

## FIZIKALNA OPTIKA

de sada - svjetlost prelazi zrakama koje celaze u i

izvra svjetlosti

pravci  $\leftarrow$  model zrake svjetlosti

- zatonomu pravocrtog sinusa, estrijanja i napone)
- model zrake svjetlosti ne može objasniti sve optičke pojave!

- difracija ili ogib
- interferencija
- polarizacija svjetlosti

perioda svjetlosti?

FIRKALNA optika uzima u obzir periodu svjetlosti.

Newton ("CORNEKS")  $\blacktriangleleft$  UNDULATIČNA teorija

(svjetlost struva čestica)

( $1629-1691$ )

svjetlosti se sastoji od valova

izvra točka u frankovale

izvra novog elementarnog

zraka koji se sini u sponzor

Napredovanja zraka)

Novi frontovi zraka nastaju kao zavojna zelen valovi

2. Newton - izučio i opisao pojave koje su mu

pomoci Newtonovih statala

- nije se moglo pobjeđavati mit korpuskularnim teoriju u Huygensovom predstavom

$\Rightarrow$  valnu teoriju usavršio T. Young (1773 - 1829)

- počele su valne svjetlosti sljedeća jedna druga u ponavljanju razmacima duže. Kako se na površini vode izmjenjuju vrijes i dol vala.

Kroz dve susjedne vrijes = valna formacija

valna struja naprijed. Fresnel - matemat.

S. D. Poisson (1781 - 1844)  $\rightarrow$  razvijao Lernested.

- primio Fresnelove teorije - Poisson izradio da u skidani spina top baca neprekidnu luku rasipljivu svjetlosti točkasti izvra  $\rightarrow$  svjetla točka!

(vel.)

J. F. ARAGO (1786 - 1853) : pokus prema

potrebni: sedistro teorija  
se sini valovi

izvra točka u frankovale

izvra novog elementarnog

zraka koji se sini u sponzor

Napredovanja zraka)

Novi frontovi zraka nastaju kao zavojna zelen valovi



SUJETTO  
(Luz koherente; Sincrona)  
TAMANHO: amplitudinal

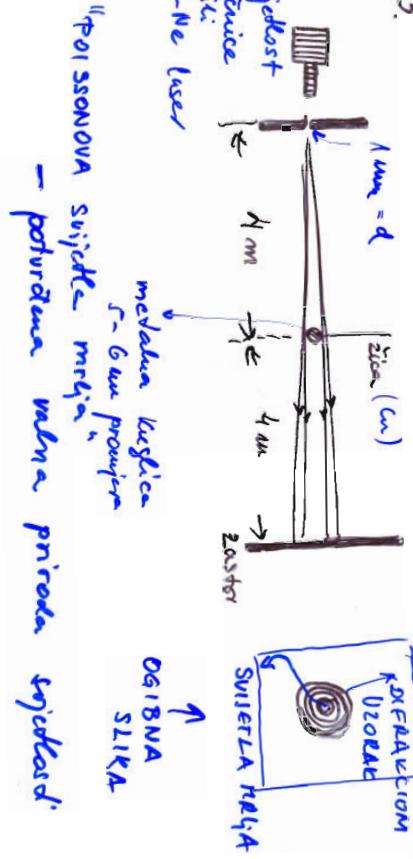
- pojave interferencije - slaganje dva ili više sorgestivnih valova pri čemu rezultat može biti **pojaci** ili **sagajci**
- pojave interferencije - sagajci dva ili više sorgestivnih valova pri čemu rezultat dama

FOURIER (1768-1830) matematički - stvarna valova pojava (obilježje) može se predstaviti superpozicijom sinusnih valova

pravljene valne projecije  
članovi slike -  
spektralne komponente  
(redukcija amplitudice)

- interferencija sinusnih valova

## INTERFERENCIJA VALOVA SUJETOSTI



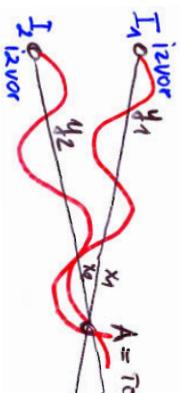
KONVERGENCIJA  
SINKRONIZACIJA  
VALOVA  
- laser -

- matematički opis干涉encije

$\lambda = \frac{I_1 - I_2}{2A}$

$\lambda_1 = \frac{I_1 - A}{2A}$

$\lambda_2 = \frac{I_2 - A}{2A}$



$$y_1 = a_1 \sin \omega t$$

$$y_2 = a_2 \sin \omega t$$

$$\omega \neq \omega$$

elagancija u dobi A

$$y_1 = a_1 \sin \omega \left( t - \frac{k_1}{c} \right)$$

$$y_2 = a_2 \sin \omega \left( t - \frac{k_2}{c} \right)$$

veliki razlikot (EM valovi)  $n = \frac{c}{v}$

$$\vec{E}_1 = E_{10} \sin \omega \left( t - \frac{k_1}{c} \right)$$

$$\vec{E}_2 = E_{20} \sin \omega \left( t - \frac{k_2}{c} \right)$$

rezultujuća el. polje EM vala  
rezultujuća superpozicija 2 vala u mreži

5.

$$E_A = E_1 + E_2$$

$$\text{Taksonometria} \quad \sin \alpha + \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \sin \frac{\alpha + \beta}{2}$$

$$\mu_2 \quad E_{10} = E_{20} = E_0$$

$$E_A = 2E_0 \cos \frac{w}{2c} (m_{X_1} - m_{X_2}) \sin \left[ wt - \frac{w}{2} \cdot \frac{m}{c} (x_1 + x_2) \right]$$

$\mu_2$  záujmu

$$\frac{w}{c} (m_{X_1} - m_{X_2}) = \varphi$$

$$\frac{w}{2} \frac{m}{c} (x_1 + x_2) = \alpha$$

$$E_A = 2E_0 \cos \frac{w}{2} \sin (wt - \alpha) = E_{012} \sin (wt - \alpha)$$

jež je k různé amplitudě

$$E_{012} = 2E_0 \cos \frac{w}{2}$$

• u dílu A - fázový úhla dopisovaného vektora

polarizace dílu prvního vedení

□

• dílou se zvírá klasického vektora, jednou fázovou, klasickou, sámku býváme se klasickou a dílou

• ato je argument pro kosinus delou de fází

popíše  $\rightarrow$  a A  $\Rightarrow$  Svetlo

$$\frac{y}{z} = w (m_{X_1} - m_{X_2}) = q_1 \pi, \quad (k-1)\pi$$

$$\frac{y}{z} = \frac{w}{2c} (m_{X_1} - m_{X_2}) = q_1 \pi, \quad (k-1)\pi$$

TANAKA

$$\frac{y}{z} = \frac{w}{2c} (m_{X_1} - m_{X_2}) = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \dots \left( \frac{2k-1}{2} \right) \pi$$

$$w = 2\pi f$$

vjet:  $A \cdot f = c$  za vlno svítící

$$\frac{w}{2c} = \frac{2\pi f}{2c} = \frac{p\pi L}{\lambda}$$

OPTICKÁ razítka  
u kohu

wjet za svítitlo:

$$m_{X_1} - m_{X_2} = (k-1)\lambda$$

TANAKA

$$m_{X_1} - m_{X_2} = \frac{2\lambda - 1}{2} \lambda$$

$k = 1, 2, 3, \dots$

izaz rezultující amplitudu  $E_{012} = 2E_0 \cos \frac{w}{2}$

$\Rightarrow$  postupkovu rotaci vektoru

AMPLITUDA 1. vlna je větší  $\tilde{E}_{10}^2 > 1^2$

elongacije jsou jenom klasické  $wt + \gamma_1 = w(\frac{L}{c} - \frac{m_{X_1}}{c})$

2. vlna  $\tilde{E}_{20}$

fázová klasická  $wt + \gamma_2 = w(\frac{L}{c} - \frac{m_{X_2}}{c})$

$$\tilde{E}_{10}^2 = \tilde{E}_{20}^2 = E_0 \quad \{ \tilde{E}_1^2 = \tilde{E}_0 \sin(wt + \gamma_1)$$

$$\frac{(wt + \gamma_1)}{(wt + \gamma_2)} = \frac{\tilde{E}_{10}^2}{\tilde{E}_{20}^2} = \frac{E_0}{E_0 \sin(wt + \gamma_1)}$$

$$\tilde{E}_{10}^2 = E_0^2 + E_0^2 + 2E_0 E_0 \cos \frac{w}{c} \gamma_1$$

$$\gamma_1 = \gamma_2 - \gamma_1$$

$$E_{012}^2 = 2E_0^2(1 + \cos\varphi) = 4E_0^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2}$$

$$\Rightarrow E_{012} = 2E_0 \cos \frac{\varphi}{2}$$

specifična vrednost polja.  $P = \frac{1}{2} \int_{A_0} \frac{E_0^2}{\mu_0} E_{012}^2$  (volumen)

$$\Leftrightarrow E_{012} = E_0 \rightarrow P = 2 \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E_0^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2}$$

### YOUNGOV POKUS i FRESNELOVA

#### BIPRIZMA

$$n_{refr} \approx n + \frac{\alpha}{2} \quad \sqrt{1+x} \approx 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{8}x^2 \dots$$

$$x \leq 1$$

$$\Delta = d \left[ 1 + \frac{(n + \frac{\alpha}{2})^2}{2d^2} - 1 - \frac{(n - \frac{\alpha}{2})^2}{2d^2} \right] =$$

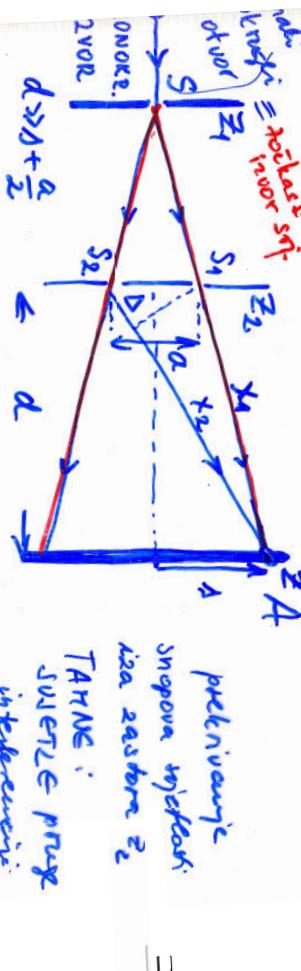
$$= \frac{1}{2d} \cdot 2\alpha n = \frac{\alpha n}{d}$$

$$\frac{\alpha n}{d} = \Delta = k\lambda \quad \text{SUVETKA pruge}$$

$$\boxed{n = k \frac{\alpha n}{d}} \quad \text{udaljenost svjetla}$$

pruge od središta  
pasova

Li



pojavljuju se pasove干涉  
pasova nastaju slijedom reprezentacije  
pojave se sile kohärenčnosti učinku

$\Rightarrow$  NELOKALIZIRANE pruge interferencije

Interferentni EM valovi kod Youngovog pokusa:  
 $P = \frac{1}{2} \int_{A_0} \frac{E_0^2}{\mu_0} E_{012}^2 = \frac{1}{2} \int_{A_0} \frac{E_0^2}{\mu_0} E_0^2 \cos^2 \frac{\varphi}{2}$

Experičija.  $E_{012} = E_0 \cos \frac{\varphi}{2}$ . Amplituda  $I = I_0 \cos^2 \frac{\varphi}{2} = I_0 \cos^2 \left(\frac{\pi}{\lambda} \frac{d \sin \theta}{2}\right)$

• dojde stala interferencija u središtu A

$S_1, S_2 \equiv$  selen zemljice  
materijalne tečnosti

d. kohärenčnost optička valova u hodu valova je

$$S_1 \cdot S_2 \neq ?$$

$$\Delta = x_2 - x_1 = \sqrt{\left(n + \frac{\alpha}{2}\right)^2 + d^2} -$$

$$- \sqrt{\left(n - \frac{\alpha}{2}\right)^2 + d^2}$$

- prepostavljeno kontinuirano, kohärenčno  
sticanje dvaju monokrom. izvora

najranije eksperim. učink. za demonstraciju

interferencije svjetla  $\rightarrow$  Th. YOUNG (1773-1820)

KOHARENČNI izvor - dvele kopije mogu interferirati.

dobivaju se cijevanje iste početne zrake

koherenčni izvor

10.

## UVETI KOHERENCE

- emisija projekasti - statistička popava

$$\tau = 10^{-9} \text{ s}$$

$C = 3 \cdot 10^8$   
dužina valnog paketa  $\lambda = C / \nu = 3 \text{ nm}$

$\equiv$  koherentna duljina (karakteristična za  
molu izvor)

za živinu duljinu 3 cm (stranicu 260g)

Dopplerova projekcija sekundarne linije i  
prosječna linija uročenih halov plina

u izbojenim cijevi

za He-Ne laser koher. duljinu veća

uvjet koherencije

① uvjet koincidencije

kada dva koherentna valna paketa  
interferiraju osim razlike u hodu  $\Delta$

mora biti ispunjeno

$$\Delta < 1$$

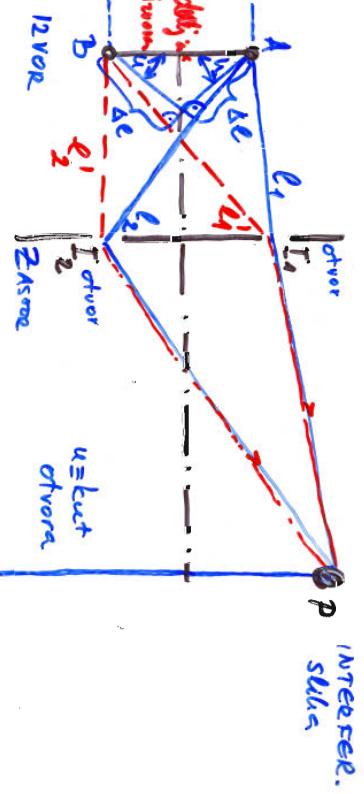
↓ koherentna duljina

• izvor - končne dimenzije (osaka, cijeli rezonans  
emisija projektor)

(4)

proučavanje emisija sv. u skupu krajnjih  
osoba A : 8

11.



iz A uvjetnost pada na obe otvore  $T_1, T_2$

razlike u hodu zraka iz A koje padaju na  
 $T_1$ , odnosno  $T_2$

$$\text{iz hoda A } \Delta = l_2 - l_1$$

$$\Delta' = l_2' - l_1'$$

$$\text{razlika u hodu}$$

• sjeklost iz  $T_1$  i  $T_2$  formiraće

intervenciju slike u  $P$  ako je

razlika između obje razlike u

hodu manja nego od valna duljine

soklasi:

$$\boxed{\Delta - \Delta' = (l_2 - l_1) - (l_2' - l_1') \ll \lambda}$$

$$\text{slike: } l_1' = l_1 - \Delta e ; l_2' = l_2 + \Delta e$$

$$\Delta - \Delta' = l_2 - l_1 + l_1' - l_2' \quad \boxed{\Delta e = y \cdot \sin \alpha}$$

$$\Delta e \Delta e$$

uvjet koherencije malo

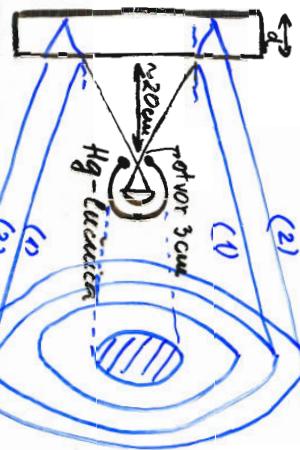
$$= 2 \Delta e = 2 y \sin \alpha \quad 2 y \cdot \sin \alpha \ll \Delta$$

dobra uvjet, slike: izvor velik ( $2y$ ) i kudatljivi

11 a)

