

## **Foton**

**Kvantne zakonitosti omogočajo energijskim  
vozlom ustvarjanje stabilnih snovnih oblik v  
snovnih delčkih. Foton pa je nam predstavlja  
primer kvantnega pojava.**

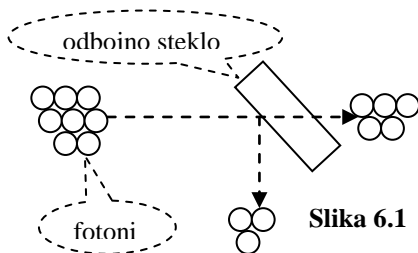
Svetloba je elektromagnetno (EM) valovanje. Ustvarja jo medsebojno pretakanje električnega in magnetnega polja po prostoru, kot to prikazuje Slika 5.1 v poglavju Snov.

### **Planck in energijski kvanti**

Planck je meril energijo fotona (delčka svetlobe) tako, da je s pomočjo svetlobe izbijal elektron iz atomske lupine. Izmeril je, da je učinkovitost svetlobe pri izbijanju elektronov iz atomske lupine odvisna le od barve svetlobe, ne pa od svetlosti žarka.

Na atom je posvetil s svetlobo nizke frekvence in svetloba ni izbila elektron iz atomske lupine. Nato je povečal svetlost žarka, ni pa spreminjal frekvence svetlobe. Ne glede na višji nivo svetlosti, svetloba elektrona ni izbila iz atomske lupine.

Planck je ugotovil, da svetlost žarka ne vpliva na sposobnost izbijanja elektronov. Zgolj višanje frekvence oziroma sprememba barve svetlobe je tista, ki lahko izbije elektron iz atomske lupine. Posledično tudi oddaljenost svetila ne vpliva na sposobnost izbijanja elektronov iz atomske lupine. Svetloba je enako učinkovita pri izbijanju elektronov, če se izvor svetlobe nahaja na Zemlji ali pa milijone svetlobnih let daleč v vesolju.



Celo več, če neko koherentno verigo EM valov na pol propustnem ogledalu razcepim na dvoje, kot kaže Slika 6.1, bodo posamezni odbiti fotoni imeli enako energijo pred razcepom, kot tudi po razcepu.

Opažamo, da se del fotonov energijsko neokrnjenih odbije v eno smer, drug del pa v drugo smer.

Če na pol propustno ogledalo pošljemo le dva fotona tako, da se bosta odbila vsak v svojo smer, bo vsak od njiju imel enak vpliv na izbijanje elektronov iz atomske lupine, kot pred odbojem na polprepustnem ogledalu. Sprašujem se torej kaj fotonom izbrane frekvence zagotavljajo vedno enako energijo.

## Energijski kvant

Kvantne lastnosti svetlobe, ki zagotavljajo vnaprej določene oblike nihanj in valovanj in ki jih je raziskoval Planck, se ne pojavljajo le pri svetlobi. Atomska jedra ustvarjajo vase zavozlana nihanja in valovanja, ki morajo imeti kvantne lastnosti, če naj ta valovanja ustvarjajo stabilne snovne oblike kvarkov drugih snovnih tvorb.

### **Kvantne lastnosti so temelj obstoja snovi.**

Vsaka oblika nihanj energijskih polj ni primerna za ustvarjanje atomskih jeder. V snovi vsebovana nihanja morajo nujno imeti kvantne lastnosti.

Ko opazujem na primer nihajočo utež, opazim da sčasoma niha vse bolj umirjeno. Na koncu se ustavi. Utež ponovno zaniha, ko jo sunem. Takšna nihanja uteži so lahko pestra, predvsem pa zelo odvisna od zunanjih okoliščin.

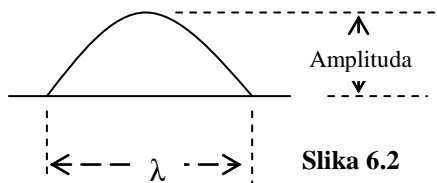
Če bi bila nihanja in valovanja znotraj atomskih jeder in elektronov okrog atomskega jedra tako zelo odvisna od zunanjih okoliščin, ne bi bila sposobna ustvarjati stabilne snovi.

Tako kot snov tudi svetloba rabi kvantne lastnosti. Če svetloba ne bi imela kvantnih lastnosti, bi se svetlobni žarki posušili in iznihali že daleč v vesolju in nam ne bi prinašali slik oddaljenega vesolja.

**Kvantne lastnosti temeljijo na težnji narave k minimalnemu energijskemu stanju.**

V poglavju o Energiji je pojasnjeno, da fizikalne lastnosti pogosto izhajajo iz težnje narave k minimalnemu energijskemu stanju. Vodni val na primer teži k čim manjši amplitudi, dokler se ne izniha.

Pri nihanjih in valovanjih visokih frekvenc, ki ustvarjajo osnovne snovne delčke, pa tudi pri svetlobi pa opazamo, da narava ne teži k čim manjši amplitudi valovanja, ampak k izbrani kvantni energiji vala, kjer je amplituda valovanja v določenem razmerju z valovno dolžino. Slika 6.2 prikazuje primer takega vala.



Slika 6.2

Predvsem kadar gre za valovanja kratkih valovnih dolžin razreda mikrometrov in manj, takrat val skuša zavzeti neko valovni dolžini pripadajočo amplitudo.

**Dežne kaplje**

Razumevanje pripadnosti določene energije valovanja posamezni valovni dolžini, to je razumevanju kvantne energije valovanja, si v nadaljevanju skušam ilustrirati na izposojenem pojavu. Sposodim si ga iz področja, ki ne spada v področje kvantne fizike. Privzamem pa si ga predvsem kot osnovo za vzpostavitev razumljivega miselnega modela o kvantnem dogajanju.

Ko opazujem po zraku padajoče dežne kaplje, opazim, da je hitrost padanja vsake kaplje v izbranih klimatskih pogojih odvisna le od velikosti kaplje. Velike in težke kaplje padajo hitreje, majhne

kapljice pa počasneje. Hitrost padanja dežne kaplje lahko izrazim takole:

*Hitrost padanja kaplje je funkcija velikosti kaplje.*

Opazujem lahko milijarde kapelj in vse bodo praviloma padale skladno z opisano zakonitostjo.

Velikost dežne kaplje in njena hitrost sta si v določenem razmerju, podobno, kot sta si v razmerju valovna dolžina EM vala in njegova optimalna energija in kot je to razmerje matematično pojasnjeno v nadaljevanju.

Vodna kaplja določenega volumna si vsakič izbori optimalno hitrost padanja. Kadar se kaplja ne giblje z njej pripadajočo hitrostjo, se skuša čim hitreje približati njej optimalni hitrosti, na osnovi težnje narave k minimalnemu energijskemu stanju.

#### **Izjeme potrjujejo pravilo**

Četudi med milijardami kapelj ne opazimo nobene, ki bi kršila opisano zakonitost, oziroma četudi sploh nikoli ne bi opazili kaplje, ki bi potovala drugače od opisane zakonitosti, bi bilo še vedno neupravičeno trditi, da kaplja vsaj izjemoma ne more imeti drugačne hitrosti.

Kadar se kaplja razbije na veji drevesa, majhne kapljice iz mesta trka odletijo s hitrostjo, ki ni sklana s prej opisano zakonitostjo. Šele po nekaj centimetrih potovanja kapljic od mesta odboja kapljice ponovno preidejo v njim optimalno energijsko stanje.

Kaplja si torej vsakič kar najhitreje izbori svoji velikosti pripadajočo hitrost padanja. V prenesenem pomenu, kaplji pripada 'kvantna' kinetična energija, ki izhaja iz velikosti kaplje optimalni hitrosti.

Na podoben način moram razumeti tudi energijo EM vala svetlobe oziroma fotona in tudi druga podobna valovanja majhnih razsežnosti.

