

**А.Н. Крылов**

**Мысли и материалы о преподавании  
механики**

**в высших технических учебных заведениях СССР**

Москва  
«Книга по Требованию»

УДК 53  
ББК 22.3  
А11

А11 **А.Н. Крылов**  
Мысли и материалы о преподавании механики: в высших технических учебных заведениях СССР / А.Н. Крылов – М.:  
Книга по Требованию, 2021. – 76 с.

**ISBN 978-5-458-58301-5**

**ISBN 978-5-458-58301-5**

© Издание на русском языке, оформление  
«YOYO Media», 2021  
© Издание на русском языке, оцифровка,  
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



## ГЛАВА I

### ОЧЕРК ИСТОРИИ УСТАНОВЛЕНИЯ ОСНОВНЫХ НАЧАЛ МЕХАНИКИ

§ 1. Из всех явлений окружающего нас мира движение тел есть самое обыденное и самое распространенное, и можно сказать, что ни одно действие человека не совершается без движения чего-либо.

С глубочайшей древности остались громадные сооружения, показывающие, что уже тогда существовало умение применять вспомогательные средства и машины для подъема и перемещения грузов.

С незапамятных же, доисторических времен существует пользование судами для плавания по морям, рекам и озерам.

Казалось бы, что все это должно было привлечь издавна внимание пытливых умов и стать предметом изучения и научного исследования.

Между тем действительность показывает, что и тогда, как и теперь, практика далеко опережала теорию, ибо лишь в физике Аристотеля, жившего с 384 до 322 г. до нашей эры, можно найти изложение учения о движении и силах и основание учения о машинах.

Затем в двух творениях Архимеда (287—212 гг. до н. э.) находится совершенно отличное от аристотелева изложение учения о равновесии тел и о телах, плавающих в жидкости. Эти два последних учения всецело были созданы Архимедом.

§ 2. Великий философ Аристотель, хотя и пробыл 20 лет в школе Платона, девизом которой было «Сюда да не входит незнающий геометрии», не был истинным геометром. Экспериментального метода в физике тогда не существовало, поэтому Аристотель в своем учении о движении исходил из принятого умозрительно основного положения, которое казалось согласным с повседневным опытом каждого и настолько простым, что самое элементарное рассуждение делало его самоочевидным. Но здесь оказалось, что при истолковании обыденных, повседневных явлений было упущено из виду или ложно понято весьма важное обстоятельство, именно наличие трения, так что принятое основное положение не отвечало действительности. Однако прошло 20 веков, прежде чем это было обнаружено Галилеем.

Учение Аристотеля о равновесии рычага и других машин, к нему сводящихся, приводит к верным результатам, но по своему изложению оно не отличалось геометрической строгостью, присущей классическим творениям древних математиков и, видимо, не удовлетворяло Архимеда, который, давая свое изложение, не упоминает об Аристотеле. Впрочем надо иметь в виду, что подлинные рукописи Аристотеля находились 120 лет после его смерти под спудом, замурованными в склепе и, значит, не могли быть известны Архимеду.

§ 3. Творения великого сиракузского математика представляют и по сей пору непревзойденный образец геометрической строгости и последовательности умозаключений.

Архимед начинает свое сочинение «О равновесии площадей и о центрах тяжести» следующими словами:

### *Положения*

1° Равные тяжести, подвешенные к равным длинам, находятся в равновесии.

2° Равные тяжести, подвешенные к длинам неравным, в равновесии не находятся, — подвешенная к большей длине опускается вниз.

3° Если тяжести, подвешенные к каким бы то ни было длинам, находятся в равновесии и к одной из них что-либо будет прибавлено, то они более в равновесии находиться не будут, — тяжесть, к которой нечто прибавлено, опустится вниз.

4° Подобно этому, если что-нибудь отнять от одной из тяжестей, то они более в равновесии не будут, — та, от которой ничего не отнято, опустится вниз.

Из этих четырех положений, которые можно считать или самоочевидными, или установленными непосредственным, легко доступным опытом, Архимед прежде всего с полной строгостью древней геометрии выводит законы равновесия рычага. К этим четырем положениям у него присовокуплено в самом начале же четыре других, относящихся к центрам тяжести площадей; пользуясь ими и доказанными свойствами рычага, он находит положения центров тяжести разного рода прямолинейных фигур, а затем параболического сегмента.

