

Fizika snov

Rok Kos

Gimnazija Vič, Tržaška cesta 72

Kazalo

1 FIZIKALNE KOLIČINE IN ENOTE	3
1.1 Osnovne in sestavljene enote	3
1.2 Predpone	3
1.3 Merjenje	3
1.4 Računanje z napakami	4
1.5 Grafična predstavitev rezultatov	5
2 PREMO IN KRIVO GIBANJE	6
2.1 Premo gibanje	6
2.2 Hitrost	7
2.3 Enakomerno gibanje	7
2.4 Enakomerno pospešeno gibanje	8
2.5 Prosti pad	10
2.6 Navpični met navzdol	11
2.7 Navpični met navzgor	11
2.8 Ravninsko gibanje	12
2.9 Vodoravni met	13
2.10 Kroženje	14
3 SILA IN NAVOR	15
3.1 Sila	15
3.2 Newtonovi zakoni	16
3.3 Ravnovesje sil	16
3.4 Trenje in lepenje	16
3.5 Sile na klancu	18
3.6 Sile pri kroženju	19
3.7 Deformacije trdnin	19
3.8 Hookov zakon	20
3.9 Navor	20
3.10 Navor teže	21
4 NEWTNOVI ZAKONI IN GRAVITACIJA	21
4.1 Keplerjevi zakoni	21
4.2 Newtonov gravitacijski zakon	22
5 IZREK O GIBALNI KOLIČINI	24
5.1 Sunek sile in gibalna količina	24
6 DELO IN ENERGIJA	25
6.1 Delo in mehanska energija	25
6.2 Delo pri raztezanju idealno prožne vzmeti	27
6.3 Delo tlaka	29
6.4 Kinetična energija	30
6.5 Potencialna energija	31
6.6 Ohranitev kinetične in potencialne energije	33
6.7 Prožnostna energija	33

6.8 Moč	34
7 TEKOČINA	35
7.1 Hidrostatični tlak	35
7.2 Vzgon	37
8 TEMPERATURA	38
8.1 Temperatura	38
8.2 Temperaturno raztezanje snovi	39
8.3 Splošna plinska enačba	40
8.4 Raztezanje plinov	41
8.5 Plinski zakoni	42
9 NOTRANJA ENERGIJA IN TOPLOTA	44
9.1 Energijski zakon	44
9.2 Specifična toplota	44
9.3 Merjenje specifične toplote	45
9.4 Agregatna stanja	46
9.5 Sežig	47
9.6 Toplotni tok	47
9.7 Toplotni stroji	48
10 ELEKTRIČNI NABOJ IN ELEKTRIČNO POLJE	50
10.1 Električni naboj	50
10.2 Colombov zakon	51
10.3 Jakost električnega polja	51
10.4 Snov v električnem polju	52
10.5 Električna napetost	52
10.6 Kondenzator	53
10.7 Vezave kondenzatorjev	53
10.8 Energija električnega polja	54
10.9 Gibanje nabojev v električnem polju	54
11 ELEKTRIČNI TOK	55
11.1 Električna vezja	55
11.2 Ohmov zakon	56
11.3 Upor prevodnika	57
11.4 Vezave uporov	57
11.5 Vezave amper- in voltmetra	58
11.6 Električno delo in moč	58
12 MAGNETNO POLJE	60
12.1 Trajni magneti	60
12.2 Magnetna sila na naboj	61
12.3 Magnetna sila na vodni s tokom	62
12.4 Gostota magnetenga polja	62
12.5 Magnetni navor	63

13 INDUKCIJA	64
13.1 Magnetni pretok	64
13.2 Indukcija pri premikanju vodnika v magnetnem polju	64
13.3 Vrtenje tuljave v magnetnem polju	65
13.4 Transformator	66
13.5 Induktivnost tuljave	67
13.6 Energija magnetnega polja	68
13.7 Električni nihajni krog	69
13.8 Lastna frekvenca električnega nihajnega kroga	70
13.9 Elektro magnetno valovanje	71

1 FIZIKALNE KOLIČINE IN ENOTE

Fizikalna količina je produkt merskega števila in merske enote.

$s = 5 \text{ m} \rightarrow$ merska enota
 \downarrow
 mersko št.

1.1 Osnovne in sestavljene enote

Osnovne fizikalne količine	Osnovne fizikalne enote
dolžina	m
masa	kg
čas	s
el. tok	A
temperatura	K
svetilnost	cd
količina snovi	mol

Vse ostale enote lahko zapišemo s temi.

Sestavljene fizikalne enote: $\frac{m}{s}$, N, J, W..

$$1N = \frac{1kgm}{s^2}$$

1.2 Predpone

P(peta)	10^{15}
T(tera)	10^{12}
G(giga)	10^9
M	10^6
k	10^3
h	10^2
da	10
d	10^{-1}
c	10^{-2}
m	10^{-3}
μ	10^{-6}
n	10^{-9}
p(piko)	10^{-12}
f(fento)	10^{-15}

1.3 Merjenje

NAPAKE:

- SLUČAJNE(odvisne od natančnosti merilca) → te napake se da zmanjšati z večkratnim merjenjem
- SISTEMATIČNE(odvisne od merilne naprave) → se jih neda odpraviti z večkratnim merjenjem

Vse meritve zapišemo v **tabelo**

dolžina l	[m]
1	x_1
2	x_2
3	x_3
\vdots	\vdots
n	x_n

Izračun povprečne vrednosti : \bar{x}

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Absolutna Napaka Δx

Δx je največje odstopanje meritve od povprečne vrednosti.

$$x = \bar{x} \pm \Delta x$$

Relativna Napaka δx

$$\delta x = \frac{\Delta x}{\bar{x}}$$

$$x = \bar{x} \left(1 \pm \frac{\Delta x}{\bar{x}} \right)$$

1.4 Računanje z napakami

Vsota in razlika

$$a = \bar{a} \pm \Delta a$$

$$b = \bar{b} \pm \Delta b$$

$$(a + b)_{max} = (\bar{a} + \Delta a) + (\bar{b} + \Delta b) = (\bar{a} + \bar{b}) + (\Delta a + \Delta b)$$

$$(a + b)_{min} = (\bar{a} - \Delta a) + (\bar{b} - \Delta b) = (\bar{a} + \bar{b}) - (\Delta a + \Delta b)$$

$$a + b = (\bar{a} + \bar{b}) \pm (\Delta a + \Delta b)$$

$$a - b = (\bar{a} - \bar{b}) \pm (\Delta a + \Delta b)$$

Pri seštevanju in odštevanju seštevamo **absolutne napake**.
Množenje in deljenje

$$a = \bar{a} \pm \Delta a$$

$$b = \bar{b} \pm \Delta b$$

$$\begin{aligned} ab_{max} &= (\bar{a} + \Delta a)(\bar{b} + \Delta b) = \bar{a}\bar{b} + \bar{a}\Delta b + \bar{a}\Delta b + \Delta a\Delta b \rightarrow 0 \\ &= \bar{a}\bar{b}\left(1 + \frac{\Delta a}{\bar{a}} + \frac{\Delta b}{\bar{b}}\right) = \bar{a}\bar{b}(1 + (\delta a + \delta b)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ab_{min} &= (\bar{a} - \Delta a)(\bar{b} - \Delta b) = \bar{a}\bar{b} - \bar{a}\Delta b - \bar{a}\Delta b + \Delta a\Delta b \rightarrow 0 \\ &= \bar{a}\bar{b}\left(1 - \frac{\Delta a}{\bar{a}} - \frac{\Delta b}{\bar{b}}\right) = \bar{a}\bar{b}(1 - (\delta a + \delta b)) \end{aligned}$$

$$ab = \bar{a}\bar{b}(1 \pm (\delta a + \delta b))$$

$$\frac{a}{b} = \frac{\bar{a}}{\bar{b}}(1 \pm (\delta a + \delta b))$$

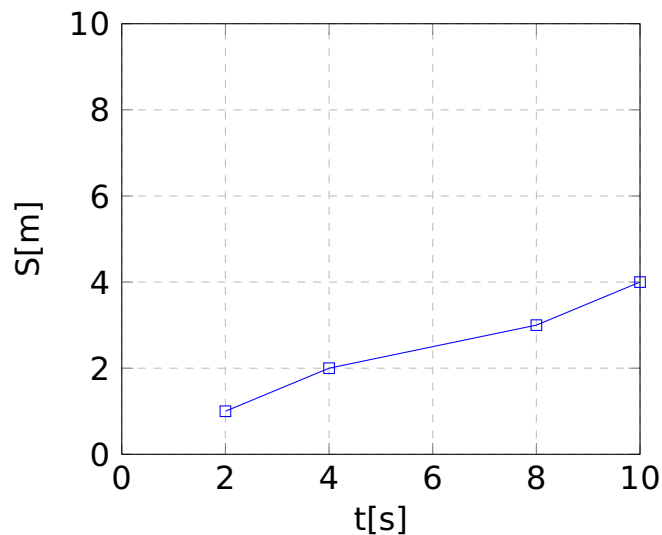
Pri množenju in deljenju seštevamo **realtivne napake**.
Potenciranje

$$a = \bar{a} \pm \Delta a$$

$$a^n = \bar{a}^n(1 \pm (n\delta a))$$

1.5 Grafična predstavitev rezultatov

1. Urejene osi(enote, številke)
2. Pravilno vnešene meritve
3. Premica, ki se najbolj prilega
4. Smerni koeficient(z enotami)
5. Fizikalni pomen smernega koeficienta(hitrost, fizikalna količina)



$$k = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$

Zveza: $S = vt$

2 PREMO IN KRIVO GIBANJE

2.1 Premo gibanje

Gibanje je **realtivno** (vse se vedno giba), vedno je treba povedati glede na kaj se giba.

Lega je kordinata telesa v prostoru. Lahko jo zapišemo s kordinatami kot:

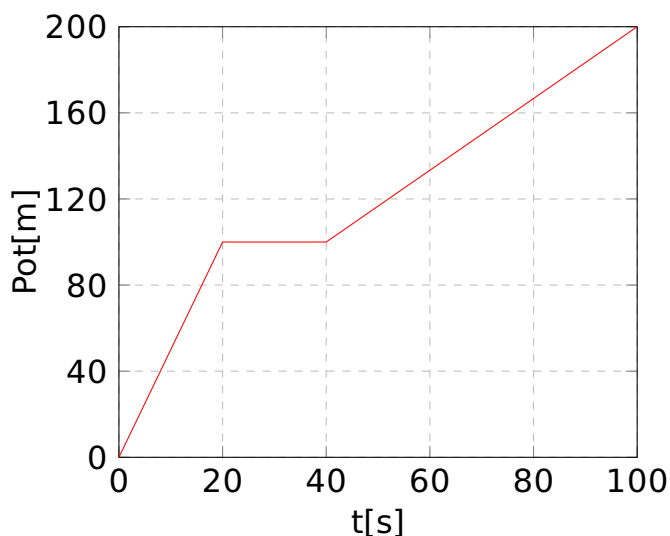
- številsko premico (ena dimenzija)
- 2-dimenzionalni kordinatni sistem (dve dimenziji)
- 3-dimenzionalni kordinatni sistem (tri dimenzije)

Premik definiramo kot razdaljo med začetno in kočno lego, kateremu lahko določimo smer. (se vprašamo kam)

Zapis:

Kartezični (Vektor) $\rightarrow (-60km, -70km)$ ali (x, y)

Cilindrične kordinate $\rightarrow (-92km, 230^\circ C)$ ali (r, α)



Pot se vedno **veča** zato nikoli ne gre v **minus**.

2.2 Hitrost

Hitrost nam pove kakšna pot naredimo v določenem času. Hitrost je vektorska količina odvisna od smeri. Poznamo tudi skalarne količine (npr. Masa).

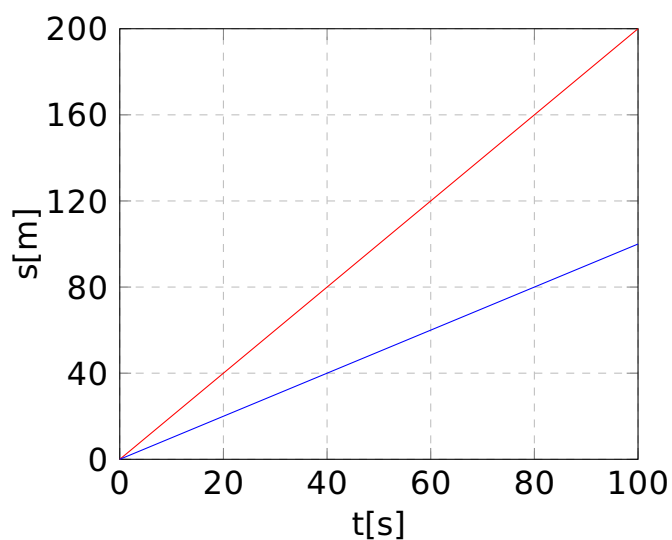
Enačbe, ki so svete:

$$\begin{aligned}
 v &= v_0 + at \\
 s &= v_0 t + \frac{at^2}{2} \\
 v^2 &= v_0^2 + 2as
 \end{aligned}$$

2.3 Enakomerno gibanje

To je gibanje pri katerem je **hitrost konstantna**. Telo v enakih časovnih intervalih naredi enako pot. Primer: krogla, ki jo iztrelimo v breztežnostnem prostoru.

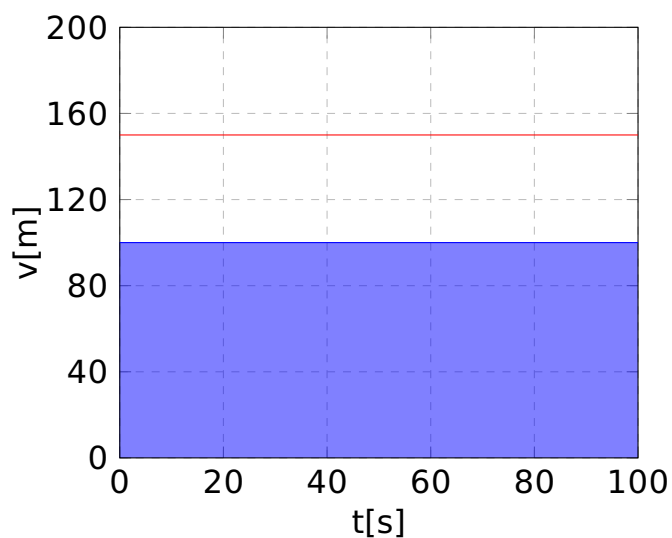
$$\begin{aligned}
 a &= 0 \\
 v &= v_0 \\
 s &= v_0 t \rightarrow v_0 = \frac{s}{t} \\
 v^2 &= v_0^2
 \end{aligned}$$



Naklon pove hitrost

$$f = \tan \alpha = k$$

$$k = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = v$$



Ploščina pod krivuljo nam pove prepotovano pot.

$$s = tv$$

2.4 Enakomerno pospešeno gibanje

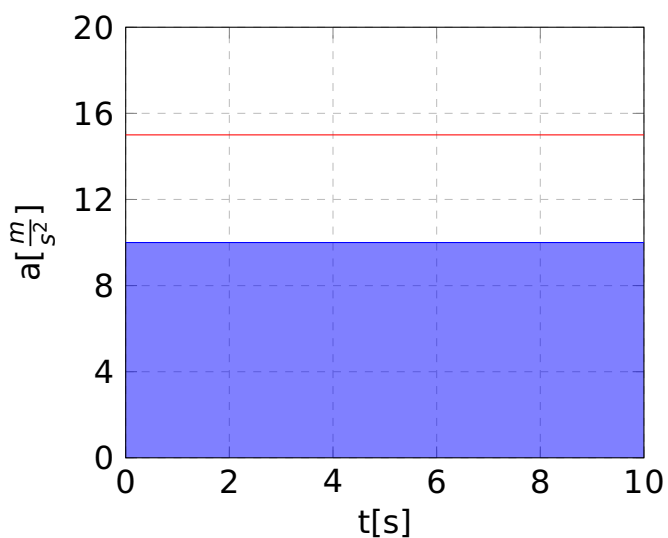
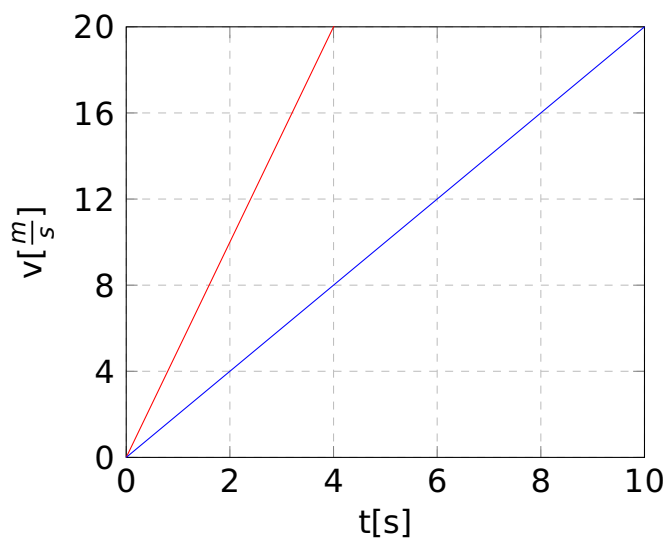
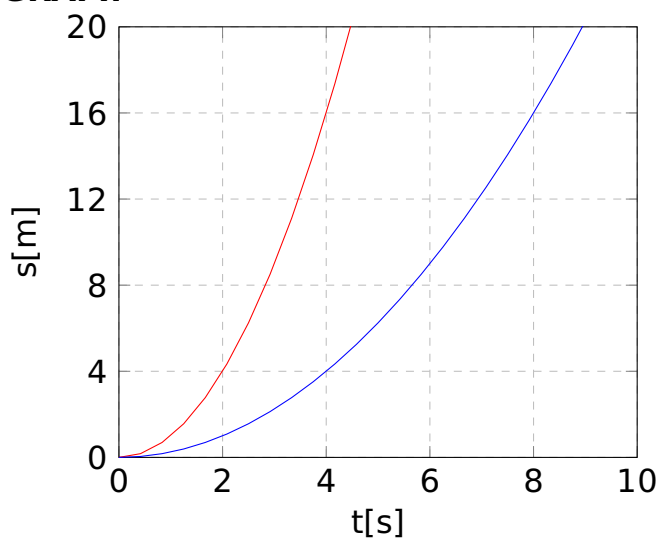
Enakomerno pospešeno gibanje je gibanje pri katerem se hitrost **enakomerno spreminja**. Pospešek nam pove za koliko se v določenem

