VAJE IZ FIZIKE ZA ŠTUDENTE FARMACIJE

Matej Komelj

Ljubljana, september 2013

Kazalo

1. Uvod

Pričujoči zapis je namenjen študentom enovitega magisterskega študija farmacije pri predmetu Fizika. Študenti tega programa se s fiziko formalno srečajo samo v prvem semestru študija, ko na predavanjih in vajah obdelajo domalo vso klasično fiziko, ki jo študenti večine ostalih fakultet običajno poslušajo skozi dva semestra. Predvsem na vajah, kjer se rešujejo računske naloge, je obseg snovi zato zelo zgoščen. Nabor nalog, ki se obravnavajo, mora biti temu primerno skrbno izbran. Skozi vrsto let, ko so osnovni tečaj fizike opravile mnoge generacije, se je pokazalo, da je v dveh urah vaj, ki potekata enkrat tedensko, smiselno obdelati nekako štiri računske naloge (seveda, včasih kakšno več, drugič spet kakšno manj, odvisno od zahtevnosti trenutne snovi ter zavzetosti, prizadevnosti, zbranosti in, v veliki meri, tudi predznanja študentov). Naloge, ki sledijo, so zato urejene po sklopih, v vrstnem redu, v kakršnem si običajno sledijo iz tedna v teden na vajah. Vsakemu sklopu je na začetku dodan kratek zapis o teoriji, ki naj bi študentom osvežil spomin na snov, ki so jo predhodno obravnavali na predavanjih ter na enačbe, ki jih pri reševanju potrebujejo.

Treba je povdariti, da namen teh nalog nikakor ni nadomestiti zbirk nalog, katerih seznam se nahaja na koncu. Te naloge služijo zgolj pripravi na vaje in lažjemu sledenju reševanja nalog tam. Študentom se toplo priporoča, da pri samostojnem delu doma ter pripravah na kolokvije oz. pisne izpite posežejo vsaj po kateri, če ne večih, zbirk nalog. Verjetno najboljše gradivo pa predstavljajo stari kolokviji in izpiti, ki so jih reševale predhodne generacije.

Seveda je iz osnov fizike težko iznajti povsem izvirno nalogo. Gradivo iz teh zapiskov je nastajalo skozi leta, se vseskozi dodajalo in, vsaj upam, izboljševalo. Naj se zahvalim vsem s katerimi sem imel čast sodelovati pri vodenju vaj iz Fizike za študente farmacije in so pravtako zaslužni, da so te naloge dobile zdajšno podobo: D. Arčon, J. Bajc, I. Bizjak, D. Dvoršak, U. Kostić, T. Mertelj, M. Praprotnik, S. Prelovšek Komelj, M. Ravnik, T. Rejec, G. Veble, M. Žnidarič in M. Horvat. Slednjemu gre še prav posebna zahvala za vsestransko nesebično pomoč in vzpodbudo pri nastajanju tega besedila.

2. Kinematika v eni razsežnosti, enakomerno kroženje

Premo gibanje v času t je opisano s potjo $s(t)$, trenutno hitrostjo $v(t)$ in pospeškom $a(t)$. Omejimo se na primere, ko je slednji lahko enak nič (govorimo o premo-enakomernem gibanju) ali pa končen, a ves čas konstanten (govorimo o enakomerno pospešenem gibanju). Količini $v(t)$ in $a(t)$ sta definirani kot ustrezna časovna odvoda poti s oz. hitrosti v:

$$v(t) = \frac{ds}{dt}, a(t) = \frac{dv}{dt}$$

iz česar sledi za hitrost:

$$v(t) = v(t = 0) + at$$

in pot:

$$s(t) = s(t = 0) + v(t = 0)t + \frac{at^2}{2},$$

pri čemer količini $s(t = 0)$ in $v(t = 0)$ označujeta pot opravljeno do začetka merjenja časa $t = 0$ oz. trenutno hitrost na začetku.

Pospešek, ki zmanjšuje trenutno vrednost hitrost včasih imenujemo pojemek, ki je negativen ($a < 0$).
Telesa, ki se prosto gibljejo v navpični smeri imajo vedno težni pospešek $g = 9{,}81\,\mathrm{m/s^2}$ oz. zaokroženo $g = 10\,\mathrm{m/s^2}$ (prosto gibanje navpično navzdol je pospešeno, navpično navzor pa pojemajoče).

Enakomerno kroženje opišemo s kotno hitrostjo ω, ki je definirana kot odvod kota φ po času t:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

Namesto kotne hitrosti lahko podamo obhodni čas $t_0 = 2\pi/\omega$ ali pa frekvenco $\nu = 1/t_0$. Točka na obodu, oddaljenem r od središča pri zasuku za φ opiše pot $s = r\varphi$ in ima obodno hitrost $v = r\omega$.

Naloge:

1. Vlak vozi iz kraja A v kraj B eno uro. Po štiridesetih minutah vožnje iz kraja A, se sreča z vlakom, ki pelje v nasprotni smeri s povprečno hitrostjo 40 km/h in iz kraja

B krene deset minut kasneje kot prvi vlak krene iz kraja A. Kolikšna je razdalja med krajema A in B? Predpostavi, da gibanje obeh vlakov ves čas lahko opišemo kot premo enakomerno.

2. Pri speljevanju s stranske na glavno cesto pospešujemo z mesta z enakomernim pospeškom $3\,\mathrm{m/s^2}$. Najmanj kako daleč za nami je moral ob trenutku našega speljevanja biti avtomobil, ki vozi po glavni cesti v isti smeri s hitrostjo $50\,\mathrm{km/h}$, če ne želimo, da nas dohiti?

3. Kolikšno pot napravi avto, ki najprej $20\,\mathrm{s}$ enakomerno pospešuje z mesta s pospeškom $1\mathrm{m/s^2}$, se nato eno minuto pelje z enakomerno hitrostjo, zatem še pet sekund pospešuje s pospeškom $1\,\mathrm{m/s^2}$, se zopet eno minuto pelje z enakomerno hitrostjo in na koncu do ustavitve zavira pet sekund? Nariše grafe poti, hitrosti in pospeška v odvisnosti od časa!

4. Mimo dva metra visokega okna pade cvetlični lonček v četrtinki sekunde. Iz kakšne višine je lonček padel?

5. Kolo se vozi po ravni cesti s hitrostjo $v = 18\,\mathrm{km/h}$. Koliko obratov gonilk na sekundo mora opraviti kolesar, če je polmer koles $r = 35$ cm ter razmerje polmerov prednjega in zadnjega zobnika 2:1?

3. Kinematika v dveh razsežnostih, statika, dinamika

Gibanje v več razsežnostih opišemo tako, da vsako razsežnost obravnavamo ločeno. Skupna količina, ki nastopa v enačbah za posamezno razsežnost je čas t.

