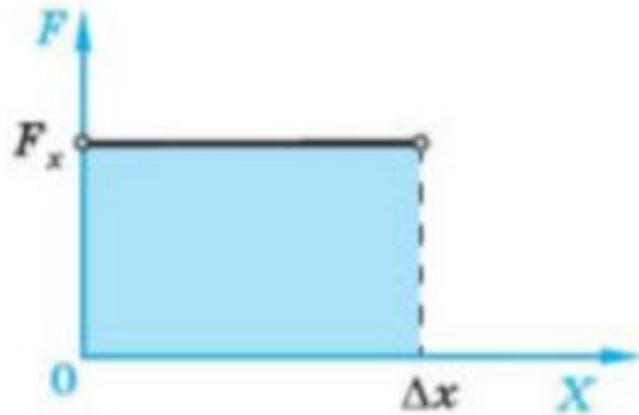


Работа силы

10 класс

Работа — скалярная физическая величина, равная произведению проекции силы на ось X и перемещения тела вдоль этой оси:

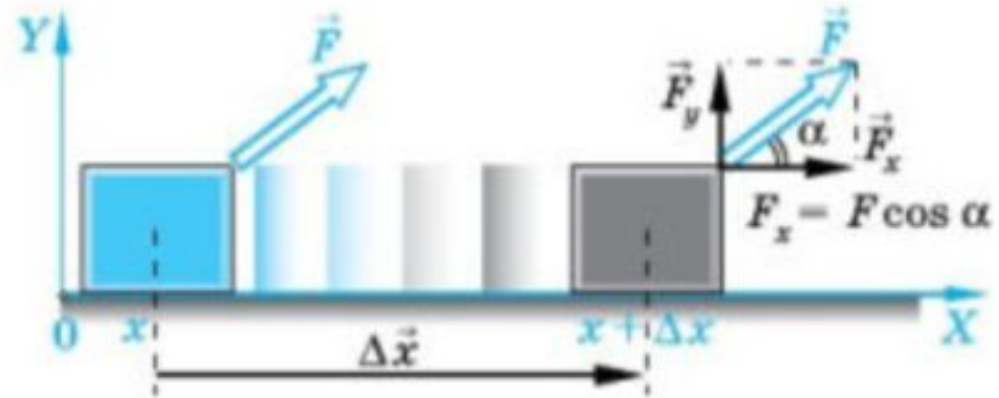
$$A = F_x \Delta x. \quad (85)$$



▲ 99

Геометрический смысл работы — площадь под прямой $F_x(x)$:

$$A = F_x \Delta x$$



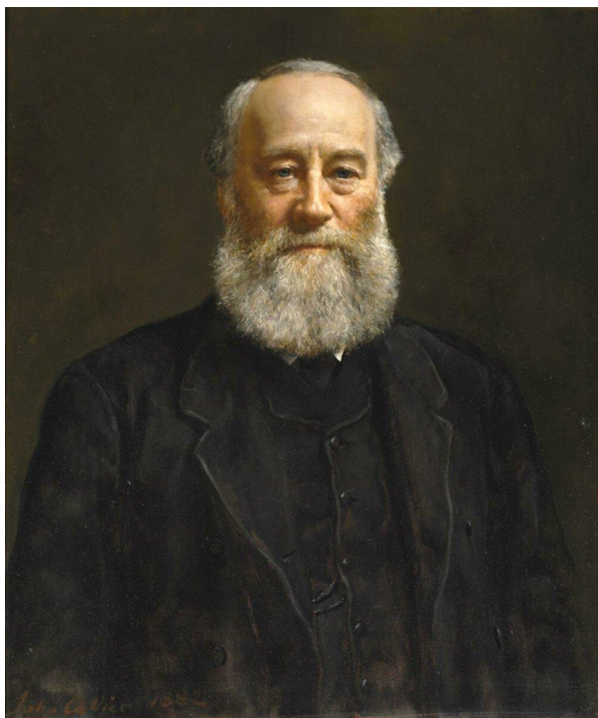
▲ 100

Работа, совершаемая силой $\vec{F}$ при перемещении тела на Δx . Работа определяется проекцией силы $F_x = F \cos \alpha$

Механическая работа

физическая величина, равная произведению **силы**, действующей на тело, на **путь**, совершенный телом под действием силы в направлении этой силы.

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$



Джеймс ДЖОУЛЬ
1818 г. – 1889 г.

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Джоуль - это работа, совершаемая силой 1 Н на перемещении 1 м, если направления силы и перемещения совпадают.

