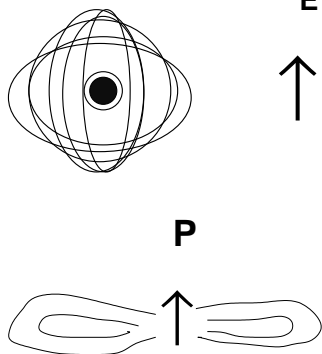


1 Víxlverkun ljóss og efnis

Klassísk ljósdreifingarmynd

Nánari umfj. Hecht 4 útg. 4.1 – 4.3, 3.5



E Skoðum stakt atom eða sameind í rafsegulsviði þar sem $E = E_0 \cos \omega t$ og ω er langt frá öllum eigintíðnum kerfisins. Sviðið skautar atomið með því að bjaga rafeindaskýið og mynda tví-pólsvægið $P = P_0 e^{-i\omega t}$. Hröðun rafeindanna verður $a \sim \ddot{P} = \omega^2 P_0 e^{-i\omega t}$

Tvípóllinn geislar vegna hröðunar rafeindanna með styrk $I \sim P_0^2 \omega^4 \sin^2 \theta \sim |a|^2$, þar sem θ er stefnuhorn við P . Geislunin er sterkust í plani sem er hornrétt á P og þá um leið á E . Ef ytra rafsegulsviðið er óskautað er stefna E -vektorsins tilviljanakennd í plani þvert á útbreiðslustefnuna. Meðaltals geislunarsviðið er þar með orðið kúlubylgja.

Þetta staka atom virkar því sem geisladreifir (e. scattering center), sem dregur orku úr ljósgeislanum og geislar henni aftur jafnt í allar áttir. Þetta fyrirbæri, sem kallast *Rayleigh dreifing*, er kröftuglega háð tíðni þar sem $I \sim \omega^4$.

Skoðum nú nokkur sértílfelli.

1.1 Þunnt gegnsætt efni

Fjöldapéttleiki $\rho_n < 1/\lambda^3$, $\omega \ll \omega_0$ (hermutíðni).

Andrúmsloft við STP $\rho_n \simeq 10^{19}/\text{cm}^3 \simeq 10^6/\lambda^3$

Rafsvið ljósbylgju sveiflar rafeindaskýi atomanna, sem endurgeisla orkunni með fasaseinkun í allar áttir.

\implies Rayleigh ljósdreifing

Fjarlægð milli atomanna er nægileg til að dreifðu bylgjurnar eru óháðar og víxlunarmynstur þurrkast út. Styrkdreifingin hefur því kúlusamhverfu. Stefnuvirkni tví-pólsgeislunar gerir að dreifing á skautunarstefnum er ekki jöfn þó heildar afdreifingin hafi kúlusamhverfu. Vegna tíðnieiginleika tví-pólsgeislunar er styrkdreifingin $1/\lambda^4$.

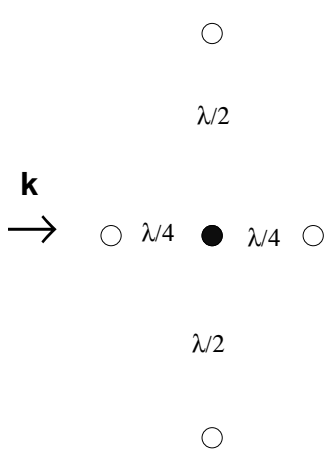
Þessi einfalda mynd gefur skýringar á ýmsum fyrirbærum í umhverfi okkar:

- Himinn er blár en ekki svartur að degi til, því Rayleigh dreifingin er kröftugust fyrir styttri öldulengdir. Blái liturinn myndast mjög hátt í gufuhvolfinu þar sem þéttleiki atoma er miklu minni en við jörð.
- sólin er gulleit að sjá frá jörðu en ekki hvít eða jafnvel bláleit eins og hitastig hennar gæfi tilefni til, því Rayleigh dreifingin hefur tappað af bláa hluta litrófsins.
- Sólarlagið er rauðleitt vegna lengri geislabrautar í gufuhvolfinu.
- Bláa ljósið frá himinhvelfingunni sem sést úr stefnu þvert á sól er skautað.

1.2 Þykkara gegnsætt efni

Fjöldapétteleiki $\rho_n \gg 1/\lambda^3$.

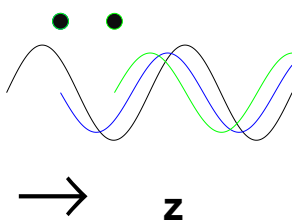
Þar sem fjarlægð milli ljósdreifingarmiðjanna er minni en öldulengd fer víxlunarhrifa að gæta milli dreifðu kúlubylgnanna. Ljósdreifing frá upphaflegri útbreiðslustefnu minnkar verulega, þar sem kúlubylgjurnar vinna alltaf saman í upphaflegu útbreiðslustefnunna en fara að eyða hver annarri fyrir aðrar stefnur þegar þéttleiki dreifingarmiðjanna eykst.