#### **Energijski diskurzi fotonov**

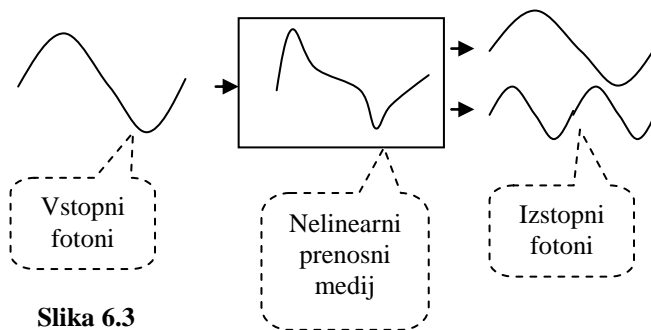
Tudi pri fotonih opazamo vedno enako energijsko stanje, podobno kot pri deževnih kapljah. Čeprav v naravi opazamo le fotone točno določenih energij, pa ima fizika možnost eksperimentiranja tudi s

fotoni drugačnih energij. Fotoni drugačnih energij so redki in neobstojni, zato jih moramo umetno ustvariti.

EM val lahko zmotimo v njegovem optimalnem energijskem stanju tako, da ga pošljemo skozi nelinearno električno polje, na primer tako, da koherentno svetlobo usmerimo skozi nelinearne optične medije, kot to opisuje W. Lauterborn, T.Kurz v v knjigi *Coherent Optics* (2003)

Opazimo, da na izhodu iz takega nelinearnega polja ne dobimo le svetlobe tiste frekvence, kot smo jo usmerili v nelinearni medij, ampak izidejo tudi višje harmonske frekvence svetlobe. Večja pestrost frekvenc svetlobe pa pomenijo pojav fotonov drugih energij.

Opisan in na sliki 6.3 prikazan pojav so prvič izmerili že leta 1963 in s tem eksperimentalno pokazali razgradnjo EM vala na višje harmonske frekvence. Ob tem pa se pojavi zahteva po prerazporeditvi energij med temi fotoni. Energija vstopnih fotonov se prerazporedi na izstopne fotone.



**Slika 6.3**

Takšen energijsko spremenjen EM val na poti skozi nelinearni medij v fazi preoblikovanja valov in tudi takoj na izhodu iz medija praviloma ni v kvantnem energijskem stanju. Kot tak ni obstojen. Ko izide iz nelinearnega medija se kar najhitreje skuša preoblikovati v optimalni energijsko stanje po vzoru opisanih dežnih kapelj.

### **Energijska deformacija elektron v krožnici**

Začasno energijsko odstopanje valovanja od kvantne energije se lahko dogodi tudi v kvarkih v atomskih jedrih in tudi elektronih, ki krožijo okrog atomskega jedra.

Kvantna energija valovanja omogoča, da elektroni ne padejo na atomsko jedro in da se atomska jedra ne sesedajo sama vase.

Po drugi strani si preskakovanje elektrona med orbitami okrog atomskega jedra smemo predstavljati kot hiter vendar zvezen energijski prehod med dvema kvantnima stanjema.

Kadar se elektron zaradi zunanjih vplivov znajde med dvema krožnicama, se zaradi težnje vračanja h kvantnemu energijskemu stanju čim hitreje skuša umesti v optimalno krožnico, kjer njegova energija ponovno sovpada z optimalno kvantno energijo.

### **Splošen in poenostavljen model fotona vidne svetlobe.**

Foton določene frekvence teži k vnaprej določeni energiji, zato si zanj lahko omislimo nek enostaven in razumljiv model fotona. Fotoni, ki energijsko odstopajo so redki in neobstojni in jih v tem poenostavljenem miselnem modelu lahko zanemarim.

Fotone si v poenostavljenem modelu lahko zamislimo kot vedno enake energijske kvante EM valovanja. Še več, ni nam treba upoštevati niti prostorskih lastnosti fotonov. Fotone si torej lahko predstavljam kot energijske točke brez prostorskih dimenzij.

Vendar pa na tako poenostavljen kvantni model fotonov ne smemo gledati naivno in izključevati možnost, da se v izjemnih primerih vsaj za kratek čas lahko energija fotona tudi spremeni.

Poenostavljen kvantni pogled predvsem olajša razumevanje lastnosti svetlobe za splošno rabo. Kadar pa želimo v celoti razumeti lastnosti svetlobe, pa poenostavljen kvantni model fotona ni zadosten. Celovito razumevanje fotona zahteva upoštevanje vseh lastnosti svetlobe, tudi energijska stanja prehodov med kvantnimi stanji.

## Energija EM vala

V nadaljevanju skušam primerjati energijo enega fotona z energijo enega EM vala svetlobe. Energijo fotona primerjam z energijo električnega in magnetnega polja v enem nihaju EM valovanja.

Domžalski srednje valovni oddajnik oddaja EM moč v razredu 100 kW pri frekvenci približno 1 MHz. Ker oddajnik v eni sekundi odda približno milijon EM valov, pomeni, da je energija enega EM vala v razredu 0,1 Joula.

Po drugi strani je energija fotona po Planckovem zakonu pri frekvenci 1 Mhz  $6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 10^6 = 6,6 \cdot 10^{-28}$  Joule

En EM val domžalskega oddajnika lahko vsebuje torej do  $10^{27}$  'fotonov'. V enem EM valu nastopa torej veliko število fotonov, podobno kot v enem kamnu obstoja veliko število molekul.

### **Fotoni ne sodelujejo pri izbujanju elektrona**

Tu pa se pojavi vprašanje, zakaj ti fotoni znotraj EM vala med seboj ne sodelujejo in ne delujejo povezano ko zadenejo v oviro, podobno kot sodelujejo molekule kamna.

Če vržem kamen v steklo, pri razbujanju stekla s svojo maso sodelujejo vse molekule kamna. Če svetloba zadene v oviro, pa fotoni po Plancku delujejo nepovezano. Če en foton ne more zbiti elektrona iz atomske lupine, mu pri tem sosednji fotoni ne pomagajo.

### **Fotoni zelo visokih frekvenc**

Gornji primer kaže razmerje med energijo fotona v primerjavi z EM valom nizkih frekvenc. V nadaljevanju se ozrem še na energijski dogajanje pri zelo visokih frekvencah, frekvencah ki krepko presegajo vidno svetlobo.

Foton vidne svetlobe praviloma vsebuje le toliko energije, da lahko izbije elektrone le iz zadnjih atomskih lupin nekaterih elementov. Elektroni na zadnjih lupinah nekaterih elementov so namreč šibko vezani na atom in ne potrebujejo velikih energij za zbitje iz lupine.

Vidna svetloba ima frekvenco v razredu  $10^{15}$  Hz. V naravi pa opazamo tudi mnogo večje frekvence EM valovanja, ki dosežejo do

$10^{20}$  Hz in več. Fotoni takih frekvenc bi morali po Planckovem zakonu imeti milijon krat več energije, kot fotoni vidne svetlobe.

To pa so tako velike energije, da bi lahko izbili elektrone tudi iz katere koli atomske lupine. Ko bi foton visoke frekvence in s tem visoke energije na spodnji lupini izbil elektron, bi ga kar najhitreje zapolnil elektron iz sosednje višje lupine. Elektroni bi nazaj na spodnje izpraznjene lupine padali postopno oziroma kaskadno, iz lupine na lupino.

Ko bi fotoni visokih frekvenc in po Plancku tudi visokih energij obsijali neko snov, bi taka obsijana snov morala zasvetiti. Fotoni bi iz atomskih lupin masovno izbijali elektrone, ki bi sproti padali nazaj in pri tem oddajali svetlobo.

Ko bi na primer človeka obsijali z rentgenskimi žarki, bi moral osvetljeni del telesa zasvetiti kot žarnica, pa se to ne zgodi. Celo več, ko frekvence EM valovanja povečujemo v zelo visoke frekvence, so fotoni teh frekvenc dokaj neuspešni pri izbijanju elektrona iz atomske lupine, manj uspešni kot fotoni vidne svetlobe.

### **Področje veljavnosti Planckovega zakona**

Planckov zakon torej določa energijo fotona predvsem približno na področju vidne svetlobe. Na področju velikih frekvenc eksperimenti ne potrjujejo Planckovega zakona.

Ugotovitev, da Planckov zakon ni univerzalen za vse frekvence EM valovanja pa zahteva, da se poglobimo v raziskavo tako v lastnosti fotona, kot v samo Planckovo zakonitost.

