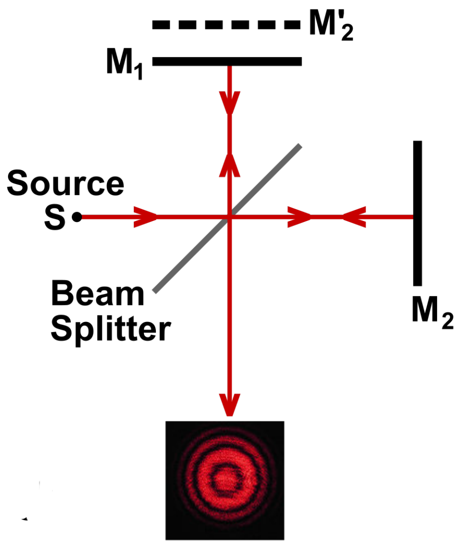
1 Michelsonov interferometer

Dva žarka laserske svetlobe, ki ju ustvarimo s polprepustno stekleno ploščo, po odboju od zrcal interferirata, kar opazimo kot svetle ali temne krožne lise na sredini zaslona. Če premaknemo eno od zrcal za razdaljo l, se optična pot žarka, ki se odbije na tem zrcalu, spremeni za $2l$. Premik zrcala med dvema zaporednima ojačitvama meri $\frac{1}{2}\lambda$. Ko zrcalo odmikamo, se bodisi pojavljajo bodisi izginjajo svetli in temni kolobarji.

Valovno dolžino izračunamo iz zveze $\lambda = 2l/N$, pri čemer je N število zaporednih ojačitev, ki smo jih našteli med tem, ko smo eno od zrcal premaknili za razdaljo l..



Shema Michelsonovega interferometra
(`http://en.wikipedia.org/wiki/File:Michelson_interferometer_fringe_formation.svg`)

Naloga

Izmerite valovno dolžino laserske svetlobe v zraku z Michelsonovim interferometrom.

Navodilo

Z mikrometrskim vijakom izmerite premik zrcala l za recimo 100 vznikov ali ponikov (N). Upoštevajte, da je zaradi podaljšane ročice dejanski premik zrcala 10 krat manjši. Izračunajte $\lambda = 2l/10N$.

2 Fotoefekt

Pri fotoefektu svetloba izbija elektrone iz kovine. Izkaže se, da elektrone lahko izbija le svetloba z dovolj majhno valovno dolžino (dovolj veliko energijo). Pojav je pojasnil Einstein tako, da je predpostavil, da je svetloba sestavljena iz fotonov; energija fotona je odvisna od njegove frekvence oz. valovne dolžine:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}\,, \tag{1}$$

kjer je h Planckova konstanta, ki jo bomo pri vaji izmerili. Največja energija, ki jo elektron v kovini pri obsevanju z enobarvno svetlobo lahko sprejme, je enaka energiji fotona. Energija se porabi za premagovanje potencialne energije, s katero je elektron vezan v kovini (izstopno delo A_i), preostanek pa se manifestira kot kinetična energija elektrona. Za največjo kinetično energijo, ki jo lahko ima izbiti elektron, torej velja:

$$W_{\text{kin,maks}} = h\nu - A_i\,. \tag{2}$$

Tok, ki pri fotoefektu steče med anodo in katodo, je odvisen od kinetične energije elektronov. Največjo kinetično energijo izmerimo tako, da med katodo in anodo priključimo napetost v zaporni smeri in poiščemo tisto napetost, U, pri kateri tok preneha teči. Tedaj se največja kinetične energija ravno porabi za premagovanje električnega dela e_0U in velja

$$W_{\text{kin,maks}} = e_0U = h\nu - A_i\,. \tag{3}$$

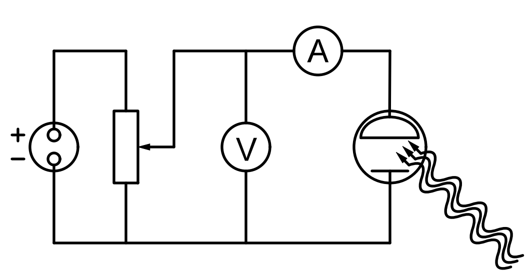
Če rišemo maksimalno kinetično energijo izbitih elektronov v odvisnosti od frekvence svetlobe, dobimo premico z naklonskim koeficientom, ki je enak Planckovi konstanti (h), in presečiščem z navpično osjo pri vrednosti izstopnega dela $-A_i$.

