





The background features abstract, overlapping green geometric shapes, primarily triangles and polygons, in various shades of green, creating a modern and dynamic visual effect.

Fizika I

RAD I ENERGIJA

Rad, energija i snaga

- ▶ Rad = svladavanje sile na određenom putu.
- ▶ Za najjednostavniji slučaj pravocrtnog gibanja tijela pod utjecajem stalne sile koja djeluje u smjeru pravca gibanja (brzine) tijela rad je jednak umnošku sile i prijeđenog puta.

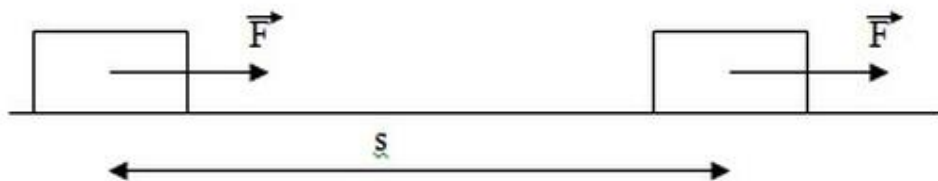
$$W = Fs$$

Jedinica: džul

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^2$$

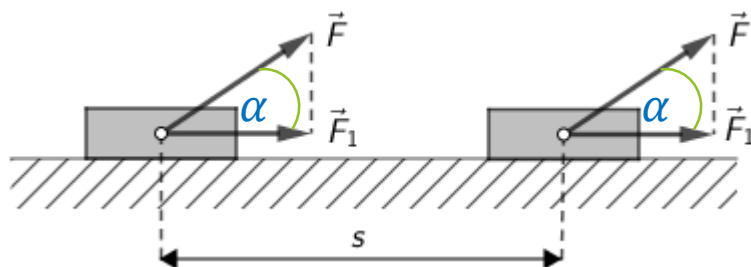
$$\text{Također: } 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$$



Rad

- ▶ Stalna sila djeluje na tijelo pod kutom α prema putu.

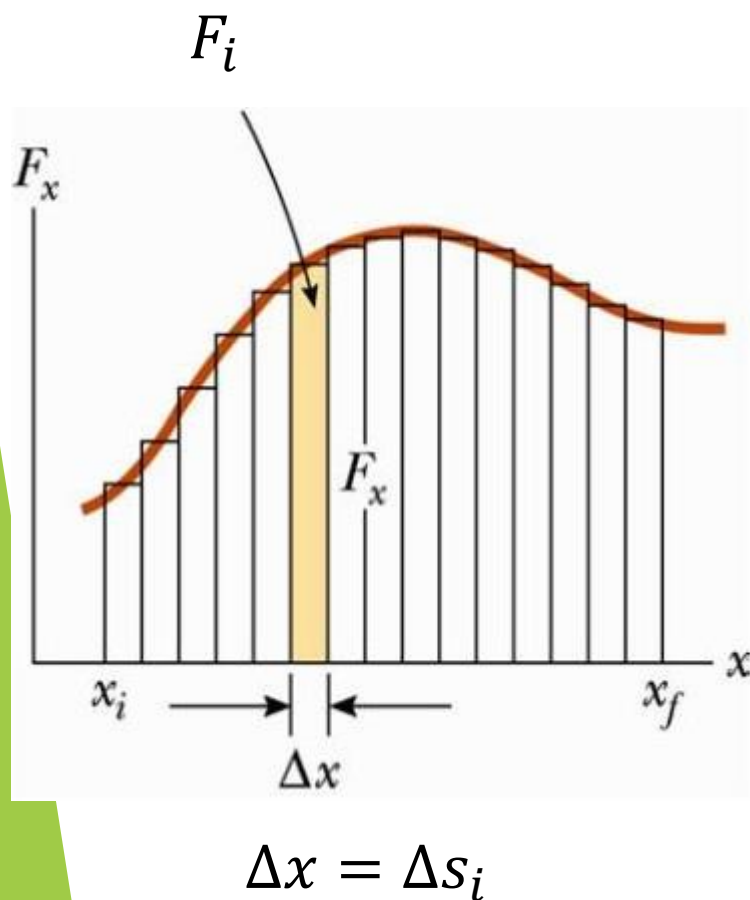


$$W = F_1 s = F s \cos \alpha$$

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s}$$

- ▶ SKALARNI PRODUKT!
- ▶ Rad je skalarna veličina koja može biti pozitivna ili negativna.

Rad - sila nije stalna



- Rad za mali djelić puta $\Delta \vec{s}$:

$$\Delta W_i = \vec{F}_i \cdot \Delta \vec{s}_i$$

- Ukupni rad dobijemo zbrajanjem svih radova ΔW_i kad širina svih intervala $\Delta \vec{s}_i$ ide u nulu:

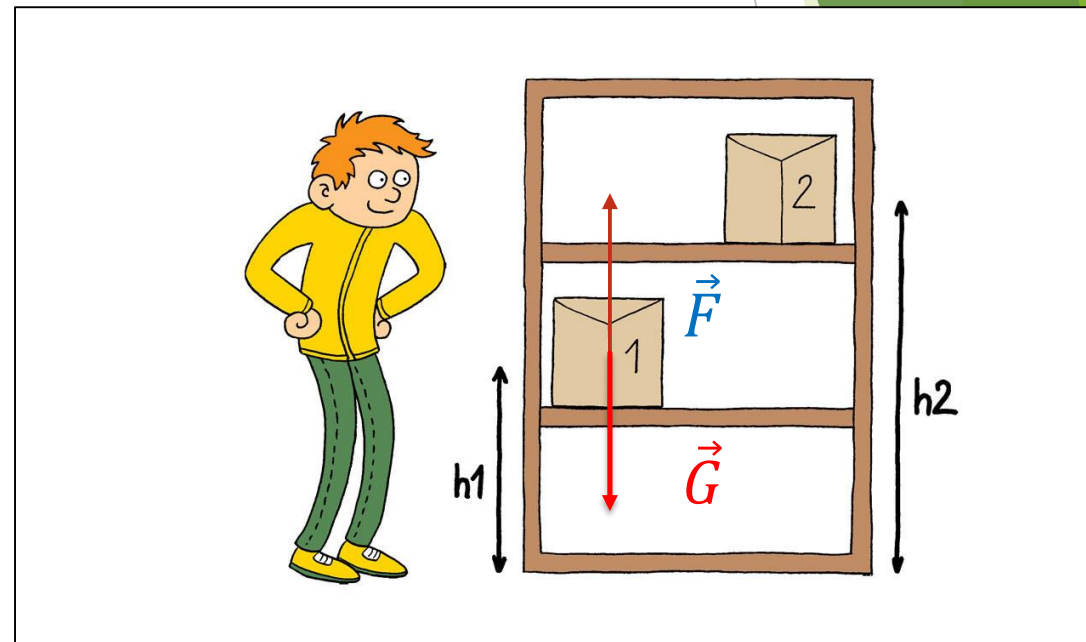
$$W = \lim_{\substack{\Delta s_i \rightarrow 0 \\ n \rightarrow \infty}} \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \cdot \Delta \vec{s}_i = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{s}$$

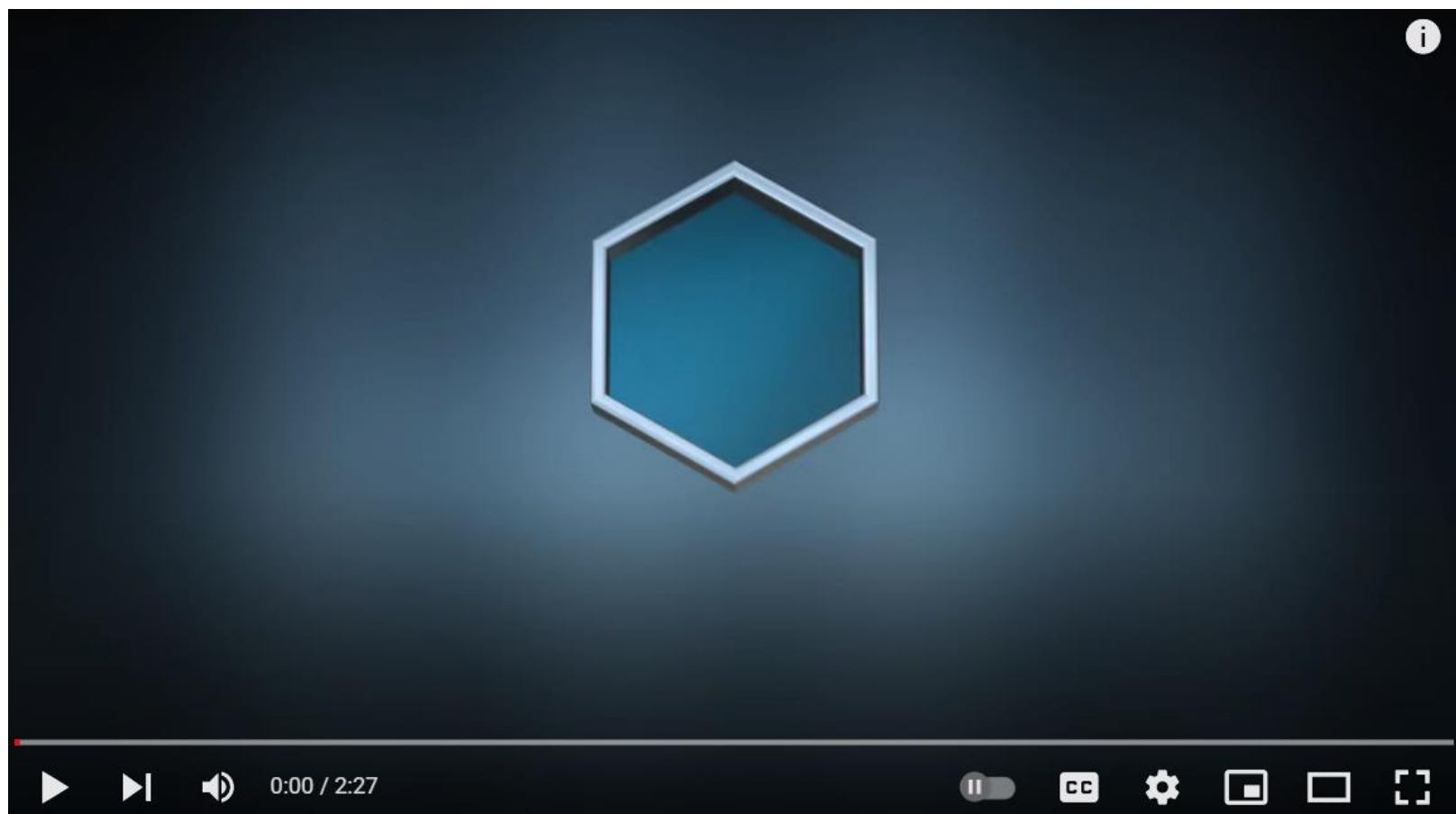
- Rad je linijski integral sile uzduž staze od početne (A) do krajnje točke (B).

