

Fakulteta za elektrotehniko Univerze v Ljubljani
Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo
Izbirni predmet - 10142

Svetlobna tehnika

Fizikalne osnove svetlobe

predavatelj
prof. dr. Grega Bizjak, u.d.i.e.

Svetloba



Svetloba - skrivnostna in fascinantna spremljevalka človekove zgodovine

Kako deluje vid?



Svetloba in vid

Dva pojma, ki
sta danes
neločljivo
povezana.
Vendar ni bilo
vedno tako.

Stari Grki



Stari Grki so veliko razmišljali o vidu in razvili nekaj zanimivih teorij.

“Tipalna teorija”

Evklid in **Ptolomej** ter njuni učenci verjamejo, da iz oči izhajajo posebni žarki, ki “otipavajo” predmete.

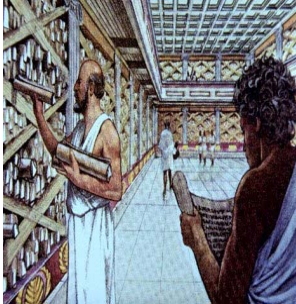


“Sevalna” teorija

Druga teorija, ki jo zagovarjata **Aristotel** in **Galen** uči, da predmeti v naši okolici sevajo delce in ko ti prispejo v naše oči te predmete vidimo.



Arabski svet



Ob prelomu
prvega
tisočletja je
največ znanja
nakopičenega v
Egiptu, ki je
takrat že
arabski.

Vid je povezan s svetlobo

Alhazen (Abu-'Ali Al-Hasan ibn Al-Hasan ibn Al-Haytham)
arabsko: أبو علي الحسن بن الحسن بن الهيثم. V knjigi o optiki (Kitab al-Manazir, De Aspectibus, 1021) poveže svetlobo in vidzaradi dejstva, da nas, če pogledamo v sonce, v očeh zaboli. Vid je od takrat neločljivo povezan s svetlobo.



Zahodni svet 17. stoletja



V 17. stoletju se
ne sprašujejo
več
"Kako vidimo?"
temveč že
"Kaj je svetloba?"

Teorija delcev



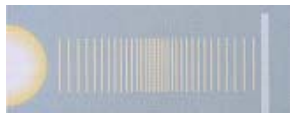
Sir Isaac Newton na podlagi Gassendijevega dela 1637 postavi teorijo delcev, po kateri je svetloba sestavljena iz toka delcev.



Valovna teorija

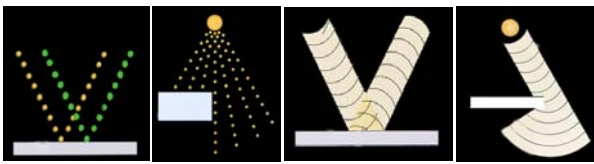


Christiaan Huygens oporeka Newtonu in 1690 objavi valovno teorijo, po kateri je svetloba valovanje. Pred njim je svetlobo kot valovanje opisal že Hooke 1660.



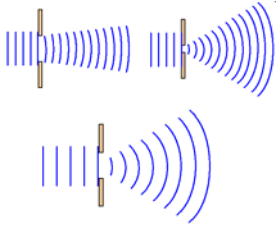
Valovanje ali tok delcev

Obe "stranki v postopku" najdeta obilo dokazov v prid svoje teorije in v škodo nasprotnikove teorije.



Če bi svetloba bila valovanje...

...bi se morala širiti tudi za oviro, tako kot valovi na vodi.
Ker pa poznamo senco, temu ni tako.



Danes vemo, da se svetloba uklanja (širi za oviro), vendar je ta uklon razmeroma majhen, zato ga Newton ni opazil.

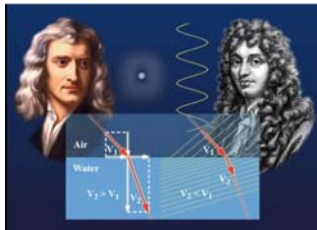
Če bi svetloba bila tok delcev...

...bi morala dva curka svetlobe, ki se križata, medsebojno delovati druga na drugega, tako kot dva curka vode.



Radiometer meri energijo, ki jo s seboj nosijo delci svetlobe. Več je svetlobe, hitreje se vrti.

Kdo ima prav?



Kdo je imel prav, še danes ne vemo čisto natančno. Je pa res, da je imela teorija delcev predvsem zaradi slavnjšega "očeta" v 17. stoletju precej več privržencev kot teorija valovanja, ki je do leta 1800 skoraj niso omenjali.

