

Contents

1.	Ničti zakon termodinamike. Temperatura. Merjenje temperature.....	3
2.	Linearni in prostorninski temperaturni razteznostni koeficient. Bimetal. Kapljevinski termometer.....	3
3.	Toplota. Toplotna kapaciteta. Specifična toplota. Prvi zakon termodinamike. Entalpija.....	3
4.	Prehodi med agregatnimi stanji, latentna toplota. Fazni diagram p-T za prehod med agregatnimi stanji, trojna in kritična točka.....	4
5.	Izoterme na p-V diagramu pri prehodu iz plina v kapljevino. Nasičen parni tlak. Vlažnost zraka. Clausius-Clapeyronova enačba.....	4
6.	Prevajanje toplote, toplotni tok, gostota toplotnega toka. Prevajanje toplote skozi več zaporednih plasti. Prevajanje toplote v cilindrični geometriji.....	5
7.	Konvekcija. Toplotna izolacija, dewarska posoda. Hlajenje avtomobilskih motorjev in elektronskih naprav ter elementov.....	5
8.	Toplotno sevanje, črno telo. Štefanov zakon. Wienov zakon. Emisivnost. Temperatura Sončevega površja.....	5
9.	Splošni plinski zakon in van der Waalsova enačba. Idealni plin, mešanice plinov. Delo tlaka. Hirnov poskus. Notranja energija in entalpija idealnega plina. Zveza med cv in cp.....	6
10.	Izentropne spremembe idealnega plina. Izotermna in izentropna stisljivost. Krožne spremembe.....	6
11.	Drugi zakon termodinamike. Obrnljive in neobrnljive spremembe. Carnotova krožna sprememba.....	7
12.	Entropija. Sprememba entropije pri obrnljivih in neobrnljivih spremembah. Entropija idealnega plina.....	7
13.	Toplotni stroji in hladilniki, izkoristek. Carnotov toplotni stroj. Hladilnik s freonom.....	7
14.	Tlak idealnega plina, zveza s kinetično energijo molekul. Boltzmannova konstanta. Ekvipartijski teorem. Povprečna prosta pot.....	8
15.	Notranja energija idealnega plina v kinetični teoriji plinov. Specifični toploti cp in cv idealnega plina. Spreminjanje cp in cv v širšem temperaturnem območju, kvantni vplivi.....	8
16.	Maxwell-Boltzmannova energijska porazdelitev. Padanje tlaka plina z višino v izotermni atmosferi. Sedimentacija. Centrifuge.....	9
17.	Porazdelitev hitrosti molekul plina v eni razsežnosti, povprečna hitrost in povprečni kvadrat hitrosti.....	9
18.	Porazdelitev velikosti hitrosti molekul plina, povprečna hitrost, povprečni kvadrat hitrosti in najverjetnejša hitrost.....	9
19.	Električni naboji. Coulombov zakon. Električna potencialna energija sistema točkastih nabojev.....	10
20.	Električno polje. Električna poljska jakost in električni potencial ter zveza med njima. Silnice in ekvipotencialne ploskve.....	10
21.	Gaussov zakon v vakuumu in v snovi. Električna poljska jakost in gostota električnega polja. Ploščati in valjasti kondenzator.....	10
22.	Električni dipol: silnice in ekvipotencialne ploskve. Navor na dipol in energija dipola v homogenem električnem polju. Sila na dipol v nehomogenem električnem polju.....	11
23.	Prevodnik v statičnem električnem polju, influenza. Kapaciteta kondenzatorja. Energija kondenzatorja in energija električnega polja. Sila med ploščama kondenzatorja.....	11
24.	Vzporedna in zaporedna vezava kondenzatorjev. Polnjenje in praznjenje kondenzatorja. Kondenzator priključen na vir izmenične napetosti.....	12
25.	Dielektriki, dielektričnost. Električna poljska jakost in gostota električnega polja v dielektriku. Polarizacija.....	12
26.	Električna poljska jakost in gostota električnega polja na meji dveh dielektrikov. Kondenzator, ki je delno napolnjen z dielektrikom. Piezoelektriki.....	12
27.	Električni tok, gostota električnega toka. Ohmov zakon. Upor, specifični upor, prevodnost. Kirchoffova izreka.....	13
28.	Merjenje upora. Wheatstonov most. Uporovni termometer.....	13
29.	Upornik. Zaporedna in vzporedna vezava upornikov. Moč na uporniku. Upornik priključen na vir izmenične napetosti, efektivna napetost in tok.....	14
30.	Voltmeter, ampermeter: značilnosti, vezave, napake. Potenciometer. Termoelement.....	14
31.	Zaporedno vezana upornik in kondenzator priključen na vir izmenične napetosti: kompleksni upor, impedanca, moč.....	14
32.	Vzporedno vezana upornik in kondenzator priključen na vir izmenične napetosti: kazalčni diagram, impedanca, fazni kot.....	15

33.	Izvori magnetnega polja. Gostota magnetnega polja. Magnetne silnice okrog paličastega trajnega magneta, dolge ravne žice. Magnetne silnice ravne tuljave in toroidne tuljave. Sila med vzporednima vodnikoma.....	16
34.	Gibanje nabitih delcev v magnetnem polju. Ciklotronska frekvenca. Masni spektrometer. Hallov pojav.....	16
35.	Sila na vodnik in navor na zanko v magnetnem polju. Princip elektromotorja in instrumenta na vrtljivo tuljavo. Navor na magnetni dipol in energija magnetnega dipola v homogenem magnetnem polju.	17
36.	Magnetni pretok in magnetna napetost. Amperov zakon, jakost magnetnega polja. Gostota magnetnega polja v okolici dolge ravne žice in v dolgi ravni tuljavi.....	17
37.	Biot-Savartov zakon. Magnetno polje na osi krožne zanke. Helmholtzovi tuljavi.....	17
38.	Indukcija pri premikanju vodnika, vrtenju zanke in spreminjanju gostote magnetnega polja. Indukcijski zakon. Lenzovo pravilo.	18
39.	Merjenje izmeničnih tokov z indukcijo v toroidni tuljavi, ki objame vodnik. Premikalni tok. Maxwellove enačbe v integralski obliki.	18
40.	Lastna indukcija v tuljavi, induktivnost. Energija tuljave, energija magnetnega polja.	18
41.	Spreminjanje toka skozi zaporedno vezavo tuljave in upornika, časovna konstanta vezja. Kaj se zgodi, če tok skozi tuljavo nenadoma prekinemo? Tuljava priključena na vir izmenične napetosti.	19
42.	Obravnava zaporedne vezave upornika in tuljave s kazalčnim diagramom in s kompleksnimi upori.....	19
43.	Nihajni krog: frekvenca, energija, zveza med amplitudama napetosti in toka. Dušenje nihajnega kroga. Impedanca vzporedne in zaporedne vezave tuljave in kondenzatorja.	19
44.	Feromagnetne, paramagnetne in diamagnetne snovi. Magnetizacija. Histerezna krivulja feromagnetnih materialov. Trajni magneti.....	20
45.	Tuljava s feromagnetnim jedrom, induktivnost. Transformator.	20
46.	Gostota in jakost magnetnega polja na meji dveh snovi. Princip elektromagneta. Induktivnost tuljave z režo v jedru.	21
47.	Valovanje v koaksialnem vodniku: valovna enačba, smer E in B ter zveza med njima. Značilni upor koaksialnega vodnika. Stoječe valovanje v koaksialnem vodniku.	22
48.	Elektromagnetno valovanje v vakuumu: valovna enačba v eni razsežnosti ter zveza med E in B . Gostota energije in gostota energijskega toka pri sinusnem valovanju. Elektromagnetno valovanje v okolici nihajočega dipola.	22
49.	Elektromagnetno valovanje v izotropnem dielektriku, lomni količnik. Prehod elektromagnetnega valovanja preko ravne meje med dielektrikoma: lom in odboj. Brewsterjev kot. Disperzija svetlobe.	23
50.	Interferenca svetlobe, koherenca. Interferenca pri odboju na tanki plasti. Michelsonov interferometer.	24
51.	Uklon svetlobe na reži, okrogli odprtini, dveh režah, in uklonski mrežici. Spektralna analiza svetlobe.....	25
52.	Polarizacija svetlobe. Kako dobimo linearno polarizirano svetlobo? Ploščica $\lambda/4$. Krožna polarizacija svetlobe. Dvojni lom.	26
53.	Ravna in krogelna zrcala. Preslikave. Prava in navidezna slika.	27
54.	Tanka zbiralna leča: gorišče, preslikave. Lupa.....	28
55.	Tanka razpršilna leča: gorišče, preslikave. Dve leči na skupni osi v majhni oddaljenosti.....	28
56.	Oko. Daljnogled. Mikroskop.	29
57.	Kako v grobem delimo spekter elektromagnetnega valovanja. Navedite tudi značilne valovne dolžine. Fotocelica, fotopomnoževalka in fotoupornik.....	30
58.	Rentgenska cev in sinhrotron kot izvor rentgenskih žarkov. Bolometer in piroelektrični detektor svetlobnega toka.	30
59.	Dipolna antena kot izvor in detektor radijskih valov. Izvori svetlobnega toka: žarnica z nitko, plinska svetila in laser.	31

1. Ničti zakon termodinamike. Temperatura. Merjenje temperature.

Ničti zakon: Če je sistem A v termodinamičnem ravnovesju s sistemom C in je sistem B v termodinamičnem ravnovesju s sistemom C, je tudi sistem A v termodinamičnem ravnovesju s sistemom B.

Temperatura: Temperatura je skalarna merljiva količina, ki je enaka v dveh sistemih, ki sta v termodinamičnem ravnovesju. Temperature sistemov A, B in C so torej enake.

Merjenje temperature: Če temperaturi dve teles nista ne previsoki, ne prenizki, lahko ugotovimo, kateri predmet ima višjo temperaturo, a ta občutek za merjenje temperature ni uporaben. Naraščanje temperature ponavadi spremlja raztezanje teles in to raztezanje lahko uporabimo za definicijo in merjenje temperature. Raztezanje trdnin je majhno in ga je težko natančno izmeriti. Drugače je z raztezanjem kapljev. Tudi to je majhno, a če se bučka s kapljevino nadaljuje v kapilaro, je premik gladine kapljevine v kapilari znaten. Na tej osnovi delujejo kapljevinski termometri. Merilni postopek s kapljevinskim termometrom je sicer praktično uporaben, ni pa najboljši za definicijo temperature, ker je odvisen od snovi. Za definicijo temperature je bolj uporabno raztezanje razredčenih plinov. Meritve so pokazale, da je pri stalnem tlaku prostornina plina linearna funkcija temperature. Pri stalni prostornini je tudi tlak linearna funkcija temperature. Ne glede na vrsto in začetni tlak plina, se vse dobljene premice sekajo v točki, ki ustreza prostornini (tlaku) nič. Ta točka je v obeh primerih pri temperaturi -273°C .

2. Linearni in prostorninski temperaturni razteznostni koeficient. Bimetal. Kapljevinski termometer.

Temperaturni razteznostni koeficient: Poglejmo si natančneje, kako se telesa raztezajo pri segrevanju. Za trdno snovi je raztezek Δl sorazmeren spremembi temperature ΔT in dolžini l , če le sprememba temperature ni prevelika $\Delta l = l\alpha\Delta T$. Tu je α linearni temperaturni razteznostni koeficient z enoto K^{-1} .

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

Vpeljali smo prostorninski temperaturni razteznostni koeficient β . Za izotropne trdne snovi velja $\beta=3\alpha$, za tekočine pa β ne moremo definirati.

Bimetal: Na osnovi temperaturnega raztezanja deluje bimetal. Lahko sta to dve spojeni plošči, ki se ukrivita pri spreminjanju temperature. Lahko je to cev iz enega materiala in v njej palica iz drugega materiala. Na enem koncu sta cev in palica spojeni. V praksi se v termometrih in termostatih pogosto uporablja bimetalni trak zvit v vijačnico. Pri spreminjanju temperature se vijačnica zvija ali razvija, pri tem pa se prosti konec vijačnice suka.

Kapljevinski termometer: Kot zgled si oglejmo kapljevinski termometer. Narejen je iz steklene bučke s prostornino V , ki se nadaljuje v kapilaro s presekom S . Prostorninski temperaturni razteznostni koeficient stekla je β_s , kapljevine pa β_k . Ko termometer segrejemo za ΔT , se prostornina kapljevine poveča za $V\beta_k\Delta T$, stekla pa za $V\beta_s\Delta T$. Razlika, $V(\beta_k - \beta_s)\Delta T$, je enaka povečanju prostornine kapljevine v kapilari $S\Delta h$. Tu je S presek kapilare, katerega spreminjanje s temperaturo smemo zanemariti, Δh pa predstavlja dvig gladine kapljevine v kapilari: $\Delta h = \frac{V(\beta_k - \beta_s)}{S}\Delta T$

3. Toplota. Toplotna kapaciteta. Specifična toplota. Prvi zakon termodinamike. Entalpija.

Toplota: Ko staknemo dve telesi z različnima temperaturama, se temperaturi teles začeta spreminjati. Telesu z višjo temperaturo temperatura pada, telesu z nižjo temperaturo pa raste, dokler se temperaturi teles ne izenačita. Pri tem teče energijski tok s telesa z višjo temperaturo na telo z nižjo temperaturo. Energijo, ki jo pri tem telesi izmenjujeta imenujemo toploto. Mikroskopsko je toplota povezana z gibanjem gradnikov snovi. Znano količino toplote dobimo z električnim grelcem. Grelec, ki mu dovajamo električno moč P , prejme v času t delo $A = Pt$ in ga pretvori v toploto $Q = A = Pt$. Enota za toploto je J .

Toplotna kapaciteta: Ko nekemu sistemu dovedemo toploto Q se njegova temperatura v ponavadi poveča. Če dovedena toplota ni prevelika, velja sorazmernost $Q = CT$. Pri tem je C toplotna kapaciteta sistema z enoto J/K . Pri homogeni snovi je toplotna kapaciteta sorazmerna količini snovi, ki jo izrazimo z maso: $C = mc$.

Specifična toplota: Tu je c specifična toplota snovi z enoto J/kgK . Specifična toplota je odvisna od pogojev, pri katerih jo merimo. Pri trdnih snoveh in kapljevinah ponavadi merimo specifično toploto pri stalnem tlaku, c_p , pri plinih pa tudi specifično toploto pri stalni prostornini c_v .

Prvi zakon termodinamike: $dW_n = dQ + dA$.

Entalpija: V primeru, ko je stalen tlak, ne pa prostornina sistema, je namesto notranje energije primernejša funkcija stanja entalpija H : $H = W_n + pV$.

Majhna sprememba entalpije je enaka $dH = dW_n + d(pV) = dQ + Vdp$. Pri stalnem tlaku je sprememba entalpije enaka dovedeni ali odvedeni toploti: $(dH)_p = (dQ)_p = mc_p dT$.

4. Prehodi med agregatnimi stanji, latentna toplota. Fazni diagram p-T za prehod med agregatnimi stanji, trojna in kritična točka.

Prehodi med agregatnimi stanji: Ko snov segrejemo do temperature tališča, vrelišča ali pa sublimacije, se temperatura ne spremilja toliko časa, dokler vsa snov ne spremeni agregatnega stanja.

Latentna toplota: $Q_{t,i,s} = m q_{t,i,s}$

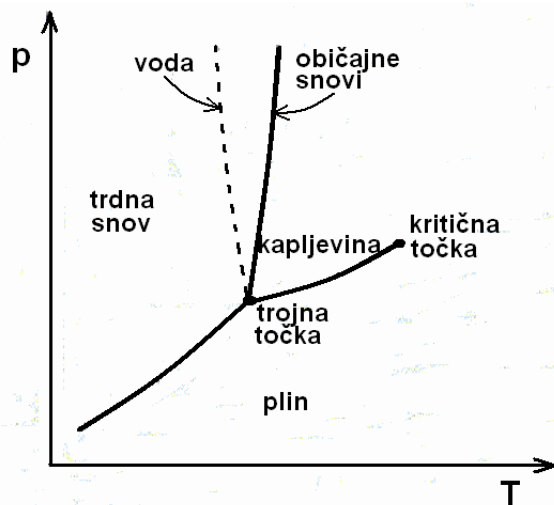
Fazni diagram p-T za prehod med agregatnimi stanji: Volumen je v tem primeru konstanten:

V resnici so fazni diagrami za snovi bolj zapleteni, sploh za vodo, tole je nek idealiziran primer.

Trojna in kritična točka: Če začnemo prostornino plina izotermno zmanjševati pri dovolj nizki temperaturi, do prehoda v kapljevinsko fazo sploh ne pride. Tlak narašča, dokler ne postane enak nasičenemu parnemu tlaku. Od tam naprej pride do neposrednega prehoda iz plinske v trdno fazo, tlak pa se ne spreminja, dokler vsa snov ne preide v trdno fazo. Mejo med omenjenima področjema predstavlja trojna črta, na kateri je tudi trojna točka.

Pri visokih temperaturah prehoda v kapljevinsko fazo ni več. Z zmanjševanjem prostornine se snov gosti in pri dovolj majhni prostornini in visokem tlaku neposredno

preide v trdno fazo. Na »spodnji« meji tega področja je kritična izoterma, na kateri leži kritična točka.



