

# Očuvanje energije

Duje Jerić- Miloš

25. ožujka 2025.

# Energija je očuvana

- ▶ Dvije kugle se sudare na horizontalnom stolu. Je li energija očuvana? Što to znači?

# Energija je očuvana

- ▶ Dvije kugle se sudare na horizontalnom stolu. Je li energija očuvana? Što to znači?
- ▶ Jedna kugla se giba te ima .

# Energija je očuvana

- ▶ Dvije kugle se sudare na horizontalnom stolu. Je li energija očuvana? Što to znači?
- ▶ Jedna kugla se giba te ima kinetičku energiju.

# Energija je očuvana

- ▶ Dvije kugle se sudare na horizontalnom stolu. Je li energija očuvana? Što to znači?
- ▶ Jedna kugla se giba te ima kinetičku energiju.
- ▶ Sudari se s drugom kuglom koja miruje  $\implies$  prva uspori, a druga ubrza.

# Energija je očuvana

- ▶ Dvije kugle se sudare na horizontalnom stolu. Je li energija očuvana? Što to znači?
- ▶ Jedna kugla se giba te ima kinetičku energiju.
- ▶ Sudari se s drugom kuglom koja miruje  $\implies$  prva uspori, a druga ubrza.
- ▶ Ako je zbroj kinetičkih energija isti na početku i na kraju **energija dviju kugli je očuvana.**

# Energija je očuvana?

- ▶ Ako čujemo sudar dviju kugli, je li njihova energija može biti očuvana?

# Energija je očuvana?

- ▶ Ako čujemo sudar dviju kugli, je li njihova energija može biti očuvana?
- ▶ Prva kugla ne gurne samo drugu kuglu, gurne i **zrak**.



# Energija je očuvana?

- ▶ Ako čujemo sudar dviju kugli, je li njihova energija može biti očuvana?
- ▶ Prva kugla ne gurne samo drugu kuglu, gurne i **zrak**.
- ▶ Dio energije sudara odlazi na **zvuk**.

# Energija je očuvana?

- ▶ Ako čujemo sudar dviju kugli, je li njihova energija može biti očuvana?
- ▶ Prva kugla ne gurne samo drugu kuglu, gurne i **zrak**.
- ▶ Dio energije sudara odlazi na **zvuk**.
- ▶ Sudar može "prodrmati" atome dviju kugli  $\implies$  one se zagriju

# Energija je očuvana?

- ▶ Ako čujemo sudar dviju kugli, je li njihova energija može biti očuvana?
- ▶ Prva kugla ne gurne samo drugu kuglu, gurne i **zrak**.
- ▶ Dio energije sudara odlazi na **zvuk**.
- ▶ Sudar može "prodrmati" atome dviju kugli  $\implies$  one se zagriju
- ▶ Dio energije odlazi na **toplinu**.
- ▶ Ako promatramo širi sustav (npr. cijelu prostoriju u sa zrakom kojoj se dvije kugle nalaze), energija je očuvana

# Energija je očuvana?

- ▶ Ako čujemo sudar dviju kugli, je li njihova energija može biti očuvana?
- ▶ Prva kugla ne gurne samo drugu kuglu, gurne i **zrak**.
- ▶ Dio energije sudara odlazi na **zvuk**.
- ▶ Sudar može "prodrmati" atome dviju kugli  $\implies$  one se zagriju
- ▶ Dio energije odlazi na **toplinu**.
- ▶ Ako promatramo širi sustav (npr. cijelu prostoriju u sa zrakom kojoj se dvije kugle nalaze), energija je očuvana?

# Energija je očuvana?

- ▶ Ako čujemo sudar dviju kugli, je li njihova energija može biti očuvana? **NE!**
- ▶ Prva kugla ne gurne samo drugu kuglu, gurne i **zrak**.
- ▶ Dio energije sudara odlazi na **zvuk**.
- ▶ Sudar može "prodrmati" atome dviju kugli  $\implies$  one se zagriju
- ▶ Dio energije odlazi na **toplinu**.
- ▶ Ako promatramo širi sustav (npr. cijelu prostoriju u sa zrakom kojoj se dvije kugle nalaze), energija je očuvana?
- ▶ Ne baš! Snažni sudar čuje netko i van prostorije. Prostorija mora biti **izolirana**.