Premo gibanje (v posamezni razsežnosti) je posledica sile, ki je definirana kot delovanje telesa na telo. Sile so vektorji, kar pomeni, da imajo velikost in smer. Gibanje v posamezni razsežnosti je odvisno od ustrezne komponente sile. Zakonitosti, ki povezujejo sile z gibanje opisujejo trije Newtonovi zakoni:

1. Telo na katerega delujejo sile, katerih rezultanta je enaka nič, miruje oz. se giblje z enakomerno hitrostjo.

2. Rezultanta sil $\vec{F}$, ki deluje na posamezno telo je premo sorazmerna z njegovim pospeškom $\vec{a}$:
$$\vec{F} = m\vec{a},$$
kjer je m masa telesa.

3. Zakon vzajemnega učinka: Če prvo telo deluje na drugo telo z neko silo, deluje drugo telo na prvo telo z isto veliko, a obratno usmerjeno silo.

Pri obravnavi sil, ki delujejo na posamezno telo, moramo paziti, da upoštevamo samo tiste sile, ki res delujejo samo na to telo (in ne npr. nekakšnih sil telesa samega nase).

Na telo, ki se nahaja na podlagi, deluje sila podlage F_p, ki je pravokotna na stično ploskev in telo skuša zadr zati nad podlago. Kadar hočemo telo premakniti vzdolž podlage, temu nasprotuje t.i. sila lepenja F_l, ki je vedno usmerjena tako, da premiku nasprotuje in po velikosti ne presega produkta koeficienta lepanja k_l in velikosti sile podlage F_p: $F_l \leq k_l F_p$. Če sila, s katero želimo telo premakniti vzdož podlage, preseže to vrednost, se telo prične gibati. Gibanju vzdolž podlage lahko nasprotuje sila trenja F_t, ki je produkt koeficienta trenja k_t in sile podlage: $F_t = k_t F_t$. Vedno kaže v nasprotni smeri gibanja.

Silo teže $F_g = mg$, ki deluje na telo na klancu z nagibom φ je navadno priporočljivo razstaviti na statično komponento $F_s = F_g \cos(\varphi)$, ki deluje v nasprotni smeri kot sila podlage, ter dinamično komponento $F_d = F_g \sin(\varphi)$, ki deluje vzdož klanca.

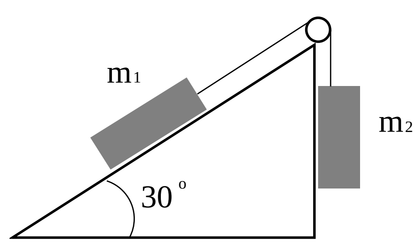
Naloge:

1. Sekundo pred koncem tekme košarkar iz sredine igrišča vrže na koš. Kolikšna mora biti začetna hitrost žoge in pod kolikšnim kotom mora biti vržena, če naj v koš, brez predhodnega odboja od table, pade ravno ob pisku sirene? Dolžina igrišča je 26 m, obroč je od tal oddaljen 306 cm, žoga je vržena iz višine 206 cm. Vrtenje žoge zanemari. Pod kolikšnim kotom in s kolikšno hitrostjo prileti žoga v koš?

2. Hitrost neke jadrnice je zaradi naraščajočega vetra naraščala po obrazcu $v(t) = v_0 + kt^3$, pri čemer je $v_0 = 1{,}5\,\mathrm{m/s}$ in $k = 2 \times 10^{-10}\,\mathrm{m/s^4}$. Kolikšen je bil pospešek jadrnice 30 minut po tem, ko je začel pihati močnejši veter? Kolikšno pot je opravila jadrnica v eni uri plovbe ob naraščajočem vetru?

3. Človek z maso $m = 80\,\mathrm{kg}$ med vožnjo v dvigalu stoji na tehtnici. Kolikšno težo pokaže tehtnica, ko se dvigalo premika enakomerno navzgor (navzdol) s hitrostjo $v = 1\,\mathrm{m/s}$? Kolikšno težo pa tehtnica pokaže, ko se dvigalo prične gibati navzgor (navzdol) oz. se pri gibanju navzgor (navzdol) zaustavlja, če predpostavimo, da je pri tem absolutna vrednost pospeška oz. pojemka enaka $1\,\mathrm{m/s^2}$?

4. Ploščati uteži na sliki sta preko lahkega škripca povezani z lahko vrvjo. Kolikšna je lahko največ (najmanj) masa m_2, če je masa $m_1 = 1\,\mathrm{kg}$, da sistem miruje? S kolikšnim pospeškom pa se uteži gibljeta, če utež maso m_2 nadomestimo z dvakrat težjo (lažjo) utežjo? Koeficient lepenja (trenja) med utežjo z maso m_1 in podlago je 0,3 (0,2).



5. Na ravni podlagi je deska z maso $M = 2\,\mathrm{kg}$, na deski pa ploščata utež z maso $m = 1\,\mathrm{kg}$. Kolikšno mejo mora preseči sila, s katero potegnemo desko v vodoravni smeri, da zdrsne utež z deske? Koefecient trenja med desko in podlago je $k_1 = 0{,}4$, koeficient lepenja med utežjo in desko pa $k_2 = 0{,}3$.

4. Statika, dinamika, mehansko delo, moč in energija

Delo, ki ga opravi sila $\vec{F}$ na poti med točkama s_1 in s_2 je enako integralu skalarnega produkta sile in prirastka poti $d\vec{s}$:

$$A = \int_{s_1}^{s_2} \vec{F} \cdot d\vec{s}.$$

Integracijsko območje je pot, ki povezuje točki s_1 in s_2. Namesto skalarnega produkta lahko množimo prirastek poti s komponento sile, ki je vzporedna s prirastkom poti. Sila, ki je pravokotna na pot, ne opravi nobenega dela. Delo, ki ga sila opravi na časovno enoto, imenuje moč $P = A/t$. V primeru, da je hitrost telesa pri tem konstantna (npr. ko po ravni podlagi vlečemo telo in pri tem nasprotujemo sili trenja), moč lahko izračunamo kot $P = Fv$. Delo povzroči spremembo energije. Za začetek upoštevamo kinetično energijo:

$$W_k = \frac{mv^2}{2},$$

ki jo ima telo z maso m, ki se giblje s hitrostjo v ter potencialno energijo:

$$W_p = mgh,$$

ki jo ima telo z maso m pod vplivom težnosti opisane s težnim pospeškom g, katerega navpični položaj se za h razlikuje od navpičnega položaja izhodišča. Izhodišče si izberemo poljubno, kar pomeni, da je potencialna energija, definirana na tak način, vedno relativna in lahko zavzema pozitivne ali negativne vrednosti. Z drugimi besedami: izračunamo lahko le spremembo potencialne energije. Zakon o ohranitvi mehanske energije zapišemo kot:

$$A = \Delta W_k + \Delta W_p.$$

Naloge:

1. Dva planinca se v navezi vzpenjata po poledenelem pobočju. Kolikšen je lahko največ naklon pobočja, da jima ne zdrsne. Planincu, ki je drugi v navezi zaradi nepazljivosti spodrsne tako, da začne drseti po pobočju navzdol. To takoj opazi prvi in ga poskuša zadržati z vrvjo s katero sta povezana. Kolikšen je lahko največ naklon pobočja, da mu to uspe in ne zdrsne tudi sam? Kolikšen pa bi bil ta kot, če bi bili vlogi zamenjani-

zdrsnilo bi prvemu, zadržati pa bi ga poskušal drugi? Koeficient trenja med čevlji in ledom je 0,1, koeficient lepenja pa 0,2, masa prvega planinca je 100 kg, masa drugega pa 50 kg. Oba planinca obravnavaj kot "kladi".