Elektromagnetno valovanje

Škotski matematik **James Maxwell** leta 1862
združi

elektriko, magnetizem

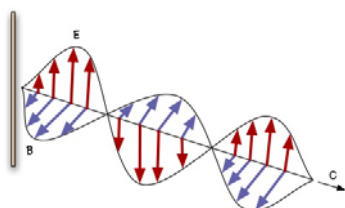
in svetlobo v eno:

**Elektromagnetno
valovanje**

in s tem zabije žebelj
v krsto teorije
o delcih.



Svetloba kot del EM valovanja

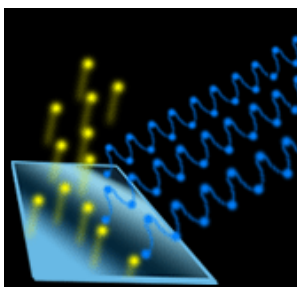


Teorija

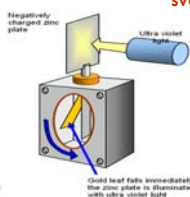
elektromagnetnega valovanja

pojasni skoraj vse lastnosti svetlobe.

Svetloba kot del EM valovanja

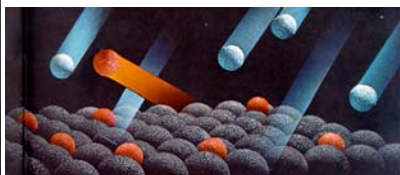


Nekaj poskusov pa vseeno
kaže, da ni vse v redu. Eden
od teh je fotoelektrični
učinek (Heinrich Hertz).
Težave pa so tudi s hitrostjo
svetlobe.



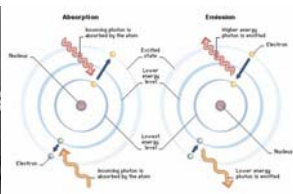
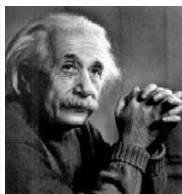
Kvantna teorija svetlobe

Po odkritju Heinricha Hertza, da svetloba lahko izbija elektrone, **Max Planck** postavi novo teorijo svetlobe: **Kvantno teorijo.**



Končno!

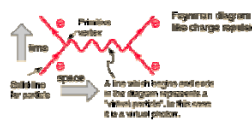
S pomočjo Planckove kvantne teorije **Albert Einstein** razloži še fotoelektrični efekt in tako konča zadevo.



Einstein delec svetlobe poimenuje **foton**.

Kvantna elektrodinamika

Od Einsteina naprej govorimo o dualnosti delcev, kjer ima vsak delec tudi določene valovne lastnosti. V nadaljnjem razvoju je to razmišljanje privedlo do kvantne elektrodinamike.



RELATIVISTIC QUANTUM ELECTRODYNAMICS

Re + i Im = 0

Re: $\square = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{1}{\square} \right)$ (1a)

Im: $\square = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{1}{\square} \right)$ (1b)

Re: $\square = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{1}{\square} \right)$ (1c)

Im: $\square = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{1}{\square} \right)$ (1d)

Re: $\square = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{1}{\square} \right)$ (1e)

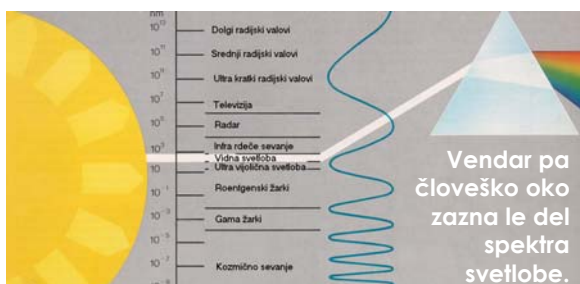
Im: $\square = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} = \square - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \left(\frac{1}{\square} \right)$ (1f)

Svetloba kot del EM spektra

Če svetlobo obravnavamo kot del elektromagnetnega spektra, se nahaja med mikrovalovi in rentgenskimi žarki.