Rad pri podizanju tijela

- ▶ Želimo podići tijelo mase m za visinu h .
- ▶ Moramo savladati silu težu $G = mg$.
- ▶ Tijelo podižemo konstantnom brzinom (nema ubrzanja) pa je sila kojom dižemo tijelo, F , jednaka po iznosu (ali suprotnog smjera) od sile teže mg .
- ▶ Vanjska sila F u smjeru pomaka – rad je pozitivan.

$$W = Fs = mgh$$



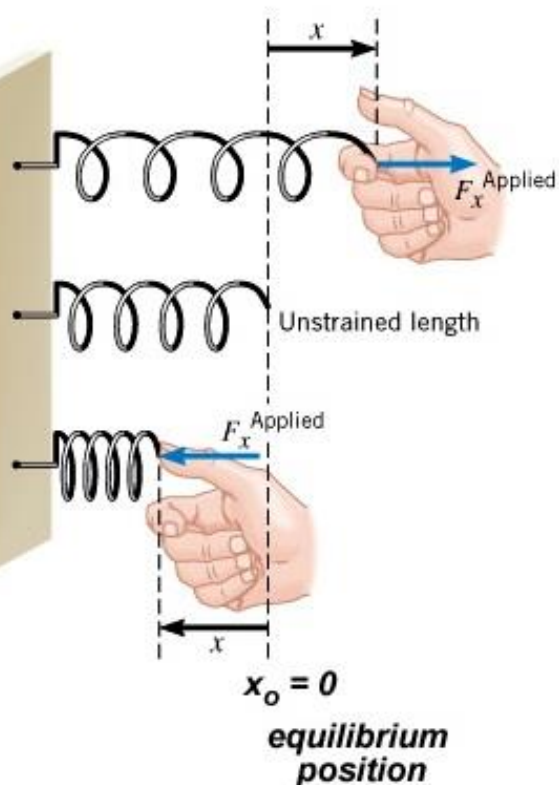


Rad pri rastezanju opruge

- ▶ Hookeov zakon: $F_{el} = -ks$; ($s = x$ na slici).
- ▶ k – konstanta opruge; $s = \Delta l = l - l_0$ produljenje.
- ▶ Sila nije stalna!
- ▶ Primijenimo jednaku, ali suprotnu silu, $F = ks$.
- ▶ Rad za rastezanje opruge iz položaja ravnoteže za elongaciju s jednak je:

$$W = \int_0^s F ds = \int_0^s ks ds = \frac{1}{2} ks^2$$

- ▶ Rad elastične opruge: $-\frac{1}{2} ks^2$ jer je sila opruge uvijek suprotna pomaku.



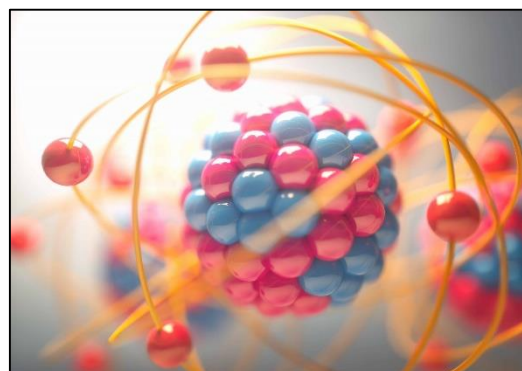
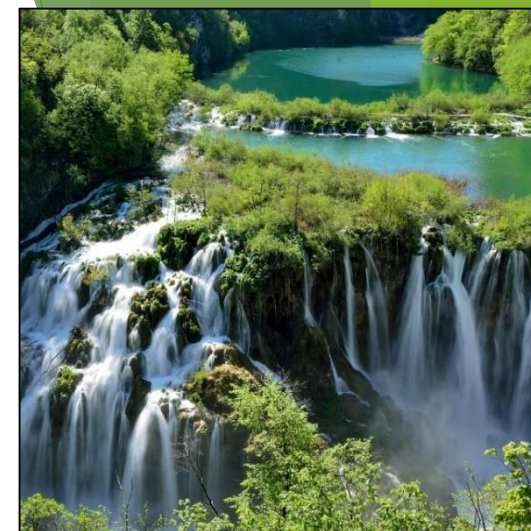
Energija

= sposobnost tijela da obavlja rad.

Mjerna jedinica rada i energije je jednaka, J.

Oblici energije:

- ▶ Mehanička: kinetička i potencijalna,
- ▶ električna,
- ▶ termalna (unutarnja),
- ▶ kemijska,
- ▶ solarna,
- ▶ nuklearna...



Energija može prelaziti iz jednog oblika u drugi, ali se ne može ni stvoriti niti uništiti.

Kinetička energija

= Sposobnost tijela da mogu izvršiti rad zbog toga što imaju određenu brzinu.

- Rad potreban da bi sila F ubrzala tijelo mase m na putu s , iz mirovanja ($v = 0$) do brzine v :

$$W = \int F \, ds = \int ma \, ds = \int m \frac{dv}{dt} ds = m \int \frac{dv}{dt} v dt = m \int_0^v v \, dv = \frac{1}{2} mv^2$$

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad \text{Kinetička energija}$$



- Općenito, ako sila F ubrzava tijelo od početne brzine v_1 do konačne brzine v_2 potreban rad je:

$$W = \int_{s_1}^{s_2} F \, ds = m \int_{v_1}^{v_2} v \, dv = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

- Promjena kinetičke energije jednaka je izvršenom radu:

$$W = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k$$

Potencijalna energija

- Dolazi zbog položaja tijela prema drugim tijelima.
- Gravitacijska, elastična, elektrostatska, magnetska.

