

Г. Галилей

1564—1642

О движении

Первая половина XVII в. в истории науки знаменательна по нескольким причинам. В этот период были получены важные конкретные научные результаты (создан телескоп, установлен закон преломления света, определены законы движения планет и др.). В то же время активно формировалась новая методология наук. На этом фоне особенно выделяется творчество ученого, который в своей исследовательской практике вырабатывал эту методологию, а значимостью сделанных им открытий доказывал ее эффективность. Этим ученым был итальянец Г. Галилей.

Галилео Галилей родился 15 февраля 1564 г. Его детство прошло в Пизе и Флоренции — городах Великого герцогства Тосканы. Отец будущего ученого был знатным, но обедневшим флорентийским патрицием, профессиональным музыкантом и композитором, автором серьезных исследований по истории и теории музыки. Отец хотел, чтобы Галилео стал врачом, и поэтому послал его учиться в Пизанский университет. Однако Галилею не нравилась медицина. С гораздо большим увлечением читал он сочинения Евклида и Архимеда, знакомство с которыми и определило судьбу молодого Галилея. Он оставляет университет и начинает серьезно заниматься механикой. Его первые научные работы были посвящены гидростатическим весам, определению центров тяжести. Специалисты высоко оценивают работы начинающего исследователя и помогают ему получить кафедру в университете сначала Пизы, а затем Падуи.

Падуанский период, продолжавшийся 18 лет, был самым плодотворным и спокойным в жизни ученого. Хотя с университетской кафедры Галилей излагал освященные церковью идеи перипатетиков о мироздании и даже «доказывал» справедливость геоцентризма, одновременно он страстно искал и находил новые подтверждения учения Коперника. Узнав в конце 1608 г. об изобретении за границей зрительной трубы, ученый занялся разработкой прибора собственной конструкции, используя сочетания двояковыпуклой и двояковогнутой линз. В 1609 г. Галилей добил-

ся успеха. Изготовив трубу, он тотчас же направил ее в небо, и это событие стало эпохальным в истории науки. Галилей открывает горы на Луне, четыре спутника Юпитера, сложное строение Млечного Пути, темные пятна на Солнце. Эти открытия убеждают его в необоснованности противопоставления перипатетиков земного и небесного, в справедливости идеи о бесконечности Вселенной, единстве всех природных явлений, наконец, в наличии суточного и годичного вращения Земли. Свои открытия он публикует в книге «Звездный вестник» (1610).

В 1610 г. Галилей покидает пределы Венецианской республики, независимой от папского Рима, и возвращается на родину, в Тоскану. Получив почетное место придворного математика и астронома у великого герцога — своего бывшего ученика, Галилей надеется, что сумеет теперь, избавившись от преподавания, целиком посвятить себя науке.

В Тоскане ученый пишет знаменитую книгу «Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой», которая выходит в свет в 1632 г. Написанное не на мертвой латыни, а на живом итальянском языке в виде бесед трех патрициев, это произведение делало любого непредубежденного читателя сторонником гелиоцентрической системы. Участниками диалога являются: Сальвиати, высказывающий в книге мысли самого автора, Симпличио (имя которого в переводе означает «простак»), сторонник учения Аристотеля, и Сагрето, выполняющий в книге функции объективного судьи, но под действием убедительных доводов Сальвиати становящийся сторонником нового учения. Отметим, что Сагрето и Сальвиати имели реальных прототипов, друзей Галилея. Диалоги ведутся в течение четырех дней. Все они нацелены на кинематическое и динамическое обоснование учения Коперника.

Хотя издание «Диалогов» было санкционировано церковными властями, вскоре после публикации книги ученый был вызван в Рим, где 12 апреля 1633 г. предстал перед генеральным комиссаром инквизиции. Под угрозой пыток больного Галилея заставили отречься от учения Коперника и покаяться. После этого ученого поместили под домашний арест на его загородную виллу в Арчетри и лишили возможности видаться и беседовать с друзьями и учениками. Лишь в последние годы жизни контроль над ним со стороны церкви немного ослаб.

Однако сломить Галилея церковь так и не смогла. В Арчетри он закончил свой последний труд «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению». В нем ученый обобщил свои открытия в области механики. Под двумя новыми науками, о которых говорится в названии книги, Галилей подразумевает динамику и сопротивление материалов. «Беседы» представляют собой естественное продолжение «Диалогов», в них те же участники, и построены они в форме бесед. Но последняя книга Галилея строже в научном отношении и выдержана в стиле луч-

ших образцов сочинений Архимеда: здесь приводятся подробные геометрические доказательства основных соотношений кинематики и динамики.