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$\alpha = 0$$

$$A = F \cdot s$$

$$\alpha < 90$$

$$A > 0$$

$$\alpha = 90$$

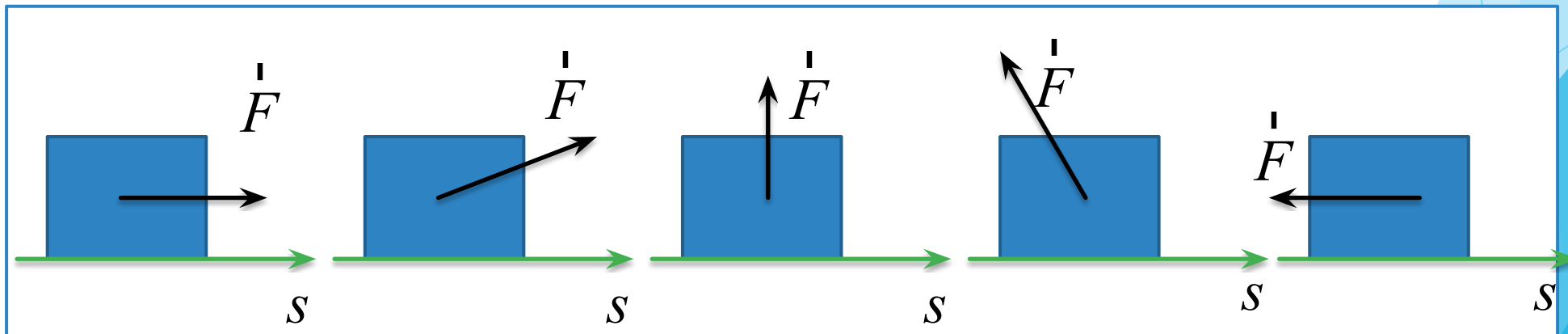
$$A = 0$$

$$0 < \alpha < 90$$

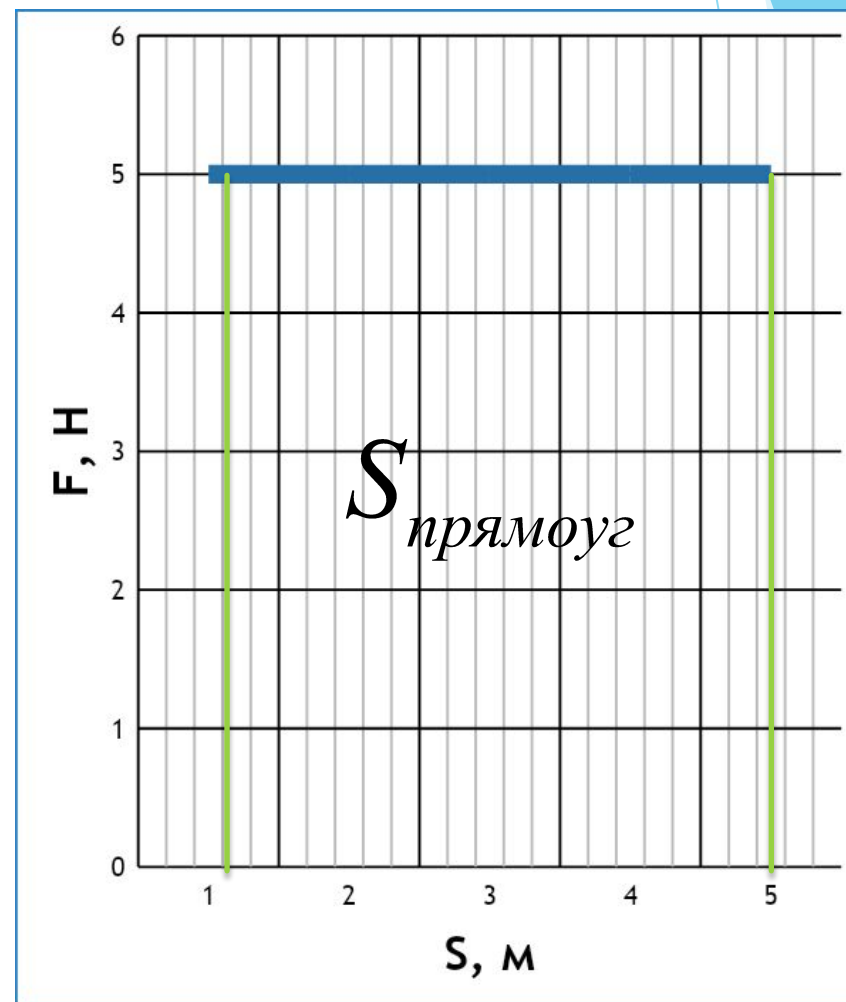
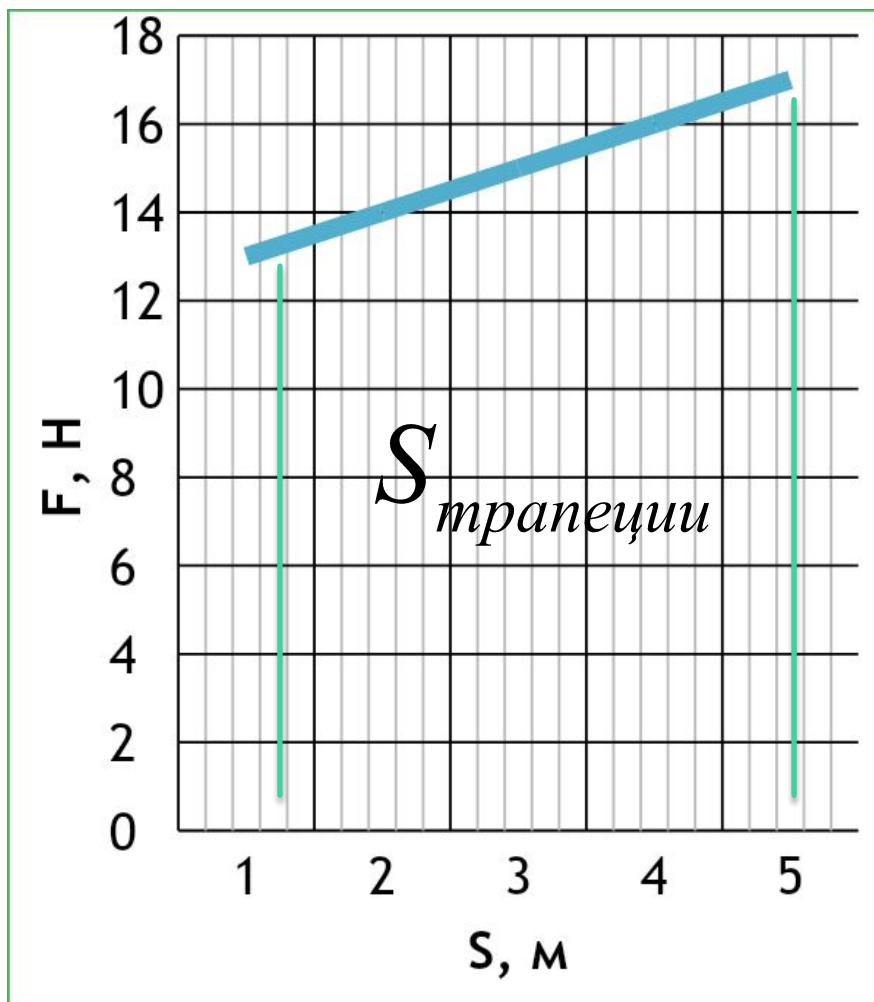
$$A < 0$$