Za začetek si torej skušam ustvariti predstavo o načinu kako EM val svetlobe izbije elektron iz atomske lupine. Ta predstava pa mi bo v nadaljevanju poglobila razumevanje fotona in Planckove zakonitosti.

## Elektron v prostranstvih EM vala.

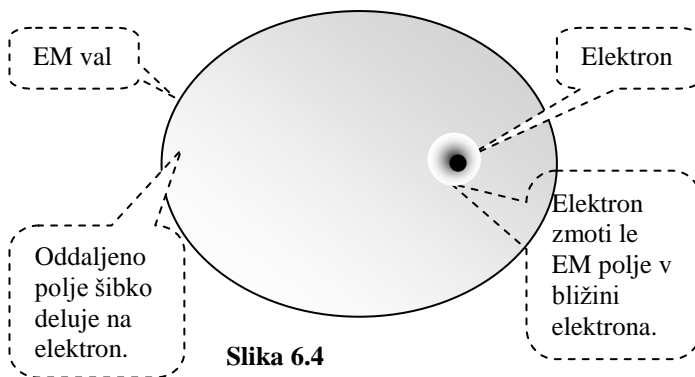
V izhodišču primerjam velikostni razred elektrona z velikostnim razredom EM vala svetlobe. Velikostni razred elektrona<sup>1</sup> je ocenjen na približno  $10^{-12}$  m. Velikostni razred EM vala vidne svetlobe (valovna dolžina) je v velikostnem razredu med  $10^{-7}$  do  $10^{-6}$  m.

Ugotavljam, da je EM val vidne svetlobe zelo velik v primerjavi z elektronom. EM val svetlobe je po premeru milijon krat večji od elektrona. Po volumnu je razlika med njima še mnogo večja.

Majhen 'elektronček' se tako rekoč 'izgubi' v velikem, po volumnu deset do dvajset razredov večjem EM valu svetlobe. Elektron se v EM valu 'počuti' podobno kot asteroid v osončju.

### Povezanost energij EM vala in elektrona

Tako svetlobni EM val kot tudi elektron v svoji okolici ustvarjata električno in magnetno polje. Polji elektrona in EM vala svetlobe ob preletu elektrona skozi EM val vplivata drugo na drugo.



Prostranost enega EM vala svetlobe v primerjavi z majhnim elektronom, elektronu ne onemogoča, da bi bil elektron v povezavi s celotnim EM poljem svetlobnega vala. Elektron čuti prisotnost le delčka EM vala, tistega delčka v katerem se trenutno nahaja.

<sup>1</sup> David L. Bergman: Shape & Size of Electron, Proton & Neutron – May 2004

Ko elektron potuje skozi 'prostranstva' EM vala svetlobe, prihaja do medsebojnega vpliva obeh polj na način, kot to prikazuje Slika 2.10 v poglavju *Energija*.

Električno polje elektrona zmoti EM val svetlobe, čemur se EM val svetlobe upira. EM val želi ohraniti svojo optimalno obliko EM polja, zato na 'vsiljivca' začne delovati s silo. EM val na elektron deluje v obliki sunka sile (F.t).

**Samo del energije EM vala svetlobe deluje na elektron s sunkom sile.**

Ko se elektron nahaja znotraj EM vala svetlobe, je elektronu bližnji del EM polja svetlobe v močnem stiku z elektronom, oddaljen del EM polja pa v šibkejšem stiku z elektronom. Oddaljen del polja EM vala nima večjega vpliva na elektron.

Radijski val domžalskega oddajnika je po energiji močan, vendar s sunkom sile le šibko deluje na elektron, ker je le neznamen del energije tega EM vala v stiku z elektronom.

Velika energija EM vala domžalskega oddajnika ne more izbiti elektrona iz atomske lupine, mnogo manjša energija EM vala vidne svetlobe pa lahko. To pa zato, ker na zbitje elektrona iz atomske lupine vpliva le tista energija EM vala, ki je lokacijsko zadosti blizu elektronu. Če je polje v elektronu bližnjem delu EM vala dovolj močno, lahko izbije elektron iz krožnice. Pri tem velikost in skupna energija EM vala nista odločilni.

**Sunek sile je sorazmeren s spremembo magnetnega polja**

Sila na elektron, ki se nahaja znotraj EM vala, je enaka produktu električne poljske jakosti svetlobnega EM vala na lokaciji elektrona in naboja elektrona ( $F=q.E$ )

Po Maxwellovih enačbah je električna poljska jakosti linearno proporcionalna hitrosti spremembe magnetne gostote (dB/dt), zato je sila, ki deluje na elektron v EM polju EM vala tudi premo sorazmerna hitrostjo spremembe magnetnega polja ( $F=k.dB/dt$ ).

Za zbitje elektrona iz atomske lupine morata biti izpolnjena dva pogoja:

- Sila EM polja, ki deluje na elektron, mora biti močnejša od privlačne sile atoma na elektron in
- Energija, ki jo elektronu preda sunek sile  $F \cdot t$ , mora biti večja od vezalne energije elektrona.

### **Planckov zakon**

V kakšnih okoliščinah foton lahko izbije elektron iz atomske lupine je ugotavljal Planck. Ugotovil je, da foton odda elektronu (v atomski lupini) energijo, ki je enaka produktu frekvence in Planckove konstante ( $E=f \cdot h$ ).

## **Kvantna energija EM vala**

Ker EM val svetlobe na elektron ne vpliva z vso svojo energijo, me zanima razmerje med energijo fotona in energijo enega EM vala svetlobe.

Energijo fotona določa Planckov zakon, zato me v nadaljevanju predvsem zanima energija enega EM vala svetlobe. Preveriti želim:

- Ali je kvantna tudi energija enega EM vala, kot to napoveduje Slika 6.2.
- Kakšno je razmerje med energijo fotona po Plancku in celotno energijo enega EM vala svetlobe?

Napravim miselno povezavo dveh zakonitosti:

- Planckovega zakona, ki ugotavlja linearno povezavo med frekvenco fotona in delom energije ( $E=f \cdot h$ ), ki jo EM val prenese na elektron ob izbujanju elektrona iz atomske lupine in
- zakonitostjo o delovanju sile na elektron, ki pravi, da v električnem polju na elektron deluje sila  $F=q \cdot E$  oziroma  $F=q \cdot dB/dt$ .

### **Magnetna gostota (B) EM valovanja**

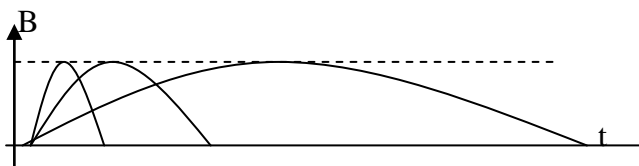
Če izpostavim, da:

- sposobnost zbitja elektrona po Plancku narašča linearno s frekvenco fotona in če

- sila na elektron narašča linearno z naklonom spremembe magnetnega polja  $dB/dt$ ,

lahko sklepam, da se sprememba magnetnega polja  $dB/dt$  pri prehodu magnetnega polja skozi ničlo, v primeru optimalne (kvantne) energije EM valovanja, povečuje linearno s frekvenco.

Na osnovi tega spoznanja lahko prepoznamo, da je amplituda magnetne gostote optimalnega oziroma kvantnega EM valovanja enaka za vse frekvence, kot kaže Slika 6.5 in kot je pojasnjeno v nadaljevanju.



Slika 6.5

Matematično utemeljitev diagrama na sliki 6.5 je naslednja: Magnetna gostota EM vala niha sinusno  $b=B.\sin(\omega t)$ . Odvod sinusne krivulje pri majhnih kotih je enak odvodu kota po času  $d(\sin(\omega t))/dt = d(\omega t)/dt = \omega$ . Sila 'F' na elektron je  $dB/dt = B.\omega$ .

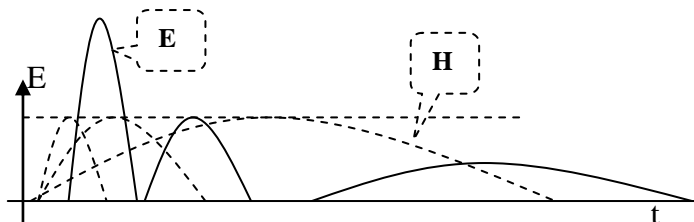
Sila na elektron se lahko povečuje linearno s frekvenco, kot to določa Planckov zakon le v primeru konstantne magnetne gostote kvantnega EM valovanja. Planckov zakon in matematična izpeljava torej kažeta na vedno enako amplitudo magnetne gostote optimalnega oziroma kvantnega EM valovanja pri vseh frekvencah valovanja.