### Pohlov polus

- potencija interferencija optičkih Hg-luzinice



### INTERFERENCIJA

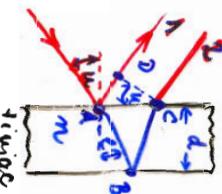
(Young - dva istovrsna vala soj)

Mogu se trajno pojavljati ili ostanjavati u vidu

o tame koliko su "brzovi" jednog vala

pomeratnuti prema drugom

(1) refleksija  
(2) lom, refleksija, ilan i zrcalo



zraka u zrcalu prelazi put  $2\overline{AB}$

geometrijska razlika koda

$$\frac{2AB}{\cos \alpha} = \overline{AD}$$

Optička razlika koda

refleksija u vili  $A$  je na optički gubici  
stvarno  $\rightarrow$  pomak za  $\frac{d}{2}$

$\Rightarrow$  kako da se val zrake i pomakne

u suprotni zidavaju za  $\frac{d}{2}$

$\Rightarrow$  unutar  $\overline{AD} \rightarrow \overline{AD} + \frac{d}{2}$

11 b)

optička razlika hoda ( $2 \times 1$ )

$$\Delta = 2m\overline{AB} - (\overline{AD} + \frac{d}{2})$$

$$\bullet \overline{AB} = \frac{d}{\cos \alpha}$$

$$\overline{AD} = \overline{AC} \sin \alpha = 2d \tan \alpha \sin \alpha$$

$$\frac{\overline{AC}}{2d} = \tan \alpha$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Snellov 2. sinus} = n \sin \alpha \\ \text{Snellov 2. sinus} = n \sin \alpha \end{array} \right\}$$

$$\bullet \overline{AD} = \frac{2nd \sin \alpha}{\cos \alpha}$$

↓

$$\Delta = \frac{2nd}{\cos \alpha} - 2d \tan \alpha \sin \alpha - \frac{d}{2} =$$

$$= 2nd \left( \frac{1}{\cos \alpha} - \frac{\sin^2 \alpha}{\cos \alpha} \right) - \frac{d}{2}$$

$$\boxed{\Delta = 2nd \sec \alpha - \frac{d}{2}}$$

$$= 2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} - \frac{d}{2}$$

POTVRĐANJE :

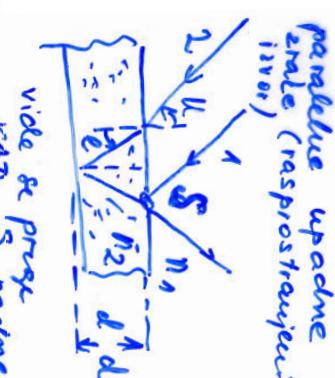
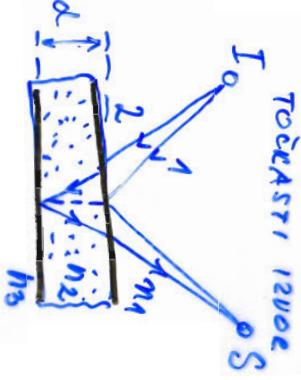
$$2d \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

□

12

## INTERFERENCIJA NA TANKIM LISTICIMA

- slojeni debeline 10 nm do  $10^4$  nm bilo plena, bilo otkuci ili čvrste rane - s ravnim plenama (ne nino paralelne) ne' zatvaraju melišut
- ⇒ nekalizirane interfe. sliba (rockasti ili lokalizirane pruge interf. jednake debeline (prosireni izvor)



- prva craka u snestvu  $n_1^2$  listice odvija se na gornjoj površini listice (lokalizirane pruge)
- ako  $M_2 > M_1$ , odvijena craka ima pomak od  $\frac{d}{2}$
- druga craka se u listici ( $n_2$ ) domi i otkazi od deuje površine listice koga granice s  $M_3$

INTERFERENCIJA ovaj o debeli  $M_1$  d listica i upadnom kum u

OPTICKA RAZLICA Rocka

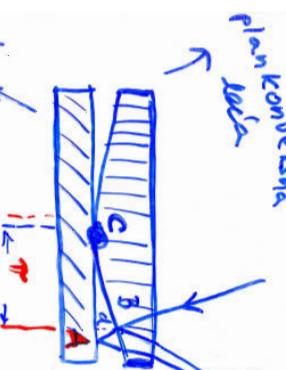
$$\Delta = 2d M_2 \cos \theta + \delta$$

$$\text{MAX refleksije u S: } \Delta = k\lambda \quad 0,1,2,3$$

13.

## Newtonova STAKLA

- lokalizirane pruge interferencije



- ① - odvija se u dolici B na granici STAKLO - ZERK
- ② - odvija se u dolici A na placi (guicisrazi)

planarne  
ploče

planarne  
ploče

Newtonovi  
klobari

Newtonovi  
klobari

lampa  
krumna mrlja  
u C, hubovi postepeno mijenjaju  
-t. sojeći klobar (činjajući  
t. klobar, sareni klobari)

lampa  
krumna mrlja  
u bijeloj svjetlosti  
(na u definisati  
r od C - tada B)

R sprem plene vlo velike  
(nekoliko desetaka metara)

d potma R nezatno

- u C → okomican na ravnu ploču s koju se dodiruje leća

△ ABC

stevnja geometrijska proporcionalna

imati dužina d : (2R-d)

d : r = r : (2R-d)

- polunjuš  
radova

$$d = \frac{r^2}{2R-d} = \frac{r^2}{2R}$$

4.

za sredstvo m izmedju stakala

$$d = \frac{\lambda^2}{2R} \cdot m$$

- ako sjeklo pada gotovo okomito na površinu  
Neut. stakala  $\rightarrow$  pruge "jednake" duljine  
( $\alpha \approx 0$ )

geometrijska razlika poda zrate 1:2

$$2d = \frac{\lambda^2}{R}$$

optička razlika poda

$$\Delta = 2d + \frac{d}{2} = \frac{\lambda^2}{R} + \frac{d}{2}$$

- SWETLI KLOBAR  $\Rightarrow \Delta = \lambda, 2\lambda, \dots, 6\lambda$

$$\kappa d = \frac{\lambda^2}{R} + \frac{d}{2}$$

$$\begin{cases} \kappa^2 = R(2k-1) \frac{d}{2} \\ k = 1, 2, 3, \dots \end{cases}$$

• TAHNI KLOBAR

$$\text{also } \mu \Delta = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \dots, \frac{(2k+1)\lambda}{2}$$

$$k = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$\boxed{\kappa^2 = R \cdot R \cdot \lambda}$$

- može se odrediti  $\lambda$   
 $\lambda \equiv$  redni broj klobara

5.

## HICKERSONOV INTERFEROMETAR

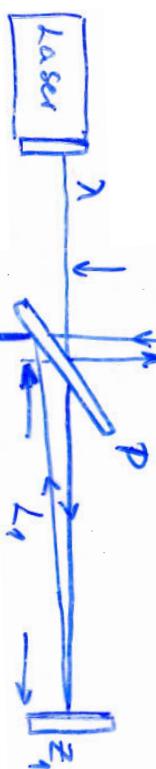
- interferencija 2 spektanskih snopova

- monokrom. izvor svjetlosti (He-Ne laser)  
svjetlost trazi 2 pute, i prva - prati se  
druga se kolimira

• polupropusna ploča - dijelitec snopa  
s površinom zrcala  $Z_1, Z_2$  zatvara  $\frac{\pi}{4}$

polupropusno zrcalo

polupropusna ploča -  
virobluo stika  $Z_1$  i  $Z_2$   
(stike paralelne zrcala  $Z_1, Z_2$ )



→ zastor, fotoiododa  
izlazni signal

$$\Delta = 2(L_1 - L_2) =$$

$L_1, L_2$  duljina krakova  
 $\lambda$  - v. dulj. lasera

$Z_1, Z_2$  su zrcala u krakovima

razlika u fazi  $\Delta\varphi$  dobiti  
laserskim snopom  $\rightarrow$

$$\Delta\varphi = L \cdot \Delta_{1,2} = \frac{2\pi}{\lambda} 2(L_1 - L_2) =$$

$$= \frac{4\pi L}{\lambda} (L_1 - L_2)$$

↓ fotona paranje  
od rada interfeometra

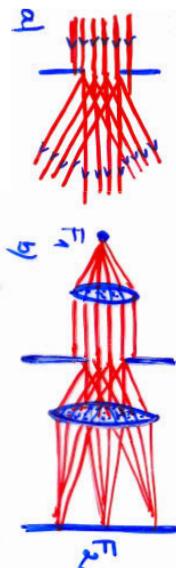
1.

## OG 18 - difrakcija valova

### Snijetasci na putokinama

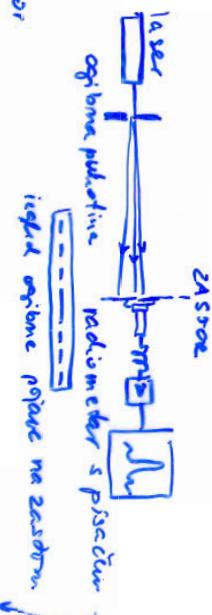
#### ► FRAUNHOFER-ov optib

izvor snijetosti i ujetna promatranja  
ogibne pojave bestonachno udaljeni



prakticna izvedba

izvor i ogibna pojave nalaze se u zavrsnim razinama leća



He-Ne  
laserski izvor  
paralelni snop  
koherentne monod. optike

osjetilje na snagu  
monod. emisije

(prethvara optičku snagu  
u elektricnu)

putokina Široka vrednost valnih duljina glikol  
- ogibne pojave  
povećanjem širine putokine maksimum (za  
čeliči (sve do ogibna pojave postiže maksimum))

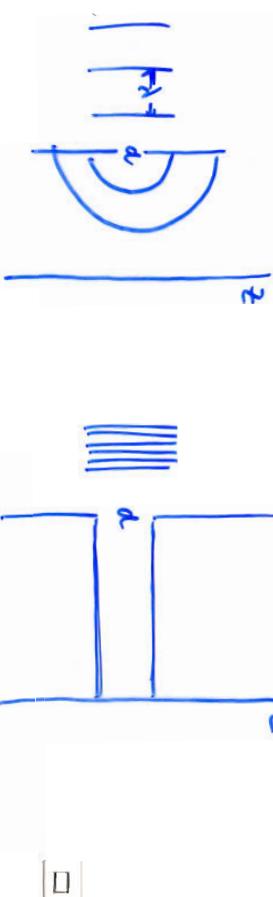


Intensitet pri ogibu na jednoj putokini

- putokina puno uža od  $\lambda$  → tako se svih valova (koji po stupnjima principa nastaju u istoj putokini) u fazi, tj. se u svim smjerovima

→ na zastoru ne vidimo sliku putokine

ogib je potpuno i injektira ispunja cijev prostor između putokina



$d \gg \lambda$  ali se  
ne vidi već samo  
geometrijske  
putokine

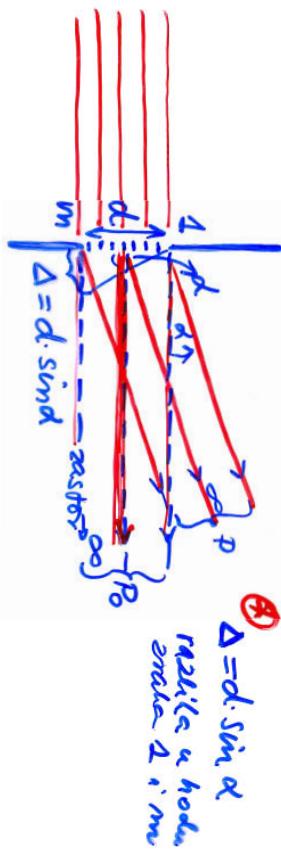
široko prostor ispunjen  
centrum natisnuto

(nema prviog minimuma  
pri  $\sin \theta = \frac{1}{\lambda} > 1$ )

•  $2a \gg d = \lambda \dots$   
elektr. valovi iz putokina  
niste u fazi → pruge  
ogibna kao rezultat njihove  
interferencije

2.

analitičko objašnjenje pojave  
metoda rotacijskih vektora



putokina - pojava na m diplovu

iz svakog dipola pod kutom  $\alpha$  prema smeru  
sugrađenih elementarnih vektorova

amplituda  $E_0$

rezultirajuće amplitude  $E(\alpha)$  u smjeru d

(u smeru  $\alpha$ )  $\Rightarrow$  200% JAVNIH SRVNIH AMPLITUDA

valova koji imaju ogib za kuta  $\alpha$

fazna razlika  $\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \alpha$

DVE susjedne zrake osimost kuta  $\alpha$  imaju  
razliku u fazi

$$\delta = \frac{\Delta}{m} = \frac{d}{m} \sin \alpha$$

$$\text{razliku u fazi } \psi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{d}{m} \sin \alpha$$

3.