čas spreminja hitrost.

$$\frac{\frac{m}{s}}{s} \rightarrow \left[\frac{m}{s^2} \right] \rightarrow \text{enota}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

GRAFI:



Strmina premice hitrosti od časa nam pove velikost pospeška.

$$k = \frac{\Delta v}{\Delta t} = a$$

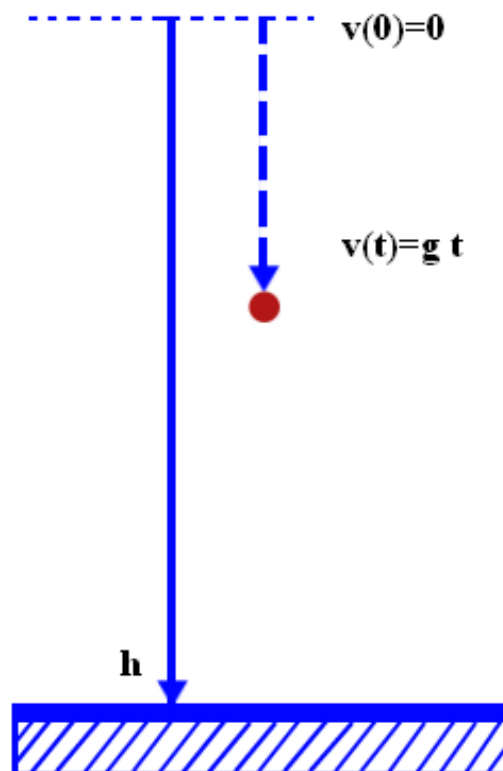
Tangenta na krivuljo grafa poti od časa v vsaki točki govori o hitrosti telesa. Ploščina pod krivuljo grafa pospeška od časa nam pove hitrost.

$$v = at$$

Odvod poti proti času in odvod hitrosti po času

$$v = \frac{ds}{dt}$$
$$a = \frac{dv}{dt}$$

2.5 Prosti pad



$$v = gt$$
$$h = \frac{gt^2}{2}$$
$$v^2 = 2gh$$

2.6 Navpični met navzdol

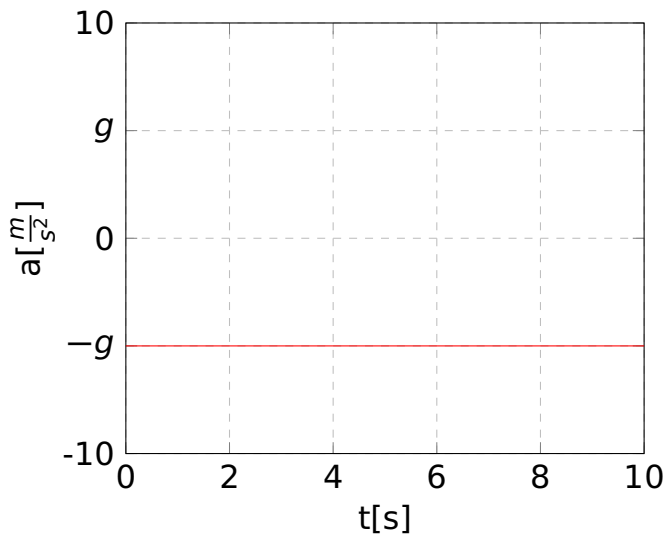
$$v = v_0 \pm gt$$

$$h = v_0 t \pm \frac{gt^2}{2}$$

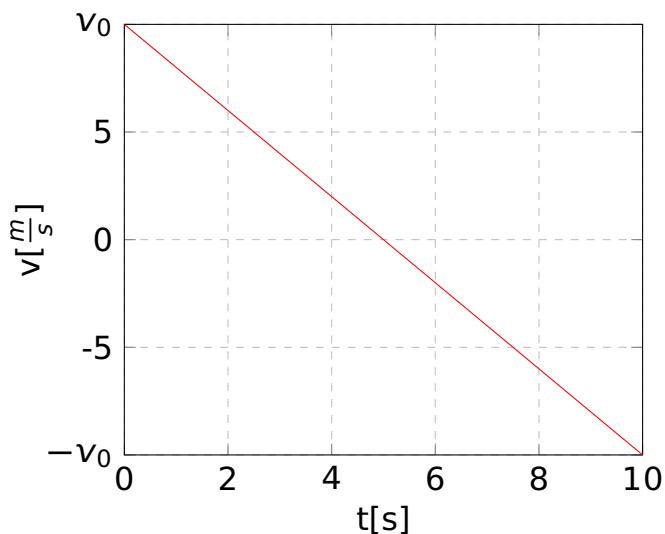
$$v^2 = v_0^2 \pm 2gh$$

2.7 Navpični met navzgor

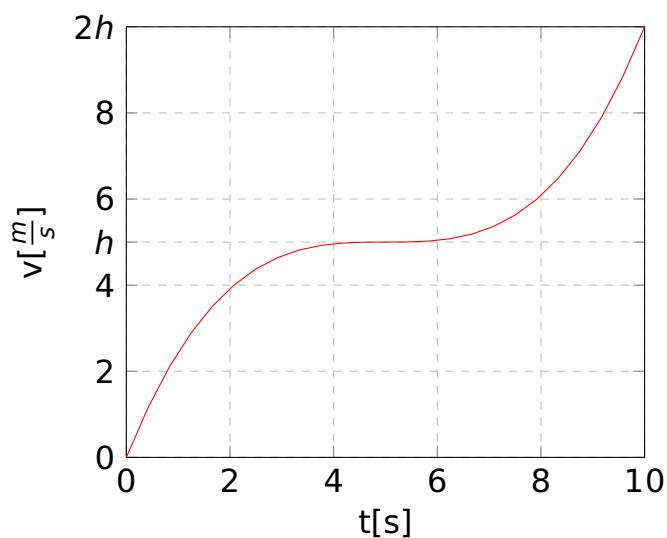
GRAFI:



Smer in velikost pospeška sta vedno ista (osvisna od mase zemlje.)
Ko gre telo gor govorimo o pojemku, ko pa dol pa o pospešku.



Ker je pospešek vedno enak se graf ne lomi.



ENAKOMERNO POJEMAJOČE

$$v = v_0 \pm gt$$

$$h = v_0 t \pm \frac{gt^2}{2}$$

$$v^2 = v_0^2 \pm 2gh$$

ENAKOMERNO POSPEŠUJOČE

$$v = gt$$

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

$$v^2 = 2gh$$

2.8 Ravninsko gibanje

Gibanje v eno smer ni odvisno od nasprotnega gibanja. Hitrosti se vektorsko seštevajo.

Čas, ki ga bo potreboval za prehod reke je odvisen od samo od **dolžine reke** in **njegove hitrosti**. Celotna pot in zamik pa sta odvisna od reke. Gibanje je **enakomerno**.

$$S = vt$$

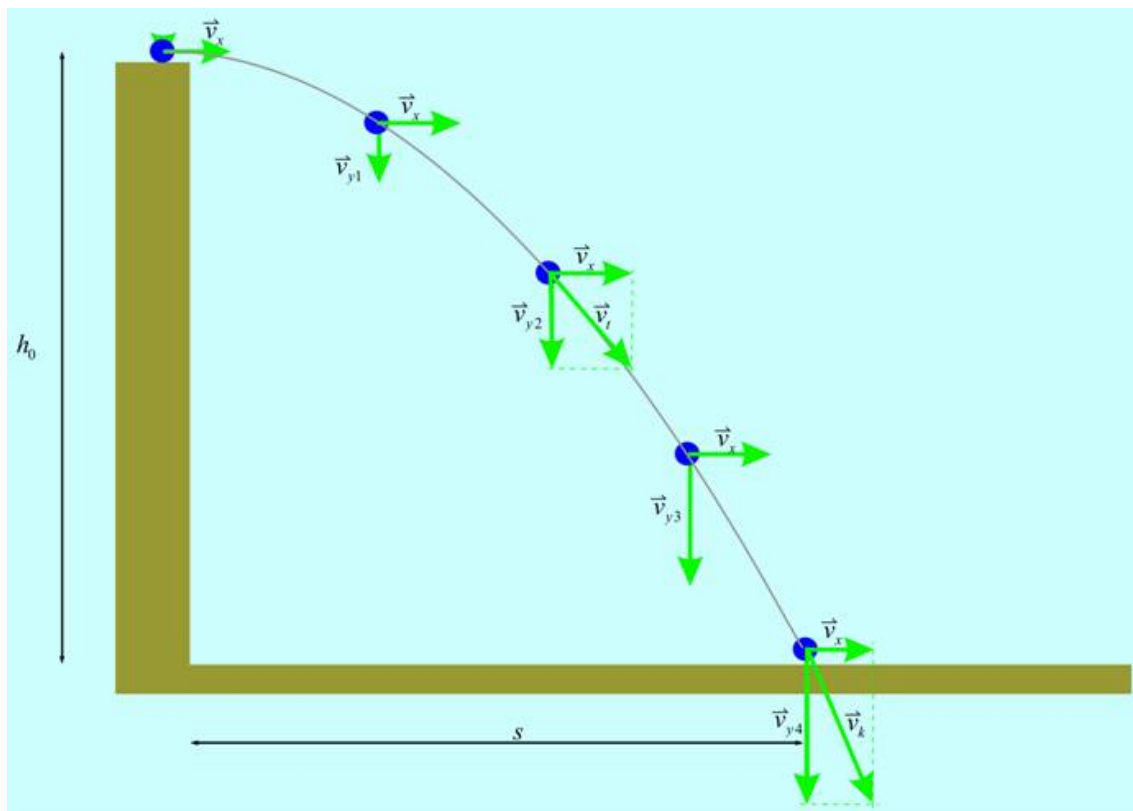
$$t = \frac{h}{v_c}$$

$$v^2 = v_r^2 + v_c^2$$

$$S = \sqrt{x^2 + h^2}$$

$$x = v_r t$$

2.9 Vodoravni met



Hitrost \vec{v} je vedno **tangentna** na traektorijo (pot po kateri se premika).

X smer	Y smer
enakomerno gibanje	enakomerno pospešeno gibanje
$v = \text{konst.}$	$a = g, v \neq \text{konst.}$
/	prosti pad
t	t

$$v_x = \frac{x}{t}$$

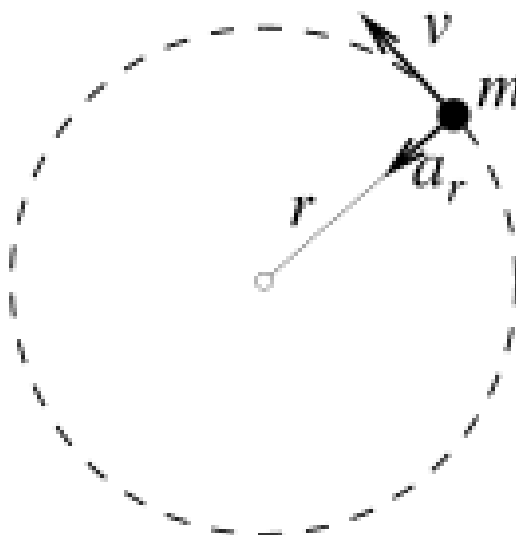
$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$$

$$v_y = gt$$

$$h = \frac{gt^2}{2}$$

2.10 Kroženje

ENAKOMERNO



Kroženje je vedno pospešeno gibanje saj se **vektor vedno spreminja**. Enakomerno pa ker je $|\vec{v}|$ **vedno konstanten**, ne pa sam \vec{v} .

t_0 - obhodni čas.

ν - frekvenca, predstavi število obratov v nekem času.

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{t_0} [Hz]$$

ω - kotna hitrost, pove nam za kakšen kot prepotujemo v določenem času, enote so v radianih na sekundo

$$\nu = \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{360^\circ}{t_0} = \frac{2\pi}{t_0} = 2\pi \frac{1}{t_0} = 2\pi\nu \left[\frac{1}{s} \right]$$

v - ubodna hitrost, je tangentan na krožnico, ubod pomeni zunanji rob, pove nam kolikšen krožni lok (odsek krožnice opravi v določenem času).

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{t_0} = 2\pi \frac{1}{t_0} r = \omega r \left[\frac{m}{s} \right]$$

a_r - radialni pospešek, vedno kaže v središče, spreminja smer hitrosti na krožnici.

$$a_r = \frac{\Delta v}{\Delta t} = v\omega = r\omega^2 = \frac{v^2}{r} \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

3 SILA IN NAVOR

3.1 Sila

Učinki sil:

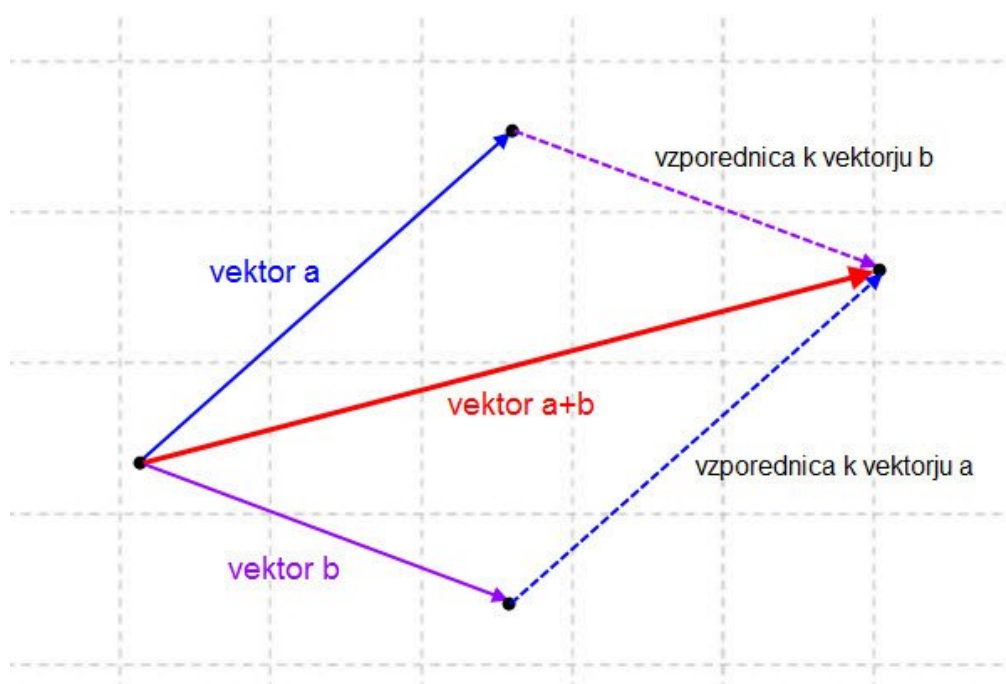
- SPREMEMBE GIBANJA(ustavi, sprememba hitrosti, smeri...)
- DEFORMACIJA(sprememba oblike)

SILE:

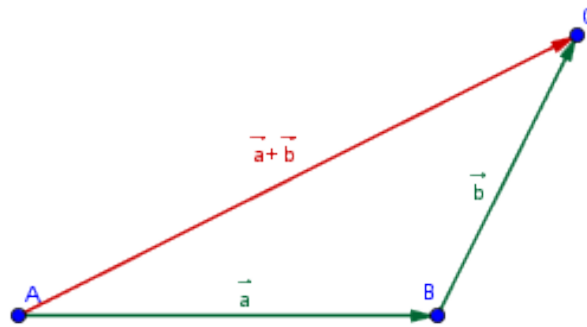
- NOTRANJE(med deli opazovanega telesa)
- ZUNANJE(s katerimi predmeti iz okolice delujemo na opazovalno telo)

SEŠTEVANJE SIL:

- PARALELOGRAMSKO PRAVILO(premaknemo v izhodišče in naredimo vzporednice(paralelogram))



- TRIKOTNIŠKO PRAVILO(silo premaknemo na konce prve sile)



RASTAVLJANJE SIL

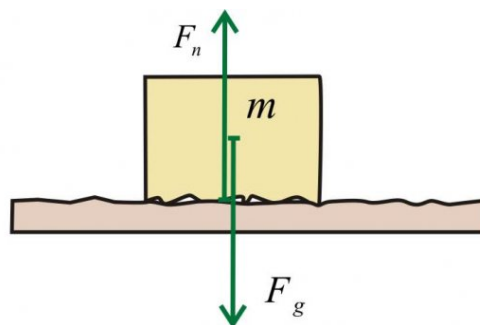
3.2 Newtonovi zakoni

1. **IZREK O RAVNOVESJU**(če je vsota vseh zunanjih sil, delujejo na telo enaka 0 potem telo miruje ali se giblje premo enakomerno(Telo vztraja v gibanju)).
2. $F = ma$
3. **ZAKON O VZAJEMNEM UČINKU**(zakon akcije in reakcije), če 1. telo deluje na 2. z neko silo, deluje tudi 2. nazaj z nasprotno enako silo.