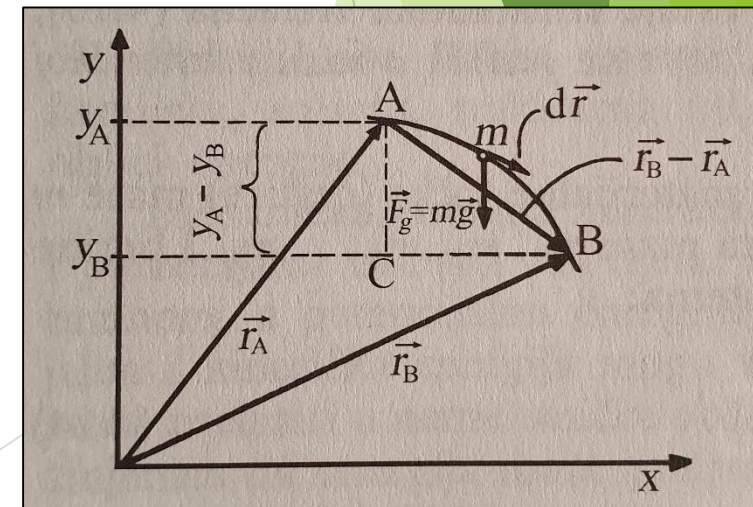
Gravitacijska potencijalna energija

- Pretpostavimo da se čestica mase m pomiče u homogenom polju sile teže od točke A do točke B. Pomakne li se čestica za diferencijal puta ds , rad sile teže ($\vec{F}_g = m\vec{g}$) je:

$$dW = \vec{F}_g \cdot d\vec{s} = \vec{F}_g \cdot d\vec{r}$$

- Rad sile teže na ukupnom putu od A do B:

$$W = \int_A^B \vec{F}_g \cdot d\vec{r} = m\vec{g} \int_A^B d\vec{r} = m\vec{g}(\vec{r}_B - \vec{r}_A)$$



Gravitacijska potencijalna energija

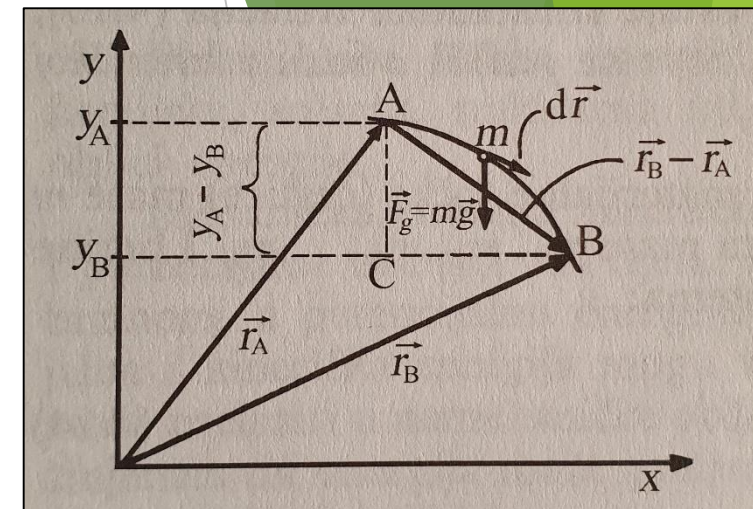
$$\vec{F}_g = m\vec{g} = -mg\vec{j} \quad i \quad \vec{j} \cdot (\vec{r}_B - \vec{r}_A) = y_B - y_A$$

$$W = -(mgy_B - mgy_A)$$

- ▶ Rad sile teže jednak je razlici dviju funkcija položaja.
- ▶ Funkcija mgy zove se *gravitacijska potencijalna energija* tijela na visini y :
 $E_p = mgy$.

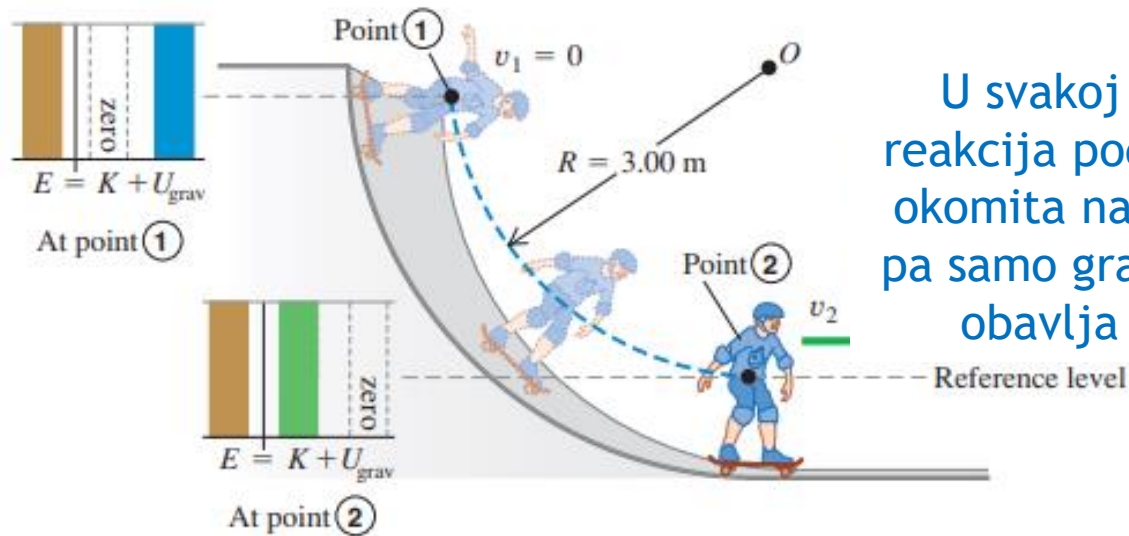
$$W = E_{pA} - E_{pB} = -\Delta E_p$$

- Kinetička energija - uvijek pozitivna!
- Potencijalna energija može biti i pozitivna i negativna!
- Uvijek gledamo razliku pot. energije - proizvoljnost odabira referentne razine ($E_p = 0$)!

