с последующим наблюдением эмпирических результатов или в приспособлении оборудования к не затронутым пока областям наблюдения. Более революционные способы развития могут быть получены через изобретение новых видов оборудования, обычно с помощью аналогии, через новые сочетания прежней аппаратуры или новое ее применение, при целенаправленном скрещивании разных генеалогических линий лабораторного оборудования. Телескоп и микроскоп позволили увидеть новые области реальности, открытия в которых уже более или менее гарантировались; изобретение в конце 1700-х годов электрической батареи и ее использование в электролизе имели своим результатом открытие десятков химических элементов, точно так же как ряд поколений ускорителей частиц повлекли за собой следующий цикл открытий; переход от оптической астрономии к радиофизической, наряду с объединением спектроскопического анализа и основанной на сложной оптике фотографии, расширил диапазон [наблюдаемых] небесных явлений [Price, 1986, р. 237–253]. Когда совершенствование предыдущего поколения исследовательского оборудования становится нормальной процедурой, ученые начинают ждать новых открытий как чего-то вполне обычного.

Особенно большое внимание привлекают те, кто находится на переднем крае исследований и использует новейшее оборудование. Новые открытия затмевают старые. Как только данная область перестает быть ареной горячих исследовательских новостей, наступает социальный консенсус. Ученые прекращают состязаться по поводу прежних предметов теоретической конкуренции, поскольку они могут перейти на передний фронт наиболее нового и наиболее эффективного оборудования. Исследователи оставляют старые споры и поэтому могут приступать к новым. Конечно, не все покидают прежние позиции. Томас Кун утверждал, что сторонники побежденной парадигмы никогда не сдаются – они попросту вымирают. Похоже, что при достаточно быстром продвижении фронта исследований приверженцы прежних теорий столь же быстро лишаются внимания [со стороны научного сообщества], так что упрямство приносит им мало пользы. Таким образом, закон малых чисел может превалировать на самом переднем фронте, поскольку создает условия для господства одной позиции за этим передним краем – именно потому, что работа на переднем крае гораздо более притягательна, чем развертывание уже известной позиции.

Существует еще один способ, посредством которого исследовательская технология порождает консенсус. Когда испытывается новая технология, практическая деятельность в ходе научного исследования состоит в переделке оборудования ради получения новых явлений, а затем в дальнейших усовершенствованиях вплоть до обеспечения устойчивой воспроизводимости данных явлений. Процесс этот не простой и не автоматический. Потребовалось около 15 лет для того, чтобы поколение воздушных насосов Бойля стало давать однородные результаты. И сегодня идут бурные споры, поскольку холодный термояд или гравитационные волны еще не могут быть получены рутинным способом [Shapin, Schaffer, 1985, р. 274–276; более общий обзор см.: Galison, 1987]. Оборудование, а вместе с ним теория доводятся до совершенства тогда, когда экспериментальные эффекты становятся рутинными, т.е. когда аппаратура воплощает в себе достаточный объем прошлой практики усовершенствований, так что можно следовать явным процедурам и получать ожидаемые результаты. Именно эта технологическая воспроизводимость заставляет науку казаться чем-то определенным и потому объективным.

Наука конструируется социально, но я хотел бы подчеркнуть, что она строится не столько посредством выдвижения идей по поводу мира (*идеалистический конструктивизм*), сколько через преобладание вполне физических практик, воплощенных в материальном оборудовании (то, что могло бы быть названо *материалистическим конструктивизмом*). Возможно, другая линия исследовательского оборудования или другая линия совершенствования аппаратуры также могут привести к воспроизводимому результату и этот результат мог бы соединиться с другой линией идейных интерпретаций. Поскольку научные открытия появляются вследствие новых сочетаний разных генеалогий исследовательского оборудования, поскольку гипотетически возможна веерообразная структура путей получения открытия, хотя по некоторым из них никто впоследствии не идет из-за эффектов социального фокуса внимания. В ходе истории различные науки могли бы строиться начиная с одного и того же момента времени. Именно социальный процесс присоединения к той линии развития оборудования, которая совершенствуется на исследовательском фронте быстрее всех остальных, отсекает некоторые из этих возможных направлений и выводит на первый план только одно из них.

Наша формула для науки с высокой степенью консенсуса такова: конкурентные философские сети плюс эмпиризм, осуществляемый с помощью быстро продвигающейся генеалогической линии исследовательских технологий.

