DRŽAVNA SMOTRA I NATJECANJE MLADIH FIZIČARA

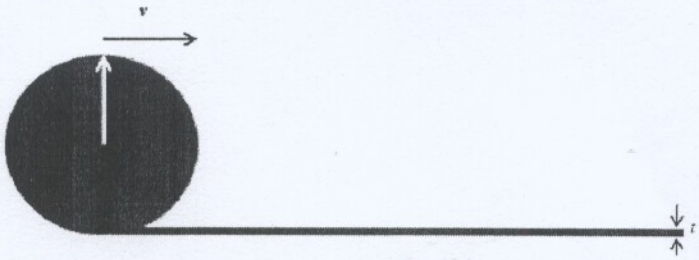
*Biograd na Moru, 2.-5. svibnja 2013*

**Srednje škole – 3. skupina**

## Zadatak 1. (18 bodova)

Nakon svečane dodjele nagrada pobjednicima Državnog natjecanja iz fizike vrijeme je za pakiranje i povratak u svakodnevnicu. Jedna od stvari koja se mora učiniti je namatanje crvenog tepiha u rolu da bi se lakše vratio u spremište.

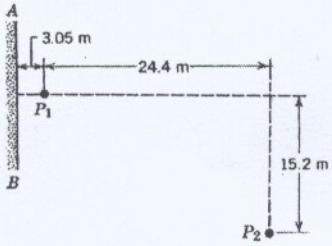
Zamislite jako dugačak tepih, vrlo male debljine $t$, širine $W$, dužine cijelog tepiha $L$ i gustoće $\rho$, koji je djelomično namotan tako da čini valjak radijusa $r$. Budući da je tepih veoma tanak, pretpostavite da namotani dio čini savršeni valjak (presjek je savršena kružnica). Ideja je sljedeća: potrebno je namotati cijeli tepih tako da se valjkasti dio tepiha šutne nogom čime središte valjka dobiva početnu brzinom $v$ (slika, $v$ je brzina središta valjka).




Kolika je najmanja početna brzina $v$ potrebna da bi se na cilindrični dio namotao cijeli tepih?

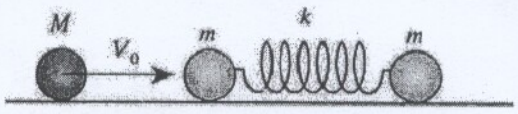
## Zadatak 2. (17 bodova)

Sferni izvor zvuka nalazi se u točki $P1$ blizu zida $AB$ od kojeg se zvuk može odbijati. Mikrofon se nalazi u točki $P2$, kao na slici. Frekvencija zvuka koji proizvodi izvor je promjenjiva. Izračunajte dvije najniže frekvencije za koje je intenzitet zvuka u točki $P2$ maksimalan. Prilikom refleksije ne dolazi do promjene faze: upadni kut jednak je kutu refleksije. Brzina zvuka u zraku je 343 m/s.




## Zadatak 3. (18 bodova)

Kuglica mase $M$ koja se kreće brzinom $V_0 = 1$ m/s po podlozi bez trenja sudara se s prvom od dvije identične kuglice, svaka mase $m = 500$ g, koje su povezane oprugom (bez mase) konstante $k = 1$ N/m (slika). Sudar je centralan, elastičan i trenutan. Pronađite jednakost koja povezuje $m$, $M$, $k$ i $t$ da bi kuglica mase $M$ još jednom udarila sustav dvije kuglice mase $m$ u nekom trenutku $t$ ($t$ se računa od prvog sudara). Koliki mora biti omjer masa $m/M$ da bi se sudar desio u trenutku $t = 2$ s? (Uputa: nakon prvog sudara promatrajte gibanje u sustavu središta dvije jednake mase.)




## Zadatak 4. (17 bodova)

Najjednostavniji magnetohidrodinamički generator sastoji se od pločastog kondenzatora koji je uronjen u vodljivu tekućinu vodljivosti $\sigma$ koja teče (tjerana pumpom) konstantnom brzinom $v$ paralelno pločama. Površina ploča kondenzatora je $S$, udaljenost među pločama je $d$. ($d$ je dovoljno malen da se mogu zanemariti rubni uvjeti.) Kondenzator se nalazi u jednolikom magnetskom polju $\boldsymbol{B}$, koje je okomito na smjer toka tekućine i paralelno pločama. Izračunajte snagu koja se oslobađa u vanjskom strujnom krugu otpora $R$, koji je spojen na kondenzator. Koliki je rad magnetske sile? Dokažite. Odakle potječe energija u sustavu?