Þegar þéttleiki dreifingarmiðjanna er nægur til að fyrir sérhverja miðju megi finna eins nágretta í fjarlægðunum $\pm\lambda/4$ eftir útbreiðslustefnu upphaflegu bylgjunnar og $\pm\lambda/2$ þvert á hana hverfur Rayleigh dreifingin vegna víxlunar við geislun frá þessum nágroñnum. Þéttleikasveiflur á kvarða sem er minni en öldulengd eða aðrir gallar og misfellur í rafsvörun efnisins, sem trufla þetta mynstur kveikja því aftur á Rayleigh dreifingunni. Þeir hlutar gufuhvolfsins sem ekki uppfylla þéttleikaskilyrðið $\rho_n < 1/\lambda^3$ geta eftir sem áður lagt himninum til bláan lit með Rayleigh dreifingu frá þéttleikasveiflum vegna hitahreyfinga. Speglnun og ljósbrot við misfellur í rafsvörunarstuðli efnis má einnig rekja til Rayleigh dreifingar.

1.3 Fasahliðrun og útbreiðsluhraði

Lokasviðið verður summa af örvunarsviðinu og dreifða sviðinu. Fasi og styrkur dreifða sviðsins er tíðniháður (sbr. fasamælingar í RCL tilraun í Eðlisfræði 2) og fasi lokasviðsins ræðst af styrkhlutföllum og fasamun sviðanna tveggja. Hvert atom seinkar útbreiðslunni svolítið og hefur þannig áhrif á ljóshraðann í efninu.



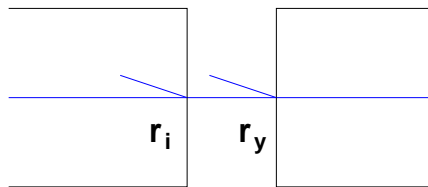
Við getum litið svo á að hver ljóseind fari alltaf um á hraðanum c , en vegna fasabreytinga sem ljósdreifingin veldur verður útbreiðsluhraði ljóseindasúpunnar sem myndar heildarsviðið $v = c/n$. Rætur brotstuðulsins n og þar með ljóshraða í efninu má þannig rekja til víxlverkunar við rafeindaský atomanna og Rayleigh dreifingar.

1.4 Speglnun á ósamfellufleti

Ósamfellu köllum við hér breytingar á rafsvörunareiginleikum sem gerast á lengdarkvarða sem er minni en $\lambda/4$. Við þessi skilyrði vantar þá dreifðu geislun, sem undir venjulegum skilyrðum eyðir þeirri geislun frá skilfletinum sem stefnir á móti upprunastefnu geislans, og myndar nú speglaðan geisla. Speglnunin á þannig líka ættir að rekja til Rayleigh dreifingar.

1.5 Innri og ytri speglnun

Hugsum okkur nú stóran efnisklossa sem við kljúfum í tvo hluta, og færum hlutana hvorn frá öðrum. Sendum ljósgeisla þvert á sárið. Geislinn skynjar ósamfellu í rafsvörun þegar hann fer út úr fyrri bítinum og aftur þegar hann fer inn í seinni bítinn. Rafsvörun klossans er kröftugri en loftsins í kring $\iff n_{klossi} > n_{loft}$.



r_i er sviðsspeglunarstuðull fyrir innri speglnun.

r_y er sviðsspeglunarstuðull fyrir ytri speglnun.

Ósamfellurnar framkalla speglaða geisla. Látum bítana renna saman aftur svo ósamfellurnar hverfi og þar með líka speglaðu geislarnir tveir. Þetta getur aðeins orðið ef þeir víxlverka eyðandi, þ.e. hafa 180° fasamun. $\implies r_i = r_y e^{i180^\circ} = -r_y$

1.6 Tíðniháður brotstuðull

Kraftverkun á rafeindir atoms í ytra rafsviði lýsum við með

$$F = m\ddot{x} = eE - kx \quad (1)$$

þar sem síðasti liðurinn hægra megin lýsir parabolumætti sem heldur atominu saman. Með ytra sviði á forminu $E = E_0 e^{i\omega t}$ fæst lausnin $x = x_0 e^{i\omega t}$ þar sem x_0 er lýst með

$$x_0 = \frac{e/k}{1 - (\omega/\omega_0)^2} E_0 \quad (2)$$

Með því að setja deyfiliðinn $-\gamma\dot{x}$ inn í hreyfijöfnuna (1) hverfur póllinn við eigintíðnina $\omega_0 = \sqrt{k/m}$ og lausnin verður raunhæfari.

$$x_0 = \frac{e/k}{1 - (\omega/\omega_0)^2 + i\omega\gamma/k} E_0 \quad (3)$$

Skautun efnisins er lýst með $P_0 = ex_0\rho$, þar sem ρ er fjöldapéttleiki atoma. Brotstuðullinn n og rafsvörunarstuðullinn ϵ tengjast þessum stærðum með

$$n^2 = \epsilon/\epsilon_0 = \left(1 + \frac{P_0}{\epsilon_0 E_0}\right) \quad (4)$$

Í efnum sem eru gegnsæ á sýnilega sviðinu liggur ω_0 á útbláa sviðinu. Brotstuðull þeirra fer því vaxandi með hækkandi tíðni samanber niðurstöður úr tilrauninni “Brotstuðull og ljóshraði” í Eðlisfræði 2.

1.7 Samantekt

Með einfaldri klassiskri mynd af skautun atoms í ytra rafsegulsviði og eftirfylgjandi tvíþólsgeislun höfum við náð að skýra eða tengja saman fjöldan allan af ljósfyrirbærum. Þar á meðal eru:

- himinbláminn, sólroðinn og skautunareiginleikar ljóss frá himni
- tengsl Rayleigh dreifingar við tíðni, þéttleika og þéttleikamisfellur
- tengsl ljóshraða í efni við Rayleigh dreifingu
- tengsl speglunar og ljósbrots við Rayleigh dreifingu
- hegðun brotstuðuls með tíðni