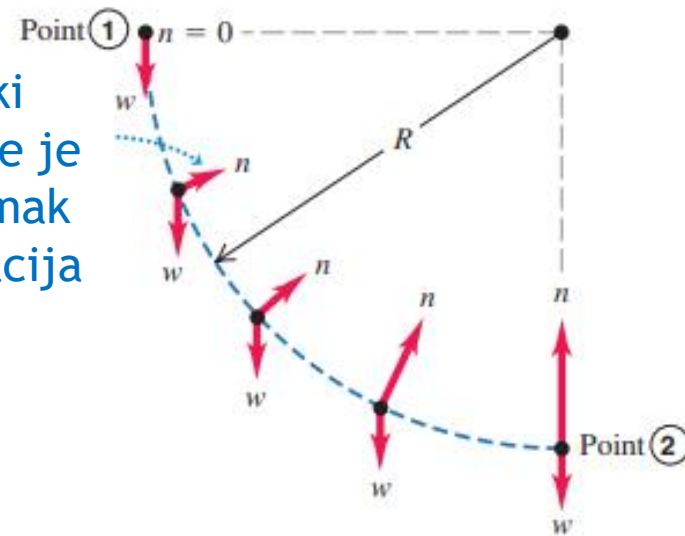


Primjer - rad gravitacijske sile

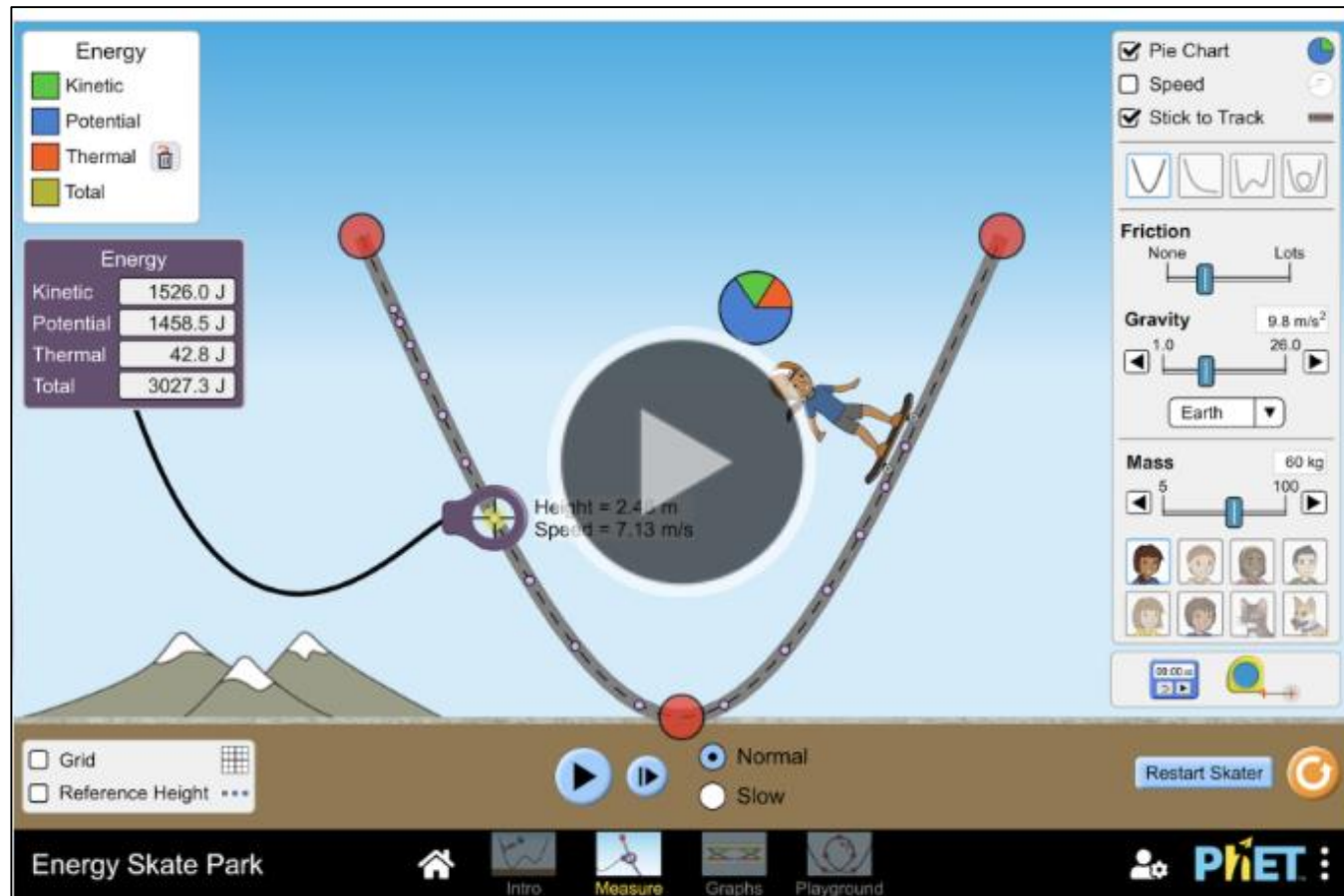
- Zanemarivo trenje



U svakoj točki
reakcija podloge je
okomita na pomak
pa samo gravitacija
obavlja rad.



Simulacija: Skate park

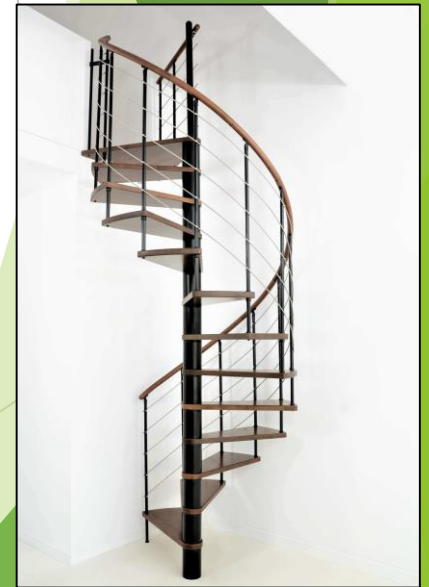


Konzervativne sile

- ▶ Rad sile teže ne ovisi o obliku puta već samo o početnom i krajnjem položaju tijela.
- ▶ Sila kojoj rad ne ovisi o putu već samo o početnoj i krajnjoj točki zove se **konzervativna sila**. To su još i elastična i Coulombova sila.
- ▶ To znači da je rad konzervativne sile po zatvorenom putu 0:

$$\oint \vec{F}_k \cdot d\vec{s} = 0$$

- ▶ Ako rad sile između dvije točke ovisi o putu, te sile su **nekonzervativne sile** ili **disipativne sile**. Npr. trenje, otpor zraka... Što je duži put, rad je veći!
- ▶ Rad disipativnih sila po zatvorenom putu je različit od nule!