Математика становится машиной по производству открытий

Существует альтернативный путь к науке быстрых открытий. Еще одним ключом к научной революции было не лабораторное оборудование, а математика. Коперник опроверг геоцентрическую астрономию не с помощью новых наблюдений, а через математическое упрощение уже имевшихся данных. Эти два пути могут совпадать, во многих аспектах научная революция 1600-х и 1700-х годов была осуществлена не только с помощью эксперимента, но также через установление количественных принципов для получаемых результатов. Однако эти два пути не являются идентичными. Математическая революция опередила взлет естествознания на два или три поколения. Быстрый рост количества математиков, заслуживающих упоминания, начался в Европе в 1490-х годах [8], а первые выдающиеся достижения появились примерно в 1520–1550 гг., когда Ферро, Кардан и Тарталья стали находить общие решения алгебраических уравнений высокого порядка, что привело к открытию Виетом новых областей математического исследования.

Согласно хорошо знакомой аргументации, математизация мировоззрения привела к созданию науки Нового времени. Трудность состоит в том, что традиционное математическое естествознание, например астрономия у греков, китайцев или индусов, не обладает свойствами достижения консенсуса и получения быстрых открытий, являющимися центральными для науки Нового времени. Самой по себе математики недостаточно для появления науки, в которой достигается консенсус и которая быстро продвигается, – это обеспечивает только некий особый вид математики.

Какого же типа может быть эта математика? Математическая революция разворачивается тогда, когда сама математика становится исследовательской технологией. Иначе говоря, технология является набором воплощенных практик, обеспечивающих достоверные и проверяемые результаты. Такие способы деятельности (математические “техники”), хотя они и не предполагают применения сложных физических приборов, тем не менее, вполне материальны, – они состоят из методов написания уравнений на восковой дощечке или бумаге, а также, возможно, перестановки палочек на счетной доске, что соответствует процедурам передвижения символов из одного места в другое вплоть до получения определенных результатов. Вопреки платонистским идеологиям, математика не существует исключительно в разуме, а представляет собой набор прак-

тик, развитых благодаря поколениям переделок и усовершенствований, причем неотъемлемой частью этих практик является физическое “оборудование”, с которым они взаимосвязаны. Это не так далеко от нашего неявно подразумеваемого определения машины как материальной целостности, поскольку каждая машина состоит из сочетания физического объекта и умения обращаться с ним. Ряды математических символов на бумаге, выстроенные в линии уравнений и перестраиваемые согласно правилам, представляют собой скорее некую практическую деятельность, чем просто набор абстрактных идей.

Превращение математики в машину по решению задач состояло не только в появлении новой системы обозначений (нотации), хотя символизм действительно появился в период математической революции. Прежде уже были эпизоды введения своего рода алгебры в виде сокращений, или аббревиатур (Диофант – ок. 250 г. н.э., Брахмагупта – ок. 630 г. н.э.), но эти способы не были последовательно развиты и в китайской, греческой и мусульманской математике применялись словесные доказательства с привлечением геометрических чертежей. В мире средневекового христианства математика Фибоначчи (ок. 1200 г.) была риторической. Таковы же были трудные и запутанные доказательства Свайнхеда-Вычислителя, равно как и попытки математических обобщений у Региомонтануса, осуществлявшиеся в середине 1400-х годов. В начале 1500-х годов сокращенные формы появлялись в арифметике и алгебре, особенно у “мастеров счета” в торговых германских городах, а символический аппарат быстро развивался благодаря усилиям Виета. Все эти достижения прибрели более или менее стандартную современную форму у Декарта.

Существует несколько причин, почему обозначения сами по себе не следует рассматривать в качестве ключа для объяснения бурного роста математики. Большой частью система обозначений развивалась не усилиями математиков, создающих новые творческие результаты, но разрабатывалась в учебниках, объясняющих коммерческую арифметику, которые быстро распространялись начиная с 1480-х годов [9]. Еще в меньшей степени следует считать ключевым фактором принятие индийско-арабских чисел с позиционной структурой и нулем. На своей родине эти обозначения не были связаны с высшей математикой, когда же они стали известны в Византии, это вообще не привело ни к какому творчеству. Кроме того, они были известны в средневековой Европе в течение столетий до взлета математики в 1500-х годах [Kazhdan, Epstein, 1985, p. 145; Smith, 1951]. Среди интеллектуалов математическая “машинария”, с помощью которой стало автоматизироваться решение уравнений, часто