Но, вникнув в сущность архимедовых аксиом, мы видим, что он ввел здесь новый элемент, производящий движение, именно произведение силы на ее расстояние до точки опоры, — то, что было впоследствии названо моментом силы и что производит вращательное движение тела.

§ 4. Второе сочинение Архимеда «О плавающих в жидкости телах» представляет также недостижимый образец геометрического исследования, в основу которого положены два простых и самоочевидных предположения, из которых затем все выводится точными, строгими рассуждениями и доказательствами.

Не надо думать, что Архимед ограничился только самыми элементарными выводами законов равновесия плавающих тел, — нет, он применяет эти законы к определению положений равновесия отрезка параболоида вращения при разных отношениях его плотности к плотности жидкости. При этом оказывается, что такой отрезок параболоида может находиться в устойчивом равновесии не всегда в том положении, когда его ось вертикальна и вершина вниз, а иногда, и даже чаще, как раз наоборот, т. е. с вершиной вверх и при наклонном положении оси.

Приняв во внимание, что самое учение о центре тяжести, так же как и определение площадей и объемов, ограниченных кривыми линиями и поверхностями, принадлежит Архимеду и что весь математический аппарат того времени сводился к геометрии Эвклида и к учению о пропорциях, мы сможем лишь в малой степени создать себе представление о гениальности Архимеда, который по справедливости считается **п е р в ы м м а т е м а т и к о м в с е х в р е м е н и в с е х н а р о д о в**.

Итак, можно сказать, что Архимед установил начала новой науки — механики, включив ее в область точных умозрительных наук, строгость которой не уступала геометрии, ибо в своем сочинении «О площади параболы» он пользуется для доказательства чисто геометрических истин результатами, полученными в учении о равновесии рычага.

§ 5. Проходят века, проходит тысячелетие, проходит 1850 лет, — к учениям Архимеда и Аристотеля не только ничего не прибавляется, но

многое из них утрачивается. Лишь через  $18\frac{1}{2}$  веков голландский инженер Симон Стевен (1548—1620) делает существенное добавление к учению о равновесии, — он находит условия равновесия тяжелого тела, положенного на наклонную плоскость. От этих условий ему уже не трудно было перейти к условию равновесия трех сил, лежащих в одной плоскости и приложенных к той же точке, т. е. к так называемому треугольнику или параллелограмму сил, ставшему затем основной теоремой в учении о равновесии вообще.

Стевен в основание своего рассуждения кладет положение: «вечное движение невозможно». Истина эта далеко не так очевидна, как положения Архимеда, но Стевен как инженер смело ее применяет, ибо его практический опыт не допускает сомнения.

Но вернемся несколько назад и добавим некоторые подробности о сочинениях основателя древнего естествознания, Аристотеля, 20 веков владевших всей научной мыслью культурного человечества Европы, Малой Азии и Северной Африки.

§ 6. Аристотель касается механики в трех своих сочинениях — «Механике», «Физике» и «О мире и небе».

Первое из этих сочинений представляет в сущности как бы собрание вопросов или задач с кратко высказанными ответами или объяснениями.

В числе этих задач обратим внимание на задачу IV, высказанную так: «Каким образом при помощи рычага малые силы приводят в движение большие грузы?» В объяснении, между прочим, говорится: «Относительно рычага надо рассматривать три вещи: точку опоры, представляющую центр, и два груза — движущий и движимый. Движимый груз находится к движущему в обратном отношении длин, и чем груз дальше от опоры, тем легче он движется. Причина этого та, которая уже дана в объяснении весов, — точка, дальше отстоящая от центра, описывает больший круг; поэтому под действием той же силы движущий груз опишет тем больший круг, чем дальше он от точки опоры. Пусть  $\alpha\beta$  есть рычаг, коего опора  $\epsilon$ , движимый груз  $\gamma$ , движущий  $\delta$ ; тогда по окончании движения этот последний придет в  $\Gamma$ , поднимаемый же груз в  $\kappa$ ».