3.3 Ravnovesje sil

3.4 Trenje in lepenje

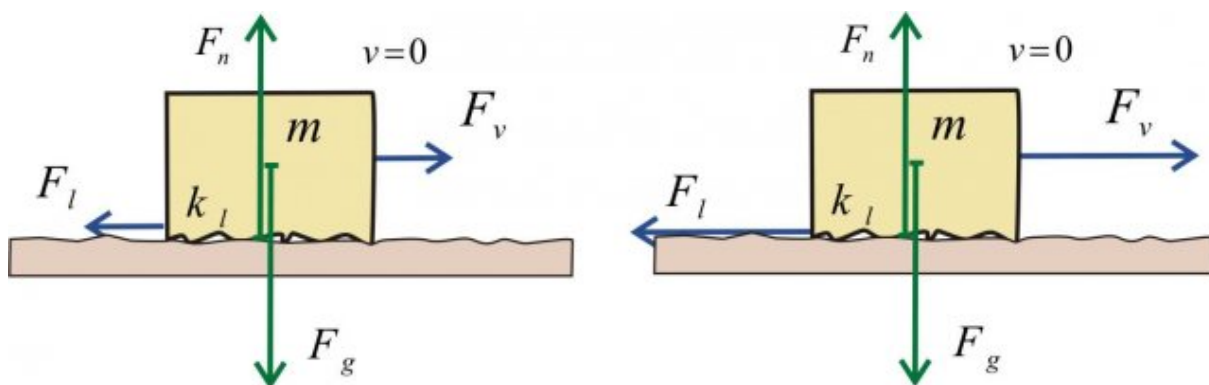
Telo miruje na vodoravni podlagi.



F_g - teža je volumsko porazdeljena sila, narišemo jo z prijemališčem v sredini.

F_n - sila podlage je ploskovno razdeljena in jo narišemo s prejemališčem na sredini ploskve.

Telo še zmeraj miruje.



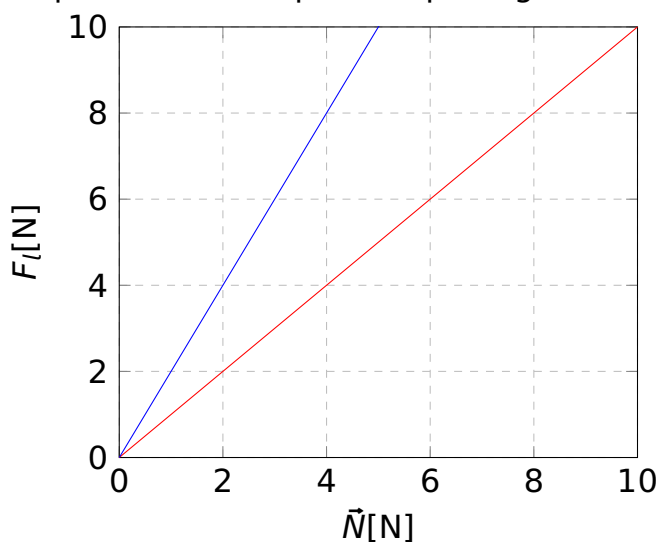
Sila podlage je sestavljena iz vzdolžne komponente in sile normale.
Če povečujemo vlečno silo se spreminja samo vzdolžna komponenta sile podlage.

$$0 \leq F' < F_l$$

F_l - sila lepenja

$$F_l = k_l N$$

k_l - koeficijent lepenja, je neko število brez enote, ki je odvisen samo od hrapavosti stičnih ploskev podlage in telesa



Telo se giblje:
 F_{tr} - sila trenja

$$F_{tr} = k_{tr} N$$

k_{tr} - koeficijent trenja

$$k_{tr} < k_l$$

Je vedno manjši, ker zato da **premaknemo telo** potrebujemo več sile, ker moramo pretrgati **medmolekulske vezi** in potem, ko se telo enkrat premika teh vezi ni več in je manjši koeficijent.

3.5 Sile na klancu

Klada miruje na klancu:

Velikosti(smeri nasprotne):

- $F_p = F_g$
- $F_d = F'$
- $F_s = N$

$$F_s = F_g \cos \alpha$$

$$F_s = mg \cos \alpha$$

$$F_d = F_g \sin \alpha$$

$$F_d = mg \sin \alpha$$

$$F_s = N = mg \cos \alpha$$

$$F_d = F' = mg \sin \alpha$$

α_l ... tik preden se klada premakne(mejni primer)

$$F_d = F_l$$

$$mg \sin \alpha_l = k_l mg \cos \alpha_l$$

$$k_l = \frac{\sin \alpha_l}{\cos \alpha_l}$$

$$k_l = \tan \alpha_l$$

Uporabljamo samo v tem mejnem primeru.

α_{tr} ... mejni kot, klada drsi enakomerno

$$F_d = F_{tr}$$

$$mg \sin \alpha_{tr} = k_{tr} mg \cos \alpha_{tr}$$

$$k_{tr} = \frac{\sin \alpha_{tr}}{\cos \alpha_{tr}}$$

$$k_{tr} = \tan \alpha_{tr}$$

Klada drsi pospešeno:

$$\begin{aligned}
 F &= ma \\
 F_d - F_{tr} &= ma \\
 m g \sin \alpha - k_{tr} m g \cos \alpha &= m a \\
 a &= g \sin \alpha - k_{tr} g \cos \alpha
 \end{aligned}$$

1. Pojemek, ko telo zadržamo po vodoravni podlagi

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 0^\circ \\
 a &= -k_{tr} g
 \end{aligned}$$

2. Prosti pad

$$\begin{aligned}
 \alpha &= 90^\circ \\
 a &= -g
 \end{aligned}$$

3.6 Sile pri kroženju

$$\begin{aligned}
 a_r &= \omega^2 r = \frac{v^2}{r} = \omega r \\
 F_r &= m a_r \rightarrow \text{radialna sila} \\
 F_r &= m \omega^2 r = m \frac{v^2}{r} = m \omega r
 \end{aligned}$$

3.7 Deformacije trdnin

- PROŽNE (ko se telo po končanju deformacije vrne v prvotno stanje)
- NEPROŽNE (ko se telo ne vrne ali pa se delno vrne v prvotno stanje)

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{F}{S} \left[1 \frac{N}{m^2} = 1 Pa \right] \\
 [1 bar &= 10^5 \frac{N}{m^2}]
 \end{aligned}$$

Velja samo če je pravokotno na ploskev

$$P = \frac{F'}{S}$$

3.8 Hookov zakon

l ... prvotna dolžina

x ... raztezek

S ... premer žice

$$\frac{F}{S} = \Delta$$

Δ ... raztezna napestost [$\frac{N}{m^2}$]

$$\frac{x}{k} = \epsilon$$

ϵ ... relativni raztezek

Hookov zakon:

$$\begin{aligned}\frac{F}{S} &= E \frac{x}{l} \\ F &= \frac{ES}{l} x \\ F &= kx \\ k &= \frac{ES}{l}\end{aligned}$$

E ... prožnostni model snovi [$\frac{N}{m^2}$]

3.9 Navor

M ... navor [1Nm]

$$\begin{aligned}M &= rF'' \\ F'' &= F \cos \alpha \\ M &= rF \cos \alpha \\ \cos \alpha &= \frac{r'}{r} \\ M &= rF \frac{r'}{r} \\ M &= Fr'\end{aligned}$$

r' ... ročica (pravokotna razdalja med nosilko sile in osjo)

$$\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$$

Navor je ročica krat sila. **Smer navora** je po desnem vijaku (v našem primeru bi kazal v list). Mi bomo gledali samo kako navor zasuka telo.

Izrek o ravnovesju pravi:

1. Da mora biti **rezultanta** vseh **zunanjih sil 0**
2. Da mora biti **rezultanta** vseh **navorov 0**

Takrat telo miruje ali se giba premo enakomerno.

3.10 Navor teže

$$m = m_1 + m_2 + \dots + m_n$$

$$M = m_1 x'_1 g + m_2 x'_2 g + \dots + m_n x'_n g$$

$$M = x_t m g$$

$$x_t = \frac{m_1 x'_1 + m_2 x'_2 + \dots + m_n x'_n}{m}$$

4 NEWTNOVI ZAKONI IN GRAVITACIJA

4.1 Keplerjevi zakoni

(Opisujejo gibanje planetov)

1. Planeti se gibljejo po elipsi, sonce je v gorišču elipse.
2. Radij vectorja med planetom in soncem opiše v enakih časih enake ploščine (ploščinska hitrost je enaka)
3. Kvocijent kuba polmera in kvadrata obhodnega časa planeta je za vse planete enaka.

$$\frac{r^3}{t_0^2} = konst$$

4.2 Newtonov gravitacijski zakon

(opisuje privlačno silo med dvema točkastema telesoma)

*smer sile je na smeri veznice

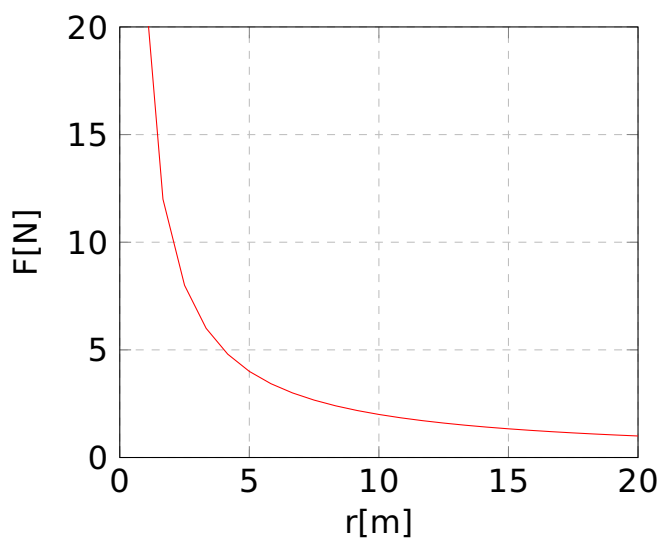
$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

*če povečamo eno maso se obe sile povečata

G ... gravitacijska konstanta

$$G = 6,67 * 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}$$

*vzamemo razdaljo med središčem



1. MASA ZEMLJE

g_0 ... težni pospešek na površini zemlje

r_0 ... polmer zemlje

$$mg_0 = \frac{Gmm_z}{r_0^2}$$

$$g_0 = \frac{Gm_z}{r_0^2}$$

$$m_z = \frac{g_0 r_0}{G}$$

$$m_z = \frac{9,81 \frac{m}{s^2} (6400 km)^2}{6,67 * 10^{-11} \frac{Nm^2}{kg^2}} = 6,02 * 10^{24} kg$$

2. Težni pospešek nad površino zemlje

$$g = g_0 \left(\frac{r_0^2}{r} \right) \dots \text{odsredia}$$

$$g = g_0 \left(\frac{r_0^2}{r_0 + h} \right) \dots \text{odpovrinezemlje}$$

3. Hitrost umetnega satelita, ki kroži okrog zemlje na majhni višini

$$m g = m a_r$$

$$g_0 \left(\frac{r_0}{r} \right)^2 = \frac{v^2}{r}$$

$$r = r_0$$

$$v^2 = g_0 r_0$$

$$v = \sqrt{g_0 r_0}$$

$$v = \sqrt{9,81 \frac{m}{s^2} 6400 km}$$

$$v = 8000 \frac{m}{s} \rightarrow \text{kozminahitrost}$$

Obhodni čas:

$$v = \omega r = \frac{2\pi}{t_0} r$$

$$t_0 = \frac{2\pi r}{v}$$

$$t_0 = \frac{2\pi 6400 km}{80000 \frac{m}{s}} = 83,8 min$$

4. Višina geostacionarnega satelita

$t_0 = 1 \text{ dan} \rightarrow$ ker je geostacionarni satelit

$$\omega = \frac{2\pi}{t_0}$$

$$m g = m a_r$$

$$g_0 \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 = \omega^2 r$$

$$g_0 \frac{r_0^2}{r^2} = \frac{4\pi^2}{t_0^2} r$$

$$r^3 = \frac{g_0 r_0^2 t_0^2}{4\pi^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{9,81 \frac{m}{s^2} (6400km)^2 (24h)^2}{4\pi^2}}$$

$$r = 42354km$$

$$h = r - r_0 = 36100km$$

5. Masa sonca

$$r_{sz} = 1,5 * 10^8 km$$

$$t_0 = 365dni = 32 * 10^6 s$$

$$\frac{Gm_s m_z}{r_{sz}^2} = m_z \omega r_{sz}$$

$$\frac{Gm_s}{r_{sz}^2} = \frac{4\pi^2}{t_0^2} r_{sz}$$

$$m_s = \frac{4\pi^2 r_{sz}^3}{t_0^2 G}$$

$$m_s = 2 * 10^{30} kg$$

5 IZREK O GIBALNI KOLIČINI

5.1 Sunek sile in gibalna količina

$$\begin{aligned}\vec{F} &= m\vec{a} \\ \vec{a} &= \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} \\ \vec{F} &= m \frac{\vec{v}_1 - \vec{v}_2}{\Delta t} \\ \vec{F}\Delta t &= m\vec{v}_1 - \vec{v}_2 \rightarrow \text{izrek o gibalni količini} \\ \vec{G} &= m\vec{v} \dots \text{Gibalna količina} \left[\text{Ns}, \frac{\text{kgm}}{\text{s}} \right] \\ \vec{F}\Delta t &= \vec{G}_2 - \vec{G}_1 = \Delta\vec{G}\end{aligned}$$

Izrek o ohranitvi energije Če je $\vec{F}\Delta t = 0 \rightarrow \Delta\vec{G} \rightarrow \vec{G}_2 = \vec{G}_1$.
Če je suneq vseh zunanjih sil enak nič potem se gibalna količina sistema ohrani.

6 DELO IN ENERGIJA

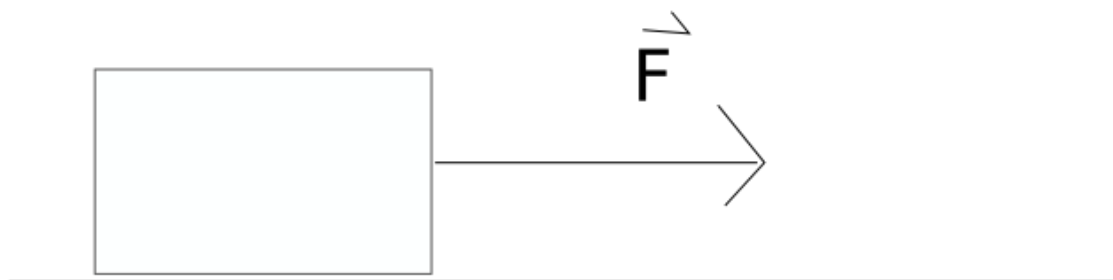
6.1 Delo in mehanska energija

$$A = Fs [1\text{Nm} = 1\text{J}]$$

A ... delo

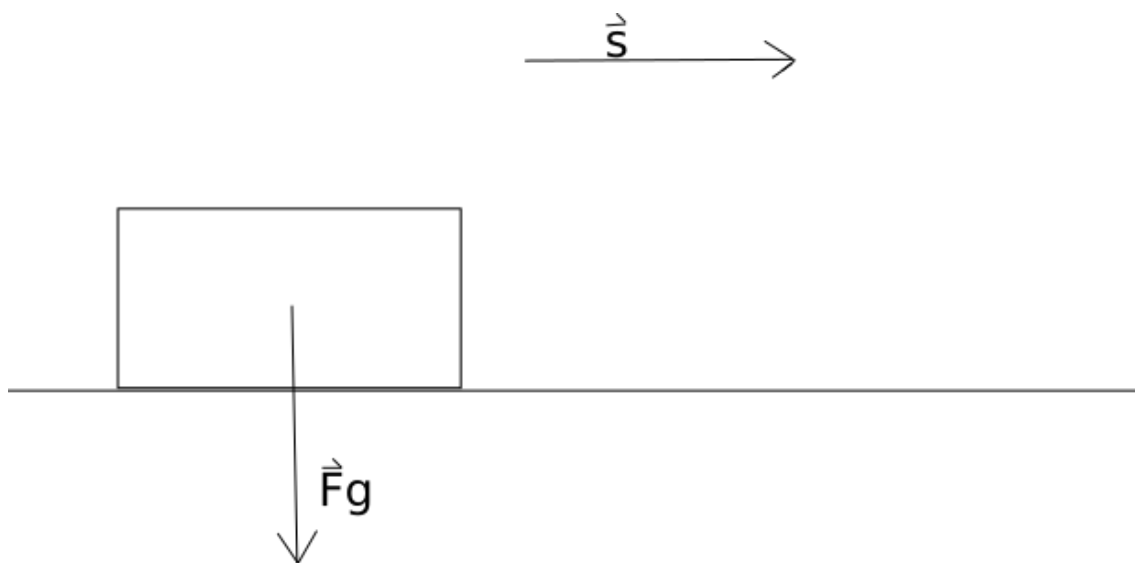
s ... premik prijemašča sile

Velja samo v primeru, ko je sila konstantna in je premik prijemašča vzporeden sili.

