

ем угловой скорости, различал движение с переменной (в пространстве и времени) скоростью, пытался сформулировать некоторый количественный закон роста скорости падающего тела (считал, что скорость должна расти пропорционально пройденному пути).

Подводя итоги более чем 18-векового пути развития науки (от Аристотеля) следует отметить, что эволюция механико-математических знаний в этот период проходила крайне низкими темпами. Состояние стагнации, переживаемое европейской цивилизацией после ярких успехов древнегреческой и римской культур, было следствием постепенных, но весьма радикальных перемен в системе общественных ценностей.

Длительные экономические трудности, затянувшееся становление европейской государственности, бесконечные разрушительные войны, жесткий культ церкви привели к разрушению высокого авторитета культурных, образовательных и научных ценностей. Перемены в общественном сознании, как результат расширения сети учебных заведений (школ, училищ, университетов), возникновения новых естественно-научных и технических задач, начинают проявляться только с XIV в.

1.4. Механика эпохи Возрождения

Конец средневековья характеризуется зарождением новых общественных отношений. В растущих городах власть постепенно переходит от господ по праву рождения к господам по праву богатства — торговцам, старшинам ремесленных цехов. В связи с ростом строительства городов, церквей, монастырей, оборонных и гидротехнических сооружений, мельниц¹ разного профиля (для помола зерна, распиловки досок, изготовления пеньки, бумагоделательные², железоделательные, сукновальни и другие), изобретением огнестрельного оружия (XIV в.), механических часов с гирями, появляется профессия инженера. Поначалу она не была цеховой и означала лишь совокупность знаний, которыми должен владеть архитектор, скульптор или художник помимо основных профессиональных умений. Очевидно, что инженер для строитель-

¹ Первые мельницы (водяные) строились на горных реках Закавказья (I в.), в странах арабского халифата, где это искусство достигло расцвета (в VIII в. на территории Персии, Ирака, Афганистана появились ветряные мельницы).

² Бумага была изобретена раньше на Востоке. В Самарканде в IX в. ее умели делать из тряпья.

ства укреплений, машин, архитектурных объектов не мог обойтись без знания механики. Напомним, что время, о котором идет речь, именуется еще эпохой великих географических открытий, бурного развития торговых и завоевательских походов, что требовало развития транспорта (судходного и сухопутного), астрономических наблюдений (для навигационных целей), военной техники. В Европе начинается подъем интеллектуальной деятельности. Особую роль в возрождении западной культуры в силу своего географического положения (плацдарм торговых походов на Восток, «ворота» для притока византийских ученых и их трудов), наличия сложившихся научных традиций и университетов стала играть Италия. В XV–XVI вв. Европа переживает эпоху Возрождения.

Возрождение греко-римских культурных традиций, начавшееся в Италии, проявлялось в стремлении городской буржуазии возродить и даже превзойти легендарное величие и красоту Античности. Крупные богачи, захватившие власть в городах-государствах, подобно Медичи во Флоренции, соревновались друг с другом в поощрении архитектуры, живописи, скульптуры, музыки и изящной литературы. В других странах Западной Европы разложение феодального общества и потеря могущества феодалами были использованы отдельными монархами преимущественно для укрепления своей централизованной власти. Этот процесс также сопровождался сооружением роскошных дворцов и поощрением архитектуры, искусств и литературы.

Развитию гуманитарного направления в культуре Западной Европы XV–XVI вв. косвенно способствовало одно важное политическое событие — завоевание в 1453 г. Константинополя турками, приведшее к массовому бегству на Запад последних представителей византийский образованности. В эту эпоху начала бурно развиваться светская литература. Широко переиздавались в подлинниках и в переводе вновь открытые произведения античных писателей, поэтов, историков, философов и естествоиспытателей. Передовые слои общества получили возможность подняться до уровня образованности античной цивилизации. Но этот этап Возрождения только намечал задачи развития естествознания, теоретическое мышление еще соответствовало уровню эллинистической эпохи.

Университетская наука переключилась главным образом на изучение литературных памятников античной культуры, присоединив к авторитету деятелей церкви авторитет античных писателей и филосо-

фов. Это привело к еще большему отрыву официальной христианско-схоластической науки от естествознания и математики. Но, несмотря на смещение акцентов, интерес к техническим изобретениям возрастает. Наряду с переизданием и переводом древних трудов Витрувия и Герона появляются новые подробные руководства по фортификации, строительству гидротехнических сооружений и другим отраслям техники, сводные описания механизмов, называвшиеся «Театрами машин» [195]. Процессу распространения знаний способствовало изобретение Иоганном Гутенбергом в Страсбурге печатного пресса, первой продукцией которого стала 42-страничная Библия (1455).