$$90 < \alpha < 180$$

$$A = -F \cdot s$$



Работа силы графически:



Работа силы тяжести:

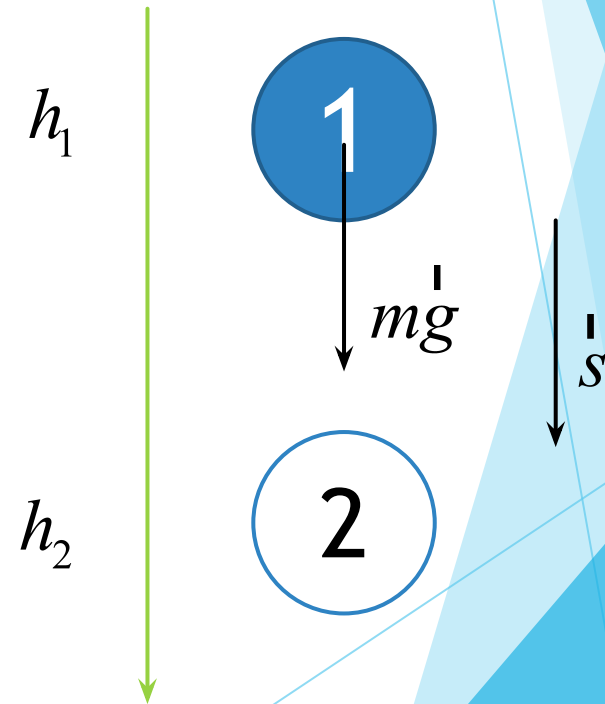
$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha = m \cdot g \cdot s \cdot \cos \alpha$$

Тело брошено вниз:

$$A = m \cdot g \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$s \cdot \cos \alpha = h_1 - h_2$$