2. Čistilec oken sedi na odru, obešenem preko lahkega škripca. Ko se želi premakniti v višje nadstropje, vleče za prosti konec vrvi tako močno, da pritiska na oder s silo 500 N. S kolikšnim pospeškom se dviga oder? Masa praznega odra je 30 kg, moža pa 90 kg.

3. Kolikšno delo opravimo, ko klado z maso $m = 1\,\mathrm{kg}$ premaknemo za $s = 1\,\mathrm{m}$ po hrapavi podlagi s koefiecintom trenja $k_{\mathrm{t}} = 0{,}1$ tako, da jo vlečemo z vrvico, ki s podlago oklepa kot 30°? Kolikšno moč pri tem trošimo, če je hitrost klade med premikanjem ves čas $v = 1$ m/s?

4. Otrok se spusti s sanmi z vrha 10 m dolgega klanca z naklonom 20°. Po kolikšnem času se pripelje do dna klanca? Koeficient trenja med sanmi in klancem je 0,15. S kolikšno stalno silo pa mora potiskati sani po istem klancu navzgor, da imajo sani na vrhu hitrost 1,85 m/s? Masa sani je 8 kg. Otrok potiska sani s silo, ki je vzporedna s klancem.

5. Sunek sile in gibalna količina

Mehanska energija se vedno ne ohranja, saj delo sil lahko povzroči deformacijo telesa ali pa se energija porabi za segrevanje, npr. pri trenju. Bolj splošen je zato izrek o sunku sile $\vec{F}dt$ in spremembi gibalne količine $d\vec{G}$. Gibalna količina je vektor, ki jo ima telo z maso m pri gibanju s hitrostjo $\vec{v}$:

$$\vec{G} = m\vec{v}.$$

Spremembo gibalne količine povzroči sunek zunanjih sil:

$$\vec{F}dt = d\vec{G}.$$

Pri računanju z gibalno količino določimo telesa, ki sestavljajo sistem. Celotna gibalna količina je vsota gibalnih količin posameznih teles. Sile med temi telesi so notranje in na gibalno količino sistema ne vplivajo!

Telesa med seboj trkajo. Gibalna količina sistema se vedno ohranja (če nanj ne delujejo zunanje sile), (kinetična) energija pa samo pri t.i. prožnih trkih. Trke pri katerih se kinetična energija ne ohranja imenujejo neprožni.

Naloge:

1. Sedež otroške gugalnice z maso 6 kg visi na 2,5 m dolgih, lahkih vrvicah. Na sedežu spi kuža z maso 3 kg. V nekem trenutku kuža odskoči z gugalnice s hitrostjo 2 m/s v vodoravni smeri. Za kolikšen največji kot se odkloni sedež po odskoku?

2. Po ravnih tirnicah se s hitrostjo 2m/s pelje vagonček. V nasprotni smeri, pod kotom 60° glede na tirnice s hitrostjo 2 m/s priteče dvajset kilogramski otrok, skoči na vagonček in tam obstane. Kolikšna je masa vagončka, če se mu hitrost zmanjša na 1 m/s? Kolikšen je sunek sile pravokotno na tirnice?

3. Na ledeni ploskvi leži klada z dolžino 10 cm in maso 1 kg. Izstrelek z maso 2 g zadene klado s hitrostjo 300 m/s in jo prebije tako, da gre skozi težišče. Kolikšni sta končni hitrosti izstrelka in klade? Pri gibanju po kladi je izstrelek deloval na les s silo 500 N. Klada drsi po ledu brez trenja.

4. Dve kladi ($m_1 = 0{,}02$ kg, $m_2 = 0{,}03$ kg, $v_1 = 1{,}5$ m/s, $v_2 = 0{,}5$ m/s) drsita po podlagi brez trenja in se približujeta pod kotom $\varphi = 60°$. S kolikšno hitrostjo in v kateri smeri moramo potisniti tretjo klado ($m_3 = 0{,}05$ kg) proti prvima, da ob trku vse tri obmirujejo?

6. Navor, vztrajnostni moment, vrtenje, nihanje

Vsota vseh sil na telo je lahko enaka nič, a telo vseeno ne miruje. Primer homogene palice, ki miruje samo, če jo podpremo "na sredi"(v težišču). Vpeljati moramo navor. Najprej izberemo os-poljubno točko okrog katere bomo navore računali. S pametno izbiro osi si lahko olajšamo računanje. Ročica $\vec{r}$ je vektor, ki povezuje os s prijemališčem sile $\vec{F}$. Navor $\vec{M}$ je vektor, definiran z vektorskim produktom:

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

V praksi bomo največkrat računali velikost navora, ki je izražena kot produkt velikosti sile F in pravokotne razdalje med nosilko sile (premice, na kateri sila leži) in osjo. Pri tem moramo paziti v katero smer glede na izbrano os, določen navor vrti telo. Prvi Newtonov zakon moramo tako dopolniti, da telo miruje oz. se giblje premo enakomerno le, če sta vsoti vseh sil in navorov nanj enaki nič. Drugi Newtonov zakon za vrtenje povezuje vsoto vsej navorov s kotnim pospeškom α:

$$M = J\alpha$$

Pri tem seveda obravnavamo samo vrtenje okoli določene osi. Kotni pospešek je definiran kot časovni odvod kotne hitrosti ω:

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

in je povezan s pospeškom a točke na obodu, oddaljen za r od osi kot $a = r\alpha$ (podobna je povezava med kotno in obodno hitrostjo $v = r\omega$). Količino J imenujemo vztrajnostni moment in ima nekako vlogo mase m pri premem gibanju. Tudi J je seveda odvisen od osi, okoli katere vrtenje opisujemo. Za telo sestavljeno iz množice točk m_i je vztrajnostni moment definiran kot:

$$J = \sum_i m_i r_i^2,$$

za nekaj tipičnih togih teles:

točka, obroč	mr^2
plošča, valj	$1/2mr^2$
palica okoli krajišča	$1/3mr^2$
palica okoli sredine	$1/12mr^2$
krogla	$2/5mr^2$

Nihanje je periodično gibanje okoli ravnovesne lege, pri čemer se odmik $u(t)$ spreminja kot:

$$u(t) = u_0 \sin(\omega t)$$

oz.

$$u(t) = u_0 \cos(\omega t)$$

odvisno od tega v katerem trenutku pričnemo meriti čas (še bolj splošen zapis je s pomočjo faznega premika δ: $u(t) = u_0 \sin(\omega t + \delta)$). Odmik u je definiran glede na ravnovesno lego v kateri je vsota vseh sil (ali navorov) na telo enaka nič. V ravnovesni legi bi telo mirovalo, če ga iz nje nebi premaknili in s tem povzročili nihanja. Največji odmik u_0 je amplituda, količino ω pa imenujemo kotna frekvenca (projekcija točke, ki enakomerno kroži po krožnici s polmerom u_0 in kotno hitrostjo ω sovpada z gibanjem nihajočega telesa s kotno frekvenco ω in amplitudo u_0). Prvi odvod odmika po času je hitrost, drugi odvod odmika po času pa pospešek nihala. Največji vrednosti teh količin sta $u_0\omega$ oz. $u_0\omega^2$. Nihajni čas je $t_0 = 2\pi/\omega$, število nihajev v časovni enoti pa frekvenca $\nu = 1/t_0$.