Наиболее крупный вклад в механику эпохи Возрождения внесли немецкий кардинал Николай Кузанский, итальянский художник, скульптор, литератор и ученый Леонардо да Винчи, польский каноник, астроном, врач и юрист Николай Коперник, французский философ Юлий Цезарь Скалигер, испанский ученый Доминико Сото¹, итальянские ученые Николо Тарталья, Джироламо Кардано, Джамбаттиста Бенедетти, Гвидо Убальдо дель Монте.

Сторонник экспериментальных методов в естественных науках Н. Кузанский свой труд «О статических экспериментах» написал в форме диалога между «Оратором» и «Простаком», то есть человеком несведущим. В нем излагается целая программа экспериментальных количественных исследований с помощью весов и предлагается объяснение ряда явлений. Например, рассматривается задача измерения продолжительности падения тел одинакового веса. В сочинении «Об игре в мяч» он развивает теорию Филопона о передаче и сохранении импульса: импульс («напор»), передаваемый телом в начале движения, может в нем сохраняться или исчезать, передаваясь другим телам.

Леонардо да Винчи развивал некоторые идеи Н. Кузанского. В «Замечаниях об игре в шары», рассматривая падение тела под углом к горизонту, он вводит понятие «составного» и «разлагаемого импульса», говорит о возможности перехода от «насильственного» движения, то есть бросания, к «естественному», то есть вертикальному па-

¹Учился в Парижском университете, член ордена доминиканцев. В своих работах пытался объединить «Физику» Аристотеля с учением об импульсе. Развивал идеи Орема и «калькуляторов». Утверждал, что тип «униформно-дифформного» движения «присущ телам, движущимся естественным движением, а также брошенным телам» [40, с. 81]. Таким образом, он более чем на полстолетия предвосхитил вывод Галилея о постоянстве ускорения падающих тел.

дению. Как инженер, автор многочисленных изобретений (приспособления для преобразования и передачи движения, ременные передачи, конические, спиральные, ступенчатые сцепления, роликовые опоры для уменьшения трения, молотобойная машина для формовки слитков золота и другие станки и приспособления, прообраз современных подшипников, ткацкие машины, боевые машины, музыкальные инструменты, очки, параболическое зеркало, первая модель крылатого летательного аппарата (1490), парашюта, вертолета), Леонардо да Винчи много времени уделял не просто экспериментированию, но и тем выводам, которые можно получить математическими методами. Идеи номиналистов, «количественные наблюдения» Н. Кузанского в творчестве Леонардо да Винчи приобретают черты устойчивой тенденции к математизации естественнонаучных и технических знаний. Это подтверждают его работы о центрах тяжести (тетраэдра, произвольной пирамиды), о равновесии механизмов (момент силы относительно точки, сложение и разложение сил, условия равновесия на наклонной плоскости), арок, о свойствах трения, о явлении удара тел. В «Кодексе о полете птиц» он писал: «... никакое человеческое исследование не может претендовать на то, чтобы быть истинной наукой, если оно не использует математических доказательств и нет никакой уверенности там, где нельзя применить одну из математических наук» [54, с. 52].

Среди многочисленных заметок, рассеянных по его рукописям, можно встретить многие динамические идеи, значительно обогнавшие его время. «Всякое движение стремится к своему сохранению, или же каждое движущееся тело движется постоянно, пока в нем сохраняется действие его двигателя», «... движение весла против неподвижной воды аналогично движению воды против неподвижного весла», «такая же сила создается предметом против воздуха, что и воздухом против предмета», «силой я называю духовную способность, невидимую потенцию, которая через случайное внешнее насилие вызывается движением, помещается и вливается в тела, извлекаемые и отклоняемые от своего естественного бытия, причем она дает им активную жизнь удивительной мощности; она принуждает все созданные вещи к изменению формы и положения... Ни одна вещь не движется без нее. Тело, в котором она возникает, не увеличивается ни в весе, ни в форме» [54, с. 50–51].

Открытый Леонардо да Винчи экспериментально *закон сухого трения* («Каждым тяжелым телом побеждается сопротивление трения по весу, равное четвертой части этого веса» [34, с. 121]) оказался

достаточно точным¹. В конце XVII в. он был переоткрыт Амонтоном, а в XVIII в. уточнен Кулоном.

Идеи Леонардо да Винчи получили свое дальнейшее развитие в первую очередь в трудах его соотечественников — Н. Тарталья², Д. Кардано, Д. Бенедетти и Г. У. дель Монте.

