# 14. Идеология реформации. Ее влияние на развитие науки

## Реформация и контрреформация

Реформация и Контрреформация в равной степени представляют собой восстание менее цивилизованных народов против интеллектуального господства Италии. В случае Реформации восстание носило одновременно политический и теологический характер; отвергался авторитет папы, и дань, которую он получал благодаря своей папской власти, в его казну больше не поступала. В случае Контрреформации восстание было лишь против интеллектуальной и нравственной свободы Италии эпохи Возрождения; власть папы не уменьшалась, а увеличивалась, в то же время становилось очевидным, что его авторитет несовместим с беспечной распущенностью Борджа и Медичи. Грубо говоря, Реформация была германской, Контрреформация – испанской; религиозные войны одновременно были и войнами между Испанией и ее врагами, совпадая по времени с периодом, когда испанское могущество было в расцвете. Отношение общественного мнения северных народов к Италии эпохи Возрождения иллюстрируется английской пословицей того времени:

Италинизированный англичанин –

воплощенный дьявол.

Вспомним, сколько негодяев у Шекспира были итальянцами. Яго является, вероятно, наиболее выдающимся примером, но еще более показательный пример – это Якимо в «Цимбе‑лине», который сбивает с истинного пути добродетельного британца, путешествующего по Италии, а сам приезжает в Англию, чтобы осуществить свои коварные замыслы над его ничего не подозревающими близкими. Нравственное возмущение итальянцами было тесно связано с Реформацией, но, к сожалению, в Реформацию входило также интеллектуальное отрицание всего того, что сделала Италия для цивилизации.

Тремя великими личностями Реформации и Контрреформации являются Лютер, Кальвин и Лойола. Все трое в интеллектуальном отношении – представители средневековой философии и в сравнении с итальянцами, которые непосредственно им предшествовали, и в сравнении с такими людьми, как Эразм Роттердамский и Мор. Столетие, последовавшее за началом Реформации, в философском отношении было бесплодным. Лютер и Кальвин возвратились к св. Августину, сохранив, однако, только ту часть его учения, которая связана с отношением души к Богу, а не ту часть, которая имеет отношение к церкви. Их теология была направлена на подрыв власти церкви. Они упразднили чистилище, из которого можно было освобождать души усопших при помощи месс. Они отвергали учение об индульгенциях, от которого зависела большая часть папских доходов. Учением о предопределении судьбы души после смерти была достигнута полная независимость от действий духовенства. Эти нововведения, помогая борьбе с папой, мешали протестантской церкви стать столь же могущественной в протестантских странах, какой была католическая церковь в католических странах. Протестантские богословы были (по крайней мере вначале) так же нетерпимы, как и католическое духовенство, но у них было меньше власти и поэтому было меньше возможности приносить вред.

Почти с самого начала среди протестантов существовали разногласия относительно роли государственной власти в делах религии. Лютер желал бы повсюду, где государи были протестантами, признать их главами церкви в своих странах. В Англии Генрих VIII и Елизавета упорно настаивали на своем праве быть главой церкви; так же поступали протестантские государи в Германии, Скандинавии и в Голландии, после отпадения ее от Испании. Это усилило уже существовавшую тенденцию к увеличению власти королей.

Но те протестанты, которые серьезно относились к индивидуалистическим аспектам Реформации, не хотели бы подчиняться королю в той же степени, как и папе. Анабаптисты в Германии были подавлены, но их учение проникло в Голландию и Англию. Конфликт между Кромвелем и Долгим Парламентом имел много сторон; в теологическом отношении он частично был конфликтом между теми, кто отвергал, и теми, кто разделял взгляд, что решать религиозные вопросы должно государство. Постепенно усталость, явившаяся следствием религиозных войн, привела к возрастанию веротерпимости, что и было одним из источников направления, развившегося впоследствии в либерализм XVIII‑XIX веков.

Успех протестантов, вначале удивительно быстрый, был приостановлен главным образом таким противодействующим фактором, как создание Лойолой ордена иезуитов; Лойола был солдатом, и его орден был устроен по военному образцу: в ордене должно было существовать непререкаемое послушание генералу и каждый иезуит должен был считать себя участником войны против ереси. Еще во времена Тридентского собора иезуиты приобрели большое влияние. Они были дисциплинированными, способными, глубоко преданными своему делу и умелыми пропагандистами. Их богословское учение было противоположно учению протестантов. Они отвергали те части учения св. Августина, которые подчеркивали протестанты. Они верили в свободу воли и выступали против учения о предопределении судьбы. Спасение достигалось не одной лишь верой, но верой и деятельностью в их соединении. Иезуиты приобрели престиж своим миссионерским рвением, особенно на Дальнем Востоке. Они стали популярны в качестве исповедников, потому что (если верить Паскалю) они были более снисходительны ко всему, кроме ереси, чем другие духовные лица. Они сконцентрировали свое внимание на образовании и, таким образом, приобрели глубокое влияние на умы молодежи. Образование, которое они давали, когда ему не мешало богословие, было наилучшим из всего, что тогда существовало; мы видим, что они обучили Декарта математике лучше, чем он мог бы научиться ей где‑либо еще. Политически они были единственной объединенной дисциплинированной организацией, не отступающей ни перед какими опасностями и трудностями; они убеждали католических государей не останавливаться перед казнями и, следуя по пятам карательной испанской армии, восстановили террор инквизиции даже в Италии, в которой почти столетие существовало свободомыслие.