DRŽAVNA SMOTRA I NATJECANJE MLADIH FIZIČARA

*Biograd na Moru, 2.-5. svibnja 2013*

**Srednje škole – 3. skupina**

## Zadatak 1. (18 bodova)

Kinetička energija objekta je $K = \frac{M_1 v^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2} = \frac{1}{2}(\pi r^2 W\rho)v^2 + \frac{1}{4}M_1 r^2 \frac{v^2}{r^2} = \frac{3}{4}(\pi r^2 W\rho)v^2$ **[2 boda]**

Gdje je $M_1 = \pi r^2 W\rho$ masa namotanog dijela. **[1 bod]**

Ukupna masa tepiha je $M = LWt\rho$. **[1 bod]**

Centar mase tepiha konstantno se diže prema gore u opisanom procesu namotavanja tepiha, tako da energija prenesena na valjkasti dio tepiha podiže centar mase. **[2 boda]**

Na kraju procesa, polumjer tepiha će biti $r_f = \sqrt{\frac{Lt}{\pi}}$, **[3 boda]**

odnosno visina centra mase će se povećati za $\Delta h = r_f - r$. **[2 boda]**

Promjena potencijalne energije je $\Delta U = U_f - U_i = Mgr_f - M_1 gr$. **[2 boda]**

$\Delta U = LWt\rho g\sqrt{\frac{Lt}{\pi}} - \pi r^2 W\rho gr = W\rho g\left(\sqrt{\frac{(Lt)^3}{\pi}} - \pi r^3\right)$. **[2 boda]**

Kombiniranjem izraza za kinetičku i potencijalnu energiju dolazimo do izraza za minimalnu brzinu:

$$v = \left[\frac{4g}{3\pi r^2}\left(\sqrt{\frac{(Lt)^3}{\pi}} - \pi r^3\right)\right]^{1/2}$$ **[3 boda]**

## Zadatak 2. (17 bodova)

Maksimalna amplituda će biti postignuta kada dva vala, onaj koji dolazi izravno iz izvora i reflektirani, dođu u točku $P2$ u fazi i konstruktivno interferiraju. Označimo udaljenost koju je prešao izravni val s $d_1$ (udaljenost između $P1$ i $P2$), a udaljenost koju je prešao reflektirani val s $d_2$. **[1 bod]**

Najveća valna duljina za koju dolazi do konstruktivne interferencije ova dva vala je kada $n$ polovina valnih duljina „stane" u $d_1$ a $n + 2$ polovina valnih duljina „stane" u $d_2$ (ukoliko bi bilo $n + 1$ došlo bi do destruktivne interferencije):

$n\frac{\lambda_1}{2} = d_1$, **[2 boda]**

gdje je $\lambda_1$ najveća valna duljina koja nas zanima, i

$(n+2)\frac{\lambda_1}{2} = d_2$. **[2 boda]**

Iz toga proizlazi

$\frac{2d_1}{n} = \frac{2d_2}{n+2}$ **[1 bod]**

odnosno

$n = \frac{2d_1}{d_2 - d_1}$. **[1 bod]**

Uvrštavanjem tog izraza u prvu jednadžbu, dolazimo do uvjeta $\lambda_1 = d_2 - d_1$. **[1 bod]**

Time se dobiva frekvencija $f_1$:

$f_1 = c\lambda = \frac{c}{d_2 - d_1} = \frac{343\ \mathrm{m/s}}{d_2 - d_1}$ ($c$ je brzina zvuka u zraku). **[1 bod]**

Vrijedi sljedeće:

$d_1 = \sqrt{24.4^2 + 15.2^2} = 28.75$ m, $d_2 = \sqrt{(24.4 + 2 * 3.05)^2 + 15.2^2} = \cancel{34.43}$ 34.08 m.

**[2 boda]**

Najkraću udaljenost za reflektirani val izračunali smo metodom virtualne slike, gdje se zamišlja da se izvor reflektiranog vala nalazi na udaljenosti 3.05 m unutar zida, suprotno od $P1$.

