

Školska godina 2007./2008.



Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje
Studij računarstva

Fizika 1

Predavanje 6

Rad. Energija. Snaga. Sudari.

8. studenoga 2007.
Dr. sc. Ivica Puljak
(Ivica.Puljak@fesb.hr)

Danas ćemo raditi:

- ◆ P. Kulišić: "Mehanika i toplina", Poglavlje 4
 - Rad i energija
 - ◆ Rad
 - ◆ Energija
 - ◆ Kinetička energija
 - ◆ Potencijalna energija
 - ◆ Zakon očuvanja energije
 - ◆ Snaga
 - ◆ Sudari
 - Savršeno elastičan sudar
 - Savršeno neelastičan sudar

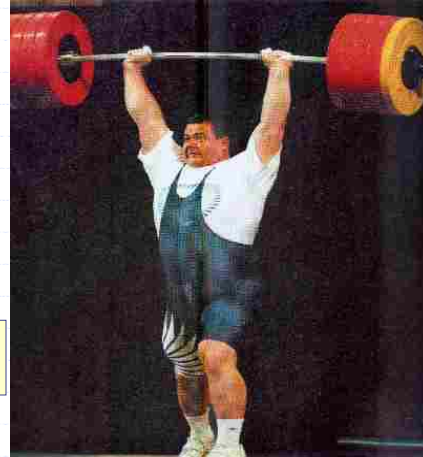
8. studenoga 2007. Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6 2

Rad - Priča

Na olimpijskim igrama 1996 godine u Atlanti, Andrej Čemerkin postavio je rekord u dizanju utega, podignuvši 260 kg s poda na visinu od oko 2 m. 1957. godine Paul Anderson je leđima, odupirući se o pod, podigao za oko 1 cm platformu punu auto dijelova i olovnih kutija, ukupne težine 27 900 N.

Tko je napravio veći rad, Čemerkin ili Anderson?

Odgovor ćete saznati na današnjem predavanju.



8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

3

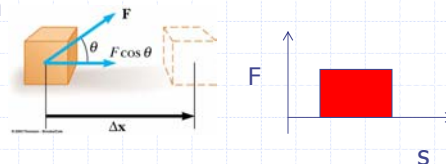
Rad

- Definicija rada: Savladavanje sile na određenom putu.

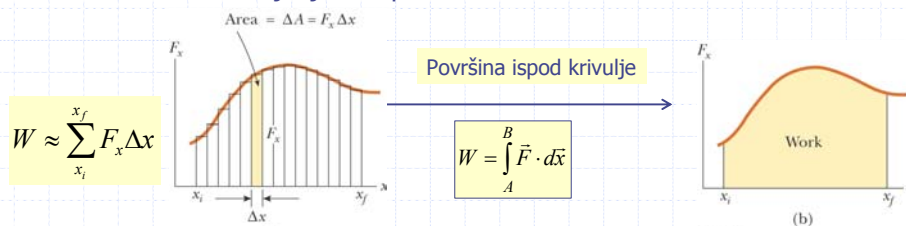
$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = F ds \cos \theta \quad \theta - \text{kut između vektora sile i vektora pomaka}$$

- Rad je skalarna veličina, SI jedinica za rad (Joul): $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ kgm}^2/\text{s}^2$
- Rad kad je sila duž puta konstantna

$$W = \vec{F} \cdot (\vec{x}_f - \vec{x}_i) = F \Delta x \cos \theta$$



- Rad kad se sila mijenja duž puta



8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

4

Tipične vrijednosti rada

Koliko rada je 1 joule?

- Rad potreban da se kilogram kruha podigne za oko 10 cm.
- Rad potreban da se jabuka podigne za oko 1 m.
- 1 joule rada može žarulju od 100 W držati upaljenu 0,01 sekundu.
- 1 joule rada zagrije čašu vode za 0,00125 °C.

