



§ 25.

Условия равновесия тел. Момент силы

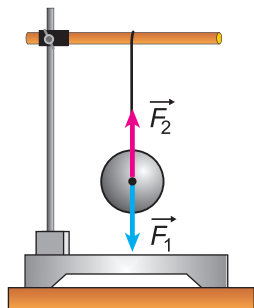


Рис. 170

До сих пор мы изучали **движение** тел. А нужно ли изучать **состояние покоя** тел? Безусловно, да! Ведь обеспечить **состояние покоя и устойчивость** домов, мостов, плотин, телевизионных вышек и т. д. — важнейшая практическая задача! Ее решением занимается **статика**.

Состояние тела, при котором оно остается неподвижным относительно данной инерциальной системы отсчета, называют **состоянием механического равновесия**.

Рассмотрим, *при каких условиях* тела находятся в состоянии равновесия.

Первое условие следует из второго закона Ньютона: для равновесия тела необходимо, чтобы векторная сумма всех сил, приложенных к нему, была равна нулю:

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \vec{0}. \quad (1)$$

Например, для равновесия шарика (рис. 170) векторная сумма силы тяжести $\vec{F}_1$ и силы упругости $\vec{F}_2$, действующих на шарик, должна быть равна нулю: $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$.

Но *достаточно ли* выполнения условия (1) для равновесия тела? Например, для тела, имеющего ось вращения: колеса автомобиля (рис. 171, а), колеса обозрения (рис. 171, б), ворота (рис. 171, в), рулевого колеса (рис. 172) и т. д.?

На рисунке 172, а на рулевое колесо действуют сила тяжести $m\vec{g}$ и сила реакции оси $\vec{N}$. Их сумма $m\vec{g} + \vec{N} = \vec{0}$, и колесо находится в состоянии покоя. Останется ли рулевое колесо в покое, если к нему приложить еще две силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ (рис. 172, б), модули которых равны, направления противоположны, а точки приложения не совпадают (такие силы в механике называют *парой сил*)?

Несмотря на то что условие (1) по-прежнему выполняется: $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0}$, руль не останется в покое. Из-за действия сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ он будет поворачиваться вокруг своей оси. Значит, выполнения условия (1) для равновесия тел *недостаточно*. Какое еще условие должно выполняться, чтобы не возникало *вращения тела*?



Рис. 171

Для ответа на вопрос проведем опыты с диском (рис. 173, а), имеющим горизонтальную ось вращения, проходящую через его центр — точку O . С помощью штырей, вставленных в отверстия, и нитей будем прикладывать к диску силы, имеющие различные направления, точки приложения и модули (рис. 173, б, в).

Сила тяжести диска $\vec{F}_T$ и сила реакции $\vec{N}$ оси приложены к диску в его центре (рис. 173, а). Они не вызывают вращения диска, и на рисунках 173, б, в мы их показывать не будем. Поворот диска могут вызвать только те силы, которые *действуют вдоль линии, не проходящей через ось вращения* (рис. 173, б, в).

Расстояние от оси вращения до линии действия силы называют *плечом силы*.

На рисунке 173, б расстояние l_1 — это плечо силы $\vec{F}_1$, l_2 — плечо силы $\vec{F}_2$.

На рисунке 173, б сила $\vec{F}_1$ стремится повернуть диск против хода часовой стрелки, а сила $\vec{F}_2$ — *по ходу часовой стрелки*. Куда в итоге повернется диск?

Опыты показывают: если $F_1 \cdot l_1 > F_2 \cdot l_2$, то диск повернется против хода часовой стрелки, если $F_1 \cdot l_1 < F_2 \cdot l_2$ — по ходу часовой стрелки. А при выполнении условия

$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2 \quad (2)$$

диск будет находиться в состоянии равновесия.

Произведение модуля силы на ее плечо называют *моментом силы (вращающим моментом)*.

