

Сила упругости

Темы кодификатора ЕГЭ: силы в механике, сила упругости, закон Гука.

Как мы знаем, в правой части второго закона Ньютона $m\vec{a} = \vec{F}$ стоит равнодействующая (то есть векторная сумма) всех сил, приложенных к телу. Теперь нам предстоит изучить силы взаимодействия тел в механике. Их три вида: сила упругости, гравитационная сила и сила трения. Начинаем с силы упругости.

Деформация

Силы упругости возникают при деформациях тел. *Деформация* — это изменение формы и размеров тела. К деформациям относятся растяжение, сжатие, кручение, сдвиг и изгиб.

Деформации бывают упругими и пластическими. *Упругая деформация* полностью исчезает после прекращения действия вызывающих её внешних сил, так что тело полностью восстанавливает форму и размеры. *Пластическая деформация* сохраняется (быть может, частично) после снятия внешней нагрузки, и тело уже не возвращается к прежним размерам и форме.

Частицы тела (молекулы или атомы) взаимодействуют друг с другом силами притяжения и отталкивания, имеющими электромагнитное происхождение (это силы, действующие между ядрами и электронами соседних атомов). Силы взаимодействия зависят от расстояний между частицами. Если деформации нет, то силы притяжения компенсируются силами отталкивания. При деформации изменяются расстояния между частицами, и баланс сил взаимодействия нарушается.

Например, при растяжении стержня расстояния между его частицами увеличиваются, и начинают преобладать силы притяжения. Наоборот, при сжатии стержня расстояния между частицами уменьшаются, и начинают преобладать силы отталкивания. В любом случае возникает сила, которая направлена в сторону, противоположную деформации, и стремится восстановить первоначальную конфигурацию тела.

Сила упругости — это сила, возникающая при упругой деформации тела и направленная в сторону, противоположную смещению частиц тела в процессе деформации. Сила упругости:

1. действует между соседними слоями деформированного тела и приложена к каждому слою;
2. действует со стороны деформированного тела на соприкасающееся с ним тело, вызывающее деформацию, и приложена в месте контакта данных тел перпендикулярно их поверхностям (типичный пример — сила реакции опоры).

Силы, возникающие при пластических деформациях, не относятся к силам упругости. Эти силы зависят не от величины деформации, а от скорости её возникновения. Изучение таких сил выходит далеко за рамки школьной программы.

В школьной физике рассматриваются растяжения нитей и тросов, а также растяжения и сжатия пружин и стержней. Во всех этих случаях силы упругости направлены вдоль осей данных тел.

Закон Гука

Деформация называется *малой*, если изменение размеров тела много меньше его первоначальных размеров. При малых деформациях зависимость силы упругости от величины деформации оказывается линейной.

Закон Гука. Абсолютная величина силы упругости прямо пропорциональна величине деформации. В частности, для пружины, сжатой или растянутой на величину x , сила упругости даётся формулой:

$$F = kx, \quad (1)$$

где k — коэффициент жёсткости пружины.

Коэффициент жёсткости зависит не только от материала пружины, но также от её формы и размеров.

Из формулы (1) следует, что график зависимости силы упругости от (малой) деформации является прямой линией (рис. 1):

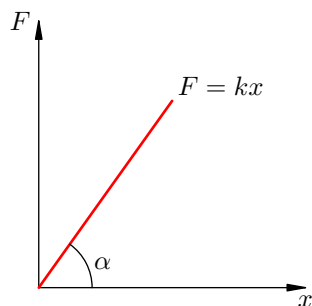


Рис. 1. Закон Гука

Коэффициент жёсткости k — это угловой коэффициент в уравнении прямой $F = kx$. Поэтому справедливо равенство:

$$k = \operatorname{tg} \alpha,$$

где α — угол наклона данной прямой к оси абсцисс. Это равенство удобно использовать при экспериментальном нахождении величины k .

Подчеркнём ещё раз, что закон Гука о линейной зависимости силы упругости от величины деформации справедлив лишь при малых деформациях тела. Когда деформации перестают быть малыми, эта зависимость перестаёт быть линейной и приобретает более сложный вид. Соответственно, прямая линия на рис. 1 — это лишь небольшой начальный участок криволинейного графика, описывающего зависимость F от x при всех значениях деформации x .

Модуль Юнга

В частном случае малых деформаций *стержней* имеется более детальная формула, уточняющая общий вид (1) закона Гука.

Именно, если стержень длиной l и площадью поперечного сечения S растянуть или сжать на величину x , то для силы упругости справедлива формула:

$$F = ES \frac{x}{l}.$$

Здесь E — *модуль Юнга* материала стержня. Этот коэффициент уже не зависит от геометрических размеров стержня. Модули Юнга различных веществ приведены в справочных таблицах.