Aktivnost

- Godišnja energijska potreba SAD-a
- Erupcija Etne
- Oluja
- Izgaranje litre goriva
- Dnevna potreba hrane
- Izgaranja komada ugljena
- Rastapanje kocke leda
- Svjetljenje žarulje od 100 W tijekom 1 minute
- Bacanje teniske loptice na udaljenost od 2 m
- Otkucaj srca
- Okretanje stranice knjige
- Skok muhe
- Pucanje veza u DNK

Ekvivalent rada (J)

8×10^{19}
 10^{18}
 10^{15}
 10^8
 10^7
 10^6
 10^4
 6×10^3
 0,9
 0,5
 10^{-3}
 10^{-7}
 10^{-20}

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

5

Primjer 1 - Rad

- a) Koliki je rad gravitacijske sile na teret koji je podigao Čemerkin tijekom podizanja utega?
- b) Koliki je rad napravio Čemerkin tijekom dizanja utega?
- c) Koliki je rad napravio Čemerkin dok je držao teret iznad glave?
- d) Koliki je rad napravio Anderson podižući platformu?



Jedan drugi pothvat Paula Andersona.

- Rezultat: a) $W = -5100 \text{ J}$, b) $W = 5100 \text{ J}$, c) $W = 0$, d) $W = 280 \text{ J}$.

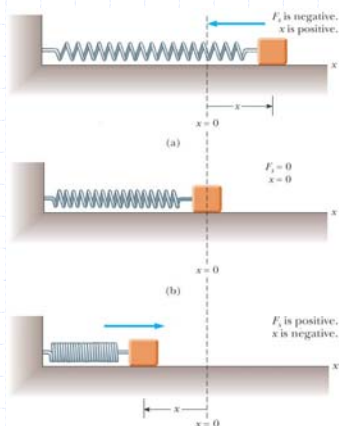
8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

6

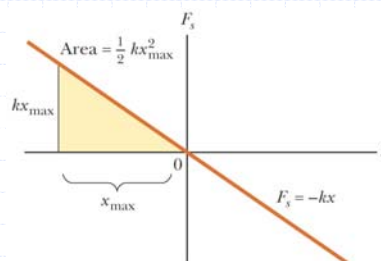
Rad elastične sile

◆ Elastična sila $F = -kx$.



◆ Rad elastične sile kad se blok pomakne od $x_i = -x_{\max}$ to $x_f = 0$

$$W_s = \int_{x_i}^{x_f} F_x dx = \int_{-x_{\max}}^0 (-kx) dx = \frac{1}{2} kx_{\max}^2$$



8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

7

Snaga

◆ Rad sile na određenom putu može biti izvršen u različitim vremenskim intervalima. Snaga je brzina vršenja rada.

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{\vec{F} \cdot d\vec{s}}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad [P] = 1W = \frac{1J}{1s}$$

◆ Rad električne struje se izražava kWh

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3600000 \text{ J} = 3600 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$$

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

8

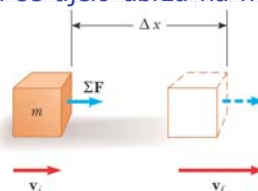
Kinetička energija

- Kinetička energija je sposobnost tijela da izvrši rad zbog toga što ima određenu brzinu. Da izračunamo kolika je kinetička energija tijela brzine v potrebno je izračunati rad koji treba uložiti da se tijelo ubrza na nekom putu iz mirovanja do brzine v .

$$E_k = \int \vec{F} \cdot d\vec{s} = \int \vec{F} \cdot \vec{v} dt = \int m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot \vec{v} dt = \int m v dv = \frac{1}{2} m v^2$$

$$E_k = \frac{p^2}{2m}$$

$$[E_k] = J = Nm$$



- Poučak o radu i kinetičkoj energiji daje vezu između rad i kinetičke energije:

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

Rad (W) svih sila koje djeluju na česticu jednak je promijeni kinetičke energije (ΔE_k)