Svetloba kot del EM spektra

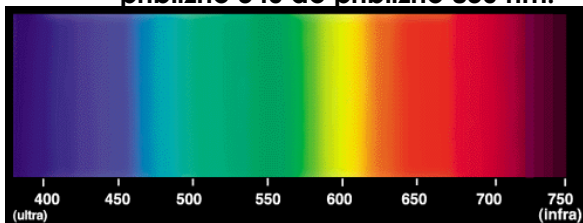


Svetloba kot del EM spektra



Svetloba kot del EM spektra

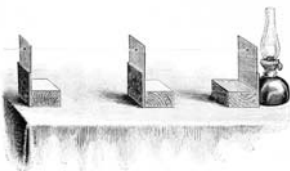
Vidna svetloba zajema področje od približno 340 do približno 830 nm.



Pojavi ob širjenju svetlobe

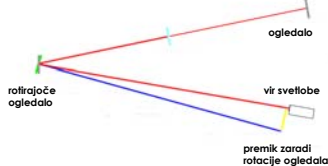
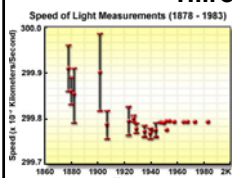
Karkoli svetloba že je, dejstvo je, da lahko ob njenem širjenju po prostoru opazujemo zanimive pojave kot so:

lom, zrcalni in totalni odboj, razklon, vpijanje, razprševanje, odsevanje, presevanje, interferenca, uklon in polarizacija.



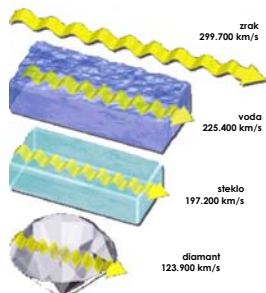
Hitrost svetlobe

Hitrost svetlobe v vakuumu je **299.792.458 m/s**



Foucaultova naprava za merjenje hitrosti svetlobe (1862): 298.000 km/s.

Hitrost svetlobe



V različnih medijih
se svetloba širi
različno hitro.

Razmerje med
hitrostjo svetlobe
v vakuumu in
mediju podaja
lomni količnik.

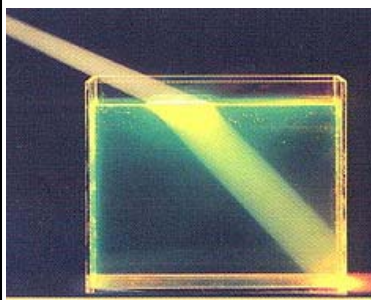
Lomni količnik

$$n = \frac{c}{v}$$

c ... hitrost svetlobe v vakuumu
 v ... hitrost svetlobe v mediju

Zrak	1,0003
Voda	1,33
Glicerin	1,47
Olje	1,515
Steklo	1,52
Kremen	1,66
Cirkonijev silikat	1,92
Diamant	2,42
Svinčev sulfid	3,91

Lom svetlobe

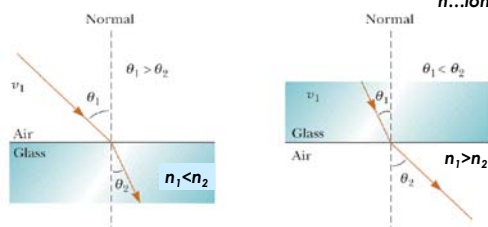


Pri prehodu
svetlobe med
dvema optično
različno
gostima
snovema se
svetloba lomi.

Lom svetlobe

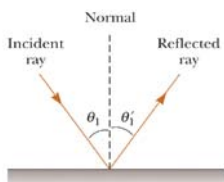
$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2$$

n...lomni količnik



Zrcalni odboj svetlobe

Svetloba se odbija od zglajenih površin z večjo optično gostoto.

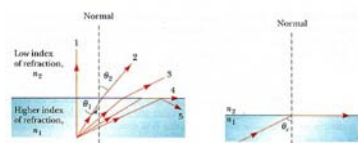


vpadni in
odbojni kot
sta enaka

Totalni odboj svetlobe

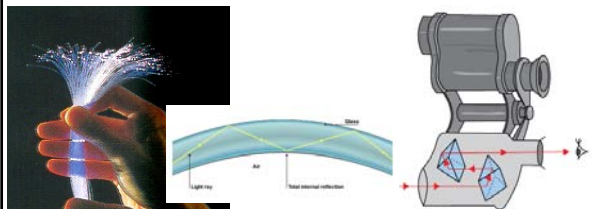


Pri prehodu svetlobe iz optično gostejše v optično redkejšo snov se svetloba lomi, vendar le do določenega kota. Nato pa pride do **totalnega odboja**.



