

Тема 9. Силовые характеристики тела

Силовое воздействие приводит к изменению движения или деформации.

Сила – это векторная физическая величина, которая является мерой взаимодействия тел. Силу обозначают буквой F ($\vec{F}$). Единица силы – ньютон (Н). Сила F равна произведению массы тела m на ускорение a , которое получило тело под действием этой силы:

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

Сила определяется:

- 1) величиной (модулем);
- 2) направлением в пространстве;
- 3) точкой приложения.

Обычно на тело действует не одна сила, а несколько, поэтому используют понятие равнодействующей силы, то есть силы, которая производит на тело такое же действие, как все приложенные к телу силы: $\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 \dots$ (рисунок 9.1).

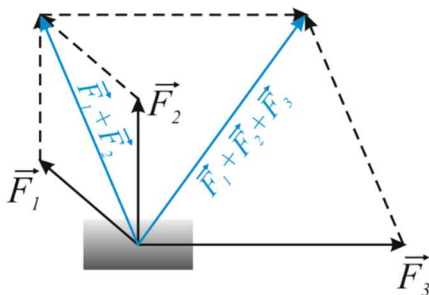


Рисунок 9.1. Равнодействующая сила

Виды сил

Сила гравитационного взаимодействия

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где m_1 и m_2 – массы взаимодействующих тел;

r – расстояние между телами;

G – гравитационная постоянная, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$.

Силы гравитационного взаимодействия направлены вдоль линии, которая соединяет центры масс тел (рисунок 9.2, а).

Для тела, которое находится над поверхностью Земли:

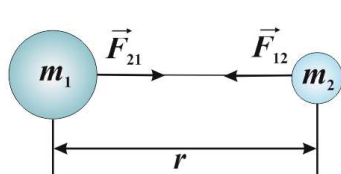
$$F = G \frac{mM}{(R + h)^2},$$

где m – масса тела;

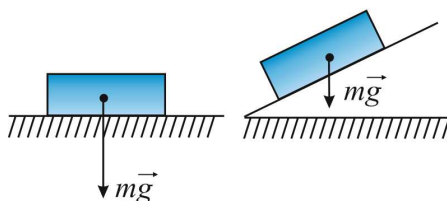
M – масса Земли (примерно $6 \cdot 10^{24}$ кг);

R – радиус Земли (примерно 6400 км);

h – расстояние от поверхности Земли до тела.



а)



б)

Рисунок 9.2. Гравитационное взаимодействие (а) и сила тяжести (б)

Сила тяжести – это сила гравитации, с которой Земля притягивает к себе тела, находящиеся на поверхности:

$$\vec{F}_T = m\vec{g},$$

где g – ускорение свободного падения ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$). Сила тяжести приложена к центру масс тела и направлена к центру Земли (рисунок 9.2, б).

Вес тела – это сила, с которой тело действует на горизонтальную опору или подвес:

$$\vec{P} = m\vec{g},$$

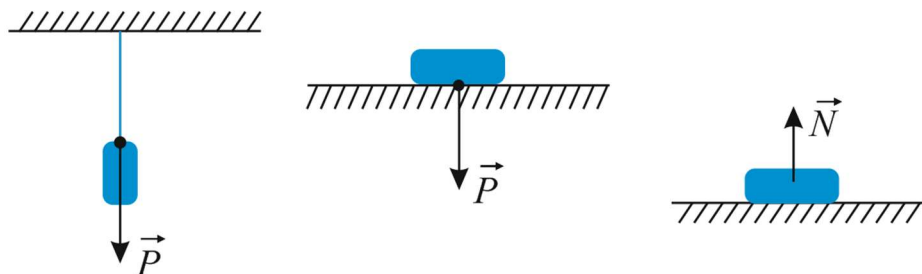
m – масса тела;

g – ускорение свободного падения ($g \approx 9,81 \text{ м/с}^2$). Вес тела направлен вертикально вниз и приложен к точке опоры (рисунок 9.3 а).

Сила реакции опоры (сила давления) – это сила, с которой опора или подвес действуют на тело. Она равна по модулю весу тела и направлена под углом 90° к поверхности:

$$\vec{N} = m\vec{g}.$$

Сила реакции опоры приложена к поверхности соприкасающихся тел (рисунок 9.3, б).



а)

б)

Рисунок 9.3. Вес тела (а) и сила реакции опоры (б)

Сила упругости – это сила, которая возникает при деформации тела и стремится вернуть тело в начальное состояние. Деформация – это изменение формы или объёма тела под действием внешних сил. Бывает деформация сжатия, растяжения, сдвига, кручения и изгиба (рисунок 9.4).