Konzervativne sile

- ▶ Kada na tijelo djeluje konzervativna sila, tada svakom položaju tijela možemo pridijeliti određenu potencijalnu energiju. Rad svake konzervativne sile možemo izraziti razlikom potencijalnih energija.

$$dW = -dE_p$$

$$F_k ds = -dE_p \rightarrow F_k = -\frac{dE_p}{ds}$$

$$\vec{F} = -\text{grad } E_p$$

- ▶ Vektor gradijenta!
- ▶ Kažemo da je sila negativni gradijent potencijalne energije.

Potencijalna energija opruge (harmoničke sile)

- ▶ Rad vanjske sile za rastezanje opruge iz položaja ravnoteže za elongaciju s jednak je:

$$W = \frac{1}{2}ks^2$$

- ▶ Rad *opruge* jednak je radu vanjske sile, s negativnim predznakom:

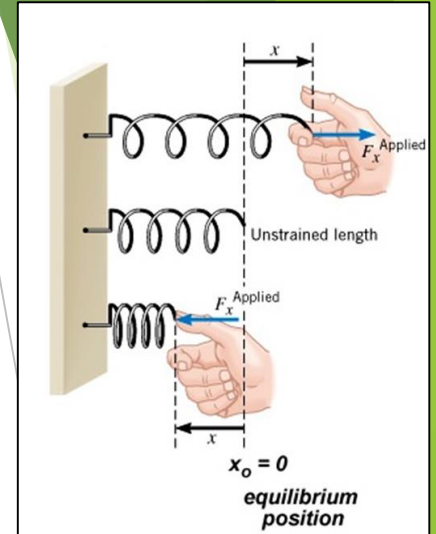
$$W_{op} = -\frac{1}{2}ks^2$$

- ▶ Odnosno rad sile opruge pri pomaku tijela iz položaja s_1 u s_2 :

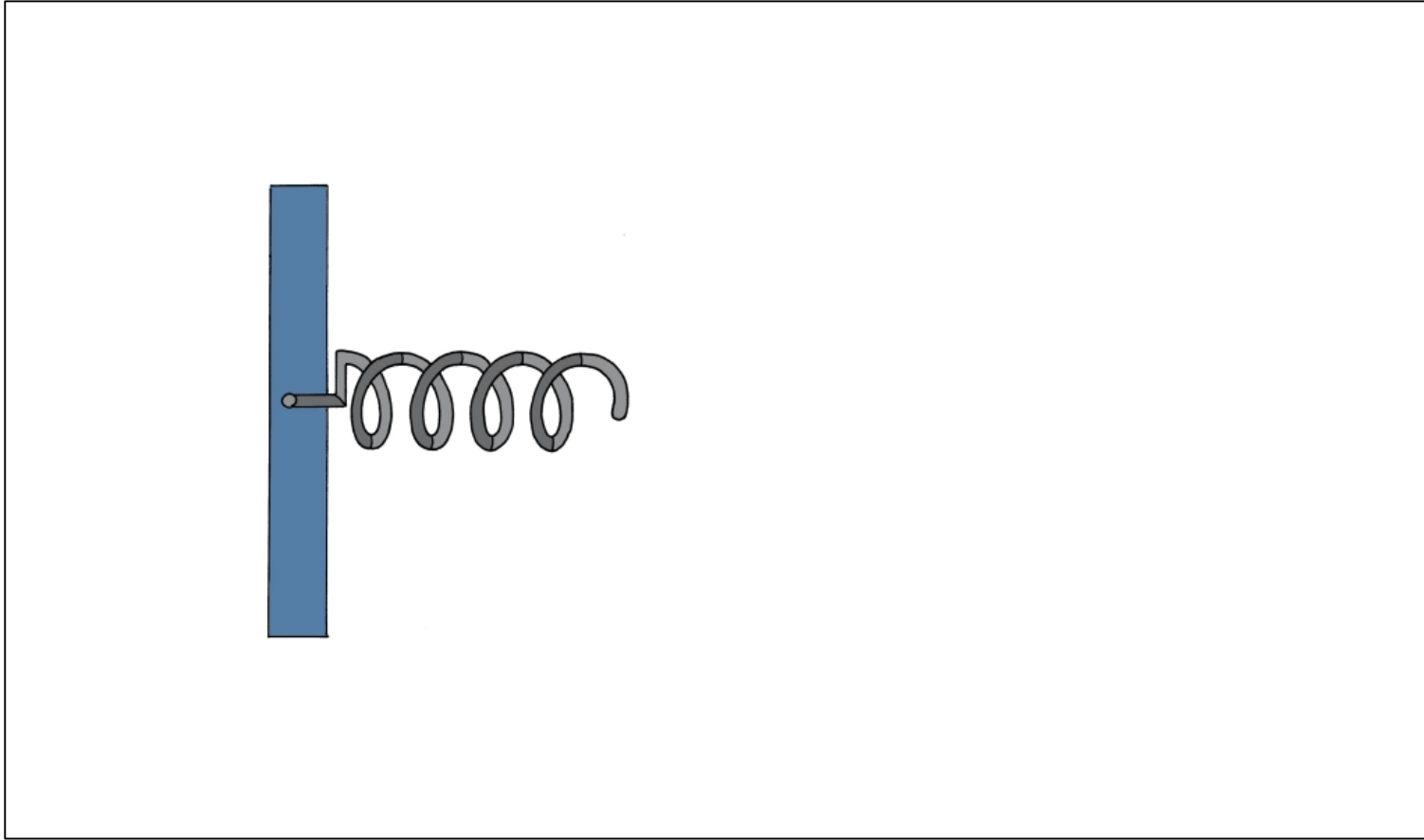
$$W_{op} = \int_{s_1}^{s_2} F ds = - \int_{s_1}^{s_2} ks ds = \frac{1}{2}ks_1^2 - \frac{1}{2}ks_2^2 = E_p(s_1) - E_p(s_2)$$