Slika 6.5 prikazuje za različne frekvence valovanja in različne valovne dolžine enako amplitudo magnetne gostote valovanja v primeru optimalnega (kvantnega) svetlobnega valovanja.

### **Električno polje energijsko optimalnega EM valovanja**

Ob spoznanju, da kvantno valovanje teži k vedno enaki amplitudi magnetne gostote 'B', me zanima še amplituda električnega polja 'E' optimalnega kvantnega EM valovanja.

Električno polje EM valovanja je sorazmerno odvodu magnetne gostote po času  $db/dt$ . Odvod magnetne gostote z vedno enako amplitudo magnetne gostote po času je večji pri višjih frekvencah, kar pomeni velike amplitude električnih polj višjih frekvenc in nižje amplitude električnih polj nižjih frekvenc, kot to kaže Slika 6.6.



Slika 6.6

Slika 6.6 na desni strani diagrama kaže majhno amplitudo električne poljske jakosti ( $E$ ) energijsko optimalnega valovanja nižjih frekvenc. Na levi strani so prikazane vse večje amplitude električne poljske jakosti višjih frekvenc EM valovanj. Večje amplitude električne poljske jakosti so posledica hitrejših sprememb magnetne gostote višjih frekvenc energijsko optimalnega valovanja.

Pogoj zadostne sile, za zbitje elektrona iz atomske lupine, ki je večja od privlačne sile atomskega jedra ( $F=q.E$ ), torej omogočajo le višje frekvence, kot to ugotavlja tudi Plack.

### Vsiljena energijska stanja valovanj

Enaka amplituda magnetne gostote valovanj vseh frekvenc v nekem prostoru velja le za energijsko optimalna valovanja, to je valovanja s kvantno energijo. Vsako valovanje tako svetlobno kot tudi EM radijsko valovanje pa ima lahko tudi vsiljena energijsko obogatena ali energijsko osiromašena valovanja.

V primeru energijsko obogatene ali energijsko osiromašene valovanja, je amplituda magnetne gostote valovanja lahko večja ali manjša od amplitude magnetne gostote energijsko optimalnega valovanja.

### **Težnja narave k energijsko optimalnim valovanjem**

Na primeru opaženih lastnosti svetlobnega valovanja opazam, da energija EM valovanja teži k optimalni kvantni energiji.

V splošnem je kvantna energija EM valovanja tista energija pri določeni frekvenci,  $h$  kateri se EM valovanje skuša približati. Drugačne energije (amplitude) EM valovanja pa so valovanju vsiljene.

Po Maxwellovih zakonitostih je taka vsiljena energija EM valovanja možna, vendar se, ko so za to ustvarjeni pogoji, EM valovanje preuredi v optimalno energijo, to je kvantno energijsko stanje.

V primeru svetlobnega valovanja opazamo izrazito nagnjenje k kvantizaciji, saj tako rekoč ne opazamo EM valov, ki ne bi vsebovali kvantne energije. V primeru radijskih valov na osnovi opazovanj nimamo občutka, da bi radijski valovi imeli veliko težnjo po kvantizaciji.

Posledično moramo dopuščati različno stopnjo težnje EM valov po kvantizaciji, večjo v primeru višjih frekvenc, manjšo v primeru nižjih frekvenc. Zakonitost, ki bo določala težnjo narave k kvantizaciji valovanja mora znanost še izmeriti in raziskati.

### **Kvantna energija EM vala**

EM val na izbijanje elektrona iz atomske lupine deluje le z delom svoje energije, s takim delom, kot to določa Planckov zakon. Naša pozornost pa je še naprej usmerjena v presojo celotne količine energije v enem energijsko optimalnem EM kvantnem valu svetlobe.

Na osnovi Planckove zakonitosti ( $E=f \cdot h$ ) torej ne morem sklepati o celotni energiji EM valu. Lahko pa o celotni energiji optimalnega EM vala sklepam na osnovi ugotovitev, prikazanih na slikah 6.5 in 6.6 in sicer:

- Amplituda magnetne gostote ( $B$ ) optimalnega valovanja je konstantna pri vseh frekvencah in se ne spreminja.
- Amplituda optimalne električne poljske jakosti ( $E$ ) energijsko kvantnega valovanja ( $E$ ) se linearno povečuje s frekvenco.

- Valovna dolžina EM valovanja ( $\lambda$ ) se linearno zmanjšuje s frekvenco. Posledično smem oceniti, da se volumen EM vala zmanjšuje s tretjo potenco frekvence.

Energija EM vala je sorazmerna produktu električne poljske jakosti, magnetne gostote in volumna EM vala (E.B.V), zato lahko sklepam, da je energija energijsko optimalnega EM vala enaka  $W_0 = k_5 \cdot E \cdot B \cdot V$ , kjer je  $k_5$  neka konstanta  $W_0$  pa optimalna kvantna energija enega vala EM valovanja.

Vse tri spremenljivke so v primeru energijsko optimalnega kvantnega valovanja odvisne le od frekvence, zato lahko napravim prej opisane zamenjave:  $B = K_2$ ,  $E = K_3 \cdot f$ ,  $V = k_4 / f^3$ . Vstavitev v gornjo enačbo da rezultat:  **$W_0 = k/f^2$**

Enačba ponuja hipotezo, da se optimalna energija EM vala zmanjšuje z drugo potenco frekvence oziroma povečuje s kvadratom valovne dolžine.

#### **Tudi energijsko šibek EM val lahko izbije elektron iz atomske lupine.**

Ugotovitev o zmanjševanju kvantne energije EM vala s povečevanjem frekvence da slutiti, da se ob zadostnem povečanju frekvence dogodi, da EM val ne premore dovolj energije, kljub zadostno hitri spremembi  $dB/dt$ , za zbitje elektrona iz atomske lupine.

Fotoni zelo visokih frekvenc torej niso sposobni izbijati elektronov iz atomskih lupin. Pri fotonih zelo visokih frekvenc nas včasih zmoti njihovo delovanje na strukturo organskih celic. Ti fotoni res lahko povzročajo spremembe v teh celicah, vendar na osnovi teh sprememb ne moremo sklepati na energijo fotona. Le delovanje EM vala na elektron v atomskem jedru ali na ion je pravi kazalec energijskih vplivov.

#### **Foton in EM-kvant**

Lastnosti EM vala kažejo, da je foton po Plancku tisti del energije enega EM vala, ki je sposoben delovati na elektron. Kolikšen del EM valu deluje na elektron je, kot rečeno odvisno od geometrijske velikosti EM vala in od velikosti elektrona. Ion ima na primer

drugačno velikost od elektrona, zato EM val na ion deluje z drugačno silo, kot na elektron.

Pojem fotona je torej vezan izključno na delovanje med EM valom in elektronom. EM val z vrednostjo energije  $E=f \cdot h$ , deluje le na elektron, na ion pa zaradi drugačnih električnih in geometrijskih razmer med EM valom in ionom z drugo energijo.

Lažje kot foton si torej predstavljamo kvantno energijo enega EM vala v celoti, to je elektromagnetno energijo, ki jo vsebuje en kvantni EM val na svoji valovni dolžini in znaša  $E=hf$ .

Tu pa naletimo na problem poimenovanja. Za celotno kvantno energijo enega EM vala nimamo pojma, s katero bi to energijo poimenovali.

Problem rešim tako, da za celotno kvantno energijo enega EM vala v nadaljevanju uporabim kar opisno ima, dokler se ne pojavi neko ime, ki bo določalo kvantno energijo celotnega EM vala.

Pojem:

- **Foton** je tradicionalno ime za kvantno energijo fotona po Planckovem zakonu. To je tista energija energijsko optimalnega EM vala, ki se lahko povezuje z elektronom.
- **EM val** je tradicionalno ime enega EM vala, ne glede na energijo EM vala.
- **EM-kvant** naj predstavlja energijske lastnosti enega EM vala, kadar je EM val v optimalnem (kvantnem) energijskem stanju.

