

Vaje iz Fizike 2 za študente fizike

Saša Prelovšek Komelj

Ljubljana, oktober 2013

Kazalo

1	Uvod	2
2	Termodinamika	3
2.1	Termodinamika splošne snovi	3
2.2	Plinska enačba	3
2.3	Delo, toplota, energijski in entropijski zakon	3
2.4	Toplotni stroji, fazne spremembe, vlažen zrak	4
2.5	Kalorimetrija	5
2.6	Toplotno prevajanje	6
3	Elektromagnetizem	7
3.1	Električno polje	7
3.2	Električni tok	9
3.3	Vezave z upori in kondenzatorji; prehodni pojavi	9
3.4	Magnetna sila, navor in polje	11
3.5	Indukcija	12
3.6	Vezave tuljave, upora in kondenzatorja	12
3.7	Transformator	13
3.8	Premikalni tok	13
4	Elektro-magnetno valovanje	14
4.1	Koaksialni vodnik	14
4.2	Interferenca	14
4.3	Geometrijska optika	15
4.4	Fotometrija, sevanje črnega telesa	15

1. Uvod

Pričujoča zbirka nalog predstavlja izbor nalog za študente fizike pri vajah iz *Fizike 2*. To je tipičen nabor, ki se jih rešuje že vrsto let in se jih je uporabljalo v veliki meri tudi pred vpeljavo bolonjske reforme. K nalogam so prispevali asistenti za Fiziko 1 iz zadnjih let D. Svenšek, M. Horvat, S. Čopar, A. Mohorič, D. Arčon, D. Cvetko, B. Golob in S. Prelovsěk Komelj. Nekatere naloge izhajajo tudi od asistentov, ki so vodili vaje še pred tem. Vsem kolegom asistentom in profesorjem se za prijetno sodelovanje pri tem predmetu prisrčno zahvaljujem.

Veliko nalog, ki jih delamo na vajah, izhaja iz zbirke

- *Naloge iz Fizike*

avtorji: Gros, Hribar, Kodre, Strnad

založba DMFA 2010

Pri nalogah, kjer piše **Naslov poglavja** in številka naloge, je mišljena naloga iz te zbirke.

Druga zbirka je

- *Kolokvijske naloge iz Fizike 1*

avtorji: Majaron, Mikuž, Ramšak

založba DMFA

Naloge iz obeh zbirk, ki jih ne naredimo na vajah, študentom toplo priporočam za samostojno reševanje.

v Ljubljani, 1.10.2013

2. Termodinamika

2.1 Termodinamika splošne snovi

1. Jeklena palica je obešena za krajišče in niha. Za koliko odstotkov se spremeni nihajni čas palice, ko temperaturo povečamo za 50°C ? Temperaturni koeficient dolžinskega raztezka jekla je 10^{-5} 1/K . Rešuj z diferencialom.
2. Toplota: nal. 3 (bakrena in jeklena palica med stenama)
3. V hladnem poletnem jutru je voznik tovornjaka natočil 5000 litrov nafte z zvrhano polno cisterno. Čez dan se je ozračje segrelo za 20°C . Koliko litrov goriva je zaradi raztezanja izteklo iz cistrene? $\beta_{\text{nafta}} = 9 \cdot 10^{-5} \text{ 1/K}$, $\alpha_{\text{jeklo}} = 10^{-5} \text{ 1/K}$.
4. Toplota: nal. 7 (stisljivost alkohola)

2.2 Plinska enačba

1. Toplota: nal. 11 (balon, polnjen s helijem)
2. Toplota: nal. 13 (toplozračni balon)
3. Toplota: nal. 15 (bat s plinom in vzmetjo)
4. Toplota: nal. 17 (izčrpavanje zraka)
5. Kolokvijske naloge: 86/87, pop. kol. 2, nal. 2 (nihajni časi za nihanje bata v cilindru)
6. Izpelji spremembe p , T , ρ z nadmorsko višino pri izotermni in izentropni atmosferi.