Time se dobiva $f_1 = 64.3$ Hz. **[1 bod]**

Na isti način, upotrebom prve jednadžbe, dolazi se do iduće najviše frekvencije:

$(n+4)\frac{\lambda_2}{2} = d_2,$ **[2 boda]**

odnosno:

$n = \frac{4d_1}{d_2 - d_1},$ **[1 bod]**

I $\lambda_2 = (d_2 - d_1)/2.$ **[1 bod]**

Dakle, iduća frekvencija koja daje maksimalnu amplitudu u $P2$ je $f_2 = 128.7$ Hz. **[1 bod]**

## Zadatak 3. (~~15~~ 17 bodova)

U trenutku baš nakon sudara, može se pretpostaviti da masa $M$ i lijeva masa $m$ imaju brzine $u$ i $u_1$, kao da je došlo do sudara bez prisustva opruge, i vrijedi:

$MV_0 = Mu + mu_1$ (zakon sačuvanja količine gibanja) **[1 bod]**

$\frac{MV_0^2}{2} = \frac{Mu^2}{2} + \frac{mu_1^2}{2}$ (zakon sačuvanja energije kod elastičnog sudara) **[1 bod]**

Rješenja su:

$u = \frac{M-m}{M+m}V_0 = \frac{1-\mu}{1+\mu}V_0$, i $u_1 = \frac{2M}{M+m}V_0 = \frac{2}{1+\mu}V_0,$ **[1 bod]**

gdje je uvedena oznaka $\mu = m/M$.

Nakon prvog sudara, masa $M$ će se gibati konstantnom brzinom, a položaj je određen s

$x = ut = \frac{1-\mu}{1+\mu}V_0 t.$ 1 **[~~2~~ boda]**

Središte mase dvije identične kuglice gibat će se konstantnom brzinom $u_c = {}^1/_2\, u_l$ i njegov položaj dan je s **[1 bod]**

$x_c = u_c t = \frac{V_0}{1+\mu}t.$ **[1 bod]**

U referentnom sustavu središta mase (SM) dvije identične kuglice, brzina središta mase je nula, i dvije kuglice se gibaju jedna prema drugoj s početnom brzinom ${}^1/_2\, u_1$. **[2 boda]**

Opruga među kuglicama izaziva harmonijsko titranje i položaji pojedine kuglice u sustavu središta mase dani su s

$x_{1,2}^{(SM)} = A\sin(\omega t)$, gdje je $\omega = \sqrt{\frac{2k}{m}} = \sqrt{\frac{k'}{m}}.$ **[2 boda]**

Za uzima se $k' = 2\,k$ zbog simetrije; kada se jedna kuglica pomakne za $\Delta l$ prema središtu opruge, druga kuglica se također pomiče za istu udaljenost, pa se opruga rasteže za $2\Delta l$. Prema Hookovom zakonu $F = k(2\Delta l) = 2k\Delta l = k'\Delta l.$ **[2 boda]**

Maksimalna moguća brzina koju bilo koja kuglica $m$ postiže u referentnom sustavu središta mase je dana s:

$u_{1,2}^{(SM)} = A\omega = u_1 - u_c = \frac{1}{1+\mu}V_0 \rightarrow A = \frac{V_0}{(1+\mu)\omega}.$ **[1 bod]**

Vraćanjem u laboratorijski referentni sustav, položaj kuglice $m$ u nekom trenutku $t$ nakon prvog sudara dan je s

$x_1(t) = x_{1,2}^{(SM)}(t) + x_c = A\sin(\omega t) + \frac{V_0}{1+\mu}t = \frac{V_0}{(1+\mu)}\left(\frac{\sin(\omega t)}{\omega} + t\right).$ **[2 boda]**

Da bi došlo do drugog sudara, mora biti ispunjen uvjet $x = x_1$, odnosno

$V_0 t\frac{1-\mu}{1+\mu} = V_0 t\frac{1}{1+\mu}\left(1 + \frac{\sin(\omega t)}{\omega t}\right) \rightarrow \frac{\sin(\omega t)}{\omega t} = -\mu = -\frac{m}{M}.$ **[2 boda]**

$\mu = 0{,}2$ [1 bod]

## Zadatak 4. (17 bodova)

Kondenzator napunjen s vodljivom tekućinom koja teče, u magnetskom polju, postaje izvor elektromotorne sile (*ems*). **[1 bod]**