5. Izoterme na p-V diagramu pri prehodu iz plina v kapljevino. Nasičen parni tlak. Vlažnost zraka. Clausius-Clapeyronova enačba.

Izoterme na p-V diagramu pri prehodu iz plina v kapljevino: Ko pri stalni temperaturi prostornino plina zmanjšujemo tlak narašča, dokler ne postane enak nasičenemu parnemu tlaku pri tej temperaturi. Od tam naprej se tlak ne spreminja. Pri zmanjšanju prostornine se nekaj plina utekočini. Tlak se ne spreminja, dokler se ves plin ne utekočini.

Nasičen parni tlak: Tlak plina je odvisen samo od temperature. Kot smo že omenili, ga imenujemo nasičen parni tlak. Kapljevina zavre, ko je tlak nad gladino enak nasičenemu parnemu tlaku. Ko je tlak nad vodno gladino 1 bar, zavre voda pri 100°C. Ko je tlak nad vodno gladino 0,2 bar zavre voda pri 60°C.

Vlažnost zraka: V zraku je običajno manjši parcialni tlak vodne pare od nasičenega. Tlak vodne pare v zraku imenujemo absolutna vlažnost. Razmerje med parcialnim tlakom vodne pare v zraku in nasičenim tlakom vodne pare pri temperaturi zraka imenujemo relativna vlažnost. Relativno vlažnost ponavadi podajamo v %. Večja od 100 % ne more biti, ker se tedaj nekaj vode kondenzira. Temperaturo, pri kateri se začne iz zraka izločati voda, imenujemo rosišče. Nasičen parni tlak vode pri temperaturi rosišča je enak parcialnemu tlaku vodne pare v zraku. Z merjenjem temperature rosišča lahko izmerimo relativno vlažnost.

Clausius-Clapeyronova enačba: Vzemimo prehod plin-kapljevina in v področju, v katerem imamo opravka z obema fazama, naredimo Carnotovo krožno spremembo ($PV = c$, in $PV^{\kappa} = c$). Izotermi naj imata temperaturi T in $T - dT$, ustrezata pa jima nasičena parna tlaka p in $p - dp$. Sprememba prostornine sistema naj bo ΔV . Delo pri krožni spremembi je enako $dA = \Delta V dp$, prejeta toplota pri višji temperaturi pa $Q = m q_i$. Tu je m masa kapljevine, ki je pri višji temperaturi prešla iz kapljevinske v plinsko fazo, pri nižji temperaturi pa iz plinske v kapljevinsko fazo. Maso m lahko povežemo s spremembo prostornine ΔV . V resnici je ΔV razlika med prostornino plinske faze V_p in kapljevinske faze V_k dela snovi z maso m :

$$\frac{dT}{T} = \frac{1}{q_i} \left(\frac{1}{\rho_p} - \frac{1}{\rho_k} \right) dp$$

Clausius-Clapeyronova enačba, ki smo jo dobili, pove, za koliko se spremeni temperatura vrelišča, če se tlak spremeni za dp . Podobno je za prehod z kapljevine v trdno, samo da menjšaj ρ_p z ρ_k , ρ_k z ρ_t in q_i z q_t .

6. Prevajanje toplote, toplotni tok, gostota toplotnega toka. Prevajanje toplote skozi več zaporednih plasti. Prevajanje toplote v cilindrični geometriji.

Prevajanje toplote: Toplota prehaja z toplejšega na hladnejše telo. Toplota prehaja med telesi na tri načine: s prevajanjem, konvekcijo in s toplotnim sevanjem.

$$\text{Toplotni tok: } P = \frac{dQ}{dt} = -\lambda S \frac{dT}{dx}$$

$$\text{Gostota toplotnega toka: } j = \frac{P}{S} = -\lambda \frac{dT}{dx}$$

Prevajanje toplote skozi več zaporednih plasti: Prva plast naj ima debelino d_1 in toplotno prevodnost λ_1 . Druga plast naj ima debelino d_2 in toplotno prevodnost λ_2 . Ploščina obeh plasti naj bo S . Na prosti strani prve plasti naj bo temperatura T_1 , na prosti strani druge plasti pa T_2 ($T_1 > T_2$). Pri računanju toplotnega toka skozi dvojno plast najprej izračunamo temperaturo T na meji dveh plasti. Izračunamo jo tako, da predpostavimo, da je v stacionarnih razmerah toplotni tok skozi prvo plast enak toplotnemu toku skozi drugo plast:

$$P = \frac{\lambda_1 S (T_1 - T)}{d_1} = \frac{\lambda_2 S (T - T_2)}{d_2} \longrightarrow T = T_1 \frac{\frac{\lambda_1}{d_1}}{\frac{\lambda_1}{d_1} + \frac{\lambda_2}{d_2}} + T_2 \frac{\frac{\lambda_2}{d_2}}{\frac{\lambda_1}{d_1} + \frac{\lambda_2}{d_2}} \longrightarrow P = \frac{S(T_1 - T_2)}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2}}$$

V primeru, ko je zaporednih plasti več, je v imenovalcu izraza za toplotni tok vsota vseh d/λ .

Prevajanje toplote v cilindrični geometriji: Cev naj bo izolirana s plastjo izolatorja, ki se dotika cevi in ima notranji polmer a , zunanji pa b . Znotraj je temperatura $T_0 + \Delta T$, zunaj je temperatura T_0 , toplotna prevodnost izolatorja naj bo λ . Izračunajmo, kolikšen je tedaj toplotni tok P skozi izolator in kakšen je potek temperature v izolatorju v odvisnosti od polmera. $P = jS = -\lambda 2\pi r l \frac{dT}{dr} = konst$

$$dT = -\frac{P}{2\pi\lambda l} \frac{dr}{r}$$

Toplotni tok P dobimo z integracijo te enačbe po polmeru od a do b in po temperaturi od $T_0 + \Delta T$ do T_0 . $P = \frac{2\lambda\pi l \Delta T}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$

7. Konvekcija. Toplotna izolacija, dewarska posoda. Hlajenje avtomobilskih motorjev in elektronskih naprav ter elementov.

Konvekcija: Ločimo naravno in vsiljeno konvekcijo. Vsiljeno konvekcijo dobimo, ko umetno povzročimo tok tekočine, n. pr. z ventilatorjem v fenu za sušenje las. Do naravne konvekcije pride zaradi spremembe gostote tekočine in vzgona. Toplotni tok pri naravni konvekciji je približno sorazmeren razliki med temperaturo telesa, ki oddaja ali sprejema toploto, temperaturo okolice in površini telesa. Odvisen je oblike in orientacije telesa. Toplotni tok zaradi konvekcije zmanjšamo, če preprečimo ali otežimo gibanje tekočine.

Toplotna izolacija: V splošnem je treba čim bolj zmanjšati vse tri načine izmenjave toplote. Prevajanje zmanjšamo z uporabo materialov z majhno toplotno prevodnostjo, konvekcijo na ta način, da tekočinam čim bolj otežimo gibanje, sevanje pa tako, da izberemo površine s čim manjšo emisivnostjo, n. pr. neoksidirane kovinske površine.

Dewarska posoda: To je posoda z dvema stenama. Vmes je vakuum. Na ta način dosežemo, da med stenama ni prevajanja in konvekcije. Tudi stene morajo biti take, da je njihova toplotna prevodnost majhna. Pogosto se za to uporablja steklo, pri nižjih temperaturah pa tudi nerjaveče jeklo. V steklenih dewarskih posodah sta steni na notranji strani posrebreni. Na ta način dosežemo, da je emisivnost površin majhna in je zato majhen tudi toplotni tok zaradi sevanja.

Hlajenje naprav: Če želimo da je neko telo v čim boljšem toplotnem stiku z drugim, bomo uporabili za povezavo snovi z dobro toplotno prevodnostjo. Če želimo spojiti dve trdni površini, kot recimo procesor v računalniku in hladilnik, damo vmes tanko plast paste z dobro toplotno prevodnostjo. Hladilnik je narejen tako, da ima čim večjo površino. Ker je odvajanje toplote z naravno konvekcijo kljub temu prešibko, je na hladilnik pritrjen ventilator, ki povzroči zračni tok med rebri hladilnika.

8. Toplotno sevanje, črno telo. Štefanov zakon. Wienov zakon. Emisivnost. Temperatura Sončevega površja.

Toplotno sevanje: Vsa telesa, katerih temperatura je različna od absolutne ničle sevajo elektromagnetno valovanje. Sevanje je posledica prehodov med energijskimi nivoji gradnikov snovi, ki jih vzbudi gibanje v snovi. Pri nizkih temperaturah sevajo telesa infrardečo svetlobo, pri višjih temperaturah pa pade del sevanja tudi v področje vidne svetlobe.

Črno telo: Črno telo je telo, ki absorbira vso elektromagnetno valovanje, ki pade nanj in ga nič ne odbije. Njegova odbojnost $a = 0$.

Štefanov zakon: $P = S\sigma T^4$; $\sigma = 5,6696 \cdot 10^{-8} W/(m^2 K^4)$ Velja za sevanje črnega telesa, za nečrno telo velja: $P = eS\sigma T^4$

Wienov zakon: Nam pove pri kateri valovni dolžini telo izseva največ EM valovanja, torej kje je vrh spektralne gostote sevanja črnega telesa. $\lambda_0 T = const$; $const = 2,898 \cdot 10^{-3} mK$

Emisivnost: Emisivnost e , $e = 1 - a$. Za črno telo je emisivnost enaka 1.

Temperatura sončevega površja: $5778 \text{ } ^1K$

¹ <http://en.wikipedia.org/wiki/Sun>

9. Splošni plinski zakon in van der Waalova enačba. Idealni plin, mešanice plinov. Delo tlaka. Hirnov poskus. Notranja energija in entalpija idealnega plina. Zveza med c_v in c_p .

Splošni plinski zakon: $pV = \frac{m}{M}RT$; $R = 8314.5 \text{ J/(kmolK)}$

Van der Waalova enačba: $\left(p + a \frac{n^2}{V^2}\right)(V - bn) = nRT$; $n = \frac{m}{M}$

Člen $a \frac{n^2}{V^2}$ je posledica sil med molekulami, ki naraščajo s skrajševanjem razdalj med molekulami. Drugi člen bn predstavlja prostornino molekul.

Idealni plin: Idealni plin je preprost termodinamični sistem. Sestavljajo ga molekule zanemarljivih dimenzij, med katerimi ni sil. Idealni plin je dober približek za razredčene realne pline.

Mešanica plinov: Če imamo opravka z mešanico plinov, je tlak mešanice enak vsoti delnih tlakov posameznih sestavin.

Delo tlaka: $dA = -pdV$

Hirnov poskus: Pri tem poskusu je toplotno izolirana posoda razdeljena na dva dela. V enem delu je vakuum, v drugem pa plin s temperaturo T , ki je dovolj redek, da ga lahko obravnavamo kot idealni plin. Ko steno razbijemo, se plin razširi po celi posodi. Meritev pokaže, da se pri tem temperatura ne spremeni, spremenita pa se seveda p in V . Pri tem procesu se notranja energija plina ne spremeni. Plin pri širjenju v prazen prostor ne opravi dela. Posoda je toplotno izolirana, zato plin z okolico ne izmenjuje toplote. Po prvem zakonu termodinamike je torej sprememba notranje energije enaka nič.

Notranja energija in entalpija idealnega plina: $\Delta Wn = mc_v \Delta T$; $H = Wn + pV$

$\Delta H = \Delta Wn + \Delta(pV) = mc_v \Delta T + \left(\frac{m}{M}\right)R \Delta T = m \left(c_v + \frac{R}{M}\right) \Delta T = mc_p \Delta T$

Zveza med c_v in c_p : $c_p = c_v + \frac{R}{M}$

10. Izentropne spremembe idealnega plina. Izotermna in izentropna stisljivost. Krožne spremembe.

Izentropne spremembe idealnega plina: Pri izentropni spremembi snov z okolico ne izmenjuje toplote ($dQ = 0$). Poleg tega je sprememba obrnljiva. Pri plinih so spremembe, ki jih lahko obravnavamo kot izentropne spremembe, dokaj pogoste. Ponavadi so te spremembe tako hitre, da v času spremembe plin ne more

izmenjati toplote z okolico $dWn = mc_v dT = dA = -pdV$. Tlak izrazimo iz splošnega zakona. Pri tem dobimo $mc_v dT = -\left(\frac{m}{M}\right)RT \left(\frac{dV}{V}\right)$. Masa se krajša. $\frac{R}{M}$ zapišimo kot $c_p - c_v$, enačbo delimo s c_v in T pa dobimo $\frac{dT}{T} = -(\kappa - 1) \left(\frac{dV}{V}\right)$. Z integriranjem dobimo $TV^{\kappa-1} = T_0V_0^{\kappa-1}$, z logaritmiranjem in diferenciranjem splošnega plinskega zakona dobimo $\frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} = \frac{dT}{T}$, z nekaj mešetarjenja

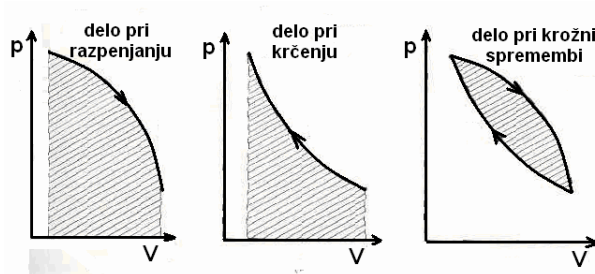
dobimo še zvezi $pV^\kappa = p_0V_0^\kappa$ in $\frac{T^\kappa}{p^{\kappa-1}} = \frac{T_0^\kappa}{p_0^{\kappa-1}}$

$\kappa = \frac{c_p}{c_v} > 1$

Izotermna in izentropna stisljivost: Stisljivost plina: $\chi = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp}$. Za izotermno stisljivost velja $\frac{dp}{p} + \frac{dV}{V} = 0 \rightarrow \chi_T = \frac{1}{p}$. Za izentropno

stisljivost velja $\frac{dp}{p} + \frac{dV}{\kappa V} \rightarrow \chi_S = \frac{1}{\kappa p}$

Krožne spremembe: Te ponazorimo na $p-V$ diagramu kot zaključene krivulje. Po opravljeni spremembi je sistem v enakem stanju, kot je bil v začetku, zato je njegova notranja energija enaka začetni. Delo pri krožni spremembi označimo kot $A_k = -\oint p dV$. Če potujemo po krivulji na $p-V$ digramu v smeri urinega kazalca, je delo pri potovanju po gornji polovici krivulje večje in negativno, pri potovanju po spodnji polovici krivulje nazaj pa manjše in pozitivno. Skupno delo A_k je negativno, po velikosti pa je enako ploščini zaključene krivulje na $p-V$ diagramu. Ker je sprememba notranje energije enaka nič, sistem pri tej krožni spremembi prejme toploto in odda enako veliko delo. Take krožne spremembe nastopajo pri toplotnih strojih. Če napravimo krožno spremembo v obratni smeri je delo pozitivno. Sistem torej prejme delo in odda enako veliko toploto. Take krožne spremembe nastopajo v hladilnikih in toplotnih črpalkah.



11. Drugi zakon termodinamike. Obrnljive in neobrnjljive spremembe. Carnotova krožna sprememba.

Drugi zakon termodinamike: Dve definiciji:

-Ni možen krožni proces, pri katerem bi sistem prejel toploto in vso toploto pretvoril v delo (Kelvin-Planck). Ni torej možen idealen toplotni stroj, ki bi vso prejeto toploto spremenil v delo.

-Ni možen proces, v katerem toplota preide s telesa z nižjo temperaturo na telo z višjo temperaturo in se pri tem nič v okolici ne spremeni (Clausius). V hladilniku ali toplotni črpalki toplota sicer prehaja v tej smeri, a je za to potrebno delo. Ni torej možen idealen hladilnik.

Ta dva zakona sta ekvivalentna, lahko ju pa izrazimo z pomočjo entropije:

-Entropija zaprtega sistema se ohranja, ali povečuje, nikoli pa se s časom ne zmanjšuje.

Obrnljive in neobrnjljive spremembe: Sprememba je obrnljiva, če poteka preko ravnovesnih vmesnih stanj, oziroma preko stanj, ki so blizu ravnovesja. Tako spremembo lahko obrnemo in preko enakih vmesnih stanj dosežemo začetno stanje sistema in okolice (Počasno razpenjanje plina je obrnljiv proces).

Neobrnjljive spremembe so povezane s trenjem, uporom, mešanjem, neprožnimi deformacijami, toplotnim tokom, kemijskimi reakcijami, hitrimi spremembami... Če tako spremembo obrnemo, ne poteka preko enakih vmesnih stanj in četudi dosežemo začetno stanje sistema, se pri tem okolica spremeni. Neobrnjljive spremembe ne moremo predstaviti s krivuljo na p-V diagramu (Hirnov poskus).

Carnotova krožna sprememba: Sestavljata jo dve izotermni in dve izentropni spremembi. Izentropna sprememba je adiabatna ($dQ = 0$) in reverzibilna.

12. Entropija. Sprememba entropije pri obrnljivih in neobrnjljivih spremembah. Entropija idealnega plina.

Entropija: $\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$; Enota je $\frac{J}{K}$

Sprememba entropije pri obrnljivih in neobrnjljivih spremembah: Pri obrnljivih spremembah je sprememba entropije sistema in okolice enaka nič. Pri neobrnjljivih spremembah je sprememba entropije sistema in okolice večja ali enaka nič, velja $\Delta S \geq \int \frac{dQ}{T}$. Ko računamo spremembo entropije pri neobrnjljivi spremembi, si moramo zamisliti obrnljivo spremembo, ki vodi iz enakega začetnega v enako končno stanje, kot neobrnjljiva sprememba.