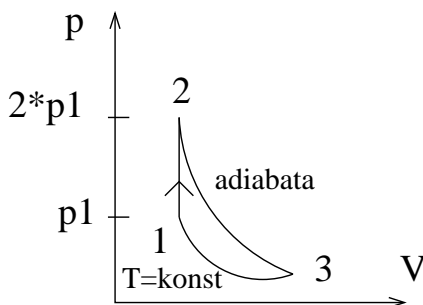
2.3 Delo, toplota, energijski in entropijski zakon

1. Enoatomni plin He stiskamo tako, da je tlak v posodi odvisen od prostornine na naslednji način: $p(V) = C/\sqrt{V}$ kjer je $C = 2 \text{ bar}\sqrt{\text{l}}$, pri čemer $p_1 = 1 \text{ bar}$, $V_1 = 4 \text{ l}$, $p_2 = 2 \text{ bar}$, $V_2 = 1 \text{ l}$. $c_v = 3R/2M$.
Koliko dela prejme plin? Za koliko se mu spremeni W_n ? Koliko toplote odda?
Za koliko se plinu spremeni entropija?

2. Plin kisik O_2 je zaprt v posodi z gibljivim batom: $T_1 = 0^\circ C$, $V_1 = 3l$. Posoda se nahaja 10 m pod dnem jezera. Posodo počasi segrevamo, da se ji volumen poveča na $V_2 = 4l$. Koliko dela plin opravi in koliko toplote smo dodali? Za koliko se spremeni entropija plinu? Pri tej temperaturi ima molekula kisika vzbujene rotacijske prostostne stopnje.
3. Energijski in entropijski zakon: nal. 14 (grelec v vodi)
4. Energijski in entropijski zakon: nal. 16 (ireverzibilne spremembe v kalorimetru)
5. Izolirani posodi z zrakom in argonom postavimo skupaj in prebijemo steno, da se plina zmešata. Posoda z zrakom ima volumen 3 litre, v njej pa je 10 g zraka pri temperaturi $0^\circ C$. Posoda z argonom ima volumen 5 litre, v njej pa je 20 g argona pri temperaturi $50^\circ C$. Kolikšna je končna temperatura mešanice? Za koliko se spremeni skupna entropija pri mešanju?
 $M_{zr} = 29$, $\kappa_{zr} = 1.4$; $c_v^{zr} = 715 \text{ J/kgK}$,
 $M_{Ar} = 40$, $\kappa_{Ar} = 1.67$; $c_v^{Ar} = 310 \text{ J/kgK}$.
6. Energijski in entropijski zakon: nal. 28 (izentropno stiskanje plina)
7. Energijski in entropijski zakon: nal. 31 (na hitro odpremo in zapremo plastenko gazirane pijače)

2.4 Toplotni stroji, fazne spremembe, vlažen zrak

1. Energijski in entropijski zakon: nal. 41 (znižanje tališča s tlakom)
2. Energijski in entropijski zakon: nal. 42 (regelacija)
3. Energijski in entropijski zakon: nal. 49 (izkoristek toplotnega stroja)
4. Energijski in entropijski zakon: nal. 51 (moč motorja v hladilniku)
5. Z 1 kg butana opravimo krožno spremembo na sliki. Temperatura v točki 1 je $T_1 = 0^\circ C$. Kolikšen je izkoristek stroja? $M = 58 \text{ kg/kmol}$, $c_v = 360 \text{ J/(kgK)}$, $\kappa = 1.4$.