Последствия Реформации и Контрреформации в интеллектуальной сфере сначала в целом были неблагоприятны, но в конечном счете оказались благотворны. Тридцатилетняя война убедила каждого, что ни протестантов, ни католиков полностью победить нельзя, поэтому появилась необходимость отбросить средневековую надежду создать единство веры, а это увеличило свободу людей самостоятельно думать даже о самых фундаментальных вопросах. Различие между вероучениями в разных странах дало возможность избегать преследований, живя за границей. Отвращение к религиозным войнам привело к тому, что внимание наиболее способных людей все больше привлекали светские знания, особенно математика и естественные науки. Это одна из причин, объясняющих тот факт, что в то время, как XVI век после возвышения Лютера ничего не дал в философском отношении, XVII век породил величайшие имена и был отмечен самым выдающимся со времен греков прогрессом. Этот прогресс начался в естественных науках, о чем я поведу речь в следующей главе.

## Развитие науки

Почти все, чем отличаются нынешние времена от более ранних веков, обусловлено наукой, которая достигла своих наиболее поразительных успехов в XVII веке. Итальянское Возрождение, хотя оно и не относится к средневековью, не относится и к Новому времени; его можно сравнить с лучшим периодом Греции. XVI век, с его засильем теологии, более средневековен, чем мир Макиавелли. Новое время, насколько это касается духовных ценностей, начинается с XVII века. Нет такого итальянца эпохи Возрождения, которого не поняли бы Платон или Аристотель; Лютер привел бы в ужас Фому Аквинского, но последнему было бы нетрудно понять его. С XVII веком дело обстоит иначе: Платон и Аристотель, Фома Аквинский и Оккам не смогли бы понять Ньютона.

Новые концепции, выдвинутые наукой, глубоко повлияли на новую философию. Декарт, который являлся в известном смысле основателем новой философии, сам был одним из творцов науки XVII века. Чтобы можно было понять духовную атмосферу времени, в которой появилась новая философия, нужно хотя бы кратко сказать о методах и достигнутых результатах в астрономии и физике.

В создании науки выдающееся место принадлежит четырем великим личностям: Копернику, Кеплеру, Галилею и Ньютону. Из них Коперник жил в XVI веке, но при жизни имел мало влияния.

Коперник (1473–1543) был польским священником безупречной веры. В молодости он путешествовал по Италии и впитал в себя атмосферу Возрождения. В 1500 году он был профессором математики в Риме, но в 1503 году возвратился на родину, где стал каноником во Фрауэнбурге. Много времени он, по‑видимому, уделял борьбе с немцами и реформе денежной системы, но свой досуг посвящал астрономии. Скоро он пришел к убеждению, что Солнце является центром мироздания и что Земля имеет двойное движение: суточное вращение и годовое круговое вращение вокруг Солнца. Страх перед церковной цензурой заставил его отложить опубликование своих взглядов, хотя он и не препятствовал тому, чтобы о них узнали. Его главная работа «Об обращении небесных сфер» была опубликована в год его смерти (1543) с предисловием его друга Осиандера, в котором говорилось, что гелиоцентрическая теория была выдвинута только в качестве гипотезы. Точно неизвестно, насколько Коперник санкционировал это заявление, но данный вопрос не слишком важен, так как он сам сделал подобное же заявление в своей книге. Книга была посвящена папе и не подверглась официальному осуждению католицизма до времен Галилея. В годы, когда жил Коперник, церковь была либеральнее, чем она стала после того, как Тридентский собор, иезуиты и ожившая инквизиция сделали свое дело.

По духу работа Коперника не современна; ее можно определить, пожалуй, как пифагорейскую. Он принимает за аксиому, что все небесные движения должны быть круговыми и равномерными, и, подобно грекам, попадает под влияние эстетических мотивов. В его системе все еще есть эпициклы, хотя их центры находятся на Солнце, или скорее около Солнца. Тот факт, что Солнце расположено не точно в центре, портил простоту его теории. Хотя он знал кое‑что о пифагорейских доктринах, он не знал, по‑видимому, о гелиоцентрической теории Аристарха Самосского, но в его построениях нет ничего, к чему не мог бы прийти греческий астроном. Действительно, что было важно в его работе, так это развенчание представления о Земле как об особом геометрическом центре. В конечном счете, исходя из теории Коперника, становилось трудно признать за человеком космическую значимость, приписанную ему христианской теологией, но такие выводы из его теории не были бы приняты Коперником, ортодоксальная вера которого была искренней и который протестовал против взгляда, что его теория противоречит Библии.

В теории Коперника были и подлинные трудности, самой большой из которых было отсутствие звездного параллакса. Если Земля в любой из точек своей орбиты находится на расстоянии 283 664 000 км от точки, в которой она будет через шесть месяцев, это должно вызвать изменения в видимом расположении звезд, точно так же как корабль, находящийся на море прямо к северу от одной точки берега, не может быть прямо к северу от другой. Но никакого параллакса не наблюдалось, и Коперник правильно заключил, что неподвижные звезды должны быть значительно более удалены от нас, чем Солнце. Только в XIX веке, когда техника измерений стала достаточно точной, оказалось возможным наблюдать звездные параллаксы, и то только в отношении немногих ближайших звезд.

Другая трудность возникла в отношении падающих тел. Если Земля постоянно вращается с запада на восток, то тело, брошенное с какой‑либо высоты, не может упасть в точку, расположенную строго вертикально от места, с которого началось ее падение, а упадет несколько далее к западу, так как Земля за время падения тела пройдет некоторое расстояние. На эту трудность ответ был найден при помощи закона инерции Галилея, но во времена Коперника ответа найти было нельзя.

