



Л. Эйлер

1707—1783

Об изложении механики

Выход в свет книги И. Ньютона «Математические начала натуральной философии» ознаменовал начало принципиально нового этапа в развитии не только механики, но и физики в целом. Значение этого труда состоит прежде всего в выработке общих принципов, с помощью которых могут решаться конкретные механические задачи. Однако, хотя в работе Ньютона были рассмотрены многие важные проблемы, «Начала» не могли вместить все задачи, стоявшие перед механикой конца XVII -- начала XVIII в. Кроме того, метод решения конкретных задач, использованный Ньютоном, не был столь общим, как сформулированные им принципы. Поэтому ученые XVIII в. сосредоточили свои усилия на разработке частных, но актуальных проблем механики (поставщиком многих таких проблем была астрономия), в ходе которой создавались достаточно общие математические методы. Заслуга изложения механики на основе систематического использования дифференциального и интегрального исчисления принадлежит Л. Эйлеру, одному из крупнейших математиков всех времен.

Леонард Эйлер родился 15 апреля 1707 г. в Базеле в семье сельского пастора. Получив неплохое домашнее образование, Эйлер поступил в старшие классы гимназии и в то же время начал посещать лекции по математике в университете. Талант юного математика был замечен И. Бернулли, который начал заниматься с ним индивидуально.

В семнадцать лет Эйлер уже получил степень магистра искусств. В 1725 г. братья Николай и Даниил Бернулли, сыновья учителя Эйлера, были приглашены во вновь учрежденную Петербургскую Академию наук. Они предложили Эйлеру последовать за ними. Поскольку кафедра математики была уже занята, Эйлер собирался занять кафедру физиологии. Однако он все же стал сначала адъюнктом, а затем и профессором (1731) по математике.

В Петербурге (1727—1741) Эйлер проводил исследования в различных областях математики и механики. За это время он подготовил к печати около 80 трудов по вариационному исчислению, обыкновенным дифференциальным уравнениям, степенным рядам, дифференциальной геометрии, теории чисел. Эйлер зани-

мался также гидродинамикой и небесной механикой. В 1736 г. вышло в свет его сочинение «Механика», в котором было дано систематическое изложение динамики точки с помощью математического анализа. Новаторство Эйлера проявилось и в том, что он первым начал рассматривать скорость как отношение пройденного пути ко времени (до него считалось невозможным вводить подобные величины).

В 1741 г. Эйлер принял предложение прусского короля Фридриха II, переехал в Берлин и возглавил физико-математическое отделение Академии наук. И в Берлине Эйлер продолжал удивительную по разнообразию исследовательскую деятельность. Его работы печатались как в Берлине, так и в Петербурге. Он участвовал в конкурсах Парижской Академии наук (всего он стал победителем двенадцати таких конкурсов). Эйлер занимался проблемами астрономии (теории Луны), динамикой твердого тела, задачами прикладной механики. В берлинский период Эйлер подготовил ряд фундаментальных трудов по дифференциальному и интегральному исчислению. Талант Эйлера был универсальным. Он с равным успехом занимался как вопросами абстрактной математики, так и конкретными проблемами, имеющими практическое значение. Так, в 1749 г. ученый опубликовал подготовленную по заказу Петербургской Академии наук монографию «Морская наука», сыгравшую важную роль в развитии этой отрасли знаний. Он исследовал также вопросы баллистики, важные для военного дела.

В 1736 г. Эйлер вместе с семьей вернулся в Россию. Еще в 1738 г. вследствие переутомления у ученого отказал правый глаз. В возрасте 59 лет Эйлер окончательно ослеп. Это, однако, мало сказалось на продуктивности его исследований. За 17 лет его повторного пребывания в России он подготовил около 400 научных работ, в том числе ряд монографий, в частности «Письма к одной немецкой принцессе», где нашли отражение его основные физические воззрения.

Научное наследие Эйлера огромно. Предполагается, что издаваемое с 1909 г. в Швейцарии полное собрание сочинений Эйлера будет содержать 72 тома. Сохранившаяся научная переписка ученого составляет свыше 3000 писем. Эйлер оказал огромное влияние на развитие науки XVIII в. Он придерживался передовых взглядов по многим спорным вопросам физики того времени. Авторитет Эйлера в науке был непререкаем — он состоял членом практически всех ведущих научных академий и обществ. Эйлер умер 18 сентября 1783 г.

Ниже приводится предисловие к «Механике» Эйлера, в котором ученый поясняет цель, которую он ставил при подготовке книги.