Галилей получил книгу, изданную в протестантском Лейдене, в 1638 г., но прочесть ее уже не мог: к этому времени он окончательно ослеп. Умер ученый 3 января 1642 г. Несомненно, что Галилей так и остался убежденным сторонником нового учения о строении мира. Недаром легенда приписывает ему слова, якобы произнесенные сразу после отречения: «И все-таки она вертится», — ставшие символом борьбы за научную истину.

Величие творчества Галилея состоит в том, что в исследовании природы он использовал научный метод, который В. И. Ленин определил как путь «от живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике...» (Полн. собр. соч. Т. 29. С. 152—153).

В отличие от английского философа Френсиса Бэкона, лишь теоретически провозгласившего необходимость планомерного эксперимента в познании природы, Галилей сумел практически реализовать экспериментальный метод, придав ему современные черты (создание модели реального процесса, абстрагирование от несущественных факторов, неоднократное повторение опыта и т. д.). С другой стороны, он возродил математический подход Архимеда к исследованию явлений природы, провозгласив, что «книга природы написана на языке математики, ее буквами служат треугольники, окружности и другие геометрические фигуры, без помощи которых человеку невозможно понять ее речь; без них — напрасные блуждания в темном лабиринте».

Творчество Галилея отличается удивительной глубиной проникновения в суть явлений, позволяющей считать выдающегося итальянского ученого родоначальником физической науки в современном ее понимании.

В своих произведениях Галилей касался столь широкого круга проблем, рассматриваемых теперь во всех курсах физики, что даже перечислить их здесь невозможно. Однако главная заслуга ученого — это новый подход к описанию и анализу движения. Приводимые здесь отрывки посвящены именно этой проблеме. Из них первый и второй характеризуют стиль «Диалогов», а третий, взятый из «Бесед», дает представление о математических методах, использовавшихся Галилеем, и уровне проводившихся им экспериментов.

Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой

День второй

Сальвиати. Я также хочу, чтобы вы продолжали твердо держаться того, что явления на Земле должны соответствовать явлениям на корабле; ведь если бы это оказалось несоответствующим вашей цели, вам не жаль было бы изменить мнение. Вы говорите: так как, когда корабль стоит неподвижно, камень падает к подножью мачты, а когда движется, падает далеко от подножья, то, следовательно, и наоборот, из падения камня к подножью вытекает, что корабль стоит неподвижно, а падение камня на некотором расстоянии доказывает, что корабль находится в движении; а так как то, что происходит на корабле, равным образом происходит и на Земле, то из падения камня к подножью башни вытекает с необходимостью неподвижность земного шара. Не таково ли ваше рассуждение?

Симпличио. Совершенно верно, таково оно, изложенное в простой форме, которая делает его в высшей степени удобной для усвоения.

Сальвиати. Скажите же мне, если бы камень, выпущенный с вершины мачты плывущего с большой скоростью корабля, упал в точности в то же самое место, куда он падает, когда корабль стоит неподвижно, то какую службу сослужил бы вам этот опыт с падением для решения вопроса, стоит ли судно неподвижно или же плывет?

Симпличио. Решительно никакой. Точно так же, например, по биению пульса нельзя узнать, спит ли кто или бодрствует, поскольку пульс бьется одинаково как у спящих, так и бодрствующих.

Сальвиати. Отлично. Производили ли вы когда-нибудь опыт на корабле?

Симпличио. Я его не производил, но вполне уверен, что те авторы, которые его производили, тщательно его рассмотрели. Кроме того, причины различия столь ясны, что не оставляют места для сомнения.

Сальвиати. Возможно, что эти авторы ссылались на опыт, не производя его. Вы сами являетесь тому хорошим примером, когда, не производя опыта, объявляете его достоверным и предлагаете нам на слово поверить им. Совершенно так же не только возможно, но и достоверно, что авторы поступали таким же образом, отсылая к своим предшественникам и никогда не доходя до того, кто этот опыт проделал сам, ибо всякий, кто его проделает, найдет, что опыт показывает совершенно обратное написанному, а именно, что камень всегда упадет в одно и то же место корабля, неподвижен ли тот или движется с какой угодно скоростью.

