Optika

Interferencija

Pri superpoziciji dvaju ili više elektromagnetskih valova u nekim točkama mogu se pojačati, a u drugima oslabjeti.

$$\vec{E}_1(z,t) = \vec{E}_{10}\sin(\omega t - kz + \alpha_1),$$

$$\vec{E}_2(z,t) = \vec{E}_{20}\sin(\omega t - kz + \alpha_2),$$

$k = \dfrac{2\pi}{\lambda}$ valni broj

Razlika faze dvaju valova $\delta = \alpha_2 - \alpha_1$

$\delta = 2\pi n$ Konstruktivna interferencija

$\delta = 2\pi(n + 1/2)$ Destruktivna interferencija

$n = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$

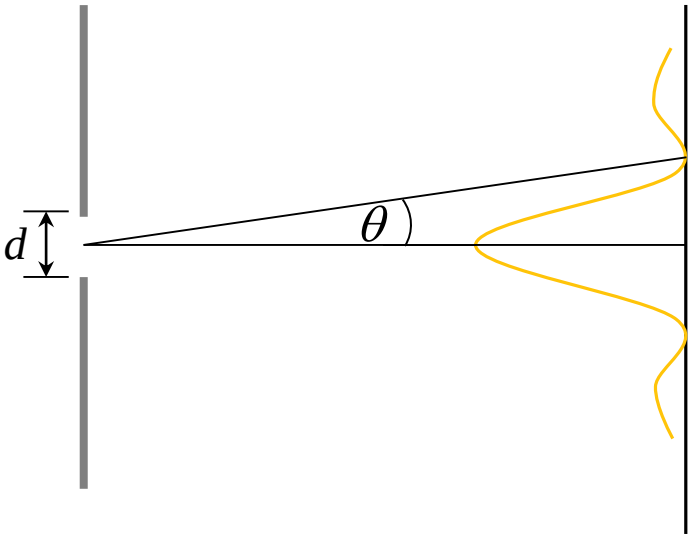
Difrakcija

Difrakcija valova je pojava širenja valnog procesa iza zapreke. Objašnjenje joj se može dati pomoću Huygenseovog principa, koji kaže da je svaka točka vala izvor novog vala.

Difrakcija na pukotini

Prema Huygensovom principu svako dio pukotine djeluje kao izvor vala.
Svjetlost iz jednog dijela pukotine može interferirati sa svjetlošću iz drugog dijela.
Rezultantni intenzitet na zastoru ovisi o kutu θ. Do destruktivne interferencije na pukotini širine d dolazi kada je

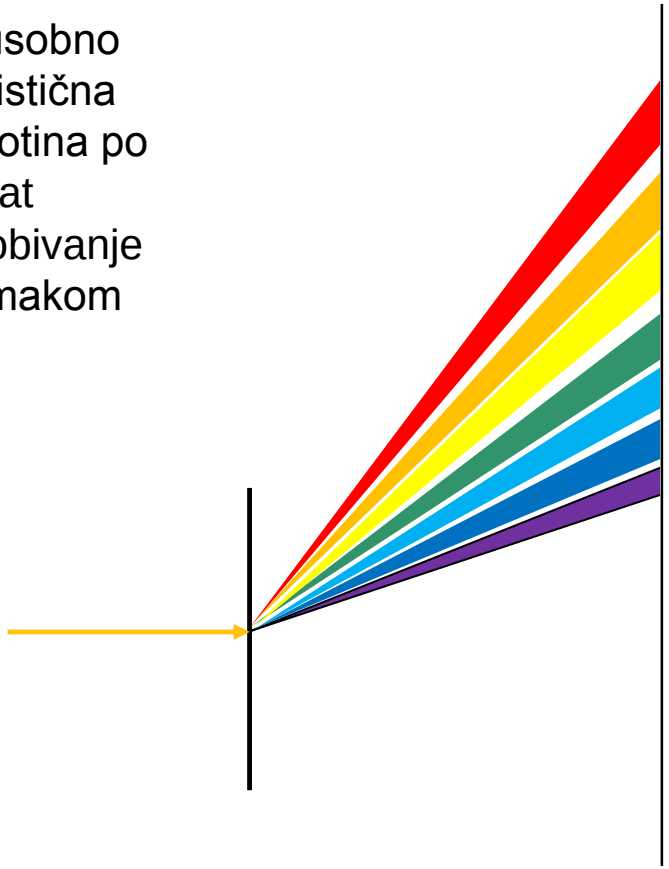
$$d \sin\theta = m\lambda, \quad m = \pm 1, \pm 2, \ldots$$