То, что в хрестоматию не включены отрывки, содержащие рассмотрение конкретных задач механики, объясняется близостью современного подхода к изложению этих задач в курсах общей физики к подходу Эйлера.

Термин «механика» задолго до нашего времени получил двойное значение, и даже теперь этим именем называются две науки, совершенно различные между собой как по своим принципам, так и по предмету своего исследования. Название «механика» обычно прилагается как к той науке, которая трактует о равновесии сил и их взаимном сравнении, так и к той, в которой исследуются сама природа движения, его происхождение и изменение. Хотя и в этой последней дисциплине главным образом рассматриваются также силы, так как ими производится и изменяется движение, однако метод трактовки этого вопроса сильно отличается от первой науки. Поэтому во избежание всякого недоразумения лучше будет ту науку, в которой дело идет о равновесии сил и их сравнении, называть статикой, другой же — науке о движении — придать имя механики; ведь в таком смысле эти термины повсюду употреблялись еще и раньше.

Кроме того, между этими дисциплинами лежит огромное различие во времени. Если статику стали разрабатывать еще до Архимеда, то первые основы механики положены только Галилеем, его исследованиями о падении тяжелых тел.

В последнее время, после открытия анализа бесконечно малых, обе эти науки настолько обогатились, что все то, что раньше за столь долгий промежуток времени было добыто с таким трудом, можно сказать, почти исчезло сравнительно с этим новым материалом. Однако все эти столь многочисленные открытия, которыми эти науки к нашему времени так сильно обогатились и так далеко продвинулись вперед, рассеяны в столь многочисленных журналах и отдельных работах, что для человека, занимающегося этими вопросами, является делом крайне трудным все это найти и пересмотреть. Кроме того, что создает особенные затруднения, некоторые из них предложены без всякого анализа и доказательств, другие подкреплены доказательствами, чрезмерно запутанными и составленными по образцу древних, иные, наконец, выведены из чуждых и менее естественных принципов, так что понять и объяснить их можно только ценой величайшего труда и огромной потери времени.

Что касается статики, то почти полную и во всех отношениях прекрасную работу издал на французском языке Вариньон в двух солидных томах¹. Хотя эта работа названа «Механика», однако она вся занята определением равновесия сил, приложенных к разного рода телам; в ней почти ничего нет, что касалось бы движения и той науки, которую здесь мы обозначили именем «механика». Точно так же известный ученый Вольф в своих «На-

чалах наук»², особенно в новейшем их издании, дал много блестящих страниц, касающихся как статики, так и механики; но он соединил их вместе и не сделал никакого различия между этими двумя науками. Намеченные границы и самый характер произведения, по-видимому, не позволили ему разграничить эти науки между собой и, с другой стороны, достаточно полно изложить каждую из них. Я не знаю, вышла ли в свет какая-либо другая работа, кроме «Форономии» Германа³, в которой это учение о движении было бы разобрано совершенно отдельно и обогащено столь многими блестящими вновь открытыми положениями. Герман и сам внес в эту науку много нового; вместе с тем он добавил и собрал здесь все то, что за это время было открыто стараниями других ученых. Но так как он хотел охватить в этом не очень большом труде кроме механики еще и другие смежные науки, а именно статику и гидростатику вместе с гидравликой, то ему оставалось очень мало места для изложения механики; вследствие этого все то, что касается этой науки, он принужден был изложить в краткой и отрывистой форме. Кроме того, что особенно мешает читателю, все это он провел по обычаю древних при помощи синтетически геометрических доказательств и не применил анализ, благодаря которому только и можно достигнуть полного понимания этих вещей. Приблизительно так же написана работа И. Ньютона «Математические начала натуральной философии», благодаря которой наука о движении получила наибольшее развитие.

Однако если анализ где-либо и необходим, так это особенно относится к механике. Хотя читатель и убеждается в истине выставленных предложений, но он не получает достаточно ясного и точного их понимания, так что если чуть-чуть изменить те же самые вопросы, он едва ли будет в состоянии разрешить их самостоятельно, если не прибегнет сам к анализу и те же предложения не разрешит аналитическим методом. Это как раз случилось со мной, когда я начал знакомиться с «Началами» Ньютона и «Форономией» Германа. Хотя мне казалось, что я достаточно ясно понял решение многих задач, однако задач, чуть отступающих от них, я уже решить не мог. И вот тогда-то я попытался, насколько умел, выделить анализ из этого синтетического метода и те же предложения для собственной пользы проработать аналитически; благодаря этому я значительно лучше понял суть вопроса.