Matematično nihalo predstavlja utež na dovolj dolgi vrvi (da za odmike φ približno velja $\sin(\varphi) \approx \varphi$, pri φ izražen v radianih). Nihajni čas je:

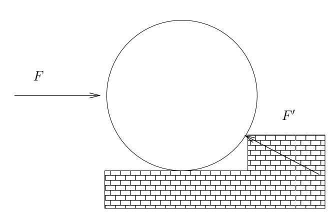
$$t_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

kjer sta l dolžina vrvice in g težni pospešek.

Naloge:

1. Na mizo v enakomernih razmikih namestimo štiri vozičke. Prvi trije imajo maso 2 kg, zadnji pa maso 3 kg. Prvi voziček s hitrostjo 5 m/s porinemo proti drugemo vozičku. S kolikšno hitrostjo se bo čez nekaj časa gibal zadnji voziček, če:
a) se vozički ob trkih zlepijo?
b) vozički prožno trkajo?

2. Kroglo z maso 50 kg in polmerom 20 cm potiskamo v vodoravni smeri s silo $F = 100$ N, kot prikazuje slika. S kolik]šno silo F' deluje rob stopnice na kroglo? Najmanj s kolikšno silo F moramo potiskati, da kroglo prekucnemo čez stopnico? Višina stopnice je 10 cm.



3. Vreteno za dvigovanje vedra iz vodnjaka je sestavljeno iz lesenega valja z maso 5 kg in polmerom 10 cm ter lahke ročice. Na valj je navita vrv, na kateri visi vedro z vodo s skupno maso 7 kg. S kolikšnim pospeškom se giblje vedro, ko se odlomi ročaj, če se vreteno vrti brez trenja?

4. Utež obešeno na dolgi vrvici sunemo v vodoravni smeri tako, da ima na začetku hitrost $v = 10\,\mathrm{cm/s}$. Kolikšen je nihajni čas takega nihala, če se vrvica na kateri visi utež odkloni za največ $\varphi_0 = 5°$?

7. Prožnost,vzgon

Sila F, ki je potrebna, da vzmet skrčimo oz. raztegnemo za x je sorazmerna s koeficientom k:

$$F = kx.$$

Posledica tega je prožnostna energija:

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

Zakon o ohranitvi mehanske energije lahko dopolnimo s prispevkom spremembe prožnostne energije:

$$A = \Delta W_k + \Delta W_p + \Delta W_{pr}$$

Prožnost vzmeti je posledica elastičnosti materiala. Elastičnost je lastnost nekaterih snovi (npr. kovin), da se potem, ko odstranimo razlog za deformacijo (npr. zunanjo silo), vrnejo v stanje, ki so ga imele pred deformacijo. Primer je žica (palica) dolžine l in preseka S, ki se pod vplivom natezne (tlačne) sile raztegne (skrči) za Δl. Velja zveza:

$$\frac{F}{S} = E\frac{\Delta l}{l},$$

kjer je E elastični (Youngov) modul snovi. Deformacija ostane trajna, če sila preseže mejo elastičnosti oz. pride do pretrganja (material poči), če sila preseže mejo trdnosti.

Utež z maso m pritrjena na vzmet s koeficientom k predstavlja nihalo na vzmet z nihajnim časom:

$$t_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

Na telo, ki ga obdaja tekočina (plin ali kapljevina) z gostoto ρ, delujejo sile vseh atomov oz. molekul, ki to tekočino sestavljajo. Namesto opisa vseh sil je prikladneje vpeljati tlak p, ki je definiran kot kvocient med celotno pravokotno komponento F sile na ploskev z velikostjo S:

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

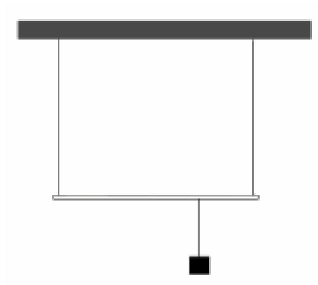
Hidrostatični prispevek k tlaku je odvisen od globine h ($h = 0$ v primeru kapljevine ustreza gladini in narašča v smeri težnega pospeška) in je posledica teže tekočine nad dano točko:

$$p(h) = \rho g h.$$

V ravnovesju je v stiku dveh tekočin enak v obeh tekočinah. Tako moramo npr. k hidrostatičnemu tlaku v kapljevini v odprti posodi prišteti tlak zunanjega plina, npr. zračni tlak p_0. V kolikor je posoda zaprta in gladina seše do pokrova, je hidrostatiçni tlak pri $h = 0$ enak nič. Posledica razlike v hidrostatičnem tlaku med spodnjo in zgornjo ploskvijo telesa je sila vzgona, ki je, po Arhimedovem zakonu, nasprotno enaka sili teže izpodrinjene tekočine.

Naloge:

1. Dve enako dolgi žici z enakim presekom (ena iz medenine, druga iz železa) obesimo pod strop. Na žici obesimo lahko prečko, na prečko pa utež. Kam moramo postaviti utež (glede na žico z manjšim prožnnostnim modulom), da se žici enako raztegneta? Prožnostni modul železa je $1{,}5 \times 10^{11}$ N/m^2, medenine pa 10^{11} N/m^2.



2. Na dve navpični, vzporedno postavljeni vzmeti pritrdimo desko z maso 2 kg. Koeficient vsake izmed vzmeti je k = 1000 N/m, neraztegnjena dolžina pa 10 cm. Kje je ravnovesna lega takšnega nihala in kolikšen je nihajni čas nihanj okoli te lege? Nato na desko postavimo majhen kamenček, nihalo odmaknemo iz ravnovesne lege z neko amplitudo, in pustimo da zaniha. Kolikšna je lahko največ ta amplituda, da kamenček na deski ne bo poskakoval?

3. Porozna tableta plava na vodi tako, da jo je na začetku, ko se vanjo ne vpije še nič vode, polovica potopljena pod vodno gladino. Kolikšna je povprečna gostota takšne tablete? V tableto se počasi vpija voda, zaradi česar tableta vse bolj tone. Kolikšen je masni delež m'/m_0 absorbirane vode glede na začetno maso tablete m_0 v trenutku, ko tableta potone pod vodno gladino? Gostota vode je $\rho = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$.

4. Krona z maso 1 kg je narejena iz zlata in srebra. Ko jo potopimo v vodo in stehtamo (npr. z vzmetno tehtnico), je njena navidezna teža 9,163 N. Kolikšen je delež zlata v kroni? Gostota zlata je $19300\,\mathrm{kg/m^3}$, srebra $10600\,\mathrm{kg/m^3}$, vode pa $1000\,\mathrm{kg/m^3}$.