6. Bencinski Ottov motor ponavlja krožno spremembo, pri kateri sta dve spremembi pri konstantnih volumnih (V_{min} in V_{max}) ter dve hitri spremembi (adiabati). V batu je delovno sredstvo z $\kappa = 1.4$, kompresijsko ramerje za dan motor pa je $V_{max}/V_{min} = 8$. Določi izkoristek motorja. Kolikšna je sprememba entropije po krožni spremembi?
7. S kolikšno močjo mora delovati elektromotor v idealnem Carnotovem hladilniku, da v desetih minutah en liter vode spremeni v led? Temperatura v hladilniku je ves čas 0°C . Talilna toplota ledu je 336 kJ/K .
8. S hladilnikom želimo ohladiti $m = 10 \text{ kg}$ zraka s $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ do tališča $T_1 = -193^{\circ}\text{C}$. Kako mora delovati idealni Carnotov hladilnik, da za to porabi najmanj električnega dela in koliko dela porabi v tem primeru? Toploto oddaja okolici, ki ima temperaturo T_0 . $c_p = 1 \text{ kJ/kgK}$.
9. Pri tlaku 1 bar in $T = 20^{\circ}\text{C}$ je v 1 m^3 vlažnega zraka 0.9 g vodne pare. Kolikšna sta delna tlaka vodne pare in zraka? Kolikšna je relativna vlažnost? Kolikšna je masa zraka? ($q_i = 2.3 \text{ MJ/kg}$).

Ta vlažen zrak izotermno stisnemo. Do kolikšnega volumna ga moramo stisniti, da se začne vodna para kondenzirati v kapljice? Kolikšen je tedaj skupen tlak?

10. **Toplota:** nal. 23 (rosišče)

Nasičen parni tlak izračunaj sam s pomočjo Clausius Clapeyronove enačbe.

2.5 Kalorimetrija

1. Energijski in entropijski zakon: nal. 2 (svinčena kroglica pade na tla in odskoči)
2. Energijski in entropijski zakon: nal. 6 (segretje odbijačev pri trku vagonov)
3. Energijski in entropijski zakon: nal. 13 (dež pada na led)
4. Energijski in entropijski zakon: nal. 17 (peč greje sobo)
5. Energijski in entropijski zakon: nal. 20 (stiskanje vode)
6. Energijski in entropijski zakon: nal. 21 (segrevanje in stiskanje vode)
7. Energijski in entropijski zakon: nal. 22 (segrevanje ujete vode)
8. Energijski in entropijski zakon: nal. 24 (izparilna toplota alkohola)
9. Dva kilograma podhlajene vode pri -6°C zmotimo is labilnega ravnovesja. Kaj se zgodi?

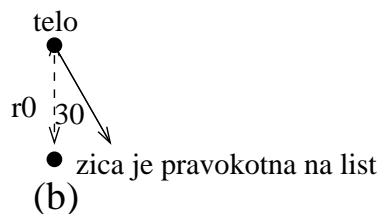
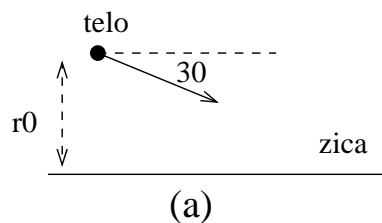
2.6 Toplotno prevajanje

1. Energijski in entropijski zakon: nal. 54 (valjasta posoda na ledu)
2. Energijski in entropijski zakon: nal. 56 (toplotno prevajanje v cilindrični simetriji)
3. Okrogel grelec z zunanjim polmerom 1 cm je objet s kroglastim plaščem, ki sega do polmera 10 cm. Moč grelca je 1000 W, temperatura okolice je 0°C , toplotna prevodnost plašča je 390 W/Km . Kolikšna je temperatura površine grelca?
4. Energijski in entropijski zakon: nal. 58 (nastajanje ledu na jezeru)