$$A = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$$

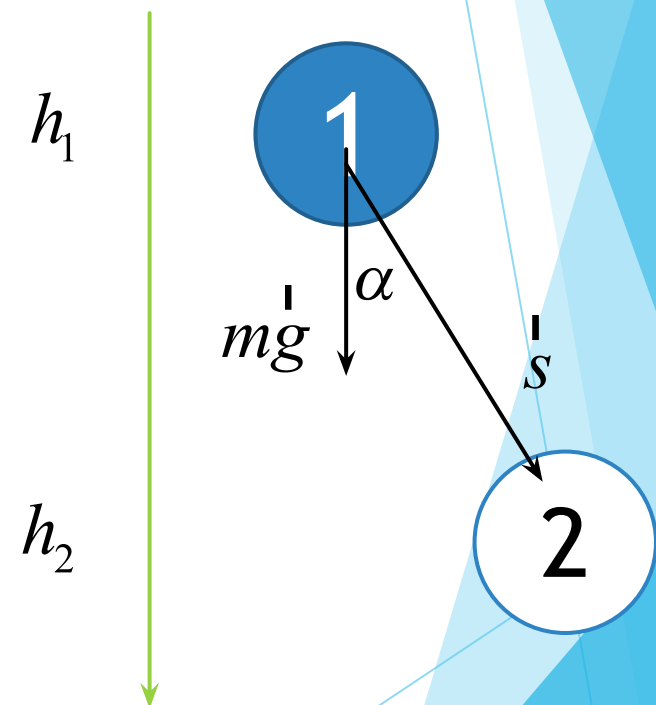


Тело брошено под углом:

$$A = m \cdot g \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$s \cdot \cos \alpha = h_1 - h_2$$

$$A = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$$

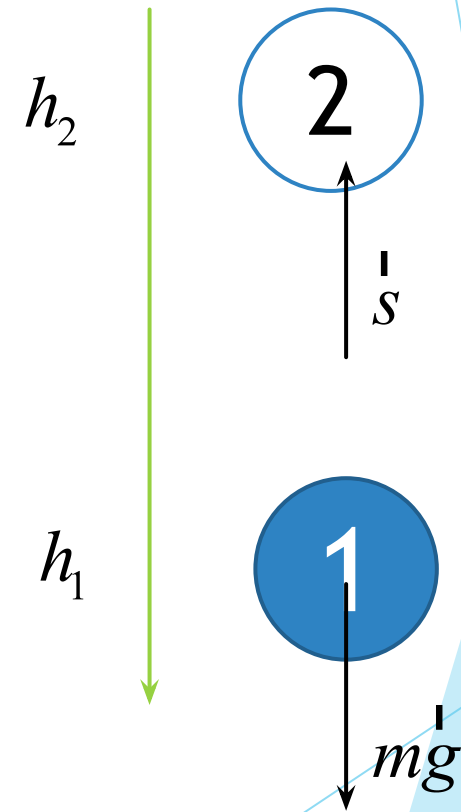


Тело брошено вверх:

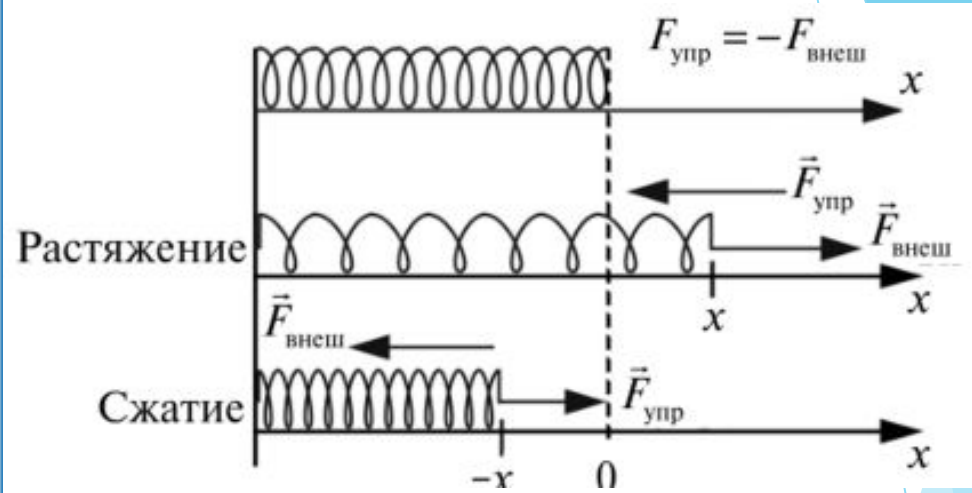
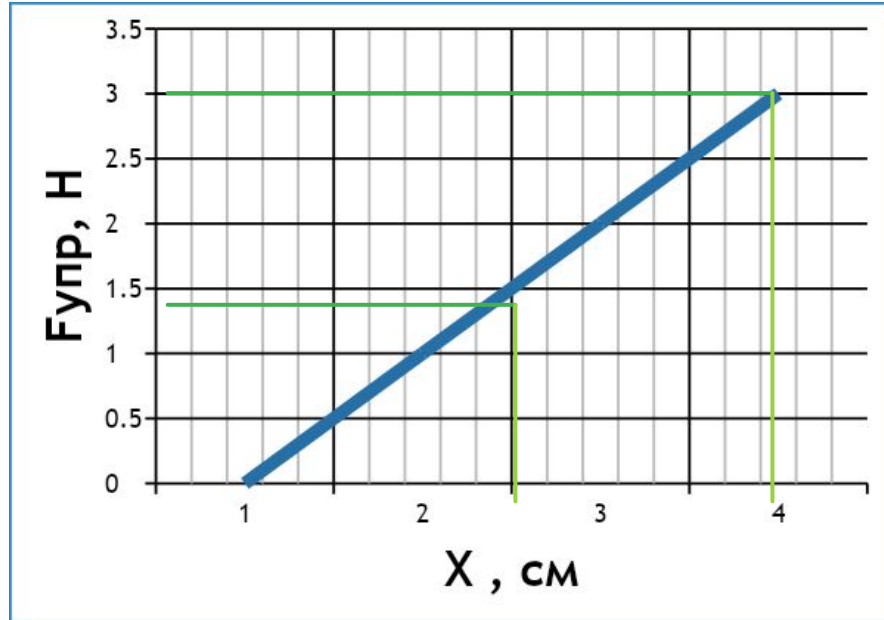
$$A = m \cdot g \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$s \cdot \cos \alpha = h_1 - h_2$$