Есть интересная книга Э. А. Барта под названием «Метафизические основы современной физической науки» (1925), в которой убедительно рассказывается о многих необоснованных предположениях, сделанных людьми, создавшими современную науку. Он совершенно верно указывает, что во времена Коперника не были известны факты, которые заставили бы принять его систему, но был известен ряд фактов, которые говорили против нее. «Современные эмпиристы, если бы они жили в XVI веке, первыми бы высмеяли новую философию мироздания». Основная цель книги состоит в том, чтобы дискредитировать современную науку предположением, что ее открытия были счастливыми случайностями, возникшими из суеверий столь же глубоких, как и суеверия средних веков. Я думаю, что это обнаруживает непонимание научного подхода автором книги: ученого отличает не то, во что он верит, а то как и почему он верит в это. Его верования не догматические, а опытные. Они базируются на доказательствах, а не на авторитете или интуиции. Коперник был вправе назвать свою теорию гипотезой; его оппоненты неправильно считали, что новые гипотезы нежелательны.

У людей, которые основали современную науку, было два достоинства, которые не всегда сопутствуют друг другу: это огромное терпение в наблюдениях и большая смелость в выдвижении гипотез. Последним из этих достоинств обладали ранние греческие философы, первое в значительной степени имелось у более поздних астрономов античности Но никто из древних, за исключением, может быть, Аристарха, не обладал обоими достоинствами, никто не обладал ими одновременно и в средние века. Коперник, как и его великие преемники, обладал обоими достоинствами. Он знал все, что можно было узнать о видимых движениях небесных тел по небесной сфере при помощи существовавших в его дни приборов, и понимал, что гипотеза о суточном вращении Земли была более экономна, чем гипотеза о круговом вращении всех небесных сфер. Согласно современным взглядам, которые рассматривают все движение как относительное, простота является единственным выигрышем от гипотезы Коперника, но так не думали ни он, ни его современники. Что касается годового вращения Земли, то и здесь также было упрощение, но не столь заметное, как в случае с суточным вращением. Ведь Копернику еще нужны были эпициклы, хотя и в меньшей степени, чем это было нужно в системе Птолемея. И только после открытия законов Кеплера новая теория обрела свою окончательную простоту.

Кроме революционизирующего влияния на понимание космоса, у новой астрономии было еще два больших достоинства: первое – это признание того, что все то, во что верили с древних времен, могло быть ложным; второе – что проверкой научной истины является терпеливый сбор фактов вместе со смелой догадкой относительно законов, объединяющих факты. Ни то, ни другое достоинства у Коперника не были так полно развиты, как у его преемников, но оба они уже в полной мере проявляются в его работе.

Некоторые из тех, кого Коперник познакомил со своей теорией, были немецкими лютеранами, но когда Лютер об этом узнал, он был глубоко потрясен. «Люди, – сказал он, – слушают выскочку‑астролога, который тщится показать, что вращается Земля, а не небеса или небесный свод, Солнце и Луна. Всякий, кто желает казаться умнее, должен выдумать какую‑то новую систему, которая, конечно, из всех систем является самой лучшей. Этот дурак хочет перевернуть всю астрономию, но Священное Писание говорит нам, что Иисус Навин приказал остановиться Солнцу, а не Земле». Подобным же образом, то есть текстом из Библии, опроверг Коперника и Кальвин: «Потому Вселенная тверда, не подвигнется» (Псалмы, 92(93), 1) – и воскликнул: «Кто осмелится поставить авторитет Коперника выше авторитета Святого Духа?» Протестантское духовенство было по меньшей мере так же фанатично, как и католическое; тем не менее в протестантских странах скоро появилось значительно большее свободомыслие, чем в католических, потому что в них духовенство имело меньше власти. Важной стороной протестантизма была не ересь, а раскол, так как последний вел к созданию национальных церквей, а национальные церкви не обладали достаточной силой, чтобы контролировать светскую власть. В целом это можно считать выигрышем, так как практически церкви повсюду противостояли, насколько они могли, каждому новшеству, которое служило увеличению счастья или знания здесь, на Земле.

У Коперника не было возможности дать какое‑либо исчерпывающее доказательство в пользу своей гипотезы, и долгое время астрономы отвергали ее. Следующим по значению астрономом был Тихо Браге (1546–1601), который занял промежуточную позицию: он считал, что Солнце и Луна вращаются вокруг Земли, но планеты вращаются вокруг Солнца. Что касается теории, он был не очень оригинален. Однако он выдвинул два хороших аргумента против взглядов Аристотеля о том, что все в надлунном мире неизменно. Одним из них было появление новой звезды в 1572 году, которая, как было установлено, не имеет суточного параллакса и должна поэтому быть более удаленной, чем Луна. Второй аргумент был получен из наблюдения над кометами, которые, как было установлено, тоже были более отдаленными, чем Луна. Читатель помнит теорию Аристотеля о том, что изменения и разрушения относятся только к подлунному миру; эта теория, подобно другим теориям Аристотеля, касающимся научных вопросов, препятствовала научному прогрессу.

Тихо Браге имеет значение не как теоретик, а как наблюдатель: сначала покровительствуемый королем Дании, потом императором Рудольфом II, он составил звездный каталог и зафиксировал расположение планет в течение многих лет. К концу его жизни его ассистентом стал Кеплер, тогда еще молодой человек. Для Кеплера эти наблюдения были неоценимы.