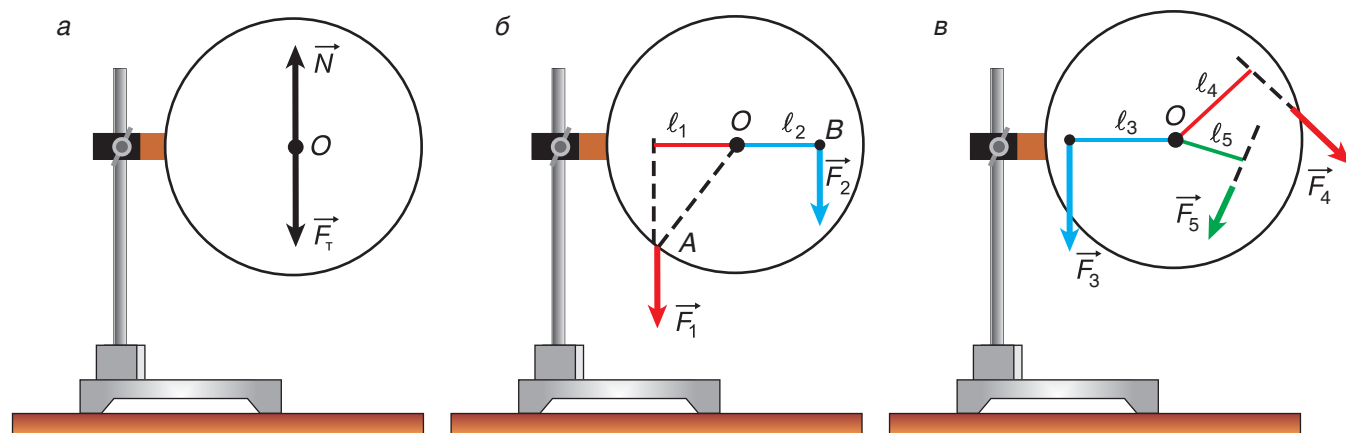


Рис. 173

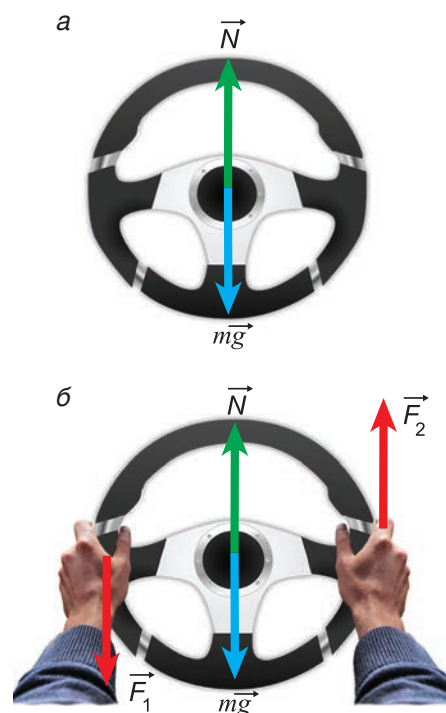


Рис. 172

Момент силы может быть положительным или отрицательным. Все зависит от того, в какую сторону сила стремится повернуть тело вокруг данной оси. Если против хода часовой стрелки, то $M = +F \cdot l$, если по ходу, то $M = -F \cdot l$:

$$M = \pm F \cdot l. \quad (3)$$

Единица момента силы в СИ — **ньютон-метр** ($\text{Н} \cdot \text{м}$). Один ньютон-метр равен вращающему моменту, создаваемому силой 1 ньютона, имеющей плечо 1 метр.

Условие равновесия (2), выраженное через моменты сил с учетом их знаков, примет вид $M_1 = -M_2$, или

$$M_1 + M_2 = 0. \quad (4)$$

А если к телу приложено более двух сил (рис. 173, в)? Тогда, как показывает опыт, для равновесия необходимо равенство нулю алгебраической суммы моментов всех сил, действующих на тело:

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0. \quad (5)$$

Это и есть *второе условие равновесия*.

Момент силы очень важен для практики! Например, если при закручивании болта или гайки мы приложим слишком большой вращающий момент, то резьба будет сорвана. Для ответственных работ используют гаечные ключи с датчиком вращающего момента (рис. 174).



Рис. 174

■ Главные выводы

1. Плечо силы — это расстояние от оси вращения до линии действия силы.
2. Момент силы равен произведению модуля силы и ее плеча, взятому со знаком «плюс» или «минус».
3. Тело, имеющее неподвижную ось вращения, будет находиться в равновесии, если алгебраическая сумма моментов сил, приложенных к нему, равна нулю.