8. Težišče, gravitacija, Bernoullijeva enačba, upor pri gibanju v tekočinah

Težišče togega telesa je definirano kot točka v kateri moramo telo podpreti z nasprotno silo teže, da dosežemo ravnovesje navorov. Hkrati je težišče tudi masno središče telesa. V primeru, da je telo homogeno, težišče sovpada z geometrijskim središčem telesa. Položaj $\vec{r}^*$ težišča telesa, ki ga sestavljajo delčki z masami m_i in koordinatami $\vec{r}_i$ izračunamo kot:

$$\vec{r}^* = \frac{\sum_i m_i \vec{r}_i}{\sum_i m_i}.$$

Po izreku o težišču se njegov položaj ne spreminja, če na telo ne delujejo zunanje sile.

Sila teže je posledica privlaka dveh mas m_1 in m_2 katerih težišči sta oddaljeni r. Po Newtonovem gravitacijskem zakunu je velikost enaka:

$$F = \frac{m_1 m_2}{r^2} G,$$

kjer je G splošna gravitacijska konstanta ($G = 6{,}672 \times 10^{-11}\ \mathrm{Nm}^2/\mathrm{kg}^2$). Iz primerjave s silo teže na površini zemlje $F_g = mg$, lahko povežemo težni pospešek g z maso zemlje M_z, njenim polmerom $r_0 = 6400\,\mathrm{km}$ in konstanto G:

$$g = \frac{M_z G}{r_0^2}.$$

Poseben primer zakona o ohranitvi energije je Bernoullijeva enačba. Njena veljavnost je omejena, saj velja samo primer stacionarnega laminarnega toka nestisljive in neviskozne tekočine z gostoto ρ. Povezuje hitrost in tlak v dveh točkah na višinah z_1 in z_2 vzdolž iste tokovnice:

$$p_1 + \rho g z_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} = p_2 + \rho g z + \rho \frac{v_2^2}{2}.$$

Na telo, ki ima glede na tekočino hitrost v deluje sila upora. Razmeroma preprosto je obravnavati dva skrajna primera in sicer gibanje z nizko hitrostjo po zelo viskozni tekočini (npr. olje), pri čemer je sila upora sorazmerna s hitrostjo: $F \propto v$, in gibanje z visoko hitrostjo po tekočini z nizko viskoznostjo (npr. zrak), pri čemer je sila upora sorazmerna s kvadratom hitrosti: $F \propto v^2$.

Naloge:

1. Janko z maso $m_J = 80$ kg in Metka z neznano maso m_M sedita v kanuju z maso $m = 30$ kg, ki miruje na gladini jezera. Sedeža v kanuju sta oddaljena $l = 3$ m in sta nameščena simetrično glede na težišče kanuja. Metka in Janko med seboj zamenjata sedeža, zaradi česar se kanu premakne za $d = 0{,}4$ m glede na obalo. Kolikšna je masa Metke m_M, če zanemarimo upor vode pri premikanju kanuja?

2. V prihodnosti raziskovalec pristane na neznanem planetu velikosti Zemlje. S seboj ima matematično nihalo, ki na Zemlji niha z nihajnim časom $t_0 = 2$ s. Kolikšna je masa neznanega planeta v primerjavi z maso Zemelje, če raziskovalec na njegovem površju v minuti našteje dvajset nihajev?

3. Pretok zraka merimo z Venturijevo cevjo z okroglima presekoma, katerih polmera sta $r_1 = 5$ cm in $r_2 = 3$ cm. Razliko zračnih tlakov na mestih obeh presekov merimo s pomočjo cevke v obliki črke U, napolnjene z vodo. Kolikšna je hitrost zraka na mestu večjega preseka, če je razlika višin gladin v cevki $\Delta h = 2$ cm? Gostota zraka je $\rho_{\mathrm{z}} = 1{,}3\,\mathrm{kg/m^3}$, gostota vode pa $\rho_{\mathrm{v}} = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$.

4. Kolesarju nasproti piha veter s hitrostjo $v_0 = 10\,\mathrm{m/s}$. Vozi z isto močjo kot v brezvetrju, zato za ravni odsek ceste potrebuje dvakrat več časa kot ga potrebuje, če veter ne piha. S kolikšno hitrostjo vozi? S kolikrat večjo močjo bi moral voziti, če bi želel voziti z isto hitrostjo kot v brezveterju? Predpostavimo, da kolesar premaguje samo silo zaradi zračnega upora.

9. Valovanje-interferenca

Valovanje je potovanje motnje po sredstvu. Omejimo se na primer, ko je izvir valovanja, ki ustvarja motnjo, harmonično nihalo, ki niha s kotno frekvenco ω. Širjenje motnje $u(x,t)$ vzdolž smeri x zapišemo kot:

$$u(x,t) = u_0 \sin(kx - \omega t)$$

oz.

$$u(x,t) = u_0 \cos(kx - \omega t)$$

odvisno od tega v katerem trenutku pričnemo meriti čas (še bolj splošen zapis je s pomočjo faznega premika δ: $u(x,t) = u_0 \sin(kx - \omega t + \delta)$). Podobno kot pri nihanju u_0 označuje amplitudo oz. največji odmi, k pa je valovno število povezano z valovno dolžino λ:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}.$$

Valovna dolžina λ je razdalja med dvema sosednjima točkama, ki sta v fazi, kar pomeni, da motnja tam hkrati doseže iste vrednosti. Valovanje se širi s hitrostjo c:

$$c = \nu\lambda,$$

kjer je seveda $\nu = \omega/2\pi$. Količino $kx - \omega t + \delta$ imenujemo faza θ. Prvi in drugi časovni odvod odmika sta trenutna hitrost oz. pospešek delčka sredstva na danem mestu z največjima vrednostima $u_0\omega$ oz. $u_0\omega^2$. Prve količine ne smemo zamenjati s hitrostjo c širjenja valovanja! Valovanji istih frekvenc (in valovnih dolžin), ki se širita iz dveh različnih izvirov, se v poljubni točki prostora lahko seštejeta tako, da se motnja ojači, kar imenujemo konstruktivna interferenca. Pogoj zanjo je razlika faz enaka večkratniku 2π: $\theta_1 - \theta_2 = N2\pi$, kjer je N element množice celih števil z ničlo. Nasprotje je destruktivna interferenca, katere pogoj je: $\theta_1 - \theta_2 = (2N + 1)\pi$. V primeru, da opazujemo interferenco valovanj, ki izvirata iz dveh sočasnih izvirov, ki sta med seboj oddaljena d, na dovolj oddaljenem zaslonu (oddaljenost mnogo večja od d ali λ za konstruktivno interferenco velja:

$$d \sin(\varphi) = N\lambda,$$

kjer kot φ označuje smer v kateri pride do ojačitve glede na simetralo zveznice izvirov.