$W < 0 \rightarrow \Delta E_k < 0$ kinetička energija se smanjila, tijelo je izvršilo rad

$W > 0 \rightarrow \Delta E_k > 0$ kinetička energija se povećala, nad tijelom je izvršen rad

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

9

Primjer 2 – Kinetička energija translacije

- 1896. godine u Wacou, Texas, William Crush je parkirao dvije lokomotive na suprotnim krajevima 6,4 km duge željezničke pruge, zaletio ih jednu prema drugoj pri punoj brzini ispred 30 000 gledatelja. Na stotine ljudi bilo je ozlijeđeno od krhotina pri sudaru, a čak ih je nekoliko i poginulo.

Pretpostavljajući da je težina svake lokomotive $1,2 \times 10^6$ N i da je ubrzanje lokomotiva bilo konstantno i iznosilo $0,26$ m/s², izračunajte ukupnu kinetičku energiju lokomotiva prije sudara?



- Rezultat:** $E_k = 2 \times 10^8$ J

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

10

Potencijalna energija

- ◆ Potencijalna energija se može shvatiti kao energija pohranjena u sistemu, a koja se u može transformirati u kinetičku energiju ili izvršiti određeni rad.
- ◆ Potencijalna energija odnosi se na sistem čestica koje djeluju jedna na drugu konzervativnom silom.
- ◆ Ne može se govoriti o potencijalnoj energiji sistema u kojem djeluju samo nekonzervativne sile.
- ◆ Savladavajući konzervativnu silu na nekom putu mi vršimo rad koji se transformira u potencijalnu energiju.
- ◆ Isplati se ulagati u rad za savladavanje konzervativne sile.
- ◆ Potencijalna energija tijela je posljedica njegova položaja prema drugim tijelima ili same konfiguracije tijela, odnosno sistema tijela.

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

11

Konzervativne i nekonzervativne sile

- ◆ Prema definiciji rad sile je linijski integral sile duž putanje i $(W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r})$ općenito ovisi o sili koja djeluje i putu od početne do konačne točke kao i o obliku puta između tih dviju točaka.
- ◆ Ako je rad sile po zatvorenoj putanji bilo kakva oblika jednak nuli onda je ta sila konzervativna sila.

$$\oint \vec{F} \cdot d\vec{r} = 0 \quad \vec{F} - \text{konzervativna sila}$$

- ◆ Sila je nekonzervativna ako je rad što ga ona izvrši po zatvorenom putu bilo kakva oblika različit od nule:

$$\oint \vec{F} \cdot d\vec{r} \neq 0 \quad \vec{F} - \text{nekonzervativna sila}$$

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

12

Konzervativne sile

- Rad konzervativne sile ne ovisi o putu već samo o početnoj i krajnoj točki
- Rad konzervativne sile po zatvorenoj putanji jednak je nuli.
- Gravitacijska sila, Coulombova sila, elastična sila su primjeri konzervativnih sila.
- Sila trenja je primjer nekonzervativne sile.



$$W_{AB} + W_{BA} = -2\mu mgs$$

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

13

Potencijalna energija

- Potencijalnu energiju E_p posjeduje sistem čestica u kojem između čestica djeluju konzervativne sile.
- U sistemu čestica odnosno tijela u kojem djeluju konzervativne sile svakoj određenoj konfiguraciji tj. svakom međusobnom položaju čestica sistema može se pridružiti određena potencijalna energija.
- Potencijalna energija je funkcija koordinata svih čestica $E_p = E_p(x_i, y_i, z_i)$
- Potencijalna energija tijela u gravitacijskom polju Zemlje je samo funkcija koordinata tijela, opravdano je uzeti da Zemlja miruje prilikom gibanja promatranog tijela $E_p(x, y, z)$.
- Rad sile teže jednak je negativnoj promijeni potencijalne energije