## **EM-valovi se povezujejo v grozde.**

Ni nujno, da EM val deluje le na elektron ali ion. EM valovi lahko vplivajo tudi medsebojno drug na drugega, o čemer razmišljam v nadaljevanju.

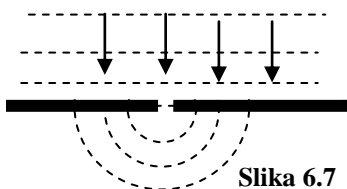
Kadar raziskujem kako EM valovi delujejo drug na drugega je odvečno in celo moteče razmišljanje o fotonu oziroma o tem, kako

EM val deluje na elektron. Zakonitosti medsebojnega delovanja med EM valovi so drugačne od delovanja EM vala na elektron.

V primeru raziskovanja medsebojnih vplivov med posameznimi EM valovi svetlobe razmišljam o medsebojnem delovanju celih EM valov. Tisti del vala, to je foton, s katerim EM val vpliva na elektron, za raziskovanje povezovanja med EM valovi ni odločilen.

### Oblike valovanj

V naravi opažamo da se valovanja ali nihanja lahko pojavljajo v eni prostorski razsežnosti, v dveh ali v treh prostorskih razsežnostih.



Slika 6.7

V primeru vodnega valovanja na Sliki 6.7 se valovi širijo v smeri gibanja valov. V prečni smeri, to je v smeri vodnega grebena, ne opažam niti valovanja niti nihanja. V prečni smeri, glede na smer valovanja, opažam po vsej dolžini enako višino vodnega

grebena.

Vodni greben se, kadar je to možno, skuša čim bolj razširiti levo in desno. Pred režo na Sliki 6.7 se vodni greben ne more razširjati levo in desno, ker mu to preprečuje nivo vode v grebenu vodnega valu na levi in desni. Ko pa vodni val pride na primer skozi režo, pa dobi možnost razširjanja vodnega grebena v polkrogu, kot to prikazuje Slika 6.7.

### Ohranjanje energije EM vala kaže na njegovo prostorsko zaokroženost.

Podoben poskus napravim z EM valom oziroma novo pojmovanim EM-kvantom. Meritve kažejo, da je EM-kvant ob gibanju skozi prazen prostor energijsko in volumnsko zaokrožen in se ne razširja, podobno kot se razširja in podaljšuje greben vodnega valu.

Youngov eksperiment, ki ga je Thomas Young izvedel v začetku devetnajstega stoletja kaže, da EM val pri potovanju skozi prostor ne spreminja svoje prostorske oblike. EM val oziroma EM-kvant skozi

prostor potuje kot prostorsko zaokrožena energijska tvorba, podobno kot hiter delec.



Ko je Young spustil svetlobo skozi ozko pokončno režo, je na zaslonu za režo opazil ozek snop svetlobe, kot ga prikazuje Slika 6.8.

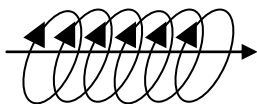
**Slika 6.8**

EM-kvanti praviloma skozi režo potujejo brez uklanjanja, na način, kot bi potovali snovni delci. EM-kvant ima (podobno kot snovni delec) frekvenci pripadajoč volumen, energijo in obliko.

### **EM val rotira (niha) v treh prostorskih smereh.**

Vodno valovanje valuje v smeri potovanja valov, prečno v smeri valovnega grebena pa ne niha niti ne valuje. Ker pri EM valu opažam prostorsko zaokroženost lahko sklepam, da EM val niha odnosno rotira v vseh treh prostorskih razsežnostih. Valovanje in nihanje odnosno rotiranje je namreč tisti instrument, ki je sposoben v vsaki od prostorskih razsežnosti  $(x,y,z)$  uokviriti energijo polja v tej razsežnosti, s tem pa zaokrožiti energijo v valovanju ali nihanju pripadajočem volumnu.

Rotiranje EM vala v vseh treh razsežnostih matematično opisujejo Maxwelllove enačbe.



**Slika 6.9**

EM valovanje si lahko predstavljam tudi kot rotirajoče EM kolobarje kot jih prikazuje Slika 6.9. Vsak tak kolobar zavzema nek določen volumen. Posamezen kolobar oziroma EM val se ohranja znotraj tega volumna in nima teženj po povečevanju volumna EM vala.

## Koherenca EM valov

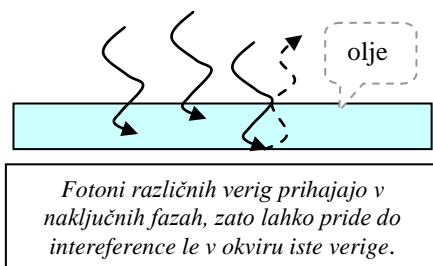
EM valovi oziroma EM-kvanti pogosto potujejo v povezani verigi, kot to nakazuje Slika 6.9.

Koherenco, oziroma povezovanje EM valov v verige si pojasnim na primeru odboja svetlobe od oljnega madeža na mokri podlagi, kot to prikazuje slika 6.10.

### Interferenčni odboj od oljnega madeža.

Kadar se na mokri površini znajde tanek oljni madež, opazim, da se svetloba odbija v obliki barvne mavrice.

Odboj svetlobe se pojavlja tako na vrhu oljne plasti, na spoju olja in zraka, kot tudi na spodnji strani oljne plasti, to je na spoju olja in vode. Od takega oljnega madeža odbita svetloba ima mavrično barvo.



Opažena mavrica je posledica interferenčnega delovanja delnega odboja svetlobe na zgornji oljni ploskvi z delnim odbojem od spodnje ploskve, ki ločuje olje od vode.

**Slika 6.10**

Kadar je debelina plasti olja mnogokratnik valovne dolžine določene frekvence svetlobe, se na gornji plasti oljnega madeža srečata in seštejeta:

- odbito valovanje od vrhnje oljne ploskve in
- odbito valovanje od ploskve pod oljem,

kar določeno barvo (frekvenco) svetlobe krepi.

### Interferenca se lahko dogodi le v okviru fazno usklajenih EM valov.

Interferenca lahko nastane v okviru fazno usklajene verige EM valov na način, da se del opazovane verige odbije na vrhnji ploskvi olja, del pa potuje do ploskve pod oljem, se tam odbije in vrne na gornjo

ploskev, kjer se združi in prišteje tistemu delu te EM verige, ki se odbije od ploskve nad oljem.

Seštejejo se na primer EM val opazovane verige z EM valom te iste verige, ki zamujajo ravno toliko, kolikor časa EM val potrebuje za pot skozi oljni madež in nazaj na vrhno ploskev.

Ponovna združitev EM verige okrepi svetlost tiste frekvence oziroma tiste barve svetlobe, pri kateri sovпада debelina olja z mnogokratnikom valovne dolžine svetlobe.

### **Pogoji za mavrični odboj**

Eden od pogojev za mavrični odboj zahteva, da je EM veriga (koherenca svetlobe) daljša od dvojne dolžine oljnega madeža. Mavrični odboj pa v splošnem opazimo, kadar so:

- EM valovi povezani v verige EM valov,
- verige EM valov daljše od dvojne debeline plasti olja
- EM valovi iste verige med seboj fazno usklajeni,
- kadar se del verige EM valov odbije na gornji, del verige pa na spodnji oljni ploskvi.

### **Merjenje koherence**

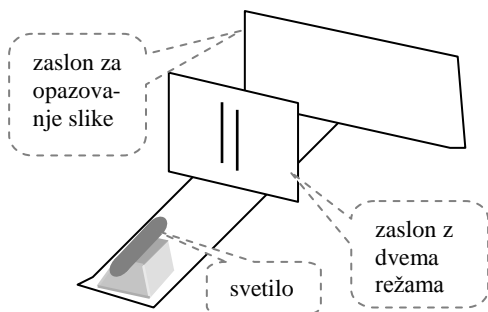
Spoznanje, da mavrične odboje ustvarjajo le dovolj dolge verige EM valov, nam omogoča merjenje koherence oziroma dolžine verige EM valov.