На этом объяснение заканчивается, причем по обычаю древних авторов читатель должен сам составить чертеж. Но, сопоставив это со сказанным в вопросе первом, что «все, относящееся к весам, приводится к рассмотрению свойств круга, рычаг — к весам, все прочие особенности механических движений — к рычагу, можно подметить то общее начало, к которому Аристотель сводит нахождение условий равновесия всех машин, а именно: *при равновесии скорости перемещения грузов по вертикальному направлению обратно пропорциональны величине этих грузов*. Но это общее начало явно не формулировано и ясно и твердо не высказано.

Как бы то ни было, в его «Механике» условия равновесия рычага и других машин, к нему сводящихся, высказаны правильно, хотя и получены путем длинных, не вполне отчетливых и не вполне ясных рассуждений. Но надо помнить, что тогда еще не было установленного научного языка для механики, — вот почему великий геометр Архимед и дает вперед ряд определений и аксиом, которыми он этот язык устанавливает.

Обратим также внимание на задачу XXX: «Почему, когда два человека несут на шесте или на чем ином какой-либо груз, то испытывают не равное давление, если только груз не посередине, а тот большее, кто ближе к грузу? — Потому, что при таких условиях шест есть рычаг, коего точка опоры есть груз, из двух же носильщиков ближайший к грузу представляет как бы движимое, дальнейший — двигателя, и чем он дальше от груза, тем легче ему и тем сильнее давление вниз на другого носильщика, ибо груз представляет такой же упор, как будто он был

точкой опоры. Когда же груз посередине, то ни на одного не приходится большей нагрузки и ни один не является двигателем, а каждый несет одинаковую тяжесть».

В этих словах всякий найдет правильный способ разложения заданной силы на две ей параллельные, приложенные в заданных точках. Таким образом, можно сказать, что Аристотель вполне правильно изложил статику сил вертикальных, которые в то время только и рассматривались.

§ 7. Как уже было сказано, Аристотель не ограничился только статикой, или учением о равновесии, — его «Физика» целиком посвящена учению о движении.

«Физика» Аристотеля считается одним из замечательнейших произведений этого всеобъемлющего мыслителя и служит основанием для тех прочих его сочинений, в которых он излагает всю совокупность учений о природе, т. е. естествоведение своего времени. При современной нам терминологии это сочинение относится к области чистой философии, а не к той группе знаний, которую мы теперь называем физикой, хотя значительная часть сочинения и посвящена учению о движении, но с иной точки зрения, нежели это явление рассматривается в современной физике и механике.

Современные физика и механика, основанные во многом на опыте и наблюдениях, а значит на свидетельстве чувств и измерениях с неизбежными в них погрешностями, так же мало удовлетворили бы склонность ума древних греков к точным отвлеченным рассуждениям, как эти рассуждения, представляющиеся нам во многом не относящимися к естествознанию и его приложениям, мало удовлетворяют нас.

Аристотель не заботится об установлении точных количественных соотношений между различными величинами, рассматриваемыми при изучении движения тел, он стремится как бы проникнуть в самую сущность этого явления и установить, существует ли оно само по себе или только в нашем представлении, он хочет постигнуть и объяснить, что такое пространство и время, что такое бесконечность, что такое пустота и может ли пустота существовать и прочие вопросы подобного же рода. Эти вопросы дают ему возможность проявлять всю силу его логики и все искусство его диалектики и тонкости рассуждений.

«Вот несколько соображений, — говорит Аристотель, — которые можно привести, чтобы доказать, что время совсем не существует, а если и существует, то лишь образом, мало ощутимым и весьма неясным».

«Так, одна из частей времени *была* и ее *более нет*, другая *должна быть* и ее *еще нет*. Однако лишь из этих элементов слагается и бесконечное время, и то время, которое мы считаем в непрерывной последовательности. Но то, что составлено из элементов не существующих, представляется и само не обладающим истинным существованием. К этому надо добавить, что для всякого делимого предмета необходимо по самому свойству его делимости, когда он существует, чтобы существовали и некоторые его части или даже все его части. Но для времени, хотя оно и делимо, одни части *были*, другие *будут*, но ни одной *нет* в настоящем. Настоящее — момент или мгновение — не есть часть времени, ибо часть какой-либо вещи служит мерой этой вещи; с другой стороны, целое должно слагаться из соединения частей, между тем время не состоит из последовательных мгновений настоящего. Кроме того, самое мгновение, само настоящее, разграничивающее прошедшее и будущее — единое ли оно или нет, остается ли оно всегда тождественным и неизменным или же оно постоянно изменяется и постоянно различно?»