Entropija idealnega plina: Za idealni plin velja $dQ = dW_n - dA = mc_v dT + pdV$. Z upoštevanjem plinskega zakona dobimo

$$dS = mc_v \frac{dT}{T} + \frac{mR}{M} \frac{dV}{V} = mc_v \left[\frac{dT}{T} + (\kappa - 1) \frac{dV}{V} \right] \rightarrow \Delta S = mc_v \ln \left(\frac{T_2 V_2^{\kappa-1}}{T_1 V_1^{\kappa-1}} \right)$$

13. Toplotni stroji in hladilniki, izkoristek. Carnotov toplotni stroj. Hladilnik s freonom.

Toplotni stroji in hladilniki: Toplotni stroj pretvarja toploto v mehansko ali električno delo. Snov v tem stroju opravlja krožne spremembe. V eni krožni spremembi snov od toplotnega rezervoarja z višjo temperaturo prejme toploto, del prejete toplote pretvori v mehansko delo, ostanek pa odda toplotnemu rezervoarju pri nižji temperaturi in se vrne v začetno stanje.

Hladilnik ali toplotna črpalka opravlja krožne spremembe v obratnem smeri kot toplotni stroj.

Izkoristek: Izkoristek toplotnega stroja η je enak razmerju med oddanim delom A in prejeto toploto Q_p v času ene krožne spremembe

$$\eta = \frac{A}{Q_p} = \frac{Q_p - Q_o}{Q_p} = 1 - \frac{Q_o}{Q_p} < 1$$

Izkoristek hladilnika η lahko definiramo kot razmerju med prejeto toploto Q_p pri nižji temperaturi T' in prejetim delom A v eni krožni

spremembi. Ker je oddana toplota Q_o pri višji temperaturi T enaka $Q_p + A$, velja $\eta = \frac{Q_p}{A} = \frac{Q_p}{Q_o - Q_p} \rightarrow$ Carnotov: $\eta = \frac{T'}{T - T'}$

Carnotov toplotni stroj: Pri njem velja $\frac{Q_p}{T} = \frac{Q_o}{T'}$. Stroj prejema toploto pri temperaturi T in oddaja toploto pri temperaturi T' .

$$\eta = 1 - \frac{T'}{T}$$

Hladilnik z freonom: V realnem hladilniku opravlja krožne spremembe plin (freon), ki se pri sobni temperaturi pri zmernem tlaku utekočini. Kapljevina brizga v cevi v notranjosti hladilnika, kjer zaradi nizkega tlaka izpari. Izparilno toploto vzame od okolice (notranjosti hladilnika). Nato plin črpalka prečrpa v toplotni izmenjevalnik na zadnji strani hladilnika, kjer plin pod zvišanim tlakom odda toploto, se ohladi in utekočini.

14. Tlak idealnega plina, zveza s kinetično energijo molekul. Boltzmannova konstanta. Ekviparticijski teorem. Povprečna prosta pot

Tlak idealnega plina: $p = \frac{2m}{V} \int_0^\infty v_x^2 dN(v_x, v_x + dv_x) \rightarrow p = \frac{2N}{V} \frac{m \langle v_x^2 \rangle}{2}$ Integral predstavlja vsoto kvadratov hitrosti v_x^2 vseh vseh molekul, ki se gibljejo v pozitivni smeri osi x . $dN(v_x, v_x + dv_x)$ pa predstavlja molekule, ki se gibljejo v smeri x , katerih hitrost je med v_x in $v_x + dv_x$.

Zveza s kinetično energijo molekul: Povprečna kinetična energija ene molekule je $\langle W_k \rangle$, to vstavimo v tlak zgoraj. $\langle W_k \rangle = \frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} m \langle v_x^2 \rangle = \frac{3}{2} kT \rightarrow p = \frac{2N}{3V} \langle W_k \rangle = \frac{N}{V} kT$; $N = \frac{m}{M} N_A$; $\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$

Boltzmanova konstanta: $k = \frac{R}{N_A} = 1,38065 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$

Ekviparticijski teorem: Na prostostno stopnjo molekule odpade v povprečju energija $kT/2$. Prostostne stopnje so gibanje v vseh 3 smereh, kar prinese $\frac{3}{2} kT$, vrtenje prinese $1kT$ in nihanje $1kT$. Za enoatomne molekule (žlahtne pline) je najvišja energija $\frac{3}{2} kT$, saj se ne morejo vrteti ali nihati. Dvoatomne (H_2) molekule imajo pri sobni temperaturi $W_k = \frac{5}{2} kT$, pri nizkih temperaturah vrtenja ni opaziti zaradi kvantne narave, saj niso dovoljene vse energije, nihanje se pa začne šele pri zelo visokih temperaturah. Za troatomne molekule je pa kinetična energija že pri sobni temperaturi $\frac{7}{2} kT$.

Povprečna prosta pot ($\langle l \rangle$): Mislimo si da se giblje le opazovana molekula, druge pa mirujejo. Ko prepotuje molekula pot s »pokrije« prostor $\pi(2r)^2 s$. Če v tem prostoru ni nobene molekule, ne bo prišlo do trka. Povprečno prosto pot bomo ocenili tako, da bomo rekli, da molekula, ki prepotuje povprečno prosto pot »pokrije« prostor V' , ki ji pripada: $V' = \frac{V}{N} = \frac{1}{n} = \frac{kT}{p}$. Velja torej $\pi(2r)^2 \langle l \rangle = \frac{kT}{p}$.

Če upoštevamo, da se gibljejo tudi druge molekule, dobimo malo krajšo povprečno prosto pot in sicer

$$\langle l \rangle = \frac{kT}{\sqrt{2}\pi(2r)^2 p}$$

15. Notranja energija idealnega plina v kinetični teoriji plinov. Specifični toploti c_p in c_v idealnega plina. Spreminjanje c_p in c_v v širšem temperaturnem območju, kvantni vplivi.

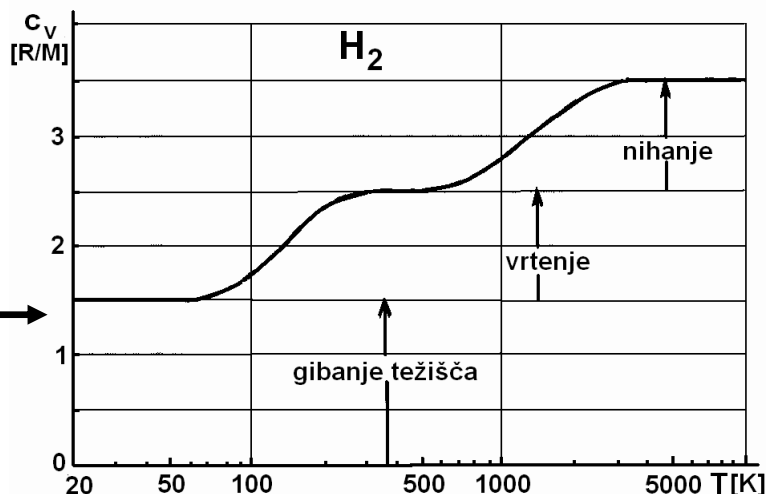
Notranja energija idealnega plina v kinetični teoriji plinov:

$$W_n = \sum_{i=1}^N W_{ki} = N \langle W_k \rangle = \frac{m}{M} N_A \frac{3}{2} kT = \frac{3m}{2M} RT$$

Specifični toploti c_p in c_v idealnega plina: Če upoštevamo, da je sprememba notranje energije idealnega plina enaka $\Delta W_n = m c_v \Delta T$, vidimo da se $c_v = \frac{3}{2} \frac{R}{M}$, kar dobro ujema z eksperimentalnimi rezultati za žlahtne (enoatomne) pline. Za dvoatomne pline je pri sobni temperaturi $c_v = \frac{5}{2} \frac{R}{M}$, za večatomne pline pa je še višji $c_p = c_v + \frac{R}{M}$.

Spreminjanje c_p in c_v v širšem temperaturnem območju: →

Kvantni vplivi: Niso dovoljene vse energije in, če je kT manj od najmanjše energije nihanja, nihanja ne bomo opazili. Podobno velja za vrtenje.



16. Maxwell-Boltzmannova energijska porazdelitev. Padanje tlaka plina z višino v izotermni atmosferi. Sedimentacija. Centrifuga.

Maxwell-Boltzmannova energijska porazdelitev: $f(w) = Ae^{-\frac{w}{kT}}$

Padanje tlaka plina z višino v izotermni atmosferi: Ko smo govorili o hidrostatskem tlaku, smo izračunali padanje tlaka z višino v izotermni atmosferi. Pokazalo se je, da tlak pada z višino eksponentno: $p = p_0 e^{-\frac{Mgz}{RT}}$, kjer je z višina. Z upoštevanjem mikroskopske slike je eksponent enak $\frac{mgz}{kT}$, pri čemer je m masa molekule:

$p = p_0 e^{-\frac{mgz}{kT}}$. Tlak izrazimo s pomočjo plinskega zakona v mikroskopski obliki, $p = nkT$, pa dobimo

$n(z) = n_0 e^{-\frac{mgz}{kT}}$. Število molekul na enoto prostornine z naraščajočo višino eksponentno pada, v eksponentu pa nastopa razmerje potencialne energije mgz in kT .

Sedimentacija²: Je obnašanje majhnih delcev v tekočini ali v zraku, kjer jih zaletavanje delcev tekočine ali zraka premika, npr. pritisne ob steno.

Centrifuga: Če v centrifugi vrtimo epruveto s kapljevino in delci, se delci naberejo na dnu epruvete, čim dlje od osi. V neinercialnem sistemu, ki se vrti skupaj z epruveto, deluje na delce centrifugalna sila in ta jih potiska proti dnu epruvete. Z zelo majhnimi delci in makromolekulami pa ni tako. Opazimo namreč porazdelitev teh delcev po oddaljenosti od osi vrtenja. Največ jih je pri dnu epruvete, njihovo število na enoto prostornine pa se zmanjšuje s približevanjem osi vrtenja. $w(z) \propto e^{-\frac{\Delta w}{kT}}$

17. Porazdelitev hitrosti molekul plina v eni razsežnosti, povprečna hitrost in povprečni kvadrat hitrosti

Porazdelitev hitrosti molekul plina v eni razsežnosti: $W(v_x) = \sqrt{\frac{m}{2\pi kT}} e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}}$

Povprečna hitrost: Povprečna vrednost $\langle v_x \rangle$ je seveda enaka nič, saj sta smeri x in $-x$ enakopravni.

Povprečni kvadrat hitrosti:

$$\langle v_x^2 \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} v_x^2 e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}} dv_x = \frac{kT}{m}$$

18. Porazdelitev velikosti hitrosti molekul plina, povprečna hitrost, povprečni kvadrat hitrosti in najverjetnejša hitrost

Porazdelitev velikosti hitrosti molekul plina: $w(v) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left(\frac{m}{kT}\right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{mv^2}{2kT}}$

Povprečna hitrost: $\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}}$

Povprečni kvadrat hitrosti: $\langle v^2 \rangle = \frac{3kT}{m}$

Najverjetnejša hitrost: $v_0 = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$

² <http://en.wikipedia.org/wiki/Sedimentation>

19. Električni naboji. Coulombov zakon. Električna potencialna energija sistema točkastih nabojev.

Električni naboji: Električno so nabiti gradniki snovi. Atom je sestavljen iz električno nabitega jedra in električno nabitega elektronskega oblaka. Sila, ki veže atome v molekule pa tudi atome in molekule v snov je električna sila. Električni naboj elektrona je negativen. Električni naboji, ki privlačijo elektrone, so pozitivni, tisti, ki odbijajo elektrone pa negativni.

Coulombov zakon: $F = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$; $\epsilon_0 = 8,8542 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$; $C(\text{columb}) = A(\text{Amper})s(\text{sekunda})$

Električna potencialna energija sistema točkastih nabojev:

$$W_p = \frac{e_1 e_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

20. Električno polje. Električna poljska jakost in električni potencial ter zveza med njima. Silnice in ekvipotencialne ploskve.

Električno polje: Električni naboji spremene lastnosti prostora. Prostor postane električno polje. Če v ta prostor postavimo električni naboj, deluje nanj električna sila. Električno polje lahko opišemo na več načinov. Lahko povemo, kje so izvori polja (električni naboji) in kolikšni so. Ta opis je prikladen v primeru, ko imamo opravka z električnim poljem majhnega števila nabojev. V primerih, ko imamo opravka z večjim številom nabojev, s porazdelitvijo nabojev, ali elektromagnetnim valovanjem, je primerneje opisati električno polje z električno poljsko jakostjo.

Električna poljska jakost: Smer električne poljske jakosti se ujema s silo na pozitivni naboj, enota pa je N/C ali V/m ; $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{e}$.

Električni potencial in zveza z poljsko jakostjo:

$$U = \sum_i \frac{e_i}{4\pi\epsilon_0 r_i} = - \int \vec{E} d\vec{s}$$

Silnice in ekvipotencialne ploskve: Električno polje ponazorimo s silnicami. Silnica je črta, ki jo dobimo, ko sledimo smeri sile na pozitivni naboj ali smeri električne poljske jakosti. Smer silnice se ujema s smerjo električne poljske jakosti. V vsaki točki je električna poljska jakost tangenta na silnico in kaže v smeri silnice.

Ekvipotencialne ploskve. To so ploskve konstantnega potenciala, ki so pravokotne na silnice. Pri premikanju električnega naboja po ekvipotencialni ploskvi ne opravljamo dela. Ekvipotencialne ploskve okrog točkastega naboja so koncentrične krogle. Okrog dolge homogene nabite ravne žice so ekvipotencialne ploskve koncentrični valji. V okolici homogene nabite velike ravne plošče so ekvipotencialne ploskve ravnine vzporedne s ploščo.

21. Gaussov zakon v vakuumu in v snovi. Električna poljska jakost in gostota električnega polja. Ploščati in valjasti kondenzator.

Gaussov zakon v vakuumu in v snovi: $\oint \vec{D} d\vec{S} = e$

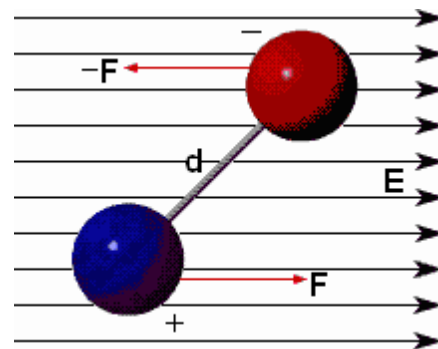
Električna poljska jakost (\vec{E}) in gostota električnega polja (\vec{D}): $\vec{D} = \epsilon(\text{za dielektrike} \neq 1, \text{ drugače je} \approx 1)\epsilon_0 \vec{E}$

Ploščati in valjasti kondenzator: Ploščati: $e = CU$; $E = \frac{e}{\epsilon_0 S}$; $U = \frac{ed}{\epsilon_0 S} = Ed$; $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$

Valjasti kondenzator: $e = CU$; $E = \frac{e}{2\pi r l \epsilon_0}$; $U = \frac{e \ln(\frac{b}{a})}{2\pi l \epsilon_0}$; $C = \frac{2\pi l \epsilon_0}{\ln(\frac{b}{a})}$

22. Električni dipol: silnice in ekvipotencialne ploskve. Navor na dipol in energija dipola v homogenem električnem polju. Sila na dipol v nehomogenem električnem polju.

Električni dipol, silnice in ekvipotencialne ploskve: Električni dipol sestavljata pozitivni naboj e in enako velik negativni naboj $-e$ v razdalji d . Opišemo ga z električnim dipolnim momentom \vec{p}_e . Dipolni moment je vektor z velikostjo ed usmerjen od negativnega proti pozitivnemu naboju. Sila na pozitivni naboj je v homogenem električnem polju nasprotno enaka sili na negativni naboj. Skupna sila je torej nič.



Električno polje ponazorimo s silnicami. Silnica je črta, ki jo dobimo, ko sledimo smeri sile na pozitivni naboj ali smer električne poljske jakosti. Smer silnice se ujema s smerjo električne poljske jakosti. V vsaki točki je električna poljska jakost tangenta na silnico in kaže v smeri silnice.

Ekvipotencialne ploskve. To so ploskve konstantnega potenciala, ki so pravokotne na silnice. Pri premikanju električnega naboja po ekvipotencialni ploskvi ne opravljamo dela.

Ekvipotencialne ploskve okrog točkastega naboja so koncentrične krogle. Okrog dolge homogene nabite ravne žice so ekvipotencialne ploskve koncentrični valji. V okolici homogene nabite velike ravne plošče so ekvipotencialne ploskve ravnine vzporedne s ploščo.

Navor na dipol in energija dipola v homogenem električnem polju: $\vec{M} = \vec{p}_e \times \vec{E}$; $W = -\vec{p}_e \cdot \vec{E}$ Ničlo energije smo izbrali pri pravokotni orientaciji ($\varphi = 90^\circ$).