Кеплер (1571–1630) является одним из самых выдающихся примеров того, чего можно достигнуть, не будучи гением, при помощи терпения. Он был первым крупным астрономом после Коперника, принявшим гелиоцентрическую теорию; однако наблюдения Тихо Браге показывали, что она не может быть полностью верна в той форме, которую ей придал Коперник. Кеплер находился под влиянием пифагореизма и более или менее непроизвольно склонялся к солнцепоклонению, хотя и был хорошим протестантом. Эти мотивы, несомненно, побуждали его придерживаться гелиоцентрической гипотезы. Но его пифагореизм склонял к приданию, как это делал Платон в «Тимее», космической важности пяти правильным многогранникам. Он использует их для выдвижения гипотез, соответствующих его взглядам, и, наконец, благодаря счастливой случайности одна из них сработала.

Величайшим достижением Кеплера было открытие трех законов движения планет. Два из них он опубликовал в 1609 году, а третий – в 1619 году. Его первый закон гласит: планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце. Второй закон: линия, соединяющая планету с Солнцем, заметает в равные промежутки времени равные площади. Третий его закон гласит: квадраты времен обращения планет пропорциональны кубам их средних расстояний от Солнца.

Следует несколько слов сказать в объяснение важности этих законов.

Первые два закона во времена Кеплера могли быть доказаны только в отношении Марса; что касается других планет, то наблюдения над ними свидетельствовали о том, что их движения подчиняются первым двум законам, но не настолько, чтобы можно было говорить о точном совпадении данных наблюдений с законами. Однако вскоре им было найдено решающее подтверждение.

Открытие первого закона, согласно которому планеты движутся по эллипсам, потребовало больших усилий для освобождения от традиций, чем способен это ясно понять современный человек. Единственно, на чем сходились без исключения все астрономы, было то, что все небесные движения являются движениями круговыми или составленными из кругов. Там, где было найдено, что круги недостаточны, чтобы объяснить движения планет, употреблялись эпициклы. Эпицикл – это кривая, описываемая точкой окружности, которая катится по другой окружности. Например, возьмите колесо и укрепите его плашмя на земле; возьмите затем другое, меньшее колесо, в обод которого вбит гвоздь, и катите меньшее колесо (также плашмя по земле) вокруг большого колеса так, чтобы острие гвоздя касалось земли. Тогда след гвоздя на земле будет эпициклом. Орбита Луны по отношению к Солнцу примерно такого же вида: Земля описывает вокруг Солнца почти круг, а Луна тем временем описывает круг, вращаясь по орбите вокруг Земли. Но это верно только приблизительно; когда наблюдения стали более точными, то было установлено, что ни одна система эпициклов не соответствовала точно действительности. Гипотеза Кеплера в том виде, как он ее установил, гораздо лучше согласовывалась с движением Марса, чем гипотеза Птолемея или даже гипотеза Коперника.

Замена кругов эллипсами влекла за собой отказ от эстетического уклона, которым руководствовалась астрономия со времени Пифагора. Круг был совершенной фигурой, а небесные тела – совершенными телами (первоначально божествами) и даже у Платона и Аристотеля тесно связанными с божествами. Казалось очевидным, что совершенное тело должно двигаться по совершенной фигуре. Более того, так как небесные тела движутся свободно, без внешнего воздействия, то их движение должно быть «естественным». Теперь легко было предположить, что именно в круге, а не в эллипсе имеется что‑то «естественное». Таким образом, нужно было отбросить многие глубоко укоренившиеся предрассудки, прежде чем мог быть принят первый закон Кеплера. Ни один древний – ни даже Аристарх из Самоса – не предвидел такой гипотезы.

Второй закон связан с изменением скорости планеты в различных точках ее орбиты. Если S – солнце, P1, P2, Р3, Р4, Р5 – последовательные положения планеты через равные интервалы времени, скажем, в один месяц, то закон Кеплера утверждает, что площади P1SP2, P2SP3, P3SP4, P4SP5 равны между собой. Поэтому планета движется с наибольшей скоростью тогда, когда она ближе всего к Солнцу, а с наименьшей скоростью тогда, когда наиболее удалена от него. Это опять нарушало все существовавшие представления: планета должна быть слишком величественной, чтобы то ускорять, то замедлять свое движение.

Третий закон важен потому, что он сравнивает движения различных планет, тогда как первых два закона связаны лишь с отдельными планетами. Третий закон гласит: если *r* есть среднее расстояние планеты от Солнца и *Т* – продолжительность ее года, тогда отношение *r*^3/*T*^2 одинаково для всех планет. Этот закон дает доказательство (насколько это касается Солнечной системы) ньютоновскому закону об обратной пропорциональности силы притяжения квадрату расстояния. Но об этом будет идти речь ниже.

Галилей (1564–1642) является, разве только за исключением Ньютона, величайшим из основателей современной науки. Он родился почти в тот же день, в какой умер Микеланджело, и умер в том году, в котором родился Ньютон. Я рекомендую эти факты для тех (если вообще такие существуют), которые все еще верят в метемпсихоз. Он имеет большое значение как астроном, но, может быть, даже еще большее как основатель динамики.