Slobodan naboj $q$ u vodljivoj tekućini koja teče brzinom $v$ u magnetskom polju $\boldsymbol{B}$, osjeća magnetsku silu $F = qvB$, koja mijenja putanju nabijene čestice. Kao posljedica, naboji se nagomilavaju na pločama kondenzatora. Ukoliko kondenzator nije spojen na otpor, nabija se sve dok sila na naboje koja dolazi od rastućeg električnog polja ne postane jednaka magnetskoj sili:

$qE = qvB$, odnosno $E = vB$. **[2 boda]**

Za pločasti kondenzator to znači da je razlika potencijala na odspojenom kondenzatoru, odnosno *ems*, jednaka $\varepsilon = vBd$. **[2 boda]**

Unutarnji otpor jednak je otporu vodljive tekućine između ploča:

$r = \frac{1}{\sigma}\frac{d}{S}$. **[1 bod]**

Nakon što je vanjski otpor spojen na kondenzator, u krugu počinje teći električna struja:

$I = \frac{\varepsilon}{R+r}$. **[2 boda]**

Snaga dovedena na otpornik je $P = I^2R = \frac{(vBd)^2R}{\left(R+\frac{1}{\sigma}\frac{d}{S}\right)^2}$, i disipira se u obliku topline. **[2 boda]**

Još ostaje otkriti izvor topline, budući da je magnetska sila uvijek okomita na brzinu, pa ne može stvarati rad.

Nakon što je krug zatvoren, slobodni naboji u vodljivoj tekućini dobivaju komponentu brzine koja je okomita na smjer brzine tekućine, i samim time okomita na ploče kondenzatora.

Rad magnetske sile jednak je $\Delta W_B = q(\vec{v} \times \vec{B})\Delta\vec{l}$. Budući da je $\vec{v} \parallel \Delta\vec{l}$,samim time rad koji obavlja magnetska sila je jednak nuli (budući da zbog skretanja tekučine ona se efektivno giba sporije u smjeru okomitom na ploče, pa se rad troši na održavanje konstantne brzine).

**[5 boda]**

Stvaran izvor energije za ovaj sustav predstavlja pumpa koja tjera tekućinu kroz kondenzator. Rad ovog izvora obavljen je protiv mehaničke i magnetske sile otpora tekućini i u konačnici je pretvoren u toplinu (grijanje otpora u krugu). **[2 boda]**

**DRŽAVNO NATJECANJE I SMOTRA IZ FIZIKE**
***Biograd na Moru, 02. - 05. svibnja 2013.***

**srednje škole - 3. skupina**

**EKSPERIMENTALNI ZADATAK**

**Pribor:** Uređaj se sastoji od većeg i manjeg poklopac za staklenke. Sredinom većeg poklopca prolazi vijak koji je pričvršćen s maticom. Na većem poklopcu nalazi se manji poklopac. Sredinom manjeg poklopca prolazi isti vijak. Na vijku nalazi se podložna pločica i matica.

Ostali pribor: Velika podložna pločica, matica, viličasti ključ, dinamometar od 5 N, stegač, križna spojka, šipka, kutomjer, trokut, 4 lista milimetarskog papira, marker, papir sa skicama uređaja

**Zadatak:**

Pomoću viličastog ključa zatezati maticu. **Zabranjeno je načiniti više od dva okretaja matice nakon što je počela deformacija poklopaca.**

Nacrtati ovisnost momenta sile o deformaciji poklopaca (pod deformacijom podrazumijeva se uleknuće poklopaca $\Delta l$).

Opisati kako ste mjerili.

Naći konstantu elastičnosti poklopaca. Izračunati pogreške mjerenja.

Kod zadnjeg mjerenja maknite ključ. Izračunajte sve sile koje djeluju na maticu.

Želimo vam puno uspjeha u rješavanju.