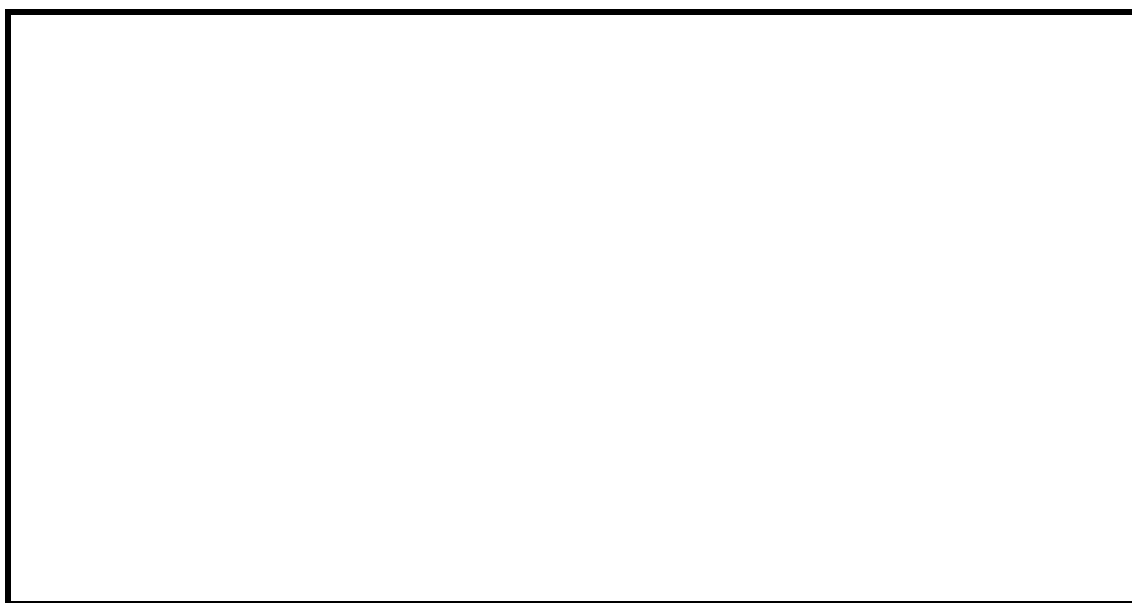


$$F = \text{konst.} \quad \vec{F} \parallel \vec{s}$$

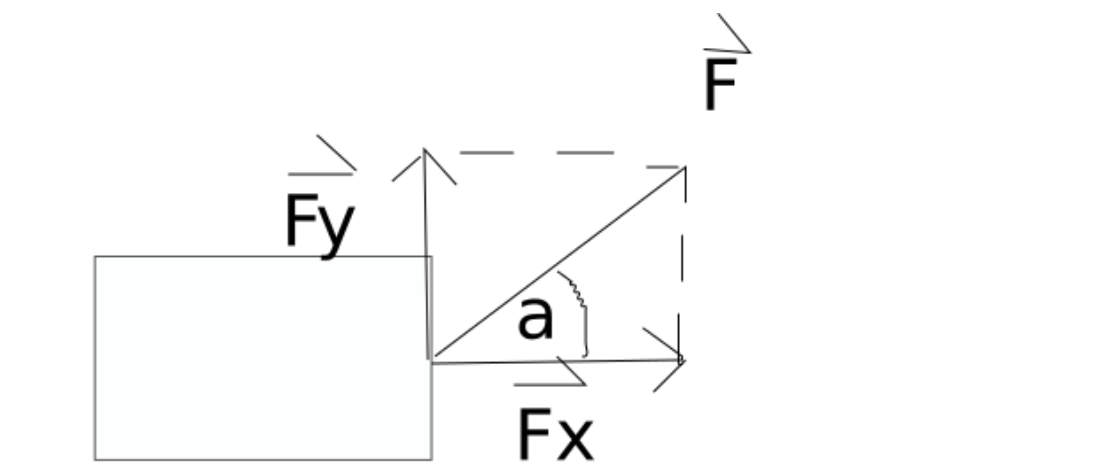
$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} = Fs \cos \alpha$$



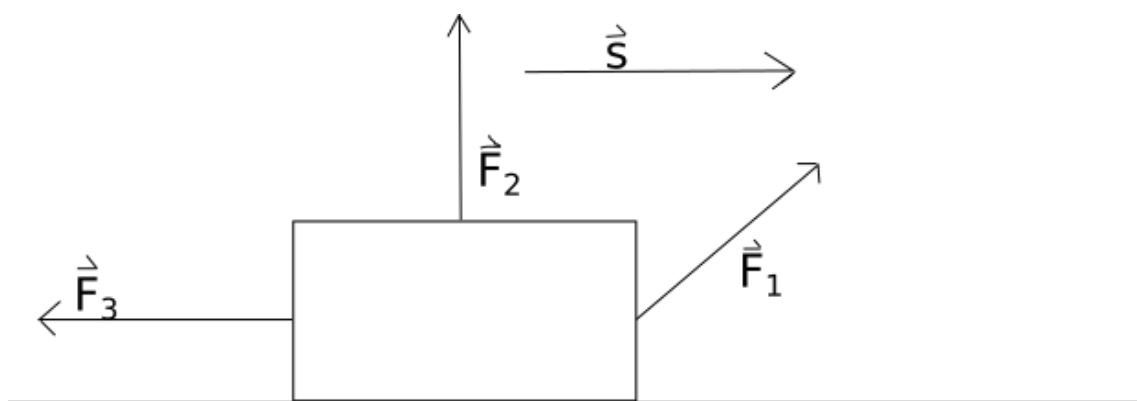
$$A = 0$$



$$A < 0$$

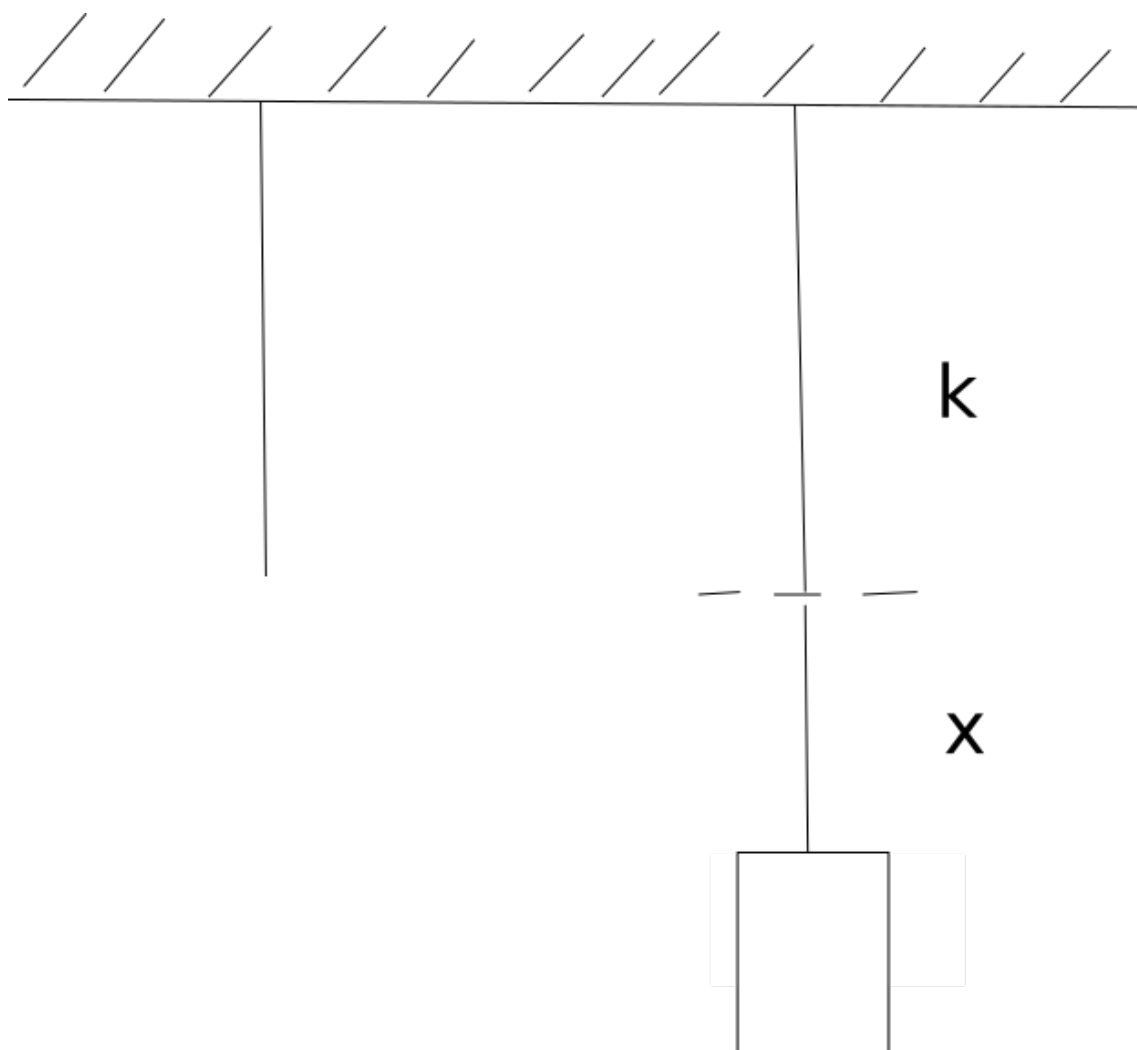


$$A = \vec{F}_x \times \vec{s} = F s \cos \alpha$$



$$A = A_1 + A_2 + A_3 = F_x s + 0 - F_3 s$$

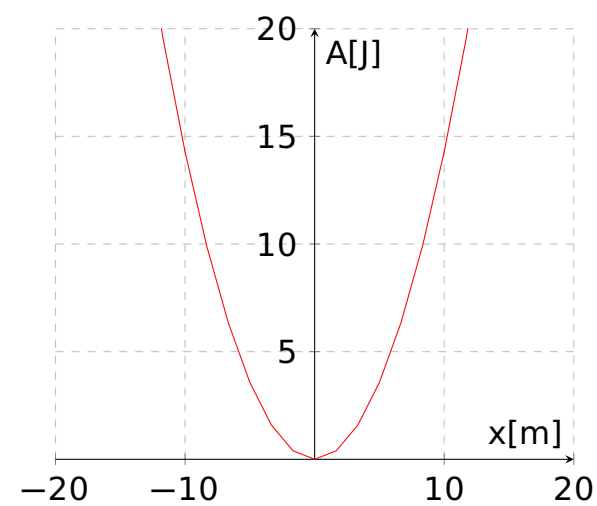
6.2 Delo pri raztezanju idealno prožne vzmeti



$$A = \bar{F} s \leftarrow x$$

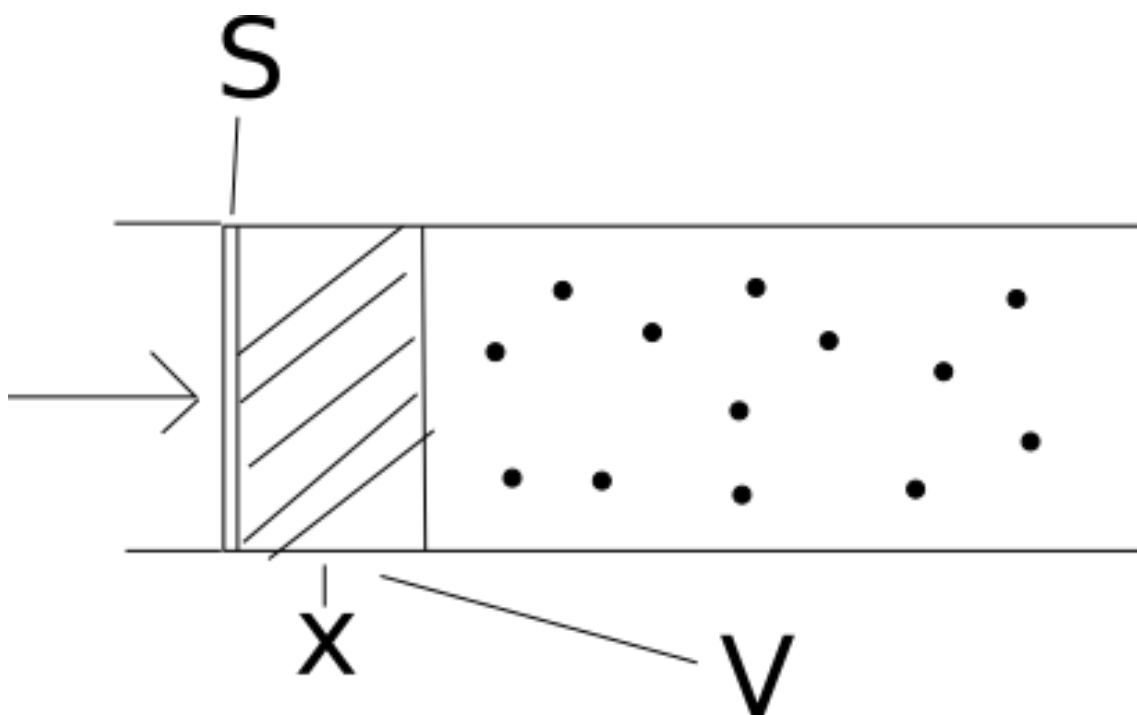
$$\bar{F} = \frac{0 + kx}{2} = \frac{kx}{2}$$

$$A = \frac{kx^2}{2}$$



Tudi ko stiskamo vzmet je delo pozitivno.

6.3 Delo tlaka



$$\begin{aligned}
 A &= Fx \\
 p &= \frac{F}{S} \\
 F &= pS \\
 A &= pSx \\
 Sx &= \Delta V \\
 Sx &= V_k - V_z \\
 V_k &< V_z \\
 A &= -p\Delta V
 \end{aligned}$$

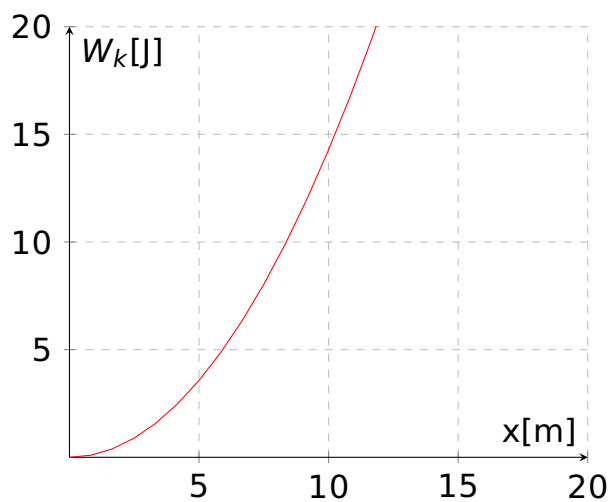
Formula za povprečen tlak.

6.4 Kinetična energija

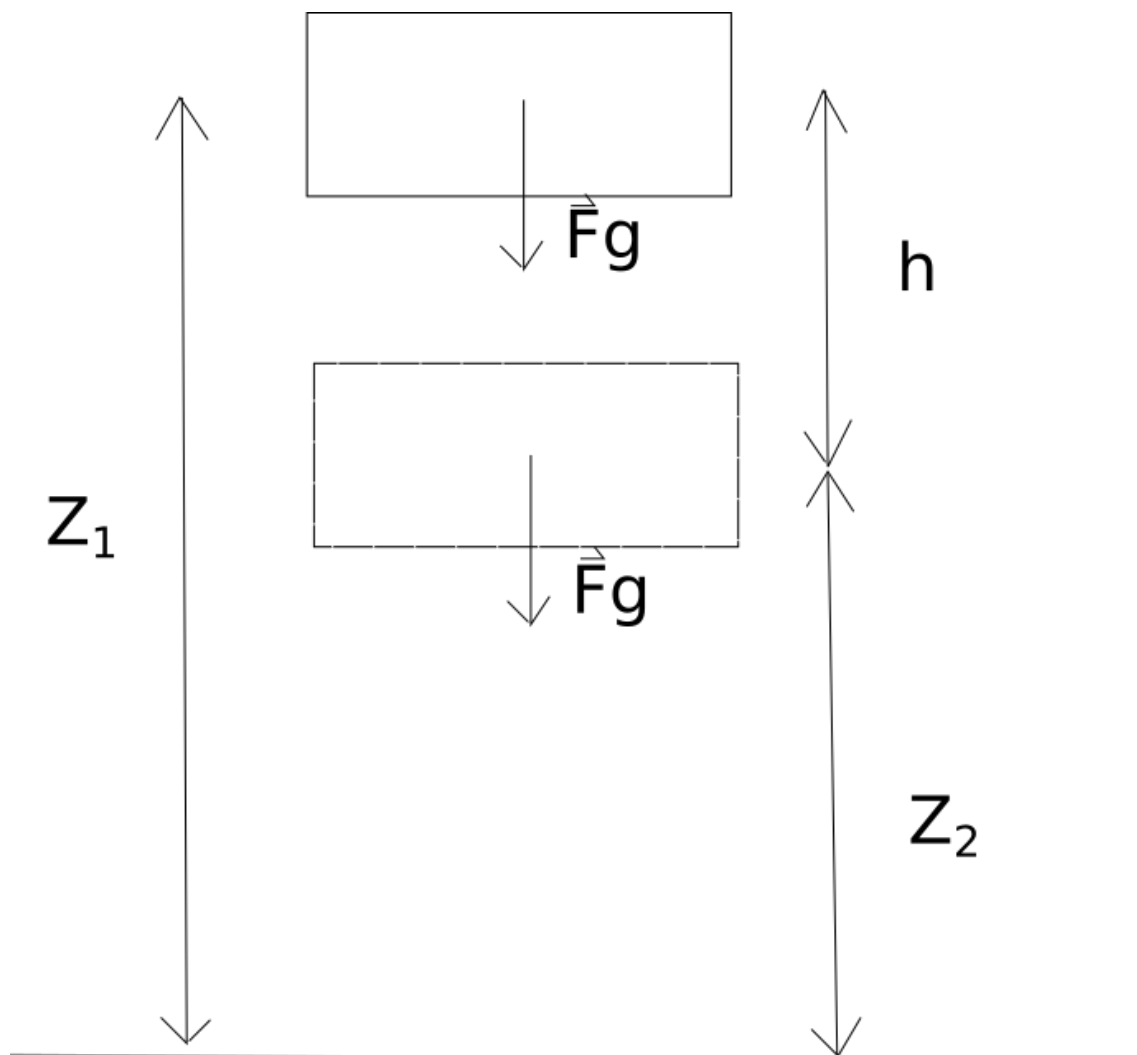
$$\begin{aligned}
 A &= Fs \\
 F &= ma \\
 a &= \frac{\Delta v}{t} = \frac{v_2 - v_1}{t} \\
 S &= \bar{v}t = \frac{v_2 - v_1}{2}t \\
 A &= m \frac{v_2 - v_1}{t} \frac{v_2 - v_1}{2}t \\
 A &= \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2) \\
 A &= \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \\
 W_k &= \frac{mv^2}{2} [J] \dots \text{kinetična energija} \\
 A &= W_{k2} - W_{k1} = \Delta W_k \text{ izrek o kinetični energiji}
 \end{aligned}$$