Preko motnje se v sredstvo prenaša energija izvira. Energijo, ki se prenese na časovno enoto imenujemo energijski tok $I = dE/dt$. Ta je seveda enak moči P izvira. Pomembno je kako je energijski tok razporejen po prostoru. Pravokotno skozi ploskev S teče energijski tok I, kar pomeni, da je na tej ploskvi gostota energijskega toka $j = I/S$. V primeru točkastega izvira moči P, ki oddaja valovanje in s tem energijski tok izotropno v vse smeri, gostota energijskega toka pada s kvadratom razdalje r od izvira kot:

$$j = \frac{P}{4\pi r^2}.$$

Tudi sprejemnik valovanja ima določeno površino, zato je sprejeta moč enaka produktu te površine z gostoto energijskega toka vpadlega valovanja. Obstaja mejna vrednost j, ki jo izvir še zazna. Za povprečno človeško uho znaša $j_0 = 10^{-12}\,\mathrm{W/m^2}$. Namesto gostote energijskega toka j zvočnega valovanja vpeljemo jakost: $10\log(j/j_0)$, ki jo izražamo v decibelih (dB). Iz definicije gostote energijskega toka sledi tudi zveza: $j = wc$, kjer količina w predstavlja gostoto energije $w = E/V$. Za zvočno valovanje, ki se širi po mediju z gostoto ρ velja $w = 1/2\rho u_0^2\omega^2$.

Naloge:

1. Po dolgi napeti vrvi potuje transverzalno valovanje z amplitudo $y_0 = 10$ cm. Kakšna je valovna dolžina, če v danem trenutku razdalja med dvema sosednjima odmikoma za $y = 5$ cm znaša $d = 6$ cm? S kolikšno hitrostjo se valovanje širi, ce je največja prečna hitrost vrvi $\dot{y}_0 = 0.1\mathrm{m/s}$?

2. Na vodni gladini opazujemo interferenčne pojave v veliki oddaljenosti od dveh točkastih izvirov, ki sta med seboj oddaljena $d = 30$ cm. Valovanji s kakšno valovno dolžino λ oddajata, če v primeru, ko nihata sočasno, zaporedne ojačitve nastopijo pri kotih $\varphi = 0°$, $\pm\,24°\ldots$ glede na simetralo zveznice izvirov. Pri katerih kotih še nastopijo ojačitve? Kako pa izgleda interferenčna slika, če eden izmed izvirov zaostaja za pol nihaja?

3. Kolikšne so lastne frekvence 35 cm dolge ustne piščali, ki je na drugem krajišču a) odprta in b) zaprta? (Kolikšna je največja gostota energije, če je največja amplituta 2 μm in je gostota zraka $\rho = 1{,}2\,\mathrm{kg/m^3}$?)

4. Droben zvočnik oddaja zvok s frekvenco 1000 Hz enakomerno na vse strani. Na razdalji 1 m od zvočnika je amplituda odmikov delov zraka 0,005 μm. Na kolikšni razdalji še komaj slišimo zvok, če je mejna slišna jakost $10^{-10}\,\mathrm{W/m^2}$? Hitrost zvoka je 340 m/s, gostota zraka pa $1{,}2\,\mathrm{kg/m^3}$. Kolikšna je glasnost zvočnika na razdalji 1 m?

10. Valovanje- Dopplerjev pojav

Hitrost c širjenja valovanja je odvisna od vrste in sredstva. Za vrv oz. struno mase m in dolžine l, ki je napeta s silo F, velja $c = \sqrt{Fl/m}$.

V primeru, da se izvir in sprejemnik relativno drug na drugega gibljeta, frekvenca ν, ki jo zazna sprejemnik, ni enaka ferkvenci ν_0, ki jo odda izvir. Predstavljamo si, da se razdalje med valovnimi frontami navidezno krajšajo (daljšajo), če se izvir in sprejemnik približujeta (oddaljujeta). To pomeni krajšo (daljšo) valovno dolžino in posledično višjo (nižjo) frekvenco. Ločimo primer, ko se giblje in izvir in miruje sprejemnik:

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 \pm v/c}$$

ter primer, ko izvir miruje in se giblje izvir:

$$\mu = \mu_0 \left(1 \mp v/c\right),$$

kjer je v projekcija hitrosti izvira oz. sprejemnika na zveznico med izvirom in sprejemnikom. Po dogovoru je pozitivna, če se sprejemnik in izvir oddaljujeta oz. negativna v nasprotnem primeru.

Naloge:

1. Struna na violini je narejena iz jeklene žice s premerom 0,25 mm. S kolikšno silo mora biti napeta, da bo njena osnovna frekvenca enaka 660 Hz (E-struna)? Kolikšna sta največja hitrost in pospešek delov strune, če na njej vzbudimo osnovno nihanje z amplitudo 5 mm? V mirovanju je vpeta struna dolga $l = 325$ mm, gostota jekla je $7800\,\mathrm{kg/m^3}$.

2. Na gramofonski plošči, ki se zavrti 33 krat v minuti, je na razdalji 10 cm od osi zapisan ton s frekvenco 440 Hz. Kolikšna je valovna dolžina brazde s katero je zapisan ton na plošči? Oceni najvišjo frekvenco, ki je lahko zapisana na plošči, če je najbližja brazda 3 cm od osi in imajo zrnca snovi iz katere je plošča velikost 20 μm?

3. Z ultrazvočnim dopplerjevim merilcem lahko neinvazivno merimo hitrost krvi. Pri konkretni meritvi usmerimo merilno glavo tako, da oklepa kot 60° s smerjo aorte, torej s tokom krvi. Oddani ultrazvok, ki ima frekvenco 2 MHz se odbije na delcih v krvi. Odbiti val detektiramo z merilno glavo in izmerimo frekvenco 2,004 Mhz? Kolikšna je hitrost krvi, če je hitrost zvoka v krvi 1500 m/s?

11. Temperaturni raztezek, plinska enačba, prevajanje toplote

Ravnovesne medatomske razdalje v materialih (npr. mrežne konstante v kristalih) so odvisne od temperature. Posledica je krčenje oz. raztezanje pod vplivom spremembe ΔT temperature. Relativni dolžinski raztezek vzdolž smeri v kateri je dolžina pri začetni temperaturi enaka l je: $\Delta l/l = \alpha \Delta T$.

Stanje plina opišemo s termodinamskimi spremenljivkami: tlak p, prostornina V in temperatura T. Za idealni plin (ki ga sestavljajo atomi oz. molekule med katerimi so sile zanemarljive) velja splošna plinska enačba:

$$pV = \frac{m}{M} RT,$$

kjer je m masa plina, M kilomolska masa in R splošna plinska konstanta $R = 8300\,\mathrm{J/kmolK}$. Pri uporabi pazimo, da temperaturo vedno izražamo v Kelvinih!

Energija potuje iz področja z višjo temperaturo $T_>$ na področje z nižjo temperaturo $T_<$. Gostota energijskega toka pri temperaturni razliki $\Delta T = T_> - T_<$ preko stene z debelino d in koeficientom toplotne prevodnosti λ je

$$j = \lambda \frac{\Delta T}{d}.$$

(Ta definicija je precej ohlapna, saj v njej količina $\Delta T/d$ nadomešča temperaturni gradient ∇T, ki je vektor, katerega smer nasprotuje smeri vektorja $\vec{j}$ gostote energijskege toka: $\vec{j} = -\lambda \nabla T$.)

