

РАЗВИТИЕ ПОНЯТИЯ СИЛЫ

Степанова Л.А., канд. физ.-мат. наук, доцент
Донецкий национальный технический университет.

Дан краткий обзор этапов развития одного из основных понятий теоретической механики – понятия силы.

This paper gives a brief survey of the development stages of one of the fundamental ideas in theoretical mechanics – the concept of «force».

«Первые понятия, с которых начинается какая-нибудь наука, должны быть ясны и приведены к самому меньшему числу. Тогда только они могут служить прочным и достаточным основанием учения».

(Н.И. Лобачевский)

Античный период. Первые рукописи, в которых изложены научные сообщения в области механики, дошедшие к нам из глубины веков, принадлежат античным учёным. В первую очередь нужно назвать древнегреческого философа Аристотеля (384-322 гг. до н. э.). В его сочинениях впервые появляется термин «механика», который в переводе с древнегреческого означает: «сооружение», «машина», «изобретение», «хитрость». Этим термином стали называть широкую область человеческого знания, в которой изучаются движения материальных тел в природе и создаваемые человеком в результате его деятельности. В своих работах «Физика», «Механика», «О мире и небе» Аристотель касается учения о движении и силах. Аристотель считал, что для поддержания прямолинейного и равномерного движения материального тела необходимо приложение постоянной силы, т. к. в природе не может существовать ни пустоты, ни действия силы на расстоянии. Для Аристотеля причина движения и должна его постоянно поддерживать. Придя к этому утверждению чисто умозрительным путём, он делает выводы, не согласующиеся с действительностью.

Настоящее научное обоснование механике дал знаменитый сиракузский геометр и механик Архимед (287-212 гг. до н. э.). Изучая равновесие рычага, и находя центры тяжести тел, он дал основание геометрической статики. Однако, в своих сочинениях он не упоминает о силах. Своё правило рычага он сформулировал следующим обра-

зом: «Любые (соизмеримые и несоизмеримые) грузы находятся в равновесии, когда плечи рычага обратно пропорциональны грузам».

Таким образом, можно сделать вывод, что в древности основания механики развивались по двум совершенно различным направлениям. Такие понятия как время, пространство, масса, сила, движение и т.д. возникли и развивались в тесной связи с философией, тогда как проблемы статики- в связи с античной техникой и математикой.

Период Средневековья. В средние века схоластика, утвердившая наиболее реакционные стороны древней философии, служила серьезным препятствием для развития механики. Однако и в это время такие ученые как Аверроэс (1126-1198гг), Бэкон (1214-1292гг) пытались разрешить вопрос о передаче движения. В работе И. Филонона (VI в.) говорилось о движущей силе, сообщающей движение телу и поддерживающей это движение, когда тело уже не соприкасается с источником движения. Аналогичные высказывания были и у Ибн-Сины (Авиценны)(980-1037гг). Эта теория позволяла ставить вопрос о возможности движения тел в пустоте, что отвергалось теорией Аристотеля.

Эпоха Возрождения. В эпоху Возрождения становление статики, в основном, было завершено; динамика же находилась в зачаточном состоянии. Фундаментальное значение для развития механики в этот период времени имеют работы гениального итальянского ученого Г.Галилея (1564-1642гг). До Г.Галилея действие сил на тело рассматривали обычно в состоянии равновесия и измеряли это действие только статическими методами (рычаг, весы); Г.Галилей же указал, что сила – есть причина изменения скорости, и тем самым установил динамический метод сравнения действия сил. Изучая падение тел, Г.Галилей дал законы равномерно-ускоренного движения, введя понятие ускорения, исследовал движение тела по наклонной плоскости, открыл закон инерции, открыл закон независимости действия сил от состояния тела.

Работы Г. Галилея были продолжены голландским учёным Х. Гюйгенсом (1629-1695 гг.), который изучил колебательное движение маятника, обобщил введенное Г. Галилеем понятие об ускорении и привёл ряд теорем о центробежной силе.