Галилей первым открыл значение ускорения в динамике. «Ускорение» означает изменение скорости либо по величине, либо по направлению; таким образом, тело, равномерно двигаясь по кругу, в каждый момент времени имеет ускорение, направленное к центру круга. В выражениях, которые были обычны в период, предшествовавший периоду жизни Галилея, мы могли бы сказать, что он рассматривает равномерное движение по прямой линии как единственно «естественное» и на Земле, и на небесах. Раньше думали, что для небесных тел «естественно» двигаться по кругу, а для земных – по прямой; но считалось, что движущиеся земные тела постепенно перестали бы двигаться, если бы они были предоставлены самим себе. Вопреки этому взгляду Галилей считал, что всякое тело, если оно будет предоставлено самому себе, будет продолжать двигаться по прямой линии с постоянной скоростью; всякие изменения либо в скорости, либо в направлении движения объясняются действием какой‑либо «силы». Этот принцип был провозглашен Ньютоном как «первый закон движения». Его называют также законом инерции. Я вернусь к его содержанию ниже, здесь же необходимо остановиться на некоторых деталях открытий Галилея.

Галилей первым установил закон падения тел. Этот закон, в котором вводится понятие ускорения, в высшей степени прост. Он говорит, что, когда тело падает свободно, его ускорение постоянно, если не учитывать сопротивления, которое может оказать воздух; далее, ускорение одинаково для всех тел, тяжелых или легких, больших или малых. Но доказать этот закон исчерпывающим образом было невозможно до тех пор, пока не изобрели воздушный насос, что произошло около 1654 года. После этого стало возможным наблюдать падение тел в условиях, которые практически можно было считать условиями, близкими к вакууму, и было установлено, что перья падают с такой же скоростью, как и свинец. Таким образом, Галилей доказал, что нет заметного различия между большим и маленьким кусками одного и того же вещества. До него предполагали, что большой кусок свинца упадет быстрее, чем маленький, но Галилей экспериментально доказал, что это не так. Измерение в его время не было таким точным, каким оно стало впоследствии; но, несмотря на это, он пришел к правильной формулировке закона падения тел. Если тело свободно падает в вакууме, его скорость увеличивается на постоянную величину. В конце первой секунды его скорость равна 9,8 м/сек, в конце второй – 19,6 м/сек, в конце третьей – 29,4 м/сек и т. д. Ускорение, то есть величина, на которую увеличивается скорость, всегда постоянно: каждую секунду скорость увеличивается приблизительно на 9,8 м/сек.

Галилей изучал также полет снарядов – предмет, важный для его работодателя герцога Тосканы. Тогда думали, что снаряд, выпущенный горизонтально, будет некоторое время двигаться горизонтально, а потом внезапно начнет падать вертикально. Галилей показал, что если не считать сопротивления воздуха, то в соответствии с законом инерции горизонтальная скорость будет оставаться постоянной, а вертикальная скорость будет увеличиваться в соответствии с законом падения тел. Для того чтобы узнать, как будет двигаться снаряд в течение какого‑то короткого периода времени, допустим, в течение секунды, после того как он уже летел в течение какого‑то времени, поступим следующим образом. Во‑первых, если бы он не падал, то покрыл бы определенное расстояние по горизонтали, равное тому, которое он покрыл в первую секунду своего полета. Во‑вторых, если бы он не двигался горизонтально, а просто падал, он падал бы вертикально со скоростью, возрастающей пропорционально времени, истекшего с начального момента полета. Фактически изменение его местоположения такое, какое было бы, если бы сначала в течение секунды он двигался горизонтально со скоростью, равной начальной скорости, а потом падал бы в течение секунды вертикально со скоростью, возрастающей пропорционально времени, в течение которого он находился в полете. Простой расчет показывает, что получающаяся в результате траектория представляет собой параболу, и это подтверждалось наблюдениями постольку, поскольку исключалось сопротивление воздуха.

Вышеизложенное дает простой пример принципа, который оказался чрезвычайно полезным в динамике, – принципа, говорящего о том, что когда несколько сил действует одновременно, действие таково, как если бы каждая сила действовала по очереди. Это часть более общего принципа, называемого законом параллелограмма. Допустим, например, что вы находитесь на палубе движущегося корабля и гуляете поперек нее. В то время, когда вы шли, корабль прошел какое‑то расстояние, так что относительно воды вы продвинулись как вдоль, так и поперек направления движения корабля. Если вы захотите узнать, где вы оказались относительно воды, вы можете предположить, что сначала стояли неподвижно вы, тогда как корабль двигался, а потом в течение такого же промежутка времени неподвижно стоял корабль, тогда как вы шли в пересекающем его направлении. Тот же самый принцип применяется и к силам. Это дает возможность узнать общий результат действия целого ряда сил и позволяет анализировать физические явления, раскрывая особые законы нескольких сил, действию которых подвергаются движущиеся тела. Именно Галилей ввел этот чрезвычайно плодотворный метод.

Выше я стремился говорить, насколько это возможно, языком XVII века. Современный язык имеет существенные отличия, но для того чтобы объяснить достижения XVII столетия, желательно усвоить манеру выражения, присущую тому времени.

Закон инерции объяснил ту загадку, которую до Галилея система Коперника была неспособна объяснить. Как отмечалось выше, если вы бросите камень с вершины башни, он упадет к ее подножию, а не где‑то к западу от нее; однако, если Земля вращается, она должна была за время падения камня пройти некоторое расстояние. Причина, по которой камень не отклоняется, заключается в том, что камень сохраняет скорость вращения, которая у него одинакова со всеми остальными телами на земной поверхности. Фактически, если бы башня была достаточно высока, получился бы результат, противоположный тому, которого ожидали противники Коперника. Вершина башни, находясь дальше от центра Земли, чем ее основание, движется быстрее, и поэтому камень должен был бы упасть немного к востоку от подножия башни. Однако этот результат слишком незначителен, чтобы его можно было измерить.