Naloge:

1. Na debelo medeninasto palico pritrdimo enako dolgo stekleno nitko. Pri kolikšni temperaturni spremembi nitka poči, če je temperaturni koeficient linearne razteznosti medenine $\alpha_1 = 20 \times 10^{-6}\,\mathrm{K}^{-1}$, stekla pa $\alpha_2 = 7 \times 10^{-6}\,\mathrm{K}^{-1}$? Prožnostni modul stekla je $E_2 = 7 \times 10^{10}\,\mathrm{N/m}^2$, natezna trdnost pa $\sigma_2 = 7 \times 10^{7}\,\mathrm{N/m}^2$.

2. Z balonom na helij bi se radi dvignili nad Mt. Everest. V ta namen na začetku, pri temperaturi 20° C in tlaku 1 bar, balon napolnimo s potrebno količino helija. Koliko helija potrebujemo, če je masa balona (brez helija) 300 kg, temperatura in tlak na

vrhu Everesta pa -50° C oz. 30 kPa? Kolikšna je prostornina balona ob štartu in kolikšna na vrhu Mt. Everesta? Kilomolska masa zraka je $M_\mathrm{z} = 29\,\mathrm{kg/kmol}$, helija pa $M_\mathrm{He} = 4\,\mathrm{kg/kmol}$. Splošna plinska konstanta je $R = 8300\,\mathrm{J/kmolK}$.

3. Brunarico s površino sten $35\,\mathrm{m}^2$ ogrevamo s pečjo z močjo 4 kW. Kolikšna je temperatura v brunarici, če je zunanja temperatura $-20\,^\circ\mathrm{C}$? Toplotna prevodnost lesa je 0,4 W/mK, povprečna debelina stene pa 15 cm. Za koliko stopinj se zniža temperatura v brunarici, če v stene vgradimo okna s skupno površino $10\,\mathrm{m}^2$, skozi katera uhaja topotni tok 1800 W?

4. Stena površine $10\,\mathrm{m}^2$ je sestavljena iz opečnatega zidu debeline 20 cm, ki je na notranji strani obdan še s pluto debeline 2 cm. Toplotna prevodnost opeke je 0,7 W/mK, plute pa 0,05 W/mK. Kolikšen toplotni tok uhaja skozi steno, če je zunaj temperatura -20° C, znotraj pa 20° C. Kolikšen pa je toplotni tok, če pluto odstranimo?

12. Elektrostatika, el. napetost, el. kondenzatorji

Električni naboj e je lastnost snovi. Velikost osnovnega naboja, ki ga imajo npr. elektroni in protoni, je $e_0 = 1{,}6 \times 10^{-19}\,\mathrm{As}$. Naboja enih in drugih se ločita po predznaku. Elektrostatska sila med dvema točkastima nabojema e_1 in e_2 na razdalji r je:

$$F = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

kjer je $\epsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ As/Vm influenčna konstanta. Sila leži na zveznici nabojev in je odbojna, ko velja, po dogovoru, $F > 0$ (enako predznačena naboja) oz. privlačna (različno predznačena naboja), ko je $F < 0$. V primeru velikega števila nabojev je pametno vpeljati električno polje, katerega jakost na mestu $\vec{r}$ je vsota prispevkov vseh nabojev e_i, ki se nahajajo na $\vec{r}_i \neq \vec{r}$:

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_i \frac{e_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|^2} \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{|\vec{r} - \vec{r}_i|}.$$

Sila na naboj e na mestu $\vec{r}$ je: $\vec{F} = e\vec{E}$. Električno polje ponazorimo s silniciami, ki kažejo v smeri sile na pozitivni naboj. Jakost električnega polja okoli neskončne palice nabite z dolžinsko gostoto naboja $\lambda = e/l$ je

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r},$$

kjer je r razdalja od palice, silnice pa kažejo radialno navzven (za pozitvno nabito palico) oz. navznoter (za negativno nabito palico). Jakost električnega polja, ki izvira iz neskončno velike ravne plošče nabite s površinsko gostoto naboja $\sigma = e/S$ je neodvisno od razdalje od plošče:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0},$$

silnice pa so pravokotne na ploščo.

Napetost med dvema točkama s_1 in s_2 je definirana kot integral skalarnega produkta polja in poti med njima:

$$U = -\int_{s_1}^{s_2} \vec{E} \cdot d\vec{s}.$$

Predznak je pri tem pomemben, saj po dogovoru napetost narašča v nasprotni smeri silnic. V primeru homogenega polja E (ki npr. izvira iz ravne plošče), je napetost med dvema točkama enaka produktu E in pravokotne projekcije s razdalje med njima na smer polja: $E = -Es$.

Kondenzator je naprava za skladiščanje električnega naboja, ki je sorazmeren z napetostjo:

$$e = CU,$$

pri čemer je C kapaciteta kondenzatorja. Za ploščati kondenzator, sestavljen iz dveh vzorednih ravnih plošč s površino S, ki sta oddaljeni za d velja:

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

V kondenzatorju je vskladiščena energija:

$$E = \frac{CU^2}{2} = \frac{e^2}{2C}$$

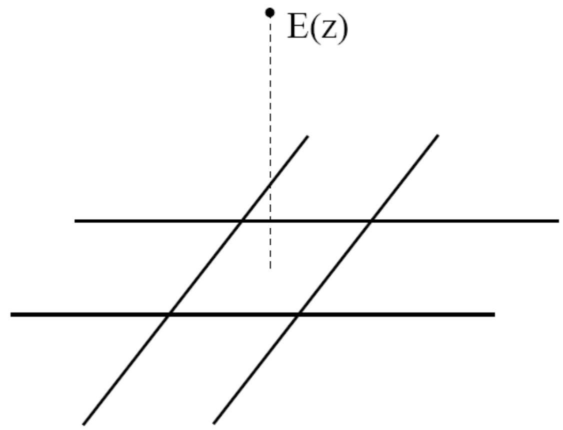
Naloge:

1. V ogljišča enakostraničnega trikotnika s stranico 10 cm postavimo naboje velikosti e_1, $e_2 = -2e_1$ in $e_3 = 3e_1$, kjer je $e_1 = 10^{-6}$ As. Kolikšna je sila na prvi (drugi, tretji) naboj in v katero smer kaže?

2. Kolikšna je električna napetost U med dvema enakomerno naelektrenima vzporednima razsežnima ravnima ploščama, oddaljenima $d = 1$ cm, če je med njima jakost električnega polja $E = 1$ V/m? Kolikšna je jakost električnega polja levo oz. desno od obeh plošč? Kolikšna je sila na površinsko enoto med ploščama? Kolikšna sta napetost med ploščama in sila na površinsko enoto, ko razdaljo med ploščama podvojimo? *Kako pa se spremenita jakost električnega polja in sila med ploščama, če ohranimo napetost konstantno?* Influenčna konstanta je $\epsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ As/Vm.

3. Ploščati kondenzator z razmikom plošč $d = 2$ cm in površino $S = 1$ dm^3 priključimo na napetost $U = 100$ V. Vir napetosti odklopimo in plošči razmaknemo na dvakratno razdaljo. Koliko dela pri tem opravimo?