Отсюда, так как условия Земли и корабля одни и те же, следует, что из факта всегда отвесного падения камня к подножью башни нельзя сделать никакого заключения о движении или покое Земли. Камень, падающий с корабельной мачты, всегда попадает в одно и то же место, движется ли корабль или стоит на месте.

Симпличио. Если бы вы отослали меня к иным доводам, а не к опыту, то споры наши, я думаю, окончились бы не так скоро, ибо предмет этот кажется мне столь недоступным для человеческого разума, что исключается возможность что-либо утверждать или предполагать.

Сальвиати. И, однако, я считаю возможным это сделать.

Симпличио. Как же это, не проделав ни ста испытаний, ни даже одного, вы выступаете столь решительным образом? Я возвращаюсь к своему неверию и к убеждению, что опыт был произведен первоначальными авторами, которые на него ссылаются, и что он показывает то, что они утверждают.

Сальвиати. Я и без опыта уверен, что результат будет такой, как я вам говорю, так как необходимо, чтобы он последовал. Более того, я скажу, что вы и сами также знаете, что не может быть иначе, хотя притворяетесь или делаете вид, будто не знаете этого. Но я достаточно хороший ловец умов и насильно вырву у вас признание. Однако синьор Сагрето совсем умолк, хотя, мне кажется, я заметил какое-то движение, точно он хотел что-то сказать.

Сагрето. Я в самом деле хотел кое-что сказать, но любопытство, вызванное вашим заявлением, что вы вынудите синьора Симпличио открыть намеренно скрываемое от нас знание, заставило меня отложить всякое иное попечение; прошу вас осуществить обещанное.

Сальвиати. Лишь бы синьор Симпличио сообразовал отвечать на мои вопросы, а за мной дело не станет.

Симпличио. Я буду отвечать то, что знаю, и уверен, что затруднений у меня будет мало, так как о вещах, которые я считаю ложными, думается, нельзя знать ничего, поскольку наука есть наука об истинном, а не о ложном.

Сальвиати. Я не хочу ничего, кроме того, чтобы вы говорили или отвечали только то, что сами достаточно знаете. Поэтому скажите мне: если у вас имеется плоская поверхность, совершенно гладкая, как зеркало, а из вещества твердого, как сталь, не параллельная горизонту, но несколько наклонная, и если вы положите на нее совершенно круглый шар из вещества тяжелого и весьма твердого, например из бронзы, то что, думаете вы, он станет делать, будучи предоставлен самому себе? Не думаете ли вы (как я думаю), что он будет неподвижным?

Симпличио. Если эта поверхность наклонна?

Сальвиати. Да, как мы и предположили.

Симпличио. Никоем образом не думаю, чтобы он остался неподвижным. Наоборот, я уверен, что он сам собою двигался бы по наклону.

Сальвиати. Вдумайтесь хорошенько в свои слова, синьор Симпличио, ибо я уверен, что он будет пребывать в неподвижности в любом месте, куда бы вы его ни поместили.

Симпличио. Если вы, синьор Сальвиати, станете пользоваться подобного рода предположениями, я перестану удивляться тому, что вы делаете совершенно ложные выводы.

Сальвиати. Значит, вы считаете совершенно достоверным, что шар будет двигаться по наклону сам собой?

Симпличио. Разве в этом можно сомневаться?

Сальвиати. И вы считаете это неоспоримым не потому, что я вам это внушил (ведь я старался убедить вас в противном), но на основании собственного суждения?

Симпличио. Теперь я понимаю вашу хитрость. Вы говорили так, чтобы испытать меня или подловить, как говорится в просторечии, а вовсе не потому, что думали так на самом деле?

Сальвиати. Именно. И как долго продолжал бы двигаться шар и с какой скоростью? Заметьте, что я говорил о шаре совершенно круглом и о плоскости совершенно гладкой, чтобы устранить все внешние и случайные препятствия. Я хочу также, чтобы вы отвлеклись от сопротивления, оказываемого воздухом своему разделению, и от всех случайных помех, какие могут встретиться.

Симпличио. Я все прекрасно понял и на ваш вопрос отвечаю так: шар продолжал бы двигаться до бесконечности, лишь бы продолжалась такая плоскость, и притом движением непрерывно ускоряющимся, ибо такова природа тяжелых движущихся тел, которые *vires acquirit eundo*¹; и чем больше будет наклон, тем больше будет и скорость.