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

Poučak o radu i potencijalnoj energiji:
Rad konzervativne sile jednak je negativnoj promijeni potencijalne energije

- Gravitacijska potencijalna energija tijela mase m na visini h : $E_p = mgh$

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

14

Očuvanje energije

Predhistorijski ljudi na Uskršnjim otocima izrađivali su ogromne kipove u kamenolomima i zatim ih premještali na razna mjesta po otoku. Kako su uspjeli premjestiti tako teške objekte i do 10 km od kamenoloma bez upotrebe sofisticiranih tehničkih pomagala, pitanje je o kojem se puno raspravljalo, s mnogo teorija o potrebnim izvorima energija za takav poduhvat.

Koliko energije je bilo potrebno za pomicanje jednog takvog kipa upotrebljavajući samo primitivno oruđe?

Odgovor u primjeru koji slijedi.



8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

15

Zakon očuvanja energije

- Prema počku o radu i kinetičkoj energiji, rad rezultante svih sila (konzervativnih i nekonzervativnih) koje djeluju na česticu jednak je promjeni kinetičke energije čestice:

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

- Prema poučku o radu i potencijalnoj energiji rad konzervativne sile jednak je negativnoj promjeni potencijalne energije.

$$W_k = -(E_{pB} - E_{pA}) = -\Delta E_p$$

- Ako na česticu djeluju samo konzervativne sile slijedi:

$$W = W_k = \Delta E_k = -\Delta E_p \Rightarrow \Delta E_k + \Delta E_p = \Delta(E_k + E_p) = 0$$

$$E = E_k + E_p = \text{konst.}, E - \text{ukupna mehanička energija}$$

- U sistemu u kojem djeluju samo konzervativne sile ukupna mehanička energija (zbroj potencijalne i kinetičke energije) je očuvan.

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

16

Uključimo u igru i nekonzervativne sile

- ◆ Kad na čestice osim konzervativnih sile djeluju i nekonzervativne sile tada vrijedi:

$$W_k + W_{nk} = \Delta E_k$$

$$W_k = -\Delta E_p$$

$$\Delta E_k + \Delta E_p = \Delta E = W_{nk};$$

W_{nk} – rad nekonzervativnih sila

Poučak o radu i ukupnoj mehaničkoj energiji

- ◆ Kad na česticu djeluju nekonzervativne sile promjena ukupne mehaničke energije jednaka je radu nekonzervativnih sila, mehanička energija nije očuvana.
- ◆ Primjer je sila trenja čiji je rad negativan pa je promjena mehaničke energije negativna tj. ukupna mehanička energija se smanjila za iznos rada kojeg je napravila sila trenja.
- ◆ Sila trenja je tzv. disipativna sila (nekonzervativna sila) jer kad ona djeluje ukupna mehanička energija nije očuvana.

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

17

Još o energiji

- ◆ Nakon što je Joule definitivno potvrdio da je i toplota energija i odredio mehanički ekvivalent topline (oko 1840. godine),
- ◆ Opću formulaciju zakona očuvanja energije dao je 1847. Helmholtz:
Zbroj svih vrsta energije u izdvojenom (zatvorenom, izoliranom) sustavu je stalan.
- ◆ **Zakon očuvanja energije je osnovni zakon prirode.**
- ◆ Smanjenje mehaničke energije zbog sile trenja za iznos jednak radu kojeg napravi sila trenja očituje se povećanju topline (toplina je također oblik energije, kinetička energija molekula) tako da je ukupna energija očuvana, samo je prešla iz jednog oblika u drugi na sličan način kao što kinetička energija prelazi u potencijalnu i obratno.
- ◆ Možda najčudnovatija relacija u fizici poznata Einsteinova relacija **$E=mc^2$** koja povezuje masu i energiju, tj. čestici mase m koja miruje pridružuje se energija mirovanja, tako da je i tvar jedan oblik energije.