? Контрольные вопросы

1. Что называют плечом силы?
2. Можно ли назвать плечом силы $\vec{F}_1$ расстояние OA (см. рис. 173, б)? Почему?
3. От чего зависит момент силы?
4. Когда момент силы считают положительным? Отрицательным?
5. В каких единицах измеряется момент силы в СИ?
6. При каком условии тело, имеющее неподвижную ось вращения, будет находиться в равновесии?

Упражнение 20

1. Диск может вращаться относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости диска через его центр O (рис. 175). К диску поочередно прикладывают силы $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$, $\vec{F}_4$ и $\vec{F}_5$, лежащие в плоскости диска. Модули всех этих сил равны. Определите относительно точки O : а) плечо какой силы самое большое; б) плечо какой силы равно нулю; в) моменты каких сил положительны; г) моменты каких сил отрицательны; д) какие силы создают одинаковые по абсолютной величине моменты.

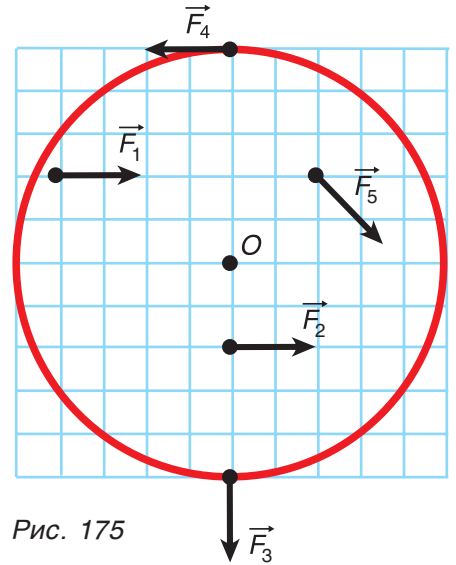


Рис. 175

2. Будет ли находиться в равновесии диск (рис. 175), если к нему будут приложены одновременно все изображенные на рисунке силы?

3. При работе со слесарными тисками к концам горизонтального стержня приложили силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, направленные вертикально (рис. 176). Модуль силы $F_1 = 15$ Н, $F_2 = 10$ Н. Определите моменты этих сил относительно горизонтальной оси, проходящей через точку O перпендикулярно стержню, если длина стержня $L = 45$ см, а плечо $l_1 = 18$ см.

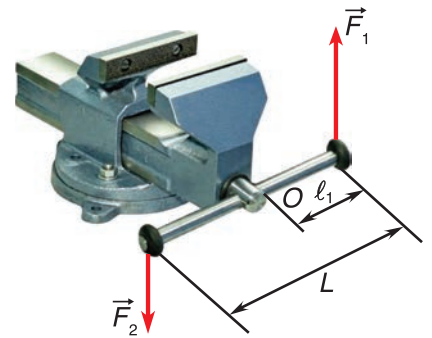


Рис. 176

4. Найдите вращающий момент пары сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ относительно оси рулевого колеса (см. рис. 172, б, с. 119), если их модули $F_1 = F_2 = 75$ Н, а радиус руля $R = 20$ см.

5. К телу приложены две силы. Модули сил равны. Расстояния от оси вращения до точек приложения этих сил одинаковы. Следует ли из этого, что моменты данных сил относительно этой оси равны? Почему?

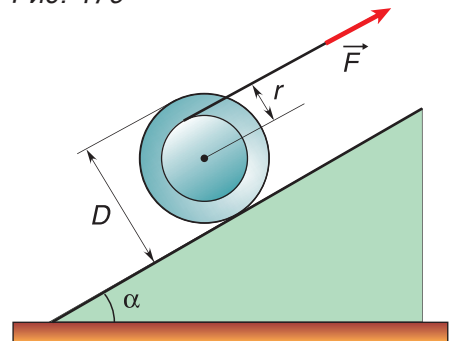


Рис. 177



6. На катушку массой $m = 90$ г намотана нить (рис. 177). Диаметр катушки $D = 6,0$ см, радиус намотки нити $r = 2,0$ см. Определите силу натяжения F нити, удерживающей катушку в состоянии покоя на наклонной плоскости. Угол наклона плоскости к горизонту $\alpha = 30^\circ$, $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.