Развитие понятия силы в трудах И. Ньютона. В 1687 г. выдающийся английский математик и механик И. Ньютон (1643-1727 гг.) опубликовал свой знаменитый труд «Математические начала натуральной философии», в котором дал вполне строгую и достаточно полную систему законов классической механики. В этой работе И. Ньютон определил рациональную механику как учение о движениях,

производимых какими бы то ни было силами, и о силах, требуемых для производства каких бы то ни было движений.

Центральная идея законов движения И. Ньютона заключается в следующем: изменение состояния движения (скорости) тел вызывается взаимодействием их друг на друга. Вслед за Г. Галилеем, И. Ньютону удалось опровергнуть одно из глубочайших заблуждений человечества о законах движения тел. На протяжении почти 20 веков, начиная с Аристотеля, все были убеждены в том, что движение с постоянной скоростью нуждается для своего поддержания в воздействии извне. В действительности же изолированное тело, которое не взаимодействует с другими телами, движется всегда с постоянной скоростью (движение по инерции). Следует обратить внимание на связь силы с движением. Если действующие на тело силы уравновешивают друг друга, тело находится в покое. Если же силы не уравновешиваются, то в этом, и только в этом случае, изменяется скорость движения тела. Вторым законом Ньютона действие силы точным количественным образом было связано с ускорением: «тело получает ускорение, величина которого прямо пропорциональна величине силы, но совершенно не зависит от происхождения этой силы».

Интересное замечание сделал Ф. Энгельс в своей работе «Диалектика природы»: «В механике причины движения принимают за нечто данное и интересуются не их происхождением, а только их действиями. Поэтому, если ту или иную причину движения называют силой, то это нисколько не вредит механике, однако когда это обозначение переносится в область физики, химии и биологии, то неизбежно возникает путаница. Механика - единственная наука, в которой действительно знают, что означает слово сила».

Однако и в механике вопрос о силах вряд ли можно считать решенным. Остаётся не выясненным вопрос о том, почему, вследствие каких физических процессов появляются те или иные силы. Можно конечно, не вникать в природу сил, т.к. для решения задач механики достаточно знать величину сил, определять, когда и как они действуют, располагать способами их измерения.

То обстоятельство, что природа сил не существенна для механики составляет её недостаток, но одновременно и является её преимуществом, позволяющим успешно описывать движения и молекул и звёзд.

Но все же вопрос о природе сил остаётся нерешенным.

Ощущая отсутствие полной ясности в понятии силы, ученые все время пытались преодолеть эту трудность. Одни предпринимали попытки провести более глубокий анализ природы взаимодействий;

другие, как например, знаменитый немецкий физик Г.Р. Герц (1857-1894 гг.), вообще старались не прибегать в своих исследованиях к понятию силы. Герцу удалось построить механику, не используя понятия силы. Однако это привело к необходимости введения новых гипотез, а также усложнило формулировки основных положений механики.

Недостаточная ясность в понимании природы силы, породившая попытки изгнать понятие силы из механики, привела к противоположному эффекту: термин «сила» начал использоваться в других областях науки. В современной терминологии сохранились электродвижущая сила (в сущности - работа), живая сила (энергия), сила света, сила тока: ни одно из этих понятий никакого отношения к силе, в обычном механическом понимании, не имеет.

Итак, в основе классической механики Галилея – Ньютона, лежит вводимое аксиомами Ньютона, понятие силы, где сила определяется как абстрактно представленная причина изменения состояния движения.

В своих работах И. Ньютон стремился подвести под все явления природы закон всемирного тяготения, доказывал существование пустого межпланетного пространства, вследствие чего дальное действие объяснялось как тяготение атомов и тел через пустоту.