Meritev dolžine koherentnega žarka izvedem tako, da povečujem debelino oljnega sloja, pri tem pa opazujem intenzivnost mavričnega odboja. Z večanjem debeline oljne plasti se intenzivnost mavričnega odboja zmanjšuje. Vse manj EM verig valov ima namreč zadostno dolžino za ustvarjanje mavrične interference.

Tisto debelino oljne plasti na Sliki 6.10, pri kateri ravno še opazim skromne ostanke mavričnega odboja, predstavlja polovico dolžine najdaljših koherentnih EM verig valov.

Meritve kažejo da ima sončna svetloba koherentne verige EM valov, ki so dolge celo več metrov, laserski žarek pa seva še mnogo daljše neprekinjene koherentne verige EM valov.

## Youngov eksperiment z dvojno režo



Slika 6.11

Predstavo o lastnostih EM vala dodatno izostri Youngov eksperiment z dvojno režo. Shema eksperimenta je prikazana na Sliki 6.11.

S svetilom, ki oddaja koherentno svetlobo posvetim na zaslon, ki ima dve vzporedni reži.



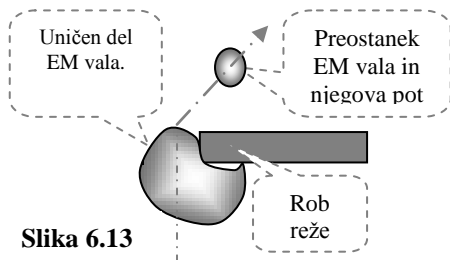
Slika 6.12

Ko je Young svetlobi omogočil hkratno pot skozi obe reži, je na ekranu opazil poleg dveh glavnih še stranske lise, kot to prikazuje slika 6.12.

### Izvor stranskih lis

Nekateri EM valovi skozi režo potujejo neovirano. Nekateri EM valovi pa nimajo te sreče in oplazijo rob reže, lahko pa na režo priletijo tako, da se ob robu reže raztreščijo.

Ko EM-kvant (EM val z optimalno kvantno energijo) oplazi rob reže, kot to prikazuje Slika 6.13, se dogodi dvoje: ob dotiku EM-kvanta z robom reže EM-kvant izgubi del energije, po drugi strani pa ta dotik EM vala spremeni smer gibanja.



Slika 6.13

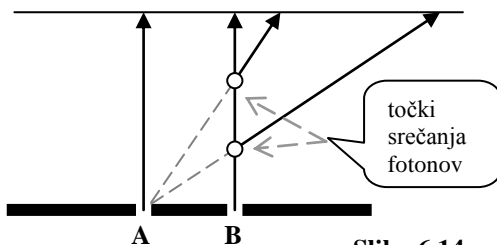
Energijsko osiromašeni EM valovi se od roba reže naključno odbijejo v mnogih smereh.

Bolj kot EM-kvant trešči ob rob reže, več energije (v obliki toplote) pusti

na robu reže in bolj razbit in energijsko osiromašen nadaljuje pot.

**Svetloba druge reže energijsko šibkim EM valovom vrne energijo.**

Kadar svetlobi omogočimo prehod skozi obe reži, razbiti in energijsko



**Slika 6.14**

osiromašeni ostanki EM valov prve reže, na Sliki 6.14 označeni črtkano, prehajajo skozi energijsko bogate EM valove druge reže, skozi žarek B.

EM valovi preidejo drugi skozi druge. Osiromašeni ostanki EM valov iz reže A preidejo skozi energijsko bogate verige EM valove iz reže B. Ob prehodu njih EM valov skozi druge, pride do izmenjave energije med njimi.

Energijsko siromašne verige EM valov iz reže A se energijsko ojačijo pod določenimi, v nadaljevanju opisanimi pogoji. Energijsko bogate verige EM valov iz reže B pa izgubijo del energije.

**Izmenjava energije se dogaja med fazno usklajenimi EM valovi.**

Črte na zaslonu (Slika 6.12) kažejo, da v nekaterih smereh poti žarka A, žarek prejema od žarka B več energije, v drugih smereh pa manj.

Primerjam dolžini poti EM valov žarka A in žarka B na Sliki 6.14, ki jih napravita žarka na poti do njunega srečanja. V različnih smereh poti žarka iz reže A do srečanja z žarkom B so faze valovanja ob njunem srečanju nekeje bolj, drugje manj usklajene.

Stranske črte Youngove meritve na Sliki 6.12 kažejo, da si EM valovi ob srečanju izmenjujejo energijo le pri nekaterih dolžinah poti.

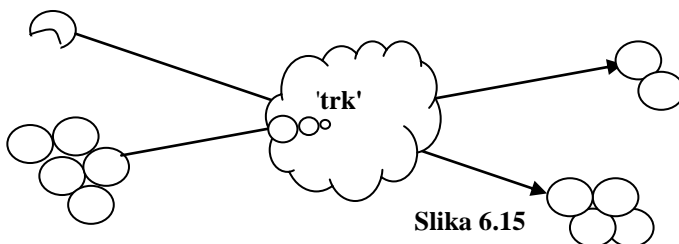
V točkah srečanja, kjer so faze valovanja dovolj usklajene, podobno, kot pri oljnem madežu na Sliki 6.10, prihaja do povezovanja EM valov v koherentne verige in s tem izmenjave energije med EM valovi.

Izmenjava energije med EM valovi je torej odvisna od fazne usklajenosti EM valov iz reže A in B ob srečanju.

Na osnovi opazovanja interferenčnih črt lahko sklepam, da energijsko siromašni EM valovi v primeru fazne usklajenosti prejmejo energijo od energijsko bogatih EM valov. EM valovi, ki si ob srečanju niso v fazi, si energije ne izmenjajo.

### **Energija žarka B se lahko zmanjša**

Na izmenjavo energije med verigama EM valov ne kažejo le stranske črte, temveč tudi zmanjšana energija osnovnega žarka B. Meritve namreč kažejo tudi energijsko oslabitev žarka B v primeru, kadar se žarek B srečuje z energijsko šibkimi EM valovi iz reže A.



**Slika 6.15**

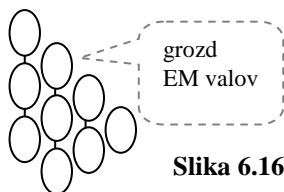
Pri Youngovem poskusu lahko izmerimo precejšnje povečanje energije EM valov v stranskih snopih, po drugi strani pa opazno zmanjšano energijo osnovnih črt. Pojav si lahko razlagam tako kot kaže Slika 6.15.

Opisano dogajanje pri srečevanju EM valov potrjuje tudi Mach-Zhenderjev interferometer, ki sta ga izdelala neodvisno eden od drugega leta 1896 fizika Mach in Zhander.

## **Grozd EM valov**

V nadaljevanju me zanima, ali se EM valovi oziroma EM-kvanti povezujejo v verige le vzdolžno, drug za drugim, ali pa se verige EM valov lahko povezujejo tudi v snope vzporednih EM valov, tako kot prikazuje Slika 6.16.

EM-kvant ima neko obliko, ki je odvisna od frekvence svetlobe. EM



**Slika 6.16**

val se torej v nobeni koordinati ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) ne razširja preko zanj optimalne velikosti, četudi ga zunanje razmere ne ovirajo pri razširjanju. EM val torej pušča na levi in desni prostor za druge EM valove.

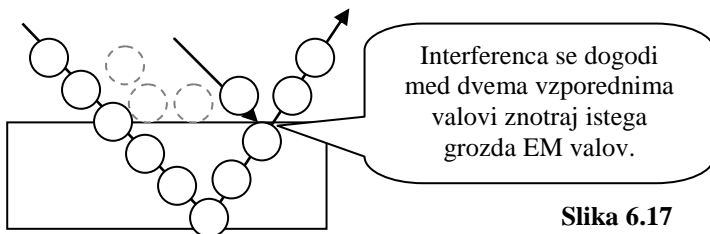
Povezovanje EM valov v verige je posledica medsebojnega energijskega sodelovanja med EM valovi. V verigo povezana EM-kvanta imata manjšo skupno energijo kot dva nepovezana EM-kvanta, zato EM-kvanta oziroma EM vala vztrajata v povezanosti.