«Все это такие вопросы, разрешить которые не легко. Действительно, если момент или мгновение всегда и постоянно другое, то мгновение, кото-



рого уже нет теперь, но которое перед этим было, должно было исчезнуть в какое-то мгновение, а тогда последовательные мгновения не могут существовать совместно одно с другим, ибо предшествующее всегда по необходимости уже пропало. Но невозможно, чтобы момент пропал в самом себе, ибо его тогда еще не существовало, и невозможно, чтобы предыдущий момент пропал в какой-либо иной момент; следовательно, необходимо принять, — что невозможно, — чтобы моменты следовали слитно один за другим, как невозможно, чтобы на линии точки располагались слитно одна за другой».

«Мы представляем себе, однако, что время не может быть постигаемо без изменений, ибо мы сами если не испытываем в наших мыслях никакого изменения или если изменение, которое в них происходит, от нас ускользает, то мы считаем, что не протекло и никакого времени, подобно тому как его нет для тех сказочных людей, которые спят близ героев в Сардосе и которые при своем пробуждении не имеют никакого ощущения времени, ибо они соединяют момент предшествующий с моментом последующим и делают из них один, уничтожая все промежуточные моменты, которых они не замечали. Таким образом, как не было бы времени, если бы момент не стал другим, а был бы тем же самым и одним мгновением, то кажется, что и за весь промежуток не было времени. Но если время устраняется, когда мы не замечаем никакого изменения, и наш дух представляется нам пребывающим в едином и неделимом мгновении, то наоборот, когда мы чувствуем и различаем изменение, мы утверждаем, что есть протекшее время; поэтому ясно, что для нас время существует лишь при *условии движения*. Итак, не подлежит сомнению, что *без движения время невозможно и что время не есть движение*».

Спрашивается: что же такое время? На это Аристотель дает ответ: *время есть число движения*. Затем он поясняет это понятие. Этим определением он опередил свой век на 2000 лет, и если мы, изучая движение, принимаем за переменную независимую время, равномерно текущее, то не это ли хотел сказать Аристотель словами «число движения»? Но, чтобы задать переменную, надо задать ряд частных ее значений в их непрерывной последовательности. Это и было сделано около 1600 г. нашей эры знаменитым ученым своего времени, астрономом Скалигером, предложившим и составившим так называемый юлианский период. Забежим несколько вперед и поясним, что это такое.

Скалигер очень много занимался хронологией, поэтому ему беспрестанно приходилось сличать календари, устанавливать даты разных олимпиад, затмений солнца и луны, совпадавших с различными событиями жизни. Он заметил, что достоверная хронология простирается не более как, примерно, на 5 000 лет до нашей эры; поэтому, если вообразить, что юлианский календарь был бы установлен в 5 000 г. и продолжался бы без перерыва, то всякий день получил бы свой определенный номер. Он и составил такую таблицу, которая получила название юлианского периода. Эта таблица занимает приблизительно две страницы и дается в астрономических таблицах, и всякий астроном по ней немедленно найдет, что если такое-то событие *A* было в момент

$$A \dots 2483787,35$$

и другое в момент

$$B \dots 2194879,25,$$

то между ними прошло

$$A - B = 288908,10 \text{ суток.}$$

[ Таким образом, аристотелево «время есть число движения» через 2 000 лет получило практическое осуществление.

§ 8. Как видно, «Физика» Аристотеля не есть сочинение математическое, а философско-критическое; поэтому из общего его объема в 400 страниц в том издании, которое у меня перед глазами, лишь две страницы уделены установлению количественных соотношений между элементами движения, составляя заключительную главу книги, седьмую. Вот это место: «После того как показано, каким образом можно сравнивать движения между собой, остается показать те соотношения, которые могут между ними быть. Я вернусь сперва к некоторым началам, которые я уже указывал. Всякий двигатель (сила) двигает всегда нечто движимое в чем-либо и в какой-нибудь мере. Он действует на это движимое в чем-то, т. е. во времени, он двигает его в некоторой мере, т. е. переносит на некоторое расстояние, ибо двигатель движет непрестанно в продолжение времени своего действия. Движимое всегда есть некоторое количество и всегда продвигается на некоторую величину. Обозначим двигатель через  $\alpha$ , движимое через  $\beta$  и через  $\gamma$  величину, на которую движимое было продвинуто в продолжение времени  $\delta$ , в течение которого движение имело место.