v_1 ... začetna hitrost

v_2 ... končna hitrost



6.5 Potencialna energija



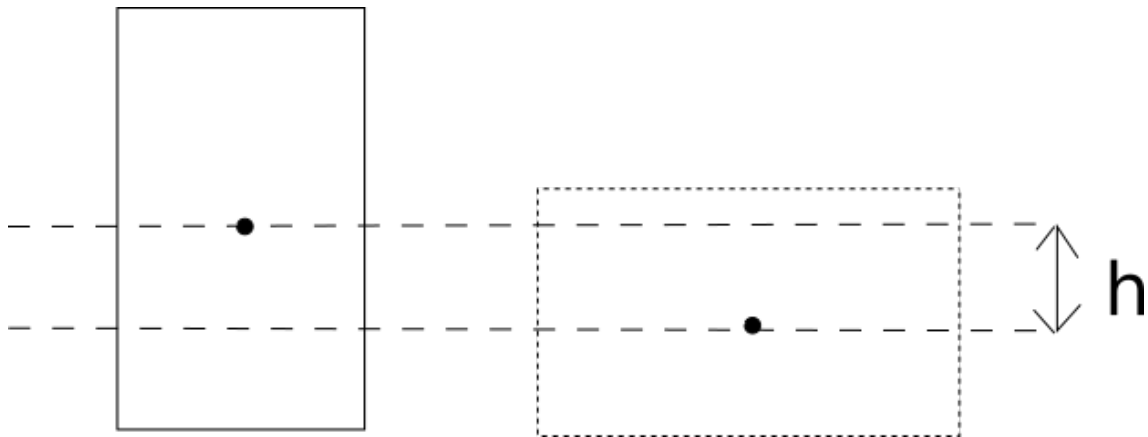
$$A = A_t + A_o$$

A ... delo vseh zunanjih sil

A_t ... delo teže

$A_o \dots$ delo vseh zunanjih sil razen teže

SPUŠČANJE TELESA



$$A_t = Fs$$

$$F = F_g = mg$$

$$s = z_1 - z_2 \dots \text{razdalja med prijemali in sileintlema}$$

$$A_t = mgz_1 - mgz_2$$

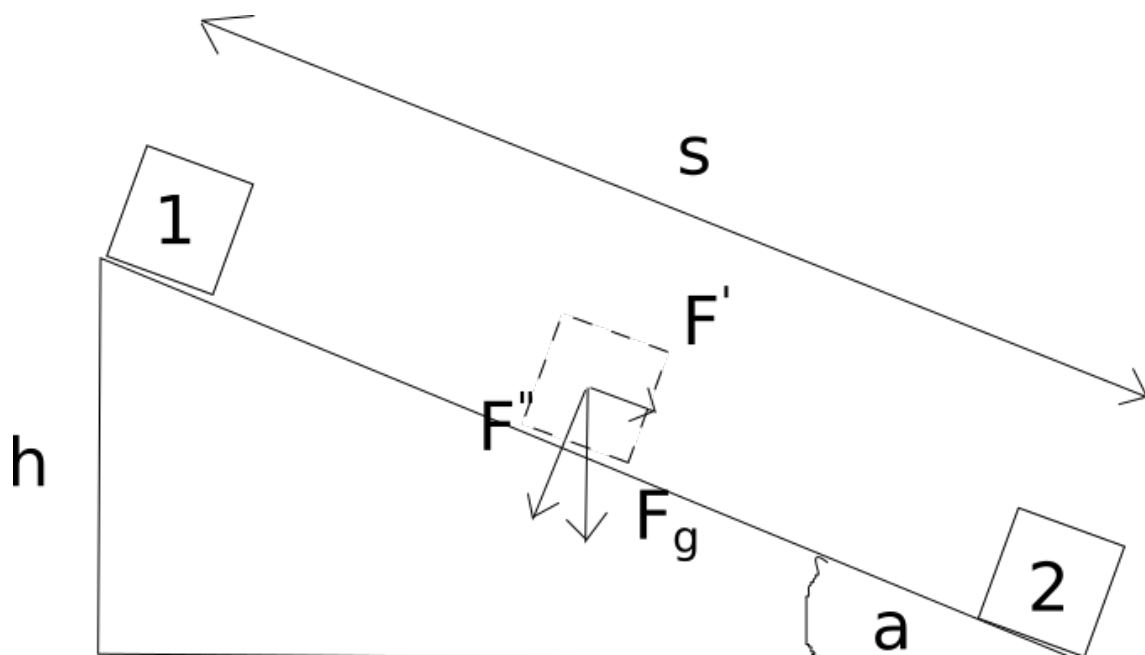
$$W_p = mgz[j] \dots \text{potencialna energija}$$

$$A_t = W_{p1} - W_{p2}$$

$$\Delta W_p = mgh$$

$$A_t = \Delta W_p$$

POSEBNI PRIMERI



$$\begin{aligned}
 A &= F' s \\
 F' &= F_g \sin \varphi = mg \sin \varphi \\
 A &= mg \sin \varphi s \\
 \sin \varphi &= \frac{h}{s} \\
 A &= mg \frac{h}{s} s \\
 A &= mgh // \text{delo teže odvisno samo od višinske razlike}
 \end{aligned}$$

6.6 Ohranitev kinetične in potencialne energije

$$\begin{aligned}
 A &= A_t + A_o \\
 A &= \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} \dots \text{delo vseh zunanjih sil} \\
 A_t &= mgz_1 - mgz_2 \dots \text{delo vseh zunanjih sil} \\
 A_o &\dots \text{delo vseh zunanjih sil razen teže} \\
 A_o &= A - A_t \\
 A_o &= \Delta W_k \Delta W_p
 \end{aligned}$$

Zraven ni delo teže, ker smo ga upoštevali pri potencialni energiji. Če je $A_o = 0$, na telo deluje le teža.

$$\begin{aligned}
 0 &= \Delta W_k \Delta W_p \\
 \Delta W_k \Delta W_p &= \text{konst. Izrek o ohranitvi } W_k \text{ in } W_p
 \end{aligned}$$

Če na telo deluje samo teža se ohranja vsota potencialne in kinetične energije.

6.7 Prožnostna energija

Delo pri raztezanju vzmeti.

$$A = \frac{kx^2}{2}$$

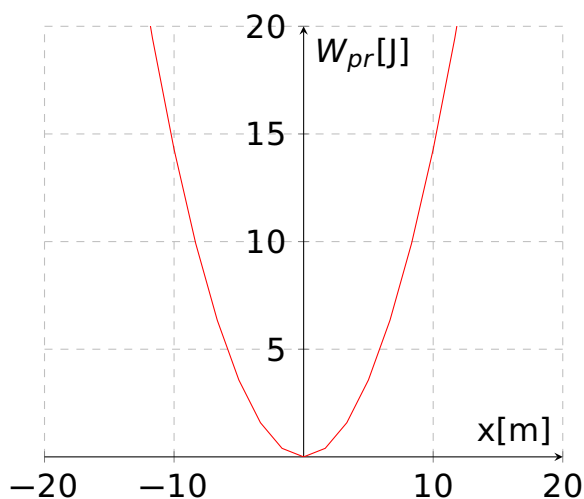
$$A = W_{pr}$$

$$W_{pr} = \frac{kx^2}{2}$$

$$\Delta W_{pr} = \frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}$$

$$0 = \Delta W_k \Delta W_p$$

$$\Delta W_k \Delta W_p = \text{konst. Izrek o ohranitvi } W_k \text{ in } W_p$$



6.8 Moč

$$P = \frac{A}{t} \left[1 \frac{J}{s} = 1W \right] \rightarrow \text{wat}$$

$$1kwh = 10^3 \frac{J}{s} * 3600s = 3,6 * 10^6 J \rightarrow \text{enota za delo}$$

Če na telo deluje sila:

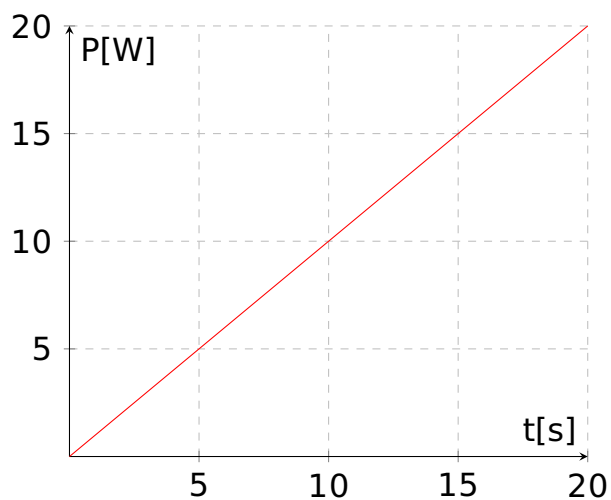
$$P = \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

$$\Delta A = F \Delta s$$

$\Delta s = v \Delta t \rightarrow$ če je dovolj majhen interval (vrednost)

$$P = \frac{F v \Delta t}{\Delta t}$$

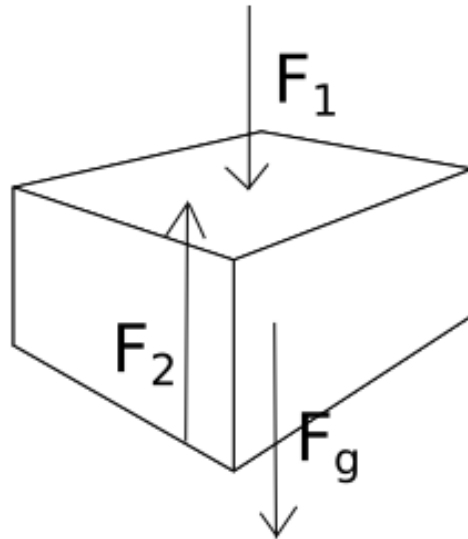
$$P = F v$$



7 TEKOČINA

7.1 Hidrostatični tlak

To je tlak zaradi teže tekočine.



F_1 ... sila kapljevina nad kvadromvode

F_2 ... sila kapljevina pod kvadromvode

$$F_2 = F_1 + F_g$$

$$p_1 = \frac{F_1}{S}$$

$$F_1 = p_1 S$$

$$F_2 = p_2 S$$

$$V = Sh$$

$$F_g = mg = \rho Vg = \rho Shg$$

$$p_2 S = p_1 S + \rho S h g$$

$$p_2 = p_1 + \rho h g$$

$$p_2 - p_1 = \rho h g$$

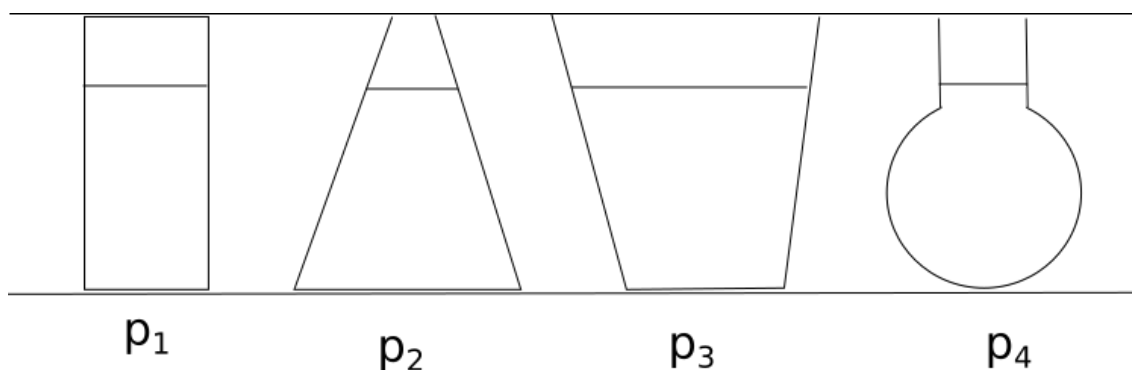
$$\Delta p = \rho h g \text{ hidrostatski tlak}$$

Če se spustimo za h se tlak poveča za Δp

$$p_0 = 1 \text{ bar} = 10^5 = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

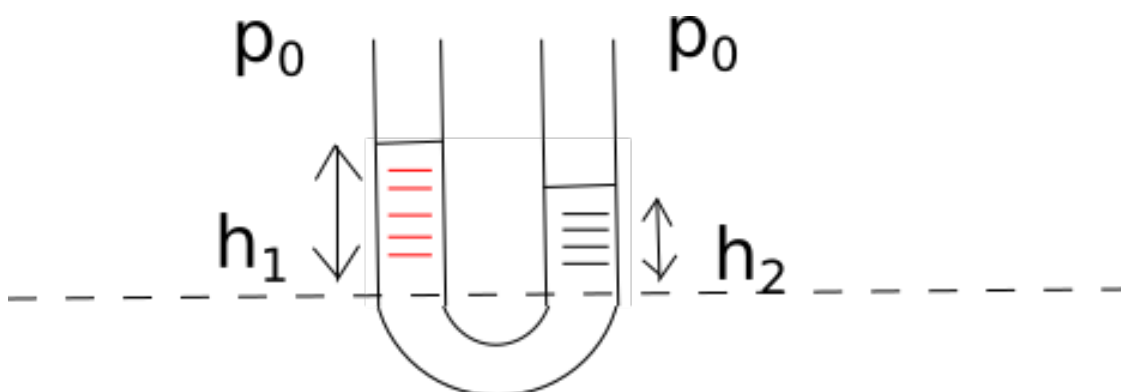
$$p = p_0 + \rho gh$$

HIDROSTATIČNI PARADOKS



Tlak na dnu posode je pri vseh enak.

MERJENJE GOSTOTE KAPLJEVINE Z U CEVKO



$$\Delta p_1 = \Delta p_2$$

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$$

$$\rho_1 = \frac{\rho_2 h_2}{h_1}$$

7.2 Vzgon

Telo potopljeno v kaplevino

Vzgon je rezultanta sil okoliške kaplevine na potopljeno telo in prijemališče ima v težišču izpodrinjene kaplevine. Sila vzgona je po velikosti

enaka teži izpodrinjene kapljevine.

$$F_{vzg} = \rho V g \text{ gostota kapljevine in volumen izpodrinjene kapljevine}$$

Telo plava $\rho_{telo} < \rho_{kaplevina}$ **Telo lebdi** $\rho_{telo} = \rho_{kaplevina}$ **Telo potone**
 $\rho_{telo} > \rho_{kaplevina}$

8 TEMPERATURA

8.1 Temperatura

Temperatura je količina, ki opisuje stanje snovi.

Je neurejeno termično gibanje, molekule se vedno premikajo in višja je temperatura bolj se gibljejo, odvisno je tudi od kemične vezi.

