# Сила — математическая характеристика взаимодействия

Опыт показывает, что движение большинства тел является насильственным, поэтому его количество не остается неизменным. Причина изменения количества движения — материальное взаимодействие. Описать такое взаимодействие непросто. Чтобы понять, как физика подходит к описанию взаимодействия, рассмотрим простой пример. На рисунке изображена пушка. Она делает выстрел и поражает мишень. Как описать процесс взаимодействия?



Первый способ. Предложен Ньютоном. Выстрел пушки приводит к появлению отверстия в мишени. Механизм взаимодействия пушки и мишени не конкретизируем. Считаем, что пушка действует на мишень непосредственно. Так как пушку и мишень разделяет некоторое расстояние, необходимо предположить, что непосредственное взаимодействие возможно и на расстоянии. В таком случае говорят, что имеет место дальнодействие.

Ньютон неоднократно утверждал, что поиски механизма взаимодействия — задача физики. Ему же, как математику, достаточно было математических соотношений, выражающих причинно-следственные связи. Знание таких связей позволяет рассчитать характеристики принудительного движения и, следовательно, полностью удовлетворять потребности прикладной науки.

Таким образом, основу воззрений Ньютона и всей классической научной парадигмы составляет идея математического выражения причинно-следственных связей.

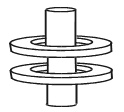
Причину, изменяющую состояние движения безотносительно к механизму ее действия, Ньютон назвал силой.

Если известны математические характеристики процесса взаимодействия, то этим задана величина силы, с которой один объект воздействует на другой. В нашем примере с пушкой при таком способе рассмотрения снаряд не рассматривается. Рассмотрение ограничивается только установлением причинно-следственной связи между выстрелом и его результатом.

Подход, разработанный Ньютоном, оказался настолько плодотворным, что на протяжении многих лет классическая наука использовала его для решения большинства научных и технических задач.

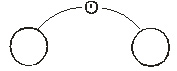
Второй способ. Представьте себе, что пушка стреляет постоянно. В этом случае каждой точке пространства можно сопоставить возможное воздействие со стороны снарядов. Сила в этом случае является функцией пространственной переменной. При этом можно говорить о поле сил, окружающем пушку.

В школе вам объясняли, что поле является особым видом материи. С этим тяжело не согласиться. Вот простое устройство (см. рисуник ниже). Оно состоит из пластмассовой оси, на которую одето два магнитных кольца, повернутых одноименными полюсами друг к другу. Вы можете убедиться, что нечто весьма ощутимым образом расталкивает кольца так, что верхнее кольцо покачиваясь, летает над нижним. Это нечто называется магнитным полем.



Правда, вы можете возразить, что нет тут никакого поля, а взаимодействуют два магнита. Считать так или иначе — дело вкуса. Представление о силе, действующей на расстоянии, и поле сил, как особой форме материи, на самом деле всего лишь два способа идеализации, используемые в физике для описания одного и того же процесса материального взаимодействия.

Применительно к нашему примеру с пушкой вы можете сказать: “Какие силы, какое поле? Каждому понятно, что мишень поражает не какая-то сила, а артиллерийский снаряд”. И будете правы. Обычно естественные науки удовлетворяются простым установлением причинно-следственной связи между явлениями, используя понятия “сила”, “поле сил” и т. п. Но когда оказывается необходимым рассмотреть механизм взаимодействия, приходится вспомнить и о “снарядах”. Таким рассмотрением занимается квантовая теория поля. Согласно ее воззрениям взаимодействие между элементарными частицами реализуется за счет того, что они “обстреливают” друг друга элементарными частицами специального вида. В случае магнитного или электрического взаимодействия эти частицы называются фотонами. Ядерные частицы взаимодействуют, “обстреливая” друг друга особыми частицами, получившими название пи-мезонов (рисуник ниже).



А теперь представьте себе узкий проход, закрытый заградительным огнем пулемета. Понятно, что если достаточно много солдат быстро побегут в этот проход, то кто-то сможет проскочить между пулями.

Сходные явления наблюдаются в полупроводниках, где часть электронов оказывается в состоянии пройти через поле отталкивания запорного слоя, не имея энергии, достаточной для этого. Такое явление называется туннельным эффектом. Оно служит косвенным подтверждением идей квантовой теории поля.