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

18

Primjer 3 – Uskršnji otoci

Veliki kipovi na Uskršnjim otocima najvjerojatnije su pomicali tako što su bili postavljeni na drvene balvane koje je gurao određeni broj ljudi. U modernoj rekonstrukciji ove tehnike, 25 ljudi uspjelo je u vremenu od 2 minute pomaknuti kip od 9 000 kg sličan onome s Uskršnjih otoka za udaljenost od 45 m po horizontalnoj podlozi.

- Procijenite koliki je rad bio potrebna za taj pomak.
- Odredite sistem na koji je sila napravila rad.
- Kolika je bila promjena termičke energije u sistemu tijekom pomaka?
- Procijenite koliki bi rad bio potreban da 25 ljudi pomakne kip za 10 km po horizontalnoj podlozi. Procijenite kolika je promjena termičke energije u sistemu.

Rezultat: a) $W \approx 2 \text{ MJ}$, b) kip-balvani-zemlja, c) $\Delta E \approx 2 \text{ MJ}$, d) $W = \Delta E \approx 400 \text{ MJ}$.

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

19

Sudari

Ronald McNair, fizičar i jedan od astronauta poginulih u nesreći Challenger space shuttlea, imao je crni pojas u karateu. Na prikazanoj slici Ronald jednim udarcem lomi nekoliko betonskih blokova. U ovakim karate demonstracijama upotrebljavaju se najčešće drvena ploča ili betonski blok. Pri udaru, ploča i blok se savijaju i upijaju energiju kao opruga, dok se ne dosegne kritična energija, kada se slome. Energija potrebna da se slomi drvena ploča je oko 3 puta veća nego energija potrebna da se slomi betonski blok.

Zašto je ipak lakše slomiti drvenu ploču nego betonski blok?

Odgovor u primjeru koji slijedi.



8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

20

Sudari

- ◆ Do **sudara** dolazi kada dvije ili više čestica (ili sistema čestica) približavajući se jedna drugoj, međusobno djeluju i time promijene svoje gibanje. Pri sudaru ne mora uvijek doći do fizičkog kontakta među tijelima, već je dovoljno da djeluju silama jedno na drugo.
- ◆ Sudar može biti **savršeno elastičan** i **savršeno neelastičan**, odnosno **djelomično elastičan**.
- ◆ **Savršeno elastičan sudar:**
 - I količina gibanja i energija su očuvane $\vec{p}_1 = \vec{p}_2 \quad E_1 = E_2$
 - Tijela se nakon sudara vraćaju u prvobitni oblik, potencijalna energija elastične deformacije nastala prilikom sudara tijela ponovo prelazi u kinetičku energiju, i tijela se razilaze tako da im je ukupna kinetička energija nakon sudara jednaka ukupnoj kinetičkoj energiji prije sudara.
- ◆ **Savršeno neelastičan sudar (tijela se nakon sudara slijepe i gibaju kao jedno tijelo):**
 - Samo je količina gibanja očuvana $\vec{p}_1 = \vec{p}_2 \quad E_1 \neq E_2$
 - Kinetička energija djelomično ili potpuno pretvara se u unutrašnju energiju (potencijalnu i kinetičku energiju termičkog gibanja molekula, te se stoga pri takvim sudarima tijela zagriju. Stoga ne vrijedi zakon o očuvanju mehaničke energije, jer se jedan njen dio pretvorio u nemehanički oblik energije.
- ◆ Većina je makroskopskih sudara između obadva ekstremna slučaja, dakle **djelomično su elastični**.

8. studenoga 2007.