Сальвиати. Но если бы кому-нибудь захотелось, чтобы этот же шар двигался по той же плоскости вверх, думаете ли вы, что он пошел бы таким образом?

Симпличио. Самостоятельно нет, но втащить его или с силой бросить вверх можно.

Сальвиати. А если бы он был приведен в такое движение насильственно переданным ему импульсом, каково и сколь продолжительно было бы его движение?

Симпличио. Движение шло бы, постепенно ослабевая и замедляясь, поскольку оно противоестественно, и было бы более продолжительным или более кратким в зависимости от большей или меньшей крутизны подъема.

Сальвиати. Как будто вы объяснили мне сейчас случаи движения по двум разного рода плоскостям: на наклонной плоскости движущееся тело самопроизвольно опускается, двигаясь с непрерывным ускорением, так что требуется применить силу для того, чтобы удержать его в покое. На плоскости, поднимающейся вверх, требуется сила для того, чтобы двигать тело вверх, и даже для того, чтобы удержать его в покое, причем сообщенное телу движение непрерывно убывает, так что в конце концов вовсе уничтожается. Добавим еще, что, кроме того, в том и дру-

гом случае возникает различие в зависимости от того, больше или меньше наклон или подъем плоскости, причем при большем наклоне имеет место бóльшая скорость, и, наоборот, при поднимающейся плоскости то же тело, движимое той же самой силой, продвигается на тем большее расстояние, чем меньше высота подъема. А теперь скажите мне, что произошло бы с тем же движущимся телом на поверхности, которая не поднимается и не опускается?

Симпличио. Здесь мне нужно немного подумать над ответом. Раз там нет наклона, то не может быть естественной склонности к движению, и раз там нет подъема, не может быть противодействия движению, так что тело оказалось бы безразличным по отношению как склонности к движению, так и противодействию ему. Мне кажется, что оно должно оставаться неподвижным. Однако я совсем забыл, что синьор Сагрето еще совсем недавно растолковал мне, что это так и должно быть.

Сальвиати. Так, думаю я, если бы шар положить неподвижно; но если придать ему импульс движения в каком-нибудь направлении, то что впоследствии было бы?

Симпличио. Воспоследовало бы его движение в этом направлении.

Сальвиати. Но какого рода было бы это движение: непрерывно ускоряющееся, как на плоскости наклонной, или постепенно замедляющееся, как на плоскости поднимающейся?

Симпличио. Я не могу открыть здесь причины для ускорения или для замедления, поскольку тут нет ни наклона, ни подъема.

Сальвиати. Так, но если здесь нет причины для замедления, то тем менее может находиться здесь причина для покоя. Поэтому сколь долго, полагаете вы, продолжалось бы движение этого тела?

Симпличио. Столь долго, сколь велика длина такой поверхности без спуска и подъема.

Сальвиати. Следовательно, если бы такое пространство было беспредельно, движение по нему равным образом не имело бы предела, т. е. было бы постоянным?

Симпличио. Мне кажется, что так, если бы тело было из прочного материала.

Сальвиати. Это уже предполагается, поскольку было сказано, что устраняются все привходящие и внешние препятствия, а разрушаемость движущегося тела есть одно из привходящих препятствий. Скажите мне, что именно считаете вы причиной того, что этот шар движется по наклонной плоскости самостоятельно, а по плоскости поднимающейся не иначе, как насильственно?

Симпличио. То, что тяжелые тела имеют свойство естественно двигаться к центру Земли и лишь насильственно вверх к периферии, наклонная же поверхность такова, что приближает к центру, поднимающаяся удаляет.

Сальвиати. Следовательно, поверхность, которая не имела бы ни наклона, ни подъема, должна была бы во всех своих частях одинаково отстоять от центра. Но из подобных плоскостей есть ли где такие в мире?

Симпличио. Такие есть, хотя бы поверхность нашего земного шара, будь только она вполне гладкой, а не такой, какова она на самом деле, т. е. неровной и гористой. Такова, например, поверхность воды, когда она тиха и спокойна².

Сальвиати. Следовательно, корабль, движущийся по морской глади, есть одно из тех движущихся тел, которые скользят по одной из таких поверхностей без наклона и подъема и которые поэтому имеют склонность в случае устранения всех случайностей и внешних препятствий двигаться с раз полученным импульсом постоянно и равномерно?

Симпличио. Кажется, что так должно быть.