Скажите, пожалуйста, стали бы вы инвестировать значительные суммы в развитие квантовой электродинамики? Не стали бы? Ну и напрасно. Только применение туннельных диодов, а точнее, туннельных переходов в микросхемах дало миллионные прибыли фирмам, которые вовремя вложили средства в изучение этого эффекта, т. е. в развитие квантовой теории поля.

Особенности описания взаимодействий классической механикой

Итак, воспользовавшись концепцией причинно-следственной связи, Ньютон ввел в классическую физику понятие силы. Более того, он предположил прямую пропорциональность между величиной силы и скоростью изменения количества движения. Такая пропорциональность составляет содержание второго закона классической механики, выражаемого обычно в виде основного уравнения динамики

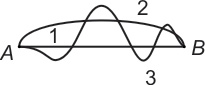


Второй закон Ньютона неоднократно подвергался ревизии со стороны последователей, поскольку совершенно не очевидна пропорциональность силы и скорости изменения импульса.

В начале 60-х гг. XX столетия Норман Дин высказал предположение, согласно которому сила должна быть представлена в виде степенного ряда по времени. Он даже построил машину, которая якобы должна была летать за счет внутренних сил. Воззрения Дина приводили к несоблюдению закона сохранения импульса и, как следствие, к предположению о неоднородности пространства. Поддержки в рамках современной парадигмы и, что гораздо важнее, экспериментального подтверждения они не получили.

Основным объектом неприятия в Ньютоновской механике служило понятие силы. Попытки устранить силу из механики продолжались на протяжении нескольких столетий и привели к формулировке: бессиловой механики Герца, механики Лагранжа, механики Гамильтона, Якоби и некоторых других, менее значимых теорий. Слабым местом всех этих, безусловно, очень полезных концепций, являлось то, что взамен силы они предлагали ничуть не более понятные заменители: функцию Лагранжа, функцию Гамильтона и т. д. Тем не менее эти работы и по сей день составляют золотой фонд теоретической механики и широко используются на практике.

Современная трактовка бессиловой механики отличается одной интересной чертой. В Ньютоновской трактовке причинно-следственных связей ведущая роль отводилась причине, персонифицированной силой. Бессиловые механики основную роль отводили следствию, сосредотачивая свое внимание на пути его достижения.



Представьте себе материальную точку, перемещающуюся из положения A в положение B (рисуник выше). Это перемещение может происходить по траектории 1, траектории 2, траектории 3 и т. д.

В бессиловой механике частица “осматривает” все возможные варианты траектории своего движения и выбирает из них одну — самую удобную. Для этого траектория должна быть численно оценена. В качестве орудия такой оценки используются специальные функции, которые таким образом заменяют силу. Поскольку решение задачи сводится к выбору одного из возможных вариантов, такие методы называют вариационными. Здесь следует заметить, что именно вариационные методы чаще всего используются при решении экономических задач ведущими математиками.

Последнее утверждение классической механики касается симметрии взаимодействий. Согласно этому утверждению сила, с которой тело А действует на тело В равна по величине и противоположна по направлению силе, с которой тело В действует на тело А. Такая симметрия на первый взгляд кажется очевидной, однако уже для случая ядерных сил не выполняется. Возможные причины этого — отнюдь не бесконечная скорость распространения взаимодействия.

Связь между симметрией взаимодействия и мгновенностью его распространения несложно уяснить себе на следующем примере. Представьте себе молодую супружескую чету Сашу и Дашу. Саша живет в Москве, а Даша во Владивостоке. Между ними роман в письмах. Саша заподозрил Дашу в неверности и пишет ей письмо, исполненное упреков и оскорблений. С его точки зрения между ним и Дашей произошло взаимодействие. Но Даша ничего об этом не знает. Для нее взаимодействия еще нет. Письмо она получит только через месяц. Теперь взаимодействие уже наступило. Но Саша одумался и раскаивается. Как видите, симметрии взаимодействий и в этом случае нет. Она была бы, если бы время распространения взаимодействия оказалось пренебрежимо малым (скажем, выяснение отношений происходило при непосредственной встрече).

Взаимодействие между ядерными частицами осуществляется путем обмена пи- мезонами. Это тяжелые частицы и время их полета не равно нулю подобно времени пересылки письма. Именно поэтому третий закон Ньютона для ядерных сил не выполняется.