Naloga

Z merjenjem zaporne napetosti pri osvetljevanju fotocelice z različnimi valovnimi dolžinami (barvami svetlobe) določite Planckovo konstanto in izstopno delo.

Navodilo

Pri meritvi zaporno napetost počasi povečujemo (začnemo z 0V) in beležimo, kolikšen tok teče skozi fotocelico. Meritev izvajamo toliko časa, dokler tok skozi fotocelico ne pade na 0. Dobljeno odvisnost toka od zaporne napetosti prikažemo s točkami v grafu, skozi katero potegnemo gladko krivuljo, ki se točkam najbolje prilega. Maksimalno kinetično energijo elektronov odčitamo v točki, kjer krivulja seka abscisno os. Celotno meritev ponovimo pri različnih barvah svetlobe (valovnih dolžinah), ki jo sevajo vijolična, modra in zelena LED dioda.



3 Statistika sunkov iz radioaktivnega izvora

Jedra radioaktivnih atomov razpadajo povsem slučajno; v vsakem trenutku je enaka verjetnost za razpad. Pri Matematičnih metodah smo v takšnem primeru pokazali, da je število razpadov v izbranem času t porazdeljeno po *Poissonovi* porazdelitvi:

$$P_N^{\bar{N}} = \frac{\bar{N}^N}{N!}\, \mathrm{e}^{-\bar{N}}\,, \tag{4}$$

pri čemer je $\bar{N}$ povprečno število razpadov v tem intervalu. Za napako (standardno deviacijo) velja

$$\sigma = \sqrt{\bar{N}}\,. \tag{5}$$

Naloga

Izmerite porazdelitev razpadov v izbranem časovnem intervalu in jo primerjajte s Poissonovo porazdelitvijo z enakim povprečnim številom.

Navodilo

Izvir radioaktivnih žarkov (sevalec beta) postavite na primerno razdaljo od števca, tako v da izbranem intervalu dobite približno tri sunke. Poskus pri isti razdalji ponovite $Z = 100$ krat in beležite izide N_i, $i = 1, \ldots Z$. Izračunajte povprečno število $\bar{N}$ in odstopanje σ

$$\bar{N} = \frac{1}{Z}\sum_{i=1}^{Z} N_i\,, \qquad \sigma^2 = \frac{1}{Z}\sum_{i=1}^{Z}(N_i - \bar{N})^2\,. \tag{6}$$

Narišite histogram, v katerega vnesete število meritev (višina stolpca) kot funkcijo preštetih sunkov. V isti histogram vrišite izmerjeno porazdelitev, tako da preštejete, koliko krat je se je pojavil izid z izbranim N, $N = 0, 1, 2, 3, \ldots$, in ustrezno Poissonovo porazdelitev (enačba (4)), pomnoženo s celotnim številom poskusov Z. Primerjajte še teoretično vrednost (5) z izmerjeno vrednostjo (6).

4 Spektrometer na uklonsko mrežico

Pri pravokotnem vpadu enobarvne svetlobe na uklonsko mrežico dobimo ojačane curke v smereh, ki zadoščajo enačbi

$$d \sin \vartheta = N\lambda \,, \tag{7}$$

kjer je d razdalja med zaporednima režama v mrežici (mrežna konstanta d^{-1} je običajno definirana kot število rež na milimeter), ϑ je kot odklona žarka po prehodu skozi mrežico od prvotne smeri, N je uklonski red. Enačba omogoča računanje mrežne konstante, če poznamo valovno dolžino svetlobe, oziroma valovno dolžino (dolžine) svetlobe, če poznamo mrežno konstanto. Optična mreža torej omogoča analizo spektra, to je izračunavanje valovnih dolžin spektralnih sestavin. Govorimo o spektroskopu na mrežico.