Сальвиати. И тот камень, который находится на вершине мачты, не движется ли он, переносимый кораблем по окружности круга, вокруг центра, следовательно, движением, в нем не уничтожаемым при отсутствии внешних препятствий? И это движение не столь же ли быстро, как движение корабля?

Симпличио. До сих пор все идет хорошо. Но дальше?

Сальвиати. Не выведете ли вы, наконец, сами и последнее заключение, если сами знаете вперед все посылки?

Симпличио. Вы хотите назвать последним заключением то, что этот камень благодаря движению, в него вложенному, не способен ни отставать от хода корабля, ни опережать его и должен в конце концов упасть в то самое место, куда упал бы, когда корабль стоит неподвижно. <...>

Опыт, показывающий несостоятельность всех опытов, приводимых против движения Земли

Сальвиати. <...> И здесь в качестве последнего подтверждения ничтожности всех приведенных примеров мне кажется своевременным и уместным показать способ, которым легче всего проверить их на опыте. Уединитесь с кем-либо из друзей в просторное помещение под палубой какого-нибудь корабля, запаситесь мухами, бабочками и другими подобными мелкими летающими насекомыми. Пусть будет у вас там также большой сосуд с водой и плавающими в нем маленькими рыбками. Подвесьте наверху ведро, из которого вода будет падать капля за каплей в другой сосуд с узким горлышком, подставленный внизу. Пока корабль стоит неподвижно, наблюдайте прилежно, как мелкие летающие животные с одной и той же скоростью движутся во все стороны помещения; рыбы, как вы увидите, будут плавать безразлично во всех направлениях; все падающие капли попадут в подставленный сосуд, и вам, бросая какой-нибудь

предмет, не придется бросать его с большей силой в одну сторону, чем в другую, если расстояния будут одни и те же; и если вы будете прыгать сразу двумя ногами, то сделаете прыжок на одинаковое расстояние в любом направлении. Прилежно наблюдайте все это, хотя у нас не возникает никакого сомнения в том, что, пока корабль стоит неподвижно, все должно происходить именно так. Заставьте теперь корабль двигаться с любой скоростью, и тогда (если только движение будет равномерным и без качки в ту или другую сторону) во всех названных явлениях вы не обнаружите ни малейшего изменения и ни по одному из них не сможете установить, движется ли корабль или стоит неподвижно. Прыгая, вы переместитесь по полу на то же расстояние, что и раньше, и не будете делать больших прыжков в сторону кормы, чем в сторону носа, на том основании, что корабль быстро движется, хотя за то время, как вы будете в воздухе, пол под вами будет двигаться в сторону, противоположную вашему прыжку, и, бросая какую-нибудь вещь товарищу, вы не должны будете бросать ее с большей силой, когда он будет находиться на носу, а вы на корме, чем когда ваше взаимное положение будет обратным. Капли, как и ранее, будут падать в нижний сосуд, и ни одна не упадет ближе к корме, хотя, пока капля находится в воздухе, корабль пройдет много пядей. Рыбы в воде не с большим усилием будут плыть к передней, чем к задней части сосуда; настолько же проворно они бросятся к пище, положенной в какой угодно части сосуда. Наконец, бабочки и мухи по-прежнему будут летать во всех направлениях, и никогда не случится того, чтобы они собрались у стенки, обращенной к корме, как если бы устали, следуя за быстрым движением корабля, от которого они были совершенно обособлены, держась долгое время в воздухе. Если от капли зажженного ладана образуется немного дыма, то видно будет, как он восходит вверх и держится наподобие облачка, двигаясь безразлично, в одну сторону не более, чем в другую. И причина согласованности всех этих явлений заключается в том, что движение корабля обще всем находящимся на нем предметам, так же как и воздуху. <...>

Сагрето. Хотя во время плавания мне не приходило на ум намеренно производить такие наблюдения, я во всяком случае более чем уверен, что они происходят именно так, как рассказано. В подтверждение этого припоминаю, что сотни раз, сидя в своей каюте, я спрашивал себя, движется корабль или стоит неподвижно. Иногда, в задумчивости, я полагал, что корабль движется в одном направлении, тогда как движение его шло в сторону противоположную. Поэтому я теперь чувствую себя удовлетворенным и совершенно убежден в отсутствии всякой ценности всех опытов, проводимых для доказательства большей вероятности отсутствия, чем существования обращения Земли. <...>

Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению

День третий

О естественно ускоренном движении

Теорема 1. Предложение 1. Время, в течение которого тело, вышедшее из состояния покоя и движущееся равномерно ускоренно, проходит некоторое расстояние, равно времени, в течение которого это же расстояние было пройдено тем же телом при равномерном движении, скорость которого равна половине наибольшей конечной скорости, достигаемой при первом равномерно ускоренном движении³.