**DRŽAVNO NATJECANJE I SMOTRA IZ FIZIKE**

***Biograd na Moru, 02. - 05. svibnja 2013.***

**srednje škole - 3. skupina**

**RJEŠENJE EKSPERIMENTALNOG ZADATKA**

**Ovisnost momenta sile o deformaciji poklopaca**

*Mjerenje uspona vijka*

Da bi se odredio za koliko se deformiraju poklopci potrebno je odrediti koliki razmak između dva susjedna navoja. To je ujedno pomak matice kada načinimo jedan okret. Taj pomak naziva se i uspon. Najbolje je na vijak naviti maticu, označiti markerom početak matice na vijku, a zatim naviti maticu određeni broj okretaja i označiti početak matice u novom položaju na vijku. Pomoću trokuta izmjeriti udaljenost između te dvije crte. Omjer izmjerene duljine i broja okretaja dati će uspon vijka. Potrebno je načiniti nekoliko mjerenja za različiti broj zavoja i naći srednju vrijednost.

| n | Δs/cm | h/cm | abs(Δh) |
|---|---|---|---|
| 10 | 1,1 | 0,110 | 0,000 |
| 13 | 1,5 | 0,115 | 0,006 |
| 18 | 1,9 | 0,106 | 0,004 |
| 8 | 0,9 | 0,113 | 0,003 |
| 15 | 1,6 | 0,107 | 0,003 |
| 11 | 1,2 | 0,109 | 0,001 |
| | $\bar{h}$ | 0,110 | 5% |
| | $\Delta h_{max}$ | 0,006 | |

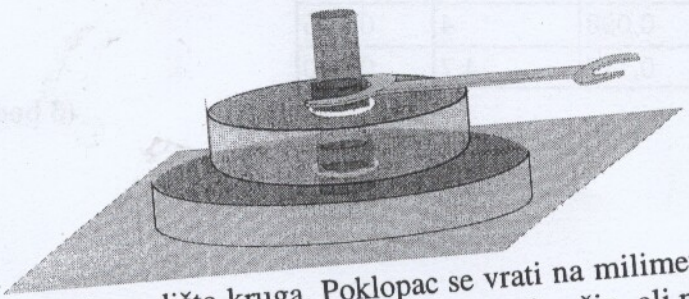
$h = (0{,}110 \pm 0{,}006)cm$

Potrebno je trokutom izmjeriti i promjer vijka.

**(2 boda)**

Promjer vijka je: $d = 0{,}6cm$

*Određivanje momenta sile*



Na poklopcu potrebno je označiti kutove za koje ćete zakretati vijak. Dovoljno je označiti svakih 45°, odnosno 1/8 kruga. To moglo načiniti tako da se na milimetarskom papiru nacrta krug pomoću poklopca, kutomjerom označite kutove i potegnu zrake iz središta kruga. Poklopac se vrati na milimetarski papir i markerom označi kutove na poklopcu. Može se to napraviti i na drugi način, ali može utjecati na preciznost mjerenje.

Stegač se pričvrsti za stol, u stegač pričvrsti šipka i stavi križna spojka. U spojku se nagura dinamometar. Ispod stegača može se staviti milimetarski papir tako da se ne pomiče

dok mjerite. Na milimetarskom papiru može se potegnuti crta uz dinamometar tako da se dobije paralela s dinamometrom.

Ključ se stavite na vijak, a drugu strana ključa zakači se za dinamometar. Da bi ključ stabilnije stajao može se staviti iznad ključa široka podložnu pločicu i navije se slobodna matica, ali ne do kraja kako ne bi bilo prevelikog trenja između pločice i ključa. Ključ treba stajati okomito na dinamometar. Na milimetarskom papiru može se uz rub donjeg poklopaca potegnuti paralelnu liniju s linijom koja je povučena uz dinamometar i ako se drži rub poklopca uz tu liniju ključ i dinamometar biti će okomiti.

Treba izmjeriti duljinu od sredine vijka do hvatišta dinamometra na drugom kraju vijka. To će biti krak sile $l$.

$$l = 13{,}4 \text{ cm}$$

(duljine svih ključeva nisu iste, tako da su podaci o kraku sile samo primjer)

Rukom treba zakretati poklopce sve dok dinamometar ne počne pokazivati neku silu. Tada počinje deformacija poklopaca.

Poklopce se zakreće dok ne opiše dio kruga, recimo 1/8 kruga. Istovremeno treba linearno pomicati poklopce kako bi dinamometar i ključ ostali okomiti jer se dinamometar izvlači. Dobro je poklopce za to vrijem držati malo iznad stola kako ne bi dolazilo do trenja između poklopaca i stola. Poklopce je potrebno okretati polako stalnom brzinom i kada se napravi željeni zakret stati i očitati silu. Može se dogoditi da kada se ponovo krene da se dinamometar izvlači, a da ne zakrećete poklopce zato jer je maksimalna statička sila trenja veća od dinamičke sile trenja. Zato nije dobro zakrenuti poklopce za određeni kut pa onda tražiti silu kada će se ponovo poklopci početi zakretati.