Naloga

a) **Z lasersko svetlobo znane valovne dolžine izmerite mrežno konstanto (tj. število rež na mm) uklonske mrežice, ki jo potrebujete pri spektroskopskem merjenju razžarjenih plinov.**

b) **S spektrometrom izmerite valovne dolžine vidnega dela vodikovega spektra. Na podoben način izmerite tudi valovne dolžine optičnih spektrov neona in helija. Izmerjene vrednosti primerjajte s tabelaričnimi vrednostmi.**

Navodilo

a) Izmerite razdaljo spektrometra do zaslona l in odmike spektroskopskih črt od pravokotnice na mrežico Δy_N (levo in desno). Izračunajte d kot povprečno vrednost meritev: $d = N\lambda / \sin \theta_N$, kjer je $\tan \theta_N = \Delta y_N / l$.

b) Merite l in lego uklonskih maksimumov za prvi red (Δy_1) značilnih spektralnih črt plinov in izračunajte valovne dolžine teh črt.

   Značilne črte:

   vodik: 656 nm rdeča, 486 nm modrozelena, 434 nm modra (modrovijolična) in 410 nm vijolična.

   helij (v nm, s pomeni močna, m srednjemočna in w šibka): 439 w, 444 w, 447 s, 471 m, 492 m, 502 s, 505 w, 588 s, 668 m.

   neon (v nm) : 540 zelena, 585 rumena, 588 rumena;
   oranžne: 603, 607, 616;
   rdeče: 622, 627, 633, 638, 640, 651, 660, 693, 703.

5 Spektrometer na prizmo

Spektralno analizo lahko izvedemo tudi s spektroskopom na prizmo. Vemo, da prizma odkloni svetlobni curek od prvotne smeri. Lomni količnik stekla, iz katerega je prizma, je sorazmeren (vendar ne premo sorazmeren) s frekvenco svetlobe. Pojav imenujemo disperzija svetlobe. Rdeča svetloba se zato v prizmi manj odkloni kot vijolična (obratno kot pri optični mrežici). Ta pojav opazimo tudi pri mavrici ob soncu in dežju. S spektroskopom na prizmo določite valovne dolžine značilnih barv bele svetlobe. Predhodno spektroskop umerite s svetlobo z znanim spektrom vodika.

Naloga

a) **Sestavite spektroskop na prizmo, umerite ga z vodikovim spektrom in izmerite spekter različnih razžarjenih plinov in Hg par. Določite meje spektralnih barv v (zveznem) spektru volframove žarnice.**

b) **Spektre izmerite še s spektroskopom, povezanim z računalnikom. Ničlo skale umerite z vodikovim spektrom.**

Navodilo

Odčitajte v spektrometru lege treh ali štirih značilnih barv vodikovega spektra in narišite umeritveno krivuljo spektrometra. Nato odčitajte značilne spektralne črte drugih plinov in Hg in jim iz umeritvene krivulje določite valovne dolžine.

Vodikov spekter: rdeča 656 nm, modrozelena 486 nm, modrovijolična 434 nm in vijolična 410 nm.

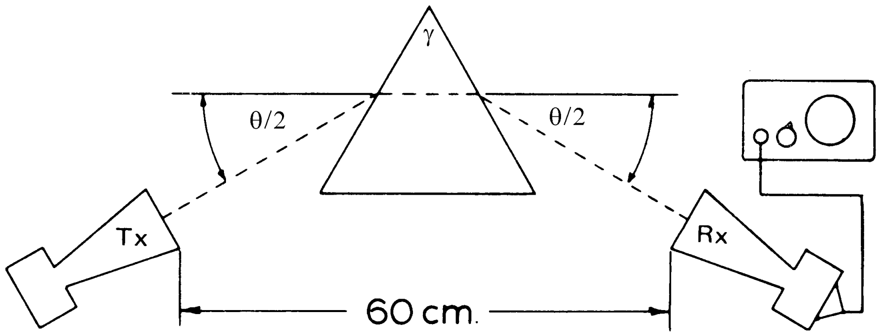
6 Poskusi z mikrovalovi

Mikrovalovi so EM valovanje z valovnimi dolžinami v centimetrskem območju, zato so zelo primerni za opazovanje valovnih pojavov na makroskopski skali. Za izvir mikrovalov uporabljamo klistrone, v katerih elektroni nihajo v resonančni votlini in pri tem sevajo EM valovanje.