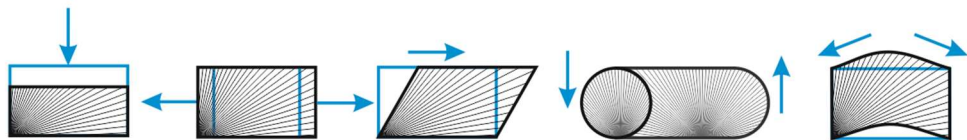


Рисунок 9.4. Виды деформации

Сила упругости прямо пропорциональна удлинению тела и направлена противоположно силе внешнего воздействия (закон Гука) (рисунок 9.5):

$$\vec{F}_{\text{упр}} = -kx,$$

где k – коэффициент жёсткости (Н/м);

x – изменение длины при деформации тела (удлинение) (м).

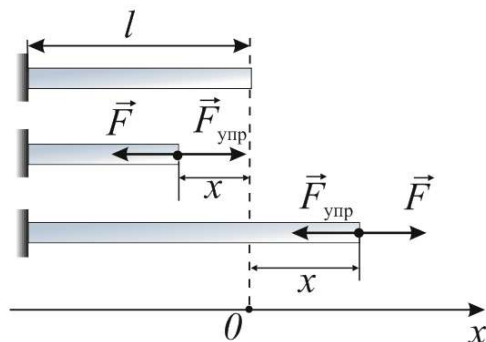


Рисунок 9.5. Сила упругости

Знак минус означает, что сила упругости всегда направлена против внешней силы и при решении задач может не писаться, так как учитывается при переходе от векторных величин сил к скалярным.

Механическое напряжение – это мера внутренних сил, которые возникают при деформации тела. Напряжение (поверхностная сила, поверхностная нагрузка) – это нагрузка, отнесённая к единице площади:

$$\sigma = \frac{F}{S},$$

где F – модуль силы, которая вызывает деформацию;
 S – площадь поперечного сечения тела.

Механическое напряжение – это скалярная физическая величина, которая измеряется в единицах давления. Растягивающее напряжение считают положительным, а сжимающее – отрицательным.

В качестве меры деформации используют относительное удлинение:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l},$$

где l – начальная длина стержня;
 Δl – удлинение стержня.

Закон Гука можно записать в виде

$$\sigma = E\varepsilon,$$

где E – модуль Юнга, который зависит от материала стержня;
 ε – относительное удлинение стержня.

Механическое напряжение возникает в теле человека, например, при подъёме груза или повторяющихся нагрузках. Механическое напряжение в мышце возникает при её сокращении. Чем больше возбуждена мышца, тем больше величина механического напряжения.

Значения модуля упругости представлены в таблице 9.1:

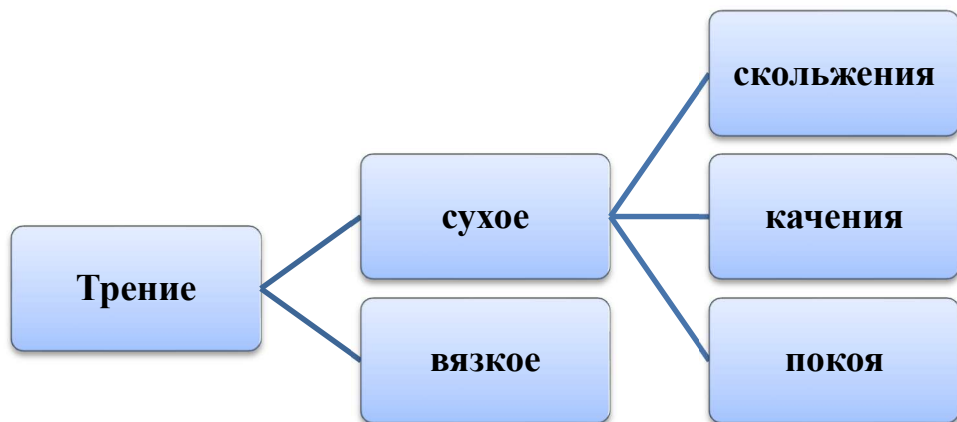
9.1. Модуль упругости некоторых тел

Кость	$2 \cdot 10^9$ МПа	Сталь	$2 \cdot 10^{11}$ МПа
Артерия	$5 \cdot 10^4$ МПа	Дерево	$12 \cdot 10^9$ МПа
Мышца в покое	$9 \cdot 10^5$ МПа	Резина	$5 \cdot 10^6$ МПа