Затем таким же образом я исследовал и другие работы, относящиеся к этой науке, разбросанные по многим местам, и лично для себя я изложил их планомерным и однообразным методом и привел их в удобный порядок. При этих занятиях я не только встретился с целым рядом вопросов, ранее совершенно незатронутых, которые я удачно разрешил, но я нашел много новых методов, благодаря которым не только механика, но и сам анализ, по-видимому, в значительной степени обогатился. Таким образом и возникло это сочинение о движении, в котором я изло-

жил аналитическим методом и в удобном порядке как то, что я нашел у других в их работах о движении тел, так и то, что я получил в результате своих размышлений.

В основу разделения этого труда я положил как различие тел, которые движутся, так и их состояние — свободное или несвободное. Сам характер тел дал мне это разделение, так что сначала я стал исследовать движение тел бесконечно малых и как бы точек, а затем я перешел к телам конечной величины, и при этом или к твердым, или к гибким, или состоящим из частей, которые совершенно расходятся друг от друга.

Подобно тому как в геометрии, в которой излагается измерение тел, изложение обыкновенно начинается с точки, точно так же и движение тел конечной величины не может быть объяснено, пока не будет тщательно исследовано движение точек, из которых, как мы принимаем, составлены тела. Ведь нельзя наблюдать и определить движения тела, имеющего конечную величину, не определив сначала, какое движение имеет каждая его маленькая частичка или точка. Вследствие этого изложение вопроса о движении точек есть основа и главная часть всей механики, на которой основываются все остальные части. Для исследования вопроса о движении точек я предназначил эти два первых тома; в первом я рассмотрел свободные точки, во втором — несвободные. Но то, что я изложил в этих книгах, во многих случаях часто идет дальше, чем исследование об одних точках, и из него зачастую можно определить движение конечных тел, разумеется, не всякое, а то, благодаря которому отдельные части движутся совместно. Ведь из того положения, что брошенная в пустоте точка описывает параболу, можно также сделать вывод, что всякое конечное тело, если оно будет брошено, должно двигаться по параболе; однако отсюда еще не следует закона о движении отдельных частей, и этот последний вопрос будет специально разобран в следующих книгах, в которых определяется движение конечных тел. Равным образом то, что Ньютон доказал относительно движения тел, побуждаемых центростремительными силами, имеет значение только для точек, а между тем он правильно применил эти предложения также и к движению планет.

Итак, в этом первом томе я подвергаю исследованию свободные точки и наблюдаю, какое изменение движения вызывают в них любые движущие их силы. Свободным же, с моей точки зрения, тело является тогда, если ему ничто не мешает, чтобы оно двигалось с той скоростью и в том направлении, которое оно должно иметь как вследствие присущего ему движения, так и вследствие движущих его сил. Так, говорят, что планеты и тела на земле, падающие или брошенные вверх, движутся свободно, поскольку при этом движении они следуют как врожденной силе⁴, так и действию движущих сил. Напротив, тело, падающее по наклонной плоскости, или качающийся маятник движутся несвободно, так как находящаяся внизу плоскость или нить маятника,

прикрепленная другим концом, препятствуют телу падать прямо, как этого требует сила тяжести.

В первой главе я излагаю основные свойства движения и то, что обычно говорят о скорости, о пути и о времени. Затем я указываю всеобщие законы природы, которым следует свободное тело, не подверженное действию сил. Тело подобного рода, раз оно находится в состоянии покоя, должно вечно пребывать в покое. Если же оно имело движение, оно вечно должно двигаться с той же скоростью по прямому направлению. Оба эти закона наиболее удобно можно представить под именем закона сохранения состояния. Отсюда вытекает, что сохранение состояния является существенным свойством всех тел и что все тела, пока они остаются таковыми, имеют стремление или способность навсегда сохранять свое состояние, а это есть не что иное, как сила инерции. Правда, не очень удачно причине этого сохранения дано имя силы, так как она неоднородна с другими собственно так называемыми силами, каковы, например, сила тяжести, и с ними не может сравниваться. В эту ошибку обычно попадали многие, и прежде всего метафизики, обманутые двусмысленностью этого слова. Так как всякое тело по своей природе пребывает в том же состоянии или покоя или движения, то если тело не следует этому закону, но движется или неравномерно, или по кривой, это нужно приписать действию внешних сил. Такого рода внешними силами являются силы, о равновесии и сравнении которых трактуется в статике и которые, воздействуя на тело, изменяют его состояние, или приводят его в движение, ускоряя, или замедляя, или же, наконец, меняя его направление.

