

Урок 18. Центр тяжести твёрдого тела. Виды равновесия

Центр тяжести твёрдого тела

Предварительные сведения о понятии центра тяжести вы уже получили в главе «Динамика». Найдём положение центра тяжести для наиболее простого случая, когда тело состоит из двух шаров различных масс, соединённых стержнем, массой которого можно пренебречь по сравнению с массами шаров. Кроме того, длину стержня будем считать значительно превышающей радиусы шаров. Тогда шары можно считать материальными точками (рис.1).

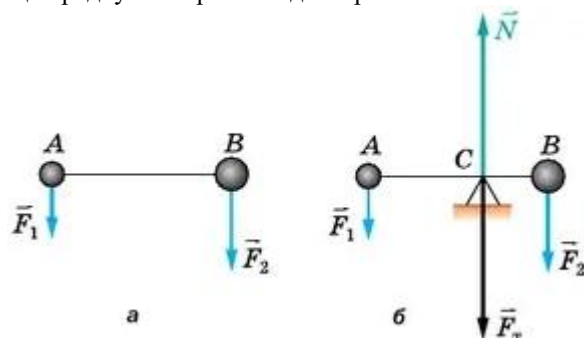


Рисунок 1.

На материальные точки A и B, соединённые невесомым стержнем, действуют силы тяжести $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, параллельные друг другу. Геометрическая сумма этих сил представляет собой результирующую (равнодействующую) силу тяжести $\vec{F}_T$:

$$\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

Она направлена к центру Земли, так же как и силы $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, а её модуль равен сумме модулей складываемых сил. Определим положение центра тяжести, т. е. точки приложения результирующей силы. Для этого мы будем использовать тот факт, что твёрдое тело, закреплённое на оси, проходящей через центр тяжести C, должно находиться в равновесии. Ведь относительно этой оси моменты сил тяжести и силы реакции опоры равны нулю, так как равны нулю плечи этих сил (рис. 5.9, б).

Согласно условию равновесия, можно записать:

$$F_1 d_1 - F_2 d_2 = 0$$

где $d_1 = AC$ и $d_2 = CB$ — плечи сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$.

Отсюда

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}. \quad (1)$$

Данное равенство определяет положение центра тяжести рассматриваемого тела. Точка приложения равнодействующей параллельных сил тяжести делит расстояние между точками приложения этих сил на отрезки, обратно пропорциональные модулям сил.

В случае, когда размеры тела малы по сравнению с расстоянием до центра земного шара, центр тяжести совпадает с центром масс тела.

Виды равновесия твёрдых тел

Мы изучили условия, при которых тело находится в равновесии. Познакомимся теперь с видами равновесия.

Пусть шарик покоится на дне вогнутой сферической чаши (рис. 2). Немного сместим шарик из положения равновесия. Если шарик отпустить, то он возвращается в первоначальное положение. Это означает, что положение равновесия является устойчивым.

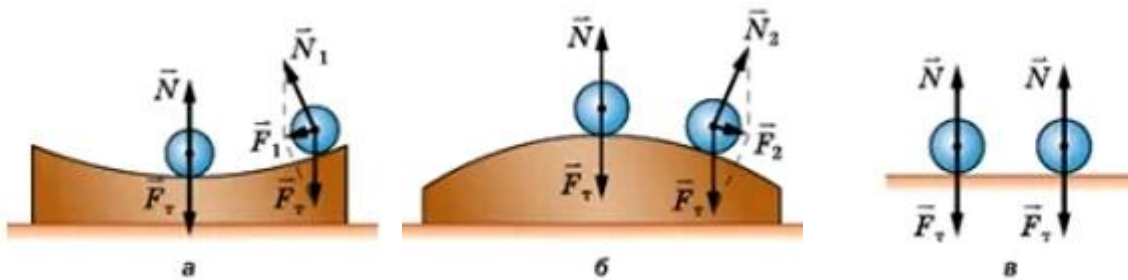


Рис. 2

Объяснить это можно так: в отклонённом положении сила тяжести и сила реакции опоры не уравновешивают друг друга. Возникающая равнодействующая сил $\vec{F}_1$ возвращает тело в первоначальное положение.

Сместим немного шарик, находящийся в равновесии на выпуклой поверхности, из положения равновесия (рис. 2,

б). В этом случае шарик в положение равновесия не возвращается. Равнодействующая сил $\vec{F}_2$ направлена так, что она ещё дальше перемещает тело от положения равновесия. Такое равновесие тела является неустойчивым.

Если смещать шарик на гладкой горизонтальной поверхности, то он остаётся в равновесии. Такое равновесие тела называют безразличным (рис. 2 в). Оно сохраняется при всех смещениях и поворотах тела.

Принцип минимума потенциальной энергии.

Обратим внимание на следующий факт: в устойчивом положении центр тяжести твёрдого тела занимает наинизшее положение по сравнению со всеми возможными соседними положениями тела. Следовательно, потенциальная энергия в устойчивом положении равновесия минимальна.

На основании экспериментальных данных можно сделать следующий вывод: устойчиво то положение твёрдого тела, в котором его потенциальная энергия имеет минимальное значение.

На практике важно знать, насколько устойчиво равновесие тел, опирающихся на горизонтальную или наклонную поверхность, когда на них действует сила притяжения к Земле. Нужно быть уверенным, что, например, грузовой автомобиль не опрокинется на склоне холма (рис. 3). Устойчивым должен быть подъёмный кран, применяемый на стройках.