Pri prehodu mikrovalov skozi mejo med dvema sredstvoma pride do loma, pri čemer velja lomni zakon:

$$n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$$

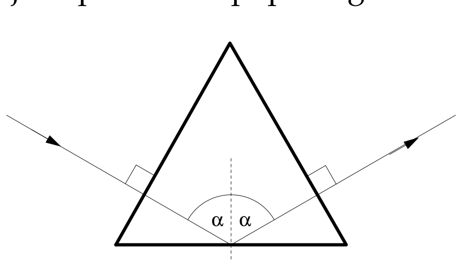
Lomni količnik zraka je približno 1, tako da lahko samo z merjenjem kotov pri lomu določimo tudi lomni količnik izbrane snovi – v našem primeru parafina. Z mikrovalovi posvetimo na parafinsko prizmo, na kateri se „žarek" mikrovalov lomi dvakrat – ob vstopu in izstopu (glej sliko).



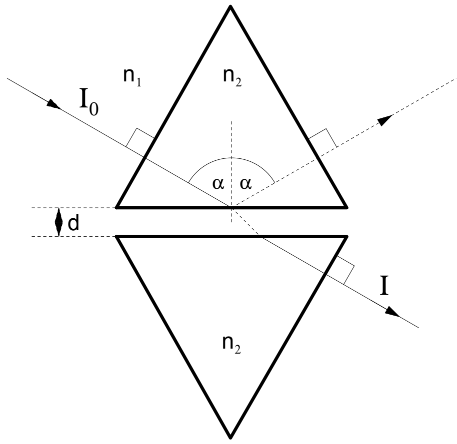
Pri simetričnem prehodu žarka skozi prizmo velja $\beta = \gamma/2$ in $\theta = 2\alpha - \gamma$, če je θ kot med vpadnim in izstopajočim žarkom in γ kot v vrhu prizme (60°). Lomni količnik sredstva je tedaj

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{\sin\frac{1}{2}(\theta+\gamma)}{\sin\frac{1}{2}\gamma}\,.$$

Če na prizmo posvetimo pod ustreznim kotom (npr. pravokotno na stranico), pride na spodnji stranici v notranjosti prizme do popolnega odboja (glej sliko).



Intenziteta valovanja pri tem na drugi strani meje (v zraku) eksponentno pojema. Če ob stranico prizme, na kateri pride do popolnega odboja, prislonimo drugo prizmo, sredstvo ob stranici efektifvno ni prekinjeno, zato do popolnega odboja ne pride, žarek pa nadaljuje pot v drugo prizmo. Zanimivo je, da nekaj valovanja preide v drugo prizmo tudi v primeru, ko je med prizmama majhna zračna špranja. Temu pravimo tunelski pojav, opišemo pa ga s kvantno mehaniko. Opazujmo pojemanje intenzitete prepuščenega EM valovanja kot funkcijo velikosti špranje d med njima (glej sliko).



Pojemanje intenzitete valovanja opisuje enačba

$$I = I_0 \mathrm{e}^{-2\kappa d}$$

Naloga

a) Določite valovno dolžino mikrovalovnega valovanja.

b) Določite lomni količnik parafina za mikrovalove.

c) Opazujte upadanje intenzitete valovanja pri tunelskem pojavu in določite atenuacijski koeficient κ.

Navodilo

Merilno diodo, ki je priključena na μA-meter, premikate ob merilu vzdolž osi mikrovalovnega izvira tako, da na μA-metru naštejete 10 maksimumov (ali minimumov). Ko je dioda v vozlu valovanja, kaže μA-meter minimum, ko pa je dioda v hrbtu valovanja, opazimo maksimum. Pri določitvi valovne dolžine upoštevajte, da je razdalja med dvema hrbtoma enaka polovici valovne dolžine, saj je $I \propto (\cos \omega t - kx)^2$, pri čemer tako pozitivni kot negativni del amplitude valovanja povzročita hrbet intenzitete.

Prizmo iz parafina postavite na vrtljivo mizico. Mikrovalovni oddajnik in sprejemnik naj bosta najprej na isti osi (kot 180 stopinj), osi vzporedna naj bo tudi izmed stranic prizme. Zdaj kot med oddajnikom in sprejemnikom pričnite zmanjševati, pri tem pa za polovični kot hkrati sučete tudi prizmo. Iz kota, pri katerem najdete maksimum lomljenega valovanja, izračunate lomni količnik parafina.