Во второй главе я исследую, какого рода действие должна проявлять каждая сила по отношению к свободной точке, находится ли эта точка в покое или движется. Отсюда выводятся истинные принципы механики, которыми должно объяснить все, что касается изменения движения. Так как до сих пор они были подкреплены слишком слабыми доказательствами, я доказал их так, чтобы для всякого было ясно, что они не только достоверны, но с полной необходимостью являются истинными.

Изложив принципы, на основании которых можно понять, как, с одной стороны, сохраняется движение, с другой — как оно возникает или изменяется под влиянием сил, я перехожу к определению и исследованию самого движения тел, как-либо приведенных в движение при помощи сил. И прежде всего, конечно, я рассматриваю прямолинейное движение как самое легкое для определения. Оно возникает, если под действием одной только силы свободная точка или бывшая в состоянии покоя приводится в движение, или находящаяся уже в движении ускоряется или замедляется в направлении действующей силы. Этому исследованию я посвятил третью и четвертую главы. В первой из них я исследую прямолинейное движение в пустом пространстве, во второй — то же прямолинейное движение в так или иначе сопротивляющейся среде. Хотя сопротивление можно свести к собст-

венно так называемым силам, в этом сочинении мне показалось полезным изложить учение о перемене движения отдельно от сопротивления как по примеру других, которые писали по этому вопросу, так и вследствие существенной разницы, которая имеется между абсолютными силами и сопротивлением. Ведь абсолютная или собственно так называемая сила имеет определенное, от движения тела не зависящее направление и сверх того одинаково воздействует как на тело, находящееся в движении, так и на тело, находящееся в покое; наоборот, направление сопротивления всегда совпадает с направлением самого движущегося тела и его величина зависит от скорости тела. Хотя в природе не встречается другого сопротивления, кроме того, которое пропорционально квадрату скорости, я подверг обсуждению еще некоторые другие виды сопротивлений как для того, чтобы дать решение большего количества задач, касающихся движения в сопротивляющейся среде, так и главным образом для того, чтобы предложить много прекрасных примеров вычисления.

Наконец, в двух последних главах я рассмотрел криволинейные движения тел, которые возникают, когда направление движущих сил не совпадает с направлением брошенного тела. В этом случае тело постоянно отвлекается от прямого пути и принуждено двигаться по кривой. В пятой главе я изложил подобного рода криволинейное движение в пустоте, в шестой я рассмотрел его же в сопротивляющейся среде. Главные задачи, которые даны в этих главах, заключаются в том, чтобы определить кривую, по которой может двигаться любое брошенное тело, подверженное действию каких угодно сил, и вместе с тем дать скорость тела в отдельных точках этой кривой, при этом как в пустоте, так и в сопротивляющейся среде.

Из этих основных предложений возникли тогда и другие, где или по данной кривой, описанной телом, или по тому или иному данному виду движения требуется найти как движущие силы, так и сопротивление. И в этом случае я прежде всего стремился к тому, чтобы охватить все относящиеся сюда задачи, разобранные Ньютоном и другими авторами, и дать настоящие решения на основе аналитического метода. На этом заканчивается первый том, который, равно как и второй, я составил так, чтобы человек, имеющий достаточный опыт в анализе конечных и бесконечных, мог с поразительной легкостью все это понять и все это произведение прочесть без чьей бы то ни было помощи.

Комментарий

Перевод с латинского работы Л. Эйлера выполнен В. С. Гофманом и С. П. Кондратьевым. Предисловие к сочинению «Механика, т. е. наука о движении, изложенная аналитическим методом» воспроизводится по изданию: Эйлер Л. Основы динамики

точки/Под. ред. В. П. Егоршина. М.—Л., 1938.
Название на языке оригинала: *Mechanica sive motus scientia analytice exposita*.

- ¹ Речь идет о сочинении «Новая механика или статика», изданном в Париже в 1725 г..
 - ² Эйлер имеет в виду сочинение «Начала всех математических наук», впервые изданное в 1710 г.
 - ³ Речь идет о сочинении «Форономия, или о силах и движениях твердых и жидких тел», опубликованном в 1716 г.
 - ⁴ Под этим термином Эйлер, как и Ньютон, подразумевал инерцию тела.
-

Литература

- [1] В настоящее время осуществляется совместное советско-швейцарское издание собрания сочинений Л. Эйлера:
Leonardy Euleri opera omnia.
 - [2] *Fueter R. Leonard Euler. Basel, 1948.*
 - [3] Котек В. В. Леонард Эйлер. М., 1961.
 - [4] Леонард Эйлер. Сб. ст. М., 1958.
-

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