В отличие от И. Ньютона французский философ и математик Р. Декарт (1596-1650 гг.) в трактате по механике «Начало философии» (1644 г.) исходил из своих представлений об отсутствии в мире пустоты, сплошной заполненности мирового пространства материей. Р. Декарт отрицал существование каких-либо сил дального действия. Он признавал только одно механическое взаимодействие тел: давление или соударение. Первопричиной движения Р. Декарт считал Бога, а основным принципом мироздания – закон постоянства количества механического движения в природе. В своём трактате он употребил термин «сила движения», который следует понимать как «количество движения».

Обе системы взглядов Р. Декарта и И. Ньютона, будучи механистическими, в деталях резко отличались, вследствие чего возникли два полемизирующих лагеря - картезианцев и ньютоналинцев.

Взгляд Л. Эйлера на понятие силы. Великий математик, механик, физик, астроном Л. Эйлер (1707-1783 гг.) занимал промежуточную позицию: отдавая должное ньютоновой механике, но не признавая пустого пространства.

Сила является основным понятием динамики Эйлера. Все силы, действующие на материальные тела он разделял на две категории:

«абсолютные силы» - силы зависящие только от положения тел, но не от состояния их движения, и «относительные силы» - силы сопротивления, зависящие от состояния движения тел иначе, чем во время его движения. В определении Эйлера «сила есть то усилие, которое приводит тело из состояния покоя в состояние движения или видоизменяет его движение». О происхождении сил, особенно сил тяготения, Эйлер отказывается судить: «Имеют ли подобного рода силы свое происхождение в самих телах или же они существуют в природе сами по себе – этого я здесь не определяю». Однако, ему пренадлежит и следующее замечание: «Мы же с достаточной ясностью видим, что силы могут получать свое начало из упругих тел и из вихрей».

Аналитический период развития механики. Первая часть аналитического периода соответствует промышленной революции 18 в. Понятие силы ученые того времени считали второстепенным понятием механики, отдавая предпочтение понятию количества движения (кинетическое воздействие).

Вторым понятием промышленной революции (19 в.) было введение в промышленность паровой машины, в связи с чем усилилась роль динамических концепций, рассматривающих силы как причину изменения состояния движения. Потребность расчёта паровых машин привело к открытию закона механической энергии, а так же к разработке понятий работы силы и силовой функции.

Самым выдающимся представителем кинетического направления в науке был французский механик Ж.-Л. Даламбер (1717-1783 гг.). Силу он считал второстепенным понятием. Сложение сил он пытался исследовать на основе сложения движений. Отвергая возможность считать закон ускоряющих сил «необходимой истиной», Даламбер пользуется этим законом в качестве определения понятий «движущей силы» (силы) в отличие от «ускоряющей силы» (ускорения). После этого употребление понятия силы в статике стало путанным и трудным, т.к. вместо сил он рассматривал ускорения, а вместо ускорения – приращение скоростей или просто скорости.

Представителем кинетического направления в механике был французский математик, механик, военный инженер Л. Карно (1753-1823 гг.). Силу он понимал в духе Даламбера: как произведение массы тела на его ускорение. Он считал необходимым при изучении законов сообщения движения положить в основу явление соударения тел.

Виднейшим представителем динамического направления был швейцарский физик, математик Д. Бернулли (1700-1782 ГГ.). Д. Бер-

нулли считал силу фундаментальным понятием механики. Ему принадлежат три гипотезы:

– две любые силы могут быть заменены эквивалентными силами;

– две силы, имеющие одинаковые направления, эквивалентны одной силе, равной их сумме или разности (в зависимости от направления сил);

– сила, эквивалентна двум равным силам, приложенным к одной точке твёрдого тела, направлена вдоль внутренней биссектрисы угла, образованного этими двумя силами (правило параллелограмма).

После Д. Бернулли многие учёные пытались доказать и логически объяснить правило параллелограмма, которое в наше время принимается как аксиома.