### Vzporedne verige EM-kvantov

EM valovi iste verige zaporednih EM valov bi se pri odboju od oljnega madeža med seboj lahko povezovali le ob popolnoma navpičnem vpadu verige EM valov na oljni madež, ne pa pod kotom.

Slika 6.17 prikazuje odboj svetlobe od oljnega madeža pod kotom. Na osnovi geometrije lahko sklepam, da se ob vpadu verige EM valov pod kotom, EM vala iste verige zaporednih EM valov ne srečata.

Pri vpadu svetlobe pod kotom se lahko srečajo le EM valovi ene verige z EM valovi vzporedne verige znotraj istega grozda EM valov.



**Slika 6.17**

Vzporedna veriga EM valov mora biti del skupnega grozda EM valov, sicer vzporedni verigi EM valov ne bi bili fazno usklajeni, s tem pa ne bi omogočali interference svetlobe.

Mavrico na oljnem madežu opažam pod kotom, kar pomeni, da se interferenca dogaja tudi med EM valovi vzporednih verig, ki pripadajo istemu grozdu EM valov.

### **Grozd EM valov**

Grozd EM valov še bolj nazorno opazim v poskusu Thomasa Younga (Slika 6.11) ob prehodu EM-kvantov skozi dvojno režo.

EM valovi za režo lahko interferirajo v obliki prikazanih črt na Sliki 6.12 le v primeru fazne usklajenosti med EM valovi, to je kadar EM valovi, ki vpadejo na obe reži, izhajajo iz istega, med seboj fazno usklajenega grozda EM valov.

V eksperimentu Thomasa Younga morata biti reži zadosti blizu, tako da del EM valov istega grozda EM valov preide skozi eno režo, del EM valov tega grozda pa skozi drugo režo. Le na vhodu fazno usklajeni EM valovi, se na drugi strani reže povezujejo v obliki na Sliki 6.12 prikazanih črt.

Kadar sta reži preveč razmknjeni, takrat jih isti grozd EM valov ne more zaobjeti. Pri preveč razmknjenih režah EM valovi fazno niso usklajeni, V takem primeru ne opazimo značilne interference, prikazane na Sliki 6.12.

### **Youngov eksperiment omogoča merjenje širino grozda EM valov.**

Opažena odvisnost razdalje med režama v Youngovem poskusu s pojavom interference, daje možnost merjenja širine grozda EM valov.

Povečujem razdaljo med režama v Youngovem eksperimentu in opazujem stranske črte na zaslonu. Večja kot bo razdalja med režama, manj verjetno EM valovi skozi eno in drugo režo pripadajo istemu grozdu EM valov in manj izrazite so stranske črte.

Za režo lahko interferirajo le EM valovi istega grozda, ki prehajajo skozi obe reži, del EM valov iz grozda skozi eno režo, del EM valov grozda pa skozi drugo režo. Razdalja med režama, pri kateri se ravno še opazi medli obrisi stranskih črt pomeni največjo širino grozdov opazovanih EM valov.

Na oljnem madežu torej lahko merimo dolžino verige EM valov, ki je hkrati dolžina grozda EM valov, z Youngovem poskusom pa lahko merimo premer grozda EM valov. Merimo lahko velikost EM grozda. Merimo nekaj česar neposredno ne moremo videti. Merimo latentne lastnosti grozda EM valov.

## **Energijska stabilnost EM-kvanta**

Na osnovi opisanih eksperimentov lahko sklepam, da je grozd EM valov neka skupnost EM valov, ki:

- potuje v paketu
- ima neko zaokroženo prostornino,
- EM valovi znotraj grozda pa energijsko sodelujejo v smislu:
  - izmenjave energije med EM valovi in
  - uravnavanja fazne usklajenosti med EM valovi.

Energijsko sodelovanje med EM valovi znotraj grozda je način za ohranjanje kvantnih lastnosti posameznih EM kvantov ter fazne usklajenosti in volumnske zaokroženosti grozda EM valov tudi takrat, ko je EM grozd podvržen vplivom okolja.

### **Delni odboj svetlobe**

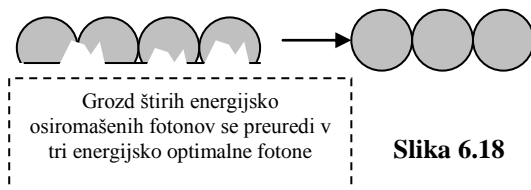
Pri delnem odboju svetlobe, na primer na pol propustnem ogledalu, kot je prikazan na Sliki 6.1, se energija EM grozda razdeli v dve smeri. EM valovi v eni in drugi smeri ohranijo svoji frekvenci lastno kvantno energijo. To pomeni, da se grozd EM valov razdeli v dva grozda po energiji neokrnjenih EM-kvantov, energijsko takih, kot so prispeli do pol propustnega ogledala.

Če pri odboju ni energijskih izgub, je vsota EM-kvantov enega in drugega grozda enaka številu EM-kvantov vpadnega grozda na pol propustno ogledalo.

### **Energijska rekonstrukcija EM-kvantov**

Hipec po delnem odboju dobimo dva grozda energijsko siromašnih EM valov.

Ker odbiti EM valovi tvorijo grozd, se tak grozd energijsko siromašnih EM valov po odboju preoblikuje, na osnovi izmenjave energije med EM valovi znotraj grozda.



Slika 6.18

EM grozd se preoblikuje v manj številčni grozd

energijsko optimalnih EM-kvantov, tako da vsak EM-kvant vsebuje frekvenci pripadajočo kvantno energijo.

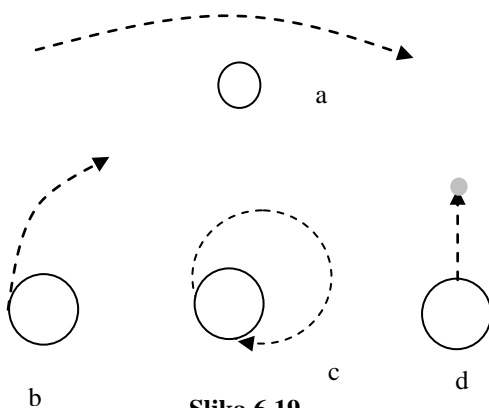
Grozd štirih EM valov na Sliki 6.18 na primer žrtvuje en EM val z namenom, da grozd treh EM-kvantov svojo pot nadaljuje kot grozd EM-kvantov s frekvenci pripadajočo kvantno energijo.

### Energijske motnje EM-kvanta

EM val ne doživlja opisanih energijskih deformacij in rekonstrukcij le v primeru delnih odbojev. EM valovi so podvrženi energijskim stresom tudi na primer v okoljih velike gravitacije. EM val posledično ne more pobegniti gravitaciji črne luknje v vesolju.

### EM valovi se rojevajo tudi v okoljih velike gravitacije.

Pri opazovanju svetlobe iz nebesnih teles z veliko gravitacijo, kot so



Slika 6.19

na primer aktivna galaktična središča ali supernove, opažam, da velika gravitacija ne omejuje rojevanje EM valov. EM valovi nastajajo tudi v razmerah velike gravitacije, le-ta pa v nadaljevanju vpliva na energijo in

smer leta EM valovanja.

Literatura običajno prikazuje vpliv gravitacije na smer poti svetlobe na način, kot je prikazan v 'a' primeru na Sliki 6.19. Tako se na primer giblje svetloba mimo Sonca.

Ni nujno, da opazujem ravno svetlobo, ki ima izvor izven gravitacijskega polja. Zamislim si lahko na primer svetlobo, ki ima izvor na nebesnem telesu z veliko gravitacijo in ta gravitacija v nadaljevanju tudi krivi smer poti svetlobe.

Primer 'b' na Sliki 6.19 kaže žarek, ki je izšel iz masivnega nebesnega telesa z močno gravitacijo. Žarek naj izide na robu tega nebesnega telesa, zato gravitacija tega telesa krivi pot žarka, kot to kaže primer 'b'. Žarek po zakrivljeni poti uspe pobegniti močni gravitaciji.

V nadaljevanju v mislih gravitacijo tega telesa še povečam. Primer 'c' na Sliki 6.19 kaže žarek, ki je skušal pobegniti tej povečani gravitaciji, vendar ga je le ta pritegnila nazaj.