RACUNANJE AMPLITUDE (intenzitete)  
metodom rotacionih vektora

- svaka amplituda vala  $\rightarrow$  vektor  $E_0$
- veliki dijel susjednih amplituda zatvaraju  
kut  $\psi$



vektori (amplitude)  $E_0$   
su desno:

$$E(\alpha) = 2r \sin \frac{\phi}{2} = 2r \sin \frac{m\psi}{2}$$

$$\delta = \frac{\Delta}{m} = \frac{d}{m} \sin \alpha$$

$$E(\alpha) = 2r \sin \left( \frac{\pi d \sin \alpha}{\lambda} \right)$$

$$E(\alpha) = \frac{E_0 \sin \left( \frac{\pi d \sin \alpha}{\lambda} \right)}{\sin \left( \frac{\pi d \sin \alpha}{\lambda} \right)}$$

$$\text{učinak } \psi = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{d}{m} \sin \alpha$$

$\otimes$  za zrake koji prolaze kroz putokine NE MREDI

smjer  $\rightarrow$  kuta  $\alpha = 0$

$\Rightarrow$  u velikoj distanciji  $P_0$  ukupna  
amplituda je dvostruko veća

amplituda elementarnih valova

$$E(0) = m E_0$$

$\Rightarrow$  u izraz za ukupnu amplituden (pod pravim  $\alpha$ ):

$$E(\alpha) = E(0) \frac{\sin \left( \frac{\pi d \sin \alpha}{\lambda} \right)}{m \sin \frac{\pi d \sin \alpha}{\lambda}}$$

5.

poležaj potrajanju maksimuma  $\rightarrow$   
 muzec ujet da je derivacija istručitja  
 $\Rightarrow \eta = 0$

$$\frac{dI}{d\frac{\phi}{2}} = 0$$

uvjet za potrajanje maksimum  
 $\Rightarrow d \sin \alpha = \frac{2k \pm 1}{2} \lambda$

$$I = \frac{I_0}{(k \pm \frac{1}{2})^2 \pi^2}$$

malač  
 smaživim se s  
 potrajanjem k

$$k = \pm 1, \pm 2, \dots \quad I = 0,045 I_0; 0,016 I_0; 0,008 I_0 \dots$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} [n \sin(\frac{\pi d}{\lambda n} \sin \alpha)] = ?$$

$$\text{zamjeni } \lim_{x \rightarrow 0} x \cdot \sin\left(\frac{a}{x}\right) = ? \quad \left\{ \begin{array}{l} a = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha \\ x = un \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{1}{y} \\ y = \frac{1}{x} \end{array} \right\} \text{za } x \rightarrow 0 \quad y = \frac{1}{x} \rightarrow y \rightarrow \infty \quad \left\{ \begin{array}{l} a = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha \\ y = un \end{array} \right\}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} x \cdot \sin\left(\frac{a}{x}\right) = \lim_{y \rightarrow 0} \left( \frac{1}{y} \sin a \right) = ?$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{1}{x} \cdot \sin x \right) = a \lim_{x \rightarrow \infty} \left( \frac{\sin x}{x} \right) = a \cdot 1 = a$$

$$\left\{ \lim_{x \rightarrow 0} \left( \frac{\sin x}{x} \right) = 1 \right\}$$

$$\lim_{x \rightarrow \infty} x \cdot \sin\left(\frac{a}{x}\right) = a$$

$$\Rightarrow \lim_{n \rightarrow \infty} [n \cdot \sin\left(\frac{\pi d}{\lambda n} \sin \alpha\right)] = \frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha$$

4.

granici služi  $x \rightarrow \infty \Rightarrow$  maximum

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left[ n \sin \left( \frac{\pi d}{\lambda n} \sin \alpha \right) \right] = \lim_{n \rightarrow \infty} \left( n \frac{\pi d}{\lambda n} \sin \alpha \right)$$

$$= \frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha$$

$$E(\alpha) = E(0) \frac{\sin(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha)}{\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha} = E(0) \frac{\sin \frac{\pi d}{\lambda}}{\frac{\pi d}{\lambda}}$$

$$T \sim E^\epsilon$$

$$I(\alpha) = I_0$$

$$\frac{\sin^2\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right)^2} = I_0 \frac{\sin^2 \frac{\pi d}{\lambda}}{\left(\frac{\pi d}{\lambda}\right)^2}$$

istručit  
 za sinjer d

lukš. minimum ( $I \rightarrow 0$ )

$$\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha = k\pi$$

uvjet za MINIMUM

$$\boxed{d \sin \alpha = k\pi}$$

$$k = \pm 1, \pm 2, \dots$$

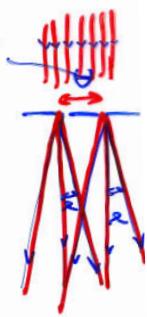
$$k=0 \rightarrow \text{lukš. } \alpha=0 \Rightarrow \text{lukš. ang. } \left( \frac{\sin \frac{\phi}{2}}{\frac{\phi}{2}} \right)_{\frac{\phi}{2}=0} = 1$$

NALJEĆI MAXIMUM istručit je  $I_0$

→ SECONDA DERIVNE SKICE  
 minimum na općoj skici, smjerice  
 od gornjeg max. → potrajanje maksimuma  $\Rightarrow$

## UG/B NA DVE VELVATE

### pukotine



zaučinjeno u  
pokušajima matematičke  
→ pojave minimuma

metuzarnat pukotine  
 $D > d$

- obje pukotine daju ogibne slike  
obje slike padaju zajedno, k due  
ogovarejući par zraka, svaki iz jedne  
pukotine, metuzano interferenciju

Prep: pukotine jednako slike ( $d$ )

- amplituda grupe optičkih je jednaka  
pukotine  $E(\alpha)$

$$E(\alpha) = E(0) \frac{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha}$$

- valovi iz obje pukotine → slike se  
ne razlikuju u boji

$$\Delta = D \sin \alpha$$

$$\text{razlika u boji } \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} D \sin \alpha$$

UKUPNA amplituda  $\Rightarrow$  rotir. vektor:

$$\frac{y}{2} \begin{pmatrix} E(0) \\ E(\alpha) \end{pmatrix} \xrightarrow{E(\alpha) - E(0)} \frac{E(0)}{2} - \frac{E(\alpha)}{2} \quad \text{ZAMENA} \cos \frac{\varphi}{2} = \frac{\sin \varphi}{2 \sin \frac{\varphi}{2}}$$

7.

$$E_D(\alpha) = E(\alpha) \frac{\sin \varphi}{\sin \frac{\varphi}{2}}$$

ampl. u dolici  $\Rightarrow$  u smjeru  $\alpha$

$$E_D(\alpha) = E(0) \frac{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha} \frac{\sin\left(\frac{2\pi D}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\frac{2\pi D}{\lambda} \sin \alpha}$$

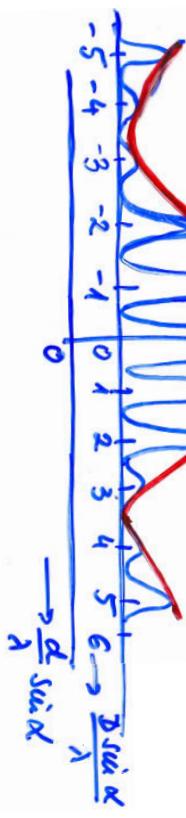
INENARET SVETLA u dolici  $\Rightarrow$  u kvadr. ang.

$$I_D(\alpha) = I_0 \left[ \frac{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\frac{\pi d}{\lambda} \sin \alpha} \right]^2 \left[ \frac{\sin\left(\frac{2\pi D}{\lambda} \sin \alpha\right)}{\frac{2\pi D}{\lambda} \sin \alpha} \right]^2$$

OGIB MA jednoini  
pukotini  $I_D(\alpha)/I_0$   
pod  $\alpha = 2\pi/2$

interferencija  
ognute optičk.  
pod  $\alpha = 2\pi/2$

INTERFERENCIJA



Raznički dobivena proučena karakteristika  
ognute optičke na obje pukotine

8.

### INTERFERENCIJSKA

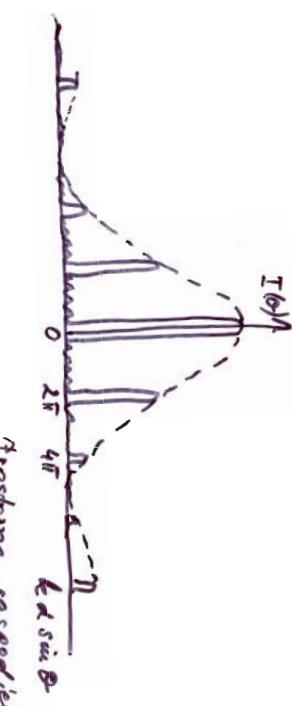
SIKA 1. reda  
(putokina)

INTERF. SIKA  
2. reda  
(interferencija)

$$\begin{aligned} \text{MINIMUM} & \quad d \sin \theta = k\lambda \\ \text{MAXIMUM} & \quad d \sin \theta = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \\ k = \pm 1, \pm 2, \pm 3 & \quad d = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MINIMUM} & \quad d \sin \theta = (2k+1) \frac{\lambda}{2} \\ \text{MAXIMUM} & \quad d \sin \theta = k' \lambda \\ k' = 0, \pm 1, \pm 2 & \quad k' \neq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{MINIMUM} & \quad d \sin \theta = n \lambda \\ \text{MAXIMUM} & \quad d \sin \theta = (n+1) \lambda \end{aligned}$$



INTERF. SIKA  
2. reda  
(interferencija)

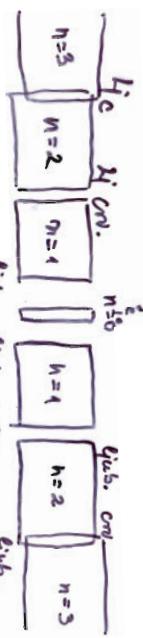
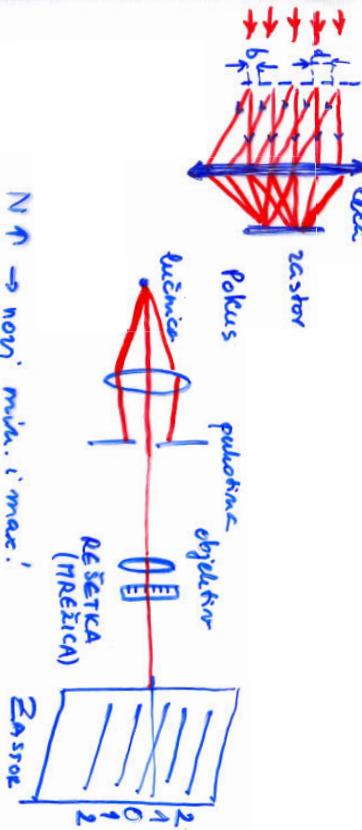
### OPTIČKA REŠETKA

#### SVOJSTVA UVJETI ZA DOBIVANJE SPEKTRA

- optički s više putokina

- u području maksimuma snijeta pri optiku na putokini pojedinačno i nivo max., min. 2608 dodatnih interferencijskih vrata iz više putokina

$N$  velik (broj putokina)  $\Rightarrow$  OPTIČKA REŠETKA



optička rešetka razlikuje razlike u valovim duljinama  $\lambda$  koje potiče može razliki

$\Delta \lambda$  razlike u valovim duljinama  $\lambda$  - koliko je manje razlike u valovim duljinama  $\lambda$  koje potiče može razliki

$\Delta \lambda$  i  $\lambda + \Delta \lambda$  nemoj maksimum m-tog reda. valova definije  $\Delta \lambda$  pa se to je maksimum duljine  $\lambda$  (g. na pri min do top max)

maks. za  $\lambda + \Delta \lambda$ :  $d \sin \theta = m(\lambda + \Delta \lambda)$

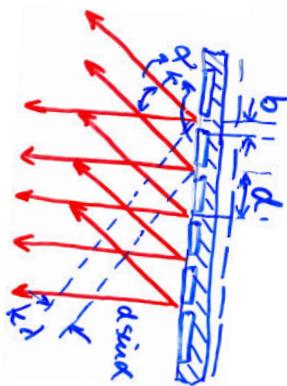
min za  $\lambda$ :  $d \sin \theta = m\lambda + \frac{\Delta \lambda}{N}$

izjednačimo  $\rightarrow$

$N \Delta \lambda$  razlik. proporcionalna  $\frac{1}{\Delta \lambda} = m/N$

broj putokina i reda spektre

9.



Interfijirajuće optike snijeljene pod kutom  $\alpha$

$$I(\alpha) = I_0 \left[ \frac{\sin\left(\frac{2\pi b}{\lambda} \sin\alpha\right)}{\frac{2\pi b}{\lambda} \sin\alpha} \right]^2 \left[ \frac{\sin\left(\frac{2\pi d \sin\alpha}{\lambda}\right)}{\sin\left(\frac{\pi d \sin\alpha}{\lambda}\right)} \right]^2$$

Opće načinjenje: modulacija uveličanja i smanjivanja intenziteta optike povezane s oblikom potonje

svaki faktor posljednje zadovoljava ujetje dobivanje elektromagnetske interferencije u kojem su svaki dva slike u odnosu jedna drugoj

$$\text{CvB: maksimum } b \sin\alpha = (2k'+1) \frac{\lambda}{2} \quad ; \quad \alpha = 0 \\ \text{min } b \sin\alpha = k' \frac{\lambda}{2} \quad ; \quad 2k' + 1 = 1, 3, \dots$$

Brojna potonja

INTERFERER:

$$\text{maksimum } d \sin\alpha_k = k\lambda \quad k = 0, 1, 2, \dots \\ \Rightarrow \text{glavni maksimum: } d \text{ konst. vel.}$$

imeđu 2 glavne maksimume ima  $(N-1)$  minimuma, a između ovih susjednih minimuma se pojavljuje još jedan potonji maksimum.

Uver rane pri interf.

$$d \sin\alpha = (k + \frac{N}{2})\lambda \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

$$; \quad n = 1, 2, 3, \dots N_{\text{min}}$$

10.

## Ned' razdvajavanja rešetke

$$\lambda / d' = \sin\alpha / \text{veličina rešetke} \quad \frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{d'}{d} = \frac{1}{N}$$

red spektra

Moc' razdvajavanja je veća što su poslovne rešetke u veličini dugim koje možemo koristiti manje

- moc' red. veća što je mala k i malo spektra

- u kojem vrijestim možimo

- što je veći broj otvara veća N

## DIFERENCIJALNA (ZAVUČENOST) SPECTRA

$\rightarrow$  mjeri se diferencijalna krozjutina da kroz pozorište tako što raskidat otločnu d' abe te N poziciju

$\rightarrow$  diferencijalno

$$d \sin\alpha = k\lambda$$

$$d \cos\alpha \cdot d\alpha = k \lambda d\alpha$$

$$\frac{dk}{d\alpha} = \frac{k}{d \cos\alpha}$$

raznorednost je veća što je rešetka k manja, što je veći otkorak d' isto je mogu konstanta koju će d

$$\text{Kodno razdvajanje } f = \frac{1}{Nd \cos\alpha}$$

□

4.

## DISTERZIJA : ABSORPCIJA

- indeks lome materijala ovisi o valnoj duljini suklosti (fotonu)

$$\frac{n\lambda - \lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{E_N}$$

$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}$  sto manji broj da se razluči u tolog

d sin alpha = k \* lambda

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{k}{d \sin \alpha}$$

$$d\lambda \rightarrow \delta = \frac{\lambda}{d \cos \alpha} = \int d\lambda = \frac{1}{E_N} \cdot \lambda =$$

$$\delta = \frac{\lambda}{d \cos \alpha} = \frac{\lambda}{d \cos \alpha} \cdot \frac{\lambda}{E_N}$$

□

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

konst. karakteristike za  
pojedinu materijal

► zašto materijal mijenja boju u E\_M vala? i to za razliku od nekih?

E\_M vala  $\rightarrow$  interakcija s elektronom u atomu  
(interakcija  $\rightarrow$  degranu zalog velik mat. indeks  
materijala)  $\rightarrow$  robuduju harmoničke oscilatore!