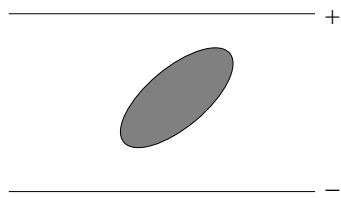
3. Elektromagnetizem

3.1 Električno polje

1. Električno polje: nal. 1 (vrvici in kroglici)
2. Električno polje: nal. 2 (delo pri razmiku kroglic)
3. Električno polje in potencial zunaj in znotraj enakomerno nabite krogle.
4. V notranjosti enakomerno nabite krogle z radijem R je okrogla votlina z radijem R_1 in središčem v a glede na središče krogle. Zapiši krajevno odvisnost vektorja električnega polja zunaj krogle, znotraj krogle ter v votlini.
5. Kolokvijske naloge: 91/92, kol. 3, nal. 2 (električna sila med nabitima žicama)
6. Kolokvijske naloge: 95/96, kol. 3, nal. 4 (električno polje na osi kondenzatorja)
7. Celica naj bo v idealiziranem primeru okrogle oblike z polmerom R . Njena membrana je tenka enakomerno nabita plast z ploskovno gostoto pozitivnega naboja $\sigma > 0$. Kolikšen tlak razpenja membrano zaradi električnih odbojnih sil?
8. Določi električno polje $\vec{E}(x, y, 0)$ in gostoto površinskega naboja $\sigma(x, y)$ na površini prevodnika, ki se nahaja
 - (a) v oddaljenosti $d/2$ od točkastega naboja z $e > 0$
 - (b) v oddaljenosti $d/2$ od nabite neskončno dolge žice z dolžinsko gostoto naboja $\mu > 0$
9. Žica je pozitivno nabita z $\mu = 10^{-6}$ As/m, točkasto telo z nabojem $e_1 = 10^{-10}$ As pa se približuje na način (a) oziroma (b), kjer $r_0 = 10$ cm in $v_0 = 1$ m/s. Do katere najmanjše razdalje se telo približa žici v obeh primerih?



10. Elektron se približuje neskončno dolgi žici, ki je enakomerno pozitivno nabita z dolžinsko gostoto μ . Elektron ima na razdalji r_0 hitrost $\vec{v}_0 = -v_{r0} \vec{e}_r + v_{\phi 0} \vec{e}_\phi + v_{z0} \vec{e}_z$. Do katere najmanjše razdalje se elektron približa?
11. Električno polje: nal. 14 (ion vodika v krogelnem kondenzatorju)
12. Izračunaj el. potencialno energijo (vezavno energijo) na en ionski par v ravni verigi $+1$ in -1 ionov, ki so v razmiku $2.38 \cdot 10^{-10}$ m. (Uporabimo potenčno vrsto za logaritem, $\ln(1+x) = x - x^2/2 + x^3/3 - x^4/4 + \dots$, ki konvergira na $-1 < x \leq 1$.)
13. Elektrone pospešujemo z napetostno razliko $U_0 = 3$ V med katodo in anodo. Nato elektron vstopi med plošči kondenzatorja, ki sta oddaljeni $d = 2$ mm in dolgi $l = 1$ cm, med njima pa je napetost $U = 0.2$ V. Pod kolikšnim kotom elektron zapusti kondenzator?
14. Krogelni kondenzator: Krogla Van der Graafovega generatorja ima polmer $R = 1$ m. Največ koliko naboja lahko nanjo nanesimo, da zrak ne začne prevajati? Koliko je takrat napetost na krogli Van der Graaffa glede na oddaljene točke (zemljo)? Prebojna poljska jakost v zraku je $E_c = 3 \cdot 10^6$ V/m.
15. Prevodni krogli s polmeroma R in $2R$ nosita obe pozitivna naboja $e > 0$. Koliko naboja preteče, ko ju povežemo s prevodno žico?
16. V kondenzatorju se nahaja kos kovine. Skiciraj silnice \vec{E} .