# Energija svemira je očuvana?

- ▶ Svemir je SVE, stoga ga nemamo od čega izolirati.

# Energija svemira je očuvana?

- ▶ Svemir je SVE, stoga ga nemamo od čega izolirati.
- ▶ Energija svemira je očuvana

# Energija svemira je očuvana?

- ▶ Svemir je SVE, stoga ga nemamo od čega izolirati.
- ▶ Energija svemira je očuvana?
- ▶ Za *statični* svemir ovo vrijedi.



# Energija svemira je očuvana?

- ▶ Svemir je SVE, stoga ga nemamo od čega izolirati.
- ▶ Energija svemira je očuvana?
- ▶ Za *statični* svemir ovo vrijedi.
- ▶ Kozmologija nas uči da svemir *nije* statičan - širi se!

# Energija svemira je očuvana?

- ▶ Svemir je SVE, stoga ga nemamo od čega izolirati.
- ▶ Energija svemira je očuvana?
- ▶ Za *statični* svemir ovo vrijedi.
- ▶ Kozmologija nas uči da svemir *nije* statičan - širi se!
- ▶ Npr. energija svemira koji sadrži samo fotone nije očuvana: širenjem valna duljina fotona raste pa njegova energija opada.

# Govorimo o ZAKONU očuvanja energije, jelda?

- ▶ Energija je *približno očuvana* kada gubitke na toplinu, zvuk i sl. možemo zanemariti.

# Govorimo o ZAKONU očuvanja energije, jelda?

- ▶ Energija je *približno očuvana* kada gubitke na toplinu, zvuk i sl. možemo zanemariti.
- ▶ U tom slučaju postoji neki broj (energija kugli) koji je isti što god te dvije kugle radile.

# Govorimo o ZAKONU očuvanja energije, jelda?

- ▶ Energija je *približno očuvana* kada gubitke na toplinu, zvuk i sl. možemo zanemariti.
- ▶ U tom slučaju postoji neki broj (energija kugli) koji je isti štogod te dvije kugle radile.
- ▶ Ovo čini analizu lakšom jer ograničava brzine koje te dvije kugle mogu imati.

# Govorimo o ZAKONU očuvanja energije, jelda?

- ▶ Energija je *približno očuvana* kada gubitke na toplinu, zvuk i sl. možemo zanemariti.
- ▶ U tom slučaju postoji neki broj (energija kugli) koji je isti štogod te dvije kugle radile.
- ▶ Ovo čini analizu lakšom jer ograničava brzine koje te dvije kugle mogu imati.
- ▶ Čak i ako imamo gubitke, često je lakše prvo proučiti ponašanje jednostavnijeg problema (bez gubitaka), potom uvesti gubitke.

# Dajemo i oduzimamo energiju tijelu

- ▶ Podignemo teret od 1kg na visinu od 1m  $\implies$  obavili smo

# Dajemo i oduzimamo energiju tijelu

- ▶ Podignemo teret od 1kg na visinu od 1m  $\implies$  obavili smo 10J rada.



## Dajemo i oduzimamo energiju tijelu

- ▶ Podignemo teret od 1kg na visinu od 1m  $\implies$  obavili smo 10J rada. Dakle, tijelo ima za 10J veću energiju.

# Dajemo i oduzimamo energiju tijelu

- ▶ Podignemo teret od 1kg na visinu od 1m  $\implies$  obavili smo 10J rada. Dakle, tijelo ima za 10J veću energiju.
- ▶ Polako spuštamo teret natrag na početnu visinu  $\implies$  obavljamo

# Dajemo i oduzimamo energiju tijelu

- ▶ Podignemo teret od 1kg na visinu od 1m  $\implies$  obavili smo 10J rada. Dakle, tijelo ima za 10J veću energiju.
- ▶ Polako spuštamo teret natrag na početnu visinu  $\implies$  obavljamo  $-10\text{J}$  rada. Tijelu oduzimamo 10J energije.
- ▶ Mijenja li gravitacija tijelu energiju (pustimo da tijelo slobodno pada 1m)?