$\vec{E} = \vec{E}_0 \sin(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t)$  kada interakcija je  
 $\Rightarrow$  izaziva oscilacije u atomu (procesuje  
kvazi-neboja u atomu ne jasno)  
 $\Rightarrow$  atoma: harmonički oscilator koji  
prisilno daje

$\rightarrow$  materijalna pojavica  $\Rightarrow$  prisilne osinaste  
indeks lome o  $\lambda$ ; dogada se  
DISPERZIJA

od neutravnih atoma E\_M ne daje interakciju s

kutko reflektivnosti  
opt. vrste

2.

atom  $\rightarrow$  dipolni moment

$$\mathbf{P} = \rho \cdot \mathbf{a}$$

polarizacija  $\vec{P} = \text{stupni dipolni moment}$   
jedinicu volumena jedinice

$$= N \cdot \vec{p}$$

obj. dipola

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi_e \vec{E} \quad \text{jednost el. polje}$$

diel. veličina  $\chi_e$  el. suscepitibilnost

$$m = \sqrt{1 + \chi_e}$$

$$= \sqrt{1 + \frac{P}{\epsilon_0 E}}$$

u dielektričima elektron u atomu meni  
priklačenom silom koga je u pravu aproksimaciju  
proporcionalna pomaka e i se naziva polarizacija

$$F = -k_e$$

$$\text{akcen. H.O. kori. sila prikr. } u_0 = 2\pi j = \sqrt{\frac{E}{m}}$$

zadnje povećanje silom e  $F = -k_e \delta / m$   
najveće povećanje silom e  $\delta = u_1 + u_2$  ; odnosno  
povećanje u obliku  $\propto \frac{1}{m}$

$$\boxed{\delta = u_1 + u_2}$$

$$n = \frac{c}{v} = \frac{1/E}{E_0/m} = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}$$



OPT. PRIZMA - projek sijeklosti  
objektični su glavni  
projekt TROKUT  
A lomni kut prizme  
promatranu monodromu cikluse  
optike

$$\delta_1 = u_1 - l_1 \quad \text{devijacija uspravne zrake}$$

$$\delta_2 = u_2 - l_2$$

ukupna devijacija

$$\delta_1 + \delta_2 = \delta = u_1 + u_2 - (l_1 + l_2)$$

za prizmu mijedi  $A = l_1 + l_2$  (najveći kut vrlo je  
tako da bočnjica prizma je stabla srednja s  
objektivne i objektivne strane prizme)  
A je varijabilni kut cikluse (objektivne i  
objektivne strane prizme)  $l_1 + l_2 = A = \text{konstanta}$

za snaku slijedi kut  $l_1 + l_2 = A = \text{konstanta}$

$$\boxed{\delta = u_1 + u_2 - A}$$

MINIMUM devijacije postiže se za  $u_1 = u_2$  tj.

devijacija ima najmanju vrijednost kad  
je podaci slike slijestiti kroz prizmu simetričnu

$$\frac{d\delta}{du_1} = 0$$

$$\tau = N \cdot e^2$$

$$\boxed{n^2 = \frac{\epsilon_0 E_0 e^{i\omega t}}{m(\omega_0^2 - \omega^2 + i\delta\omega)}} \Rightarrow \boxed{n^2 = 1 + \frac{N e^2}{m(\omega_0^2 - \omega^2 + i\delta\omega)}}$$

2.

pozorností dve rychlosti kde je  $\mu_1$

$$\frac{ds}{du_1} = 1 + \frac{du_2}{du_1} \quad (i.e. s = u_1 + u_2 - A)$$

$\mu_2$  bude rovnat' puto  $u_2 \Rightarrow$  Snellova zákon  
Než  $\rho_1 < \mu_1$  a  $\rho_2 > \mu_2$  nesmí být  $\rho_1 + \rho_2 = A$

$$\sin \mu_1 = m \sin \rho_1$$

$$\rho_1 + \rho_2 = A$$

$$m \rho_2 = \sin \mu_2$$

demonstrace pro  $\mu_1$

$$(1) \cos \mu_1 = m \cos \rho_1 \frac{du}{du_1}$$

$$(2) \frac{du_1}{du_1} + \frac{du_2}{du_1} = 0$$

$$(3) m \cos \rho_2 \frac{du_2}{du_1} = \cos \mu_2 \frac{du_2}{du_1} \Rightarrow i.e. (3)$$

$$\frac{du_2}{du_1} = m \frac{\cos \rho_2}{\cos \mu_1} \frac{du_2}{du_1} \quad i.e. (2) eliminace$$

$$\frac{du_2}{du_1} = -m \frac{\cos \rho_2}{\cos \mu_1} \frac{du_1}{du_1} \quad \text{pozor na (1) eliminaci}$$

$$\frac{d^2s}{du_1^2} \geq 0$$

$$\frac{d^2s}{du_1^2} = -\frac{\cos \mu_1 \cos \rho_2}{\cos \rho_1 \cos \mu_2}$$

$$u \text{ stojí v minima } \frac{ds}{du_1} = 0 \quad i.e. \frac{du_2}{du_1} = -1$$

3.

a. elatum projek.

$$\frac{\cos \rho_2 \cos \mu_1}{\cos \mu_1 \cos \rho_1} = 1$$

$\rho_1 < \rho_2$  eliminace pomoci Snellova zákona  
za první, druhé totu.

$$\cos \rho_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \rho_1} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \mu_1}{m^2}}$$

$$\cos \rho_2 = \sqrt{1 - \sin^2 \rho_2} = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \mu_2}{m^2}}$$

uvažme pro

$$\frac{\cos^2 \mu_1}{m^2 - \sin^2 \mu_1} = \frac{\cos^2 \mu_2}{m^2 - \sin^2 \mu_2}$$

$$\frac{1 - \sin^2 \mu_1}{m^2 - \sin^2 \mu_1} = \frac{1 - \sin^2 \mu_2}{m^2 - \sin^2 \mu_2}$$

$$(m^2 - 1)(\sin^2 \mu_2 - \sin^2 \mu_1) = 0$$

$$m > 1 \Rightarrow \sin^2 \mu_2 - \sin^2 \mu_1 = 0$$

$$\boxed{\mu_2 = \mu_1}$$

pohledem jde o elatum minimum

$$\frac{d^2s}{du_1^2} > 0$$

uvažme následn. když přejde  $\frac{ds}{du_1} = 0$

$$\text{nejdele } \mu_1 \quad (a) \frac{ds}{du_1} = 1 + \frac{du_2}{du_1}, \quad (b) \frac{du_1}{du_1} + \frac{du_2}{du_1} = 0$$

$$(c) \frac{du_2}{du_1} = -\cos \mu_1 \cos \rho_2 / \cos \rho_1 \cos \mu_2$$

4.

sljedeći

$$\frac{d^2 S}{du_1^2} = \frac{d^2 u_2}{du_1^2}$$

iz ④

$$\frac{d^2 u_2}{du_1^2} \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 - \frac{du_2}{du_1} \frac{d\varphi_1}{du_1} \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 -$$

$$- \left( \frac{du_2}{du_1} \right)^2 \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 = \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 - \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 \frac{d\varphi_2}{du_1}$$

$$\frac{du_2}{du_1} = -1 \quad \mu_1 = u_2 \quad \varphi_1 = \varphi_2 \quad \text{za elastiku}$$

$$\frac{d^2 u_2}{du_1^2} \cos \varphi_1 \cos \varphi_1 + \frac{d\varphi_1}{du_1} \sin \varphi_1 \cos \varphi_1 - \cos \varphi_1 \sin \varphi_1$$

$$= \cos \varphi_1 \sin \varphi_2 - \sin \varphi_1 \cos \varphi_2 \frac{d\varphi_1}{du_1}$$

$$\text{daje } \frac{d^2 u_2}{du_1^2} = 2 \operatorname{tg} \varphi_1 - 2 \operatorname{tg} \varphi_1 \frac{d\varphi_1}{du_1}$$

$$\varphi_1 > 1 \quad 0 < \varphi_1 < 90^\circ \quad \text{Smaller 2.} \Rightarrow \varphi_1 > \varphi_2$$

$\varphi_1 > 1$   $0 < \varphi_1 < 90^\circ$  Smaller 2.  $\Rightarrow \varphi_1 > \varphi_2$

A i S nu mogu se nelo dobro izvoditi (genovac)

$$\Rightarrow \text{obdelimo } \mu$$

$$\boxed{m = \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}}$$

□

5.

► Odredivanje indeksa leme

derivacija vrake spjetnosti leme na minimum  
minimum, ako je prolaz vrake kroz prizmu  
simetričan

$$\delta_{\min} = 2 \varphi_1 - A$$

$$A = 2 \varphi_1$$

izračunavamo  $\mu_1$  i  $\varphi_1$ 

$$\mu_1 = \frac{1}{2} (\delta_{\min} + A)$$

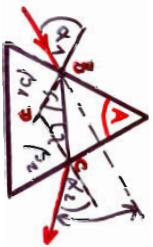
$$\varphi_1 = \frac{A}{2}$$

u smaller režimu

□

### Zadatak

Na prizmu i vodljivoj lini 1,5 i svjetlost pod  
 $A = 40^\circ$  pada zraka sraselje svjetlosti pod  
 $\alpha_1 = 45^\circ$ . Izracunati indeks svjetlosti denjajuće zrake.



$$\sin \beta_1 = \frac{1}{m} \cdot \sin \alpha_1$$

$$\alpha_1 = 28,13^\circ$$

u trokutu DBC imamo  $\beta_1 + \beta_2 + (180^\circ - A) = 180^\circ$  t.j.

$$\beta_1 + \beta_2 + (180^\circ - 40^\circ) = 180^\circ$$

$$\beta_2 = A - \beta_1 = 11,87^\circ$$

(magnitudo pravilnosti  $\beta_2 = \arcsin \frac{1}{m} = 41,81^\circ$ ) pa

zrakost i zrak iz prizme

Sneller zrak  $\Rightarrow \beta_2$

$$\alpha_2 = \arcsin (m \cdot \sin \beta_2) = 17,38^\circ$$

□

Difrakcija malom prugom lomu

$$\delta_1 = \alpha_1 - \beta_1 = 16,87^\circ, \text{ malom}$$

$$\text{dugos loma } S_2 = \alpha_2 - \beta_2 = 6,10^\circ$$

$$S = \delta_1 + \delta_2 = 22,97^\circ$$

m lako je za

polimethylmethacrylate

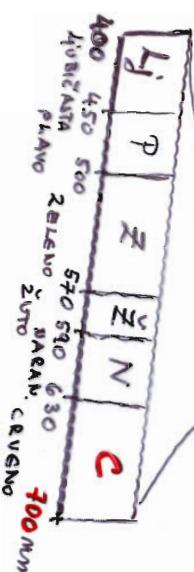
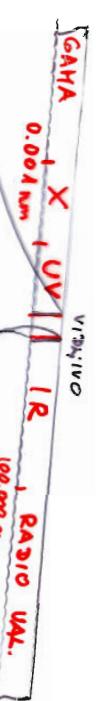
### DISPERZIJA ili RASAP

#### SVJETLOST

Neutraalne delecije proučavaju  
 LOM nisebojne svjetlosti kroz prizmu

(zrakost zraku rasap po svjetlu difracijom)

Neutraalne prizme da prizma može razlikovati  
 svjetlu svjetlosti u spektaru dok druga prizma  
 obrotnu okrenuta može da razlikuje  
 svjetlost, spektar svjetla u bijelu svjetlosti



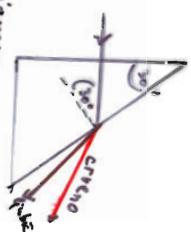
voda, staklo, prizme plastične, tvore

→ disperziju materijala:



Aljament:

- velik indeks lomne,  
 velika disperzija,



1.

## BOTIROV MODEL ATOMA

Postulati:

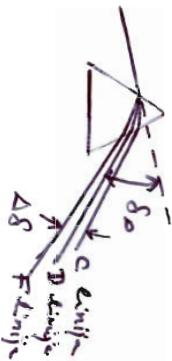
- e ne može knuti po viso kori u
- ne samo točno određenim Kvantizirani stazama (dopušteći i stacionarne)
- e ne gubi E zračenjem

pokus  
- spesialna pozicija pozivni od raznih materijala  
(zvaka, kremko + vodica, telo flintovo vodilo)  
za nju u spesial - vel. otloku i sivoru

da bi keravici osebine metog spesiala:  
velicina otloka (konjicija)  
sivina sprave (dispersija)

(radički boje se razlikuju zato se odatle D-linija - žuta naravnova svjetlost = n  
njeni dejanje)

MERA dejanje je otloku koji primore dobiti žuka matijeva svjetlost =  $\delta_0$



STIRINA SPECTRA ili DISPERZIJA mjeni se kada su  
sdo ga čine crvena svjetlost i zelenomodra  
(uklm. daju aranu boju)

$L = \lambda_m m e v_m = n \cdot t$   
 $Q \bar{t} r_m m e v_m = n \cdot h$

- kvantizirano gibanje e
- $n = 1, 2, 3, \dots$  glavni kvantni broj
- Atom znači da gospodira energije (kretanje) i  
pri prelazu e iz jedne staze u drugu

$$\hbar \nu = E_m - E_n \Rightarrow \nu = \frac{E_m - E_n}{\hbar}$$

pri kretanju e iz staze europe  $E_m$  ka stazi  $E_n$   
zrači ili apsorbiše foton foton.

2.

## ENERGUSKA STANIA ATOMA RADIALNA

$$r_n = ?$$

$$N_n = ?$$

$$E_n = ?$$

Prep. stara e kružnice; Coulombova sila zájazda  
prostředí výšky

$$1) \quad \frac{m_e r_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2}$$

na určit  $\lambda = r_n m_e v_n = n \cdot \lambda_0$

$$2) \quad r_n = m_e \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 e^2} \quad m = 1, 2, \dots$$

$n=1$  — první staza  
 $n>2$  — další podledeň staza

$$r_1 = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 e^2} = 0,53 \text{ nm}$$

$$1):2) \Rightarrow r_n = \frac{1}{n} \frac{e^2}{2\varepsilon_0 e^2} \quad n=1 \quad r_1 \sim \frac{e^2}{137}$$

$$E = E_K + E_P$$

$$E_K = \frac{1}{2} m_e v_n^2 \leftarrow \text{na } m \rightarrow \text{jednotky}$$

3.

$$E_K = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_n^2} = \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 m e h^2}$$

$$E_P = \int_{\infty}^{r_n} F dr = \int_{\infty}^{r_n} \left( -\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} dr \right) = \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r_n} - \frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 r}$$

$$E_P = -\frac{m_e e^4}{4\varepsilon_0^2 m^2 h^2}$$

$$\boxed{E = -\frac{1}{m_e} \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2}} \quad n=1, 2, \dots$$

$$E_1 = -13,6 \text{ eV}$$

energija rezonanční  
v elektrickém poli

$$E_2 \approx -\frac{13,6}{4} \text{ eV} = -3,4 \text{ eV}$$

energija ionizace

$$E_2 \approx -\frac{13,6}{4} \text{ eV} = -3,4 \text{ eV}$$

dopustitelní minimální

rezonanční a atomové možnosti sítě  
distanční rezonanční energie  
namale se srovnávají s  $\frac{1}{n^2}$

$$-5 \quad n=2$$

(2. Bohrovu

postulát)

$$h\nu = E_{n_2} - E_{n_1} \quad -10$$

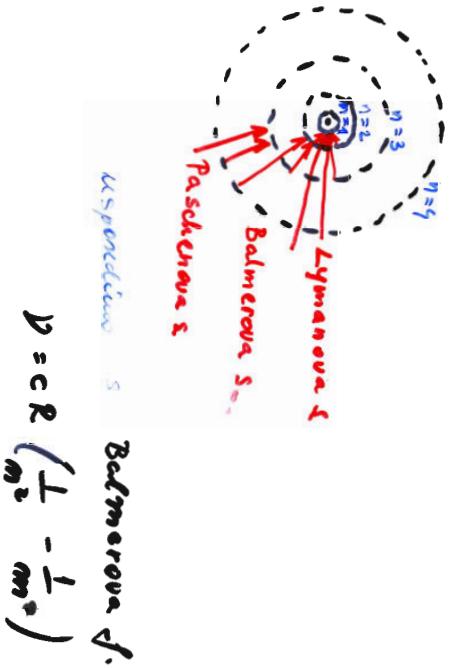
$$= \frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$R \quad E_1 = -13,6 \text{ eV} \quad n=1$$

## FRANCK - HERTZOV eksperiment

1914. eksperimentalno potvrdili da odredeni energ. nivoi u atomu postoji i da je Bohrov stojila operacija

- atome žive bombardirati.



Usporedjivo s

Balmerova s.

$$\nu = cR \left( \frac{1}{m_2^2} - \frac{1}{m_3^2} \right)$$

$$R = 1.09 \cdot 10^9 \text{ m}$$

cep i teoriji vrijednost - slaganje!