Пусть линия AB [рис. 17] представляет время, в течение которого тело, выйдя из состояния покоя в точке C , проходит при равномерно ускоренном движении расстояние CD . Отметим степени скоростей, приобретаемых телом в конце каждой отдельной частицы времени AB ; степени эти, постепенно увеличиваясь, возрастают в конце до величины EB , которую и отложим на линии, перпендикулярной AB ; соединив точки A и E , проведя линии, параллельные EB , на равных друг от друга расстояниях, отложенных на AB , мы представим таким способом возрастающие степени скорости, начиная от A . Разделим линию EB пополам в точке F и проведем линии FG и GA , параллельные AB и соответственно FB . Площадь параллелограмма $GAFB$ будет равна площади треугольника AEB , так как линия FG делит AE пополам в точке I . Если продолжить параллельные линии, заключенные в треугольнике AEB , до линии IG , то сумма параллельных сторон четырехугольника равна сумме тех же сторон треугольника AEB . В самом деле, сумма сторон треугольника IEF равна сумме сторон треугольника GIA , остающиеся же стороны, заключенные в трапеции $AIFB$, являются общими. Так как каждому отдельному времени AB соответствует и отдельная точка на линии AB , а проведенные через эти точки параллели в треугольнике AEB представляют возрастающие степени скорости, в то время как такие же параллели внутри параллелограмма представляют равную им совокупность равномерных скоростей, то ясно, что все моменты скорости ускоренного движения показаны возрастающими параллельными линиями треугольника AEB , а равномерного движения — аналогичными линиями GB параллелограмма; то, чего недостает моментам в первое время движения (т. е. моментам, представленным параллельными линиями в треугольнике AGI), возмещается моментами, показанными параллельными линиями треугольника IEF . Отсюда следует, что

Отсюда вытекает, что расстояния относятся и как квадраты максимальных конечных скоростей, т. е. PE и OD , ибо отношения PE к OD и AE к AD равны.

Следствие 1. Из вышеизложенного получаем, что если от начального мгновения движения взять равные промежутки времени AD, DE, EF, FG , в течение которых телом пройдены расстояния HL, LM, MN, NI , то последние будут относиться между собой как ряд последовательных нечетных чисел, т. е. как 1:3:5:7. Действительно, именно такое отношение существует между разностями квадратов линий произвольной длины, постепенно увеличивающихся на длину наименьшей из этих линий (разностями между квадратами всех чисел, начиная с единицы). Таким образом, в то время, как скорость возрастает в равные промежутки времени как простой ряд последовательных чисел, расстояния, пройденные за те же промежутки времени, относятся между собой как последовательные нечетные числа.

Сагредо. Приостановите, пожалуйста, на минуту ваше чтение, так как мне хочется поделиться с вами одной мыслью, пришедшей мне в голову. Для того чтобы лучше изложить ее и сделать более ясной как для самого себя, так и для вас, я сделаю небольшой рисунок. Пусть линия AI [рис. 19] изображает промежуток времени, первым мгновением которого является A . Через A я провожу прямую линию AF под любым углом к первой, соединяя конечные точки I и F , разделяя время AI пополам в точке C и провожу через нее линию BC , параллельную FI . Рассматривая BC как максимальную степень скорости, каковы степени, начиная с мгновения A выхода тела из состояния покоя, идут, возрастая, совершенно так же, как линии, параллельные BC и проведенные в треугольнике ABC (т. е. растут в соответствии с возрастанием времени), я принимаю без дальнейших доказательств, основываясь на предшествующих рассуждениях, что пространство, пройденное телом, падающим с подобной возрастающей скоростью, равно тому пространству, которое оно пройдет, если будет двигаться в продолжение того же времени AC равномерно, и степень его скорости будет равна EC , т. е. половине BC . Пойдем теперь далее и представим себе, что тело, движущееся равномерно ускоренно, достигает точки C и обладает степенью скорости BC . Ясно, что если бы оно продолжало дальнейшее движение с той же степенью скорости BC без ускорения, то в следующий промежуток времени IC оно прошло бы расстояние, вдвое большее того, которое оно может пройти в равный промежуток времени AC , двигаясь с постоянной скоростью EC , равной половине BC . Так как, однако, тело падает со скоростью, постоянно и равномерно увеличивающейся в равные промежут-