Ako izmjerite silu na neki drugi način također će vam se priznati.

Množenjem uspona vijka h sa zakretom vijka n dobije se deformacija poklopaca $\Delta l$.

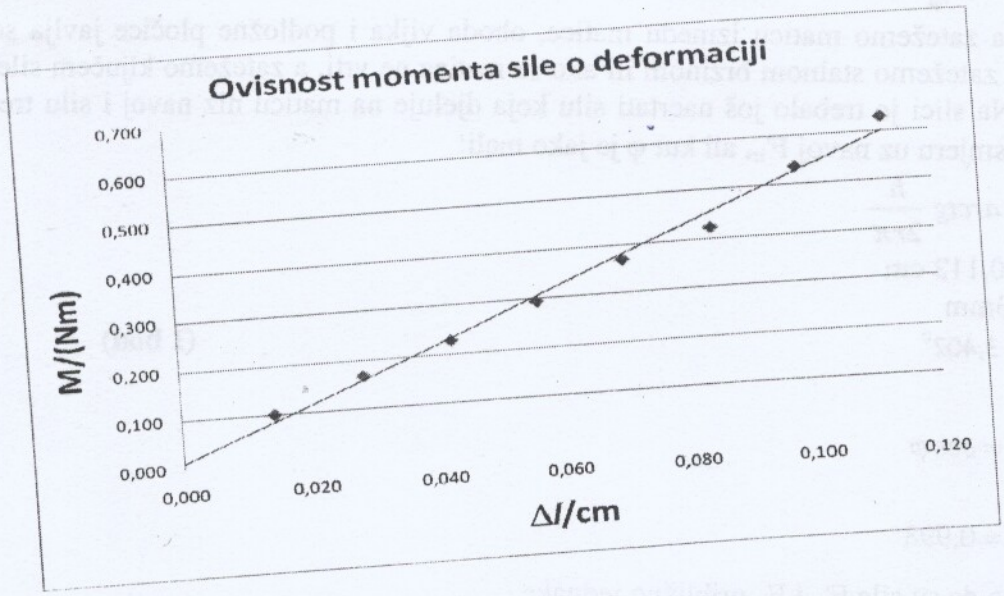
$$\Delta l = nh \qquad \textbf{(1 bod)}$$

Množenjem sile F koju ste izmjerili i kraka sile dobije se moment sile npr:

$$M = Fl \qquad \textbf{(1 bod)}$$

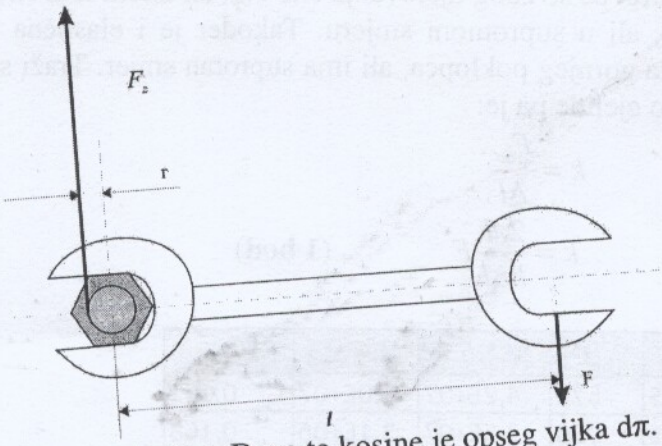
| n | α | $\Delta l$/cm | F/N | M/(Nm) |
|---|---|---|---|---|
| 0,125 | 45 | 0,014 | 0,75 | 0,101 |
| 0,250 | 90 | 0,028 | 1,25 | 0,168 |
| 0,375 | 135 | 0,042 | 1,7 | 0,228 |
| 0,500 | 180 | 0,056 | 2,2 | 0,295 |
| 0,625 | 225 | 0,070 | 2,75 | 0,369 |
| 0,750 | 270 | 0,084 | 3,15 | 0,422 |
| 0,875 | 315 | 0,098 | 4 | 0,536 |
| 1,000 | 360 | 0,112 | 4,7 | 0,630 |