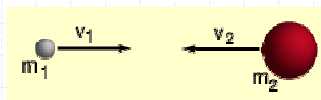
Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

21

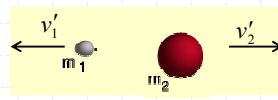
Savršeno elastičan centralni sudar

- Centralni sudar – čestice (tijela) prije i poslije sudara se gibaju duž spojnice njihovi središta

Prije sudara



Poslije sudara



zakon očuvanja količine gibanja

$$\vec{m}_1 \vec{v}_1 + \vec{m}_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$

$$\vec{v}'_1 = \frac{(m_1 - m_2)\vec{v}_1 + 2m_2\vec{v}_2}{m_1 + m_2}$$

zakon očuvanja energije

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

$$\vec{v}'_2 = \frac{(m_2 - m_1)\vec{v}_2 + 2m_1\vec{v}_1}{m_1 + m_2}$$

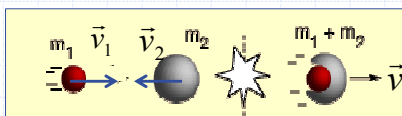
8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

22

Svaršeno neelastičan sudar

- Pri savršeno neelastičnom sudaru kugle se nakon sudara slijepe i gibaju zajedno kao jedno tijelo $\vec{v}'_1 = \vec{v}'_2 = \vec{v}$



U ovom sudaru samo je očuvana količina gibanja

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v}$$

$$\vec{v} = \frac{m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2}{m_1 + m_2}$$

- Kinetička energija poslije sudara manja je od kinetičke energije prije sudara

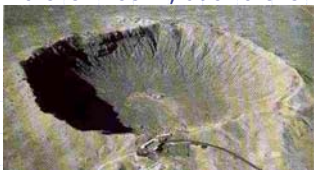
8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

23

Sudari - primjeri

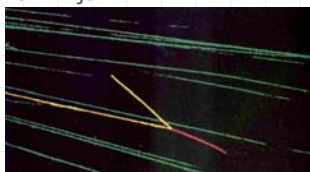
- Meteorski krater u Arizoni (širina oko 1200 m, dubina oko 200 m)



- U prosječnom teniskom susretu loptica je u kontaktu s reketom u vremenu od oko 4 ms pri svakom sudaru (ili zbrojeno oko 1 s po setu)



- Alfa čestice (žuta linija) sudara se s jezgrom dušika (u stanju mirovanja) i nastavlja gibanje s promjenjenim smjerom. Putanja jezgre dušika nakon sudara prikazana je crvenom linijom.



- Primjer neelastičnog sudara



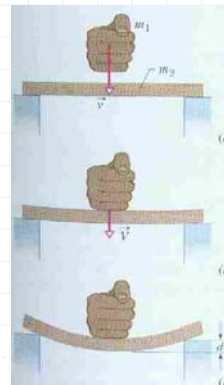
8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

24

Primjer 4 – Sudari (*Domaći rad*)

- ◆ Majstor u karateu udari šakom (mase $m_1 = 0,70$ kg) i slomi drvenu ploču od 0,14 kg (slika desno). Onda učini isto s 3,2 kg betonskim blokom. Za drvenu ploču konstanta opruge iznosi $4,1 \times 10^4$ N/m, dok je za blok jednaka $2,6 \times 10^6$ N/m. Lom nastaje pri savijanju d od 16 mm za ploču i 1,1 mm za blok.
- a) Kolika je energija spremljena u ploči i bloku u trenutku prije loma?
- b) Koja je najmanja brzina šake potrebna da se slomi ploča ili blok? Pretpostavite slijedeće: Radi se o potpuno neelastičnom sudaru šake i ploče ili bloka. Savijanje počinje odmah nakon sudara. Mehanička energija sačuvana je od početka savijanja do trenutka upravo prije loma. Brzine šake i ploče ili bloka u trenutku prije loma su zanemarive.



◆ Rezultat: a) $E_p = 5,2$ J, $E_b = 1,6$ J b) $v_{sp} = 4,2$ m/s, $v_{sb} = 5,0$ m/s.