Difrakcija svjetlosti na optičkoj rešetki

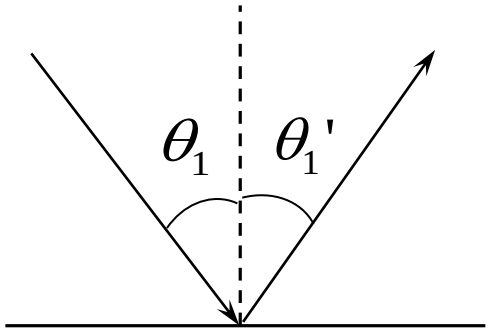
Optička rešetka sastoji se od velikog broja međusobno jednako udaljenih i paralelnih pukotina. Karakteristična optička rešetka sastoji se od nekoliko tisuća pukotina po centimetru. Intenzitet uzorka na zastoru je rezultat kombinacije difrakcije i interferencije. Uvjet za dobivanje maksimuma intenziteta na optičkoj rešetki s razmakom pukotina d je

$$d \sin\theta = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$$



Odbijanje

Odbijanje valova nastaje na granici dvaju sredstava. Val koji dođe do granice odbija se i širi natrag. Pri tome vrijedi da je kut upada jednak kutu odbijanja.



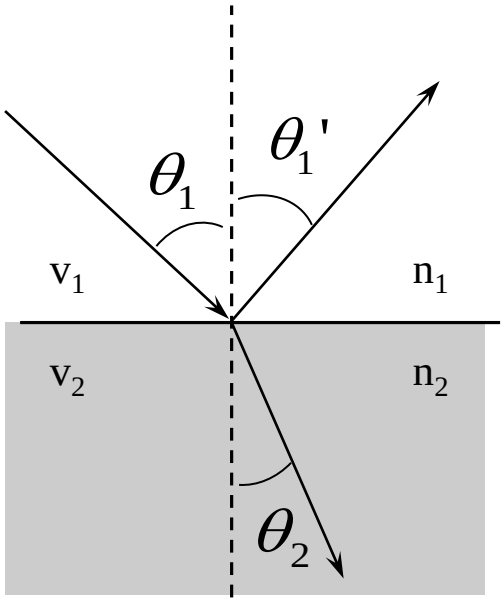
$$\theta_1 = \theta_1'$$

Lom

Lom valova nastaje kad se valovi iz jednog sredstva nastavljaju širiti u drugo, te kad su brzine valova različite u različitim sredstvima.

Zakon loma

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1}$$



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

Snellov zakon

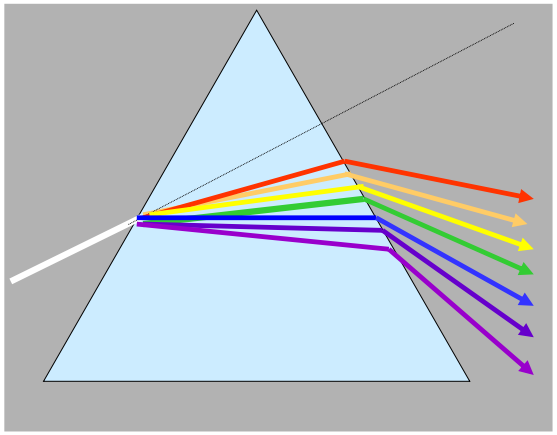
Indeks loma $$n = \frac{\text{brzina svjetla u vakuumu}}{\text{brzina svjetla u sredstvu}} = \frac{c}{v}$$

Disperzija

- Vrijednost indeksa loma u sredstvu ovisi o valnoj duljini svjetla. Ova pojava naziva se disperzija.
- Snellov zakon pokazuje da će se svjetlost različite valne duljine lomiti po različitim kutovima kada upada na sredstvo:
  - Prizma
  - Duga