Sila na dipol v nehomogenem električnem polju: $F = F' - F'' = eE(x+d) - eE(x) \approx e \frac{dE}{dx} d = p_e \frac{dE}{dx} = F$

23. Prevodnik v statičnem električnem polju, influenza. Kapaciteta kondenzatorja. Energija kondenzatorja in energija električnega polja. Sila med ploščama kondenzatorja.

Prevodnik v statičnem električnem polju: Zaradi odbojnih sil med istoimenskimi naboji se nanešen naboj porazdeli po površju predmeta. Porazdeli se na ta način, da je znotraj predmeta električna poljska jakost enaka nič. Od nič različna električna poljska jakost namreč povzroči gibanje električnih nabojev. Silnice so pravokotne na površino prevodnega predmeta. Nagnjene silnice pomenijo, da je projekcija električne poljske jakosti na površje prevodnika različna od nič. Posledica tega so površinski tokovi, ki jih v elektrostatici seveda ni.

Influenca: Ko damo prevoden predmet v električno polje pride v njem do prerazporeditve električnega naboja. Pojav imenujemo influenza. Električni naboj se nabere na površju predmeta. Del površja nosi pozitiven električni naboj, del pa negativnega. Skupni električni naboj je nič. Električna poljska jakost naboja na površju prevodnika je ravno nasprotna zunanji električni poljski jakosti tako, da znotraj prevodnika ni električnega polja. Tudi, če je znotraj prevodnika votlina, v njej ni električnega polja. Ker znotraj prevodnika ni električnega polja, je tudi električni potencial po celem prevodniku enak, površje prevodnika pa predstavlja ekvipotencialno ploskev v električnem polju

Kapaciteta kondenzatorja: $C = \frac{e}{U}$ Enota za kapaciteto je $\frac{As}{V}$ ali F (farad). Ploščati $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$, valjasti $C = \frac{2\pi l \epsilon_0}{\ln(\frac{b}{a})}$, krogelni $\frac{4\pi \epsilon_0}{\frac{1}{a} - \frac{1}{b}}$

Energija kondenzatorja in energija električnega polja: $W_c = \frac{e^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = V \frac{\epsilon_0 E^2}{2}$, Tu je V prostornina kondenzatorja, ali drugače povedano, prostornina homogenega električnega polja. Enačbo lahko razumemo tudi tako, da električnemu polju pripišemo energijo W_e

z gostoto w_e , $w_e = \frac{W_e}{V} = \frac{\epsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2}$

Sila med ploščama kondenzatorja: Najlažje jo izračunamo kot produkt električne poljske jakosti, ki jo na mestu prve plošče povzroča druga plošča ($E = \frac{e}{2\epsilon_0 S}$) in naboja e na prvi plošči, $F = eE = \frac{e^2}{2\epsilon_0 S} = \frac{\epsilon_0 S U^2}{2d^2}$.

24. Vzporedna in zaporedna vezava kondenzatorjev. Polnjenje in praznjenje kondenzatorja. Kondenzator priključen na vir izmenične napetosti.

Vzporedna in zaporedna vezava kondenzatorjev: Vzporedna vezava: $e = C_1U + C_2U = CU$, s C smo označili nadomestno kapaciteto vezja, ki je enaka $C = C_1 + C_2$.

Zaporedna vezava: Na vseh štirih ploščah je po velikosti enak naboj e . $U_1 + U_2 = U$, $U_1 = \frac{e}{C_1}$, $U_2 = \frac{e}{C_2}$, $e = CU$, $C = \frac{C_1C_2}{C_1+C_2}$, velja tudi $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$.

Polnjenje in praznjenje kondenzatorja: Polnjenje: Nenabit kondenzator s kapaciteto C priključimo preko upornika z uporom R na vir napetosti z gonilno napetostjo U . Na plošče kondenzatorja začne teči tok in kondenzator se polni, dokler napetost na njem ne postane enaka napetosti vira. Najprej ocenimo čas polnjenja. Začetni tok je enak $\frac{U}{R}$. Izračunajmo, v kolikšnem času τ bi bil kondenzator poln, če bi vseskozi tekel tok $\frac{U}{R}$: $\left(\frac{U}{R}\right)\tau = CU$. $\tau = RC$. Po drugem Kirchoffovem izreku je vsota padcev napetosti $U_r + U_c = IR + \frac{e}{C}$ enaka napetosti vira U . Upoštevajmo še, da velja $I = \frac{de}{dt}$. $RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = U \rightarrow U_c = U\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$; $U_r = Ue^{-\frac{t}{RC}} \rightarrow I = \frac{U_r}{R} = \frac{U}{R}e^{-\frac{t}{RC}}$

Praznjenje: Ko kondenzator, nabit na napetost U , priključimo na upornik, se začne prazniti. Začetni tok skozi upornik je $\frac{U}{R}$. S časom napetost na kondenzatorju pada, zato se tudi tok manjša. Čas praznjenja lahko ocenimo podobno, kot smo ocenili čas polnjenja.

Vprašamo se, kdaj bi bil kondenzator prazen, če bi vseskozi tekel začetni tok. Dobimo enak čas, kot pri polnjenju: $\tau = RC$. Pri računu moramo upoštevati, da igra kondenzator vlogo generatorja, zato je $U_c = U_r$, oziroma $\frac{e}{C} = IR$. Tok je sedaj enak $I = -\frac{de}{dt}$.

$RC \frac{dU_c}{dt} + U_c = 0 \rightarrow U_c = U_r = Ue^{-\frac{t}{RC}} \rightarrow I = \frac{U_r}{R} = \frac{U}{R}e^{-\frac{t}{RC}}$ Pri polnjenju energija kondenzatorja narašča, pri praznjenju pa pada. Delo, ki ga prejme upornik pri praznjenju kondenzatorja je enako $\frac{CU^2}{2}$.

Kondenzator priključen na vir izmenične napetosti: Vir $U = U_0 \sin \omega t$. Napetost na kondenzatorju $\frac{e}{C}$ je enaka napetosti vira $\frac{e}{C} = U_0 \sin \omega t$. Tok na plošči kondenzatorja je enak odvodu naboja na ploščah kondenzatorja po času $I = \frac{de}{dt} = U_0 \omega C \cos \omega t = I_0 \cos \omega t$, $I_0 = U_0 \omega C$. Razmerje $\frac{U_0}{I_0}$ v splošnem imenujemo impedanca in označimo s črko Z . $Z_c = \frac{1}{\omega C}$. $P = UI = U_0^2 \omega C \sin \omega t \cos \omega t = \frac{U_0^2 \omega C}{2} \sin 2\omega t$.

25. Dielektriki, dielektričnost. Električna poljska jakost in gostota električnega polja v dielektriku. Polarizacija.

Dielektriki: Nabijmo ploščat kondenzator na napetost U in vir odključimo. Nato porinimo med plošči kondenzatorja stekleno ploščo. Napetost med ploščama kondenzatorja pade na vrednost U' . Ko vzamemo stekleno ploščo ven, napetost med ploščama kondenzatorja zraste na začetno vrednost U . $U' = \frac{U}{\epsilon}$. Padec napetosti je povezan z zmanjšanjem električne poljske jakosti med ploščama kondenzatorja. Enako kot napetost se tudi električna poljska jakost zmanjša za faktor ϵ .

Dielektričnost: Faktor ϵ imenujemo dielektričnost.

Električna poljska jakost in gostota električnega polja v dielektriku: $\oint \vec{D} d\vec{S} = e$; $\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E}$

Električna poljska jakost med ploščama kondenzatorjev $E = \frac{E_z}{\epsilon} = E_z - E_n$ je sestavljena iz:

-zunanje električne poljske jakosti E_z , $E_z = \frac{e}{\epsilon_0 S}$, ki jo povzročajo naboji na ploščah kondenzatorja in

-nasproti usmerjene notranje električne poljske jakosti $E_n = (\epsilon - 1)E$, ki jo povzroči snov (izolator) v električnem polju.

Polarizacija: V izolatorjih prostih nosilcev naboja ni. Možni so samo majhni lokalni premiki. Inducirajo se električni dipoli. Električni dipolni moment inducirane dipola je sorazmeren in nasproten zunanji električni poljski jakosti. Polarizacijo lahko povežemo s površinskimi naboji. Naj bo električni naboj mikroskopskega dipola e , razdalja med nabojema pa d . Debelina dielektrika naj bo l . Razmerje e_p/e predstavlja število dipolov N_1 v pravokotni ravnini. Razmerje l/d predstavlja število električnih dipolov N_2 v vzdolžni smeri. Število električnih dipolov v dielektriku N je enako $N = N_1 N_2$, makroskopski električni dipolni moment dielektrika pa

$P_e = N p_e = N_1 N_2 e d = e_p l$; $P = \frac{P_e}{V} = \sigma_p = \epsilon_0 (\epsilon - 1) E$

26. Električna poljska jakost in gostota električnega polja na meji dveh dielektrikov. Kondenzator, ki je delno napolnjen z dielektrikom. Piezoelektriki.

Električna poljska jakost in gostota električnega polja na meji dveh dielektrikov: Meja poteka vzporedno s silnicami. V tem primeru si lahko zamislimo zaključeno pot, katere polovica poteka po prvem dielektriku, polovica pa po drugem dielektriku, obakrat tik ob meji. Dolžina poti na vsaki strani meje je s . Velja $\oint \vec{E} d\vec{s} = E_1 s - E_2 s = 0$

sta električni poljski jakosti v obeh dielektrikih enaki, $E_1 = E_2$, gostoti pa različni: $\frac{D_1}{\epsilon_1} = \frac{D_2}{\epsilon_2}$.

Naj bo meja med dielektrikoma pravokotna na silnice. Kot zaključeno ploskev vzemimo plosko škatlo z eno ploskvijo velikosti S v prvem sredstvu in drugo enako veliko ploskvijo v drugem sredstvu. Velja

$\oint \vec{D} d\vec{S} = D_1 S - D_2 S = 0$. V tem primeru se ohranja gostota električnega polja, $D_1 = D_2$, električni poljski jakosti pa sta različni: $\epsilon_1 E_1 = \epsilon_2 E_2$.

Kondenzator, ki je delno napolnjen z dielektrikom: Povečanje kapacitete za faktor ϵ velja tudi za druge oblike kondenzatorjev a le, če je prostor med elektrodama zapolnjen z dielektrikom. Če je prostor le delno zapolnjen, si tak kondenzator lahko predstavljamo kot dva zaporedno vezana ali dva vzporedno vezana kondenzatorja. Če sega dielektrik od ene do druge elektrode v delu kondenzatorja, sta to dva vzporedno vezana kondenzatorja. Če dielektrik ne sega od ene do druge elektrode, sta to dva zaporedno vezana kondenzatorja.

Piezoelektriki: V piezoelektrikih mehanska deformacija povzroči nastanek makroskopske polarizacije. Električna polarizacija P je sorazmerna mehanski napetosti $\frac{F}{S}$ in sicer velja $P = d \left(\frac{F}{S} \right)$, d je piezoelektrična konstanta. Zunanja električna poljska jakost E spremeni debelino piezoelektrika. Piezoelektrične kremenove kristale uporabljamo za stabilizacijo frekvence v električnih vezjih. S piezoelektriki lahko merimo majhne premike pa tudi povzročimo kontrolirane majhne premike na primer v tunelskem mikroskopu in mikroskopu na atomsko silo. Uporabljamo jih kot ultrazvočne pretvornike. V vsakdanjem življenju uporabljamo piezoelektrike v vžigalnikih in zvočnikih.

27. Električni tok, gostota električnega toka. Ohmov zakon. Upor, specifični upor, prevodnost. Kirchoffova izreka.

Električni tok: Ko med konca kovinskega vodnika priključimo vir napetosti se situacija spremeni. Elektroni se začno gibati v nasprotni smeri električne poljske jakosti. V elektrolitih in trdnih ionskih prevodnikih povzroči električno polje gibanje ionov: pozitivnih v smeri električne poljske jakosti, negativnih pa v nasprotni smeri. V ioniziranem plinu povzroči električno polje gibanje ionov in elektronov. V teh in številnih drugih primerih steče električni tok. $I = \frac{dq}{dt}$, Enota je A(amper). Smer električnega toka je po dogovoru smer gibanja pozitivnih električnih nabojev. Elektroni se gibljejo v nasprotni smeri električnega toka.

Gostota električnega toka: $j = \frac{dI}{dS} = \sigma E$, enota je $\frac{A}{m^2}$

Ohmov zakon: $I = \frac{U}{R}$

Upor: $R = \xi \frac{l}{S}$

Specifični upor: $\xi = \frac{1}{ne^2 \mu'}$, enota je Ωm .

Prevodnost: $\sigma = \frac{1}{\xi}$

Kirchoffova izreka: Ko se v nekem vozlišču električni tok združuje in cepi, je vsota tokov, ki pritekajo v vozlišče enaka vsoti tokov, ki odteka iz vozlišča. Ta izrek je posledica zakona o ohranitvi naboja, imenuje pa se prvi Kirchoffov izrek.

Napetost na uporniku IR imenujemo padec napetosti, napetost vira U pa gonilno ali generatorsko napetost. Gonilna napetost vira je enaka padcu napetosti na uporniku. Podobno zvezo lahko zapišemo za vsak zaključen električni krog. V zaključenem krogu je vsota padcev napetosti enaka vsoti gonilnih napetosti.

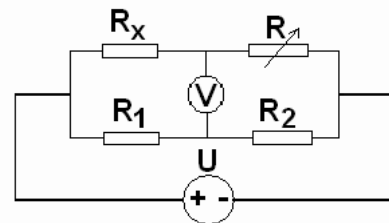
Zapisali smo drugi Kirchoffov izrek. Drugi Kirchoffov izrek lahko zapišemo tudi v obliki: Vsota napetosti v zaključenem krogu je enaka nič.

28. Merjenje upora. Wheatstonov most. Uporovni termometer.

Merjenje upora: Upor lahko merimo na več načinov. Lahko na primer izmerimo napetost na uporniku in tok skozenj ter izračunamo upor. V univerzalnem instrumentu, s katerim merimo električni tok, napetost in upor je en sam instrument - ampermeter. Neznani upornik z uporom R , notranji upornik z uporom R_n in ampermeter zaporedno zvežemo in priključimo na vir napetosti z gonilno napetostjo U . Ampermeter pokaže tok $I = \frac{U}{R + R_n}$. Večjemu uporu R ustreza manjši tok. Skala za merjenje upora je obratna od skale za merjenje toka in ni linearna.

Wheatstonov most: Na dva priključka priključimo vir napetosti, na druga dva pa merilni instrument. Ta je lahko občutljiv voltmeter ali občutljiv ampermeter. Merilni instrument kaže ničlo, ko velja $\frac{R_x}{R} = \frac{R_1}{R_2}$, upor $R_x = \frac{R_1}{R_2} R$.

Uporovni termometer³: Izkoriščajo predvidljivo spremembo upora z spreminjanjem temperature. Najpogostejše so narejeni s platine.



³ http://en.wikipedia.org/wiki/Platinum_resistance_thermometer

29. Upornik. Zaporedna in vzporedna vezava upornikov. Moč na uporniku. Upornik priključen na vir izmenične napetosti, efektivna napetost in tok.

Upornik: Upornik je elektronski element z določenim uporom R . Ko ga priključimo na vir napetosti steče skozenj tok $I = \frac{U}{R}$. Tu je U napetost vira.

Zaporedna in vzporedna vezava upornikov: Zaporedna $R_c = R_1 + R_2$. Vzporedna $\frac{1}{R_c} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \rightarrow R_c = \frac{R_1 R_2}{R_2 + R_1}$

Moč na uporniku: Pri prehodu skozi upornik pade elektronu električna potencialna energija za $e_0 U$, njegova kinetična energija pa se ne spremeni. Energijo $e_0 U$ prejme upornik ob trkih. Pri tem se poveča notranja energija upornika. Makroskopsko gledano steče skozi upornik v času dt električni naboj $dq = Idt$. Sprememba električne potencialne energije tega naboja dW_{ep} je enaka $dW_{ep} = U dq = UI dt$. Tolikšno je tudi delo dA , ki ga opravi vir napetosti in s tem poveča notranjo energijo upornika. Moč, ki se troši na uporniku je enaka $P = dA/dt = UI$. Z upoštevanjem Ohmovega zakona dobimo $P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R$

Upornik priključen na vir izmenične napetosti: $U = U_0 \sin(\omega t)$, tu je U_0 amplituda napetosti, ωt krožna frekvenca ($\omega = 2\pi\nu = 2\pi/t_0$). Če frekvenca vira ν ni previsoka, v vsakem trenutku velja Ohmov zakon. Tok skozi upornik je enak $I = \frac{U}{R} = \frac{U_0}{R} \sin \omega t = I_0 \sin \omega t$. Tok niha v fazi z napetostjo. Moč na uporniku je enaka $P = \frac{U^2}{R} = \frac{U_0^2}{R} \sin^2 \omega t = I_0^2 R \sin^2 \omega t$; $\sin^2 \omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t)$. Povprečna moč

$$\bar{P} = \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} P dt = \frac{U_0^2}{2R}$$

Efektivna napetost in tok:

$$I_{ef}^2 = \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} I^2 dt$$

$$U_{ef}^2 = \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} U^2 dt$$

V primeru sinusne napetosti in toka velja $U_{ef} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$ in $I_{ef} = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$

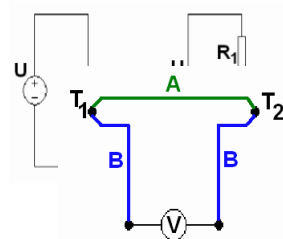
30. Voltmeter, ampermeter: značilnosti, vezave, napake. Potenciometer. Termoelement.