Основные результаты творчества Тарталья изложены в двух его трактатах «Новая наука» и «Вопросы и различные изобретения». Структура первого из трактатов³ аналогична «Началам» Евклида: определения, общие рассуждения, теоремы. Автор сразу уточняет, что в книге изучается не движение вообще, а только движение тяжелых тел, которые «одинаково тяжелы», то есть, говоря современным языком, имеющих постоянный вес. Единственным «естественным» движением Тарталья считает вертикальное падение тела, остальные движения — «насильственные», «вызванные некоторой движущей силой». Результат удара называется «эффектом» и определяется скоростью. «Естественное» движение совершается с постоянно изменяющейся скоростью, начальное значение которой является наименьшим, а конечное — наибольшим, — считает Тарталья. Как и Орем, он утверждает, что тело, брошенное в шахту, проходящую сквозь всю Землю через ее центр, в конечном итоге, после затухающих колебаний вокруг центра, остановится.

Если для «естественного» движения скорость возрастает с увеличением пути, то для «насильственного» все наоборот. На примере криволинейного движения снаряда Тарталья утверждает, что при «насильственном» движении скорость постоянно убывает, стремясь к некоторому минимуму, а пройденный путь тем больше, чем больше начальная скорость. В силу указанных различий между «естественным» и «насильственным» движениями они не могут происходить одновременно, но могут следовать одно за другим (движение брошенного тела начинается как «насильственное» и далее продолжается как «естественное»). Траектория «естественного» движения — всегда вертикальная прямая, траектория «насильственного» движения может быть любой

¹По современным данным коэффициент трения имеет следующие значения: сталь по стали — 0.17, железо по железу — 0.3, железо по латуни — 0.2, дуб по дубу — 0.4. Среднее значение близко к 0.25.

²Настоящее имя — Никколо Фонтана. Прозвище Тарталья (то есть заика) связано с соответствующим дефектом речи, приобретенным им в детстве.

³Издан в 1537 г., переиздан в 1550, 1558, 1583 гг., переведен на английский, французский и немецкий языки.

(криволинейной, прямолинейной). Далее подробно рассматриваются, по-видимому, почерпнутые из артиллерийской практики тех времен, различные варианты траекторий движения снаряда в зависимости от угла наклона ствола орудия и величины начальной скорости, и делается вывод о максимальной дальности полета снаряда при угле 45° .

Второй из названных трактатов, вышедший в 1546 г., написан в форме диалога между автором и его собеседниками и является продолжением и развитием предыдущего. Он состоит из девяти частей, посвященных вопросам баллистики, пороху, военному искусству, применению компаса в топографии, фортификации, механике Аристотеля, теории простых механизмов и вопросам математики. Именно здесь автор утверждает, что траектория снаряда в общем случае является криволинейной: «... насильственное движение тела постоянного веса, брошенного не перпендикулярно к горизонту, никогда не имеет ни одной части, которая была бы совершенно прямой» [54, с. 54]. Многие рассмотренные здесь задачи статики ранее встречались в рукописи Иордана Неморария, которую Тарталья сам готовил к изданию, но которая была опубликована после его смерти Курцием Трояном в 1565 г. под названием «Труды Иордана о тяжестях, изученные и исправленные Николо Тартальей». В 1543, в год смерти Н. Коперника и выхода в свет его знаменитого труда «Об обращении небесных сфер», Тарталья переиздал в латинском переводе трактат Архимеда «О плавающих телах».

Одним из основных учебников XVI–XVII вв. по статике и гидростатике считалась книга современника и великого соперника Тартальи — Д. Кардано — «О тонкости» (1550). Доктор медицины и практикующий врач — Кардано был профессором математики и медицины Миланского (с 1534), Павийского (с 1539) и Болонского (с 1560) университетов. Кроме названного трактата он издал в 1545 г. основательный труд по алгебре («Великое искусство»), где привел решение уравнений третьей и четвертой степеней¹, указал на зависимость между корнями и коэффициентами уравнения, а также на делимость многочлена, имеющего корень a , на $x - a$. В 1554 г. вышла его книга «О разнообразии вещей», а в 1570 — «Новый труд». Сочинения Кардано, как и работы Леонардо да Винчи, были неисчерпаемым источником истинных и воображаемых фактов, естественно-научных, технических и математиче-

¹Решение уравнений третьей степени ему сообщил Тарталья, четвертой — его ученик Лодовико Феррари.

ских сведений. Основной чертой сочинений Кардано является стремление к количественному исследованию изучаемых явлений. Одним из первых он утверждает невозможность вечного двигателя и приводит аналог принципа возможных перемещений (виртуальных скоростей).