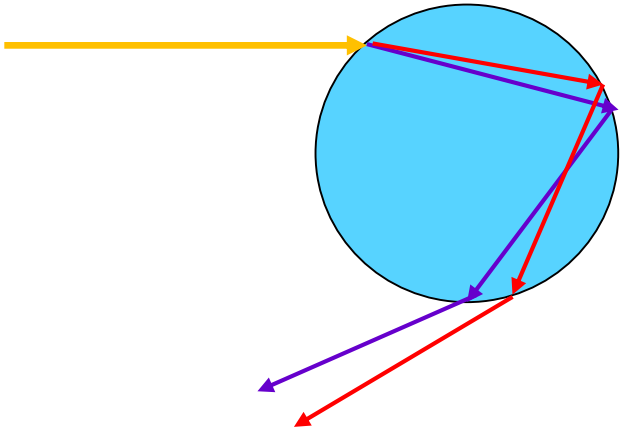
Disperzija i prizma

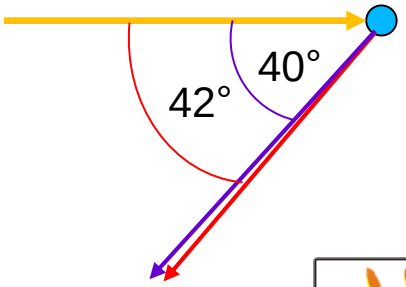
DISPERZIJA SVJETLOSTI

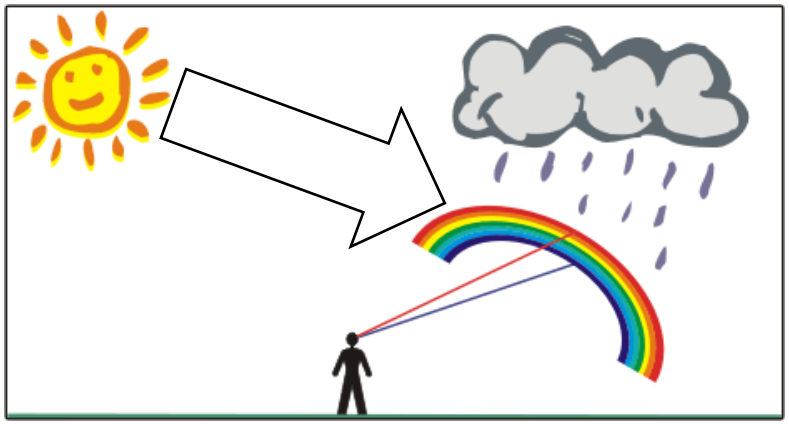


Disperzija i duga

Duga nastaje zbog raspršenja Sunčeve svjetlosti na kapljicama kiše.







Kvantna optika

Zračenje crnog tijela

- Tijelo na bilo kojoj temperaturi emitira elektromagnetsko zračenje
  - To zračenje se zove ponekad *termalno zračenje*
  - Stefan-Boltzmannov zakon opisuje ukupnu snagu zračenja

$$P = \sigma A e T^4$$

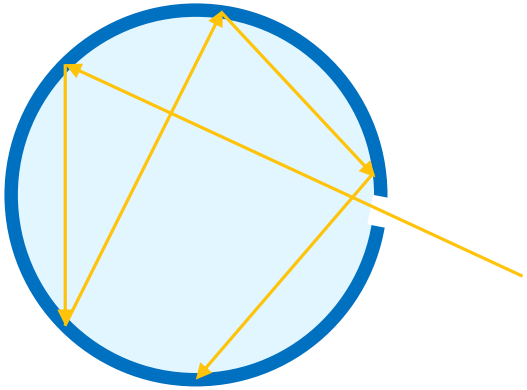
Stefanova konstanta $\sigma = 5.6704 \cdot 10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$