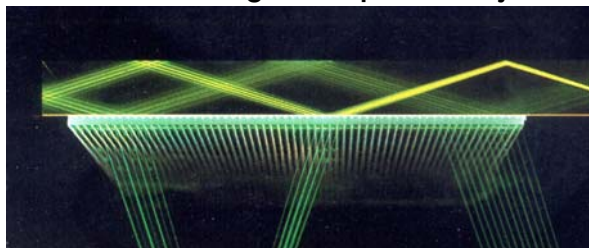
Totalni odboj

Totalni odboj s pridom uporabljamo na več področjih.



Totalni odboj

Med drugim tudi pri razsvetljavi.



ELDACon tehnologija (Silteco)

Razklon svetlobe

Ker ima svetloba različnih valovnih dolžin različne lomne količnike, pride do razklona svetlobe.



Vpijanje svetlobe



Med prehajanjem svetlobe skozi snov, se del energije svetlobe "izgubi".

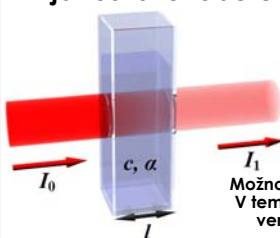
Snov svetlobo vpije.

Ta energija se se lahko pretvori v:

- toploto
- sevanje z drugo valovno dolžino
- električno energijo
- kemično energijo

Vpijanje svetlobe

Pri prehodu skozi homogeno snov jakost svetlobe eksponencialno pada.



$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot l}$$

I_0 ... začetna jakost

α ... vpojni faktor ($f(\lambda)$)

l ... dolžina poti

Možno je, da ima α negativno vrednost.
V tem primeru se svetloba ojači (laser),
vendar je potrebno dovesti energijo.

Razprševanje svetlobe



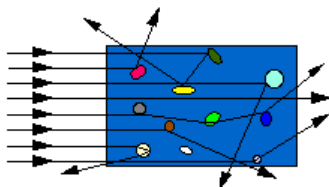
Pri prehodu skozi snov se svetloba lahko razprši. Pri tem lahko dodatno pride še do razklona.

Do razprševanja pride v nehomogenih snoveh zaradi številnih odbojev in lomov svetlobe.

Primer: vodne kaplice v megli.

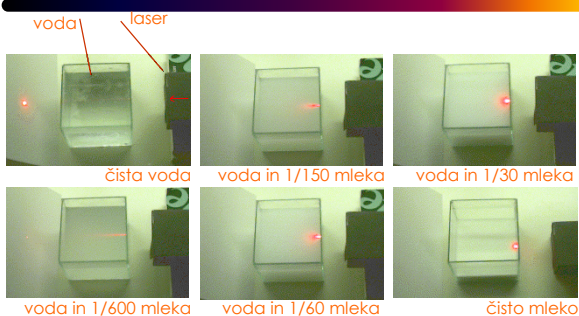
Razpršeno presevanje svetlobe

Do razprševanja svetlobe pride pri prehodu svetlobe skozi nehomogeno snov.



Skozi tako snov
ne moremo
videti slike
predmeta.

Razpršeno presevanje svetlobe

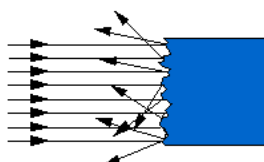


Razpršeno presevanje svetlobe



Razpršeno odsevanje svetlobe

Če je površina predmeta, od katerega svetloba odseva, nehomogena, pride do razpršenega odsevanja.

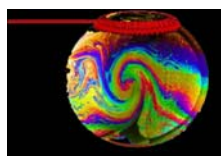


Na taki površini
ne dobimo
zrcalne slike
predmeta.

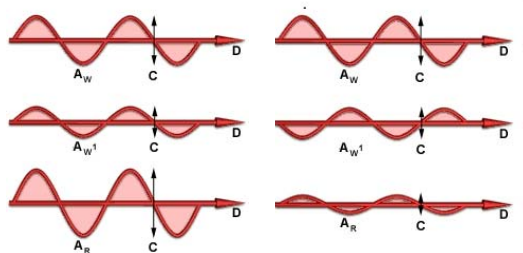
Interferenca svetlobe



Pri dveh koherentnih valovanjih svetlobe pride do interference: seštevjanja in odštevanja valov oziroma ojačitve in oslabitve svetlobe.