**(3 boda)**




**(2 boda)**

**Konstanta elastičnosti poklopaca**




Moment sile koji djeluje na ključ

$$M_k = Fl$$

jednak je momentu sile zatezanja matice

$$M_z = F_z r$$

$$M_k = M_z$$

$$Fl = F_z r$$

$F_z$ je sila zatezanja vijka.

$$F_z = F\frac{l}{r}$$ **(1 bod)**

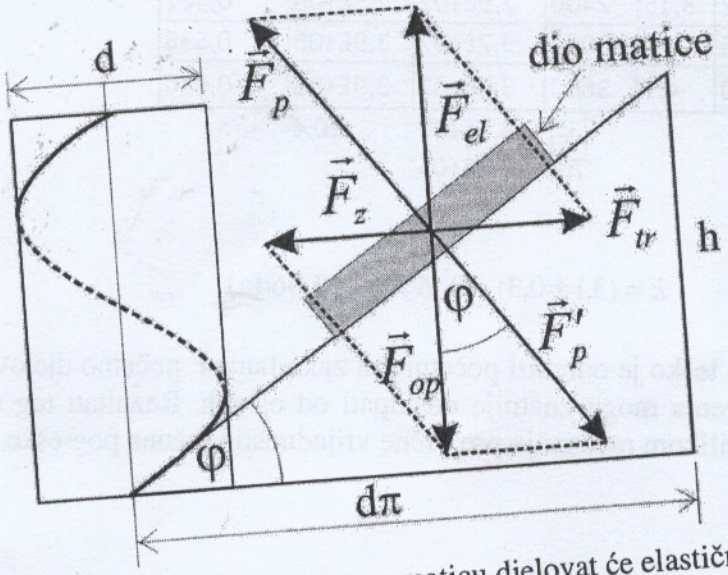
Navoj se spiralno uspinje po vijku. U stvari, vijak nije ništa drugo nego kosina.

**(1 bod)**

h je uspon vijka. Baza te kosine je opseg vijka dπ.

U ovom mjerenju matica se spušta niz vijak. Sile koje nastaju prilikom zatezanja matice su puno veće nego je težina samog vijka te je ne treba uzimati u obzir.

**( crtež 2 boda)**




Zbog zatezanja matice javljat će se sila $F_{op}$ prema dolje. Ta sila zove se opterećenje vijka.

$$F_z = F_{op} tg\varphi$$

$$tg\varphi = \frac{h}{2r\pi}$$ **(1 bod)**

$$F_z = F_{op}\frac{h}{2r\pi}$$

$$F\frac{l}{r} = F_{op}\frac{h}{2r\pi}$$

$$F_{op} = \frac{2\pi l}{h}F$$ **(2 boda)**

Matica preko podložne pločice silom $F_{op}$ djeluje na poklopac koji se deformira. Prema gore na maticu djelovat će elastična sila poklopca.

$F_{el} = -F_{op}$

Kada zatežemo maticu između matice, oboda vijka i podložne pločice javlja se sila trenja. Ako zatežemo stalnom brzinom ili ako se matica ne vrti, a zatežemo ključem sile su u ravnoteži. Na slici je trebalo još nacrtati silu koja djeluje na maticu niz navoj i silu trenja u suprotnom smjeru uz navoj $F'_{tr}$, ali kut φ je jako mali:

$$\varphi = arctg\frac{h}{2r\pi}$$

h = 0,112 cm

r = 3mm

φ = 3,402° **(1 bod)**

$$\frac{F'_{tr}}{F} = \cos\varphi$$

$$\frac{F'_{tr}}{F} = 0{,}998$$

Tako da su sile $F'_{tr}$ i $F_{tr}$ približno jednake.

$F'_p$ je sila kojom matica djeluje na navoj vijka, a $F_p$ sila kojom navoj djeluje na maticu.