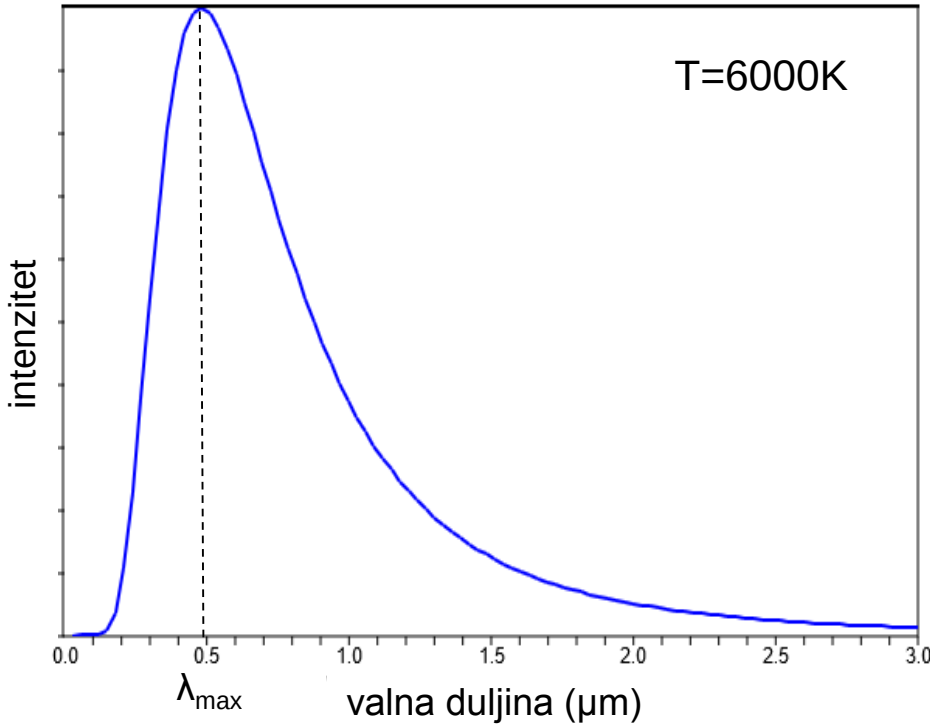
A-površina, e-stupanj emisije

  - Spektar zračenja ovisi o temperaturi i svojstvima objekta
  - S tim zakonom Stefan je uspio izračunati da je temperatura Sunčeve površine 5705 K (današnja vrijednost je 5778 K)

Crno tijelo i njegovo zračenje

- Crno tijelo je idealizirani sustav koji absorbira upadno zračenje svih valnih duljina
- Ako je zagrijano na određenu temperaturu, počinje zračiti elektromagnetske valove svih valnih duljina
- Šupljina je dobra aproksimacija crnom tijelu





- Eksperimentalna krivulja distribucije intenziteta zračenja po valnim duljinama

- Valna duljina maksimuma u distribuciji zračenja crnog tijela slijedi *Wienov zakon*

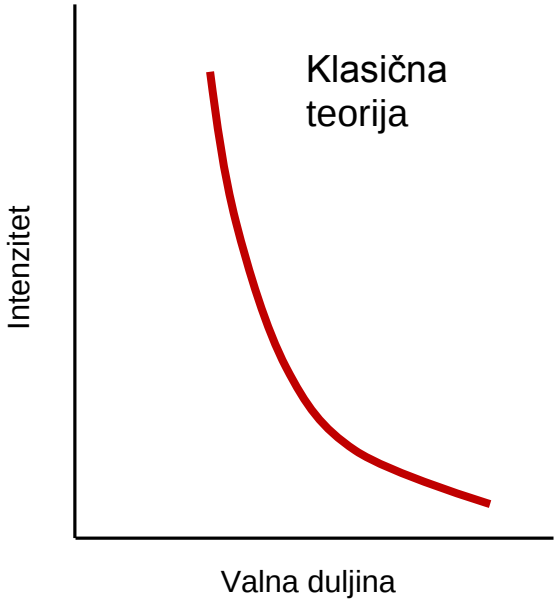
$$\lambda_{max} T = 0.2898 \times 10^{-2} \text{ m} \bullet \text{K}$$

  - λ_{max} je valna duljina maksimuma
  - T je apsolutna temperatura tijela koje emitira zračenje