формулировалась без употребления кратких обозначений. Изложение Кардана было вполне описательным, однако он дал общие правила для решения уравнений путем манипулирования и замещения терминов в целях превращения неизвестных выражений в разрешимые формы. Виет больше применял сокращения, чем символы, хотя по-прежнему иногда пользовался словесной аргументацией. Однако он ясно осознавал общность неизвестных величин, различая то, что считается неизвестным, и то, что считается данным. Даже с таким громоздким аппаратом он разработал целый комплекс процедур решения задач через создание новых уравнений для подстановки в старые. В 1650-е годы Паскаль еще формулировал свои теоремы описательным образом, тем не менее он был в курсе новых абстрактных операций и дал первое ясное объяснение метода математической индукции [Boyer, 1985, p. 335, 397].

Для математических открытий более значимым было стремление найти механизмы усовершенствования [естественно-]научных расчетов. Вначале получили широкое распространение тригонометрические таблицы как инструмент для повышения точности и скорости астрономических расчетов. В 1460-е годы Региомонтанус составил по греческим и арабским источникам сводный труд по тригонометрии, основанный преимущественно на использовании функций синуса. Двумя поколениями позже Коперник составил новые тригонометрические таблицы, а его помощник Ретикус разработал тригонометрию со всеми шестью функциями и полными таблицами для каждой. Подобные таблицы могут рассматриваться как эмпирическое распространение (на достаточно низком уровне) существовавших математических методов на смежные области, но эти усилия вылились в значительное сокращение расчетов. Формулы подстановки суммы косинусов для вычисления их произведения были значительным усовершенствованием неуклюжей арифметики того времени. В 1580-е годы Виетом и другими были развиты данные алгоритмы тригонометрической алгебры. Этот трудосберегающий способ вскоре был взят на вооружение астрономами, в частности Тихо Браге, а затем один из странствующих ученых поведал о нем жившему в Шотландии Напьеру, который в начале 1600-х годов обобщил эту идею в форме исчисления логарифмов. Внимание к технологии расчетов приводило к появлению как новых механических устройств, так и новых концептуальных схем. В 1597 г. Галилей сконструировал и стал делать на продажу “вычислительный компас” – устройство для быстрых расчетов, аналогичное логарифмической линейке. На то, где находился фокус внимания в тот период, указывает следующий факт: Галилей своим изобретением состоя-

зался с Буржи, ранее создавшим аналогичное устройство и соперничавшим с Напьером в открытии логарифмов. Еще позже, в 1642 г., мы видим Паскаля, который в самом начале своей карьеры конструировал и продавал механическую счетную машину [Boyer, 1985, р. 338–340, 351, 396].

Революция в алгебре шла по тому же пути, но осуществлялась на более абстрактном уровне. Вначале алгебра состояла в сокращении действий арифметики, в принципах, покрывающих целые классы вычислений. Новые пространства открылись перед ней, когда подобные методы были сформулированы в форме метаправил для решения абстрактных уравнений. Сама сущность алгебры и вообще абстрактной математики заключается в методах решения задач более низкого порядка. Чистая математика становится независимой областью деятельности, когда интеллектуалы сосредоточиваются на разработке алгоритмов независимо от их применения. Взлет абстрактной математики в начале 1500-х годов начался как раз с появлением такого переднего фронта исследований – с открытием группой математиков во главе с Тартальей и Карданом общих методов решения кубических и квадратных уравнений. Ко времени Виета были разработаны способы решения задач гораздо более высокого уровня. В ходе этого процесса другие области математики, такие как тригонометрия и геометрия, использовались в качестве инструментария, что приводило в этих областях, так сказать, к перекрестному опылению. Началось развитие генеалогических линий математических технологий.

Начало математической революции было отмечено ростом интереса к усовершенствованию способов решения задач во всех областях. Подобные же стремления мы видим во многих сферах. Развитие сокращенной нотации в коммерческой арифметике было одним из вариантов, расширение использования тригонометрии в астрономии – другим, поиск общих алгебраических методов решения уравнений – третьим. Только последний из них явным образом вел в сферу чистой математики, но вскоре конкуренция среди математиков стала приводить ко все более тесному контакту между различными областями.