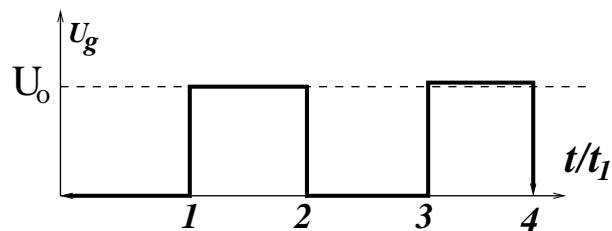
17. Električno polje: nal. 15 (največja napetost na koaksialnem vodniku, da ne prebije)
18. Električno polje: nal. 17 (kovinska plošča v kondenzatorju)
19. Električno polje: nal. 27 (lopatki v kondenzatorju)
20. Električno polje: nal. 28 (delo pri razmikljanju kondenzatorja)
21. Električno polje: nal. 19 (kondenzator z dielektrikom)

3.2 Električni tok

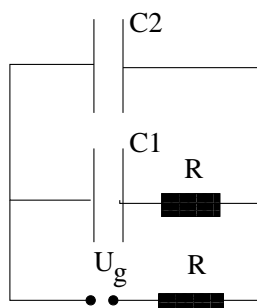
1. Električni tok in upor: nal. 1 (tok v prisekanem stožcu)
2. Električni tok in upor: nal. 7 (gretje v kartezični geometriji)
3. Električni tok in upor: nal. 8 (gretje žice)
4. Električni tok in upor: nal. 9 (tok in gretje med kroglama)
5. Električni tok in upor: nal. 11 (žagasta napetost)
6. Električni tok in upor: nal. 10 (električno delo)
7. Električni tok in upor: nal. 19 (vezje s tremi generatorji)
8. Električni tok in upor: nal. 21 (Wheatstonov most, občutljivost)
9. Električni tok in upor: nal. 20 (vezje z dvema kondenzatorjema)
10. Kolokvijske naloge: 88/89, kol. 3, nal. 1 (vezje z upori, generatorji in kondenzatorjem)

3.3 Vezave z upori in kondenzatorji; prehodni pojavi

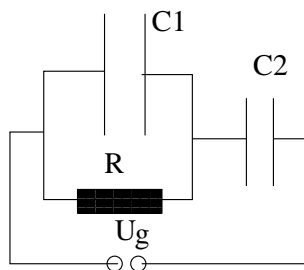
1. Kondenzator s kapaciteto $C = 50 \mu\text{F}$ polnimo prek upora $R = 0.2 \text{ M}\Omega$ na napetosti $U_0 = 200 \text{ V}$.
 - a) Po kolikšnem času je na kondenzatorju 90% končnega naboja?
 - b) Kolikšna energija je shranjena v kondenzatorju po času $t_1 = RC$?
 - c) Kolikšno trenutno moč troši upor ob času $t_1 = RC$?
 - d) Kolikšno je celotno delo baterije?
 - e) Kolikšna energija je na koncu shranjena v kondenzatorju?
 - f) Kolikšne so v celotnem času energijske izgube na uporniku?
2. Električni tok in upor: nal. 33 (dva kondenzatorja in upor)
3. Električni tok in upor: nal. 25 (dva nabita kondenzatorja in dve različni vezavi)
4. Električni tok in upor: nal. 32 (polnjenje kondenzatorja, če je napetost generatorja $U = kt$)
5. Kondenzator C , upornik R in vir izmenične napetosti $U_g(t)$ so vezani zaporedno ($U_0 = 100 \text{ V}$, $t_1 = RC = 10 \text{ s}$). Določi kakšna naj bo amplituda napetosti $U_{c0} = U_C(t = 0)$ na kondenzatorju, da bo nihanje napetosti na kondenzatorju periodično.
V drugem primeru je $U_c(t = 0) = 200 \text{ V}$. Določi $U_c(2t_1)$ in $U_c(4t_1)$ in razmisli, kako se napetost približuje periodičnemu spreminjanju.