- ▶ Dogovor: potencijalna energija je u ravnotežnom položaju 0!
- ▶ Potencijalna energija elastične sile opruge za elongaciju s :

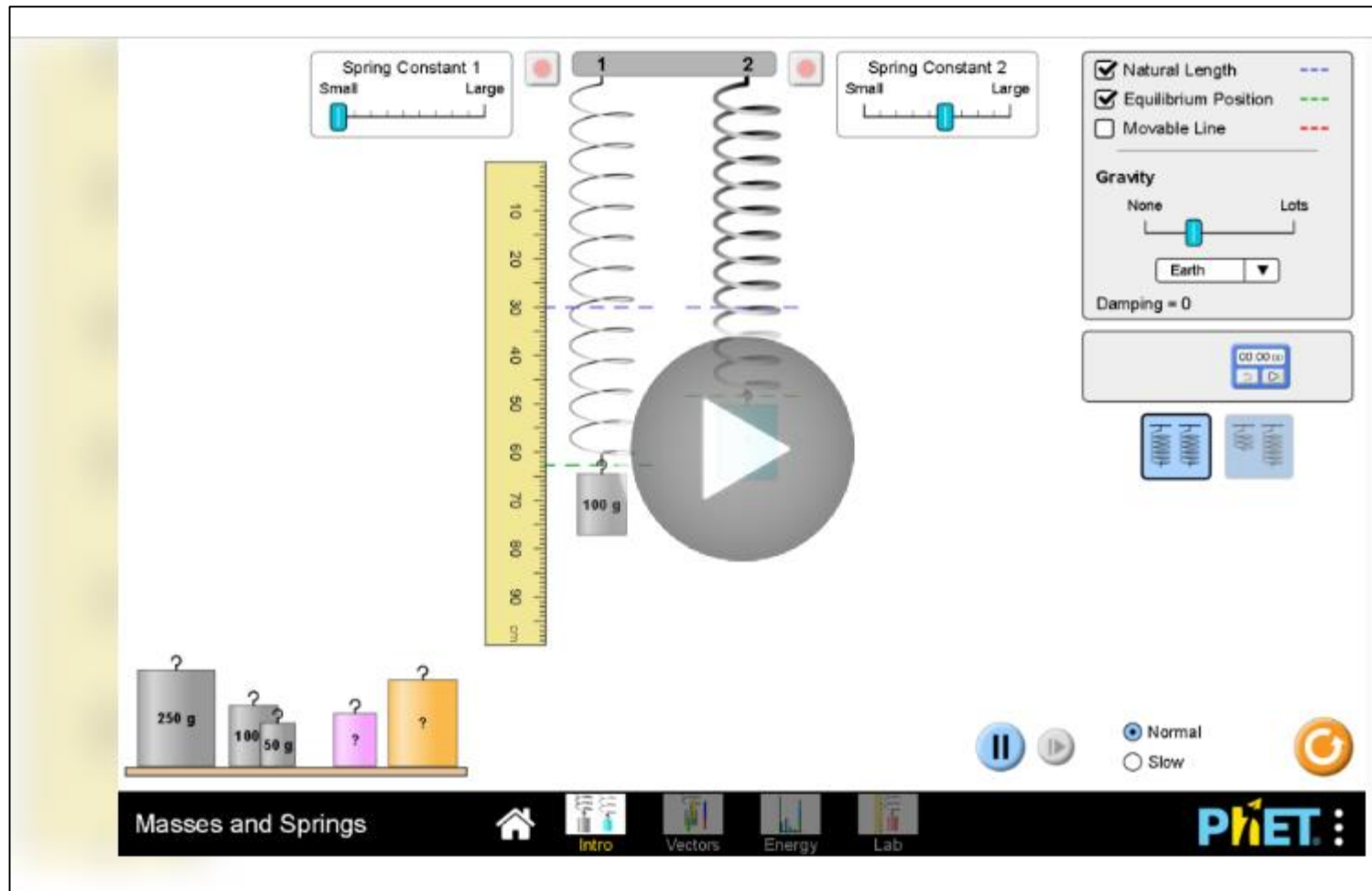
$$E_p(s) = \frac{1}{2}ks^2$$



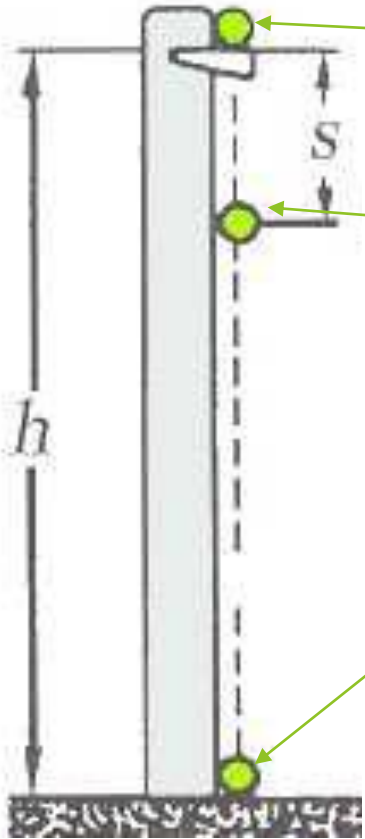
Rad i energija opruge



Simulacija: Uteg na opruzi



Zakon očuvanja energije



▶ Na vrhu:

▶ $E_p = mgh$; $E_k = 0$; $E = E_k + E_p = mgh$

▶ Slobodni pad, nakon puta s :

$$E_p = mg(h - s); \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\sqrt{2gs}^2;$$

$$E = mg(h - s) + \frac{1}{2}m2gs = mgh$$

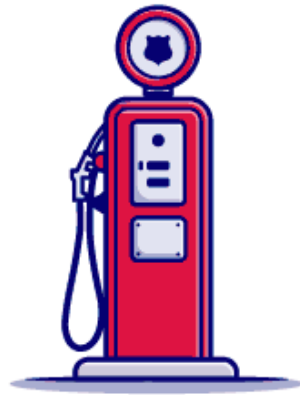
▶ U trenutku kad tijelo padne o tlo:

$$E_p = 0; \quad E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\sqrt{2gh}^2 = mgh; \quad E = mgh$$

▶ Ukupna energija je u svakoj točki putanje konstantna!

$$E_k + E_p = \text{konst.}$$

▶ Ukupna energija je očuvana!