Voltmeter: Voltmeter je naprava za merjenje električne napetosti. Vežemo ga vzporedno z elementom, na katerem želimo izmeriti napetost. Razmere v vezju se zanemarljivo spremenijo, ko ga odključimo, če je njegov upor R_v velik v primerjavi z uporom R . Voltmeter dobimo, če zaporedno z ampermetrom vežemo upornik z uporom R_v . V primeru, da z ampermetrom lahko merimo tokove do vrednosti I_0 , lahko s tako narejenim voltmetrom merimo napetosti do vrednosti $I_0 R_v$. Večji kot je R_v , večje napetosti lahko merimo.

Ampermeter; značilnosti, vezave, napake: Ampermeter vežemo zaporedno, da tok teče skozenj. Da ampermeter čim točneje meri tok, mora biti R_A veliko manjši od upora vezja. Vsak ampermeter je narejen za merjenje tokov v določenem območju, recimo do 100 mA . Če želimo s tem ampermetrom meriti večje tokove, recimo do 1 A , moramo razliko tokov, ki je v našem primeru 900 mA , »speljati« mimo ampermetrazato vzporedno vežemo upornik katerega upor je v našem primeru enak $R_A/9$.

Potenciometer: Potenciometer je upornik s tremi priključki: dvema fiksnima in drsnim. Pri premikanju drsnega priključka se spreminjata upora R_1 in R_2 , njuna vsota $R_1 + R_2 = R_p$ pa je konstantna. Z vezavo potencimetra na sliki lahko zvezno spreminjamo napetost na bremenu R_L med napetostjo vira in nič.

Termoelement: Termoelement je preprosto vezje sestavljeno iz dveh prevodnikov. Če sta temperaturi spojev različni, pokaže voltmeter, ki ga vežemo med priključka, napetost, ki je približno sorazmerna temperaturni razliki $U = k(T_1 - T_2)$. Termoelemente uporabljamo za merjenje temperature. En spoj termoelementa ima stalno temperaturo, n. pr. $T_1 = 0^\circ\text{C}$, drug spoj pa je na mestu, kjer merimo temperaturo (T_2). Izmerjena napetost pove, kolikšna je temperatura na mestu drugega spoja.



31. Zaporedno vezana upornik in kondenzator priključena na vir izmenične napetosti: kompleksni upor, impedanca, moč.

Vir napetosti $U = U_0 \sin \omega t$. Kirchoff: $IR + \frac{e}{C} = R \frac{de}{dt} + \frac{e}{C} = U_0 \sin \omega t$.

Kompleksne impedance: Uporniku pripišemo upor R , kondenzatorju pa kompleksno impedanco $\tilde{Z}_c = \frac{1}{i\omega C}$, napetost napišemo v obliki $\tilde{U} = U_0 e^{i\omega t}$, tok kot $\tilde{I} = I_0 e^{i\omega t}$, zgornjo enačbo odvajamo. Potem računamo kot z upori. Kompleksna impedanca vezja je $\tilde{Z} = R + \tilde{Z}_c = R + \frac{1}{i\omega C}$. $\tilde{I} = \frac{\tilde{U}}{\tilde{Z}} = \frac{U_0 e^{i\omega t}}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2}}$

Impedanca: $Z = \frac{U_0}{I_0} = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{\omega C})^2} \rightarrow \tan \varphi = \frac{1}{R\omega C}$

Moč: Troši se samo na uporniku $\bar{P} = \frac{I_0^2}{2} R = I_{ef}^2 R = \frac{U_0^2 R}{2Z^2}$

32. Vzporedno vezana upornik in kondenzator priključena na vir izmenične napetosti: kazalčni diagram, impedanca, fazni kot.

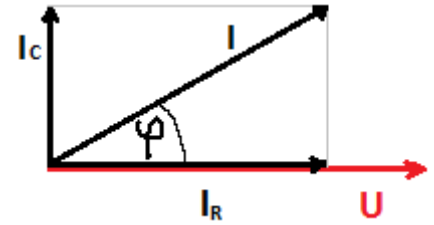
Kazalčni diagram: Problema se lahko lotimo tudi s kazalčnimi diagrami. Napetosti in tokovi so sinusne funkcije časa. Če se »kazalec« vrti okrog začetka, je projekcija kazalca na poljubno os v ravnini vrtenja sinusna funkcija časa. Fazni kot predstavlja orientacija kazalca ob času nič. Tokove in napetosti si lahko predstavljamo kot vrteče se kazalce, ki se s kotno hitrostjo ω vrtijo okrog izhodišča koordinatnega sistema v nasprotni smeri urinega kazalca. Zaradi faznih razlik so kazalci med seboj zasukani. $I^2 = I_R^2 + I_C^2 =$

$$U^2 \left(\frac{1}{R^2} + (\omega C)^2 \right) = \frac{U^2}{Z^2}$$

$$\tan \varphi = \frac{I_C}{I_R} = R\omega C$$

Impedanca: $\frac{1}{\tilde{Z}} = \frac{1}{R} + i\omega C \rightarrow \tilde{Z} = \frac{R}{1+i\omega RC} \rightarrow Z = \frac{R}{\sqrt{1+(R\omega C)^2}}$

Fazni kot: $\tan \varphi = \frac{I_0 \sin \varphi}{I_0 \cos \varphi} = \frac{\text{Imaginarni}}{\text{Realni}} = R\omega C$



Magnetizem

33. Izvori magnetnega polja. Gostota magnetnega polja. Magnetne silnice okrog paličastega trajnega magneta, dolge ravne žice. Magnetne silnice ravne tuljave in toroidne tuljave. Sila med vzporednima vodnikoma.

Izvori magnetnega polja: trajni magneti, električni tok (krogi okoli žice, tuljava).

Gostota magnetnega polja (\mathbf{B}): $\vec{F} = e\vec{v} \times \vec{B}$, enota je $\frac{Vs}{m^2} = T$ -Tesla

Magnetne silnice okrog paličastega trajnega magneta, dolge ravne žice: Magnetne silnice v okolici paličastega trajnega magneta so po obliki podobne silnicam v okolici električnega dipola.

Magnetne silnice v okolici dolgega ravnega vodnika so koncentrični krogi s središčem v vodniku.

Magnetne silnice ravne tuljave in toroidne tuljave: V dolgi ravni tuljavi so silnice goste in vzporedne, izven tuljave pa po obliki spominjajo na silnice v okolici dipola.

Znotraj toroidne tuljave so silnice krogi, zunaj toroidne tuljave je magnetno polje zanemarljivo.

Sila med vzporednima vodnikoma: $F = IlB$

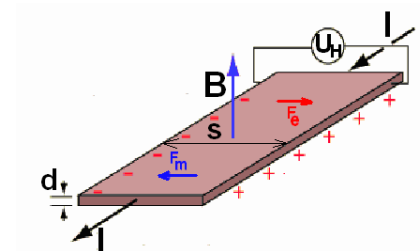
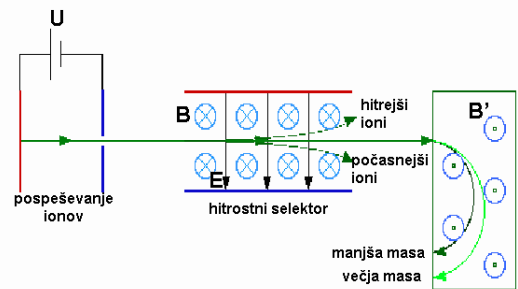
34. Gibanje nabitih delcev v magnetnem polju. Ciklotronska frekvenca. Masni spektrometer. Hallov pojav.

Gibanje nabitih delcev v magnetnem polju: Na električno nabit delec z nabojem e in maso m , ki prileti v magnetno polje z gostoto B pravokotno na silnice deluje magnetna sila, ki je pravokotna na magnetne silnice in hkrati pravokotna na smer hitrosti. Delec se giblje po krožnici, magnetna sila pa je centripetalna sila: $\frac{mv^2}{r} = evB$

Ciklotronska frekvenca: $\nu = \frac{eB}{2\pi m}$

Masni spektrometer: V pečici dobimo ione, ki jih potem pospešimo v električnem polju z napetostjo U . Pri tem jim kinetična energija naraste za eU . Curek ionov leti skozi hitrostni selektor, v katerem sta prekrížani električno in magnetno polje. Skupna sila $\vec{F} = e\vec{E} + e\vec{v} \times \vec{B}$, ki jo imenujemo tudi Lorentzova sila, je nič za tiste ione, ki imajo hitrost $v = \frac{E}{B}$. Masa in naboj iona tu nista pomembna. Ti ioni skozi odprtino v zaslonki prilete v magnetno polje, v katerem potujejo po krožnici s polmerom $r = \frac{mv}{eB}$, razmerje $\frac{v}{B}$ je za vse ione enako, zato z merjenjem polmera r ugotovimo, katero težki so atomi, ki smo jih dobili.

Hallov pojav: Ko po prevodniku v prečnem magnetnem polju teče električni tok, deluje na gibljive nosilce naboja magnetna sila v prečni smeri. Ta sila krivi tire nosilcev naboja. Na mejnih ploskvah prevodnika se nabere električni naboj. Električna sila tega naboja je nasprotna magnetni sili. Napetost U_H med ploskvama, na katerih je električni naboj, je enaka $U_H = Es = \langle v \rangle Bs$. Razdaljo med električno nabitima ploskvama smo označili z s . Upoštevajmo še, da je električni tok $I = Sne \langle v \rangle$, pri čemer je S presek prevodnika, n število gibljivih nosilcev naboja v enoti prostornine in e naboj nosilca pa dobimo $U_H = \frac{s}{Sne} IB$. Hallov pojav uporabljamo za merjenje gostote magnetnega polja.



35. Sila na vodnik in navor na zanko v magnetnem polju. Princip elektromotorja in instrumenta na vrtljivo tuljavo. Navor na magnetni dipol in

energija magnetnega dipola v homogenem magnetnem polju.

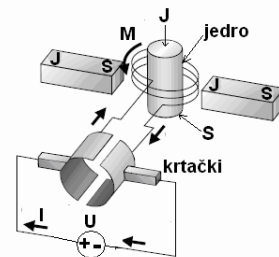
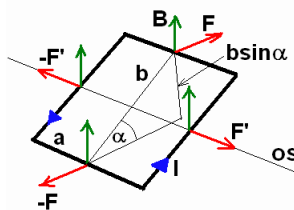
Sila na vodnik: $\vec{F} = I\vec{l} \times \vec{B}$

Navor na zanko v magnetnem polju: $M = ISB \sin \varphi$

Princip elektromotorja in instrumenta na vrtljivo tuljavo: Tok skozi tuljavo namagnetni jedro. Trajna magneta delujeta na jedro z navorom. Navor, jedro in tuljavo, ki je navita okrog jedra, zasuka. Pri tem se spremeni smer toka skozi tuljavo tako, da se smer navora ne spremeni in motor se vrtil. Če spremenimo smer toka, se spremeni smer navora in s tem tudi smer vrtenja motorja.

Navor na magnetni dipol v homogenem magnetnem polju: Definirajmo vektor \vec{S} , ki je po velikosti enak ploščini zanke, po smeri pa je pravokoten na zanko. Smer vektorja \vec{S} naj bo podana s pravilom desnega vijaka. S tako podanim vektorjem \vec{S} zapišemo navor na zanko kot $\vec{M} = I\vec{S} \times \vec{B}$. Magnetni dipolni moment ali krajše magnetni moment tuljave $\vec{p}_m = I\vec{S} \rightarrow \vec{M} = \vec{p}_m \times \vec{B}$. Magnetni moment tuljave z N ovoji je enak $\vec{p}_m = NI\vec{S}$.

Energija magnetnega dipola v homogenem magnetnem polju: $W = -\vec{p}_m \cdot \vec{B}$



36. Magnetni pretok in magnetna napetost. Amperov zakon, jakost magnetnega polja. Gostota magnetnega polja v okolici dolge ravne žice in v dolgi ravni tuljavi.

Magnetni pretok: $\Phi_m = \int \vec{B} d\vec{S}$. Enota za magnetni pretok je weber ($Wb = Vs$). Magnetni pretok skozi zaključeno ploskev je enak nič, $\oint \vec{B} d\vec{S} = 0$. V naravi namreč ni magnetnih nabojev ali monopolov, v primeru dipolov pa je tudi električni pretok skozi zaključeno ploskev enak nič.

Magnetna napetost: $\int \vec{B} d\vec{s}$, zanima nas predvsem $\oint \vec{B} d\vec{s} = \mu_0 I$, $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$

Amperov zakon: $\oint \vec{H} d\vec{s} = I$, enota $H = \frac{A}{m}$

Jakost magnetnega polja: $\vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}$

Gostota magnetnega polja v okolici dolge ravne žice: $B = \frac{\mu_0}{2\pi r}$

Gostota magnetnega polja v dolgi ravni tuljavi: $B = \frac{\mu_0 NI}{l}$

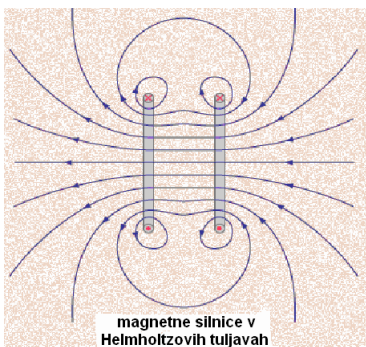
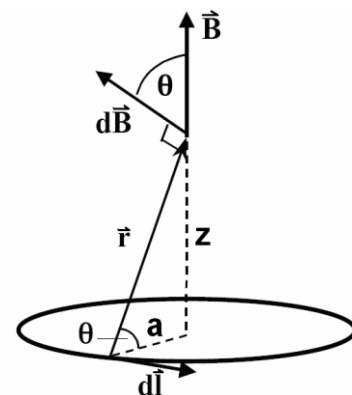
37. Biot-Savartov zakon. Magnetno polje na osi krožne zanke. Helmholtzovi tuljavi.

Biot-Savartov zakon: $d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$, Smer vektorja $d\vec{l}$ se ujema s smerjo električnega toka. Gostota magnetnega polja na tem mestu je torej enaka $\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$

Magnetno polje na osi krožne zanke: Iz simetrijskih razlogov ima gostota magnetnega polja smer osi zanke, vektorja \vec{r} in $d\vec{l}$ sta med seboj pravokotna, smer vektorja $d\vec{B}$ pa je nagnjena proti smeri \vec{B} za kot θ . Dolžina vektorja \vec{r} in kot θ sta za vsa mesta na krožnici enaka. Prispevek $d\vec{B}$ k rezultanti B je enak

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I \cos \theta dl}{4\pi r^2} \rightarrow B = \frac{\mu_0 I a^2}{2(a^2 + z^2)^{3/2}}$$

Helmholtzovi tuljavi: Dve enaki tanki tuljavi s polmerom a na skupni osi, med katerima je razdalja a , sestavljata Helmholtzovi tuljavi. Če teče enak tok I po obeh tuljavah v isti smeri, je magnetno polje na sredi med njima dokaj homogeno.



magnetne silnice v Helmholtzovih tuljavah

38. Indukcija pri premikanju vodnika, vrtenju zanke in spreminjanju gostote magnetnega polja. Indukcijski zakon. Lenzovo pravilo.

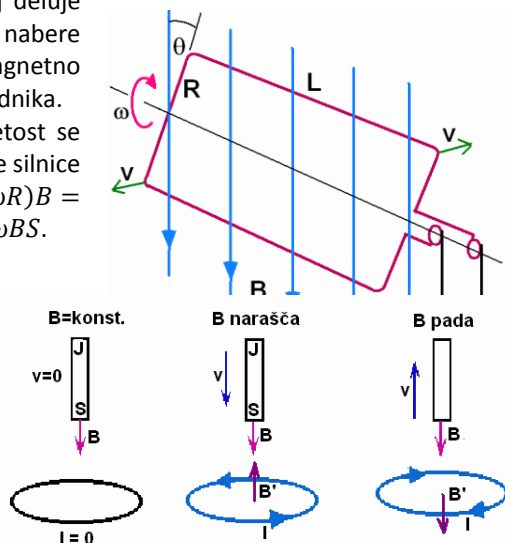
Indukcija pri premikanju vodnika: Med koncema vodnika, ki ga premikamo v manetnem polju tako, da seka silnice, se inducira napetost. Električni naboji se gibljejo skupaj z vodnikom s hitrostjo v . Na vsak naboj deluje magnetna sila $F_m = evB$ vzdolž vodnika. Če konca vodnika nista sklenjena, se na njih nabere pozitiven in negativen električni naboj tako, da električna sila $F_e = eE$ uravnoteži magnetno silo. Napetost med koncema vodnika je enaka $U_i = El = vBl$, pri čemer je l dolžina vodnika.

Indukcija pri vrtenju zanke: Os vrtenja naj bo pravokotna na magnetne silnice. Napetost se inducira samo na odsekih zanke dolžine L . Ko je zanka orientirana tako, da leže magnetne silnice v ravnini zanke ($\theta = 0$), se na vsakem od obeh odsekov inducira napetost $U'_i = L(\omega R)B = \omega BS/2$. Tu je S ploščina zanke. Napetost U_i med koncema zanke je enaka $U_i = 2U'_i = \omega BS$.