В равное время двигатель, обозначенный через  $\alpha$ , заставит половину движимого  $\beta$  совершить движение вдвое больше  $\gamma$ , *расстояние же  $\gamma$  он заставит пройти в половинное время  $\delta$* , ибо при этом сохраняется пропорциональность.

Итак, *когда сила остается той же, движимое, уменьшенное вдвое, проходит такой же путь в половинное время*. Это заключение Аристотеля не верно и имеет место только при движении равномерном, ибо пройденный путь пропорционален квадрату времени, а не первой его степени, что было показано Галилеем. Но утверждение Аристотеля держалось 2 000 лет!

Из приведенных выше слов, дважды повторенных, несомненно следует, что Аристотель полагал, что постоянная сила, действуя на данное тело, заставляет его двигаться *равномерно* в продолжение всего времени своего действия, причем *скорость этого движения пропорциональна силе*, как то видно из дальнейших его слов: «Следовательно, можно установить два других правила, составляющих следствия предыдущего: если сила и движимое остаются теми же, то движение в половинное время вдвое меньше» (Галилей показал, что оно будет в четыре раза меньше). «Если же, — продолжает Аристотель, — и сила будет уменьшена, то она заставит то же движимое совершить половинное движение в такое же время. Пусть, например, сила  $\epsilon$  составляет половину  $\alpha$  и  $\varphi$  есть новое движимое, составляющее половину  $\beta$ ; при этих предположениях отношения останутся одинаковыми и *силы будут пропорциональны движимым грузам*, — такие две силы произведут *равное движение в равное время*».

«Однако не следует думать, — продолжает Аристотель, — что если  $\epsilon$ , равная половине  $\alpha$ , может заставить  $\varphi$ , равное половине  $\beta$ , пройти путь  $\gamma$  во время  $\delta$ , то  $\epsilon$  сможет также заставить удвоенное  $\varphi$  в такое же время пройти путь, равный половине  $\gamma$ , — может оказаться, что сила, способная двигать половину движимого тела, не способна двигать целое. Так, если  $\alpha$  продвигает  $\beta$  на величину  $\gamma$  во время  $\delta$ , то может быть, что сила, обозначенная через  $\epsilon$ , не будет в состоянии двигать  $\beta$  в продолжение времени  $\delta$ ; эта половинная сила, может быть, даже не будет в состоянии заставить  $\beta$  пройти какую-либо часть  $\gamma$ ; не только такую, которая составляет от  $\gamma$  одинаковую долю, как  $\alpha$  от  $\gamma$ , ибо может оказаться, что движения совсем не будет. Так, например, если необходима полная сила для продвижения какого-либо груза, то половинная не сможет произвести никакого движения ни в какой промежуток времени, ибо иначе достаточно было бы одного матроса, чтобы приводить в движение корабль, если только силу всех корабельщиков можно было по-прежнему распределять как в отношении числа, так

и в отношении расстояния, которое они, действуя совокупно, заставят корабль проходить».

Эти слова показывают особенно ясно, насколько далек был древний мир от представления «о законе инерции», разгаданном впервые Галилеем и окончательно установленном Ньютоном.

§ 9. Но приведем еще одно знаменитое место из сочинения Аристотеля «О небе», где он также говорит о движении. Это сочинение посвящено изложению учения о строении мира, как его в то время представляли другие философы, которое местами Аристотель опровергает, местами дополняет в своем учении.

Тогда считалось, что все состоит из четырех стихий: земли, воды, воздуха и огня, причем земля обладает лишь тяжестью, огонь — только легкостью, воздух и вода — как тем, так и другим.

Все тяжелое стремится *вниз*, все легкое *вверх*, поэтому «тяжело все то, что способно нестись к середине, легко все то, что несется от середины или средоточия мира...» «Самое тяжелое то, что располагается *под* всем тем, что стремится вниз, самое легкое то, что располагается *над* всем тем, что идет вверх». Сообразно этому и движение рассматривается как *согласное природе* или *противное природе*. Само собой понятно, что в этом учении не может быть и речи об установлении каких-либо количественных соотношений, и в изложении Аристотеля все сводится к отвлеченным рассуждениям, подобным приведенным выше.