Gornji poklopac deformirat će se zbog djelovanja sile $F_{op}$, ali istom tom silom djeluje i glava vijka na donji poklopac, ali u suprotnom smjeru. Također je i elastična sila donjeg poklopca ista kao i elastična sila gornjeg poklopca, ali ima suprotan smjer. Traži se konstanta elastičnosti za oba poklopca kao cjeline pa je:

$$k = \frac{F_{op}}{\Delta l}$$

$$k = \frac{2\pi d}{h\Delta l}F \qquad \textbf{(1 bod)}$$

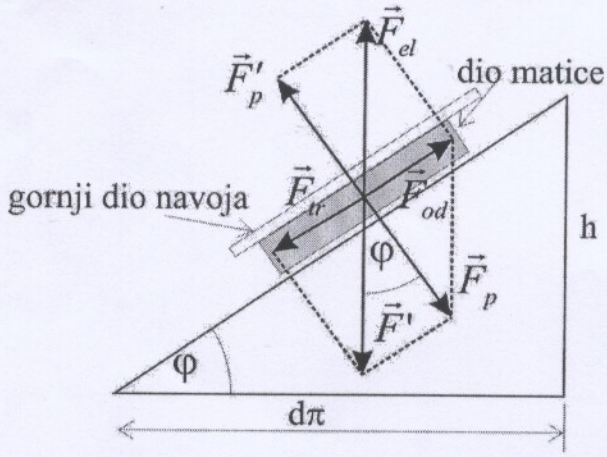
| n | α | Δl /cm | F/N | $F_{op}$/N | k/(N/m) | abs(Δk) | M/(Nm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,125 | 45 | 0,014 | 0,75 | 570 | 4,2E+07 | 1,0E+07 | 0,101 |
| 0,250 | 90 | 0,027 | 1,25 | 950 | 3,5E+07 | 3,1E+06 | 0,168 |
| 0,375 | 135 | 0,041 | 1,7 | 1300 | 3,2E+07 | 1,1E+05 | 0,228 |
| 0,500 | 180 | 0,055 | 2,2 | 1680 | 3,1E+07 | 8,6E+05 | 0,295 |
| 0,625 | 225 | 0,069 | 2,75 | 2100 | 3,1E+07 | 8,6E+05 | 0,369 |
| 0,750 | 270 | 0,082 | 3,15 | 2400 | 2,9E+07 | 2,3E+06 | 0,422 |
| 0,875 | 315 | 0,096 | 4 | 3060 | 3,2E+07 | 3,9E+05 | 0,536 |
| 1,000 | 360 | 0,110 | 4,7 | 3600 | 3,2E+07 | 3,9E+05 | 0,630 |
| | | | | $\bar{k}$ | 3,1E+07 | 10% | |
| | | | | Δk | 3,2E+06 | | |

$$k = (3{,}1 \pm 0{,}3)\cdot 10^7\, N/m \qquad \textbf{(3 boda)}$$

Prilikom mjerenja teško je odrediti početni kut zakretanja i početno djelovanje sile pa zato rezultati prvog mjerenja mogu znatnije odstupati od ostalih. Rezultati tog mjerenja ne trebaju se uzeti u obzir prilikom računanja prosječne vrijednosti i računa pogreške.

**Prestanak djelovanja zatezne sile**

**(slika 2 boda)**




Kada prestanemo djelovati zateznom silom na maticu, elastična sila poklopaca pritisnut će maticu na gornji dio navoja. Na maticu djelovat će elastična sila. Elastična sila iz gornje tablice je: $F_{el} = 3600N$

Na matica na gornji dio navoja djeluje silom

$F_p^{'} = F_{el} \cos\varphi$

$F_p^{'} = 3590$ N

**(1 bod)**

Ona se bitno ne razlikuje od elastične sile.

Prema dolje djeluje sila kojom gornji dio navoja djeluje na maticu $F_p$. Ta sila jednaka je sili $F'_p$, ali ima suprotan smjer. Rezultantna sila sila $F_p$ i $F_{el}$ je sila $F_{od}$. Kad ne bi bilo trenja između matice i navoja vijka, matica bi se odvijala.

$$F_{od} = F_{el} \sin\varphi$$
$$F_{od} = 210\,\mathrm{N}$$

**(1 bod)**

U suprotnom od sile $F_{od}$ djeluje sila trenja $F_{tr}$ jednaka po iznosu, ali suprotna po smjeru. **(1 bod)**

Vektorski zbroj sile trenja i sile $F_p$ dati će silu F' koja ima suprotan smjer od elastične sile $F_{el}$.

Sve sile su u ravnoteži.

(Opis mjerenja **2 boda**)

**(preciznost mjerenja 2 boda)**