S tem se je ukvarjal Ludwig Edward Boltzmann.

$$\overline{W_k} = \frac{3}{2} k T \text{ temperatura obvezno v kelvinih}$$

k ... Boltzmannova konstanta

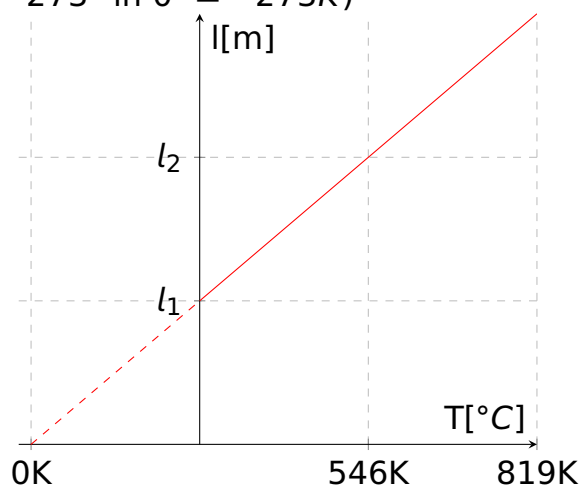
$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

W_k ... Povprečna kinetična energija molekule

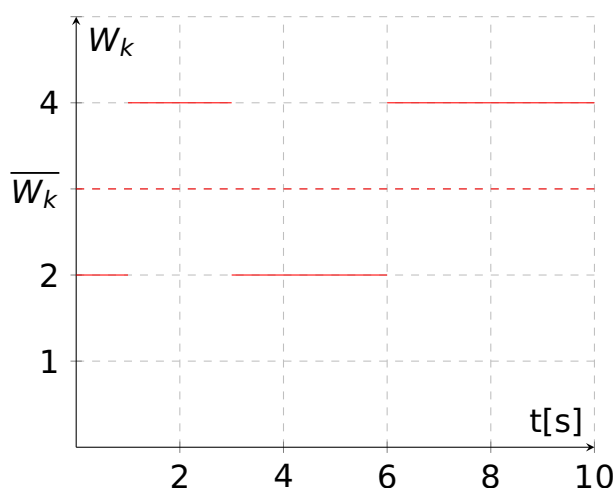
T ... temperatura [$^{\circ}C$, K]

Celzijeva skala \rightarrow ledišče vode $0^{\circ}C$, vrelišče vode $100^{\circ}C$

Kelvinova skala na osnovi krčenja plinov. Ta lestvica ne vsebuje negativnih vrednosti zato pravimo, da je absolutna temperaturna lestvica. ($0K = -273^{\circ}$ in $0^{\circ} = -273K$)



V kolikšnem razmerju je temperatura s kinetično energijo \rightarrow v linearnem.



$$\overline{W_k} = \frac{\mu \overline{v^2}}{2}$$

$\mu \dots$ masa molekule

Hitrost molekule se spreminja s korenem od časa.

Termometri izkoriščajo to, da se s temperaturo večja in manjša snovi:

- kapljevinski(alkoholni, plinski)
- uporovni(nižja temperatura, večji upor)
- bimetalni(iz dveh različnih kovin, ki se različno raztezajo) → ko se dovolj raztegne prekine električni krog in izklopi napravo

8.2 Temperaturno raztezanje snovi

Obravnavamo samo snovi, ki se lepo raztegujejo(to ne velja za les, vodo, plastiko, ...)

1.

$l \dots$ prvotna dolžina

$\Delta l \dots$ podaljšek žice

$\alpha \dots$ linearna razteznost [K^{-1}] → odvisna je od vrste snovi

$$\Delta l = \alpha l \Delta T$$

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T \dots \text{relativni raztezek}$$

2.

$$S_1 = a^2$$

$$S_2 = S_1 + \Delta S$$

$$S_2 = (a + \Delta a)^2 = a^2 + 2a\Delta a + \cancel{\Delta a^2}^0 \text{ zanemarimo, ker so raztezki tako majhni}$$

$$\Delta S = 2a\Delta a$$

$$\Delta a = \alpha a \Delta T$$

$$\Delta S = 2a^2 \alpha \Delta T$$

$$\Delta S = 2S \alpha \Delta T$$

$$\frac{\Delta S}{S} = 2\alpha \Delta T$$

3.

$$V_1 = a^3$$

$$V_2 = V_1 + \Delta V$$

$$V_2 = (a + \Delta a)^3 = a^3 + 3a^2\Delta a + \cancel{3a\Delta a^2}^0 + \cancel{\Delta a^3}^0 \text{ zanemarimo}$$

$$\Delta V = 3a^2\Delta a$$

$$\Delta a = \alpha a \Delta T$$

$$\Delta V = 3a^3 \alpha \Delta T$$

$$\Delta V = 3V \alpha \Delta T$$

$$\frac{\Delta V}{V} = 3\alpha \Delta T$$

$$3\alpha = \beta$$

$\beta \dots$ volumska razteznost [K^{-1}]

8.3 Splošna plinska enačba

Okrogla posoda, molekule trkajo ob stene in ustvarjajo tlak

$n \dots$ molekul idealnega plina (število)

$r \dots$ polmer posode

$p_1 = \frac{F}{S}$ tlak, ki ga ustvari ena molekula

$$p = N \frac{F}{S}$$

$F = \mu a_r$ $\mu \dots$ masa ene molekule

$$a_r = \frac{\bar{v}^2}{r}$$

$$S = 4\pi r^2$$

$$p = N \frac{\mu \bar{v}^2}{4\pi r^3} * \frac{3}{3}$$

$$p = \frac{N \mu \bar{v}^2}{3V}$$

$$\overline{W_k} = \frac{\mu \bar{v}^2}{2}$$

$$= \frac{3}{2} kT$$

$$\mu \bar{v}^2 = 3kT$$

$$p = \frac{N \cancel{3} kT}{\cancel{3} V}$$

$pV = NkT$ Splošna plinska enačba

$$N = N_a * n$$

$$N_a = 6,02 * 10^{23} \text{ mol}^{-1} = 6,02 * 10^{20} \text{ kmol}^{-1} \dots \text{avogadrovo število}$$

$$pV = nN_a kT$$

$$N_a k = R = 8310 \frac{\text{J}}{\text{K kmol}}$$

$pV = nRT$ temperatura zmeraj v kelvinih

8.4 Raztezanje plinov

$$V = \frac{nR}{p}T$$

$$\Delta V = \frac{nR}{p}\Delta T \text{ Pri stalnem tlaku}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta T}{T} = \beta \Delta T$$

$$\beta = \frac{1}{T}$$

8.5 Plinski zakoni

$n = \text{konst.}$ množina snovi je konstantna

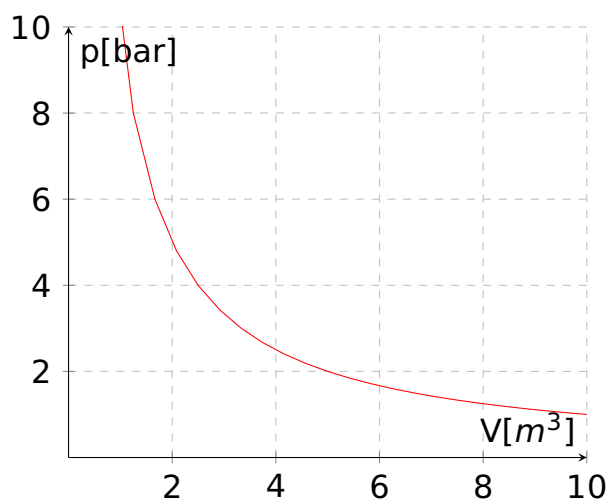
$$\frac{pV}{T} = nR = \text{konst.}$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \text{ Splošna plinska enačba za konstantno množino snovi}$$

1. $T = \text{konst}$ in $n = \text{konst} \rightarrow$ **Izotermna sprememba**

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \text{ Boylov zakon}$$

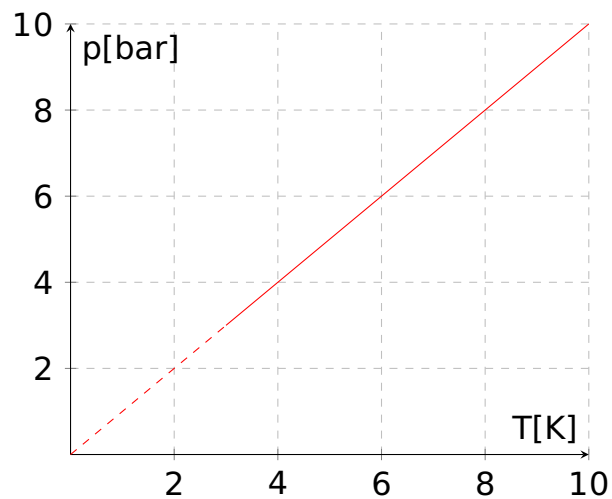
$$p_1 = \frac{p_2 V_2}{V_1}$$



2. $V = \text{konst}$ in $n = \text{konst} \rightarrow$ **Izohorna sprememba**

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ Amontonsov zakon}$$

$$p_1 = T_1 \frac{p_2}{T_2}$$

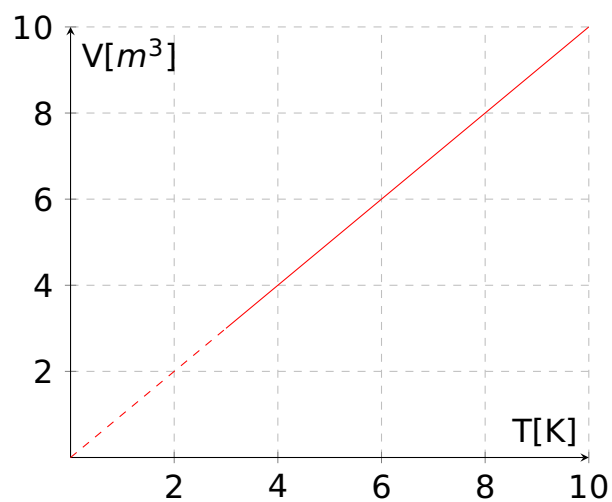


*Pri crtkani crti postane kapljevina

3. $p = \text{konst}$ in $n = \text{konst} \rightarrow$ **Izobarna sprememba**

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ Amontonsov zakon}$$

$$V_1 = T_1 \frac{V_2}{T_2}$$



*Pri crtkani crti postane kapljevina

9 NOTRANJA ENERGIJA IN TOPLOTA

9.1 Energijski zakon

$W_n = W_k$ (termično gibanje) + W_p (vezi med molekulami) + W_p (posameznega delca)

Idealni plin (model) sestavljajo točkaste molekule, idelano prožno trkajo, zanemarimo vezi med molekulami in notranje energije delcev.

$$W_n = N \overline{W_k}$$

N ... število delcev

$$N = \frac{m}{\mu}$$

μ ... masa molekule

$$\mu = M \cdot u$$

$$u = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

$$\overline{W_k} = \frac{3}{2} kT$$

$$W_n = \frac{m}{M} \frac{3}{2} kT$$

$$W_n = m \frac{3k}{2Mu} T$$

c ... specifična toplota

$$c = \frac{3k}{2Mu}$$

$W_n = mcT$... absolutna vrednost notranje energije

$\Delta W_n = mc\Delta T$... sprememba notranje energije

$$c = \frac{\Delta W_n}{m\Delta T} \left[1 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} \right] \text{koliko energije potrebujemo, da 1 kg snovi sefrememo za 1 Kelvin}$$

Q ... toplota

Toplota je del notranje energije, ki se ob toplotnem stiku pretaka iz telesa z višjo temperaturo v telo z nižjo temperaturo.

$$W_n = A + Q \dots \text{energijski zakon termodinamike}$$

Če je $A = 0$, $\Delta W_n \rightarrow Q = mc\Delta T$

Če je $Q = 0$, $\Delta W_n = A$ (je toplotno izolirano)

9.2 Specifična toplota

Načini segrevanja:

- **Pri** $V = konst.$

$$\Delta W_n = mc_v \Delta T$$

$c_v \dots$ specifična toplota pri konstatnem volumnu

- **Pri** $p = konst.$

$$Q = mc_p \Delta T$$

$c_p \dots$ specifična toplota pri konstatnem tlaku

$A = -p\Delta V \dots$ volumen se večja in odriva okolico in s tem povzroča delo

$$\Delta W_n = Q + A$$

$$mc_v \Delta T = mc_p \Delta T - p\Delta V / * \frac{1}{m\Delta T}$$

$$c_v = c_p \frac{p\Delta V}{m\Delta T}$$

$$c_p > c_v$$

Ker če se segreva pri stalnem tlaku se snov segreva in opravi delo.

9.3 Merjenje specifične toplote

$m_k \dots$ masa kovine

$T_k \dots$ začetna temperatura kovine

$m_v \dots$ masa vode

$T_v \dots$ začetna temperatura vode

$$T_k > T_v$$

$$c_v = 4200 \frac{J}{kgK}$$

$T_v \dots$ začetna temperatura zmesi (voda + kovina)

$$Q_k = Q_v$$

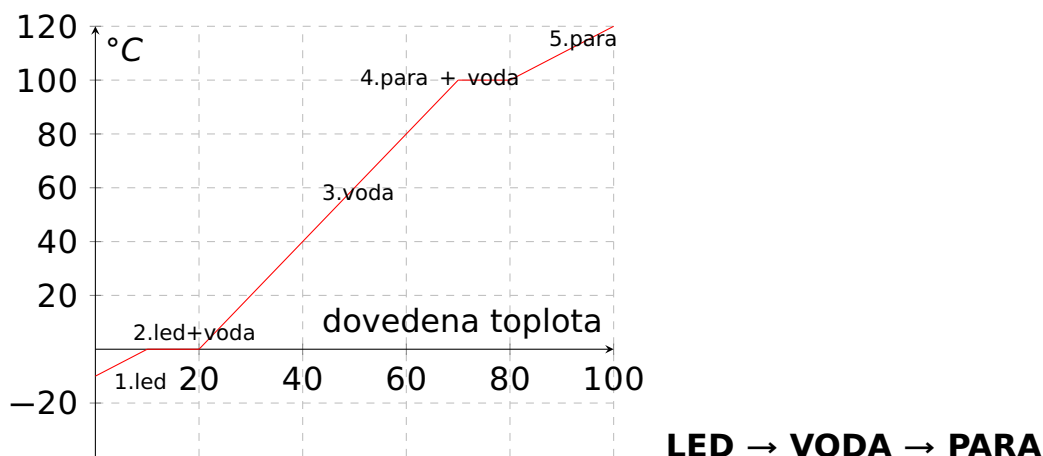
$$m_k * c_k * (T_k - T_z) = m_v * c_v * (T_z - T_v)$$

$$c_k = \frac{m_v * c_v * (T_z - T_v)}{m_k * (T_k - T_z)}$$

9.4 Agregatna stanja

Agregatna stanja:

- trdnine zavzamejo svojo obliko, večja gostota, kot pri kapljevinah in tekočinah, delci med sabo so močno vezani
- kapjevine (tekočine) vedno zavzamejo spodnji del in tvorijo gladino, lahko tvorijo kapjice.
- plini (tekočine) zavzamejo celoten prostor



1. Segrevanje ledu

$$Q = mc_l \Delta T$$

$$c_l = 2100 \frac{J}{kgK} \dots \text{specifična toplota ledu}$$

2. Taljenje ledu: izotermen proces, ledišče (temperatura pri kateri se iz trdnega stanja spremeni v kapjevino)

$$Q = q_t m$$

$q_t \dots$ specifična talilna toplota

$$q_t = \frac{Q}{m} \left[1 \frac{J}{kgK} \right]$$

$$q_{tv} = 333 \frac{kJ}{kgK}$$

3. Segrevanje vode

$$Q = mc_v \Delta T$$

$$c_v = 4200 \frac{J}{kgK}$$

4. Vrenje(izparevanje): izotermen proces, temperatura pri kateri kapljevina vre pravimo vrelišče

$$Q = mq_i$$

q_i ... specifična talilna toplota(koliko toplote potrebujemo, da izparimo 1 kg snovi)

$$q_i = \frac{Q}{m} \left[1 \frac{J}{kgK} \right]$$

$$q_{iv} = 2250 \frac{kJ}{kgK}$$

5. Segrevanje pare

$$Q = mc_p \Delta T$$

$$c_p = 2100 \frac{J}{kgK} \dots \text{specifična toplota pare}$$

latentna toplota = specifična toplota

9.5 Sežig

$$Q = mq_s$$

$q_s \left[\frac{J}{kgK} \right]$... specifična sežigna toplota, koliko toplote dobimo če sežgemo 1 kg snovi

9.6 Toplotni tok

$$P = \frac{Q}{t} \left[\frac{J}{s} = 1W \right]$$

Tok toplote, ki se skozi dan presek pretoči v določenem času

$$j = \frac{P}{S} \left[1 \frac{W}{m^2} \right]$$

j ... gostota toplotnega toka

Kolikšen toplotni tok se pretaka skozi izbran presek

$$P = \frac{\gamma S \Delta T}{d}$$

γ ... toplotna prevodnost

$$\gamma = \frac{pd}{S \Delta T} \left[1 \frac{Wm}{m^2K} = 1 \frac{W}{mK} \right]$$

Toplotni tok, ki se s časom ne spreminja pravimo stacionarni toplotni tok.

$$P = \frac{\Delta T}{\frac{d}{\gamma S}}$$

$$R = \frac{d}{\gamma S} \left[1 \frac{m^2K}{Wm^2} = 1 \frac{K}{W} \right] \dots \text{toplotni upor}$$

$$P = \frac{\Delta T}{R}$$

Snovi:

- toplotni izolatorji(stiropor, volna ...) **R večji**
- toplotni prevodniki(baker, kovine ...) **R manjši**

Večplastna stena

$$P = \frac{\Delta T}{R}$$

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

Skozi plati teče enak toplotni upor.