В математике существовало несколько ведущих сфер деятельности, а не только какая-то одна область. Традиционная греческая математика, состоявшая в основном из геометрии, была восстановлена, расширена и объединена с более новыми отраслями. Среди ученых-гуманистов рос интерес к греческим математическим текстам [Rose, 1975]. Тот факт, что большинство этих текстов уже были доступны в средневековом христианском мире, заставляет предположить, что скорее внимание к новым переводам было результатом бурного роста математического творче-

ства, а не наоборот. В конце 1500-х и в 1600-е годы наибольший интерес вызывал гуманистический вариант математической головоломки – восстановление утраченных частей текстов, например трудов Аполлония [Boyce, 1985, p. 330, 351, 380]. Поскольку математическая революция уже началась, представляется, что наиболее продвинутые греческие труды были обнаружены и [изложенные в них идеи] развиты, поскольку европейцы уже работали на этом же уровне под влиянием собственного импульса. Иначе говоря, обращение к старым текстам было не причиной, но в значительной степени результатом резкого ускорения темпа развития новой математики.

Греческая геометрия была воспринята новой математикой, но, конечно, не являлась ее передним краем. С точки зрения технологии решения задач геометрия была наиболее консервативной областью математики, поскольку была привязана к конкретным графическим чертежам без общих обозначений или правил более высокого порядка для решения задач. Декарт, придавший математической революции окончательную форму, осуществлял свою реформу геометрии, объясняя, что его цель состоит в освобождении геометрии от фигур, которые только затемняют ясность ума. Подобно Ферма, который одновременно развивал свой вариант координатной геометрии, Декарт был озабочен тем, чтобы порвать с неуклюжими геометрическими методами греков (см.: “Рассуждение о методе”, 2.17 [Descartes, 1985, p. 119]; см. также [Mahoney, 1980]). Декарт был единственным защитником нового алгебраического подхода, он освобождал последние из областей математики, остававшихся неосвобожденными от гуманистического возрождения классики, и превращал их в технику быстрого решения задач (a rapid problem-solving technique).

В ходе математической революции даже в классической геометрии формулировались новые методы. Вначале внимание к этой области проявили художники, заинтересованные в теории перспективы: первая со временем античности новая кривая была сконструирована Дюрером около 1525 г., т.е. примерно в то же время, когда Коперник создал новую кривую, совмещая два круговых движения [Boyce, 1985, p. 320, 326]. Работа Кеплера по вычислению планетарных орбит (начало 1600-х годов) и работа Галилея по баллистике (1630-е годы) свели эти движения к коническим сечениям, известным со времен греков. В результате переворота в математическом методе эти классические кривые вошли в состав главных достижений новой математической науки. Кеплер обобщил методы Архимеда для различных случаев вращения и показал, что известные

конические сечения трансформируются одно в другое; Галилей дал новое толкование коническим сечениям как результату сочетания двух движений [Boyer, 1985, p. 356–358]. Эти открытия были результатами применения в геометрии нового алгебраического видения.

Ко времени Виета, т.е. к 1580-м годам, уже полным ходом шел процесс совершения математических открытий. При Виете сочетание различных математических областей превратилось в технологию получения открытий: новая высшая алгебра была объединена с геометрическими методами решения задач, новая тригонометрия была преобразована в комплекс алгебраических функций. Новая аналитическая геометрия, построенная на основе алгебры Виетом, Декартом и Ферма, продвинулась дальше традиционных плоских и твердых фигур в более абстрактные области, где линии, квадраты, кубы и фигуры более высокого порядка трактовались как величины в уравнении. “Геометрия” Декарта завершается детальным обзором теории уравнений. К середине 1600-х годов целые области высшей математики возникли как результат объединения более узких дисциплин. Разрабатывались новые методы для алгебраического решения задач, касающихся кривых, особенно если в связи с новыми кривыми поднимались вопросы движения, а также бесконечно малых изменений и их сложения. Из решения данных задач благодаря Галилею, Робервалю, Кавальери и Торричелли возникло первоначальное грубое исчисление бесконечно малых, усовершенствованное в следующем поколении Ньютоном и Лейбницем.