Галилей горячо отстаивал гелиоцентрическую систему; он переписывался с Кеплером и соглашался с его открытиями. Услышав, что некий голландец изобрел телескоп, Галилей и сам сделал телескоп и очень скоро обнаружил ряд важных явлений. Он нашел, что Млечный Путь состоит из множества отдельных звезд. Он наблюдал фазы Венеры, о существовании которых догадывался еще Коперник, но которые невооруженный глаз не мог воспринять. Он открыл спутники Юпитера, которые в честь своего покровителя назвал «Медические звезды». Было установлено, что эти спутники подчиняются законам Кеплера. Однако возникло одно затруднение. Всегда было семь небесных тел: пять планет, Солнце и Луна; значит, семь – это священное число. Разве воскресенье не седьмой день? Разве подсвечники не семиствольны, а церквей в Азии не семь? Что же тогда могло быть более подходящим, как не то, что должно быть и семь небесных тел? Но если к ним нужно добавить еще четыре луны Юпитера, то их станет одиннадцать, – число, которое не имеет никаких мистических свойств. На этой почве приверженцы традиций поносили телескоп, отказывались смотреть в него и утверждали, что все, что обнаруживается при помощи телескопа, – это иллюзия. Галилей писал Кеплеру о своем желании посмеяться над глупостью «толпы»; в конце его письма выясняется, что «толпа» – это профессора философии, которые пытались изгнать луны Юпитера, употребляя «софизмы так, как будто они были магическими заклинаниями».

Галилей, как известно, был осужден инквизицией сначала секретно в 1616 году, а потом публично в 1633 году; в этом последнем случае он отрекся от своих теорий и обещал больше никогда снова не утверждать, что Земля вращается вокруг своей оси или вокруг Солнца. Инквизиции удалось положить конец развитию науки в Италии, которая там так и не возродилась в течение столетий. Но ей не удалось помешать ученым принять гелиоцентрическую теорию, а своей косностью она нанесла значительный ущерб церкви. К счастью, существовали протестантские страны, где священники, тоже всемерно стремясь причинить вред науке, не могли добиться контроля над государством.

Ньютон (1642–1727) достиг окончательного и полного триумфа, который подготовили Коперник, Кеплер и Галилей. Исходя из своих трех законов движения (из которых двумя первыми обязан Галилею), он доказал, что три закона Кеплера равнозначны положению о том, что каждая планета в каждый данный момент времени имеет ускорение, которое направлено к Солнцу и изменяется обратно пропорционально квадрату ее расстояния от него. Он показал, что ускорение в направлении к Земле и Солнцу в соответствии с той же самой формулой объясняет движение Луны и что в соответствии с законом обратной пропорциональности квадрату расстояния ускорение тел, падающих на поверхность Земли, родственно ускорению Луны. Он определил «силу» как причину изменения скорости движения, то есть ускорения. Таким образом, он смог сформулировать свой закон всемирного тяготения: «Каждое тело притягивает любое другое тело с силой, прямо пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними». Из этой формулировки он смог вывести все остальное в планетарной теории: движение планет и их спутников, орбиты комет, приливы. Позже оказалось, что даже самые незначительные отклонения от эллиптических орбит со стороны планет объяснялись законами Ньютона. Торжество было столь полным, что Ньютону грозила опасность стать вторым Аристотелем и оказаться непреодолимым барьером на пути прогресса. В Англии лишь спустя столетие после его смерти люди в достаточной степени освободились от его авторитета, чтобы создать действительно оригинальные работы по вопросам, которые он разрабатывал.

XVII век был замечателен не только в области астрономии и динамики, но и во многих других областях, связанных с наукой.

Обратимся сначала к вопросу о научных приборах[[1]](#footnote-1). Сложный микроскоп был изобретен незадолго до начала XVII века, около 1590 года. В 1608 году был изобретен телескоп голландцем Липперсгеем, хотя именно Галилей впервые серьезно использовал его для научных целей. Галилей изобрел также термометр, по крайней мере это кажется наиболее вероятным. Его ученик, Торричелли, изобрел барометр. Герике (1602–1686) изобрел воздушный насос. Часы, хотя и не созданные заново, в XVII веке были значительно усовершенствованы, прежде всего трудами самого Галилея. Благодаря этим изобретениям научные наблюдения стали значительно более точными и более обширными, чем когда‑либо прежде.

Существовали, далее, важные работы и в других науках, кроме астрономии и динамики. Гильберт (1540–1603) опубликовал свою большую книгу о магните в 1600 году. Гарвей (1578–1657) открыл кровообращение и опубликовал свое открытие в 1628 году. Левенгук (1632–1723) открыл сперматозоиды, хотя Стефан Гэм открыл их, по‑видимому, несколькими месяцами раньше; Левенгук открыл также протозоа, или одноклеточные организмы, и даже бактерии. Роберт Бойль (1627–1691) был, как учили детей в годы моей молодости, «отцом химии и сыном графа Коркского»; сейчас его знают главным образом по «закону Бойля», говорящему о том, что в данном количестве газа при данной температуре давление обратно пропорционально объему.