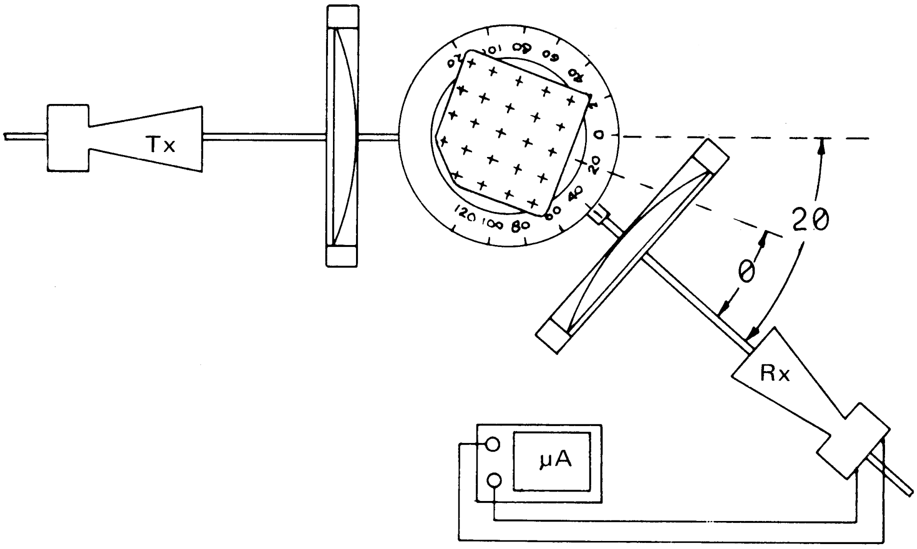
Med oddajnik in sprejemnik, ki stojita na isti osi, postavite parafinski prizmi, ki se stikata z eno stranico. Prizmi sta obrnjeni tako, da mikrovalovi vanju vstopajo in izstopajo pod pravim kotom. Razdaljo med prizmama pričnete povečevati in si zapisujete prepuščeno intenziteto. Logaritem prepuščene intenzitete predstavite na grafu kot funkcijo velikosti špranje. Naklon premice je enak -2κ.

7 Braggov uklon na modelu kristala – mikrovalovi

Opazujemo interferenco valovanja, ki se odbija od vzporednih kristalnih ravnin. Če označimo vpadni kot proti vodoravnici s θ, se odbito valovanje odkloni za kot 2θ glede na prvotno smer (glej sliko). Do ojačanja pride v smereh, za katere je izpolnjen pogoj:

$$2a \sin\theta = N\lambda\,, \tag{8}$$

pri čemer je a razdalja med sosednjimi ravninami, λ valovna dolžina (v našem primeru mikrovalov) in N uklonski red.



Naloga

Z merjenjem odklonskega kota, pri katerem nastopi ojačenje, določite razdalje za nekaj značilnih kristalnih ravnin. Rezultat preverite z direktnim merjenjem razdalje.

Navodilo

Pred oddajnik in sprejemnik postavite leče in ju namestite tako, kot kaže slika. Valovno dolžino mikrovalov ste izmerili pri prejšnji nalogi. Sučite kristal in hkrati sprejemnik, tako da je sprejemnik zasukan za dva krat večji kot kot kristal. Izmerite kot, pri katerem nastopi ojačenje na ravnini z oznako (1,0,0) in iz zgornje enačbe izračunajte razdaljo med ravninami. Poskusite najti še naslednji red ojačitve ($N = 2$).

Kristal nato zasukajte, tako da merite uklon na ravnini (1,1,0), ki tvori kot 45° glede na prejšnjo. Razdalja med ravninami je sedaj za faktor $\sqrt{2}$ manjša.

Poskusite poiskati interferenco še na kateri od ravnin.

8 Stefanov zakon: ohlajanje črne, bele in kovinske pločevinke

Segreto telo, ki ga obdaja zrak, se ohlaja s *konvekcijo* in *sevanjem*.

Pri konvekciji je toplotni tok, ki s segretega telesa prehaja v zrak, je odvisen od površine telesa S in temperaturne razlike:

$$P = \Lambda_k \, S(T - T_0)\,. \tag{9}$$

Pri tem je T temperatura telesa, T_0 temperatura okoliškega zraka na dovolj veliki oddaljenosti od telesa, Λ_k pa je *koeficient prehajanja toplote pri konvekciji* in je odvisen od oblike segretega telesa.