Чтобы дать пример таких рассуждений, возьмем вопрос из главы VI книги первой: «Может ли быть бесконечное тело и будет ли его вес конечный или бесконечный?» Понятно, что при отсутствии определения того, что в таком случае следует разуместь под словом вес, этот вопрос настолько неопределенный, что рассуждения, сюда относящиеся, не могут обладать какой-либо ясностью и точностью.

Вот в этом-то рассуждении Аристотель, между прочим, говорит: «Из сказанного следует, что вес бесконечного тела не может быть конечным, значит он бесконечный; следовательно, если и этого быть не может, то в природе не может существовать и бесконечного тела. Что вес не может быть бесконечным, явствует из следующего: если какое-либо тело в некоторое время проходит какое-либо пространство, то тем паче оно в меньшее время находится в движении, *но времена находятся в обратном отношении весов, т. е. если половинный вес в некоторое время проходит столько-то, то удвоенный вес пройдет столько же в половинное время*. Кроме того, всякий конечный вес проходит конечное пространство в конечное время. Так как все происходит, как сказано, то оказывается, что если бы какой-либо вес был бесконечным, то он одновременно и двигался бы и не двигался... что ведет к противоречию», следовательно, «невозможно, чтобы был бесконечный вес, подобно этому и легкость».

В этой выдержке необходимо обратить внимание на те слова Аристотеля, что времена, в продолжение которых тяжелые тела проходят одно и то же пространство, обратно пропорциональны весам, — эти слова составляли в его время учение бесспорное, общепринятое, которым он и пользуется в своем рассуждении.

Но из сочинений Аристотеля не видно, какие другие выводы делались из этого положения и из прочих, приведенных выше, и находилось ли движение какого-либо груза под действием силы, отличной от его веса, именно так, как можно было бы думать по сказанному в «Механике», или нет. Повидимому, нет, и вообще определение движения тела под действием заданной силы древним известно не было.

Кроме «Физики», после Аристотеля остались еще «Лекции по физике» — сочинение, также в высшей степени замечательное. В главе XI книги чет-

зерной этого сочинения имеется следующее место, которое заставляет думать, что движение тел объяснялось действием на них окружающей среды. Вот это место: «Очевидно, есть две возможные причины, чтобы данный груз или данное тело получали более быстрое движение. Это происходит или потому, что среда, через которую тело проходит, различная, соответственно тому, движется ли тело в воде, в земле или в воздухе, или потому, что движущиеся тела сами по себе различны и при прочих одинаковых условиях обладают большей тяжестью или легкостью».

«Среда, через которую тело проходит, есть причина, препятствующая движению тела в наибольшей степени, когда эта среда имеет движение, противоположно направленное (движению тела), чем когда она неподвижна. Это сопротивление тем больше, чем труднее среда поддается разделению, и она сопротивляется тем сильнее, чем она плотнее».

«Положим, например, что тело  $\alpha$  проходит путь  $\beta$  в одной среде во время  $\gamma$  и в более редкой среде путь  $\delta$  во время  $\epsilon$ . Если длина  $\beta$  равна длине  $\delta$ , то движение будет пропорционально действию (сопротивлению) среды. Примем, что  $\beta$  есть путь, пройденный в воде, и  $\delta$  — в воздухе; чем воздух будет легче и менее телесен по сравнению с водой, тем скорее  $\alpha$  пройдет путь  $\delta$ . Очевидно, *первая скорость будет находиться ко второй в таком же отношении, как воздух к воде, и если принять, что воздух вдвое легче воды, то тело пройдет путь  $\beta$  во время, вдвое большее, нежели оно проходит путь  $\delta$ , и время  $\gamma$  будет вдвое больше времени  $\epsilon$* ».

«Следовательно, движение тела будет тем быстрее, чем среда, через которую оно проходит, будет менее телесная, менее сопротивляющаяся и легче делимая. Но нет отношения для сравнения какой-либо среды с пустотой (т. е. отношения плотности среды к пустоте), которое показывало бы, во сколько раз среда превосходит пустоту, подобно тому как нет отношения числа к нулю... Следовательно, нет такового и для движения в пустоте, и если тело в самой легкой среде проходит какой-либо путь в заданное время, то скорость его в пустоте превзойдет всякое возможное отношение».