Я до сих пор ничего не сказал об успехах чистой математики, однако они действительно были очень велики и необходимы для успешной работы в физических науках. В 1614 году Непер опубликовал свое изобретение логарифмов. Аналитическая геометрия явилась результатом работ нескольких математиков XVII века, из которых величайший вклад был сделан Декартом. Дифференциальное и интегральное исчисление было изобретено независимо друг от друга Ньютоном и Лейбницем. Оно стало орудием почти всей высшей математики. Это только наиболее выдающиеся достижения в чистой математике, но имелось множество и других важных открытий.

Следствием рассмотренной нами научной деятельности было то, что взгляды образованных людей совершенно изменились. В начале века Томас Броун принимал участие в суде над ведьмами; в конце века такая вещь была бы совершенно невозможна. Во времена Шекспира кометы все еще были чудом; после опубликования «Начал…» Ньютона в 1687 году стало известно, что он и Галлей вычислили орбиты некоторых комет и что кометы так же подчинены закону тяготения, как и планеты. Власть закона установила свое господство над мыслями, делая невероятными такие вещи, как магия и колдовство. В 1700 году мировоззрение образованных людей было вполне современным, тогда как в 1600 году, за исключением очень немногих, оно было еще большей частью средневековым.

В оставшейся части главы я попытаюсь коротко осветить философские взгляды, явившиеся, по‑видимому, следствием науки XVII века, и некоторые стороны, отличающие современную науку от науки Ньютона.

Первое, что нужно отметить, – это устранение почти всех следов анимизма из законов физики. Греки, хотя они и не говорили об этом совершенно ясно, очевидно, считали силу движения признаком жизни. Здравомыслящему наблюдателю кажется, что животные двигаются сами, в то время как мертвая материя движется только тогда, когда ее принуждает к этому внешняя сила. Душа животного, по Аристотелю, имеет различные функции, и одна из них – двигать тело животного. Солнце и планеты, по мнению греков, достойны быть богами или по меньшей мере управляться и двигаться богами. Анаксагор думал иначе, но он был безбожником. Демокрит тоже думал иначе, но им, в пользу Платона и Аристотеля, пренебрегали все, за исключением эпикурейцев. Аристотелевские сорок семь или пятьдесят пять неподвижных двигателей были божественными духами и являлись первоисточником всего движения на небесах. Предоставленное самому себе любое неодушевленное тело вскоре стало бы неподвижным; таким образом, воздействие души на материю должно быть непрерывным, для того чтобы движение не прекратилось.

Открытие первого закона движения изменило это представление. Безжизненная материя, однажды приведенная в движение, продолжает двигаться до тех пор, пока какая‑нибудь внешняя причина не остановит ее. Более того, внешние причины изменения движения сами оказывались материальными всякий раз, когда их можно было определенно установить. Во всяком случае, Солнечная система сохраняла свое движение посредством своего собственного количества движения и своих собственных законов; не требовалось никакого внешнего вмешательства. Вероятно, тогда еще казалось, что Бог необходим, чтобы пустить в ход весь механизм; планеты, согласно Ньютону, первоначально были приведены в движение рукой Бога. Но когда Бог привел в движение планеты и установил закон тяготения, все пошло само собой, без дальнейшей необходимости в божественном вмешательстве. Когда же Лаплас предположил, что те же самые силы, которые действуют сейчас, возможно, явились причиной возникновения планет, которые выделились под действием этих сил из Солнца, роль Бога в развитии природы уменьшилась еще больше. Он мог оставаться творцом, но даже это было сомнительно, поскольку не было ясно, имел ли мир начало во времени. Хотя большинство ученых являли собой пример набожности, однако воззрение, которое складывалось под влиянием их научной деятельности, представляло собой угрозу для религии, и совершенно естественно, что теологи были встревожены.

Другое важное следствие, вытекавшее из развития науки, – это глубокое изменение в представлении о месте человека в мироздании. В средние века Земля считалась центром небес и все имело целью служение человеку. В ньютоновском мире Земля была второстепенной планетой, не очень‑то выделяющейся звездой; астрономические расстояния были так огромны, что в сравнении с ними Земля была просто булавочной головкой. Казалось невероятным, чтобы весь этот громадный механизм был устроен для блага каких‑то жалких тварей, обитающих на этой булавочной головке. Кроме того, цель, которая со времен Аристотеля составляла внутреннюю сторону научных концепций, была теперь выброшена из научного процесса. Возможно, кое‑кто еще верил, что небеса существуют для того, чтобы провозглашать славу Господу, но никто не мог позволить этому верованию вмешиваться в астрономические вычисления. Возможно, мир имел цель, но она не могла больше учитываться при научном объяснении мира.

Теория Коперника должна была бы унизить человеческую гордость, но в действительности произошло противоположное, так как торжество науки возродило человеческую гордость. Умирающий античный мир мучился чувством греха и завещал его как тяжелую ношу средним векам. Быть смиренным перед Богом было и правильно, и вместе с тем благоразумно, так как Бог наказал бы за гордость. Эпидемии, наводнения, землетрясения, турки, татары и кометы ставили в тупик эти мрачные века, и считалось, что только все большим и большим смирением можно предотвратить эти действительные или угрожающие бедствия. Но оставаться смиренным, когда люди достигли таких успехов, стало невозможно.

Природа и ее законы были скрыты во тьме,

Но Бог сказал: «Да будет Ньютон», – и стало светло[[2]](#footnote-2).