Indukcija pri spreminjanju gostote magnetnega polja:

Indukcijski zakon: $U_i = -\frac{d\Phi_m}{dt}$

Lenzovo pravilo: Sila kaže v nasprotno smer kot se prednet giblje. Inducirani tok steče v taki smeri, da nasprotuje spremembem, ki so povzročile njegov nastanek.



39. Merjenje izmeničnih tokov z indukcijo v toroidni tuljavi, ki objame vodnik. Premikalni tok. Maxwellove enačbe v integralni obliki.

Merjenje izmeničnih tokov z indukcijo v toroidni tuljavi, ki jo objame vodnik: $U_i = N\omega BS \sin \varphi$, $\Phi_m = N\vec{B}\vec{S}$

Premikalni tok: $I_p = \frac{d\Phi_e}{dt}$

Maxwellove enačbe v integralni obliki:

$$\oint \vec{D} d\vec{s} = e = \int \rho_e dV$$

$$\oint \vec{B} d\vec{s} = 0$$

$$\oint \vec{E} d\vec{s} = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

$$\oint \vec{H} d\vec{s} = I + \frac{d\Phi_e}{dt}$$

40. Lastna indukcija v tuljavi, induktivnost. Energija tuljave, energija magnetnega polja.

Lastna indukcija v tuljavi: $B = \mu_0 \frac{NI}{l}$, $\Phi_m = NBS = \frac{\mu_0 N^2 S}{l} I$, $U_i = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{\mu_0 N^2 S}{l} \frac{dI}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$

Induktivnost: $L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l} = \frac{\Phi_m}{I}$, $enota = \frac{Vs}{A} = H(Henry)$

Energija tuljave: $W_L = \frac{LI^2}{2}$

Gostota energije magnetnega polja: $w_m = \frac{B^2}{2\mu_0} = \frac{\mu_0 H^2}{2} = \frac{BH}{2}$

41. Spreminjanje toka skozi zaporedno vezavo tuljave in upornika, časovna konstanta vezja. Kaj se zgodi, če tok skozi tuljavo nenadoma prekinemo? Tuljava priključena na vir izmenične napetosti.

Spreminjanje toka skozi zaporedno vezavo tuljave in upornika: Ko priključimo vezje na vir napetosti, tok ne naraste hipoma. V začetku je tok enak nič. Padec napetosti na uporu je nič, na tuljavi pa U . Izračunamo lahko, kako hitro v začetku narašča tok. Iz zveze $L \frac{dI}{dt} = U$ dobimo $I = \frac{U}{L} t$. Ko tok narašča se padec napetosti na uporniku povečuje, padec napetosti na tuljavi pa zmanjšuje, zato tudi tok počasneje narašča. Čez nekaj časa se tok umiri. Tedaj je padec napetosti na tuljavi enak nič, padec napetosti na uporniku pa U . Tok po vezju je tedaj $\frac{U}{R}$.

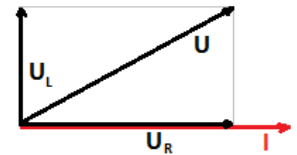
Časovna konstanta vezja: $\tau = \frac{L}{R}$

Kaj se zgodi, če tok skozi tuljavo nenadoma prekinemo: Ko odključimo vir napetosti, deluje tuljava v vezju kot generator z gonilno napetostjo $-L \frac{dI}{dt}$.

Tuljava priključena na vir izmenične napetosti: $U = U_0 \sin \omega t$, $U_L = L \frac{dI}{dt} = U_0 \sin \omega t \rightarrow I = -\frac{U_0}{\omega L} \cos \omega t$

$$I_0 = \frac{U_0}{\omega L}$$

42. Obravnava zaporedne vezave upornika in tuljave s kazalčnim diagramom in s kompleksnimi upori.



Obravnava zaporedne vezave upornika in tuljave s kazalčnim diagramom: Na kazalčnem diagramu napetost na tuljavi prehiteva tok za 90° . $U_L = I\omega L$, $U_R = IR$

$$\tan \varphi = \frac{U_L}{U_R} = \frac{\omega L}{R}, \quad U^2 = U_L^2 + U_R^2 = I^2((\omega L)^2 + R^2), \quad U_0 = I_0 \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

Obravnava z kompleksnimi upori: Kompleksni upor tuljave je $\tilde{Z} = i\omega L$. $\tilde{U} = U_0 e^{i\omega t}$

$$Z = R + \tilde{Z} = R + i\omega L \rightarrow \tilde{I} = \frac{\tilde{U}}{Z} = \frac{U_0 e^{i\omega t}}{R + i\omega L} = \frac{U_0}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} e^{i(\omega t - \varphi)}, \quad I = \text{Re} \tilde{I} = \frac{U_0 \cos(\omega t - \varphi)}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}}, \quad \tan \varphi = \frac{\omega L}{R}$$

43. Nihajni krog: frekvenca, energija, zveza med amplitudama napetosti in toka. Dušenje nihajnega kroga. Impedanca vzporedne in zaporedne vezave tuljave in kondenzatorja.

Frekvenca nihajnega kroga: $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 2\pi\nu$

Energija: $W = W_C + W_L = \frac{CU_0^2}{2} = \frac{LI_0^2}{2}$, $W_C = \frac{CU_0^2}{2} \cos^2 \omega t$, $W_L = \frac{LI_0^2}{2} \sin^2 \omega t$, $I = \frac{U_0}{\omega L} \sin \omega t$

Zveza med amplitudama napetosti in toka: $I_0 = \frac{U_0}{\omega L}$

Dušenje nihajnega kroga: $\frac{d^2 I}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{dI}{dt} + \frac{1}{LC} I = 0 \rightarrow \beta = \frac{R}{2L}$, $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow \omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$

Impedanca vzporedne vezave tuljave in kondenzatorja: $\frac{1}{\tilde{Z}} = \frac{1}{i\omega L} + i\omega C \rightarrow \tilde{Z} = \frac{i\omega L}{1 - \omega^2 LC} \rightarrow Z = \frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC}$

$$\tan \varphi = \frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC}$$

Impedanca zaporedne vezave tuljave in kondenzatorja: $\tilde{Z} = i\omega L + \frac{1}{i\omega C} = \frac{1 - \omega^2 LC}{i\omega C} \rightarrow Z = \frac{1 - \omega^2 LC}{\omega C}$

$$\tan \varphi = \frac{1 - \omega^2 LC}{\omega C}$$

44. Feromagnetne, paramagnetne in diamagnetne snovi. Magnetizacija. Histerezna krivulja feromagnetnih materialov. Trajni magneti.

Feromagnetne snovi: Na magnetne dipole v kosu železa, ki se orientirajo v magnetnem polju v smeri magnetnih silnic deluje močna privlačna sila. Na železo in nekatere druge snovi, ki jih imenujemo feromagnetne snovi, deluje v nehomogenem magnetnem polju močna privlačna sila.

Paramagnetne snovi: Na aluminij in druge paramagnetne snovi deluje v nehomogenem magnetnem polju šibka privlačna sila.

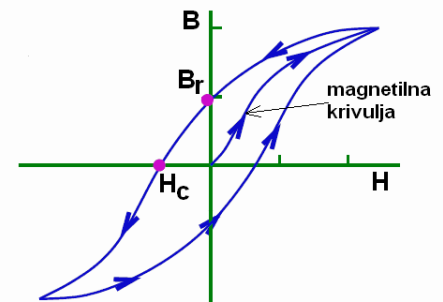
Diamagnetne snovi: V nehomogenem magnetnem polju pa opazimo nekaj, česar v nehomogenem električnem polju ne opazimo in to je odbojna sila. Odbojna sila na nekatere snovi je sicer šibka, a merljiva. Najbolj značilna predstavnik ta - diamagnetnih snovi sta bizmut in pirolitski grafit.

Odbojna sila na diamagnetne snovi je povezana z mikroskopskimi elektronskimi tokovi. Zunanje magnetno polje spremeni te tokove in s tem inducira magnetne dipole. Po Lenzovem pravilu so ti dipoli usmerjeni v nasprotni smeri kot magnetne silnice. Posledica tega je odbojna sila.

Najboljši diamagnet je superprevodnik, ki lahko lebdi v magnetnem polju.

Magnetizacija: $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H} = \mu_0\vec{H} + \mu_0\vec{M}$, magnetizacija $= \vec{M} = \frac{\vec{p}_m}{V}$, $M = (\mu - 1)H = \chi H$; $\chi =$ susceptibilnost

Histerezna krivulja feromagnetnih materialov: Pri feromagnetnih snoveh je zveza med B in H bolj zapletena. Pri prvi meritvi nenamagnetnega vzorca dobimo magnetilno krivuljo, potem pa histerezno krivuljo. Z naraščanjem H se premikajo domenske stene, dokler vzorec ni popolnoma namagnetan. Tedaj (v nasičenju) je gostota magnetnega polja B_n . Ko potem H zmanjšamo na nič, se domenske stene ne vrnejo na prvotno mesto in vzorec ostane namagnetan. Gostoto magnetnega polja v jedru pri $H = 0$ imenujemo remanentna gostota B_r . Da postane $B = 0$, je potrebna koercitivna jakost magnetnega polja H_k v nasprotni smeri. V splošnem ločimo »trde« in »mehke« magnetne materiale. Mehki magnetni materiali imajo majhno remanentno gostoto in majhno koercitivno jakost.



Trajni magneti: $B = \mu_0 j_p$; $j_p = M \rightarrow B = \frac{NI}{l} \mu_0 = \mu_0 \frac{I_p}{l}$

45. Tuljava s feromagnetnim jedrom, induktivnost. Transformator.

Tuljava s feromagnetnim jedrom: $\oint \vec{H} d\vec{s} = IN \rightarrow Hl_j = NI$; l_j je dolžina jedra. $H = \frac{NI}{l_j}$

Ko priključimo tuljavo na vir izmenične napetosti pride v njej do histereznih izgub. Moč na tuljavi je enaka

$P = NS \frac{dB}{dt} \frac{Hl_j}{N} = V_j H \frac{dB}{dt}$. Delo, ki ga prejme tuljava v eni periodi napetosti je enako

$$A = \oint_0^{t_0} V_j H \frac{dB}{dt} dt = V_j \oint H dB$$

$P = \frac{A}{t_0} = Av = vV_j S_H$, S_H je ploščina histerezne krivulje.

Induktivnost: $L = \frac{\Phi_m}{I} = \frac{NBS}{I} = \mu\mu_0 \frac{N^2 S}{l_j} \rightarrow B = \mu\mu_0 \frac{NI}{l_j}$

Transformator: Na skupnem feromagnetnem jedru sta naviti dve tuljavi: primarna z N_1 ovoji in sekundarna z N_2 ovoji. Na primarno tuljavo priključimo generator izmenične napetosti, na sekundarno pa porabnik. Gostoto magnetnega polja, ki jo v jedru povzročata tokova po obeh tuljavah označimo z B . Padec napetosti na primarni tuljavi $N_1 S dB/dt$ je enak napetosti generatorja U_1 . Med koncema druge tuljave se inducira napetost $N_2 S dB/dt$ in ta je enaka padcu napetosti na porabniku U_2 . S je presek jedra. Velja torej $\frac{U_2}{U_1} = \frac{U_{2ef}}{U_{1ef}} =$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

Izračunajmo še vhodni upor R_v transformatorja, če je porabnik upornik z uporom R .

$$R_v = \frac{U_1}{I_1} = \frac{U_2}{I_2} \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 R$$

46. Gostota in jakost magnetnega polja na meji dveh snovi. Princip elektromagneta. Induktivnost tuljave z režo v jedru.

Gostota in jakost magnetnega polja na meji dveh snovi: V primeru, ko lahko premikalni tok zanemarimo, veljata naslednji Maxwelllovi enačbi: $\oint \vec{B} d\vec{s} = 0$ in $\oint \vec{H} d\vec{s} = I$.

Če na meji dveh snovi ni (pravega) površinskega toka, je tudi drugi integral enak nič. Kot zaključeno ploskev na meji dveh sredstev vzemimo plosko »škatlo«, katere ena ploskev velikosti S je v prvem sredstvu, druga enako velika ploskev pa v drugem sredstvu. Ploskvi naj bosta vzporedni z mejo med sredstvoma. V tem primeru velja

$\oint \vec{B} d\vec{s} = \vec{B}_1 \vec{s} + \vec{B}_2 (-\vec{s}) = B_{1n}S - B_{2n}S = 0$. Projekciji gostote magnetnega polja na pravokotnico na mejo sta tik ob meji v obeh sredstvih enaki: $B_{1n} = B_{2n}$.

Zaključena pot naj bo tanka zanka, katere polovica z dolžino l poteka tik ob meji v prvem sredstvu, enako dolga polovica poti pa poteka v nasprotni smeri po drugem sredstvu. Če na meji ni toka velja

$\oint \vec{H} d\vec{s} = \vec{H}_1 \vec{l} + \vec{H}_2 (-\vec{l}) = H_{1t}l - H_{2t}l = 0$. Tangentni projekciji jakosti magnetnega polja sta tik ob meji v obeh sredstvih enaki: $H_{1t} = H_{2t}$

Princip elektromagneta: Na podoben način deluje elektromagnet. Tudi tu je jedro, ki pa je lahko homogeno in narejeno iz polnega materiala, prekinjeno. V reži dobimo močno magnetno polje. Pola magneta imata pogosto obliko prisekanega stožca. Silnice ostajajo v jedru. Ker se magnetni pretok $\Phi_m = BS$ ohranja, se proti reži povečuje gostota magnetnega polja. V primeru železnega jedra dosežemo na ta način največjo gostoto magnetnega polja okrog $2T$.

Induktivnost tuljave z režo v jedru: $L = \frac{\Phi_m}{I} = \frac{NBS}{I} = \mu\mu_0 \frac{N^2S}{\mu d + l_j}$, če $\mu d \gg l_j$: $L \approx \mu_0 \frac{N^2S}{d}$

Elektromagnetno valovanje in optika

47. Valovanje v koaksialnem vodniku: valovna enačba, smer E in B ter zveza med njima. Značilni upor koaksialnega vodnika. Stoječe valovanje v koaksialnem vodniku.

Valovna enačba: $\frac{\partial^2 I}{\partial x^2} = L^* C^* \frac{\partial^2 I}{\partial t^2} \rightarrow \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = L^* C^* \frac{\partial^2 U}{\partial t^2}$, $c = \frac{1}{\sqrt{L^* C^*}} = \frac{1}{\sqrt{\mu \mu_0 \epsilon \epsilon_0}} = \frac{c_0}{\sqrt{\mu \epsilon}} = \frac{c_0}{n}$

$\frac{\partial U}{\partial x} = -L^* \frac{\partial I}{\partial t}$, $\frac{\partial I}{\partial x} = -C^* \frac{\partial U}{\partial t}$, $I = \frac{C^*}{k} U_0 \omega \sin(\omega t + kx)$, $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, $\omega = 2\pi\nu \rightarrow c = \frac{\omega}{k} = \nu\lambda$

Smer E in B, ter zveza med njima: $E = \frac{e}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r l}$, kaže ven z jedra proti plašču, saj je med jedrom in plaščem napetost. $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$, je v obliki krogov okoli jedra. $\vec{E} = \vec{B} \times \vec{c}$

Značilni upor koaksialnega vodnika: $R_0 = \frac{1}{c C^*} = \sqrt{\frac{L^*}{C^*}} = \frac{\ln(\frac{b}{a})}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon \epsilon_0}}$

Stoječe valovanje v koaksialnem vodniku: Kot primer vzemimo vodnik dolžine $\frac{\lambda}{4}$. Če na enem koncu žila in plašč nista povezana, je na tem koncu vozle toka in hrbet napetosti. Na drugem koncu, ki je običajno priključen v električno vezje pa je hrbet toka in vozle napetosti. Pri frekvenci, pri kateri je dolžina vodnika ravno $\frac{\lambda}{4}$, je vhodna impedanca tega vodnika nič.

48. Elektromagnetno valovanje v vakuumu: valovna enačba v eni razsežnosti ter zveza med \vec{E} in \vec{B} . Gostota energije in gostota energijskega toka pri sinusnem valovanju. Elektromagnetno valovanje v okolici nihajočega dipola.