## Dajemo i oduzimamo energiju tijelu

- ▶ Podignemo teret od 1kg na visinu od 1m  $\implies$  obavili smo 10J rada. Dakle, tijelo ima za 10J veću energiju.
- ▶ Polako spuštamo teret natrag na početnu visinu  $\implies$  obavljamo  $-10\text{J}$  rada. Tijelu oduzimamo 10J energije.
- ▶ Mijenja li gravitacija tijelu energiju (pustimo da tijelo slobodno pada 1m)?
- ▶ NE! Pod "energija tijela" smo uračunali i gravitacijsku potencijalnu energiju  $mgh$ . Sila teža umanjuje gravitacijsku potencijalnu energiju, a povećava kinetičku tako da je ukupna energija očuvana.

## Dajemo i oduzimamo energiju tijelu

- ▶ Podignemo teret od 1kg na visinu od 1m  $\implies$  obavili smo 10J rada. Dakle, tijelo ima za 10J veću energiju.
- ▶ Polako spuštamo teret natrag na početnu visinu  $\implies$  obavljamo  $-10\text{J}$  rada. Tijelu oduzimamo 10J energije.
- ▶ Mijenja li gravitacija tijelu energiju (pustimo da tijelo slobodno pada 1m)?
- ▶ NE! Pod "energija tijela" smo uračunali i gravitacijsku potencijalnu energiju  $mgh$ . Sila teža umanjuje gravitacijsku potencijalnu energiju, a povećava kinetičku tako da je ukupna energija očuvana.
- ▶ Gravitacija je *konzervativna* sila.

# Umaramo li se kada podižemo i spuštamo teret?

- ▶ Koliko smo obavili ukupno rada kada podignemo i spustimo teret?

# Umaramo li se kada podižemo i spuštamo teret?

- ▶ Koliko smo obavili ukupno rada kada podignemo i spustimo teret?  $10\text{J} + (-10\text{J}) = 0\text{J}$ .

# Umaramo li se kada podižemo i spuštamo teret?

- ▶ Koliko smo obavili ukupno rada kada podignemo i spustimo teret?  $10\text{J} + (-10\text{J}) = 0\text{J}$ .
- ▶ Jesmo li se umorili?



# Umaramo li se kada podižemo i spuštamo teret?

- ▶ Koliko smo obavili ukupno rada kada podignemo i spustimo teret?  $10\text{J} + (-10\text{J}) = 0\text{J}$ .
- ▶ Jesmo li se umorili?
- ▶ Držimo uteg od 100kg nepomično u rukama. Obavljamo li rad na tom teretu? Umaramo li se? Trošimo li energiju?

# Umaramo li se kada podižemo i spuštamo teret?

- ▶ Koliko smo obavili ukupno rada kada podignemo i spustimo teret?  $10\text{J} + (-10\text{J}) = 0\text{J}$ .
- ▶ Jesmo li se umorili?
- ▶ Držimo uteg od 100kg nepomično u rukama. Obavljamo li rad na tom teretu? Umaramo li se? Trošimo li energiju?
- ▶ Naši mišići troše energiju (obavljaju rad) čak i kada nešto držimo nepomično u ruci (teret jest nepomičan, ali mišićna vlakna, stanice nisu).

# Zakon očuvanja energije

- ▶ Promotrimo kugu koja slobodno pada s visine  $h_1$  na visinu  $h_2$  i pritom ubrza s  $v_1$  na  $v_2$ .