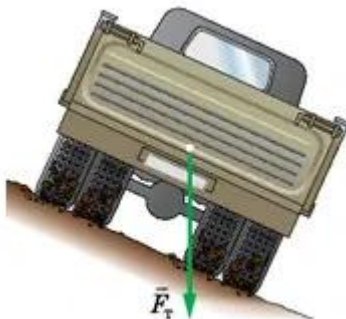


Рис. 3

Исследования физических явлений опытным путём

Выясним, в каком случае тело, опирающееся на поверхность, не упадёт. Для этого поставим на доску небольшую металлическую этажерку, к центру тяжести которой прикреплен отвес (рис. 4, а).

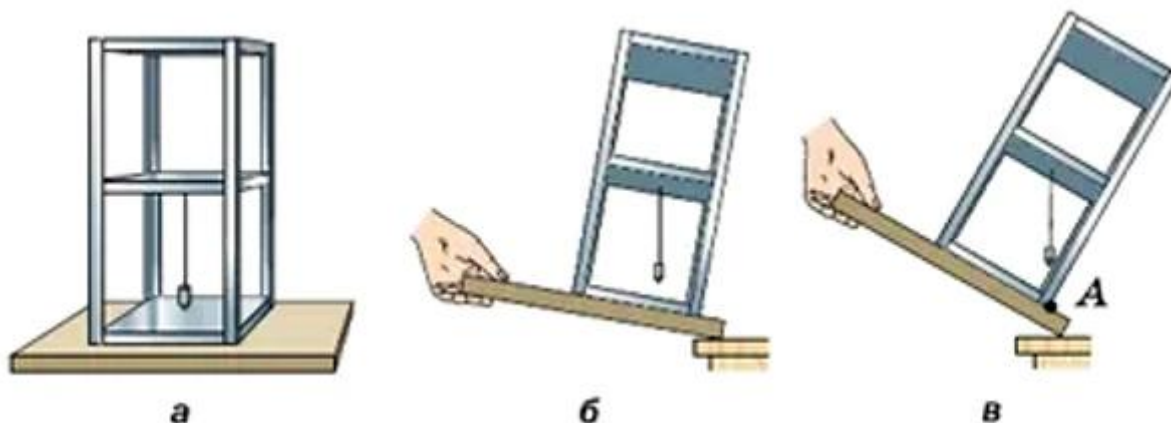


Рис. 4

Начнём постепенно поднимать край доски. Пока линия отвеса пересекает поверхность, ограниченную опорой, равновесие сохраняется (рис. 4, б). Но как только вертикаль, проходящая через центр тяжести, начнёт выходить за границы поверхности опоры, этажерка опрокидывается. Дело в том, что в этом случае момент силы тяжести относительно оси вращения (точка А на рис. 4, в) начнёт поворачивать этажерку по часовой стрелке, нарушая равновесие. До этого момент силы тяжести прижимал этажерку к опоре.

Итак, для равновесия тела, находящегося на плоскости, необходимо, чтобы вертикаль, проходящая через центр тяжести тела, пересекала поверхность, ограниченную опорой. Устойчивость равновесия тел на плоской поверхности тем больше, чем больше площадь опоры и ниже центр тяжести тела.

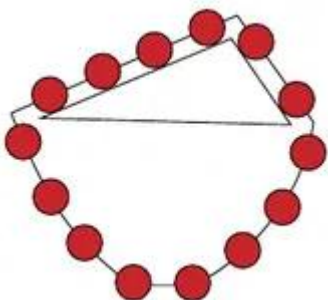
Вопросы:

1. Какую точку называют центром тяжести?
2. В каком случае центр тяжести тела совпадает с его центром масс?
3. Какие виды равновесия твёрдых тел вам известны? Приведите примеры.
4. В каком положении потенциальная энергия взаимодействующих тел имеет минимальное значение?
5. При каких условиях тело, находящееся на наклонной или плоской поверхности, будет наиболее устойчиво?

Вопросы для обсуждения:

1. Почему мяч не остаётся в покое на наклонной плоскости?
2. Как легче сдвинуть с места гружёную телегу: прилагая силу к корпусу телеги или к верхней части обода её колеса?
3. Стержень из проволоки подвешен на нити за середину. Останется ли он в равновесии, если один его конец согнуть вдвое?

Голландский учёный и инженер Симон Стевин (1548—1620) открыл закон равновесия сил на наклонной плоскости, не используя правило параллелограмма сил, а только с помощью чертежа. Наклонная плоскость на рисунке 5.13 изображена в виде прямоугольного треугольника с горизонтальной гипотенузой. Часть цепи, обвивающая гипотенузу, имеет большую длину и содержит большее число шаров, чем те её участки, которые прилегают к катетам.



Большая часть имеет больший вес, поэтому, казалось бы, вес цепи, прилежащей к большему катету, перетянет, и цепь придёт в движение. Но опыт показывает, что цепь, перекинутая указанным образом, сама не приходит в

движение. Очевидно, два правых шара действительно уравниваются четырьмя левыми. Получается удивительная ситуация: два шара тянут с такой же силой, как и четыре!

Вечное движение Стевин считает невозможным, поэтому он полагает, что действие веса шаров на обоих катетах одинаково (нижняя часть роли не играет, она совершенно симметрична). Отсюда он делает вывод: сила, скатывающая груз по наклонной плоскости, во столько же раз меньше веса груза, во сколько раз высота плоскости меньше её длины.

Так, исходя из идеи о невозможности вечного двигателя, было сделано важное открытие в статике.