6. Neidealni kondenzator si lahko predstavljamo kot vzporedno vezana idealni kondenzator ($C = 0.01 \mu\text{F}$) in upor ($R = 1 \text{ M}\Omega$): neidealni kondenzator prepušča enosmerni tok preko upora R . Neidealni kondenzator priključimo na omrežno napetost $U_g(t) = U_0 \cos \omega t$. Določi $I(t)$ (amplitudo in fazo) skozi tak kondenzator z reševanjem v realnem in kompleksnem. Določi tudi $P(t)$ in \bar{P} izvora.
7. Vezje na sliki je priključeno na omrežno napetost $U_g(t) = U_0 \sin \omega t$. Podani so R , C_1 in C_2 . Določi tok $I_1(t)$ skozi kondenzator C_1 .



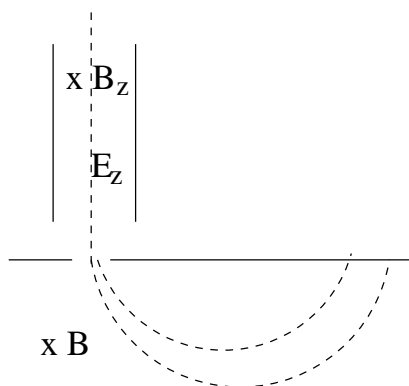
8. Vezje na sliki je priključeno na omrežno napetost $U_g(t) = U_0 \cos \omega t$. Podani so R , C_1 in C_2 . Določi tok $I_1(t)$ skozi upor R in napetost $U_{C_2}(t)$ na kondenzatorju C_2 .



9. Električno polje: nal. 22 (V kondenzator pri konstantni napetosti potiskamo dielektrik, kolikšen je tok, a) če v krogu ni upornika in b) če je v krog vezan upornik)
10. Električno polje: nal. 34 (preboj v kondenzatorju pri izmenični napetosti)

3.4 Magnetna sila, navor in polje

1. Z masnim spektrometrom bi radi ločili izotopa neona ^{20}Ne in ^{22}Ne . Izotopa sta enkrat ionizirana in nosita naboj $+|e_0|$. Koliko sta oddaljeni pegi snopov na zaslonu, če je $B = 0.08\text{ T}$ in imata oba hitrost $v = 10^5\text{ m/s}$? Kolikšno električno polje E_z mora biti v kondenzatorju, če je $B_z = 0.01\text{ T}$, da izločimo le izotope s hitrostjo $v = 10^5\text{ m/s}$?



2. Atomika: nal. 31 (elektron v električnem in magnetnem polju)
3. Magnetno polje: nal. 10 (natezna sila v krožni zanki s tokom v magnetnem polju)
4. Magnetno polje: nal. 12 (sila na magnetni dipol v nehomogenem polju)
5. Zakaj magnetna sila privlači nasprotna pola dveh paličastih magnetov ali dveh ravnih tuljav s tokom? (utemelji opisno)
6. Palčko, na katero je nanizana prosto gibljiva kroglica z maso m in pozitivnim nabojem e , vrtimo s kotno hitrostjo ω okrog pravokotne osi skozi težišče palčke. Palčka se nahaja v homogenem magnetnem polju z gostoto B , ki je vzporedno osi vrtenja. V katero smer jo je treba vrteti, da bo gibanje kroglice omejeno? Kako se v tem primeru giblje kroglica, če jo izmaknemo proč od osi? Pri katerih kotnih hitrostih vrtenja je tako gibanje mogoče?
7. Magnetno polje: nal. 18 (nihanje magnetnice)
8. Določi magnetno polje okrog in v notranjosti dolgega ravnega vodnika z enakomerno porazdeljenim tokom I in polmerom R z Amperovim zakonom. Določi polje zunaj še z Biot-Savartovim zakonom.
9. Po tankem traku s širino $a = 2\text{ cm}$ teče tok $I = 1\text{ A}$. Kolikšno je magnetno polje $h = 1\text{ cm}$ nad sredino traku? Kaj pa drugod?
10. Kolokvijske naloge: 89/90, 3. kol, nal. 4 (kovinska traka pod pravim kotom)