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

25

Primjer 5 – Sudari u dvije dimenzije (*Domaći rad*)

- ◆ Barbara i Marko voze role na Bačvicama. Marko, čija masa je 84 kg, vozi se u smjeru istoka brzinom 6,2 km/h. Barbara, čija masa je 55 kg, vozi se u smjeru sjevera brzinom 7,8 km/h. Na nesreću (ili namjerno ☺!) sudare se i nastave gibati priljubljeni jedno uz drugo.
- a) Kolika je brzina para nakon sudara?
- b) Kolika je brzina centra mase prije i poslije sudara?

◆ Rezultat: a) $v = 4,9$ km/h, $\theta = 40^\circ$, b) $\vec{v}_{CM} = \vec{v}$

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

26

Sažetak (1) - Rad

- Rad je jednoznačno definiran kao svladavanje sile na određenom putu.
- Kod pravocrtnog gibanja tijela pod utjecajem stalne sile rad je jednak skalarnom produktu sile i prijeđenog puta: $W = \vec{F} \cdot \vec{s}$
- Općenito, izraz za rad kada se čestica giba po putanji od točke A do točke B je:

$$W = \int_A^B \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

- Jedini za rad zove se džul (joule, znak J): $J = Nm = kgm^2/s^2$
- Rad sile dizanja (bez ubrzavanja tijela): $W = Fs = mgh$
pri tom je rad sile teže isti po iznosu, ali negativan
- Rad pri stezanju opruge (zakon opruge, $F = -ks$): $W = ks^2/2$
pri tom je rad elastične sile opruge isti po iznosu, ali negativan
- Rad pri svladavanju sile trenja: $W = \mu F_N s$
pri tom je rad sile trenja isti po iznosu, ali negativan.
- Rad pri rotaciji:

$$W = \int_0^\varphi M_z d\varphi$$

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

27

Sažetak (2) - Kinetička energija

- Energija je sposobnost tijela ili sistema tijela da obavljaju rad: što tijelo ima veću energiju to je sposobnije obavljati rad.
- Promatrano mikroskopski postoje samo dvije vrste energije: kinetička i potencijalna, a svi se ostali oblici mogu na njih svesti.
- Kinetička energija tijela mase m i brzine v : $E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$
- Promjena kinetičke energije jednaka je izvršenom radu: (poučak o radu i kinetičkoj energiji) $W = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k$
- Ukupna kinetička energija sistema čestica: $E_k = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_i v_i^2$
- Kinetička energija pri translaciji krutog tijela: $E_k = \frac{1}{2} m v_{CM}^2$

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

28

Sažetak (3) - Potencijalna energija

- ◆ **Potencijalna energija** tijela je posljedica njegova položaja prema drugim tijelima ili konfiguracije tijela, odnosno sistema tijela.
- ◆ **Gravitacijska potencijalna energija** tijela (u gravitacijskom polju na Zemljinoj površini) mase m , na visini y , iznosi: $E_p = mgy$, pri tom je pretpostavljeno da je $E_p = 0$ za $y = 0$.
- ◆ U općenitom slučaju dvaju tijela mase m_1 i m_2 udaljenih za r **gravitacijska potencijalna energija** iznosi: $E_p = -G \frac{m_1 m_2}{r}$
- ◆ Sila kojoj rad ne ovisi o putu već samo o početnoj i konačnoj točki zove se **konzervativna sila**.
- ◆ Rad konzervativne sile po **zatvorenom putu** jednak je nuli: $\oint \vec{F}_k \cdot d\vec{s} = 0$
- ◆ Rad konzervativne sile između dva položaja tijela jednak je **razlici potencijalne energije** početnog i krajnjeg položaja: $W_{AB} = E_p(\vec{r}_A) - E_p(\vec{r}_B)$ (**poučak o radu i potencijalnoj energiji**)
- ◆ Potencijalna energija **elastične opruge** (uz $E_p = 0$ za $s = 0$): $E_p(s) = \frac{1}{2}ks^2$
- ◆ **Rad vanjske sile** jednak je sumi promjene potencijalne i promjene kinetičke energije: $W' = \Delta E_p + \Delta E_k$ (uz zanemarenu silu trenja) (**poučak o radu i ukupnoj energiji**)

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

29

Sažetak (4) - Zakon očuvanja energije. Snaga.