- Klasična teorija nije mogla objasniti eksperimentalne podatke
- Pri velikim valnim duljinama, vrijedio je
  - Rayleigh-Jeans-ov zakon

$$P = \frac{2\pi c k_B T}{\lambda^4}$$

  - Pri niskim valnim duljinama klasična teorija predviđala je beskonačnu energiju što je bilo u suprotnosti s eksperimentalnim podacima



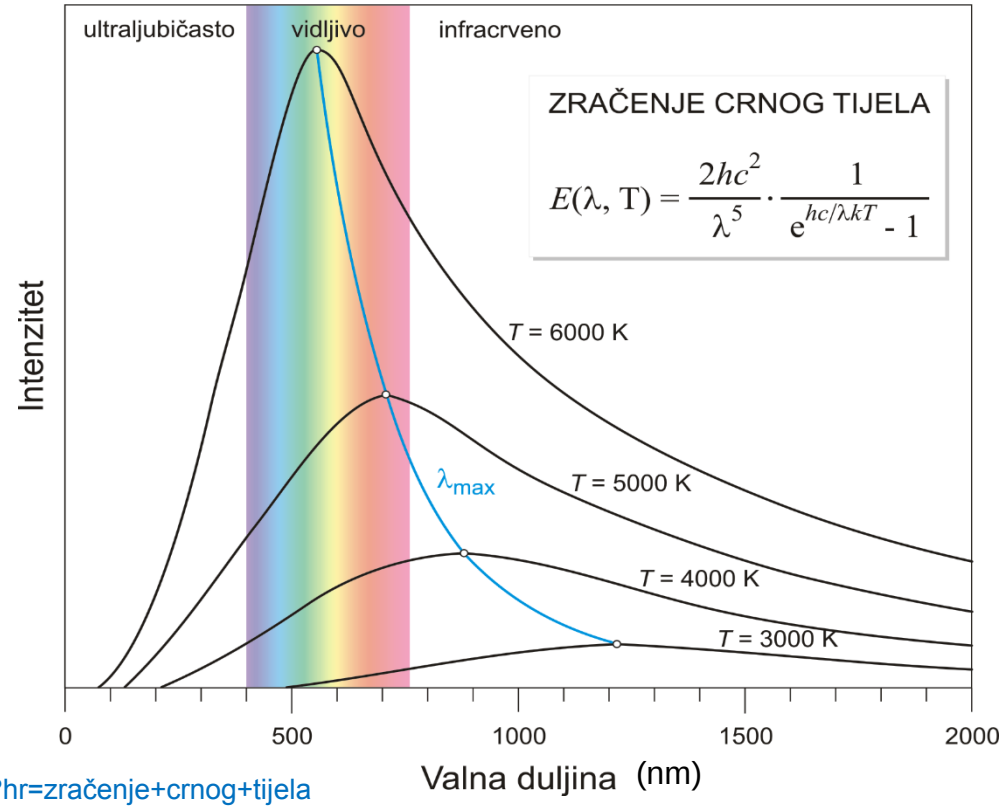
Planckovo objašnjenje zračenja crnog tijela

- Max Planck je 1900. dobio izraz koji u potpunosti objašnjava eksperimentalne podatke
- Planck je pretpostavio da zračenje crnog tijela stvaraju oscilatori koji mogu imati samo *diskretne energije*

$$E_n = n\,h\,f$$

  - n=0,1,2,3,… se naziva *kvantni broj*
  - f je frekvencija osciliranja
  - h je *Planckova konstanta*,

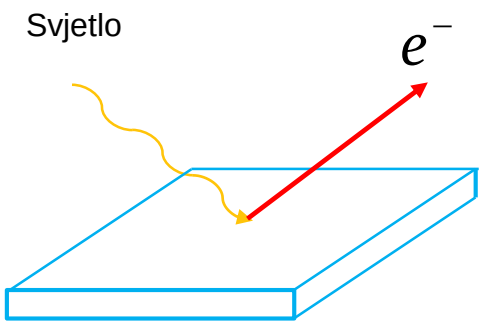
    $h=6.626 \times 10^{-34}$ J s
  - energija zračenja je kvantizirana



E. Generalić, http://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=zračenje+crnog+tijela

Fotoelektrični efekt

- Kad svjetlo pada na metalnu površinu, elektroni su emitirani s površine
  - Ova pojava se naziva *fotoelektrični efekt*
  - Emitirani elektroni se nazivaju *fotoelektroni*
- Efekt je otkrio Hertz 1887.
- Uspješno objašnjenje efekta dao je Einstein 1905.
  - Dobio Nobelovu nagradu 1921.