11. Magnetno polje: nal. 1 (magnetno polje sredi kvadratne zanke)
12. Magnetno polje: nal. 3 (magnetno polje rotirajočega nabitega valja)
13. Magnetno polje: nal. 19 (delo: mala tuljavi v veliki)
14. Magnetno polje: nal. 8 (sila na zanko s tokom v polju vodnika)
15. Magnetnica je v sredini $l = 0.5$ m dolge tuljave, ki ima $N = 500$ ovojev. Dolga tuljava ustvarja magnetno polje v smeri od severo-vzhoda proti jugo-zahodu. Za kolikšen kot se zasučje magnetnica, ko na tuljavo priključimo enosmerni tok $I = 0.05$ A? Horizontalna komponenta zemljiskega magnetnega polja je $B_z = 2 \cdot 10^{-5}$ T in kaže proti severu.
16. Magnetno polje: nal. 5 (toroidna tuljava z jedrom, polje v ožini, reži)

3.5 Indukcija

1. Indukcija: nal. 2 (indukcija pri vrteči se palici)
2. Indukcija: nal. 4 (indukcija pri vrteči se palici)
3. Indukcija: nal. 13 (indukcija v ovoju)
4. Indukcija: nal. 11 (indukcija v dveh ovojih)
5. Indukcija: nal. 7 (vrtenje obroča v magnetnem polju)
6. Indukcija: nal. 15 (indukcija povroči vrtenje plosce)
7. Indukcija: nal. 17 (asinhroni motor)
8. Indukcija: nal. 14 (segrevanje zanke pri dB/dt : lažja verzija)
9. Indukcija: nal. 19 (segrevanje žice pri dB/dt : težja verzija)

3.6 Vezave tuljave, upora in kondenzatorja

1. Določi induktivnost toroida s srednjim polmerom r in kvadratnim presekom z stranico a .
2. Indukcija: nal. 21 (upor in tuljava na enosmerni napetosti)
3. Indukcija: nal. 22 (vezje s tuljavo in upori na enosmerni napetosti)

4. (a) Če žarnico in tuljavo zaporedno vežemo na izmenično napetost spremenljive frekvence bo žarnica svetila le pri nizkih frekvencah. Določi karakteristiko $f(\omega) = |U_{R0}(\omega)/U_0(\omega)|$.
 (a) Če žarnico in kondenzator zaporedno vežemo na izmenično napetost spremenljive frekvence bo žarnica svetila le pri visokih frekvencah. Določi karakteristiko $f(\omega) = |U_{R0}(\omega)/U_0(\omega)|$.
5. Neidealna tuljava (tuljava in upornik zaporedno) na izmenični napetosti
6. Indukcija: nal. 25 (vzporedno vezana kondenzator in upor ter zaporedno vezana tuljava na izmenični napetosti)
 Podamo še amplitudo napetosti izvora $U_0 = 100$ V. Določi moč izvora z uporabo kompleksnih impedanc. Ta mora biti enaka moči upora, ki jo določi z uporabo kazalčnih diagramov. Preveri, ali sta res enaki.
7. Električno nihanje in EM valovanje: nal. 5 (energija nihajnega kroga)
8. Vsiljeno nihanje električnega nihajnega kroga (tuljava, upornik, kondenzator in generator zaporedno)
9. Električno nihanje in EM valovanje: nal. 4 (nihajni krog iz tuljave in neidealnega kondenzatorja)
 Določi $I_L(t)$ če $I_L(0) = 0$, $U_C(0) = 100$ V.

