1.4.3. Работа силы

Работа силы — скалярная физическая величина, характеризующая результат действия силы.

Механическая работа A постоянной силы ($\vec{F} = \text{const}$) равна произведению модуля вектора силы на модуль вектора перемещения s и на косинус угла α между вектором силы и вектором перемещения: $A = Fs \cos \alpha$.

В СИ единица измерения работы — *джоуль*: [A] = Дж = Н · м.

Механическая работа равна 1 Дж, если под действием силы в 1 Н тело перемещается на 1 м в направлении действия этой силы.

Анализ формулы для расчёта работы показывает, что механическая работа *не совершается*, если:

1) сила действует, а тело не перемещается;
2) тело перемещается, а сила равна нулю;
3) угол между векторами силы и перемещения равен 90° ($\cos\alpha = 0$).

Внимание! При движении тела по окружности под действием постоянной центростремительной силы *работа* этой силы *равна нулю*, так как в любой момент времени вектор силы перпендикулярен вектору мгновенной скорости.

Работа — скалярная величина, может быть как положительной, так и отрицательной:

1. Если угол между векторами силы и перемещения $0° < \alpha < 90°$, то работа *положительна.*

2. Если угол между векторами силы и перемещения $90° < \alpha < 180°$, то работа *отрицательна*.

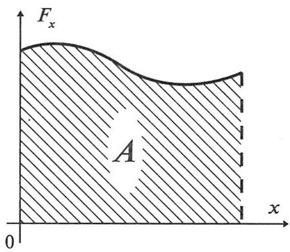
Работа обладает свойством аддитивности: $A = \sum\limits_i A_i$. Это свойство проявляется в следующих случаях:

1. Если на тело действуют *несколько сил*, то полная работа (работа всех сил) равна алгебраической сумме работ, совершаемых отдельными силами, что соответствует *работе результирующей силы*.

2. Если разбить всю траекторию движения тела на отдельные участки, то *полная работа на всём пути равна алгебраической сумме работ на отдельных участках*. Например, если сила меняется с расстоянием (координатой), то необходимо разбить всё движение на такие малые участки, на которых силу можно считать неизменной, сосчитать работы на каждом элементарном участке пути и сложить все элементарные работы.

Графическая интерпретация работы:

Механическая работа численно равна площади фигуры под графиком зависимости проекции силы на координатную ось от координаты $F_x(x)$.



Примеры расчёта работы отдельных сил:

Работа силы тяжести:

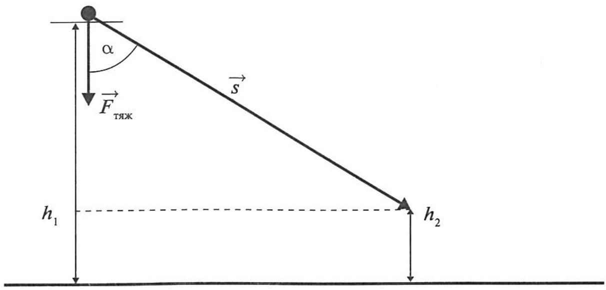
Для движения по наклонной плоскости:

$A = Fs\cos\alpha = mgs\cos\alpha = mg(h_1 - h_2)$.

Любую произвольную траекторию можно разбить на малые участки, которые можно считать наклонными плоскостями. Воспользовавшись свойством аддитивности работы, получим важный результат:

Работа силы тяжести не зависит от формы траектории и определяется только начальным и конечным положением тела: $A = mg(h_1 - h_2)$.

На замкнутой траектории работа силы тяжести равна нулю.



При движении *вниз* работа силы тяжести *положительна*, при движении *вверх* работа силы тяжести *отрицательна* (внешняя сила совершает работу против силы тяжести).

Работа силы упругости:

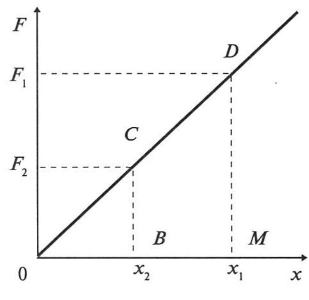
Воспользуемся тем, что работа численно равна площади фигуры под графиком зависимости проекции силы от координаты. При малых упругих деформациях сила упругости прямо пропорциональна абсолютной деформации.

Тогда работа при изменении деформации от x_1 до x_2 равна:

$$A = \frac{F_1 + F_2}{2}(x_1 - x_2).$$

С учётом закона Гука получаем:

$$A = k\frac{x_1 + x_2}{2}(x_1 - x_2) = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}.$$



Работа силы упругости зависит только от координат (начальной и конечной деформаций) тела и, следовательно, не зависит от формы траектории: $A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}$. *Работа по замкнутой траектории равна нулю.*

Работа силы упругости *положительна*, если величина абсолютной деформации уменьшается: $x_1 > x_2$ (пружина самопроизвольно возвращается в недеформированное состояние).

Работа силы упругости *отрицательна*, если величина абсолютной деформации увеличивается: $x_1 < x_2$ (пружина деформируется под действием внешней силы).

Работа силы трения:

Рассмотрим движение тела по произвольной траектории при условии, что сила трения в ходе движения не меняется по модулю.

Для расчёта работы силы трения воспользуемся свойством аддитивности. Если разбить любую произвольную траекторию на малые прямолинейные участки, то для каждого из них получим: $A_i = -F\ell_i$, где учтено, что сила трения всегда направлена против движения ($\cos\alpha = -1$) и модуль вектора перемещения численно равен пути. Тогда для всего пути:

$$A = \sum_i A_i = -F\sum_i \ell_i = -F\ell.$$

Работа силы трения всегда отрицательна и зависит от формы траектории: $A = -F\ell$. Очевидно, чем больший путь проходит тело, тем большую по модулю работу совершает сила трения. *Работа по замкнутой траектории не равна нулю!*