В период между Виетом и Декартом математика была преобразована в машинерию манипулирования уравнениями. Отчасти эта трансформация была отмечена переходом от словесной аргументации через сокращения к изобретению символов, обозначающих данные, неизвестные и операции. Решающим шагом было установление системы уравнений с явными правилами подстановки и сочетания членов. Следуя этим правилам манипулирования, можно было достичь таких же преимуществ, как и при использовании новейшего исследовательского оборудования в естествознании. В ходе переделок математической машинерии могли открыться новые области применения и появиться новые результаты. Это превращало математику в перемещающийся передний фронт исследований. Таким образом, совершенствование процедур манипулирования уравнениями (что эквивалентно переделке механизма, пока он не начнет давать надежные результаты) влечет за собой абсолютную достоверность результатов, поскольку результаты теперь абсолютно воспроизводимы.

Подобная процедура характерна не только для Нового времени, – история математики состоит в построении как раз такого рода технологии манипулирования классами выражений, направленной на высокую воспроизводимость результатов. Можно сказать, что именно это определяет математику: она представляет собой накопление практики и усовершенствование операций счета и измерения, развивающееся в более высокие обобщения классов таких операций. Эти умения всегда воплощались в некой технологии, обычно только подразумеваемой и недостаточно мобильной для того, чтобы быть широко воспроизводимой, при том что последнее является социальной основой достоверности. Именно взлет в манипуляции машинерией математики составил сущность европейской математической революции. <...>

То, что обычно называется *научной революцией*, фактически было тремя перекрывающимися перестройками интеллектуального поля. Революция в математике и в естественных науках заключалась в их превращении в быстро продвигающиеся линии исследовательского фронта и по сути своей была открытием самой техники совершения открытий. Слово “революция” здесь употребляется отчасти в метафорическом смысле, поскольку ускорение процесса совершения открытий осуществлялось на протяжении периода от четырех до шести поколений. В действительности только ближе к концу данного периода – в середине 1600-х годов, в поколении Декарта, Мерсенна и Бойля, интеллектуальный мир решительно убедился в существовании новой основы для получения знаний. Именно это осознание привело к тому, что мы можем назвать *философской революцией*, – к использованию философии в новых целях, что и создало Декарту репутацию основателя философии Нового времени.

Взлет философского творчества, начавшийся в этот период, не был революцией в том же самом смысле, что математическая и естественно-научная революции. Философия оставалась философией, иначе говоря, она по-прежнему структурировалась посредством линий непримиримого соперничества и не обретала быстро продвигающегося фронта исследований, что отличало бы ее от предшествующей философии. Однако философские сети являются решающим фактором математической и естественно-научной революций. Философская революция не только поставила печать своего одобрения на двух других уже состоявшихся революциях, придавая им общую мировую значимость. Помимо этого с самого начала все три сети были переплетены между собой; без их взаимосвязи не могло бы осуществиться то ускоренное совершение открытий, которое и составило математическую и естественно-научную революции. <...>

Примечания

1. В терминологии невозможно избежать некоторого анахронизма. Только после 1847 г. слово “наука” в английском языке приняло четкое современное значение. Латинское слово *scientia* было эквивалентом греческому *episteme*, обозначавшему знания в любой сфере. Для исторических сравнений нужен термин, позволяющий уяснить специфику определенных типов деятельности в различные периоды. Термин “science” (“естествознание”, “точные науки”) позволяет нам сфокусироваться одновременно на нескольких областях деятельности по получению информации из наблюдений за природой, в особенности в четко очерченных сферах – астрономии и медицине, и на столь же ясно выделенной деятельности по математическим расчетам и измерениям.

2. [Price, 1986]. Источники, в которых обсуждаются различные методы измерения скорости научных открытий: [Cole, 1983; Griffith, 1988; Cozzens, 1989; Leydesdorff, Amsterdamska, 1990; Collins, 1994]. Режим быстрых открытий сформировался в одних областях науки раньше, чем в других, причем скорость, по-видимому, росла в течение нескольких периодов, последний раз – после 1920-х годов. Относительно сохранения различий в [научном] консенсусе см. [Cole е.а., 1978; Hargens, Hagstrom, 1982].