Ko obravnavamo ohlajanje telesa zaradi sevanja, moramo upoštevati, da poleg toka, ki ga telo oddaja v okolico, telo zaradi sevanja okolice tudi prejema energijski tok. Prejeti tok je sorazmeren s četrto potenco temperature okolice T_0. Razlika med oddanim in prejetim tokom je enaka

$$P = (1-a)S\sigma(T^4 - {T_0}^4)\,, \tag{10}$$

pri čemer je a *albedo* telesa, tj. razmerje med odbitim in vpadnim energijskim tokom in σ Stefanova konstanta $5{,}67 \cdot 10^{-8}$ W/m^{2}K^4. Če razlika med temperaturama ni prevelika, lahko zapišemo[1]:

$$P \approx 4(1-a)\sigma S\,\overline{T}^3(T - T_0)\,, \tag{11}$$

pri čemer smo vpeljali povprečno temperaturo med temperaturo telesa in temperaturo okolice:

$$\overline{T} = \frac{T + T_0}{2}\,. \tag{12}$$

Energijski tok, ki ga posoda oddaja, izračunamo iz hitrosti ohlajanja:

$$P = \frac{mc_p\Delta T}{\Delta t} \tag{13}$$

kjer je m kar masa vode v posodi in c_0 specifična toplota vode $c_p = 4200$ K/kg, saj lahko toplotno kapaciteto posode in termometra zanemarimo; ΔT je sprememba temperature v časovnem intervalu Δt.

Naloga

Primerjajte ohlajanje različno obarvanih teles.

[1] Iz osnov matematike vemo $a^4 - b^4 = (a^2 - b^2)(a^2 + b^2) = (a-b)(a+b)(a^2+b^2)$

Navodilo

Za izvedbo vaje potrebujete tri termometre, posodo vrele vode, lij, belo, kovinsko in črno pločevinko z zamaški, merilni valj, štoparico, izolacijsko podlago (stiropor), merilo.

Vsako od pločevink postavite na podstavek iz stiropora. Postavite jih vsaj 10 cm vsaksebi. S pomočjo lija v vsako nalijte vrele vode povsem do vrha. Hitro vstavite zamašek in skozenj potisnite sondo termometra tako, da se le-ta ne dotika sten ali dna pločevinke. Morebitno polito vodo obrišite z brisačo; zunanjost pločevinke mora biti med poskusom povsem suha. Sprožite štoparico in merite ter beležite temperaturo vode v pločevinkah na desetinko stopinje natančno vsake 5 min. Izmerke beležite v posebno tabelo, ki vas čaka na delovnem mestu (tabela 1). Za lažje delo si meritve in beleženje razporedite tako, da boste temperaturo odčitavali vsako minuto v drugi pločevinki. Meritev naj traja 45 min. Ob začetku in koncu merjenja v tabelo 2 zabeležite še temperaturo okoliškega zraka s pripravljenim termometrom. Če na delovnem mestu niste prvi, meritev nadaljujte za svojimi predhodniki in merite ter beležite temperaturo vode v vseh treh posodah na 5 min, 45 minut. Povsem na koncu (po približno 200 min), izmerite in zabeležite še prostornino vode v vsaki od pločevink.

Ne ustavljajte štoparice, ne prestavljajte pločevink in ne menjavajte vode v njih.

Za velikost površine S, na kateri pločevinka seva, vzemite 190 cm^2 (to je površina pločevinke brez dna), T temperatura pločevinke in T_0 trenutna temperatura okolice. Rezultate vpisujte v tabelo 1.

Narišite graf, ki prikazuje odvisnost celotnega toplotnega toka P (glej (13)) v odvisnosti od $T - T_0$. Grafe za vse tri pločevinke narišite v isti koordinatni sistem z različnimi barvami. Pripišite legendo. V isti koordinatni sistem z drugo barvo narišite še izsevani toplotni tok črne pločevinke $P_{\text{sč}}$ (enačbo (10), v katero vstavite $a = 0$).

t [min]	$T_{\text{črna}}$	T_{bela}	T_{kov}	T_0
0				
5				
10				
15				
20				
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				
60				
65				
70				
75				
80				
85				
90				
95				
100				
105				
110				
115				
120				
125				
130				
135				
140				
145				
150				
155				
160				