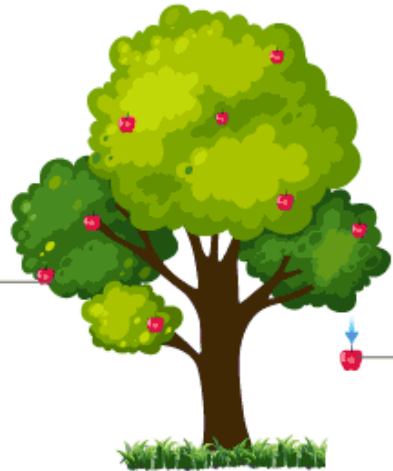


Chemical energy

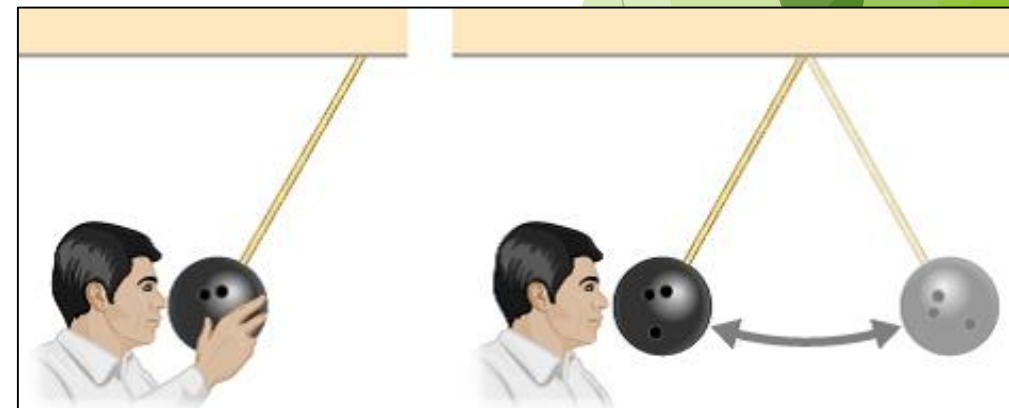
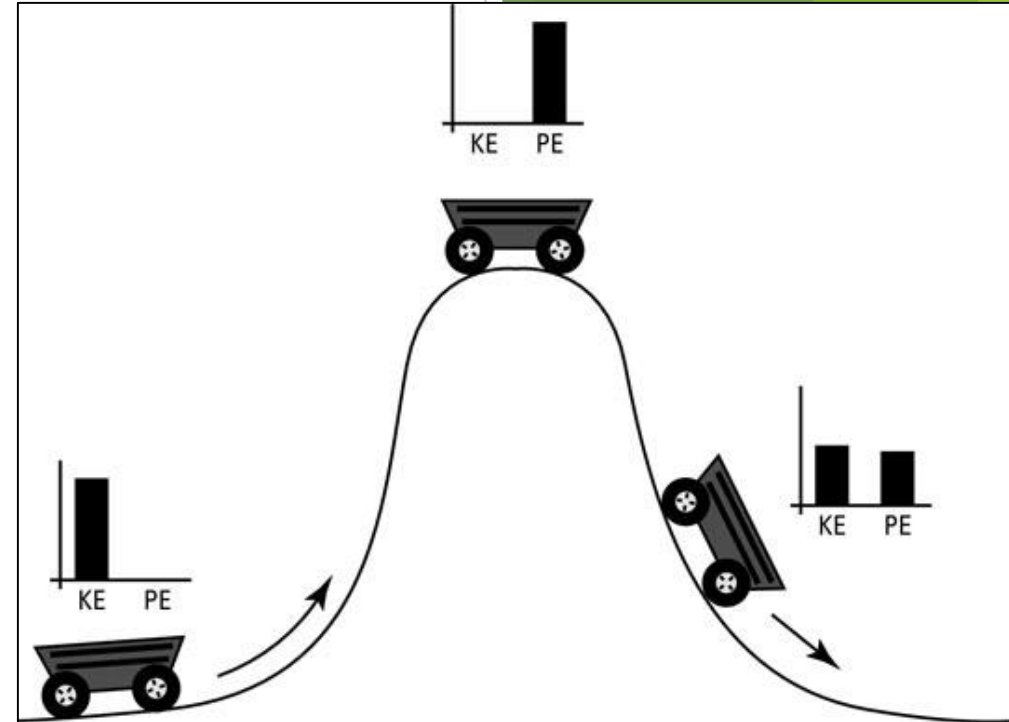


Mechanical energy

Potential energy



Kinetic energy



Snaga

- ▶ Snaga je brzina obavljanja rada, odnosno brzina prijenosa energije.

$$\overline{P} = \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

- ▶ Trenutna vrijednost snage:

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \overline{P} = \frac{dW}{dt}$$

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = \vec{F} \cdot \vec{v} dt$$

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = Fv \cos \alpha$$

- ▶ α - kut između smjera sile i smjera brzine tijela.
- ▶ Jedinica za snagu: 1 vat (1W); $1W = 1J / 1s$

The metric horsepower

1 hp = 735.5 watts