3.7 Transformator

1. Indukcija: nal. 28 (neobremenjeni transformator)
2. Indukcija: nal. 29 (obremenjeni transformator)

3.8 Premikalni tok

1. Električno nihanje in EM valovanje: nal. 7 (premikalni tok)

4. Elektro-magnetno valovanje

4.1 Koaksialni vodnik

1. Izračunaj dolžinsko gostoto induktivnosti in kapacitete za koaksialni vodnik s polmerom žice a in polmerom plašča b , napolnjen z dielektrikom dielektričnosti ε .
2. S kolikšno hitrostjo se po koaksialnem kablu iz prejšnje naloge prenaša signal? Izpelji z uporabo valovne enačbe.
3. Kako se v koaksialnem vodniku razširja harmonični signal, če upoštevamo še električni upor žice in plašča (upor na dolžinsko enoto naj bo R^*)?
4. Električno nihanje in EM valovanje: nal. 13 (energijski tok po koaksialnem vodniku)
5. Koaksialni vodnik ima polmer žile a , notranji polmer plašča b in je napolnjen z dielektrikom dielektričnosti ε . Na koncu koaksialnega vodnika sta žila in plašč sklenjena preko upora R . Potujoči harmonični val v desno ima znano amplitudo napetosti U_{10} in znano krožno frekvenco ω .
 - a) Določi amplitudo napetosti U_{20} (ter fazo) odbitega vala v levo, če je $R = 0$ (žila in plašč sta kratko sklenjena).
 - b) Določi U_{20} , če je $R = \infty$ (med žilo in plaščem ni toka).
 - c) Kolikšen naj bo R , če želimo $U_{20} = 0$ (ni odbitega vala)?
 - d) Za splošen R določi U_{20} in razmisli, kako to valovanje izgleda.

4.2 Interferenca

1. Električno nihanje in EM valovanje: nal. 21 (4 antene v ogliščih kvadrata)
2. Električno nihanje in EM valovanje: nal. 20 (3 antene s faznim zamikom)
3. Valovna optika: nal. 14 (poševni vpad na uklonsko mrežico)

4. Zelena svetloba valovne dolžine 550 nm pade pod kotom γ ($\sin \gamma = 1/4$) na 2 ozki reži v razmiku $a = 2\lambda$. Določi in nariši $j(\sin \alpha)$ na oddaljenem zaslonu.
Račun ponovi za M (recimo $M = 5$) rež in spet nariši uklonsko sliko.
5. Valovna optika: nal. 2 (madež olja na vodi v beli svetlobi)
6. Valovna optika: nal. 7 (Michelsonov interferometer)

4.3 Geometrijska optika

1. Geometrijska optika: nal. 1 (planparalelna ploščica)
2. Geometrijska optika: nal. 2 (totalni odboj)
3. Geometrijska optika: nal. 3 (prizma in disperzija)
4. Geometrijska optika: nal. 4 (konkavno zrcalo)
5. Geometrijska optika: nal. 5 (posodica)
6. Geometrijska optika: nal. 7 (goriščna razdalja leče)
7. Geometrijska optika: nal. 11 (sestavljena leča)
8. Geometrijska optika: nal. 12 (teleobjektiv)
9. Geometrijska optika: nal. 13 (razmazanost)
10. Geometrijska optika: nal. 14 (globinska ostrina)
11. Geometrijska optika: nal. 16 (daljnogled)
12. Geometrijska optika: nal. 17 (zenica)
13. Geometrijska optika: nal. 19 (mikroskop)

4.4 Fotometrija, sevanje črnega telesa

1. Kolikšna je temperatura Sonca? Poznamo gostoto energijskega toka pri Zemlji 1.4 kW/m^2 in vemo, da smo od Sonca oddaljeni 8 svetlobnih minut.
2. Kolikšna je osvetljenost, svetlost in svetilnost lista A4 ob 12h in ob 15h na Ekvatorju ob enakonočju? Gostota energijskega toka pri Zemlji je 1.4 kW/m^2 .
3. Fotometrija: nal. 1 (osvetljenost)

4. Kolikšna je temperatura, do katere se segreje bel list z albedom 0.9 v vesolju na razdalji 8 svetlobnih minut od Sonca?
5. Kolikšna je največja temperatura, do katere lahko segrejemo črno telo z zbiralno lečo ob jasnem dnevu?