Stena z oknom

$$P = P_1 + P_2$$

9.7 Toplotni stroji

$$\Delta W = A + Q$$

$\Delta W = 0 \rightarrow$ Krožne spremembe(celotna energija pred je enaka celitni energiji na koncu

$A = -Q \rightarrow$ opravimo neko delo in dobimo toploto

$Q = -A \rightarrow$ nekaj grejemo inna opravlja delo

Dva pogoja za toplotni stroj:

- da opravlja krožno spremembo
- dovajamo toploto in naprava opravlja delo

Spremembe:

- reverzibilne(obrnljive): da do nekega stanja pridemo po nekih korakih in po istih tudi nazaj v prvotno stanje
Primer: idealno prožna vzmet

- ireverzibilne(neobrnljive): da do nekega stanja pridemo po nekih korakih, nazaj v prvotno pa podrugih
Primer: neprožna vzmet

$Q_1 \dots$ dovedena toplota(stand. ozn. za prejeto toploto)

$A \dots$ opravljeno delo

$Q_2 \dots$ oddana toplota(stand. ozn. za oddano toploto)

$Q_1 = Q_2 + A \dots$ mehanski izkoristek

$\eta \dots$ izkoristek

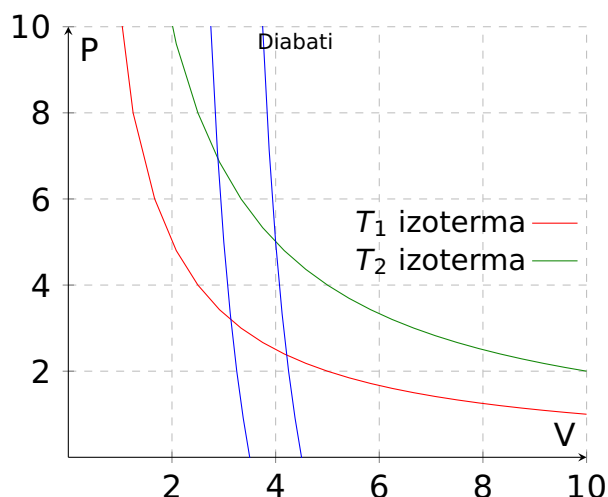
$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1$$

vedno manjši od 1, ker se morajo vedno ohladiti in zato Q_2 ni nikoli nič

$$T_1 > T_2$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \dots \text{za idealni toplotni stroj}$$



Diabata ponazarja odvisnost med tlakom in volumnom, če ni izmenjave toplote iz okolice

1-2 - izotermna $\rightarrow A \uparrow Q \downarrow \rightarrow$ opravi delo odda toploto

2-3 - adiabatna $\rightarrow A \uparrow \rightarrow$ dodamo delo, telo se ohladi

3-4 - izotermna $\rightarrow A \uparrow Q \downarrow \rightarrow$ opravi delo odda toploto

4-1 - adiabatna $\rightarrow A \uparrow \rightarrow$ dodamo delo telo se segreje

10 ELEKTRIČNI NABOJ IN ELEKTRIČNO POLJE

10.1 Električni naboj

Atom:

- jedro
- električni ovoj(negativen naboj)

Naboj:

- negativni(e^-)
- pozitivni(p^+)

Električno nevtralno telo je, če ima enako negativnega in pozitivnega naboja. Naelektreno telo ima presežke ene vrste naboja.

e ... naboj(kvantiziran, del nečesa, ki ga se neznamo dati na manjše dele)
 $e_0 = 1.6 \cdot 10^{-19}$... osnovni naboj(naboj elektrona e^-)
 $e = ne_0; nZ$ popravi

Sila med naboji(sila na daljavo):

- odbojna (med istoimenskimi naboji)
- privlačna (med razbojneskimi naboji)

Snovi:

- prevodniki (kovine)
- izolatorji

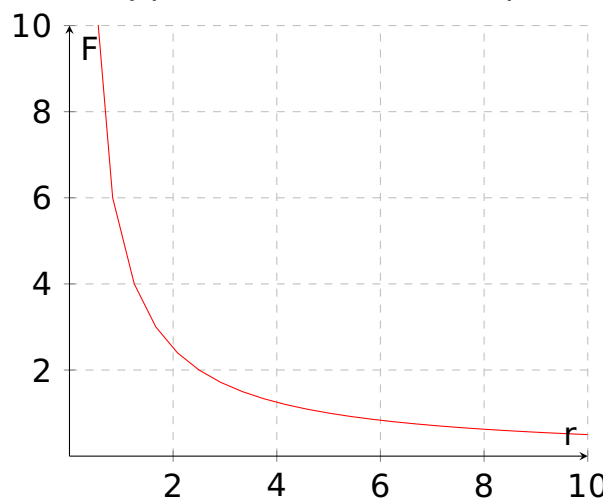
Naboj merimo z **elektroskopom**. Ne da se ugotoviti kako je telo nabito, lahko samo ugotovimo, da je ali ni.

10.2 Colombov zakon

$$F = \frac{e_1 e_2}{4\pi\sigma_0 r^2}$$

$$\sigma_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right]$$

Če naboj povečamo, se obe sili povečata.



Če je več nabojev upoštevamo vse in jih vektorsko seštejemo.

Med središčema se naboj porazdeli po površini.

10.3 Jakost električnega polja

$$F = e_1 \bar{E}$$

E ... jakost električnega polja

$$\bar{E} = \frac{\bar{F}}{e_1}$$

Dogovor: smer jakosti električne je enaka smeri sile na pozitivni naboj. Gostota silnic je merilo za jakost električnega naboja.

Točkasti naboj

$$F = \frac{ee_1}{4\pi\sigma_0 r^2}$$

$$F = e_1 E$$

$$E = \frac{e}{4\pi\sigma_0 r^2}$$

Nasprotno enaki nabiti plošči Homogeno električno polje(z ravnimi medseboj vzporednimi silnicami)

10.4 Snov v električnem polju

Kovina: silnice so pravokotne.

Zaradi prerazporeditve elektronov znotraj krogle, notri ni električnega polja. Temu pravimo **influeca**. Uporablja se pri ločevanju nabojev.

Damo narazen in dobimo eno negativno in eno pozitivno ploščo.

Izolator: $E > 0$ znotraj je polje ampak je oslabiljeno oz. manjše kot zunaj.

Dialektrik:

10.5 Električna napetost

$$A = F'_e s$$

$$F'_e = F_e \cos\alpha = eE \cos\alpha$$

$$A = eE \cos\alpha s$$

$$\cos\alpha = \frac{h}{s}$$

$$A = eE \frac{h}{s} s$$

$$A = eEh$$

$$U = Eh$$

$$U = \frac{A}{e} \left[1 \frac{J}{C} = 1 \frac{J}{As} = 1V \right] \dots \text{električna napetost}$$

$$1J = 1VAs$$

$$A = eU$$

Električna napetost nam pove kolikšno delo opravimo na enoto naboja v tem električnem polju.

Prenos: $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$

$$\begin{aligned} A &= A_1 + A_2 \\ eU &= eU_1 + eU_2 \\ U &= U_1 + U_2 \end{aligned}$$

Električni potencial $V[V]$ $U = V_2 - V_1$ potencial v smeri silnic pada
Ekvipotencialna ploskev sestavljajo sosednje točke v prostoru, ki imajo enak potencial.

Točkasti naboj Homogeno polje

10.6 Kondenzator

Kondenzator je naprava shranjevanje naboja. Obravnavali bomo ploščati kondenzator pri katerem je ena plošča pozitivna druga pa negativno nabita.

$$C = \frac{e}{U} \left[1 \frac{As}{V} = 1 \frac{C}{V} = 1F \right] \dots \text{fahrad}$$

$C \dots$ kapaciteta kondenzatorja (koliko naboja lahko shranimo)

$$C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

$$U = Ed$$

$$U = \frac{e}{C} = \frac{ed}{\epsilon_0 S}$$

$$E = \frac{e}{\epsilon_0 S} \dots \text{električno polje med ploščama}$$

$$E = \frac{e}{2\epsilon_0 S} \dots \text{električno polje v okolici ene nabite plošče}$$

10.7 Vezave kondenzatorjev

Vzporedna vezava

$$\begin{aligned} U &= U_1 = U_2 \\ e &= e_1 + e_2 \\ CU &= C_1 U + C_2 U \\ C &= C_1 + C_2 \end{aligned}$$

Pri vzporedni vezavi seštejemo kapacitete kondenzatorjev.

Zaporedna vezava

$$e = e_1 = e_2$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$\frac{e}{C} = \frac{e}{C_1} + \frac{e}{C_2}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

10.8 Energija električnega polja

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d}$$

$U_1 = 0 \dots$ začetna napetost

$U_2 = U \dots$ končna napetost

$$\bar{U} = U_2 - U_1$$

$A = e\bar{U} \dots$ delo da nabijemo kondenzator

$W_{ep} = e\bar{U} \dots$ energija električnega polja

$$W_{ep} = \frac{eU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{e^2}{2C}$$

$$W_{ep} = \frac{\varepsilon_0 S U^2}{2d} * \frac{d}{d}$$

$$E = \frac{U}{d}$$

$$W_{ep} = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} V$$

$$\omega_{ep} = \frac{W_{ep}}{V} = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} \left[1 \frac{J}{m^3} \right]$$

$\omega_{ep} \dots$ gostota električnega polja

10.9 Gibanje nabojev v električnem polju

$$F = eE = ma$$

$$a = \frac{eE}{m} \dots \text{Pozitiven naboj se giblje pospešeno v smeri silnic}$$

X smer: enakomerno premo gibanje

$$V_0 = V_x = \text{konst.}$$

$$x = V_0 t$$

Y smer: enakomerno pospešeno gibanje

$$V_y = at = \frac{eE}{m} t$$

$$y = \frac{at^2}{2} = \frac{eE}{2m} t^2$$

$$v = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

11 ELEKTRIČNI TOK

11.1 Električna vezja

Električni tok teče po prevodnikih(kovini). Pomeni usmerjeno gibanje nabojev(pozitivnih in negativnih)

$$I = \frac{\Delta e}{\Delta t} [1A] \dots \text{kolikšen naboj preteče v določenem času}$$

Prvič so električni tok opazovali v elektrolizi modre galice.

Elektroni se gibljejo v nasprotno smer od električnega toka

Tok teče samo po sklenjenem električnem krogu.

Učinki električnega toka:

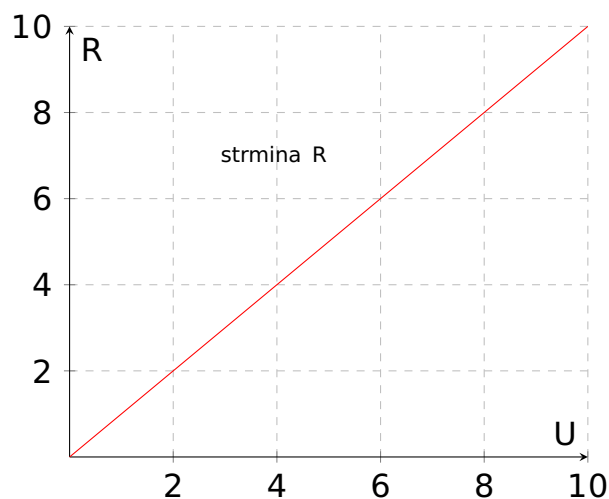
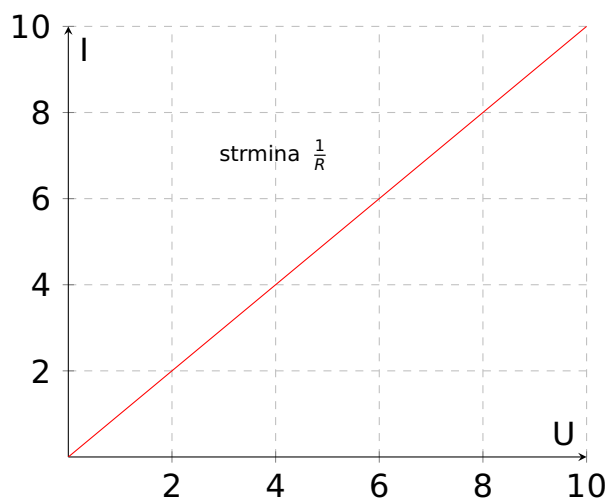
- Snov se segreje
- Prenaša se snov(elektroliza)
- magnetni(v okolici vodnika se pojavi magnetno polje)

11.2 Ohmov zakon

$$U = RI$$

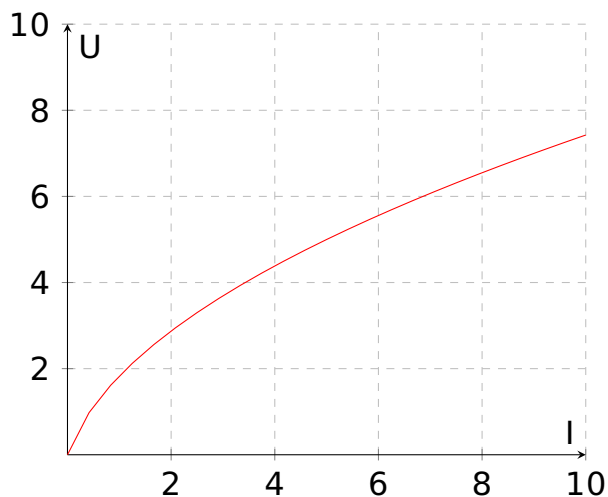
R ... upor **če upor ni konstanten ohmov zakon ne velja**

$$R = \frac{U}{I} \left[1 \frac{V}{A} = 1\Omega \right]$$



Z višanjem temperature se upornost večja in posledično je manjši tok.

Žarnica



Večja je temperatura, večji je upor, manjši je tok.

Za generator(vir napetosti)

$$U = U_g - R_n I$$

U_g ... Gonilna napetost

R_n ... Notranji upor generatorja

11.3 Upor prevodnika

$$R = \frac{\zeta l}{S}$$

$$\zeta = \frac{RS}{l} \left[1 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} = 1 \Omega \text{m} \right] \dots \text{Specifični upor (zeta)}$$

11.4 Vezave uporov

Zaporedna

$$I = I_1 = I_2$$

$$U = U_1 + U_2 \dots 2. \text{ kirchoffov zakon}$$

$$RI = RI_1 + RI_2$$

$$R = R_1 + R_2$$

$$I_1 = I_2$$

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \dots \text{Razmerje uporov}$$

Vzporedna

$$I = I_1 + I_2 \dots 1. \text{ kirchoffov zakon}$$

$$U = U_1 = U_2$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$U_1 = U_2$$

$$R_1 I_1 = R_2 I_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \dots \text{Razmerje tokov proti uporom. Večji je tok, manjši je upor.}$$

1. kirchoffov zakon: Vsota tokov, ki priteče v razvejišče je enako vsoti tokov, ki odteče iz razvejišča

11.5 Vezave amper- in voltmetra

Merjenje toka z ampermetrom.

Merjenje napetosti z voltmetrom.

Merilno območje ampermetra

$I_0 \dots$ Največji tok (merilno območje)

$I > I_0 \dots$ Želimo meriti večje tokove od merilnega območja

$R_A \dots$ Notranji upor ampermetra

$R \dots$ Soup

$$U_a = U_r$$

$$R_a I_0 = R(I - I_0)$$

$$R = \frac{R_a I_0}{I - I_0}$$

Če hočemo meriti tokove I , moramo na ampermeter vezati upor R ki je tako velik (kot kaže zgornja enačba)

Merilno območje voltmetra

$U_0 \dots$ Merilno območje

$R \dots$ Predupor

$$U > U_0$$

$R_v \dots$ notranji upor voltmetra

$$I_v = I_r$$

$$\frac{U_0}{R_v} = \frac{U - U_0}{R}$$

$$U_0 R = R_v (U - U_0)$$

$$R = \frac{R_v (U - U_0)}{U_0}$$

*padec napetost \rightarrow napetosti na uporabniku

11.6 Elekrično delo in moč

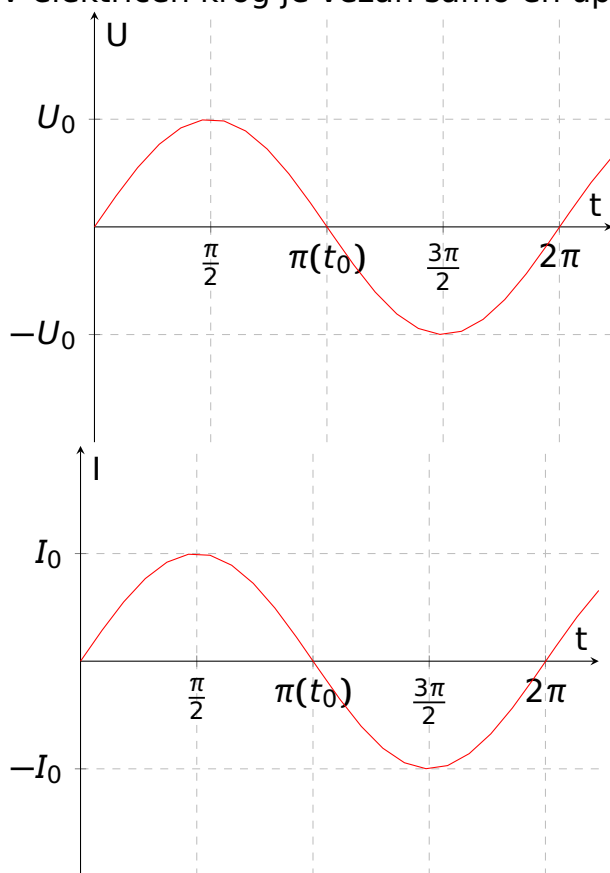
Napetost potiska naboj po električnem polju in zato opravi delo.

$$\begin{aligned}\Delta A &= U \Delta e \\ I &= \frac{\Delta e}{\Delta t} \\ \Delta e &= I \Delta t \\ \Delta A &= UI \Delta t \\ P &= \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{UI \Delta t}{\Delta t} \\ P &= UI = RI^2 = \frac{U^2}{R} \\ U &= RI \\ Q &= P \Delta t = UI \Delta t = RI^2 \Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t\end{aligned}$$

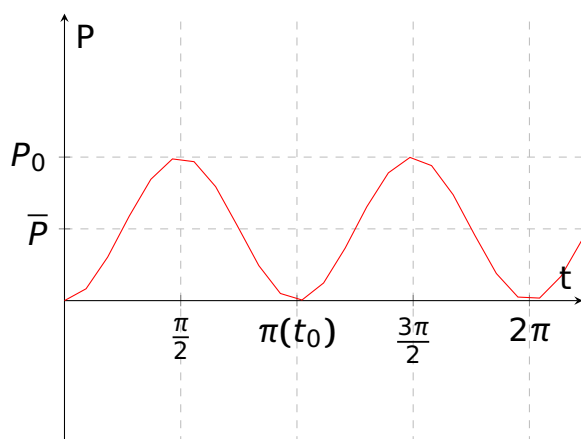
Pri segrevanju upornika pride do izgub(ko gre čez tok)

Izmenični tok in napetost

V električen krog je vezan samo en upor R.