Različne geometrijske razmere izstopa žarka v primeru 'c' ožijo in širijo zanko poti žarka. V primeru kadar žarek izide naravnost od nebesnega telesa, se zanka zoži v premico, kot to kaže 'd' primer na Sliki 6.19.

V primeru 'd' EM val izide iz nebesnega telesa, vendar nebesnega telesa zaradi velike gravitacije ne more zapustiti, kar se dogaja v črnih luknjah.

### **Potovanje EM vala po gravitaciji**

V poglavju Masa je pojasnjeno, da ima EM val maso in posledično nanj deluje gravitacijska sila. Gravitacijska sila ovira EM val pri dvigovanju iz gravitacije. EM val s silo na poti premaguje gravitacijo, s čimer izgublja lastno energijo.

Energija EM valov se pri premagovanju gravitacije zmanjšuje skladno z enačbo  $A = F \cdot s$ , kjer je  $F$  sila s katero deluje gravitacija na EM val, 's' pa pot, ki jo opravi EM val.

Ko opazujem EM valove, ki prispejo s Sonca ali celo z nebesnih teles s še večjo gravitacijo, pa zmanjšanja energije EM-kvantov ne opažam v smislu njihovega energijskega siromašenja. Vsi EM-kvanti

na Zemljo prispejo s frekvenci pripadajočo kvantno energijo. Meritve kažejo vedno enake energije EM-kvantov izbranih frekvenc.

Energijska stabilnost EM-kvantov smem pripisati izmenjavi energije med EM-kvanti znotraj EM grozda, kot to prikazuje Slika 6.18.

EM valovi se na izvoru rojevajo v obliki EM grozdov. Vsak EM val v okviru EM grozda ima frekvenci pripadajočo kvantno energijo.

Ob energijskih izgubah EM grozda na poti pri premagovanju gravitacije se zmanjšuje število EM valov v grozdu. Energijsko osiromašeni EM valovi svojo energijo predajo preostalim EM valovom v EM grozdu, kot to prikazuje Slika 6.18.

EM valovi grozda na poti tako ohranjajo EM-kvantu optimalno (kvantno) energijo, ne ohranja pa se število EM-kvantov v grozdu. EM grozd iz gravitacijskega polja izide z manj EM kvanti, manj številčen, kot je bil na izvoru.

#### **V črni luknja se EM grozd posuši**

Črne luknje so zelo masivna nebesna telesa, ki jih obkroža ekstremno močna gravitacija. Črna luknja praviloma ne oddajajo svetlobe, kar pomeni, da EM valovi nimajo dovolj energije za pobeg iz črne luknje.

Izsevani EM grozdi na poti pobega iz ekstremne gravitacije črne luknje zgubljajo EM val za valom na način, kot to prikazuje Slika 6.18, dokler EM grozd ne ostane brez vseh EM valov.

Na neki višini v fazi pobega EM grozda iz črne luknje, ko je EM grozd porabil že skoraj vso svojo energijo, ostane poslednji EM val in ob nadaljnjem dvigovanju iz črne luknje še naprej izgublja preostalo energijo. Nazadnje še poslednji EM val ostane brez energije in z dokončno izgubo svoje energije več ne obstaja.

Nič od EM grozda ne ostane,

- ne obstaja več njegova EM energija in
- ne obstaja njegova negativna vezalna energija, ki izhaja iz lokacije njegovega nastanka.

EM grozd se tako dokončno in v celoti izniči, na način kot je to opisano v poglavju Energija.

### **Črne luknje rastejo in se krčijo.**

Črna luknja nase privlači snovne delce in s tem povečuje svojo maso. S tem se povečuje se tako energija, kot tudi negativna vezalna energija črne luknje.

Obraten proces se dogaja pri sevanju svetlobe. Za nastajanje in sevanje svetlobe črna luknja uporabi del lastne energije.

Svetloba zaradi velike gravitacije ne more zapustiti črne luknje. Ob poskusu pobega se izniči. Po izničenju EM valov ob poskusu pobega iz črne luknje, črna luknja ostane brez dela svoje energije, tistega dela energije, ki ga črna luknja porabi, za nastajanje izsevanih EM valov.

Izničevanje izsevanih EM valov zmanjšuje maso črne luknje.

Če črna luknja za nastajanje svetlobe porabi več energije, kot jo pridobi z vsrkavanjem snovnih delcev, potem se masa črne luknje zmanjšuje. V nasprotnem primeru se masa črne luknje povečuje.

### **Črne luknje niso povsem črne.**

EM valovi v opazovani črni luknji so:

- podvrženi enaki gravitaciji pri poskusu pobega iz črne luknje in
- imajo enako začetno energijo EM-kvantov

Glede na energijske možnosti, se EM grozdi iz črne luknje dvignejo do približno enake višine, preden se izničijo, ne glede na velikost EM grozda. Večji EM grozdi sicer vsebujejo več energije, po drugi strani pa nanje deluje večja privlačna sila, kar pomeni, da se EM grozd dvigne do enake višine ne glede na velikost EM grozda.

*Ne bojim se priznati  
nobene nasprotne  
zamisli, ker pričakujem,  
da bo prav od tam prišla  
resnica, ki je še ne  
poznam. W. M. Pepper*

Iz črne luknje posledično noben EM val ne bi mogel pobegniti, česar pa opažanja ne potrjujejo. Fiziki opažajo, da črne luknje niso povsem črne, da črne luknje deloma sevajo. To sevanje imenujemo Hawkingovo sevanje, po fiziku Stephenu Hawkingu.

### **Optimalna energija EM-kvanta**

EM val izbrane frekvence ima kot rečeno neko optimalno (kvantno) energijo, in ki jo želi obdržati ali se ji vsaj približati.

Zmanjšanje energije zaradi energijskih izgub ob premagovanju gravitacije privede EM-kvant v neko energijsko podhranjenost, energijsko osiromašenje, to je neko EM valu vsiljeno in po energiji šibkejše energijsko stanje.

Obraten postopek se dogaja z EM-kvanti, ki iz okolice padajo v črno luknjo. Črna luknja te EM-kvante privlači. Privlačnejše EM-kvantov na neki poti (sila krat pot) pomeni povečevanje energije padajočih EM valov.

EM valovi, ki padajo iz okolice v črno luknjo, lahko energijsko presegajo optimalno (kvantno) energijo EM valovanja, iz črne luknje dvigajoči se EM valovi pa so lahko energijsko osiromašeni.

### **Srečevanje EM valov v gravitacijskem polju črne luknje.**

Na Sliki 6.14 prikazan Youngov eksperiment opisuje, da si EM valovi ob srečevanju pod določenimi pogoji energijo lahko izmenjajo. Energijsko bogati EM valovi lahko del energije ob srečanju prenesejo na energijsko šibke EM valove.

Predvsem proti koncu poti so osamljeni EM valovi, ki zapuščajo črno luknjo, praviloma energijsko siromašni. EM valovi, ki iz okolice padajo v črno luknjo, so energijsko bogati.

Tako eni kot drugi težijo v optimalnejše energijsko stanje. Ob srečanju si na osnovi zakonitosti prikazane na Sliki 6.18 Youngovega eksperimenta z dvojno režo, izmenjajo energijo.

EM val, ki se dviguje iz črne luknje s tem pridobi dodatno energijo. Tako pridobljena energija pa mu mogoče že zadošča za pobeg iz črne luknje. Privilegiranim EM valovom torej lahko uspe pobeg iz črne luknje.

### **Zaključek**

To poglavje govori predvsem o kvantni energiji svetlobnega valovanja ter okoliščinah, ki vplivajo na energijo tega valovanja.

V nadaljevanju želimo pogledati, kako okoliščine, na primer gravitacija, vpliva na lastnosti EM valovanja, to je na frekvenco in valovno dolžino svetlobnega valovanja.

V literaturi je na primer opisan gravitacijski rdeči zamik spektralne črte (Gravitational redshift), ki govori, kako potovanje svetlobnega žarka skozi gravitacijsko polje vpliva na spremembo valovne dolžine svetlobe, kar pa je že tema naslednjega poglavja.

*Domov:*

<http://www.anti-energija.com>

*Naslednje poglavje*

<http://www.anti-energija.com/Cas.pdf>