Bohr - ne može objasniti fine strukture

tinjir, učinak el. polja na krajnje slike  
staza učinak el. polja na krajnje slike

- ne može objasniti spure alkohola

elemente

- I. Bohrov postulat - razumljivo preko vlastiće perioda e

e - val koji putuje oko cijele  $\rightarrow$  postoji još četiri samo na osim stazama na kojima se i ne poistavlja. dojima staze:

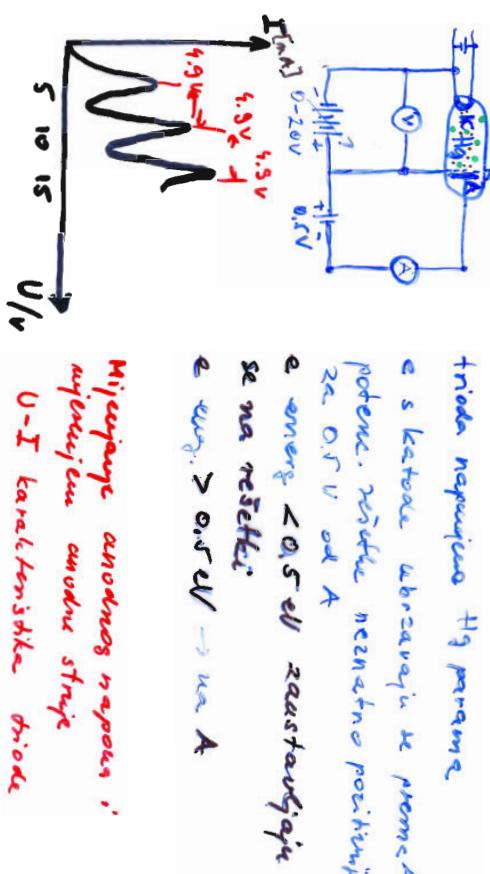
$$2\pi R \bar{n} = m \lambda$$

$$2\pi R \bar{n} = m \frac{\lambda}{\bar{n}}$$

$$= D \bar{P} r = L = m \frac{\hbar}{2\pi} = m \cdot \bar{k}$$

dopuštene su one staze ma kojima postoji stojni val elektrona

Schrödinger - valna mehanika razmisljaju održati putanje e u atomu - ona je posebnovalno - čini pravde



□

1) 0 - 4.9 V I raste (e skupljaju na A)

2) Napon do 4.9 V unadan u struju smjer (a Reichtle poveća)

3) Napon raste  $\rightarrow$  I raste ne dok napon na dosegne 9.8 V

$$\Rightarrow E_m \propto M^2 \text{ kvantizirani}$$

1) U manji od 4.9 V e u cijeli ne nisu E potonuli za posudjivanje e u atomu  $H_2$ ; samo elastično sudari s atomima (kao mace u materici) ne

pudrjenje (struja raste s naponom)  $\Delta E = \frac{q^2 M^2 E}{M^2 + q^2}$  e "čist" strujni napon ne mijenja niti

□



2)  $\text{L} = \frac{1}{2} \text{GeV} \rightarrow$  pobudi atom Hg

$E_{\text{Hg}} = -5,54 \text{ eV}$  u tom vekr. sadam je i razbiti energ.

$E_C = -10,42 \text{ eV}$  usponi, e ne protje kroz R

$E_{\text{Hg}}/E_C = \frac{1}{2}$ , jer je anotra I slabi

$\lambda = \frac{\lambda_0}{E} = 253,6 \text{ nm}$

pr. nagona

$e^- \text{ s} \frac{1}{2} \text{GeV} \rightarrow e^- \text{ sposoben iznici} \rightarrow$

z nečekat. sudara

$\rightarrow$  drugi minim

ATOM  $Hg^{+2}$  je osnovnoj mreži približi u obudenoj stanju primijesiti samo

određen kvant energije

pobudeni atom  $Hg^{+2}$  može se u osnovno stanje emisijom fotona

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

ULTRAČUVIĆASTA ZIVINA LINIJE

$$\lambda = 253,7 \text{ nm}$$

$\rightarrow$  tu liniju produžita je Belova form.

$$\lambda' = \frac{E_2 - E_1}{h} = \frac{1,5 \text{ eV}}{h} = 1,49 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$\lambda' = \frac{c}{\nu} = 253 \text{ nm}$$



u. 1

IZVOD: izlazi foton (st. 1)

Količina gibanja im je horizont. i vertikal. kompo-

$$P'_F h = \frac{h}{\lambda'} \cos \theta \quad P'_R h = \frac{h}{\lambda'} \sin \theta$$

elektron  $P_e = \gamma m_e c$  (najviše sudara) prije: minuti  $\rightarrow$  ee. mirovanje

$$P_{eh} = \gamma m_e c \cos \phi$$

$$P_{er} = -\gamma m_e c \sin \phi$$

$$2SE \Rightarrow \bullet \frac{h c}{\lambda} + mc^2 = \frac{h c}{\lambda'} + \gamma m_e c^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma m_e c^2 = E_k + mc^2 \Rightarrow \text{ukupna energija e} \\ \end{array} \right\}$$

### Comptonov efekt

• raspršenje visokih energ. (x ili dr. zrake) na ugljenku

$\rightarrow$  u raspršenim valovima okvir originalne frekvencije (velike dežine) javlja se komponente male razlike od frekv. upadne

svjetlosti

$\rightarrow$  ponat u u razlikom od  $\lambda$  upadne svjetlosti od vrste materijala

1923. Compton  $\rightarrow$  [foton] energije  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$  koljene fibanje  $p = \frac{E}{c} = \frac{hc}{\lambda}$

$$\Rightarrow \Delta \lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta)$$

kut raspršenja  
(ulazni fotoni)  
 $\lambda'$  valna dežina  
raspršenog fotona

IZVOD: izlazi foton (st. 1)

Količina gibanja im je horizont. i vertikal. kompo-

$$P'_F h = \frac{h}{\lambda'} \cos \theta \quad P'_R h = \frac{h}{\lambda'} \sin \theta$$

elektron  $P_e = \gamma m_e c$  (najviše sudara) prije: minuti  $\rightarrow$  ee. mirovanje

$$P_{eh} = \gamma m_e c \cos \phi$$

$$P_{er} = -\gamma m_e c \sin \phi$$

$$2SE \Rightarrow \bullet \frac{h c}{\lambda} + mc^2 = \frac{h c}{\lambda'} + \gamma m_e c^2$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma m_e c^2 = E_k + mc^2 \Rightarrow \text{ukupna energija e} \\ \end{array} \right\}$$

2 SKG: horizontalka kugla:

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos \theta + \delta^* m v \cos \phi$$

$$\text{vertikala } 0 = \frac{h}{\lambda'} \sin \theta - \delta^* m v \sin \phi$$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{članovi s } \phi \text{ na jednu stranu i ljudnici su } \\ \text{vježbalički} \end{array} \right.$

$$1) \frac{h^2}{\lambda^2} + \frac{h^2}{\lambda'^2} - \frac{2h^2}{\lambda' \lambda} \cos \theta = \delta^* m^2 v^2$$

$\rightarrow 2SE$ , konzervativno

$$\frac{h^2}{\lambda^2} + \frac{h^2}{\lambda'^2} - \frac{2h^2}{\lambda \lambda'} + 2mch \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda'} \right) + m^2 c^2 = \delta^* m^2 v^2$$

$$2) \frac{h^2}{\lambda^2} + \frac{h^2}{\lambda'^2} - \frac{2h^2}{\lambda' \lambda} + \frac{2mch}{\lambda \lambda'} (\lambda - \lambda') = \delta^* m^2 v^2$$

od 2) odvrememo 1)

$$\lambda' - \lambda = \Delta \lambda = \frac{h}{m c} (1 - \cos \theta) \rightarrow \text{kut između}$$

valna d. raspršenog i upadnog f. valna d. upadnog dobara raspršenog f.

upadnog i raspršenog f.

$\lambda_c = \frac{h}{m c}$

Comptonova valna duljina velika

Serie spektrografske linije vodika u ostalim dijelima

Ljumos-ova serija (poseću u UV)

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \quad n=2,3,4,\dots$$

$$\text{Paschenova serija (u IR)} \quad \frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \quad m=4,1,6,\dots$$

$$\text{Brackettova} \quad \frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) \quad m=1,6,\dots$$

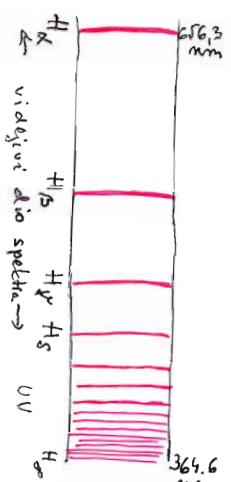
## LINIJSKI SPEKTRI

emisija svjetlosti

- Čvrsta tijela i plinovi pri visokim tlakovima i temperaturama
- KONTINUIRANI SPEKTRI
- atomi razrijeđenih plinova i para metala, pobudeni el.strujom ili grijanjem
- Srednjost sastavljena od valova određenih valinih d.

### LINIJSKI SPEKTRI

LINIJSKI SPEKTRAR VODIKA - opažen krajem 19. st.



BALMER-ova serija  
spektrografske linije  
atomskog vodika

Johann Balmer (1825.-1898) Švicarski znanstvenik - 1885: jednostavne empirische relacije formule (individi dio)

korakno opisuje regularnost spektra

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

$$n=3 \rightarrow \lambda = 656,3 \text{ nm}$$

$$n=4 \rightarrow \lambda = 486,1 \text{ nm}$$

$$n=5 \rightarrow \lambda = 434,1 \text{ nm}$$

$$n=6 \rightarrow \lambda = 410,1 \text{ nm}$$

$$n=7 \rightarrow \lambda = 364,6 \text{ nm}$$

$$R_H = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$$

$$\text{Rydberg-ova konst.}$$

→ limit script  $\lambda = 364,6 \text{ nm}$

100

pasudnica

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left( \frac{1}{n_f} - \frac{1}{n_i} \right)$$

+ generalizacija

$n_f = 1$   
 $n_f = 2$   
 $\vdots$   
 Lymanova serija  
 Balmerova

↓

→ model atoma (struktura)?

uspešan model mora dati išpravu i SAMO eksperimentalno udovoljene valne dužine linijskog spektra atoma

1913. Niels Bohr → model atoma vodika, (rodjen Kad: Balmerova formula.)

Poteklašćena seka → uvođi kvantnu teoriju

- prije → Thomsonov model: "padanjem sa šljivama" jeferne pozitivna tvar (≈ 10-10 m) u koju se urojeno je raspršuje a ne tankoj metalnoj foliji?



H. Geiger i Marsden 1909 uz pomoć E. Rutherforda:

"it was almost as incredible as if you fired a 15-inch shell at a piece

(veličine žigla i posoda) of tissue paper and it came back and hit you."

- padnjem naboj mora biti koncentriiran na vrlo male dimenzije

• RUTHERFORDOV nuklearni model atoma: "sva masa atoma koncentrirana u jednu točku u centru atoma"

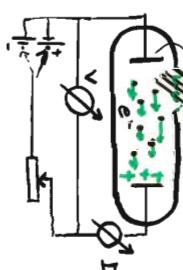
Atome

$$\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad a = \frac{e^2}{r}, \quad e = m c^2 /$$

## FOTOEFEKT

1.

foto-katoda

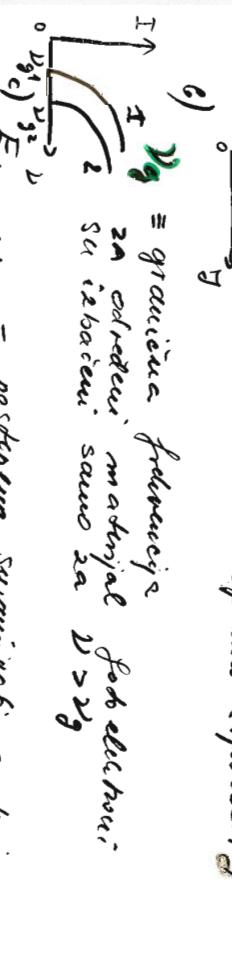


1888. W. Hallwachs

- fotoefekt

metali i spuštanje - nekaje kad ih se osnijeti.

- a) ako se  $V_0$  ne mijenja, stalni napon  $V$  izvora struje  $I \propto$  konstantno  
- upadne efektoški?



$I = I_{max} e^{-\alpha(V-V_0)}$

$I_{max}$  = granicna frekvencija za određeni materijal foto elektroni

za izbacenu su u  $V > V_0$

$\alpha$  = postupno smanjivanje na anodi

$\alpha = V = 0$  → slike fizice struje

Brojne - postupno u boji (iz katoda) =

prostire dolaze do anode,

za vrijeme strujni kruž

povećava se - nabor na anodi →

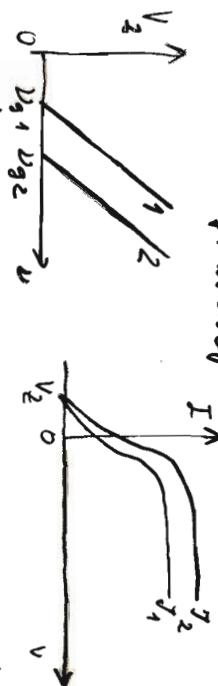
do anode struje "majevenergetski" e (dovezno boke)

Najmanja različita potencijala između katoda i anode uspije projicirati "majevenergetsku" e  
= ZAVRŠNI NAPON  $V_2$

2.

$$E_{k \max} = \frac{mc^2}{2} = e \cdot V_2$$

pokus:  $V_2$  ne ovisi o intensitetu niti o frekvenciji



d) smanjujuće intenzitete na krajnje male vrijednosti  $\rightarrow$  e izbaceni, prostirajući se  
 $E_{kin maks}$ ! (kao i za velike intenzitete)

### EINSTENOVA TEORIJA fotoefekta

pokus Planckova hipoteza o kvantizaciji energije svjetlosti.

- Svetlost prenosi energiju u kvantima  $E_\nu = h \nu$

$$E_\nu = h \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$\Delta E_\nu = W + E_k$$

$$h \nu_g = W$$

$$h \cdot (\nu - \nu_g) = E_{k \max}$$

3.