Imata enak nihajni čas in posledično tudi enake ničle.



$$P(t) = U(t)I(t)$$

$$\bar{P} = \frac{P_0}{2} = \frac{I_0 U_0}{2}$$

$U_{ef} \dots$ efektivna napetost (namišljena vrednost) (\hat{U})

$$U_{ef} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$$

$I_{ef} \dots$ efektivni tok (namišljena vrednost) (\hat{I})

$$I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$$

$$U_{ef} = R I_{ef}$$

12 MAGNETNO POLJE

12.1 Trajni magneti

Magnetno polje nastane v 3 primerih:

- V okolici trajnega magneta
- Vsi vodniki po katerih teče tok
- Mešanica obojega (elektro magnet)

Trajni magnet

- je iz, ki ima **feromagnetno strukturo**
- v naravi je 5 elementov: železo, nikelj, kobalt, gadolinij (gd), disprozij (dy)
- Vsak magnet ima južni in severni pol

- Nikoli ne moremo imeti ločenega enega pola(tudi če magnet razdelimo)
- Magnetne silnice potekajo tudi znotraj magneta, zato jim pravimo, da so zaključne krivulje
- Silnice kažejo od severnega pola k južnemu polu

Zemlja

Severni geografski pol(južni magnetni pol) in obratno
Magnetne sile (na daljavo):

- Privlačne med različnimi poli
- Odbojne med istoimenskimi poli

Vodnik s tokom

Pravilo desnega palca

Tuljava

Homogenost polja

Elektro motor

Ko tuljavo namagnetimo(skozi gre tok), se namagnetni tudi železno jedro in se magnetno polje sešteva. So najmočnejši magneti. Potrebujejo energijo, da gre skozi tuljavo tok.

12.2 Magnetna sila na naboj

- Magnetna sila ne pospešuje nabojev
- Deluje samo na gibajoče naboje
- Če se Naboji gibljejo pravokotno na silnice magnetnega polja($\vec{v} \perp$ silnice)
- Spreminja smer hitrosti(zaradi radialne sile)

$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B} \dots \text{Vektorski produkt}$$

$$\vec{F} = evB$$

$B \dots$ Gostota magnetnega polja

$$B = \frac{F}{ev} \left[1 \frac{Ns}{Cm} = 1 \frac{N \cancel{A} s}{A \cancel{A} m} = 1 \frac{N}{Am} = 1 \frac{N}{Am} \frac{m}{m} = 1 \frac{N}{Am} \frac{m}{m} = 1 \frac{J}{Am^2} = 1 \frac{VA \cancel{A} s}{A \cancel{A} m^2} = 1 \frac{Vs}{m^2} = 1T \right] \dots \text{Tesla}$$

Nemoremo zamenjati \vec{v} in \vec{B} , če pa damo spredaj minus.
Pravilo desno roke(tri prsi), preko najmanjšega kota vrtimo.

*Samo če je hitrost pravokotna na polje naboja kroži.

$$evB = m \frac{v^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{eB}$$

$$evB = m\omega^2 r$$

$$\omega^2 = \frac{mr}{evB} \dots \text{Krožna hitrost}$$

$$2\pi\nu = \frac{mr}{evB} \dots \text{Ciklotronska frekvenca}$$

$$\frac{2\pi}{t_0} = \frac{mr}{evB} \dots \text{Obhodni čas}$$

Masni spektrometer/spektrograf

Uporablja se za določanje mas ionov.

Večja je masa večji je r.

Če hitrost ni pravokotna na silnice.

Kroži po vijačnici

12.3 Magnetna sila na vodni s tokom

$$\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B}$$

$\vec{F} = IeB \dots$ Odvisna od toka, naboja, in gostote magnetnega polja

$$\vec{F} = I\vec{e} \times \vec{B}$$

Če je $\vec{e} \perp \vec{B} \rightarrow F_{max}$

Če je $\vec{e} \parallel \vec{B} \rightarrow F = 0$

12.4 Gostota magnetenga polja

1. Tuljava

$n \dots$ število ovojev

$$B = \frac{\mu_0 n I}{l}$$

$$\mu_0 = 4\pi * 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

2. Vodnik s tokom

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

3. Magnetna sila med vodnikoma s tokom

$$F = I_2 B_1 b$$

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi a}$$

$$F = \frac{\mu_0 I_1 b}{2\pi a} I_1 I_2 \dots \text{privlačijo}$$

$$F = -\frac{\mu_0 I_1 b}{2\pi a} I_1 I_2 \dots \text{odbijajo}$$

12.5 Magnetni navor

$$M = 2r'F$$

$$\sin \varphi = \frac{r'}{\frac{b}{2}}$$

$$r' = \frac{b}{2} \sin \varphi$$

$$F = IaB$$

$$M = 2 \frac{b}{2} IaB \sin \varphi$$

$$ab = S \dots \text{Presek zanke}$$

$$M = IBS \sin \varphi \dots \text{za en ovoj}$$

$$M = IBSn \sin \varphi \dots \text{za tuljavo z n ovoji}$$

Kot φ je kot med osjo zanke in silnicami magnetnega polja

13 INDUKCIJA

13.1 Magnetni pretok

$\Phi_m \dots$ magnetni pretok

$\Phi_m = SB [1m^2 \frac{Vs}{m^2} = 1Vs = 1Wb] \dots$ Weber, samo če so pravokotne silnice

$$\Phi = S' B$$

$$S' = ab'$$

$$b' = b \cos \beta$$

$$\Phi = ab \cos \beta B$$

$$\Phi = BS \cos \beta$$

13.2 Indukcija pri premikanju vodnika v magnetnem polju

$E_i \dots$ Inducirano električno polje

$\vec{F}_e = \vec{F}_m \dots$ zato, ker se elektroni po žici ne premikajo pospešeno

$$eE_i = evB$$

$$E_i = vB / * b$$

$$bE_i = vBb$$

$$U_i = vBb \dots \text{inducirana napetost, } \vec{v} \perp \vec{B}$$

Če premikamo vodnik po magnetnem polju se na njegovih robovih pojavi inducirana napetost.

$$\vec{F}_l = I \vec{b} \times \vec{B}$$

LENZOVO PRAVILO

Inducirana napetost požene induciran tok vedno v takšno smer, da nastala magnetna sila na vodnik nasprotuje premikanju vodnika.

Mehansko delo spreminja v električno, ker magnetna sila vedno nasprotuje smeri premikanja

Če je hitrost vzporedna silnicam magnetnega polja potem je $U_i = 0 (\vec{v} \perp$

\vec{B})

$$U_i = v b B$$

$$\Delta S = v b \Delta t$$

$$v b = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

$$U_i = \frac{\Delta S B}{\Delta t}$$

$$U_i = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \dots \text{Faradejev zakon indukcije}$$

Inducirana napetost je sprememba magnetnega pretoka v danem času. Zaradi Lenzovega pravila je predznak minus

$U_i \Delta t = \Delta \Phi \dots$ suneek napetosti je enak spremembi magnetnega polja

$$\Delta \Phi = B S$$

$$\Delta \Phi = 2 B S$$

Tuljava

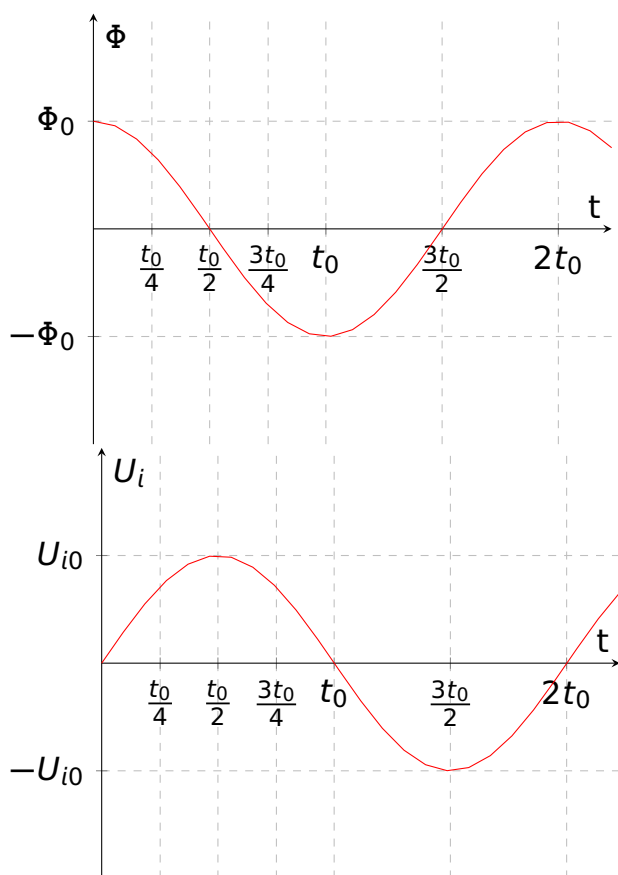
$$\Phi = N B S$$

Smer toka obrnemo:

$$\Phi = -N B S$$

$$\Delta \Phi = 2 N B S$$

13.3 Vrtenje tuljave v magnetnem polju



$$\varphi = \omega t \rightarrow \omega = 2\pi\nu$$

$$\Phi = \Phi_0 \cos(\omega t)$$

$$\Phi_0 = NBS$$

$$U_i = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$U_i = U_{i0} \sin(\omega t)$$

$\Phi' = U_i = \omega\Phi_0 \sin(\omega t)$... odvod od Φ je U_i ker je odvod od cosinsa sinus in $\omega\Phi_0 = U_{i0}$

$$U_{i0} = \omega NBS$$

Ko vrtimo tuljavo v magnetnem polju, dobimo izmenično napetost.

13.4 Transformator

Električno energijo pretvori nazaj v električno energijo, samo pri različni napetosti in različnem toku.

I... Primarna tuljava

II... Sekundarna tuljava

n_1 ... Število obojev primarne tuljave

n_2 ... Število obojev sekundarne tuljave

Deluje na osnovi indukcije. Z njim lahko transformiramo samo izmenične napetosti.

$$U_1 = n_1 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$U_2 = n_2 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} \dots \text{Razmerje napetosti je enako razmerju med ovoji}$$

$P_1 = P_2$... Če ni izgub, transformator deluje z zelo velikim izkoristkom(90%)

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Bolj daleč kot je transformator večja je napetost in manjši je tok, da pride do manjših izgub.

$$P = RI_{ef}^2 \dots \text{Čim manjša efektivna napetost}$$

$$Q = Pt$$

Vrtinčni tokovi povzročajo izgube, ker transformator segrevajo.

13.5 Induktivnost tuljave

$$B = \frac{\mu_0 n I}{l}$$

$$\Phi = n B s$$

$$\Phi = \frac{\mu_0 n^2 I S}{l}$$

$$U_i = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\mu_0 n^2 I S}{l} \frac{\Delta I}{\Delta t} \dots \text{Inducirana napetost}$$

$$L = \frac{\mu_0 n^2 S}{l} \dots \text{Induktivnost tuljave}$$

$$U_i = L \frac{\Delta I}{\Delta t} \left[1 \frac{\text{Vs}}{\text{A}} = 1H \right] \dots \text{Henry}$$

Inducirana napetost pove kolikšna napetost se inducira, če se tok spremeni za 1A v 1 sekundi.

13.6 Energija magnetnega polja

$$\begin{aligned}
 A &= U_i e \\
 U_i &= L \frac{\Delta I}{\Delta t} \\
 e &= I \Delta t \\
 A &= L \frac{\Delta I}{\Delta t} I \Delta t \\
 A = L \Delta I &\rightarrow \bar{I} = \frac{I + 0}{2} = \frac{I}{2} \\
 \Delta I &= I - 0 = I \\
 A &= L \frac{I^2}{2} \\
 A &= W_m \\
 W_m &= \frac{LI^2}{2} \dots \text{energija magnetnega polja} \\
 \omega_m &= \frac{W_m}{V} \left[1 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \right] \dots \text{Gostota energije magnetnega polja} \\
 \omega_m &= \frac{\mu_0 n^2 S I^2 U_0}{2 l V} \frac{l}{U_0} \\
 B &= \frac{\mu_0 n I}{l} \\
 \omega_m &= \frac{B^2 S l}{2 V \mu_0} \\
 \omega_m &= \frac{B^2}{2 \mu_0}
 \end{aligned}$$

13.7 Električni nihajni krog

Zaprta električni krog (sestavljata ga tuljava in kondenzator). Kondenzator je nabit.

$$t = 0$$

$e_0, E_0 \rightarrow$ največji naboj in električno polje

$I = 0, B = 0 \rightarrow$ v tuljavi ni toka in ni magnetnega polja

Žačne teči tok

$$t = \frac{t_0}{4}$$

$e = 0, E = 0 \rightarrow$ na kondenzatorju

$I = 0, B = 0 \rightarrow$ največji tok in magnetno polje

Tok se začne manjšati in tuljava se začne upirati (inducirana napetost)

$$t = \frac{t_0}{2}$$

e_0, E_0

$I = 0, B = 0$

$$t = \frac{3t_0}{4}$$

$$e = 0, E = 0$$

$$I_0, B_0$$

$$t = t_0$$

$$e_0, E_0$$

$$I = 0, B = 0$$

Ponavljanje dejanja(periodičnost) spreminjajo se vrednosti.

13.8 Lastna frekvenca električnega nihajnega kroga

$$W = W_m + W_e = W_{e0} = W_{m0} \dots \text{največja energija}$$

$$W_{e0} = W_{m0}$$

$$\frac{LI_0^2}{2} = \frac{e_0^2}{2C} = \left(\frac{CU_0^2}{2}\right)$$

$$LI_0^2 = \frac{e_0^2}{C}$$

$$L e_0^2 \omega^2 = \frac{e_0^2}{C}$$

$$\omega^2 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

$$\omega = 2\pi\nu$$

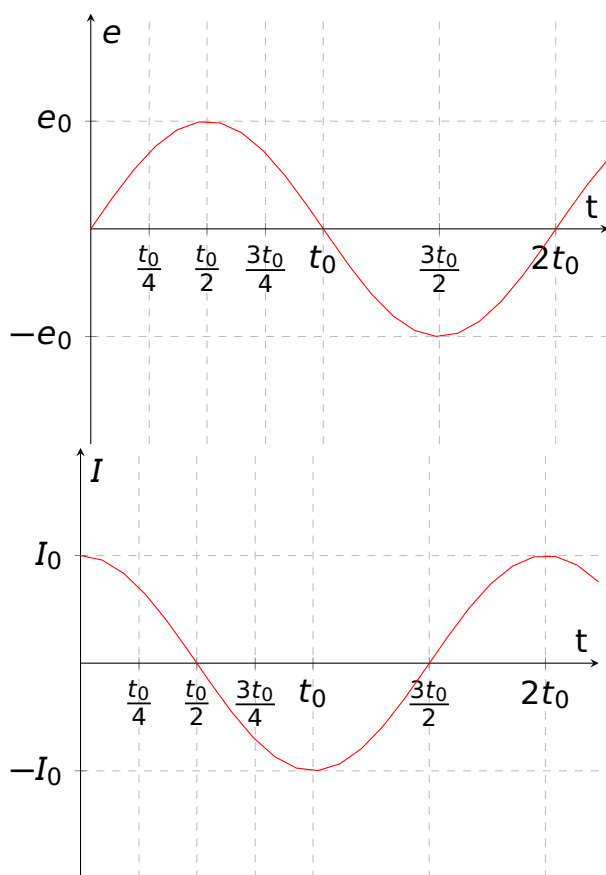
$$\nu = \frac{\omega}{2\pi}$$

$$\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$t_0 = \frac{1}{\nu}$$

$$t_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

Nihajni čas je odvisen samo od induktivnosti tuljave in kapacitete kondenzatorja.



$$e = e_0 \sin(\omega t)$$

$$I = I_0 \cos(\omega t)$$

$$s = s_0 \sin(\omega t)$$

$$v = v_0 \cos(\omega t)$$

$$v_0 = \omega s_0$$

$$I_0 = \omega e_0$$

13.9 Elektro magnetno valovanje

Dipolna antena(odprt električni nihajni krog)

$$\vec{B} \perp \vec{E}, \vec{B} \perp \vec{c}, \vec{c} \perp \vec{E}$$

To je **transverzalno valovanje**.

$$\omega_m = \frac{B_0^2}{2\mu_0}$$

$$\omega_e = \frac{\varepsilon_0 E_0^2}{2}$$

$$\frac{B_0^2}{2\mu_0} = \frac{\varepsilon_0 E_0^2}{2}$$

$$E_0^2 = \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0} B_0^2$$

$$E_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} B_0$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} \dots \text{hitrost svetlobe ali elektromagnetnega valovanja}$$

$$E_0 = cB_0$$