3. Весьма точные вычисления числа π , сделанные между 220 и 500 гг. н.э., по-разному и часто весьма неточно приводились в стандартных учебниках эпох Тан и Сун, так что иногда числу π приписывалось традиционное значение 3 [Institute..., 1983, p. 35, 38, 86–87; Mikami, 1913, p. 45–58; Qian, 1985, p. 62–63; Ho, 1985, p. 125–127; Science..., 1987, p. 77–85; Li, Du, 1987]. В алгебре между 1200 г. и работой Чжу Шицзе 1303 г. были разработаны изощренные методы решения уравнений высоких порядков, а 50 лет спустя учебники вновь вернулись к уровню элементарной арифметики [Ho, 1985, p. 106]. В 1500-е годы переписчики записей алгебры “небесных элементов” эпохи Сун уже не были способны их понять [Mikami, 1913, p. 110]. О других примерах утраты сложных достижений см. [Ho, 1985, p. 72, 77; Needham, 1959, p. 31, 33; Mikami, 1913, p. 37–39].

4. В Индии Ариябхата I (конец 400-х годов н.э.) разрабатывал две системы астрономии. Вскоре после него Варахамихира (ок. 500 г.) описывал пять систем, одна из которых была основана на ведической астрологии, а четыре – на греческих моделях [Dictionary..., 1981, v. 15, p. 533–632]. Китайская астрономия всегда была разделена на несколько конкурирующих моделей. Во времена династии Хань шла борьба между защитниками космологий *гайдянь* (купол из полусфер) и *хуньдянь* (небесная сфера). Кроме этих систем были известны еще две. В династиях, существовавших после 550 г., доминирующей в астрономических учреждениях стала модель *хуньдянь*, однако вплоть до эпохи Сун оставались защитники конкурирующей модели. Во времена династии Тан работали три различные школы индийских астрономов, нанятых в императорскую обсерваторию, но они не оказывали влияния на китайских астрономов. При династиях Юань и Мин на государственной службе состояли арабские астрономы, однако китайские астрономы пренебрегали арабо-птолемеевской теорией планетарных эпициклов [Needham, 1959, p. 171–436; Sivin, 1969; Ho, 1985, p. 82, 129, 161–168; Mikami, 1913, p. 101–106].

5. Существуют данные о том, что в некой естественно-научной специальности обычно конкурируют примерно пять исследовательских групп [Price, 1986, p. 130–133].

6. Таким образом, тот, кто собственоручно не пользовался более ранним вариантом насоса, не смог бы успешно воспроизвести и вакуумный насос Бойля [Shapin, Shaffer, 1985, p. 229–230, 281]. Гарри Коллинз подчеркивает, что неявное знание о

том, как вести исследование, должно передаваться в личностной сети ученичества, подобного обучению подмастерьев в ремесле, поскольку это знание не может быть выражено в чисто словесных инструкциях [Collins, 1974]. Описание Латуром науки (естествознания) как сети человеческих и нечеловеческих деятелей (акторов), возможно, является слишком антропоморфным изображением природного мира, однако в таком представлении есть свой резон: наука с исследовательским фронтом включает в себя непрерывную сеть ученых наряду с генеалогией машин, причем как ученые “паразитируют” на машинах, так и наоборот – машины “паразитируют” на ученых [Latour, 1987].

7. Множество примеров технологий, не развивавшихся сотни лет, включая европейское столетие научной революции, приведено Броделем [Braudel (1967), 1973, p. 244–324]. И даже в периоды введения технологических новаций последние не были обусловлены развитием научно-исследовательских технологий, если не были порождены интеллектуальными сетями. Таким образом, периоды новаций в вооружении, судостроении и инженерных конструкциях в истории эллинской Греции, исламского мира и средневековых христианских королевств интеллектуально не связаны и не привели к науке быстрых открытий. См. ссылки у Коллиза [Collins, 1986, p. 77–116].

8. Число математиков, указанных в “Словаре научных биографий” [Dictionary..., 1981] как работавших в каждой из трети столетия, было следующим: XIII в. – соотвественно 3, 4, 7; XIV в. – 5, 6, 0; XV в. – 2, 3, 10; XVI в. – 17, 18, 26; XVII в. – 37, 44, 23; XVIII в. – 19, 39, 34. При этом большинство из перечисленных лиц, живших до 1500 г., – это те, кто хотя бы что-то сделал в области математики, даже при отсутствии оригинальных результатов; для математиков же, живших начиная с XVI в., критерий упоминания другой: названы только те, кто внес оригинальный вклад.

9. Впервые знак равенства (=) был использован в 1551 г. в книге Рекорда по элементарной коммерческой математике. С 1621 г. в Англии благодаря учебнику Харриotta распространялись обозначения, которым предстояло стать современной нотацией для алгебраических операций. Ни в одной из такого рода книг не было ничего оригинального в математическом отношении. Об истории математических обозначений см. [Cajori, 1928].