### RENDGENSKO ZRAĆENJE

1895. C.W. Röntgen - X zrake

$$\begin{aligned} E_{\text{pot}} &= 10^2 - 10^6 \text{ eV} \\ \lambda &= 0,001 - 10 \text{ nm} \end{aligned}$$

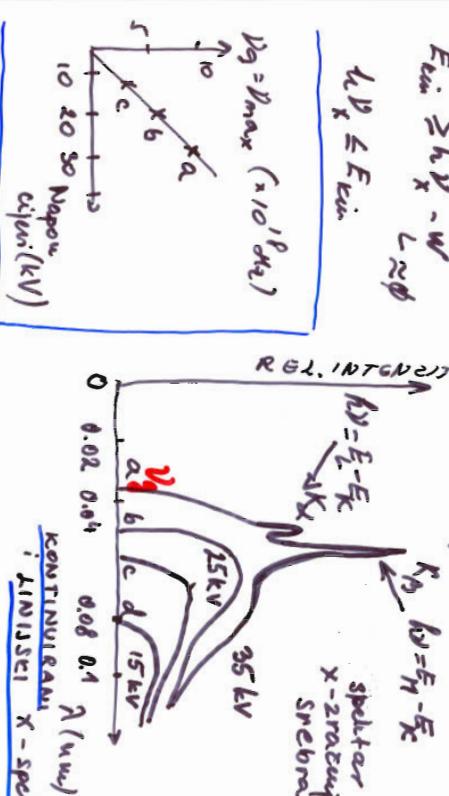
ubrani:  $V = 10^4$  do  $10^6$  V

#### Rendgenska cijev:

broj e udarajućih na anodu od vafrauma: CHISIJA X-zraka

$$\begin{aligned} E_{\text{kin}} &\geq h \nu_x - W \\ L &\approx 0 \\ h \nu_x &\leq E_{\text{kin}} \end{aligned}$$

$$h \nu = h \nu_{\max} (\approx 10^{19} \text{ Hz})$$



$\nu_g \rightarrow$  nastali fotoni ne mogu imati veći  $E_k$  upadnoj e

ubrzavajući se između katode i anode (pot.  $V$ )

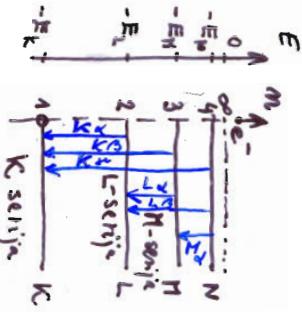
$E_k$  neposredno prije udara u anodu:  $eV$

$$h \nu_g = eV \quad \lambda_g = \frac{c}{\nu_g} = \frac{h \cdot c}{eV}$$

$$\text{opr. } 100 \text{ kV} \quad \lambda_g = 0,012 \text{ nm}$$

g.

E



linije koje odgovaraju  
prilazak u načinu

1913. G. K. Mosley - preciznac rednjegene spektre

veličina ovisnosti valne duljine

spektrenih linija o rednom broju  
elementa od kojih je napravljena  
metra

Spektrom su po svojoj strukturi za sve elemente  
jednaki, samo se valne duljine pojedinih  
linija smanjuju s porastom rednog broja

empirijski:  $k_\alpha$  - (za elemente stari od Na)

$$\nu = c R \left( z - a \right)^2 \left( \frac{1}{l_1^2} - \frac{1}{l_2^2} \right) \quad \begin{array}{l} \text{najlo} \\ \text{raspolo} \\ \text{srednji} \\ \text{brojni} \end{array}$$

$$K \text{ serija} \quad \nu = c R \left( \frac{1}{l_1^2} - \frac{1}{a^2} \right) \left( z - a \right)^2 \quad \begin{array}{l} a = 1 \text{ za } k \\ \text{starije} \end{array}$$

- $z \rightarrow L$  nastaju L linije
- (e u pogin još je različica)
- $a \rightarrow L$  linije, i  $L^2$  a k
- = slatini, nabor ( $z - 1,4$ ) e

slatini nabor  $z(z-1)$  (jedan e u k čemu)

## DIFRAKCIJA X - zraka

$$\lambda \sim 10^{-10} \text{ m}$$

difrakcija na kristalima



$$2d \sin \theta = n\lambda$$

## RELACIJE NEODREĐENOSTI

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar t$$

$$\Delta p_x \geq \frac{\hbar}{\Delta x}$$

1927. W. Heisenberg

## VALNA PRIRODA ČESTICA

- stanje čestice : energija gibanja  
kolitetska gibanja

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = p' mc^2 \quad ; \quad p = \sqrt{\frac{mv^2}{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma mv$$

$$\frac{E^2}{c^2} - p^2 = m^2 c^2$$

foton

$$E = h\nu$$

$$\nu = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

EH valovi  $\rightarrow$  dualne prirode

Da li su čestice dualne prirode? Pouštaju li se u međim okolnostima kao valovi?

Louis de Broglie 1924.

*Giba osim čestičnih imaju valna  
pojavljivanja*

- potrebito eksperiment.

$$\gamma' mc^2 = \hbar\nu$$

$$\gamma' m\nu = \frac{h}{\lambda} \quad \lambda \equiv \text{de Broglieva valna d.}$$

MATERIJA je DURNE PRRODE

svakoj čestici propada odgovarajući val

u relativističkoj optičkoj mehanički val  
čestica kinetička energija  $E_k$  je

$$\lambda = \frac{h}{m\nu}$$

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2mE_k}} \quad E_k = \frac{mv^2}{2}$$

• Davisson i Germer - opazili difraciju

elektrona pri raspršenju niske energije  
elektrona na kristalima medala

G. P. Thomson (sin J. J. Thomsonea koji je  
1897. izmjerio specifičnu masu jedne  
elektrona)

- pokazao da se elektroni raspisuju kao valovi  
Kristalnoj rešetki raspisuju kao valovi  
DOKAZAO da je u približenju imaju  
valna svojstva

## DIFRAKCIJA ELEKTRONA

Davison i Germer - raspršenje e na kristalu  
Thomson - e kroz danke listice (zlatu)

→ difrakcijski kolobari

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad n = 1, 2, \dots$$

valovi u fazu → maksimum

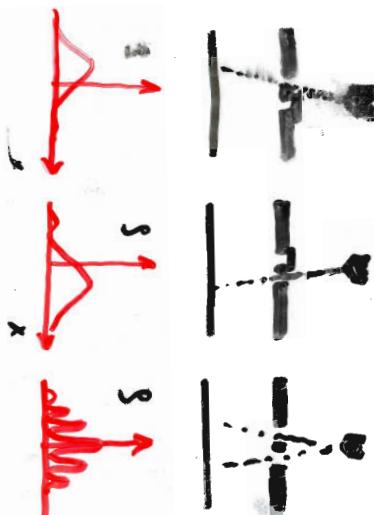
$$\exp: \lambda = \frac{2d \sin \alpha}{n} = 1.65 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$

$$\text{za nikak } d = 9.1 \cdot 10^{-11} \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \theta &= 65^\circ \\ E &= 55 \text{ eV} \end{aligned}$$

De Broglieova relacija

$$\lambda = \frac{h}{p} = 1.67 \cdot 10^{-10} \text{ m}$$



$$y = \psi^2$$

*amplituda  
vjerojatnost*

## POKARIZACIJA - SKRETOSTI

Sjeklost: Trajau razulni EM val  
smjer vibracija atomit na smjer sile

• Z - Super sileva vala  
el. poje može vibrirati u vito kojem smjeru  
u ravnini okončava se

VAL u kojem  $\vec{E}$  ima STAVNI SMER VIBRANJA  
OKONČA NA SMER SILEVA VALA  $\equiv$  LINEARNO  
 $\vec{E}$  POLARIZIRANI VAL (RAVNO)

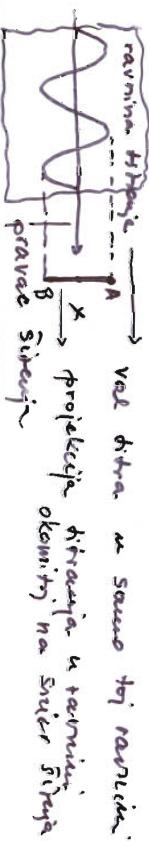
• ravna definirana vektorom  $\vec{E}$ , smjerom  
sileva zove se RAVNA POLARIZACIJE

↓  
- pri silevi definisani nazivci dio medijelovanja  
s precinim redstvom otpada na el. komponentu  
poja

$$\vec{E}(t, x) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kx)$$

vel je sileva u x smjeru, a  
el. poje  $E_0$  vrednost amplitude  $E_0$

lata u y smjeru  
vrh el. veličine u ravnini okončnosti na  
suje sileva  $E_0$  velik opisuje devinu  
delegne  $\angle E_0$  (i  $\phi$  do  $E_0$ )



ravnina vibracija → val dira u samo tri ravnine  
pravac sileva → projekcija vibracija u ravnini  
vjerojatnost

2.

- TV antena - emitira polarizirane valove  
neime svjetlosnih izvora - svijetlo nije  
polarizirano

- Prirodno svjetlo

- sastoji se od EM valova čiji  
se smjeri  $\vec{E}$  kaoticno  
raspršuju i istražuju u svim  
mogućim sujerovanima

atomi  $\rightarrow$  curenje ( $10^{-8} \text{ s}$ )

- mnoštvo atoma  $\rightarrow$  polarizacija se stalno  
 mijenja  $\Rightarrow$  NEPOLARIZIRANO SVJETLO



- u nepolariziranom EM valu  $\vec{E}$  titra u  
svim smjerovima okomitim na smjer  
strojne vala (u linearno polariziranim  
valu samo u jednom smjeru)

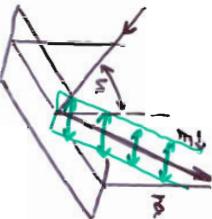
□

3.

- Naciši da od nepolarizirane dobjeme  
polariziranu svjetlost:

- REFLEKSIJA - priroda svjetlosti pada na  
granicu propinog materijala;

- za određeni ugao kut upadne  
svjetlosti reflektirana zraka je  
polarizirana tako da je smjer  
polarizacije okomit na ravninu refleksije



- RASPRŠENJE - svjetlost se pri raspršenju ne  
molekulama zraka, vodenog par,  
i prasini polarizira.

- vaci se raspršuje svjetlost malih valova  
dužina (ljubičasta, plava)

□

- DVOLOM - priroda svjetlosti pada na  
granicu netih kristala (kuar, kvarc, itd.), lomi se tako da će  
jedne upadne  $\rightarrow$  dije crte  
redoma; izvanredna

- neizotropni kristali (omame ovi su redoslijed)

□

4.

izravnjena i redoma zraka - polarizirane  
zrake da su uim RAVNINE POLARIZACIJE  
NEUSOZNO okonite

#### DIKROIJA (selektivna apsorpcija) -

prirodna snijekost pada na neke  
dvije kristale - oni mogu jenku  
zraku apsorbirati, drugu propustiti

$\Rightarrow$  dikroizam (svjetlo kristala P)

najpoznatiji - TURMALIN

- Kristalne kerapitice (jod-klinik-sulfat)  
ima svojstvo - na dečju. 0,1 mm  
potpuno apsorbira jednu zraku

materiali: dikroičnih svojstava - cinkovit u  
listovima - folijama  $\Rightarrow$  POLACOID

E.H. Land 1932 postupak kristalografije

kopiju je dobio velike dikroične površine

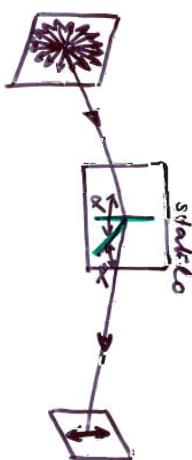
Polaroid - od prirode snijekosti -

očno kompozitne kopke filtreja

a jednou smjeru  $\Rightarrow$  linijama  
polarizirana snijekost

5.

#### Polarizacija refleksija



prirodna snijekost

pri odstojanju kutu (kontrola i refleksija  
čime prav kut)

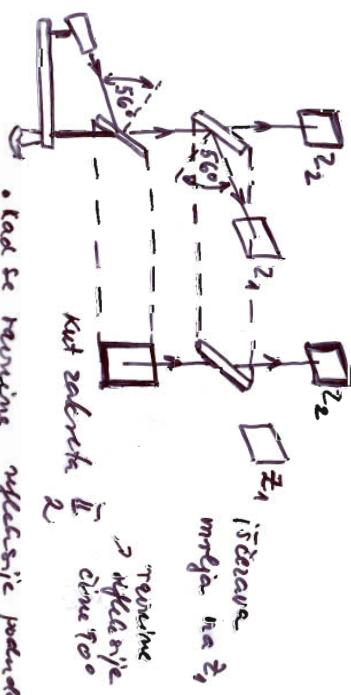
refleksija  $\rightarrow$  polarizirane otomide na  
razinu refleksije  $\alpha + \beta = 90^\circ$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n = \frac{\sin \beta}{\sin (90^\circ - \alpha)} \Rightarrow \tan \alpha = n$$

Brewsterov zakon za odstojanje

kuta polarizacije

krumko staklo 1,5076 indeks lome  
za razmjene D. linija  $56^\circ 26'$



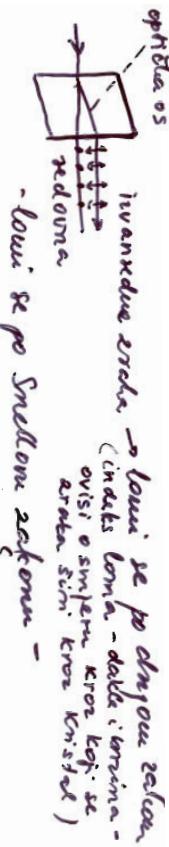
• Kad se razinu refleksije podnese  
spicka mreža u z1 nazimajuća

6.

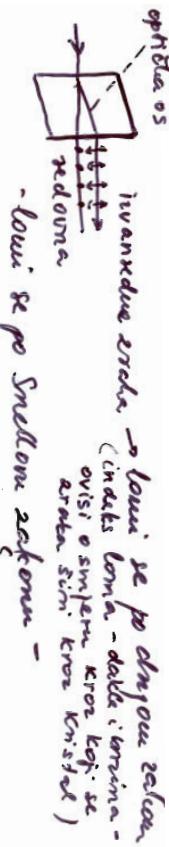
Polarizacija proškova kroz kristale

1669 L. Bréguer - spisao prvič projek  
kor kristal kalcita, belcej - karbonata  
(CaCO<sub>3</sub>)

- lom u drugi zasne zrake



#### • islandasti dvolomci



7.

optički inotropni kristali - ne uverteće polarizacija prirode projekta

jednostrani kristali - polarizacija dvola, polarizacija projekta (valne brine refleksije i izvankriva zrake nisu jasnate osim u jasnoj svjetlu, kada je optička os kristala)

dvostrani kristali - postoje dva smjeri duž kojih su te bojne jasne

#### POLARIZATORI

- slatki za dobivanje linearno polarizirane projekta.

dvolomni kristali: doju sameno polarizirane projekta → paralela su 2 snopa polarizirane projekta (ramine polarizacije  $\perp$ )

Nicolsa prismi (prst - prst)

- ulozljena piana zraka

□

□

□

projekta sojetlost - polaroid - polarizator

□

- dva polaroida (polarizatori)

aleko se pravi polarizator ne podudaraju (smarca u polarizatoru) identitet između projekta osim u kurtu

8.

Let's imedno prové polarizacié 1. i 2. polarizátorom.

Let's imedno prové polarizacié 1. i 2. polarizátorom.

$$I(\theta) = I(0) \cos^2 \theta \equiv \text{HALUSOVIE}$$

zakona

↑  
in lineat onjan  
o klinu

ato  $\theta = \frac{\pi}{2}$  nema  
prolne sijekst

ato  $\theta = \frac{\pi}{2}$  nema  
prolne sijekst

↑  
in lineat onjan  
o klinu



ispituje  
ke da li je  
sijekst linear.  
polar.