Вышеприведенные длинные выдержки сделаны для того, чтобы показать, что учение Аристотеля не взято чисто умозрительно, а взято во многом с того, что дает простое и непосредственное наблюдение, например над перемещением грузов волоком, когда вследствие трения (о котором Аристотель ничего не знал) надо для поддержания равномерного движения прилагать к телу постоянную силу, равную и противоположную трению.

Явление казалось настолько простым и данное объяснение представлялось как бы настолько согласным с тем, что каждый постоянно сам видел и испытал, что сущность дела ускользнула от критического анализа Аристотеля, и нужен был мощный гений Галилея, чтобы обнаружить заблуждение в том, что в продолжение 2000 лет представлялось не возбуждающим никаких сомнений.

§ 10. Галилей — искуснейший наблюдатель и экспериментатор, превосходный математик, умелый практический механик, мыслитель и поэт — сумел своим всеобъемлющим гением отрешиться от авторитета Аристотеля.

В противоположность учению Аристотеля, он показал, что тело под действием постоянной силы движется равномерно ускоренно, а не равномерно, как предполагалось в учении Аристотеля; что тела падают с одинаковой высоты в одно и то же время независимо от их веса; что тело, брошенное наклонно к горизонту, описывает параболу. Он подробно исследовал движение тяжелого тела по наклонной плоскости и, весьма остроумно и точно обставив опыт, воспользовался им для подтверждения своих законов движения падающих тел. Переходя затем к пределу, т. е.

когда плоскость горизонтальна, он заключил, что тело, не подверженное силе тяжести и не встречающее сопротивления своему движению, будет двигаться равномерно и прямолинейно, установив, таким образом, закон инерции.

Все эти основные для механики открытия изложены им в сочинении под заглавием: «Discorsi e dimonstrazioni matematiche intorno a due nuove scienze», вышедшем в Лейдене в 1638 г.

Две новые науки, о которых говорит Галилей, суть учение о движении, т. е. механика и сопротивление материалов; мы ограничимся первой.

В этом сочинении изложение ведется как бы беседами между тремя лицами: Сальвиати, Сагрето и Симпличио, причем первый излагает свои новые воззрения двум другим собеседникам, предлагающим ему разные вопросы. Сагрето по большей части его поддерживает, Симпличио упорно отстаивает воззрения аристотелевой философии, но, побеждаемый аргументами противников, принуждается к сдаче.

Мы видели, что, по мнению Аристотеля, тела падают со скоростями, пропорциональными их весу, т. е. проходят тот же путь в тем меньшее время, чем вес больше, так что по этому учению «гиря весом в 100 фунтов падает с высоты 100 футов в такое же время, как гиря в 1 фунт с высоты в 1 фут» — приводит пример Сальвиати. Точно так же, по Аристотелю, при падении тела в какой-либо среде — воде или воздухе или вообще в средах равной плотности — оно движется к «своему месту» со скоростями, обратно пропорциональными плотности среды; но естественное, свободное, т. е. без действия какой-либо внешней причины, движение тел есть равномерное круговое.

Галилей, опровергая эти воззрения, прежде всего изменяет самую постановку вопроса. Аристотель всегда спрашивает, *почему* происходит то или иное явление, и затем дает свое метафизическое объяснение, считая установленным, что явление происходит именно так, как в вопросе указано. Галилей прежде всего спрашивает, *как* явление на самом деле происходит, и лишь по установлении этого изыскивает причину, прибегая к точным, весьма остроумно обставленным опытам, хотя и самыми простыми средствами.

Так, относительно падения тел он, между прочим, говорит: «Если бы не было сопротивления воздуха, то все тела падали бы одинаково, т. е. с одинаковой скоростью при равных высотах падения...», «двигаясь при этом равномерно ускоренно, так что в равные промежутки времени скорость движения возрастает на равные величины...» «При движении в сопротивляющейся среде по мере возрастания скорости падающее тело встречает постоянно увеличивающееся сопротивление, вследствие чего происходит постоянное уменьшение ускорения, и, наконец, сопротивление достигает такой величины, что ускорения не будет и тело будет продолжать двигаться дальше равномерно».