$$A = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2)$$



Работа силы Упругости:

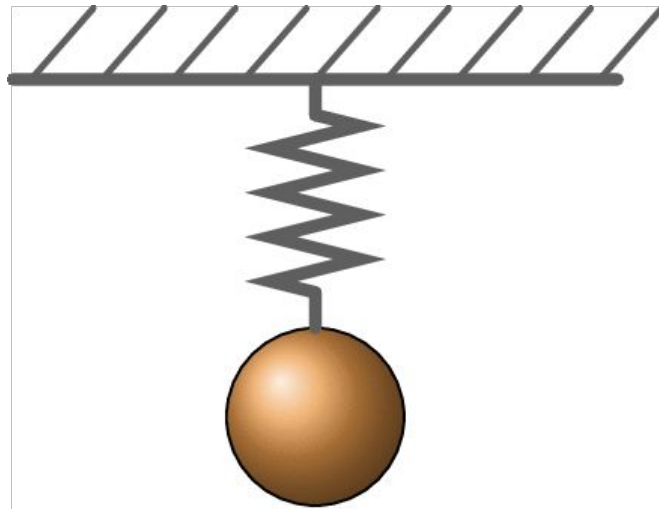


$$A = S_{трапеции} = \frac{F_{упр1} + F_{упр2}}{2} (x_1 - x_2)$$

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

Работа силы Упругости:

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



Консервативные силы:

- ▶ Не зависит от формы траектории и длины пути, а определяется лишь начальным и конечным положением тела
- ▶ Работа по замкнутой траектории равна нулю

Сила тяжести и сила упругости – консервативные силы.

Мощность:

Скалярная физическая величина, равная отношению работы к промежутку времени, за который она совершена

$$A = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$P = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot s \cdot \cos \alpha}{t} = F \cdot v \cdot \cos \alpha$$

Задача

- ▶ Из колодца медленно выкачали с помощью насоса $0,5 \text{ м}^3$ воды. Совершённая при этом работа равна $30\,000 \text{ Дж}$. Чему равна глубина колодца? *Ответ запишите в метрах.*

$$A = m \cdot g \cdot s \cdot \cos \alpha$$

Задача

Тележку с грузом равномерно перемещают в горизонтальном направлении, прилагая силу $F=300\text{Н}$ под углом $\alpha=30^\circ$ к перемещению. Силой совершена работа $A=2,6\text{кДж}$. На какое расстояние была перемещена тележка?

$$A = m \cdot g \cdot s \cdot \cos \alpha$$

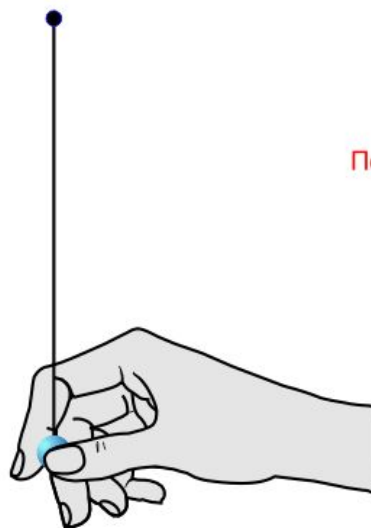
Задача

Найдите объем якоря, который можно поднять к поверхности воды со дна водоема глубиной $h=10\text{м}$, совершив минимальную работу $A=12\text{кДж}$. Плотность материала якоря $\rho=7\text{г/см}^3$

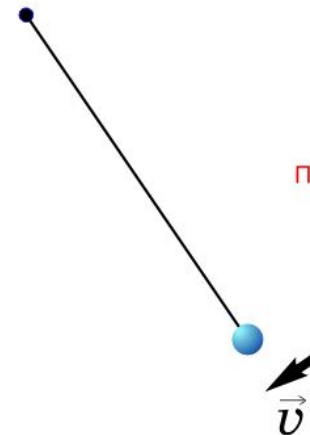
$$A = m \cdot g \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