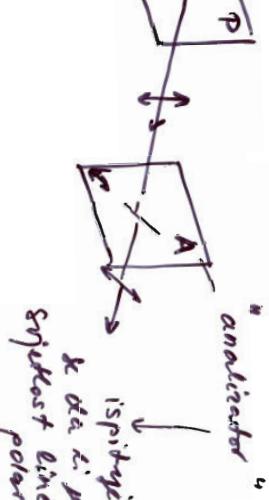
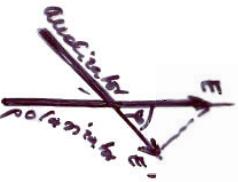
ato provec dionja Pi A paraleli - max. inten.  
ubrojje - tama

ato provec dionja Pi A paraleli - max. inten.  
ubrojje - tama

pletamo amplitudu el. vektora  $\vec{E}$  usta.  
koji izlazi je polarizatoru

svega analizatora - pod kutem  $\varphi$

7



ispituje  
ke da li je  
sijekst linear.  
polar.

ato provec dionja Pi A paraleli - max. inten.  
ubrojje - tama

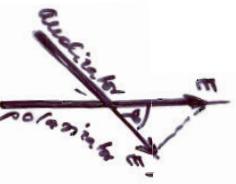
pletamo amplitudu el. vektora  $\vec{E}$  usta.  
koji izlazi je polarizatoru

svega analizatora - pod kutem  $\varphi$

iz analizatora izlazi vel  
polarizirane sijekst u kojij el.  
tekterima amplituda  $E'$

Analizator propušta samo one  
komponente  $\vec{E}'$  koja su PARALELNI  
sa smjerom dionja  $\vec{E}''$  u  
analizatoru

Analizator propušta samo one  
komponente  $\vec{E}'$  koja su PARALELNI  
sa smjerom dionja  $\vec{E}''$  u  
analizatoru



9

$$E' = E \cos \varphi$$

- indirekta projekcija kroz posek kroz analizator  $\rightarrow$  Hukovim zakonom  $I = I_0 \cos^2 \varphi$

### • 3 polaroida

- polarizator i analizator paralelni smerisima



- 1) iz polarizatora  $P$  izlazi val amplitudine  $E$

- pravac slike u simetričnom polaroidu  
zatvara  $\Rightarrow$  pravcu slike u polarizatoru  $\varphi$

- 2) unetretog polaroida izlazi val amplitudine  $E'$   
(projekcija u pravac slike tog polaroida)

$$E' = E \cos \varphi$$

- analizator od  $E'$  propusta komponentu

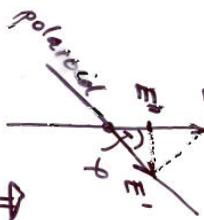
$E''$  koja pada u viševi pravac slike

$$E'' = E' \cos \varphi$$

$$\begin{aligned} E'' &= E \cos^2 \varphi && \text{"najveći mogući} \\ I'' &= I_0 \cos^2 \varphi && \text{tako } \varphi = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2} \end{aligned}$$

10

$$P \parallel A \quad P_A$$



- električni vektori  
pri prolazu kroz 3 polaroida

$$P \parallel A$$

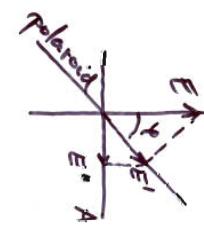
- pravac slike u  
unetretom polaroidu  
zatvara kast  $\varphi$  s  
pravcem slike u  
polarizatoru

$$\begin{cases} E' = E \cos \varphi \\ E'' = E \cos^2 \varphi \end{cases}$$

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \varphi = 0, \sqrt{3} \\ \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{3}}{2}, \frac{3\pi}{2} \end{cases}$$

$$I'' = I_0 \cos^2 \varphi$$

$$P \perp A$$



$$P \perp A$$

- pravac slike u  
unetretom polaroidu  
zatvara kast  $\varphi$  s  
pravcem slike u  
polarizatoru

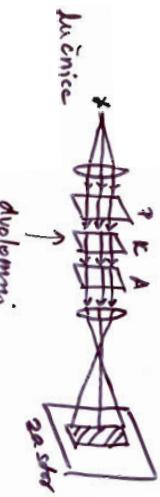
$$\begin{cases} E' = E \cos \varphi \\ E'' = E \sin \varphi \end{cases}$$

$$\begin{cases} \operatorname{tg} \varphi = 0, \frac{\pi}{2} \\ \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{3}}{4}, \frac{3\pi}{4} \end{cases}$$

$$\begin{cases} I'' = \frac{1}{4} I_0 \sin^2 \varphi \end{cases}$$

$$I'' = \frac{1}{4} I_0 \sin^2 \varphi$$

## DVOLOMNI KRISTALI U POLARIZIRANAI SUSTAVOSTI



1)  $\rho_{iA} \parallel$

- imeta  $\varphi$ : A nema kristale; svijetlost iz  $\perp$  prolazi nepomičnjem kroz A i vidno pogje na zastoru: svijetlo

• umetremo dvokomni kristal

izaziva polarizaciju  $\rightarrow$  rasipanje u redom:

- pravac kružnog redome je u sv. crtežu m svakom dvokomnu metudobno okomiti

$\Rightarrow$  neto pravac difragme redome je u pravcu polarizacije zastora  $\varphi$

uglavida vela redome znake ne izlaze iz kristala  $E_r' \rightarrow$  satovara s pravcem difragme

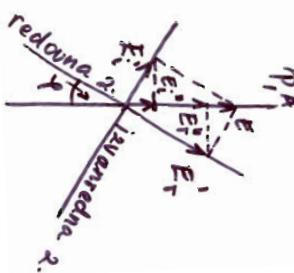
A propustka  $E_r''$

$$E_r' = E \cos \varphi$$

$$E_r'' = E_r' \cos \rho \quad \text{Amp. vela je A kojim}$$

$$E_r'' = E \cos^2 \varphi \quad \Rightarrow \text{prvi dio kroz k je bio}$$

## $\Phi \parallel A$



$$E_r' = E \cos \rho$$

$$E_r'' = E_r' \cos \rho$$

$$E_r'' = E \cos^2 \rho$$

$$\underbrace{E_r''}_{\text{amplituda iz A}} = E \sin^2 \rho$$

ove znake na izlazu iz A mogu

intenzitati

- kad li optički putni su "r" i "i" znake isti, jidimati (ili glikozidati) obje znake iz kristala s istim fazama

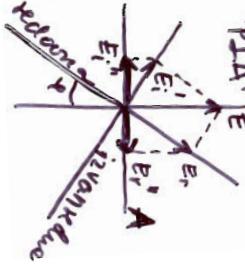
$$E_r'' + E_i'' = E \cos^2 \rho + E \sin^2 \rho = \underline{\underline{E}}$$

svjetlost je velika slivljena pravca i dijelomimo kao  $\sigma$  i kroz K neostabiljenog intenziteta

$\Rightarrow$  postoji razlika u fazu imeta  $\varphi$  i  $\rho$   $\rightarrow$  oslaginja se znake (npr. da  $i > r$ )  $\Rightarrow$   $E_r'' - E_i'' = E \cos^2 \rho - E \sin^2 \rho = E \cos 2\rho$

slagajuće mjerice da  $\varphi = \frac{\pi}{2}$

izlaz iz polarizatora



P vertikalne smjer vibracije  
A horizontalan

$E_r'$  - ang. redova 2. na izlazu iz k

$$E_r' = E \cos \varphi$$

$$E_r'' = E_r \sin \varphi \rightarrow \text{izlaz } \propto A$$

$$E_r'' = E \sin \varphi \cos \varphi = \frac{1}{2} E \sin 2\varphi$$

$$\bar{E}_r'' + E_r'' \left( \text{"suporno - } \frac{E_r}{E_i} \text{" pozitivna velicina} \right)$$

$$\bar{E}_i = E \sin \varphi$$

$$E_i'' = E_i \cos \varphi$$

$$E_i'' = E \sin \varphi \cos \varphi = \frac{1}{2} E \sin 2\varphi$$

u ukrštenom položaju oba su u istoj  
vrijek jednako smanjena.

sto je razlika u redovu  $A'' - A' \propto A$

subjektiv se na izlazu pouštaj

$\frac{1}{2} \rightarrow$  pojedavanje

## KVANTNA PRRODA SKJETROSTI

Klasična fizika krajem prošlog stoljeća  
problem: toploinsko zračenje tijela  
eksperimentalni spektar nije u!  
stakla e predviđajuju

fotoelektrični efekt, komptonovo  
rasparšenje

### TOPLINSKO ZRAČENJE

- mastaje kada atomi (ili molekule) tijela  
potrebni termički priborjeni energetski  
i valovi

uzorenje hijala - IR područje

INTENZITET i spektralni sastav  
izračuna toplinske energije - ovise o  $T$

za  $T > 800 \text{ K}$ , osim IR, i vidljivo svjetlo.

velo visoke  $T$ :  $IR, \text{ vidljivo, UV}$

(0.75  $\mu\text{m}$  - 1000  $\mu\text{m}$ )

► RAPORED ENERGIJE po pogledima A ovise  
bitno o  $T$  hijala koji zrači

(0.4  $\mu\text{m}$  - 0.7  $\mu\text{m}$ )

zračenje upada na površinu međusobno djeluju  
odijeljene ili reflektive

aposorira → apsorpcija

$$\text{faktor refleksije } \rho = \frac{\phi_r}{\phi_u} ; \text{ faktor emisije}$$

$$\alpha + \beta = 1$$

$$\alpha = \frac{\phi_e}{\phi_u}$$

bijelo svjetlo: svjetlo koje reflektira cijelo

upadno zracenje

$$\beta = 1$$

svro svjetlo: dijelomčno reflektira te velike

dijelne upadnos zracenja

IDEALNO CENO SVJETLO - potpuno apsorbira sve upadno zracenje



pri  $\theta$  refleksija dio se apsorbira

obvezita razinija (najveća koja zrake jedinica površine  
svjetla u jedinicama vremena)

$$\Sigma = \frac{\phi_e}{S}$$

$dI$  - dio uljenog udužitka koji emisiju svjetla

razlik - veličina razinjava  $\Delta \theta$  i  $d\Omega$

$$dI = I_s d\Omega = f_{ct}(\lambda, T) d\Omega$$

emisione moći

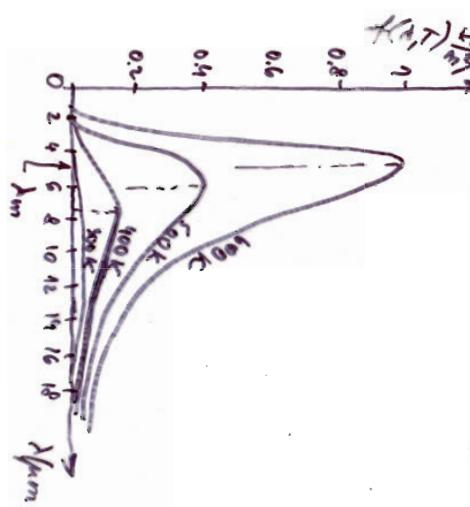
$$\Sigma = \int I_s d\Omega = \int f_{ct}(\lambda, T) d\Omega$$

## SPKTRAR ZRACENJA CRNOG

TELA

• nočernica svjetlina na stup.  $T \rightarrow$  zracenje  
kontinuirane raspodjelle velikih dugina

- emisija se rastavlja u spekter i mijene  
(zracenje se rastavlja u spekter i mijene  
intenziteta at dijelom spektra da za neke d.)



spektri c. t. za razne  $T$

•  $T$  veća - uljena zracenja snage. manja

• Ne prema manjim  $\Delta \lambda$  tako  $T \uparrow$

• Stefan-Boltzmannov zakon:  
ukupni intenzitet zracenja razmjeran  
četvrti potenciji temperature tempe.  
crnog svjetla

4.

$$\boxed{I = \int_0^{\infty} f(\lambda, T) d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{dT}{d\lambda} d\lambda = \sigma T^4}$$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4} \quad \text{Stefan - Boltzmannova konstanta}$$

uljepri snaga zračenja površine S crneck.

$$P = S \sigma T^4$$

naturačka faktor emisije  $\epsilon$  ( $0 < \epsilon < 1$ )

$$I = \epsilon \sigma T^4$$

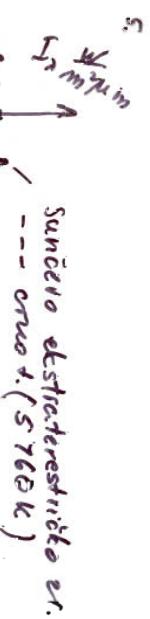
za crno tijelo temp.  $T_2$ , izravno zidovna crna tijelo unutar  $S \sigma T_2^4$  ali i apotok  $S \sigma T_1^4$   
 $\Rightarrow$  snaga izgubljena zračenjem

$$P = S \sigma (T_2^4 - T_1^4)$$

Wienov zakon: valna duljina koja odgovara maksimumu izravne energije je obnovljivo proporcionalna aps.  $\tau$

$$\lambda_m T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ km}$$

pri sobnoj ( $300 \text{ K}$ ) nebitne emisijama energija kima  $\lambda \sim 10 \mu\text{m}$   
 pri  $6000 \text{ K}$  - max. a radijacije ( $0,5 \mu\text{m}$ )



suncivo esterijatno raspršenje svjetlosti  
 crno t. ( $5760 \text{ K}$ )



spektralna gustoća teče sunciva zračenja  
 (izvan zračenje atmosfere; srednja vrijednost  
 $\equiv$  Soltzna konst.)

prije ulaska u atmosferu sunciva spektar:

$$0,12 \mu\text{m} - (0,45 \mu\text{m}) - 10 \mu\text{m}$$

max

uljeprij ubijecaju ( $0,12 - 0,45 \mu\text{m}$   
 vidljivo ( $0,4 - 0,75 \mu\text{m}$ )  
 infracrveno  $\lambda > 0,75 \mu\text{m}$

energija koga dolazi na površinu je  
 $0,3 \mu\text{m} - 2,5 \mu\text{m}$

6.

## ULTRALJUBIČASTA KATASTROFA

statistička mehanika + valna teorija projektati

$\Rightarrow$  objasni oblik knjiga spektro (za pribl. T)

$\rightarrow$  kvantitativna crnina energije zračenja od

ATOM - H. O.  $\rightarrow$  pokuden tina i emisija vijekov

izazvana tijela: kontinuirani spektar  
(atomi emisiju sva frekv.)

Rayleigh i Jeans 1900 - objasnili zračenje

kontinuirane supljine volumena V

• stopni el. mag. valen - direkcijski broj u

intervalem frekv.  $\nu$  i  $\nu + d\nu$

• broj pomnožiti s prosječnom energ. vala  
= energija u supljini.

$\int_{\nu}^{\nu+d\nu} E \rightarrow$  prosječne energije zračenja u  $\nu$  do  $\nu + d\nu$

$dN = b\nu_j$  stopnih valova

$$dN = \frac{8\pi\nu}{c^3} \nu^2 d\nu \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{ukupna } \frac{3}{2} kT \\ \text{teorijska formula za zračenje izotorna} \\ \text{supljine} \end{array} \right. = \frac{E}{c^2} e^{-E/kT} dE$$

zatvor o eksperimenti: energije  $\rightarrow$  realni stopnji

slabode harmoničkih stranica  $\bar{E} = kT$

$$\text{prostir. energije } d\nu = \frac{8\pi}{c^3} \nu^2 kT d\nu$$

7.

$$dT = f(\nu, T) d\nu = \frac{c}{4} d\nu \quad \leftarrow \text{releacija koja}$$

potomče sudjeluje  
emisione moći

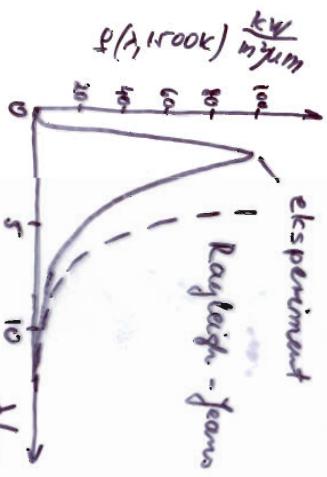
radijacija potomice objekta  
(experiment.)