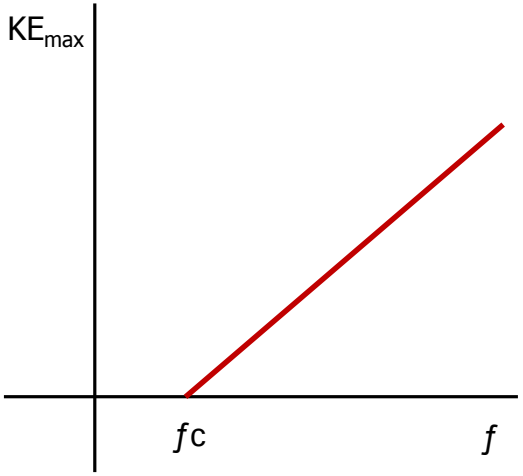
Einsteinovo objašnjenje fotoelektričnog efekta

- Svjetlo se sastoji od kvanata svjetlosti, kasnije nazvanih fotonima, diskretne energije
  - Proširo je Planckovu ideju o kvantizaciji na elektromagnetsko zračenje
- Energija fotona $E = hf$
- Svaki foton predaje svoju energiju elektronu u metalu
- Maksimalna kinetička energija oslobođenog fotoelektrona je

$$KE_{max} = hf - \Phi$$

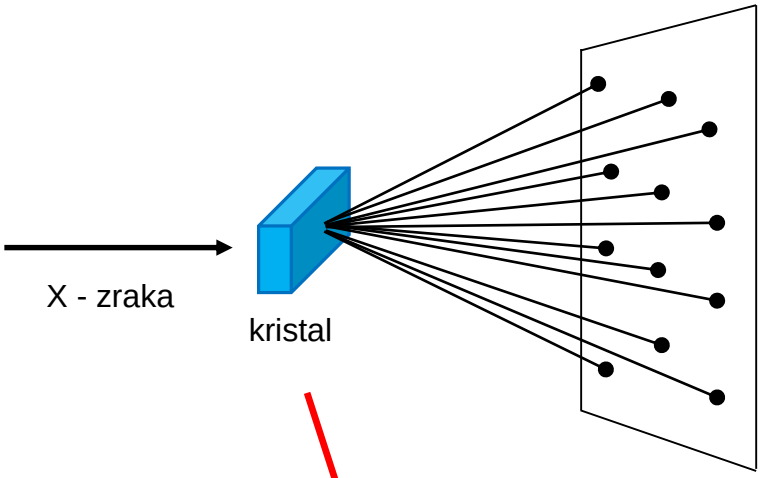
- Φ se naziva izlazni rad metala
- Efekt se ne događa ispod granične frekvencije

$$f_c = \Phi / h$$

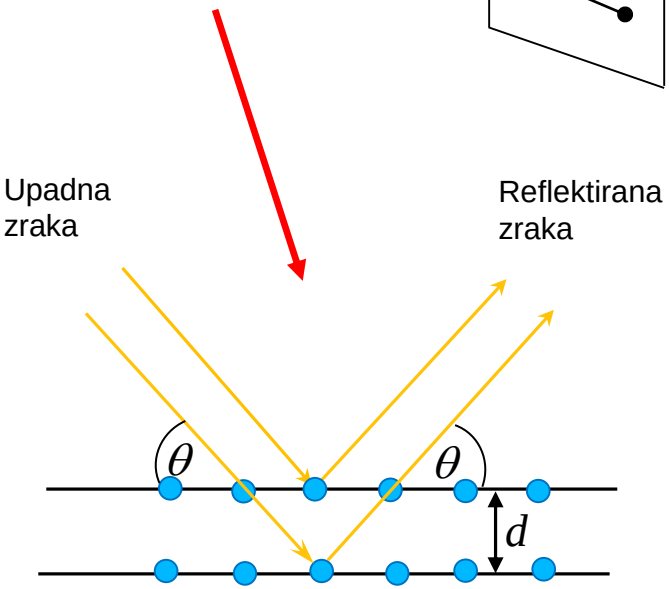


Difrakcija X-zraka na kristalnoj rešetki

- Da bi došlo do difrakcije, razmak između linija mora biti približno jednak valnoj duljini zračenja koje se mjeri
- Za X-zrake, uređena struktura atoma u kristalu može služiti kao trodimenzionalna rešetka