4. Štiri neskončne žice z dolžinsko gostoto naboja λ prekrižamo kot prikazuje slika. Kolikšna je električna poljska jakost na simetrijski osi na razdalji z od središča? Oddaljenost med vzporednima žicami je a.


E(z)

13. Električni tok, magnetizem

Električni tok je definiran kot pretočeni naboj na časovno enoto: $I = de/dt$. Ohmov zakon povezuje tok I, ki teče skozi upor R z napetostjo oz. padcem napetosti U na uporu:

$$U = RI.$$

Vsako vezje poleg uporov R_i s padci napetosti U_i sestavljajo tudi generatorji (gonilne) napetosti U_g. Pri reševanju problemov z el. vezji (npr. računanju tokov skozi posamezne upore) je najbolje slediti naslednjim točkam:

1. Najprej označimo vozlišča in tokove, ki v njih pritekajo oz. odtekajo. Smer je povsem poljubna (negativen predznak v rešitvi pomeni, da je dejanska smer nasprotuje tisti, ki smo jo izbrali). Za polovico vozlišč zapišemo t.i. I. Kirchoffov zakon, ki pravi, da je vsota vseh dotekajočih tokov I_{not} v posamezno vozlišče enako vsoti vseh odtekajočih tokov I_{ven}:
$$\sum I_{not} = \sum I_{ven}.$$
Z upoštevanjem vseh vozlišč ne pridobimo nobene nove enačbe.

2. Izberemo zaključene zanke (zopet ne upoštevamo vseh možnosti, saj bi dobili samo linearno odvisne enačbe.) in za vsako izmed njih poljubno smer obhoda. Za vsako zanko zapišemo t.i. II. Kirchoffov zakon, ki pravi, da je vsota vseh gonilnih napetosti U_g enaka vsoti vseh padcev napetosti U_i:
$$\sum U_g = \sum U_i.$$
Padec napetosti na uporu je pozitiven, če smer obhoda sovpada s predvideno smerjo toka skozenj oz. negativen, če sta smeri nasprotni. Gonilna napetost je pozitivna, če smer obhoda znotraj generatorja poteka od negativnega proti pozitvnem priključku oz. negativna v nasprotnem primeru (Gre pravzaprav za definicijo napetosti $U = -\int \vec{E} \cdot d\vec{s}$ iz katere sledi, da je za poljubno krožno pot napetost enaka nič!).

3. Na koncu rešimo sistem linearnih enačb za neznane količine.

Na uporu, na katerem je padec napetosti U, skozi katerega teče tok I, se troši moč $P = UI$. Generator napetosti U, skozi katerega teče tok I, oddaja moč P.

Okoli ravnega vodnika, po katerem teče tok I, se pojavi magnetno polje z gostoto B, katerega silnice so koncentrični krogi v ravnini pravokotni na vodnik, smer pa je podana z desnosučnim vijakom:

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

kjer je $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Vs/Am indukcijska konstanta in r oddaljenost od vodnika. Na odsek vodnika, katerega dolžina in smer sta določeni z vektorjem $\vec{l}$, po katerem teče tok I deluje sila $\vec{F}$, če se vodnik nahaja v magnetnem polju z gostoo $\vec{B}$:

$$\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}.$$

Sila je torej pravokotna na vodnik in na magnetno polje. V kolikor sta vodnik in polje med seboj pravokotna (kot v primeru vodnika v polju njemu vzporednega vodnika) je velikost sile: $F = IlB$ (sila med vodnikoma je privlačna, ce tokova tečeta v isto smer oz. odbojna, če sta smeri nasprotni).

Gostota magnetnega polja v dolgi ravni tuljavi je odvisna od števila ovojev na dolžinsko enoto N/l:

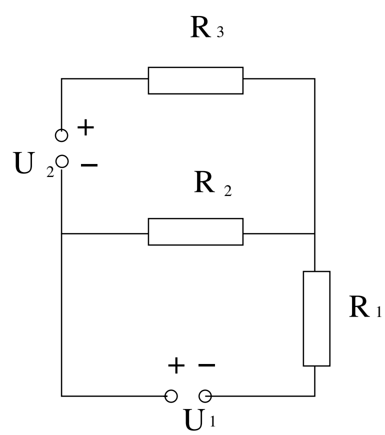
$$B = \frac{\mu_0 I N}{l}.$$

Zanka po kateri teče tok I, ki obdaja površino S predstavlja magnetni dipolni moment $\vec{p}_m$ katerega velikost je $p_m = IS$, smer pa je določena s pravilom desnega vijaka. V magnetnem polju z gostoto $\vec{B}$ nanj deluje navor:

$$\vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}.$$

Naloge:

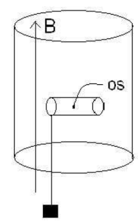
1. Kolikšni tokovi tečejo skozi upornike $R_1 = 1\,\Omega$, $R_2 = 2\,\Omega$ in $R_3 = 3\,\Omega$, če sta gonilni napetosti $U_1 = 1$ V in $U_2 = 2$ V?



2. Na baterijo priključimo enkrat upornik z upornostjo $R_1 = 2\,\Omega$, enkrat pa upornik z upornostjo $R_2 = 0{,}5\,\Omega$. V obeh primerih se na uporniku troši moč 2 W. Kolikšen je notranji upor baterije? Kolikšna je gonilna napetost baterije?

3. Električno energijo iz elektrarne z močjo $P = 100$MW prenašamo po 220kV daljnovodu. Na kolikšni razdalji od žice je gostota magnetnega polja enaka gostoti zemeljskega magnetnega polja $B_Z = 4 \times 10^{-5}$ T? Kolikšna je sila na 200 m dolga odseka žic med dvema nosilnima stebroma, če sta žici med seboj oddaljeni 5 m?

4. Po večji tuljavi z $N = 10000$ ovoji in dolžino $l = 30$ cm teče tok $I = 5$ A. Vanjo vstavimo manjšo tuljavico z $N_1 = 500$ ovoji, dolžino $l_1 = 3$ cm in polmerom $r = 1$ cm po kateri teče tok $I_1 = 1$ A. Osi obeh tuljav sta pravokotni druga na drugo, manjša tuljava pa je vrtljiva okoli pravokotne osi (slika!). Na rob pritrdimo lahko vrvico z utežjo. Kolikšna mora biti masa uteži, da se tuljavica ne obrne? V katero smer tečeta tokova I in I_1?



Literatura

[1] Irena Drevenšek Olenik, Boštjan Golob, Igor Serša Vaje iz fizike za študente tehniških fakultet (DMFA - založništvo)

[2] Janez Žitnik Univerzitetne fizikalne naloge I,II (Tehniška Založba Slovenije)

[3] Aleš Mohorič Naloge iz fizike I za merilno tehniko (DMFA - založništvo)

[4] Aleš Mohorič Naloge iz fizike II za merilno tehniko (DMFA - založništvo)

[5] Mladen Gros, Marjan Hribar, Alojz Kodre, Janez Strnad Naloge iz fizike (DMFA - založništvo)