Valovna enačba v eni razsežnosti ter zveza med \vec{E} in \vec{B} : $\frac{\partial^2 E}{\partial x^2} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}$, $\vec{E} = \vec{B} \times \vec{c}$, $c_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$

Gostota energije in gostota energijskega toka pri sinusnem valovanju:

$w_e = \frac{1}{2} ED = \frac{1}{2} E^2 \epsilon \epsilon_0 = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E_0^2 \sin^2(\omega t - kx)$, $w_m = \frac{1}{2} HB = \frac{1}{2\mu_0\mu} B^2 = \frac{1}{2\mu_0\mu} B_0^2 \sin^2(\omega t - kx)$

$\frac{1}{2\mu_0\mu} B_0^2 = \frac{1}{2\mu_0\mu c^2} E_0^2 = \frac{E_0^2}{2} \epsilon \epsilon_0$, $\rightarrow \frac{1}{c^2} = \mu_0\mu\epsilon\epsilon_0$

$\bar{w} = 2 \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E_0^2 \sin^2(\omega t - kx) = \frac{1}{2} \epsilon \epsilon_0 E_0^2 = \frac{1}{2\mu_0\mu} B_0^2$

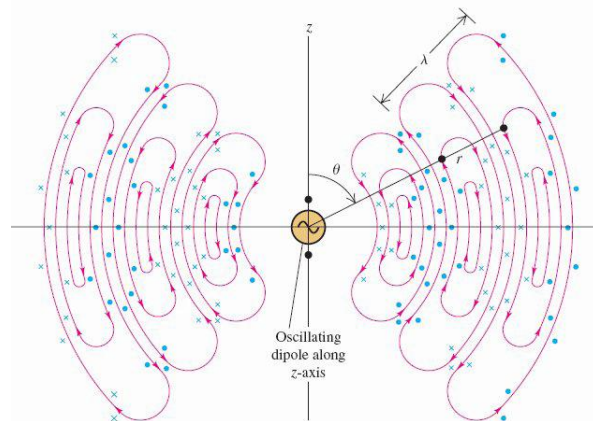
$j = \bar{w}c$

EM valovanje v okolici nihajočega dipola: Preprost model nihajočega električnega dipola je ravna antena z dolžino $\ll \frac{\lambda}{2}$. Magnetne silnice so krogi okrog osi z, ki kaže v smeri nihajočega dipola. Če dipolni moment niha kot $p_e = p_0 \sin \omega t$, je gostota energijskega toka v točki, podani s krajevnim vektorjem \vec{r} od središča dipola enaka

$j = \frac{p_0^2 \omega^4 \sin^2 \varphi}{32\pi^2 \epsilon_0 c^3 r^2}$. Tu je φ kot med smerjo nihajočega dipola in krajevnim vektorjem \vec{r} .

V smeri nihajočega dipola je gostota energijskega toka enaka nič. Gostota energijskega toka je največja v ravnini, ki gre skozi središče dipola in je pravokotna na smer dipola. V tej ravnini niha električna poljska jakost v smeri, ki je pravokotna na ravnino, B pa leži v ravnini. Z integracijo izraza za gostoto energijskega toka po krogli s polmerom r dobimo energijski tok, ki ga seva nihajoči električni dipol:

$P = \frac{p_0^2 \omega^4}{12\pi\epsilon_0 c^3}$



⁴ http://en.wikipedia.org/wiki/Em_wave

49. Elektromagnetno valovanje v izotropnem dielektriku, lomni količnik. Prehod elektromagnetnega valovanja preko ravne meje med dielektrikoma: lom in odboj. Brewsterjev kot. Disperzija svetlobe.

EM valovanje v izotropnem dielektriku:??

Lomni količnik: $n = \sqrt{\epsilon\mu}$

Prehod EM valovanja preko ravne meje med dielektrikoma (lom in odboj): Snov, v kateri je lomni količnik večji, imenujemo optično gostejša snov. Pri prehodu iz optično redkejše v optično gostejšo snov se žarki lomijo k vpadni pravokotnici ($\beta < \alpha$). Pri prehodu iz optično gostejše v optično redkejšo snov se žarki lomijo stran od vpadne pravokotnice ($\beta > \alpha$). Pri tem lahko pride do totalnega odboja. Mejni kot totalnega odboja je tisti kot α_m , pri katerem je kot β enak 90° .

$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$ Valovanje se odbije pod istim kotom, kot pa vpade na snov.

Brewsterjev kot: $\tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1}$

Disperzija svetlobe: Je v optiki pojav, ki se kaže v tem, da je fazna hitrost valovanja odvisna od frekvence. Nastane zaradi tega, ker je lomni količnik odvisen od valovne dolžine svetlobe (frekvence). Opazimo lahko tudi disperzijo skupinske hitrosti. Pojav je odkril Isaac Newton (1642 – 1727) okoli leta 1672, pojasnili pa so ga mnogo let pozneje. Najenostavnejši primer za prikaz disperzije je prehod bele svetlobe preko optične prizme. Najbolj znan pojav, ki nastane zaradi disperzije svetlobe, je mavrica.

$$D = -\frac{\lambda d^2 n}{c d\lambda^2}$$

50. Interferenca svetlobe, koherenca. Interferenca pri odboju na tanki plasti. Michelsonov interferometer.

Interferenca svetlobe: Če na neko mesto prihaja elektromagnetno valovanje iz dveh izvorov in se frekvenci izvorov malo razlikujeta, opazimo utripanje. Amplituda električne poljske jakosti narašča in pada s frekvenco, ki je enaka razliki frekvenc izvorov. Ko sta frekvenci izvorov enaki, opazimo na mestih, kamor prideta valovanji v fazi, ojačitev. Na mestih, kamor prideta valovanji v nasprotni fazi opazimo oslabitev valovanja.

Gostota energije valovanja: $\bar{w} = \frac{1}{2} \varepsilon_0 N E_0^2$

Koherenca: Koherentno valovanje je v fiziki valovanje, ki izhaja iz posameznih izvorov z isto frekvenco ali valovno dolžino in konstantno fazno razliko. Interferenčne slike dobimo le pri sestavljanju koherentnih valovanj. Svetloba iz navadnih svetil ni koherentna.

Če hočemo doseči interferenco nekoherentne svetlobe, moramo svetlobo istega vira razdeliti na dva dela, ki ju ponovno združimo. Razlika poti obeh delov mora biti manjša od koherenčne dolžine da opazimo interferenco.

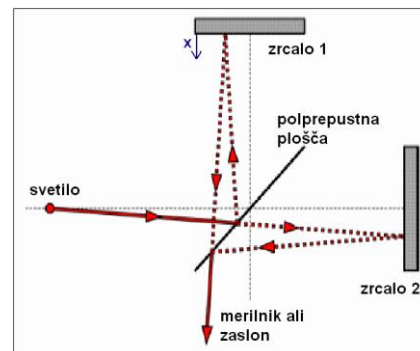
$$(l_1 - l_2) < l_c$$

Interferenca pri odboju na tankni plasti: Na obeh mejah antirefleksne plasti pride do odboja svetlobe. Električna poljska jakost v odbitih valovanjih mora nihati v nasprotni fazi, amplitudi električne poljske jakosti v obeh valovanjih pa morata biti enaki. V tem primeru zaradi destruktivne interference odbitega valovanja ni. Ker je antirefleksna plast tanka, ni težav s koherenco svetlobe. Najprej ugotovimo, kdaj sta amplitudi električne poljske jakosti enaki. V prvem približku izenačimo odbojnost na obeh površinah. S tem zanemarimo zmanjšanje energijskega toka zaradi odboja na prvi površini in vse ostale odboje. Ker je ponavadi odbojnost majhna, je omenjeni približek kar dober. Velja $a = \frac{j_{odb}}{j_{vp}} \rightarrow a_1 = a_2 \rightarrow \left(\frac{n-n_1}{n+n_1}\right)^2 = \left(\frac{n_2-n}{n_2+n}\right)^2 \rightarrow n = \sqrt{n_1 n_2}$. Z n_1 smo označili lomni količnik sredstva,

iz katerega prihaja svetloba. Lomni količnik antirefleksne plasti smo označili z n , lomni količnik drugega sredstva pa z n_2 . Če je debelina antirefleksne plasti d , je razlika poti $2d$. Na razliko v fazi pa ne vpliva samo razlika poti, ampak tudi lomni količnik sredstva, s katerim je povezana valovna dolžina. Rekli bomo, da je za razliko v fazi pomembna optična pot, to je produkt poti in lomnega količnika. Naj bo valovna dolžina svetlobe v vakuumu λ . V antirefleksni plasti je valovna dolžina $\lambda \square / n$, število valovnih dolžin na poti pa je $\frac{2d}{\frac{\lambda}{n}} = \frac{2dn}{\lambda}$. Enako je optični poti deljeni z valovno dolžino svetlobe v vakuumu. Do destruktivne interference valovanj pride, ko je $\frac{2dn}{\lambda} = \frac{1}{2}$.

Tedaj valovanje, ki se odbije na drugi ploskvi, zaostaja za valovanjem, ki se odbije na prvi ploskvi, za polovico valovne dolžine, kar pomeni fazni zaostanek za $\frac{\pi}{2}$. Debelina antirefleksne plast mora biti torej enaka $d = \frac{\lambda}{4n}$.

Michelsonov interferometer: Vzporeden curek enobarvne svetlobe iz izvora zadene polprepustno ploščo. Del curka se na plošči odbije proti zrcalu 1, del pa ga plošča prepusti in se odbije od zrcala 2. Po odboju na zrcalih se curka združita. Pogosto na pot enega delnega curka postavijo ploščo za izravnavo optičnih poti. En delni curek namreč prepotuje polprepustno ploščo enkrat, drugi pa trikrat. Če razlika optičnih poti ni prevelika pride do interference. Z Michelsonovim interferometrom natančno merimo premike in dolžine. Z njim merimo tudi valovno dolžino in koherenčno dolžino enobarvne svetlobe.



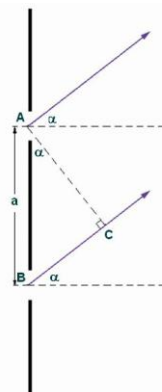
51. Uklon svetlobe na reži, okrogli odprtini, dveh režah, in uklonski mrežici. Spektralna analiza svetlobe.

Uklon svetlobe na reži: Na kratko smo uklon že omenili. Rekli smo, da se zaradi uklona valovanje širi v področje geometrijske sence. Delež valovanja, ki se širi v področje geometrijske sence, je odvisen od dimenzije reže ali ovire. Če je širina reže primerljiva z valovno dolžino, se večji del valovanja širi v področje geometrijske sence. V posebnem primeru, ko je reža mnogo daljša od valovne dolžine, njena širina pa je dosti manjša od valovne dolžine, se za oviro širijo valjasti valovi enakomerno v vse smeri polprostora.

Uklon na okrogli odprtini: Če je v oviri odprtina, katere premer je dosti manjši od valovne dolžine, dobimo za oviro krogelno valovanje, ki se širi enakomerno v vse smeri polprostora.

Uklon na dveh režah: Vzemimo, da sta v oviri dve vzporedni dolgi ozki reži, med katerima je razdalja a . Širina vsake od rež naj bo enaka d , pri čemer naj bo $d \ll \lambda$. Na oviro naj pravokotno vпада enobarvna svetloba z valovno dolžino λ . Iz točk A in B izhajata valovanja v fazi. Do točke na oddaljenem zaslonu, ki je podana s kotom α , prepotujeta valovanja različno pot. Točki A in C sta enako oddaljeni od točke na zaslonu. Razlika poti je torej razdalja BC, ki je enaka $a \sin \alpha$. Do najmočnejšega ojačenja pride, ko je $a \sin \alpha = N\lambda$, za $N = 0, \pm 1, \dots$

Uklon na uklonski mrežici: Uklonska mrežica, ki jo uporabljamo za analizo spektrov svetlobe, je narejena iz vrste vzporednih rež v medsebojni razdalji a , pri čemer je a reda velikosti μm . Ko pravokotno nanjo usmerimo svetlobo z valovno dolžino λ , dobimo uklonske maksimume pri kotih, ki jih podaja enačba $a \sin \alpha = N\lambda$. Različnim valovnim dolžinam ustrezajo različni koti α , zato dobimo na zaslonu spekter svetlobe.



$$j \propto \overline{E^2} \propto \left(\frac{\sin\left(\frac{M\beta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)} \right)^2; \beta = k\Delta l = ka \sin \varphi; M = \text{število rež}$$

Spektralna analiza svetlobe: Spektri plinskih svetil so črtasti. Dovoljene so samo določene energije, zato so spektri črtasti. Spektri trdnih svetil, na primer nitke žarnice ali svetleče diode, so zvezni.??????????????

52. Polarizacija svetlobe. Kako dobimo linearno polarizirano svetlobo? Ploščica $\lambda/4$. Krožna polarizacija svetlobe. Dvojni lom.

Polarizacija svetlobe⁵: Polarizacija valovanja je lastnost valovanja, ki opisuje smer njegovega nihanja. Za prečno valovanje, kot je elektromagnetno valovanje, opisuje smer nihanja v ravnini, pravokotni na smer gibanja valovanja. Nihanja so lahko usmerjena v eni smeri (linearna polarizacija) ali pa se z gibanjem suče (krožna ali eliptična polarizacija).

Kako dobimo linearno polarizirano svetlobo: Pri poskusih z linearno polariziranimi mikrovalovi smo opazili, da mreža vzporednih žic ne prepusti valovanja, ko imajo žice smer električne poljske jakosti. Ko mrežo zasukamo za 90° tako, da električna poljska jakost niha v prečni smeri, valovanje prehaja skozi mrežo.

Če svetloba pade na dielektrik pod Brewsterjevim kotom ($\tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1}$), se odbije samo polarizirana svetloba.

Ko na polaroid pravokotno vpada nepolarizirana svetloba, se del svetlobe v polaroidu absorbira, del pa jo polaroid prepusti. Prepuščena svetloba je linearno polarizirana.

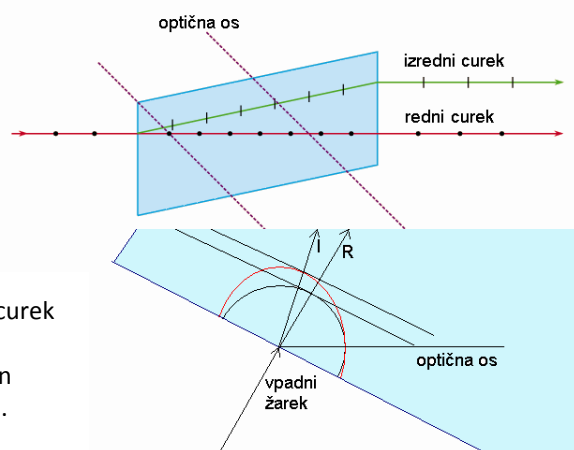
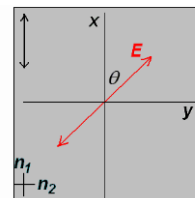
Ploščica $\frac{\lambda}{4}$: Ploščico, s katero spremenimo linearno polarizirano valovanje v krožno polarizirano ali obratno imenujemo ploščico $\frac{\lambda}{4}$. Sestavljena je z optično anizotropne snovi, njena debelina je enaka $d = \frac{\lambda}{4|n_1 - n_2|}$, pri čemer je λ valovna dolžina svetlobe v vakuumu. Do pojava pride pri $\theta = \frac{\pi}{4}$ in fazni razliki $\frac{\pi}{2}$.

$$E_y = E_0 \cos(\omega t - kz), E_x = E_0 \sin(\omega t - kz)$$

Krožna polarizacija svetlobe: Krožna polarizacija elektromagnetnega valovanja je vrsta polarizacije, kjer vrh vektorja električnega polja opisuje krožnico. Krožna polarizacija je samo splošni primer eliptične polarizacije. Krožno polarizacijo lahko obravnavamo kot superpozicijo dveh pravokotnih linearno polariziranih valovanj, katerih faza se razlikuje za 90° . Kadar pa se v obeh pravokotnih valovanjih amplitude razlikujeta, dobimo eliptično polarizirano valovanje. Valovanje, pri katerem se električna poljska jakost vrti v nasprotni smeri urinega kazalca, ko gledamo proti izvoru, je desno krožno polarizirano.

Dvojni lom: V določenih primerih vidimo skozi optično anizotropen (dvolomen) kristal dvojni sliko. V takem primeru se curek nepolarizirane svetlobe pri prehodu skozi dvolomno sredstvo razdeli na dva curka linearno polarizirane svetlobe. Curka svetlobe sta polarizirana v med seboj pravokotnih smereh. Curek, ki se lomi po lomnem zakonu, imenujemo redni curek. Ta je polariziran pravokotno na optično os. Curek, ki se ne lomi po lomnem zakonu in je polariziran v ravnini, v kateri leži optična os, imenujemo izredni curek. Nastanek obeh curkov lahko razložimo s Huygensovimi načelom. Za redni curek (R) je lomni količnik neodvisno od smeri širjenja enak n_2 . Za izredni curek (I) je lomni količnik odvisen od smeri širjenja. Pri širjenju vzdolž optične osi je lomni količnik n_2 , pri širjenju v pravokotni smeri pa n_1 . Slika je narisana za primer $n_1 < n_2$.

Valovne ploskve elementarnih valov imajo za redni curek obliko kroga, za izredni curek pa obliko elipse. Na sliki sta narisani tudi valovni ploskvi, ki predstavljata ovojnico elementarnih valov in smeri širjenja rednega in izrednega curka. Če ločimo redni in izredni curek, dobimo linearno polarizirano svetlobo. Tako deluje Nicolova prizma.



⁵ http://sl.wikipedia.org/wiki/Polarizacija_valovanja

53. Ravna in krogelna zrcala. Preslikave. Prava in navidezna slika.

Ravna zrcala: Žarki, ki izhajajo iz predmeta P , se po odboju na zrcalu razpršijo. Njihovi podaljški se sekajo v točki S . V tej točki tudi vidimo sliko predmeta. Z očesom namreč gledamo tako, da oko zbere svetlobo, ki jo oddaja predmet. V našem primeru je svetloba, ki se odbija od zrcala, taka, kot bi izhajala iz točke S . Zato oko v točki S vidi navidezno sliko predmeta P .