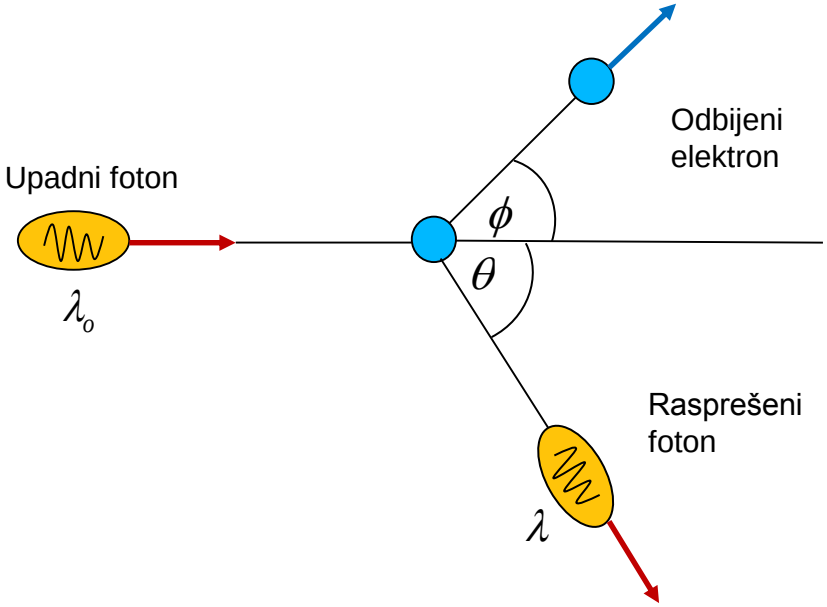
- Zraka koja se reflektira s donje površine putuje dalje nego ona koja se reflektira s gornje površine
- Ako je razlika puta jednaka nekom prirodnom višekratniku valne duljine, dolazi do konstruktivne interferencije
- *Braggov zakon* daje uvjet konstruktivne interferencije



$$2\, d \sin\theta = m\,\lambda,\ m = 1, 2, 3\ldots$$

Comptonov efekt

- Compton je usmjerio x-zrake prema bloku grafita
- Otkrio je da raspršene x-zrake imaju malo dulju valnu duljinu nego upadne x-zrake
  - To znači da imaju manju energiju
- Smanjenje energije ovisi o kutu pod kojim su x-zrake raspršene
- Pomak u valnoj duljini se naziva *Comptonov pomak*
  - Compton je pretpostavio da se fotoni ponašaju kao i druge čestice pri sudarima
  - Energija i količina gibanja su sačuvane
  - Pomak u valnoj duljini
  - Eksperimenti su potvrdili rezultate Comptonovog raspršenja i jako poduprli koncept fotona



$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_o = \frac{h}{m_e c}(1-\cos\theta)$$

Comptonova valna duljina

Dvojna priroda elektromagnetskog zračenja

- *Svjetlo ima dvojnu prirodu.. Pokazuje i valna i čestična svojstva.*
  - Vrijedi za sva elektromagnetska zračenja
- Fotoelektrični efekt i Comptonovo raspršenje daju dokaz o čestičnoj prirodi svjetla
  - Kad svjetlo i materija međudjeluju, svjetlo se ponaša kao da je sastavljeno od čestica
- Interferencija i difrakcija daju dokaz o valnoj prirodi svjetla

Dodatni materijali

https://phet.colorado.edu/en/simulation/bending-light

https://phet.colorado.edu/en/simulation/blackbody-spectrum

https://phet.colorado.edu/en/simulation/photoelectric