Д. Бенедетти — придворный математик (с 1567 г.) великого герцога Савойского — был ближайшим предшественником Стевина и Галилея, автором нескольких книг¹, обеспечивших ему европейскую популярность и обессмертивших его имя. Одной из главных движущих сил его творчества было неприятие физических воззрений Аристотеля. Это была конструктивная, доказательная критика, основанная не только на результатах экспериментов, но и на «математической философии», то есть на использовании в доказательствах математических понятий, образов и методов.

В качестве иллюстрации можно привести доказательство Бенедетти ошибочности утверждения Аристотеля о невозможности бесконечно долгого движения точки по прямой. Проведя две параллельные прямые D и Δ (рис. 1.4), их общий перпендикуляр R и произвольную прямую AC , автор утверждает, что при вращении AC вокруг точки A , вызванного сколь угодно далеким перемещением точки C по D , эта прямая, приближаясь к Δ , тем не менее никогда не достигнет этой прямой. А это означает, что точка B , приближаясь к точке R сколь угодно долго, никогда не достигнет этой точки.

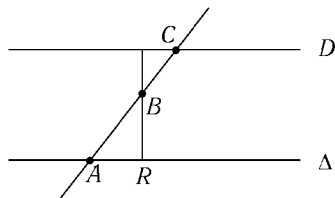


Рис. 1.4

В своей философской динамике Бенедетти пользуется математическими традициями и понятиями (центр тяжести, гидростатическая подъемная сила, импульс), восходящими к Архимеду и средневековым номиналистам. Он считает, что импульс, то есть «двигатель», нельзя искать в окружающей среде (по Аристотелю), оказывающей сопротивление движению. Это внутреннее, «вложенное» свойство тела. Идея Тартальи о невозможности смещения «естественного» и «насильственного» движений также подвергается критике. Он поддерживает представление номиналистов о необходимости для начала движения толчка,

¹ «Доказательство соотношений местных движений против Аристотеля» (1553), «Гномоника» (1574), «Книга различных математических и физических рассуждений» (1585).

начального ускорения, но свой импетус характеризует величиной и направлением, отождествляя его с отрезком прямой. Любое движение осуществляется при помощи направленного и прямолинейного импетуса.

Размышляя о свойствах падающих тел, Бенедетти приходит к заключению, что тела с одинаковым удельным весом падают одинаково: «два тела одинаковой формы и одинакового рода, равные или неравные между собой, в одной и той же среде проходят равные расстояния за равное время» [54, с. 55]. Суть доказательства сводится к двум положениям: 1) скорость падения определяется не весом тела (как считал Аристотель), а архимедовой выталкивающей силой¹; 2) понятие центра тяжести, заменяющее тело совокупностью его частей, позволяет считать, что все части тела падают так же, как и само тело. Траекторией «естественного» движения, по Бенедетти, является не вертикаль, а кратчайший путь («природа всегда действует по кратчайшим путям») между концентрическими сферами с центром в центре Земли. Ускорение тела при падении вызывается последовательным действием импетуса, непрерывно порождаемых «движущим началом» по мере удаления тела от начального положения. Таким образом, приняв за Оремом понятие ускорения, Бенедетти вводит переменную величину, значение которой отсчитывается от начального положения.

Исследуя равновесие жидкости в сообщающихся сосудах, Бенедетти выводит «гидростатический парадокс», состоящий в равенстве давлений жидкости на дно сосудов независимо от их формы. Через год, в 1586 г., это открытие повторил один из известнейших ученых конца XVI – начала XVII вв. Симон Стевин. Вопросами гидростатики занимался и маркиз Гвидо Убальдо дель Монте — итальянский военный инженер, генерал-инспектор крепостей Тосканы (с 1588), автор «Книги о механике» (1577), научный наставник и покровитель молодого Галилея. В основе его теории равновесия простых машин — архимедово условие равновесия подвешенных тел и принцип равенства моментов сил тяжести тел относительно неподвижной точки. Аналогичным принципом пользовался и Бенедетти в задаче о равновесии Т-образных весов, а позднее — Стевин, Галилей и Роберваль. Лагранж, высоко оценивший вклад Гвидо Убальдо в механику, именно его, а не Кордано, считал предшественником И. Бернулли по принципу виртуальных ско-

¹Избыток веса тела над весом равного ему объема окружающей среды.

ростей. Этот принцип Гвидо Убальдо применял в задачах о равновесии рычага, блока, ворота, полиспастов.

Говоря о главных достижениях механики XV–XVI вв., можно отметить две важнейшие особенности этого периода: значительное расширение круга прикладных задач и смену теоретической ориентации: от натуральной философии Аристотеля — к «математической философии». Обе эти тенденции получили развитие в работах ученых XVII в.