- ◆ Energija se može pretvarati iz jednog oblika u drugi, pri čemu je u izoliranom sistemu zbroj energija konstantan.
- ◆ **Ukupni rad svih sila jednak je promjeni kinetičke energije:**

$$W_k + W_{tr} + W' = \Delta E_k$$
 gdje je $W_k = -\Delta E_p$ rad što ga izvrše konzervativne sile, W_{tr} rad sile trenja, a W' rad nekih drugih nekonzervativnih sila.
- ◆ **Ukupna energija** ne može se uništiti niti ni iz čega stvoriti, ona se može samo pretvarati iz jednog oblika u drugi.
- ◆ Snaga se definira omjerom rada i vremena, pa bismo je mogli shvatiti kao brzinu obavljanja rada, odnosno prijenosa energije:

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \bar{P} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{E_2 - E_1}{t_2 - t_1} = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v}$$

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

30

Sažetak (2) - Sudari

- ◆ Do **sudara** dolazi kada dvije ili više čestica (ili sistema čestica) približavajući se jedna drugoj, međusobno djeluju i time promijene svoje gibanje. Pri sudaru ne mora uvijek doći do fizičkog kontakta među tijelima, već je dovoljno da djeluju silama jedno na drugo.
- ◆ Sudar može biti **savršeno elastičan** i **savršeno neelastičan**, odnosno **djelomično elastičan**.
- ◆ **Savršeno elastičan sudar:**
 - Vrijedi zakon o očuvanju količine gibanja.
 - Tijela se nakon sudara vraćaju u prvobitni oblik, potencijalna energija elastične deformacije nastala prilikom sudara tijela ponovo prelazi u kinetičku energiju, i tijela se razilaze tako da im je ukupna kinetička energija nakon sudara jednaka ukupnoj kinetičkoj energiji prije sudara.
- ◆ **Savršeno neelastičan sudar:**
 - Vrijedi zakon o očuvanju količine gibanja.
 - Kinetička energija djelomično ili potpuno pretvara se u unutrašnju energiju (potencijalnu i kinetičku energiju termičkog gibanja molekula, te se stoga pri takvim sudarima tijela zagriju. Stoga ne vrijedi zakon o očuvanju mehaničke energije, jer se jedan njen dio pretvorio u nemehanički oblik energije.
- ◆ **Većina je makroskopskih sudara** između obadva ekstremna slučaja, dakle **djelomično su elastični**.

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

31

Pitanja za provjeru znanja

1. **Definirajte i objasnite pojmove: rad, kinetička energija, potencijalna energija, konzervativne sile, nekonzervativne sile, zakon očuvanja energije, snaga. (obavezno)**
2. Što je rad i kako se računa? Koliki je rad dizanja, pri rastezanju opruge, i pri savladavanju sile trenja? Diskutirajte koliki je rad sile teže, sile opruge i sile trenja u tim slučajevima.
3. Što je kinetička energija? Napišite i objasnite relaciju koja povezuje rad i promjenu kinetičke energije (poučak o radu i kinetičkoj energiji).
4. Što je potencijalna energija? Izvedite izraz za gravitacijsku potencijalnu energiju. Kolika je potencijalna energija opruge. Objasnite razliku između konzervativnih i nekonzervativnih sila.
5. Objasnite zakon očuvanja energije.
6. Što je elastičan, a što neelastičan sudar? Analizirajte slučajeve savršeno elastičnog i savršeno neelastičnog sudara. Diskutirajte posebne slučajeve.

8. studenoga 2007.

Računarstvo, Fizika 1, Predavanje 6

32