Литература

- Boyer C.B. A history of mathematics. – Princeton: Princeton Univ. Press, 1985.
Cajori F. A history of mathematical notations. – La Salle, Ill.: Open Court, 1928.
Cole S., Cole J.R., Dietrich L. Measuring the cognitive state of a scientific discipline // Toward a Metric of Science / Ed. by Yehuda Elkana e.a. – N.Y.: Wiley, 1978.
Cole S. The hierarchy of the sciences // Amer. Journ. of Sociology. – 1983. – V. 89. – P. 111–139.
Collins H.M. The TEA set: Tacit knowledge and scientific networks // Science Studies. – 1974. – V. 4. – P. 165–186.
Collins R. Why the social sciences won’t become high-consensus, rapid-discovery science // Sociological Forum. – 1994. – V. 9. – P. 155–177.
Cozzens S.E. What do citations count?: The rhetoric-first model // Scientometrics. – 1989. – V. 15. – P. 437–447.

- Descartes R.* The philosophical writings of Descartes. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1985.
- Dictionary of scientific biography.* – N.Y.: Scribner's. 1981. – 16 v.
- Galison P.* How experiments end. – Chicago: Univ. of Chicago Press, 1987.
- Girouard M.* Life in the English country house. – New Haven: Yale Univ. Press, 1978.
- Griffith B.C.* Derek Price's puzzles: Numerical metaphors for the operation of science // Science, Technology, and Human Values. – 1988. – V. 13. – P. 351–360.
- Hargens L., Hagstrom O.W.* Scientific consensus and academic status attainment patterns // Sociology of Education. – 1982. – V. 40. – P. 24–38.
- Ho Peng Yoke, Li, Qi, and Shu:* An introduction to science and civilization in China. – Hong Kong: Hong Kong Univ. Press, 1985.
- Institute of the History of Natural Sciences, Chinese Academy of Sciences,* Ancient China's technology and science. – Beijing: Foreign Languages Press, 1983.
- Jones A.* The adaptation of Babylonian methods in Greek numerical astronomy // Isis. – 1991. – V. 82. – P. 441–453.
- Kazhdan A.P., Epstein A.W.* Change in Byzantine culture in the eleventh and twelfth centuries. – Berkeley: Univ. of California Press, 1985.
- Latour B.* Science in action. – Cambridge, Mass.: Harvard Univ. Press, 1987.
- Leydesdorff L., Amsterdamska O.* Dimensions of citation analysis // Science, Technology, and Human Values. – 1990. – V. 15. – P.305–335.
- Li Yan, Du Shiran.* Chinese mathematics: A concise history. – Oxford: Clarendon Press, 1987.
- Mahoney M.S.* The beginnings of algebraic thought in the seventeenth century // Descartes. Philosophy, Mathematics, and Physics / Ed. by St. Gaukroger. – Brighton, Sussex: Harvester, 1980.
- Mikami Y.* The development of mathematics in China and Japan. – N.Y.: Chelsea Publishing Co., 1913.
- Needham J.* Science and civilization in China. Vol. 3: Mathematics and the sciences of the heavens and the earth. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1959.
- Neugebauer O.* The exact sciences in antiquity. – N.Y.: Dover, 1957.
- The origins of museums:* The cabinet of curiosities in sixteenth- and seventeenth-century Europe / Ed. by O.Impey and A.McGregor. – Oxford: Oxford Univ. Press, 1985.
- Price de Solla, D.J.* Little science, big science, and beyond. – N.Y.: Columbia Univ. Press, 1986.
- Qian Wen-yuan.* The great inertia: Scientific stagnation in traditional China. – L.: Croom Helm, 1985.
- Rose P.L.* The Italian renaissance of mathematics. – Geneva: Droz, 1975.
- Science and technology in Chinese civilization* / Ed. by Cheng-Yih Chen. – Singapore: World Scientific Publishing Co., 1987.
- Shapin St., Schaffer S.* Leviathan and the air-pump: Hobbes, Boyle, and the experimental life. – Princeton: Princeton Univ. Press, 1985.
- Sivin N.* Cosmos and computation in early Chinese mathematical astronomy. – Leiden: Brill, 1969.
- Smith D.E.* History of mathematics. – N.Y.: Dover, 1951.