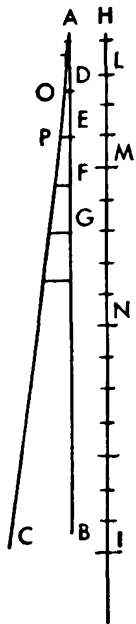


Рис. 18

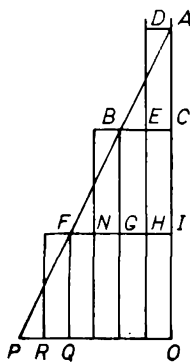


Рис. 19

ки времени, то в течение следующего промежутка времени к степени скорости его BC будут прибавляться наращенные, соответствующие параллелям треугольника BFG , равного треугольнику ABC . Таким образом, прибавив к степени скорости IG половину скорости FG — наибольшей из приобретенных при ускоренном движении и выражающихся параллелями треугольника BFG , — мы будем иметь степень скорости IN , с которой тело двигалось бы равномерно в течение промежутка времени IC . Так как IN вдвое больше EC , то выходит, что расстояние, пройденное за второй промежуток времени IC , должно быть в три раза более того, которое пройдено за первый промежуток времени AC . И если мы представим себе, что к AI прибавляется следующий равный

промежуток времени IO , а треугольник возрастает до APO , то ясно, что если бы движение продолжалось в течение всего времени IO со степенью скорости IF , приобретенной при ускоренном движении за время AI , то расстояние, пройденное за время IO , было бы равно учетверенному расстоянию, пройденному в первый промежуток времени AC , так как степень скорости IF в четыре раза превышает EC . Но нарастание ускоренного движения идет в треугольнике FPQ совершенно так же, как в треугольнике ABC , и, приведенное к соответственному равномерному движению, дает приращение, равное EC . Поскольку, прибавляя RQ , равное EC , мы получаем общую скорость равномерного движения в течение времени IO , в пять раз превышающую скорость равномерного движения в течение первого периода AC . Следовательно, и пройденное пространство будет в пять раз более пройденного в течение первого промежутка времени AC . Таким образом, из этого простого вычисления мы видим, что расстояния, проходимые в равные промежутки времени телом, вышедшим из состояния покоя и движущимся со скоростями, нарастающими в соответствии со временем, относятся между собой как нечетные числа 1, 3, 5 и т. д. Если же мы сложим пройденные пути, то найдем, что в удвоенное время будет пройден путь, в четыре раза больший, и т. д. Вообще, пройденные пути будут относиться между собой как квадраты промежутков времени.

Симплицио. Простое и ясное рассуждение синьора Сагрето понравилось мне, право, много более, нежели несколько неясные для меня доказательства нашего Автора⁷. Теперь я в достаточной мере убежден, что явление должно происходить именно так, если только принять указанное определение равномерно ускоренного движения. Но действительно ли таково ускорение, которым природа пользуется при движении тяжелых падающих тел, остается для меня сомнительным. Поэтому для поучения меня и других, мне подобных, не мешало бы теперь привести несколько опытов из числа многих выполненных, которые показали бы, что различ-

ные случаи падения тел совпадают с приведенными заключениями.

Сальвиати. Вы, как подлинный ученый, предъявляете совершенно основательное требование. Оно особенно уместно в отношении таких наук, в которых для объяснения законов природы применяются математические доказательства. Таковы, например, перспектива, астрономия, механика, музыка и другие аналогичные науки. В них опыт, воспринимаемый чувствами, подтверждает принципы, являющиеся основой всех дальнейших построений. Однако мне не хотелось бы, чтобы у вас создалось впечатление, будто мы слишком подробно остановились на первом и основном положении, на котором покоится колоссальное здание бесчисленных выводов, лишь в малой доле затронутых нашим Автором в настоящем сочинении. Он сделал достаточно уже одним тем, что открыл пытливым умом запертые до сего времени двери. Что касается опытов, то Автор не упустил из виду их произвести, и чтобы убедиться в том, что ускорение естественно падающих тел происходит описанным выше образом, я много раз в обществе нашего Автора производил следующий опыт.