Interferenca svetlobe

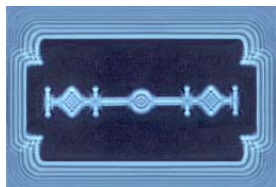


Konstruktivna interferenca - seštevjanje Destruktivna interferenca - odštevanje

Uklon svetlobe

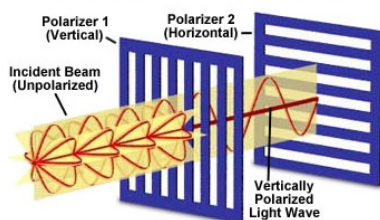


Svetloba se, podobno kot valovanje, uklanja ob robu ovire.



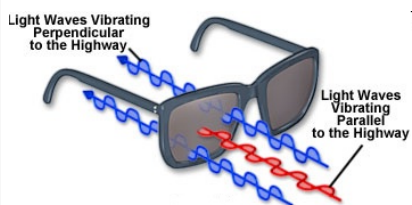
Polarizacija svetlobe

Svetloba se lahko ob prehodu skozi snov ali pri odboju od snovi polarizira.



Polarizirana svetloba niha samo v eni smeri.

Polarizacija svetlobe



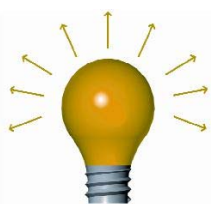
Od ceste odbita svetloba je polarizirana v horizontalni (s cesto vzporedni) smeri, zato ne pride skozi polarizacijska stekla sončnih očal (bleščanje je tako zmanjšano).

Merjenje svetlobe



Fiziki, ki ponavadi želijo vse izmeriti, so za merjenje svetlobe (in drugih elektromagnetnih valovanj) postavili **RADIOMETRIJO**.

Energija in moč, ki jo oddaja vir

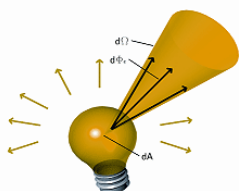


Vir s sevanjem oddaja energijo in moč.

Govorimo o **sevalnem toku ali fluksu (radiant flux)**, ki predstavlja energijo, ki jo vir izseva v enoti časa.

Φ_e sevalni tok (W)

Jakost sevanja



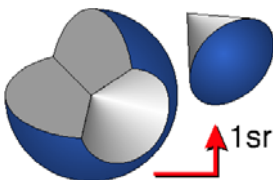
Če vir ne seva energije v vse smeri enakomerno, lahko govorimo o **jakosti sevanja (radiant intensity)**.

Jakost sevanja je definirana s pomočjo sevalnega toka v enoti prostorskega kota.

I_e jakost sevanja (W/sr) $I_e = \frac{\phi_e}{\omega}$

Prostorski kot

$$\omega = \frac{A}{r^2}$$

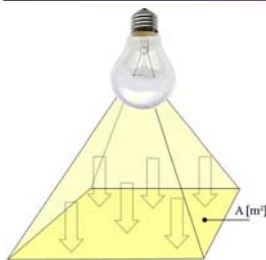


Prostorski kot je definiran kot razmerje med površino krogelnega izseka in polmerom krogle.

Enota je steradian (sr).

Podobno je definiran tudi ravninski kot: kot razmerje med krožnim lokom in polmerom kroga. Enota je radian (rd).

Obsevanost

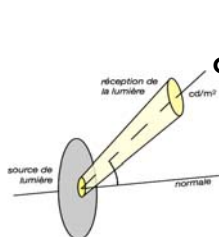


Obsevanost (irradiance) je merilo za količino sevalnega toka, ki pada na neko ploskev oziroma ploskovno gostoto sevalnega toka.

$$E_e = \frac{\phi_e}{A}$$

E_e obsevanost (W/m^2)

Sevalnost



S sevalnostjo (radiance) označimo jakost sevanja določene ploskve pod določenim kotom.

$$L_e = \frac{I_e}{A \cdot \cos \theta}$$

L_e sevalnost (W/sr m^2)

Za konec

- Svetloba se obnaša včasih kot valovanje včasih pa kot tok delcev.
- Svetloba je elektromagnetno valovanje z lastnostmi valovanja in toka delcev.
- Vidna svetloba zajema valovne dolžine od približno 340 nm do približno 830 nm (odvisno od posameznika).
 - S fizikalnim merjenjem svetlobe se ukvarja radiometrija.

... in še:

Vprašanja?