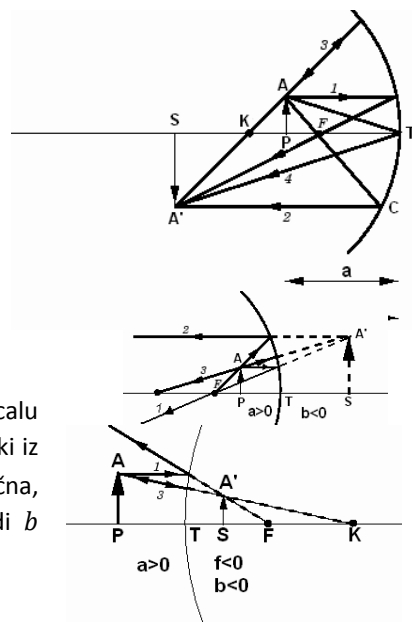
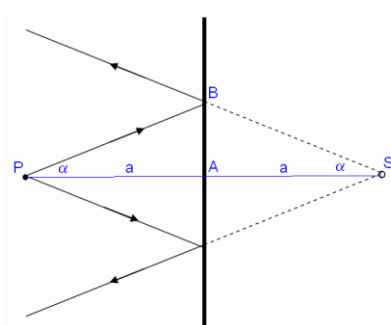
Vbočeno (konkavno) zrcalo: Zrcalo je del krogle s polmerom r . Središče te krogle imenujemo krivišče K . Srednjo točko zrcala imenujemo teme T . Premico skozi krivišče in teme imenujemo os zrcala. Če se omejimo na žarke blizu osi (obosni žarki), za katere je kot α majhen, lahko vzamemo $\cos \alpha \approx 1$ in dobimo $f = \frac{r}{2}$, $f = \text{razdalja do gorišča}$. Predmet si bomo v optiki predstavljali kot puščico, ki stoji na osi. V našem primeru je predmet v točki P in je od temena zrcala oddaljen za a . Velikost predmeta je X , velikost slike je Y . Povečava je $\frac{X}{Y} = \frac{a}{b} = \frac{a-f}{f}$. Ko je a zelo velik, je slika blizu gorišča, pri čemer je $b > f$. Slika je manjša od predmeta. Če predmet približujemo zrcalu, se slika oddaljuje od zrcala. Ko je $a = r = 2f$, dobimo $b = a$. V primeru, ko je predmet blizu gorišča, je oddaljenost slike od zrcala zelo velika. V obeh primerih je slika obrnjena in realana.

Če postavimo predmet med gorišče in zrcalo žarki iz točke A se po odboju na zrcalu razpršijo. Njihovi podaljški se sekajo v točki A' . V zrcalu torej vidimo navidezno sliko $A'S$, ki je pokončna in povečana. Povečava se zračuna enako, le v enačbi preslikave je b negativen.

Izbočeno (konveksno) zrcalo: Snop obosnih žarkov, ki so vzporedni z osjo zrcala, se po odboju na zrcalu razprši. Podaljški odbitih žarkov se sekajo v gorišču F . Razdalja od temena do gorišča je enaka $\frac{r}{2}$. Žarki iz točke A se po odboju na zrcalu razpršijo. Njihovi podaljški se sekajo v točki A' . Slika je torej pokončna, pomanjšana in navidezna. Tudi tu velja enačba zrcala, če vzamemo $f = -\frac{r}{2}$. Pri tem pride tudi b negativen. Razmerje velikosti slike in predmeta $\frac{Y}{X} = \frac{b}{a}$.

Preslikave: $\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$, glej prejšnji odgovor.

Prava in navidezna slika: Prava slika pomeni da lahko tja postaviš papir in boš moral videti sliko na papirju, pri navidezni pa slike ne vidiš.



54. Tanka zbiralna leča: gorišče, preslikave. Lupa.

Zbiralne leče so bikonveksna, ki ima dve izbočeni površini, plankonveksna, ki ima eno izbočeno in eno ravno površino in konkavno konveksna, ki ima vbočeno in izbočeno površino, pri čemer je izbočena površina bolj ukrivljena od vbočene oz. ima manjši polmer.

Gorišče: Tanka leča ima dve gorišči. Obe goriščni razdalji sta enaki. V primeru, ko obdaja lečo na obeh straneh ista snov z lomnim količnikom n' , lomni količnik leče pa je n , je goriščna razdalja leče podana z enačbo

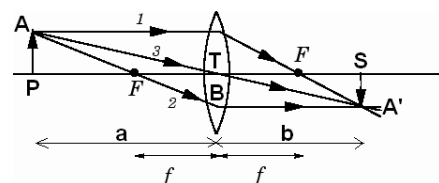
$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n'} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$$
 Tu se držimo naslednjega dogovora. Polmer izbočene površine je pozitiven, vbočene pa negativen. Zbiralna leča ima pozitivno goriščno razdaljo, razpršilna pa negativno. Ravna površina ima $r = \infty$.

Preslikave: Vzporedni žarek (1) se pri prehodu skozi lečo lomi skozi gorišče. Goriščni žarek (2) se po prehodu skozi lečo lomi vzporedno. Temenski žarek (3) se pri prehodu skozi temo leče samo malo premakne, smeri pa ne spremeni. Ker je leča tanka ta premik zanemarimo. S primerjavo podobnih trikotnikov APT in $A'ST$ ter trikotnikov APF in BTF dobimo enačbo leče

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad \text{in} \quad \frac{Y}{X} = \frac{b}{a}$$

Lupa: Lupo uporabljamo za opazovanje majhnih predmetov. Velikost predmeta, kot ga vidi oko, je odvisna od velikosti slike predmeta na mrežnici. Velikost slike na mrežnici pa je odvisna od kota θ , pod katerim vidimo telo. Ta kot imenujemo zorni kot. Zato ponavadi majhne predmete gledamo v zorni razdalji od očesa. V tem primeru je kot θ_0 , pod katerim vidimo majhen predmet velikosti X enak $\theta_0 = \frac{X}{a_0}$. Predmet sicer lahko postavimo bližje, a v tem primeru bi ostra slika nastala za mrežnico, slika na mrežnici pa ni ostra.

Pod večjim zornim kotom vidimo majhen predmet, če uporabimo zbiralno lečo z majhno goriščno razdaljo. Tej leči pravimo lupa. Če damo predmet med gorišče in temo lupe, nastane navidezna slika predmeta na isti strani lupe, kot je predmet. Bližje ko je predmet gorišču, bolj je slika oddaljena od lupe, a je hkrati tudi večja. Oko na drugi strani lupe vidi ostro sliko predmeta, ko je oddaljenost navidezne slike od lupe enaka zorni razdalji očesa ali večja. Kot θ pod katerim vidimo predmet skozi lupo je enak $\theta = \frac{X}{a}$. Pri čemer je a oddaljenost predmeta od lupe. Ko je slika predmeta zelo oddaljena od lupe je $a \approx f$. Tedaj je povečava lupe $\frac{\theta}{\theta_0}$ enaka $\frac{\theta}{\theta_0} = \frac{a_0}{f}$.

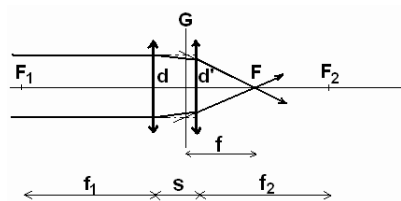
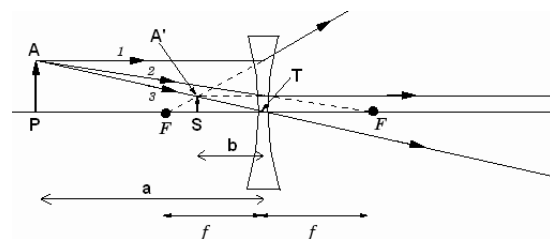


55. Tanka razpršilna leča: gorišče, preslikave. Dve leči na skupni osi v majhni oddaljenosti.

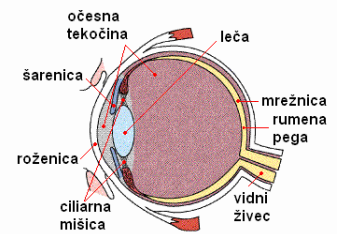
Gorišče: $\frac{1}{f} = \left(\frac{n}{n'} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$ Polmer izbočene površine je pozitiven, vbočene pa negativen. Zbiralna leča ima pozitivno goriščno razdaljo, razpršilna pa negativno. Ravna površina ima $r = \infty$.

Preslikave: V tem primeru dobimo pomanjšano navidezno pokončno sliko. Tudi tu velja enačba leče, če vzamemo $f < 0$. Razdalja b je negativna. Velja tudi enačba za razmerje $\frac{Y}{X}$.

Dve leči na skupni osi v majhni oddaljenosti: Snop obosnih žarkov, ki so vzporedni z osjo naj pade na prvo lečo. Oglejmo si žarek, ki zadene prvo lečo v oddaljenosti d od osi. Na prvi leči se žarek zlomi in zadene drugo lečo v razdalji d' od osi. Na drugi leči se žarek ponovno zlomi in seka os v gorišču sistema leč F . Podaljški vpadnih žarkov in podaljški zlomljenih žarkov po drugi leči se sekajo na ravnini, ki jo imenujemo *glavna ravnina*. Razdaljo od glavne ravnine do gorišča sistema leč imenujemo goriščna razdalja sistema f . Podobno, kot ima vsaka leča dve gorišči, ima tudi sistem leč dve glavni ravnini in dve gorišči.
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{s}{f_1 f_2}$$



56. Oko. Daljnogled. Mikroskop.

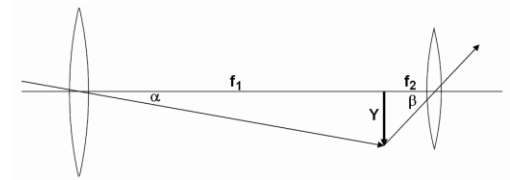


Oko: Roženica loči zunanost očesa ($n = 1$) od očesne tekočine ($n \approx 1.33$). Ker je zunanja površina približno del izbočene krogelne površine, pride tu do zbiranja žarkov. Od premera zenice je odvisen svetlobni tok skozi oko. Vlaknasta leča ima na obodu mišico. Ko se mišica skrči, se leča odebeli. Pri tem se ji skrajša goriščna razdalja. Za lečo je steklovina, ki ima lomni količnik praktično enak lomnem količniku vode. Na zadnji steni očesa je mrežnica, na kateri so čutne celice. Slika predmeta, ki ga gledamo, nastane na mrežnici. Izbrana povprečna vrednost za zorno razdaljo je $a_0 = 25\text{cm}$. Ko gledamo predmet v zorni razdalji, je ciliarna mišica na obodu očesne leče najbolj skrčena. Mišica ni skrčena, ko gledamo oddaljene predmete. Ločljivost očesa je 1 minuta. Daljnovidnost: Vidimo od a^* naprej. $\frac{1}{a_0} - \frac{1}{a^*} = \frac{1}{f}$. f je goriščna razdalja leče, da se vid normalizira.

Kratkovidnost: Vidimo do a' . $-\frac{1}{a'} = \frac{1}{f} \rightarrow f = -a'$

Daljnogled: Z daljnogledom opazujemo oddaljene predmete pod večjim zornim kotom, kot jih vidimo s prostim očesom. Preprost daljnogled sestavljata dve zbiralni leči:

objektiv in okular. $\beta = \frac{Y}{f_2}$, $\alpha = \frac{Y}{f_1}$

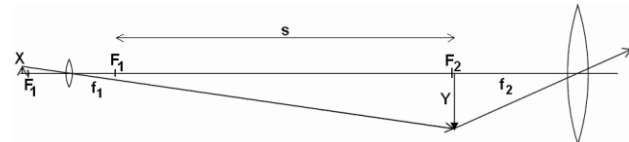


Povečava je $N = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{f_1}{f_2}$

Mikroskop: Večje povečave kot z lupo dosežemo z mikroskopom. Preprost mikroskop sestoji iz dveh leč: objektiv in okularja. Predmet velikosti X postavimo pred gorišče objektiv. Prava in obrnjena slika predmeta ima velikost Y . Ta nastane med goriščem in temenom okularja, v neposredni bližini gorišča. Okular igra vlogo lupe, ki naredi navidezno in povečano sliko predmeta v veliki oddaljenosti od okularja.

Pri mikroskopu premikamo objektiv in okular skupaj, dokler ne dobimo prave slike predmeta tik za goriščem okularja. Tedaj vidimo majhem predmet pod kotom, $\beta = \frac{Y}{f_2}$ s prostim očesom bi videli predmet pod kotom

$\alpha = \frac{X}{a_0}$. Povečava $N = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{Y}{X} \frac{a_0}{f_2}$. Povečavo objektiv lahko izrazimo tudi s pomočjo razdalje s med notranjima goriščema. Enaka je $\frac{Y}{X} = \frac{s}{f_1}$, povečava je torej $N = \frac{a_0 s}{f_1 f_2}$



57. Kako v grobem delimo spekter elektromagnetnega valovanja. Navedite tudi značilne valovne dolžine. Fotocelica, fotopomnoževalka in fotoupornik.

Groba delitev spektra EM valovanja: Glede na valovno dolžino delimo elektromagnetno valovanje na radijske valove, mikrovalove, infrardeče valovanje, svetlobo, ultravijolično valovanje, rentgenske žarke in žarke gama. Valovanje z daljšo valovno dolžino ima nižjo frekvenco in obratno. Skladno s Planckovo zvezo nosijo največ energije kvanti valovanja z najvišjo frekvenco (in najkrajšo valovno dolžino); med naštetimi so to žarki gama in trdi rentgenski žarki. $E = \frac{hc}{\lambda}$, $h =$ Planckova konstanta.

Značilne valovne dolžine:

Fotocelica: Je steklena bučka, iz katere je izsesan zrak, na njenih koncih pa se nahajata elektrodi: anoda in katoda. Iz katode izhajajo elektroni, kadar nanjo pada svetloba izbrane valovne dolžine, zato ji pravimo fotokatoda. Zaradi napetosti med fotokatodo in anodo izbiti elektroni usvarijo električni tok, imenovan fotoelektrični tok, ki pri konstantni napetosti in valovni dolžini narašča z naraščajočo osvetlitvijo. Dokler je napetost na anodi pozitivna, jo dosežejo vsi izbiti elektroni, ko pa se na njej začne ustvarjati negativna napetost, jo dosežejo le še elektroni z dovolj kinetične energije (vsi elektroni nimajo enake kinetične energije, saj so jo nekateri nekaj izgubili pri izhodu iz kovine). Ko anode ne dosežejo več niti elektroni z maksimalno kinetično energijo K_{\max} , je dosežena napetost V_s : $K_{\max} = eV_s$, kjer je e naboj elektrona.

Pri določeni frekvenci ν_m pa pade V_s na $0V$, električnega toka ni niti pri pozitivni napetosti na anodi. Svetloba s frekvenco manjšo od ν_m ne more povzročiti fotoefekta. Za frekvence večje od ν_m V_s narašča linearno s frekvenco.

Fotopomnoževalka: Elektronska cev, ki svetlobne fotone, nastale ob absorpciji žarkov gama v scintilacijskem kristalu, spreminja v električne impulze.

Fotoupornik: Upor, katerega upor je odvisen od osvetljenosti, upor fotoupornika tem večji, čim manj ga osvetlimo.

vrsta valovanja	značilna valovna dolžina
radijski valovi	1m
mikrovalovi	1cm
infrardeče sevanje	10 μm
vidna svetloba	0.4 μm – 0.7 μm
ultravijolična svetloba	0.1 μm
rentgenski žarki	1 nm
gama žarki	1 pm

58. Rentgenska cev in sinhrotron kot izvor rentgenskih žarkov. Bolometer in piroelektrični detektor svetlobnega toka.

Rentgenska cev in sinhrotron kot izvor rentgenskih žarkov: Sinhrotron pospešuje elektrone v krogu, na mestu kjer jih obrne za nek kot, elektroni odajo energijo v obliki monokromatske svetlobe. V elektronskem sinhrotronu, kjer elektroni dosežejo hitrost, ki je blizu svetlobni hitrosti, sevajo elektroni zaradi radialnega pospeška. Smer sevanja se skoraj natančno ujema s smerjo gibanja.

Bolometer: Je merilna priprava za merjenje vpadnega elektromagnetnega valovanja. Bolometer je sestavljen iz dveh zelo tankih trakov, na primer iz platine ali iz druge električno prevodne snovi, od katerih je eden počrnjen. Pod vplivom sevanja (toplotnega toka) se trak hitro segreje in se mu poveča električni upor. Vezan je z galvanometrom, po katerem steče električni tok.

Piroelektrični detektor svetlobnega toka: Piroelektrični detektor je v bistvu kondenzator, ki se nabije, kadar teče skozi njega toplotni tok.

59. Dipolna antena kot izvor in detektor radijskih valov. Izvori svetlobnega toka: žarnica z nitko, plinska svetila in laser.

Dipolna antena kot izvor in detektor radijskih valov:

Žarnica z nitko: Spektri trdnih svetil, na primer nitke žarnice, so zvezni.

Plinska svetila: Spektri plinskih svetil so črtasti. Upoštevati je treba kvantno naravo atomov. Dovoljene so samo določene energije, zato so spektri črtasti.

Laser: Laser oddaja vzporeden curek enobarvne svetlobe.

VIRI:

<http://www.fmf.uni-lj.si/~seliger/pedag1.htm>