# Zakon očuvanja energije

- ▶ Promotrimo kugu koja slobodno pada s visine  $h_1$  na visinu  $h_2$  i pritom ubrza s  $v_1$  na  $v_2$ .
- ▶ Kako je gravitacija jedina sila koja djeluje, njen rad (pozitivni) je  $W = mg \cdot (h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$ .

# Zakon očuvanja energije

- ▶ Promotrimo kugu koja slobodno pada s visine  $h_1$  na visinu  $h_2$  i pritom ubrza s  $v_1$  na  $v_2$ .
- ▶ Kako je gravitacija jedina sila koja djeluje, njen rad (pozitivni) je  $W = mg \cdot (h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$ .
- ▶ Rad resultantne sile jednak je promjeni kinetičke energije, stoga:  $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ .

# Zakon očuvanja energije

- ▶ Promotrimo kugu koja slobodno pada s visine  $h_1$  na visinu  $h_2$  i pritom ubrza s  $v_1$  na  $v_2$ .
- ▶ Kako je gravitacija jedina sila koja djeluje, njen rad (pozitivni) je  $W = mg \cdot (h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$ .
- ▶ Rad rezultantne sile jednak je promjeni kinetičke energije, stoga:  $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ .
- ▶ Dakle:

$$mgh_1 - mgh_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

# Zakon očuvanja energije

- ▶ Promotrimo kugu koja slobodno pada s visine  $h_1$  na visinu  $h_2$  i pritom ubrza s  $v_1$  na  $v_2$ .
- ▶ Kako je gravitacija jedina sila koja djeluje, njen rad (pozitivni) je  $W = mg \cdot (h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$ .
- ▶ Rad rezultantne sile jednak je promjeni kinetičke energije, stoga:  $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ .
- ▶ Dakle:

$$mgh_1 - mgh_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

- ▶ Prebacimo li 1-ce na lijevu stranu, a 2-ce na desnu:

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

# Zakon očuvanja energije

- ▶ Promotrimo kugu koja slobodno pada s visine  $h_1$  na visinu  $h_2$  i pritom ubrza s  $v_1$  na  $v_2$ .
- ▶ Kako je gravitacija jedina sila koja djeluje, njen rad (pozitivni) je  $W = mg \cdot (h_1 - h_2) = mgh_1 - mgh_2$ .
- ▶ Rad rezultantne sile jednak je promjeni kinetičke energije, stoga:  $W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ .

- ▶ Dakle:

$$mgh_1 - mgh_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

- ▶ Prebacimo li 1-ce na lijevu stranu, a 2-ce na desnu:

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

- ▶ Energija je očuvana: potencijalna energija  $mgh$  se pretvara u kinetičku (slično i za druge konzervativne sile)



# Djelovanje trenja/otpora

- ▶ Što ako pri padu djeluje i otpor zraka?

# Djelovanje trenja/otpora

- ▶ Što ako pri padu djeluje i otpor zraka?
- ▶ Onda dio energije odlazi na savladavanje otpora / trenja  $W_{tr}$ .

# Djelovanje trenja/otpora

- ▶ Što ako pri padu djeluje i otpor zraka?
- ▶ Onda dio energije odlazi na savladavanje otpora / trenja  $W_{tr}$ .
- ▶ Otpor se odupire gibanju, stoga je rad

# Djelovanje trenja/otpora

- ▶ Što ako pri padu djeluje i otpor zraka?
- ▶ Onda dio energije odlazi na savladavanje otpora / trenja  $W_{tr}$ .
- ▶ Otpor se odupire gibanju, stoga je rad negativan (sila i pomak su suprotni)
- ▶ Rezultantna sila je sada gravitacija + otpor, čiji je rad:

$$mgh_1 - mgh_2 - W_{tr}$$

## Djelovanje trenja/otpora

- ▶ Što ako pri padu djeluje i otpor zraka?
- ▶ Onda dio energije odlazi na savladavanje otpora / trenja  $W_{tr}$ .
- ▶ Otpor se odupire gibanju, stoga je rad negativan (sila i pomak su suprotni)
- ▶ Rezultantna sila je sada gravitacija + otpor, čiji je rad:

$$mgh_1 - mgh_2 - W_{tr}$$

- ▶ Dakle:

$$mgh_1 - mgh_2 - W_{tr} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

## Djelovanje trenja/otpora

- ▶ Što ako pri padu djeluje i otpor zraka?
- ▶ Onda dio energije odlazi na savladavanje otpora / trenja  $W_{tr}$ .
- ▶ Otpor se odupire gibanju, stoga je rad negativan (sila i pomak su suprotni)
- ▶ Rezultantna sila je sada gravitacija + otpor, čiji je rad:

$$mgh_1 - mgh_2 - W_{tr}$$

- ▶ Dakle:

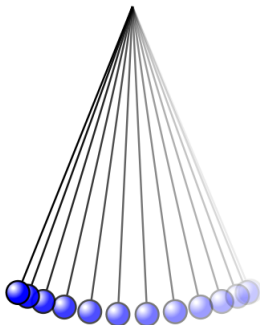
$$mgh_1 - mgh_2 - W_{tr} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

- ▶ Ili:

$$mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 + W_{tr}$$

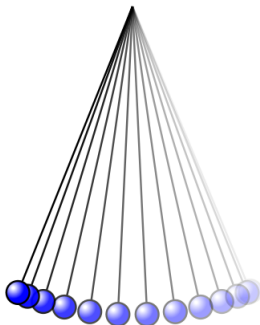
# Njhalo

- ▶ Njhalo pretvara gravitacijsku potencijalnu energiju u kintičku i obratno:



# Njihalo

- ▶ Njihalo pretvara gravitacijsku potencijalnu energiju u kintičku i obratno:

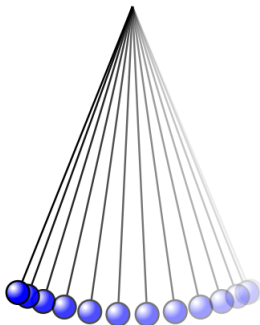


- ▶ (45:42) <https://www.youtube.com/watch?v=9gUdDM6LZGo>



# Njhalo

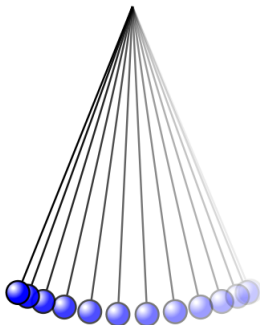
- ▶ Njhalo pretvara gravitacijsku potencijalnu energiju u kintičku i obratno:



- ▶ (45:42) <https://www.youtube.com/watch?v=9gUdDM6LZGo>
- ▶ Gdje je kinetička energija najveća, a gdje potencijalna?

# Njhalo

- ▶ Njhalo pretvara gravitacijsku potencijalnu energiju u kinetičku i obratno:



- ▶ (45:42) <https://www.youtube.com/watch?v=9gUdDM6LZGo>
- ▶ Gdje je kinetička energija najveća, a gdje potencijalna?
- ▶ Što se dogodi ako uključimo otpor?

## Zaključimo (prepišite)

- ▶ Energija izoliranih sustava je očuvana.

# Zaključimo (prepišite)

- ▶ Energija izoliranih sustava je očuvana.
- ▶ Ovo znači da postoji neki broj koji se, štogod sustav radio, ne mijenja.

# Zaključimo (prepišite)

- ▶ Energija izoliranih sustava je očuvana.
- ▶ Ovo znači da postoji neki broj koji se, štogod sustav radio, ne mijenja.
- ▶ Sustave ne možemo savršeno izolirati.

# Zaključimo (prepišite)

- ▶ Energija izoliranih sustava je očuvana.
- ▶ Ovo znači da postoji neki broj koji se, štogod sustav radio, ne mijenja.
- ▶ Sustave ne možemo savršeno izolirati.
- ▶ Očuvanje energije stoga (kao i svaki drugi zakon) *približno* opisuje ponašanje prirodnog sustava.