Вдоль узкой стороны линейки или, лучше сказать, деревянной доски длиной около двенадцати локтей, шириной пол-локтя и толщиной около трех дюймов был прорезан канал шириной немного больше одного дюйма. Канал этот был прорезан совершенно прямым и, чтобы сделать его достаточно гладким и скользким, оклеен внутри возможно ровным и полированным пергаментом; по этому каналу мы заставляли падать гладкий шарик из твердой бронзы совершенно правильной формы. Установив изготовленную таким образом доску, мы поднимали конец ее над горизонтальной плоскостью когда на один, когда на два локтя и заставляли скользить шарик по каналу, отмечая способом, о котором речь будет идти ниже, время, необходимое для пробега им всего пути. Повторяя много раз один и тот же опыт, чтобы точно определить время, мы не находили никакой разницы даже на одну десятую времени биения пульса. Точно установив это обстоятельство, мы заставляли шарик проходить лишь четвертую часть длины того же канала. Измерив время его падения, мы всегда находили самым точным образом, что оно равно всего половине того, которое наблюдалось в первом случае. Производя далее опыты при различной иной длине пути, сравнивая время прохождения всей линейки со временем прохождения половины, двух третей, трех четвертей или любых иных частей ее и повторяя опыты сотни раз, мы постоянно находили, что отношение пройденных путей равно отношению квадратов времени их прохождения при всех наклонах плоскости, т. е. канала, по которому скользил шарик. При этом мы наблюдали также, что промежутки времени пробега пути при различных наклонах относятся между собой именно так, как утверждает и доказывает далее Автор. Что касается способа измерения времени, то мы пользовались большим ведром, наполненным водой и подве-

шенным наверху. В дне ведра был проделан узкий канал, через который вода изливалась тонкой струйкой и собиралась в маленьком бокале в течение всего того времени, как шарик спускался по всему каналу или части его. Собранные таким образом количества воды каждый раз взвешивались на точнейших весах. Разность и отношение веса воды для разных случаев давали нам разность и отношение времен падения, и притом с такой точностью, что, как я уже упоминал, повторяя один опыт много и много раз, мы не могли заметить сколько-нибудь значительных отклонений. (<...>)

Замечание. То, что доказано в отношении падения тел в вертикальном направлении, справедливо и в отношении падения по любым наклонным плоскостям. И в этом случае скорость увеличивается по тому же закону, т. е. в соответствии с ростом времени, иными словами, как последовательный ряд целых чисел. (<...>)

Комментарий

Отрывки из сочинений Г. Галилея воспроизводятся по изданию: Галилей Г. Избранные сочинения. В 2 т., 1964. Переводы с итальянского «Диалогов» (т. 1) и «Бесед» (т. 2) выполнены А. И. Долговым.

¹ Приобретают силы в пути (лат).

² Следует помнить, что Галилей считал, что движением по инерции является равномерное обращение тела по окружности. Идея о прямолинейном движении по инерции была выдвинута позднее; ее, в частности, придерживался Р. Декарт.

³ Данная теорема и ее доказательство были известны уже в XIV в.; она часто встречается в печатных трудах по физике XVI в.

⁴ Следует иметь в виду, что во времена Галилея еще не пользовались алгебраической нотацией и в соответствии с традицией, восходящей еще к античности, допустимо было рассмотрение отношений лишь «однородных» (т. е. имеющих одинаковую размерность) величин. Этим и определяются формулировки теорем, доказываемых Галилеем.

⁵ По старинной терминологии, когда величины a , b , c и d были связаны соотношением $a : b = c^2 : d^2$, говорили, что a находится к b «в удвоенном отношении с к d »; если $a : b = c^4 : d^4$, то говорились: «в утроенном отношении с к d »; если $a : b = c^{1/2} : d^{1/2}$, то — «в половинном отношении» и т. п.

⁶ Т. е. $s_1 : s_2 = v_1 t_1 : v_2 t_2$.

⁷ Под словом «Автор» скрывается сам Галилей.

Литература

- [1] Собрание сочинений Г. Галилея: Le opere di Galileo Galilei. Vols. 1—20. Firenze, 1929—1939.
- [2] Галилей Г. Пробирных дел мастер. М., 1987.
- [3] Кузнецов Б. Г. Галилей. М., 1964.
- [4] Штекли А. Э. Галилей. М., 1972.

Голин Г. М., Филонович С. Р.

Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.): Справ. пособие. — М.: Высш. шк., 1989. — 576 с.: ил. ISBN 5-06-000058-3