ОПЕТИИ. ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ И КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ



Потенциальная
энергия



Кинетическая
энергия

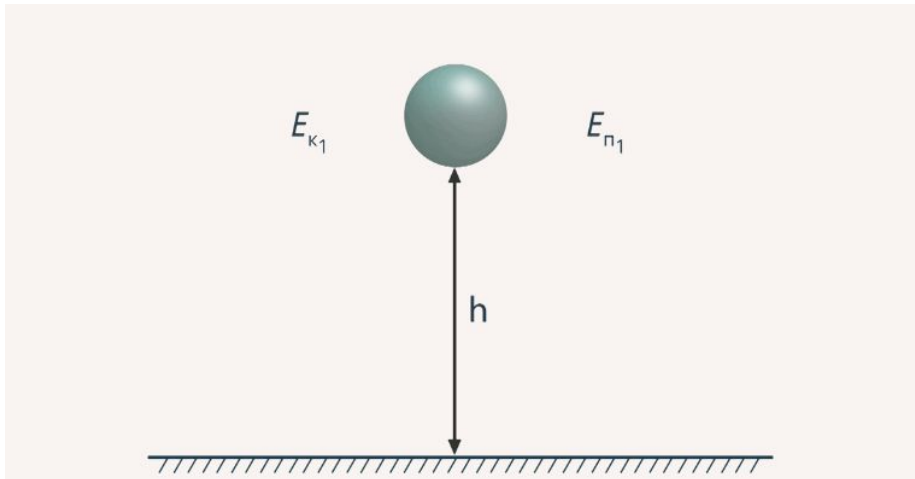
Потенциальная
энергия



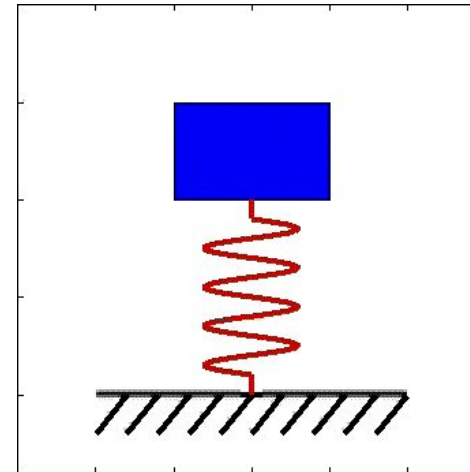
ПРИ КАКИХ УСЛОВИЯХ ТЕЛА МОГУТ СОВЕРШИТЬ РАБОТУ?

- ▶ Действие на тело силы
- ▶ Движение тела после воздействия

$F_{\text{тяж}}$



$F_{\text{упр}}$



ЭНЕРГИЯ

Энергия – физическая величина,
характеризующая способность тела
совершить работу.

Обозначение:

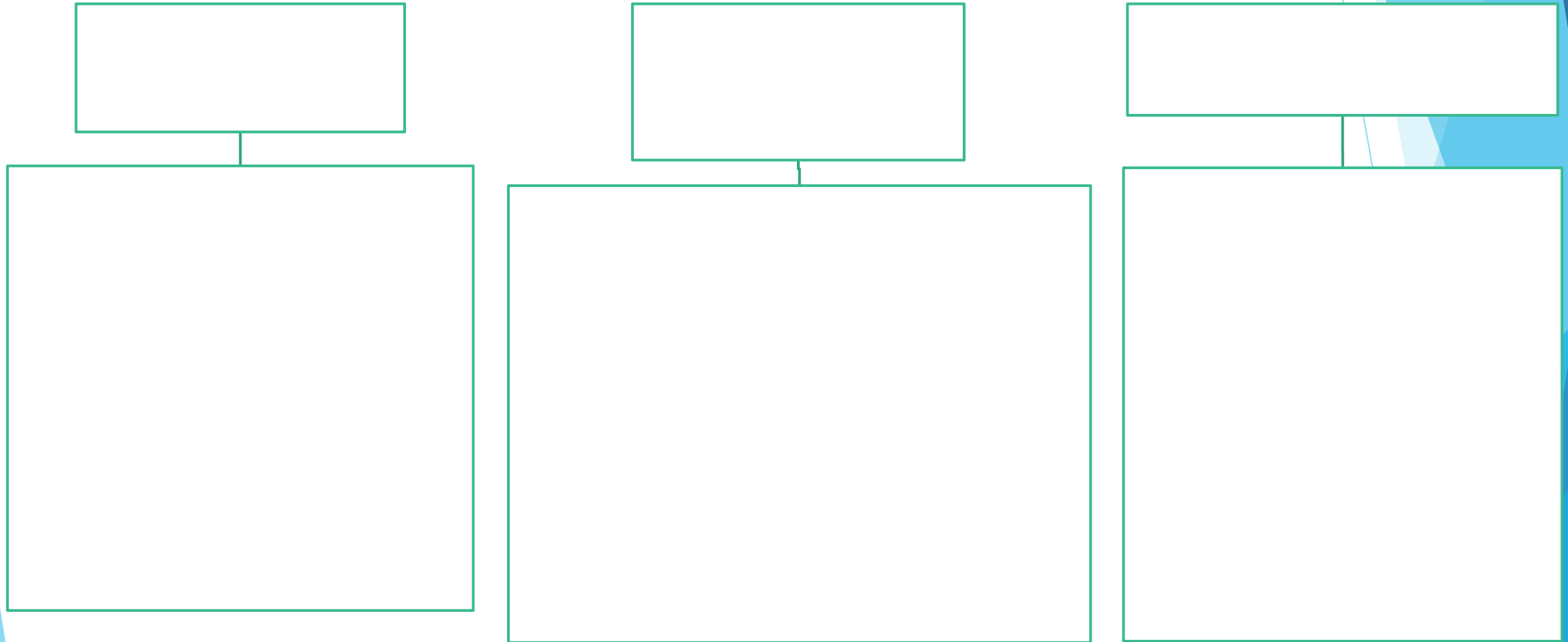
Е

Единицы измерения:

ДЖОУЛЬ

$$[1 \text{ Дж}] = [1 \text{ Н} \cdot \text{м}]$$

В КАКОМ СЛУЧАЕ МОЖНО СКАЗАТЬ, ЧТО ТЕЛО ОБЛАДАЕТ ЭНЕРГИЕЙ?





$E_{\text{п}}$



$E_{\text{к}}$



ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

энергия, которая определяется положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела.

КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

энергия, которой обладает тело вследствие своего движения.

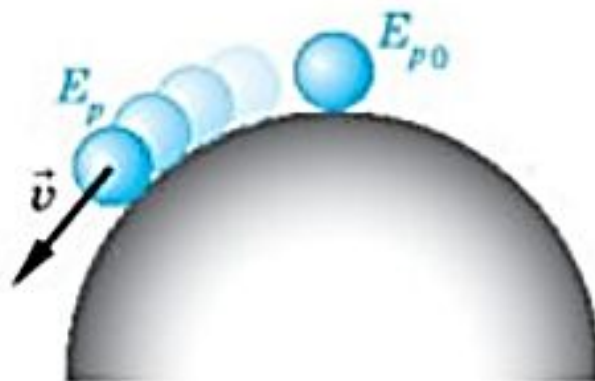
Потенциальная энергия

	Поднятого тела	Деформированного тела
Зависит:	от массы тела и высоты над поверхностью	от степени деформации и жёсткости
Обозначает ся	E_n	E_n
Формула	$E_n = mgh$	$E_n = \frac{kx^2}{2}$
Единица измерения	Дж	Дж



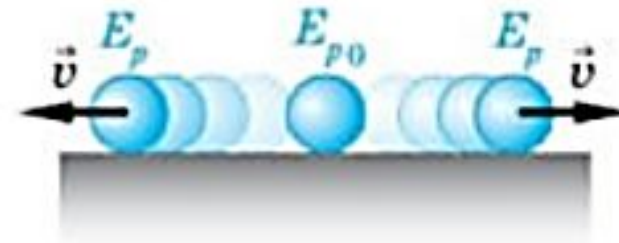
$$E_p > E_{p0}$$

а)



$$E_p < E_{p0}$$

б)



$$E_p = E_{p0}$$

в)

▲ 106

Равновесие шара на опоре: а — устойчивое; б — неустойчивое; в — безразличное

Состояние с меньшей потенциальной энергией является энергетически выгодным.

Принцип минимума потенциальной энергии

Любая замкнутая система стремится перейти в такое состояние, в котором её потенциальная энергия минимальна.

На рисунке 106 показаны три возможных случая равновесия шара, находящегося на опоре.

Устойчивое равновесие — равновесие, при котором тело, выведенное из положения равновесия, возвращается в первоначальное положение.

При отклонении шара из положения равновесия его потенциальная энергия возрастает (рис. 106, а). Сила тяжести возвращает его к положению равновесия, в котором его потенциальная энергия минимальна.

Неустойчивое равновесие — равновесие, при котором тело, выведенное из положения равновесия, не возвращается в первоначальное положение (рис. 106, б).

Безразличное равновесие — равновесие, при котором соседние положения тела также являются равновесными (рис. 106, в).

Работа силы тяжести. Рассмотрим работу, совершаемую силой тяжести при перемещении тела массой m из точки 1, находящейся на расстоянии r от центра Земли, в точку 2 (рис. 107).