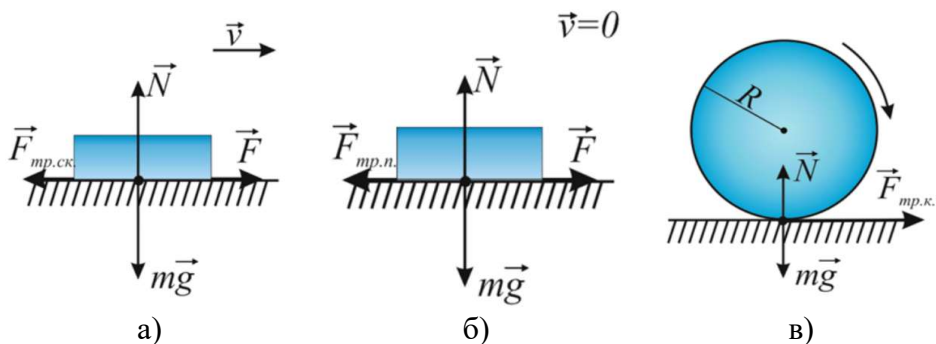
Сила трения – это сила, которая возникает при движении одного тела по поверхности другого тела:

$$\vec{F}_{\text{тр}} = \mu \vec{N},$$

где μ – коэффициент трения, его определяют из эксперимента. Показывает, насколько поверхность гладкая;
 N – сила нормальной реакции опоры.



Сила трения направлена против движения (скорости тела) и приложена к поверхности движущегося тела. Виды сил сухого трения: скольжения, покоя, качения (рисунок 9.6).



**Рисунок 9.6. Виды сил трения:
скольжения (а), покоя (б), качения (в)**

Сила трения скольжения прямо пропорциональна силе реакции опоры и коэффициенту трения скольжения:

$$\vec{F}_{\text{тр}} = \mu \vec{N},$$

где μ – коэффициент трения, его определяют из эксперимента.

Показывает, насколько поверхность гладкая;

N – сила нормальной реакции опоры.

Сила трения покоя – это сила, которая возникает между неподвижными телами, на одно из которых действует внешняя сила, не приводящая к началу движения:

$$F_{\text{тр.п.}} = F_{\text{тяги}},$$

где $F_{\text{тр.п.}}$ – сила трения покоя;

$F_{\text{тяги}}$ – сила, приложенная к телу.

Сила трения качения – это сила, которая возникает, когда одно тело катится по поверхности другого тела:

$$F_{\text{тр.к.}} = \frac{\lambda N}{R},$$

где λ – коэффициент трения качения;

N – сила реакции опоры;

R – радиус колеса.

Сила трения качения всегда меньше силы трения скольжения, поэтому колеса используют не только в различных видах транспорта, но и в устройствах, облегчающих приложенные усилия.

Сила вязкого трения – это сила, которая возникает при движении твёрдого тела в жидкости или газе. Сила вязкого трения направлена противоположно направлению скорости. При вязком трении нет

трения покоя. Сила вязкого трения всегда меньше силы сухого трения и зависит от формы тела:

$$F = \eta S \frac{v}{d},$$

где η – коэффициент вязкости (Па · с);

S – площадь взаимодействующих слоёв (м²);

v – скорость движения одного слоя относительно другого (м/с);

d – расстояние между слоями (м).

При малых скоростях $F \sim v$, а при больших – $F \sim v^2$. Коэффициент вязкости зависит от температуры и агрегатного состояния вещества (таблица 9.2):

9.2. Зависимость коэффициента вязкости от температуры и агрегатного состояния

Вещество	Вода		Воздух	
Температура, °C	0°C	60	0	60
Плотность, кг/м ³	1000	983	1,3	1,06
Вязкость, Па · с	$1788 \cdot 10^6$	$470 \cdot 10^6$	$17,2 \cdot 10^6$	$20,1 \cdot 10^6$

Сила Архимеда (выталкивающая сила) – это сила, которая действует на любое тело, находящееся в жидкости или газе:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{т}},$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости (или газа), в которой находится тело,

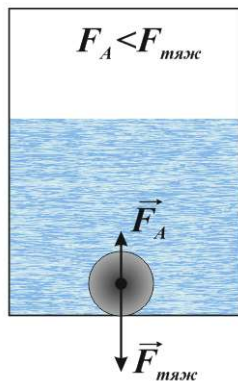
g – ускорение свободного падения,

$V_{\text{т}}$ – объём тела или его части, которая находится в жидкости.

Сила Архимеда (выталкивающая сила) приложена к центру тяжести (масс) тела и направлена противоположно силе тяжести – вертикально вверх.

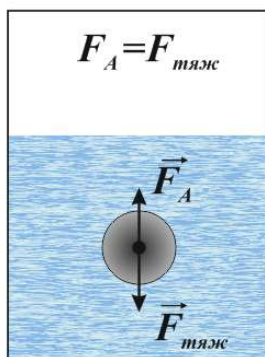
Условия плавания тел

Тело тонет



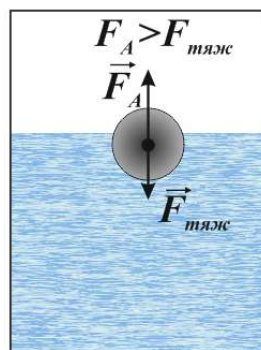
Плотность
жидкости меньше
плотности тела

Тело плавает



Плотность жидкости
равна плотности тела

Тело всплывает



Плотность жидкости
больше плотности
тела