А что касается вечных мук, то, вероятно, у творца такой огромной Вселенной были и более важные дела, чем посылать людей в ад за небольшие отступления от религии. Можно было осудить на вечные муки Иуду Искариота, но не Ньютона, хотя он и был арианцем.

Конечно, для того чтобы быть довольными собой, у людей существовало много и других важных причин. Татары сдерживались в пределах Азии, перестали быть угрозой и турки, Галлей своим открытием сделал кометы безобидными, а что касается землетрясений, то они, хотя все еще грозные, были настолько интересны, что ученые едва ли могли сожалеть о них. Западные европейцы быстро богатели и становились господами всего мира: они завоевали Северную и Южную Америку, были полновластны в Африке и в Индии, их уважали в Китае и боялись в Японии. Когда ко всему этому прибавилась еще победа науки, то не удивительно, что люди XVII века почувствовали себя живыми людьми, а не несчастными грешниками, как они все еще называли себя в воскресных богослужениях.

В некоторых отношениях концепции современной теоретической физики отличаются от взглядов ньютоновской системы. Прежде всего было установлено, что понятие «сила», которое было одним из ведущих понятий в XVII веке, не нужно. «Сила» у Ньютона – это причина изменения движения по величине или направлению. Понятие причины рассматривается как важное, а сила, понимаемая образно, – это что‑то вроде того, что мы испытываем, когда толкаем или тянем. При таком понимании силы возникало возражение против признания тяготения, поскольку оно действовало на расстоянии, и Ньютон сам допускал, что должна быть какая‑то среда, посредством которой оно передается. Постепенно было установлено, что все уравнения можно написать, не вводя силу. То, что поддавалось наблюдению, было отношением между ускорением и положением; сказать, что это отношение создано посредством «силы», это значило ничего не добавить к нашему знанию. Наблюдение показывает, что планеты в каждый момент имеют ускорение, направленное к Солнцу, которое изменяется обратно пропорционально квадрату расстояний их от Солнца. Сказать, что оно обязано «силе» тяготения, – это просто оговорка, это все равно, что сказать, что опиум усыпляет людей, потому что он обладает снотворным свойством. Поэтому современный физик просто устанавливает формулу, которая определяет ускорение, и избегает вместе с тем слова «сила». Понятие «сила» – это неясный призрак виталистических взглядов относительно причин движения, и постепенно этот призрак был изгнан.

До тех пор пока не появилась квантовая механика, в науке не было таких открытий, которые хоть в какой‑то степени видоизменили бы основной смысл первых двух законов движения, а именно то, что законы динамики должны быть сформулированы в терминах ускорения. В этом отношении Коперника и Кеплера все еще нужно зачислять в одну группу с древними; они искали законы, определяющие форму орбит небесных тел. Ньютон показал ясно, что законы, сформулированные в этом виде, могут быть лишь приближенно верными. Планеты не движутся точно по эллипсам из‑за возмущений, вызываемых влиянием других планет. И орбиты планет никогда точно не повторяются по той же причине. Но закон тяготения, связанный с ускорениями, был очень прост, и его считали совершенно точным в течение двух веков после Ньютона. Когда его исправил Эйнштейн, он все еще оставался законом, связанным с ускорениями.

Правда, закон сохранения энергии – это закон, связанный со скоростями, а не с ускорением. Но в расчетах, в которых используется этот закон, все еще во внимание принимается ускорение.

Что касается изменений, введенных квантовой механикой, они очень глубоки, но вопрос еще до некоторой степени противоречив и неопределенен.

Существует одно изменение по сравнению с философией Ньютона, которое следует упомянуть сейчас, – это отказ от абсолютного пространства и времени. Читатель помнит об упоминании этого вопроса в связи с Демокритом. Ньютон верил в пространство, составленное из точек, и во время, образованное из моментов, которые существуют независимо от тел и событий, находящихся в них. В отношении пространства он подкреплял свою точку зрения, опираясь на эмпирический аргумент, а именно то, что физические явления дают нам возможность различать абсолютное вращение. Если вода в ведре вращается, она поднимается у стенок и опускается в центре, но если вращается ведро, а не вода, такого результата не происходит. Позднее Жаном Фуко был проведен эксперимент с маятником, дающий то, что считается доказательством вращения Земли. Даже с точки зрения самых современных взглядов вопрос об абсолютном вращении представляет трудности. Если все движение относительно, то разница между гипотезой о том, что вращается Земля, и гипотезой о том, что вращаются небеса, является чисто словесной – она не больше, чем разница между предложениями «Джон – отец Джемса» и «Джемс – сын Джона». Но если вращаются небеса, то звезды должны двигаться со скоростью, превышающей скорость света, что считается невозможным. Нельзя сказать, что современное разрешение этих трудностей совершенно удовлетворительно, но оно достаточно удовлетворительно для того, чтобы заставить почти всех физиков принять точку зрения о том, что движение и пространство чисто относительны. Это вместе с соединением пространства и времени в пространство‑время существенно изменило наш взгляд на Вселенную по сравнению с тем, который проистекал из работ Галилея и Ньютона. Но на этом, как и на квантовой механике, я больше останавливаться не стану.

1. По этому вопросу см. гл. «Scientific Instruments in A History of Science, Technology and Philosophy in the Sixteenth and Seventeenth Centuries», by A. Wolf. [↑](#footnote-ref-1)
2. Nature & Newton's Law lay hid in hightsaid «Let Newton be», and all was light. [↑](#footnote-ref-2)