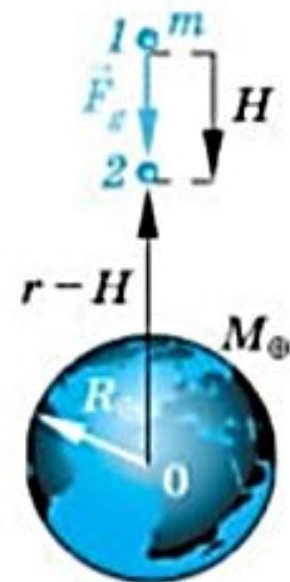
Расстояние от точки 2 до центра Земли обозначим $r - H$. Будем считать, что перемещение H мало по сравнению с r ($H \ll r$).

Сила тяжести, действующая на тело, на расстоянии r от центра Земли по закону всемирного тяготения определяется согласно равенству (60):

$$F_g = G \frac{mM_{\oplus}}{r^2}.$$

Работу силы тяжести, постоянной в пределах малого перемещения H , можно записать по определению (87):

$$A_g = F_g H \cos 0^\circ = G \frac{mM_{\oplus}}{r^2} H. \quad (93)$$



▲ 107

*Перемещение тела
к Земле под действием
силы тяжести*

Работа любой потенциальной силы равна разности потенциальной энергии в начальном и конечном положениях тела (см. формулу (90)):

$$A_g = E_p(r) - E_p(r - H). \quad (94)$$

Потенциальная энергия тела в гравитационном поле. Проверим, что уравнение (94) превращается в тождество, если потенциальная энергия в поле тяжести Земли тела массой m , находящегося на расстоянии r от её центра, имеет вид

$$E_p(r) = -G \frac{mM_{\oplus}}{r}. \quad (95)$$

КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

- ▶ Зависит от массы и скорости тела

- ▶ Обозначается E_k

- ▶ Формула: $E_k = \frac{mv^2}{2}$, где

m – масса тела,

v – скорость тела

- ▶ Единица измерения: Дж

Вывод закона сохранения механической энергии

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ:

В изолированной системе, в которой действуют консервативные силы, механическая энергия сохраняется.

$$E = E_{const} =$$

Закон сохранения механической энергии является частным случаем общего закона сохранения энергии: энергия не создаётся и не разрушается, а преобразуется из одной формы в другую.

- ▶ Допустим, шарик известной массы падает с некоторой высоты, над поверхностью Земли.

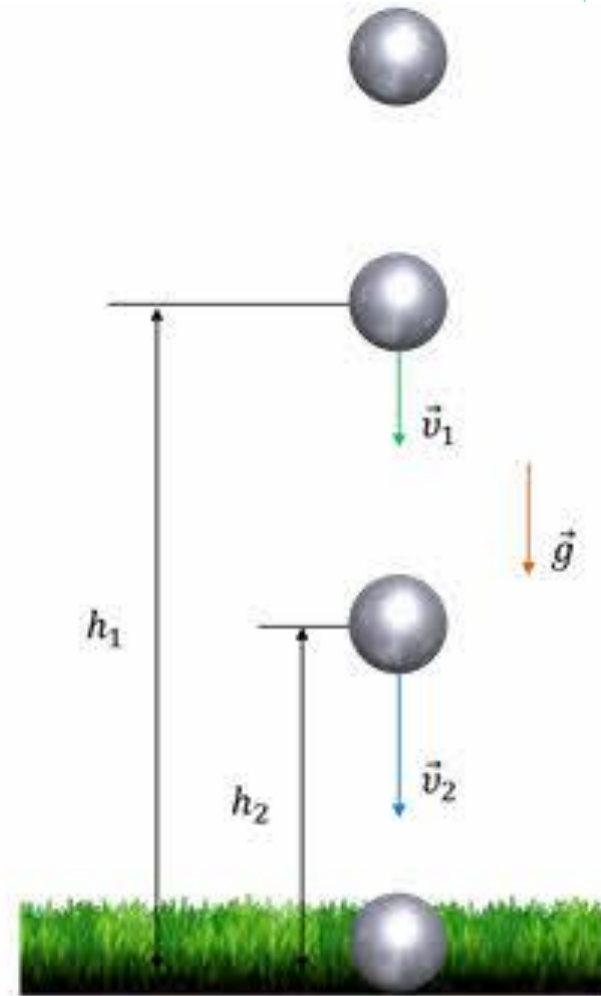
Работа силы тяжести: $A = mgs$.

Перемещение шарика: $s = h_1 - h_2$; $s = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$.

Тогда $A = mg(h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$.

$$A = mg \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}.$$

Следовательно, $mgh_1 - mgh_2 = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$.



Сгруппируем члены уравнения так, чтобы между знаком равенства стояла сумма кинетической и потенциальной энергий в начальном и конечном состояниях:

$$mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2} = \textit{const}$$

Задача

На какую высоту поднимется тело, подброшенное вертикально вверх, с начальной скоростью 10 м/с ? При решении задачи не учитывается сопротивление воздуха.