Вызывают интерес рассуждения французского математика и механика Л. Пуансо (1777-1859 гг.) относительно понятия силы: “Представление о направлении силы мы приобретаем почти с рождения. Ощущение тяготения, действующего всегда в одном направлении, вид тела падающего, различие веса, испытываемого рукой, и множество других не менее простых явлений дают нам представление о направлении силы столь же неоспоримое, как и само наше существование. Итак, мы считаем очевидным, что всякая сила действует на точку, к которой она приложена, в некотором направлении и с некоторым напряжением”. Это определение Л. Пуансо фактически даёт векторный образ силы. Л. Пуансо широко использовал понятие “сил сопротивления”, которые по сути являются реакциями связи.

В 1788 году французский математик и механик Ж.-Л. Лагранж (1736-1813 гг.) опубликовал свой знаменитый труд “Аналитическая механика” в котором отнес понятие силы к основным понятием механики. Он писал: « Под силой мы понимаем, вообще говоря, любую причину, которая сообщает или стремится сообщить движение телам, к которым мы представляем себе ее приложенной». Итог работы Лагранжа в отношении развития понятия силы таков: в статике сила в сущности не определяемая величина, в динамике она связывается с массой и вторыми производными от координат по времени, что ведет через общее уравнение динамики к уравнениям движения.

Вся научная литература конца третьей и начала четвертой четверти 19 в. так или иначе затрагивала проблемы общих принципов механики. Делались попытки ревизии основ ньютоновой механики. Различие подходов к проблеме понятия силы отражало различие философских убеждений ученых и выявляло очередной этап борьбы между материализмом и идеализмом в науке.

Большая группа видных ученых была враждебно настроена к попыткам ревизии основ ньютоновой механики. Сюда относилось большинство русских механиков: Г.К Суслов, Ф.А. Слудский, Н.Е. Жуковский, Д.К. Бобылев и др. Их точка зрения: динамические основы механики, связанные с понятием силы и с принципом инерции, чрезвычайно плодотворны. Ценность понятия силы и связанной с этим понятием системы механики состоит в том, что выводимые из этих понятий и законов количественные зависимости позволяют эффективно решать самые разнообразные практические задачи механики, если даже механизм передачи движения неизвестен.

Заключение. По современным данным в природе имеется всего лишь четыре типа сил: силы тяготения, электромагнитные силы, ядерные силы и слабые взаимодействия. Гравитационные силы господствуют в мире космических объектов. Электромагнитные силы становятся основными при рассмотрении атомов, молекул и частиц вещества, из которых это вещество складывается. По большинству охватываемых явлений диапазон действия электромагнитных сил не ограничен.

Область, где действует ядерные силы – ядра атомов. И наконец, слабые взаимодействия протекают в сфере самих частиц, из которых складывается все вещество, в том числе и атомные ядра.

В механике же в настоящее время под силой понимают меру механического воздействия для данного мгновения на материальную частицу со стороны других материальных объектов (тел или полей), характеризующую величину и направление этого воздействия. Здесь следует отметить, что под механическим воздействием следует понимать действие на данное материальное тело со стороны других материальных объектов, которое приводит к изменению скоростей точек этого тела или следствием которого является изменение взаимного положения частей данного тела.

В заключение краткого обзора о развитии понятия силы хочется дать формулировку определения силы, которая приводится во многих современных учебниках по теоретической механике: "Сила - векторная величина, являющаяся мерой механического действия одного материального тела на другое".

Список источников.

1. Тюлина И.А., Ракчеев Е.Н. История механики. - М.: Изд-во МГУ, 1962.-228с.
2. Космодемьянский А.А. Очерки по истории механики. - М.: Просвещение, 1964.-456с.
3. Григорьян А.Т. Механика от античности до наших дней.-М.: Наука, 1971.-312с.
4. Григорьян А.Т. Популярные беседы по механике. - М.: Наука, 1965.-192с.
5. Веселовский И.Н. Очерки по истории теоретической механики. - М.: ВШ, 1974.-287с.

Статья рекомендована к опубликованию д.т.н., В.Б. Малеевым