«При падении тела в какой-либо среде надо иметь в виду, что на тело действует не полный его вес, а лишь избыток этого веса над весом вытесненной телом жидкости или среды. Так, например, если принять, что свинец в 10 000 раз тяжелее воздуха, черное же дерево в 1 000 раз, то от величины скорости, которая в пустоте была бы одинакова (подразумевается в конце равных промежутков времени, считанных от начала падения), воздух отнимает от свинца одну часть из 10 000, от скорости же черного дерева одну из 1 000, т. е. 10 частей от 10 000. Поэтому если кусок свинца и кусок черного дерева падают с некоторой высоты, которую в пустоте они прошли бы в одинаковое время, то в воздухе из 10 000 единиц пройденной длины свинец потеряет одну единицу, дерево же 10, значит по истечении сказанного времени кусок свинца опередит дерево на 9 единиц».

«Подобным образом можно рассчитать и скорости, которые будет

не из рассмотрения различного сопротивления, оказываемого средой, *а рассматривать избыток веса тела над весом вытесненной среды ...*» «Так, если взять тело, которое лишь немного тяжелее воды, например горный дуб, то если кусок его весит 1000 драхм, соответствующее количество воды 950 драхм и воздуха 2 драхмы, то из полной скорости в 1 000 единиц в воздухе останется 998, в воде же всего 50, и, значит, это тело будет падать в воздухе приблизительно в 20 раз скорее, нежели в воде...» «Необходимо также помнить, что движение в воде вниз совершается только тогда, когда удельный вес тела больше, нежели воды, а такие тела в несколько сот раз тяжелее воздуха. Поэтому, чтобы найти скорости в воде и в воздухе, можно пренебрегать потерей скорости в воздухе и считать, что эта скорость такая же, как в пустоте; тогда можно сказать, что скорости в воде и воздухе относятся между собой, как вес тела к избытку этого веса над весом вытесненной воды...»

«Мы увидали бы, что все это гораздо лучше согласуется с опытами, нежели рассуждения Аристотеля».

Все свои рассуждения Галилей подтверждает опытами, произведенными при помощи самых простых средств, но точными благодаря удивительно остроумной их обстановке. Так, например, чтобы показать, что тела действительно падают, двигаясь равномерно ускоренно, он сперва математически доказывает, что при таком движении пройденные от начала движения пути пропорциональны квадратам времени, и уже это свойство проверяет опытом.

Этот опыт он обставил так: показав предварительно отрогим рассуждением, также затем подтверждаемым опытом, что при движении по наклонной плоскости тело приобретает при данной высоте падения всегда одну и ту же скорость, независимо от уклона плоскости, он заключил, что движение по наклонной плоскости тоже равномерно ускоренное, причем ускорение составляет от полного ускорения при свободном падении такую же долю, как высота плоскости от ее длины. Взяв доску 18 футов длиной, 9 дюймов шириной и 3 дюйма толщиной, он проделал по длине ее ребра дорожку немного более одного дюйма шириной и оклеил ее гладким пергаментом. По этой дорожке он пускал скользить гладко отполированный медный шарик, давая доске различный уклон. Чтобы измерить время, он уже не довольствовался, как в других случаях, счетом ударов своего пульса, а взял ведро с водой и вставил в дно его тонкую трубку, которую открывал при пуске шарика и прикрывал пальцем при проходе отмеченной им длины; вытекшая вода собиралась в подставленный стакан и взвешивалась; количество воды было пропорционально соответствующим промежуткам времени, пройденные же от начала движения пути оказались пропорциональными квадратам их, т. е. вдвое большему количеству вытекшей воды соответствовал вчетверо больший путь и притом каков бы ни был уклон плоскости.

Чтобы показать, что все тела падают с одинаковым ускорением, если пренебречь сопротивлением воздуха, Галилей прибег к опытам с маятниками, подвешивая к тонким нитям одинаковой длины шарики из разных материалов; все маятники качались одинаково, т. е. делая в равные промежутки времени одно и то же число размахов, хотя величина размахов для легких тел убывала быстрее, нежели для тяжелых.

Установив и проверив опытом законы падения тел, т. е. прямолинейного их движения под действием силы тяжести, Галилей переходит к рассмотрению движения тел, брошенных или горизонтально или наклонно к горизонту. Приступая к изложению этого учения, он говорит: «Если тело не встречает сопротивления движению по горизонтальной плоскости, то