Rayleigh - Jeans formula za zračenje c. t.

$$f(\nu, T) = \frac{2\pi}{c^2} \nu^2 kT$$

$$f(\lambda, T) = \frac{2\pi c kT}{\lambda^4}$$

$\rightarrow$  eksperiment  
doje  
beskonacno  
veliku vrijednost  
za ukupnu E!

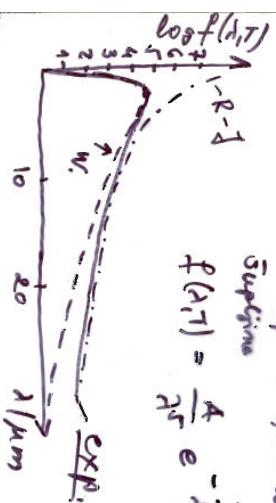


## ULTRALJUBIČASTA KATASTROFA

W. Wien  $\rightarrow$  zakoni termodynamike

teorijska formula za zračenje izotorna  
supljine

$$f(\lambda, T) = \frac{A}{\lambda^5} e^{-\frac{\lambda}{kT}} \quad (\text{samo za brdovoljni  
objekti})$$



6.

### PLANCKOV zakon

1900.

spektrofna gospodča zracenja  
opisuje izraz

$$f_{\text{ct}}(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT}} - 1}$$

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Planckova konst.

$\Rightarrow$  atomi imaju kvantizirane energijske stanje,

emitišu energiju u Kvantita

a ne kontinuirano (kao što je pretp.  
Klasična fizika)

oscilator vrati same obudite mjerljosti energije

$\Rightarrow$  Kvantizirana

$$E = h\nu$$

KLASIČNI H.O. koji koga pred. v

može imati klo boju mjerljost

mjerljive od 0 do neline mjer

KVANTNI H.O.

može imati samo određene diskrete energije

$$\nu_1, 2\nu, 3\nu, \dots$$



7.

$$\bar{E} = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

srednja energija kvantne H.O.

also u Rayleigh-Jeansova formula unutar

$$\left\{ f(\nu, T) = \frac{2\pi}{c^2} \nu^2 k T \right\}$$

dobijeno Planckov zakon

$$f(\lambda, T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{kT}} - 1}$$

Planckova formula predviđa u Wienov za

ne jednou boju spektro odnosno u

Rayleigh - Jeansom na drugom!

12. Planckov formula  $\rightarrow$  Stefan-Boltzmannov

zakon

$$I = \int_0^\infty f(\lambda, T) d\lambda = \int_0^\infty \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5} \frac{d\lambda}{e^{\frac{hc}{kT}} - 1}$$

$$= \dots = \sigma \cdot T^4$$

Wienov i Stefan-Boltzmannov zakon poštedila

Planckovog z.  $\Rightarrow$  izvješće se izvode

□

## SREDNJA ENERGIJA KVANTNOG OSKULATORA (NE PLANKE-a ZAKON)

$$E_0, 2E_0, 3E_0, \dots$$

$$e^{-mE_0/kT} \quad (\text{Maxwell - Boltzmann})$$

$$\bar{E} = \frac{\sum_{n=0}^{\infty} E_n e^{-E_n/kT}}{\sum_{n=0}^{\infty} e^{-E_n/kT}} = \frac{kT \sum n e^{-mE_0/kT}}{\sum n e^{-mE_0/kT}}$$

$$e^{-h\nu/kT} = x$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} nx^n$$

$$E = h\nu \sum_{n=0}^{\infty} \frac{nx^n}{x^n} = h\nu \frac{x + 2x^2 + 3x^3 + \dots}{1 + x + x^2 + \dots} =$$

$$= h\nu x \frac{1 + 2x + 3x^2 + \dots}{1 + x + x^2 + \dots} \Rightarrow \sum = \frac{1}{1-x}$$

beskonačni geometrijski red

brojnik  $\rightarrow$  derivacija log reda

$$\frac{d}{dx} \left( \frac{1}{1-x} \right) = \frac{1}{(1-x)^2}$$

$$\bar{E} = \frac{h\nu x}{1-x} = \frac{h\nu e^{-h\nu/kT}}{1-e^{-h\nu/kT}} =$$

$$\bar{E} = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1} \quad 2a \quad h \rightarrow 0 \Rightarrow$$

□

## COMPTONOV EFekt

1923. - pri raspršenju rendgenskih ( $\lambda < 10^{-10} \text{ m}$ ) zračenja na C u komadu grafita

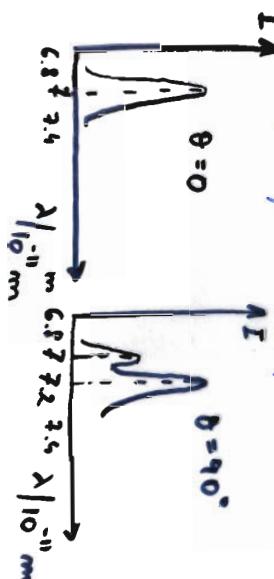
- zračenje ima 2 komponente



$\Delta$  (2.-1.) OVISI O

KUTU RASPRŠENJA

- zašto se u jednom dijelu zračenja nekon rasprijevaju male parcijske?



• zračenje - novi fotona ( $E = h\nu$ ;  $p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$ )

sudar fotona - elektrona

• KSE

$$h\nu + mc^2 = h\nu' + \gamma m c^2$$

$$• 25KG \quad (\gamma m c^2)^2 = \left(\frac{h\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{h\nu'}{c}\right)^2 - 2 \frac{h^2 \nu \nu'}{c^2} \cos \theta$$

$$\frac{\gamma m c^2}{\nu m} = \frac{h\nu'}{c} \quad \frac{h\nu'}{c} = \frac{h\nu}{c} \cos \theta$$

$$E = \hbar\nu$$

$$\rho = \frac{\hbar\nu}{c}$$

$$e = \frac{mc^2}{1-\frac{v^2}{c^2}}$$

$$P_e = \vec{p} - \vec{p}'$$

$$P_e^2 = P^2 + P'^2 - 2\vec{p} \cdot \vec{p}'$$

1.  $\hbar\nu + mc^2 = \hbar\nu' + \gamma' mc^2$
2.  $(\gamma m v)^2 = \left(\frac{\hbar\nu}{c}\right)^2 + \left(\frac{\hbar\nu'}{c}\right)^2 - 2 \frac{\hbar^2}{c^2} \nu \nu' \cos\theta$

3.  $\gamma : c \rightarrow \frac{\hbar\nu}{c} + mc = \frac{\hbar\nu'}{c} + \gamma' mc$

$$\gamma' mc = \frac{\hbar\nu}{c} (\nu - \nu') + mc / \gamma'$$

3.  $(\gamma' mc)^2 = (\gamma' mc)^2 + 2mc \gamma (\nu - \nu') + \frac{\hbar^2}{c^2} \nu^2 - 2 \frac{\hbar^2}{c^2} \nu \nu'$

$$+ \frac{\hbar^2}{c^2} \nu'^2$$

3.  $- 2.$   $\Rightarrow 0$

$$\gamma^2 m^2 (c^2 - v^2) = \gamma'^2 c^2 - 2 \frac{\hbar^2}{c^2} \nu \nu' (1 - \cos\theta)$$

$$+ 2mc \gamma (\nu - \nu')$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \nu = \frac{c}{\lambda} \\ \nu' = \frac{c}{\lambda'} \end{array} \right\} \rightarrow$$

rijedi:  $\gamma^2 m^2 c^2 - \gamma'^2 m^2 c^2 = m^2 c^2$

$$\boxed{\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{\hbar c}{mc} (1 - \cos\theta)}$$

$$= \frac{2\hbar}{mc} \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

3.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{\hbar}{mc} (1 - \cos\theta)$$

$$= \frac{2\hbar}{mc} \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda'} = \frac{mc}{\gamma' c^2} \frac{c^2}{2\lambda} (1 - \cos\theta) / \frac{\Delta\lambda}{c}$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{\hbar c}{mc} \cdot (1 - \cos\theta)$$

## KVANTNI BROJEVI

- Schrödingerova jednadžba - kvantna fizika

KVANTNO STANJE  $e$  : 4 kvantna broja

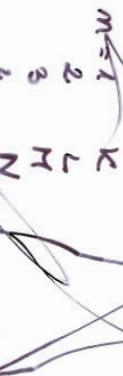
GLAVNI KV. BR.  $m$   
ORBITALNI  $l$   
MAGNETSKI  $m_s$   
SPINSKI  $m_s$

GRADINI KV. BROJI  $n$

$n=1, 2, 3 \dots$

određuje ENERGIJU elektrona u atomu

$$E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{e^2 h^2}{8 \pi^2 \epsilon_0}$$



ORBITALNI KV. BR.  $l$  - moment količine gibanja po kružnici  
Bohr:  $L = l n e$

moment kol. giba  $L = \sqrt{l(l+1)} \frac{n}{2\pi}$   $\leftarrow$  KVANTNA MUL.

$l$  - orbitalni kv. broj

$l = 0, 1, 2 \dots m-1$

određuje moment količine gibanja

$m=1 \rightarrow l=0 \quad s=1 \quad l=0 \quad \text{SFERNA SIMETRIJA}$   
 $m=2 \rightarrow l=0, 1 \quad l=0; 1 \text{ ETC}$   
 $l=1 \rightarrow l=1 \quad l=1$   
 $l=2 \rightarrow l=2 \quad l=2$   
 $l=3 \rightarrow l=3 \quad l=3$

## 1s - OSNOVNO STANJE

1s 2s 2p 3s 3p 3d 4s 4p 4d 4f

stana je koja je  
može imati u H-atomu

energija je uvećana sa  $m$  (ali uvećano je i  $l$ )

MAGNETSKI KV. BROJ

kv. proj.

kv. rotacije

strujnu polarizaciju

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

kv. proj.

kv. rotacije

strujne struje

strujne struje

strujne struje

strujne struje

- e kori se giba oko jedne imenodne magnetne moment (ponasa se kao magn. dipol) atoru a vanjskom magn. polju dobidi dodatnu energiju → promjena energetskih mirea

bez polja  $\rightarrow E_m$   
 $E_m + E_B$        $E_B = -\vec{\mu}_m \cdot \vec{B} = \frac{e}{2me} \vec{L} \cdot \vec{B} =$

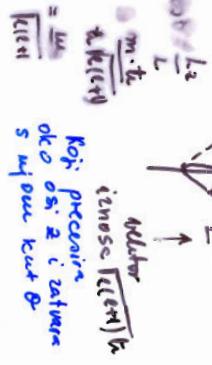
$$= \frac{e}{2me} L_B B$$

projekcija

veličina  $L_B$  na  
smjer  $\vec{B}$

za vanjsko polje u smjeru  $\vec{B}$   
energija ovisi o  $L_B$

$$E_B = \frac{e}{2me} B L_B$$



projektija  $L_B$  je kvantizirana

magnetski kv. broj

$$L_B = m_e \hbar$$

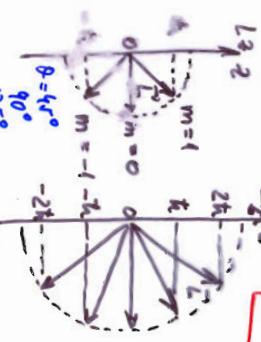
$$M_e = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm e$$

od -e do e

magnetična orientacija momenta kolidiraju  
gibanja  $\rightarrow m = 1, 0, -1$

$$\theta = 35,3^\circ \quad \ell = 2$$

$$\begin{aligned} J &= 2, 1, 0, -1, -2 \\ &\theta = 45^\circ \quad m = 2, 1, 0, -1, -2 \\ &\theta = 90^\circ \quad m = 1, 0, -1, -2 \\ &\theta = 135^\circ \quad m = 0, -1, -2 \end{aligned}$$



$$E \rightarrow +\mu_B m \cdot B$$

cijevanje strana

$m_e$	$+1$
$m_s$	$+1$
$m_l$	$+1$
$m_j$	$-1$

atomski magn. dipol  
dok je 2 i zatvara  
s njim kut  $\theta$

SPIN elektrona - kv. br. spina e

e imao magnetski moment kolidiraju gibanja između spona

zbrog vrtanja e oko svoje osi  
 $\Rightarrow$  uzrokuj u magnetski magnetni dipoli

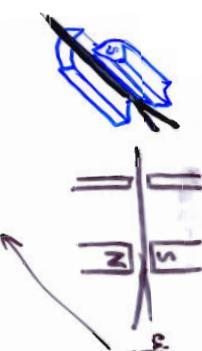
$$\text{moment elektrona } \mu_{es} = \frac{e \hbar s}{4m_e}$$

$$J_S = \hbar \sqrt{s(s+1)}$$

$$s = \frac{1}{2}$$

Stern-Gerlachov eksperiment (1924) - izrađena  
potreba postojanja spina

gibanje atoma stvara se  
nehomogenom magn. polju



ATOM magn.

dipol.

magn. moment k. otv. Hg je penistavaju

gibanjem e se mijenja  $\rightarrow$

zato norm. ni magn. moment  $\vec{O}$

gibanjem e se mijenja  $\rightarrow$

zato norm. ni magn. moment  $\vec{O}$

zato norm. ni magn. moment  $\vec{O}$

5.

exp: snop se cijepa u 2 simetrične snope  
(prma gore - rastreće polje; prma dolje - u smjeru padaćeg polja) { sila na dipol u nehomos. polju }  $F = \mu \frac{dB}{dr} \cos \theta$   
 $\Rightarrow$  abee srebre:   
magnetski dipol

ukročenim spinskim gibanjem e

$\Rightarrow$  dokaz da je spin kuantiziran

magn. moment količine  
ustrojne zbroj

$\mu_s = -2\mu_B \sqrt{s(s+1)}$   
vera između vlasnosti spinova  
magn. momenta i spinova

$\mu_s = -\frac{e}{4m_e} \mu_B$

FERMIJONI - čestice sa spinom  $\frac{1}{2}$   
BOZONI - spin 0

UKUPNI MOMENT količine gibanja rotacije  $\vec{J}$

$\vec{J} = \sum_i \vec{l}_i + \vec{s}_i$   
ORBITALNI SPINSKI

$J_{\text{rot}} \vec{J}' \rightarrow J = \sqrt{j(j+1)} \quad \left\{ \begin{array}{l} i = \ell \pm \frac{1}{2} \end{array} \right\}$

$$\gamma_z = m_j / \hbar$$

Orbitalan momenti birle  $m_j = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \pm \ell$   
e u atomu 2brojaju se u ukupnu orbitalnu

$$\vec{L}_{\text{uk}} = \sum_i \vec{l}_i \quad \vec{J}' = \vec{L}_{\text{uk}} + \vec{S}_{\text{uk}}$$

$S_{\text{uk}} = \sum_i S_i$

6.

## PERIODNI SUSTAV ELEMENTA

1. GRAVIT. KV. BROJ - gve je u istoj tjesci u isto E  
 $N = 1, 2, 3, \dots$   
 $k_L N$

2. ORBITALNI KV. BROJ - moment količine gibanja e

$$l = 0, 1, 2, \dots, \ell - 1$$

3. MAGNETSKI KV. BROJ - određuje orijentaciju  
momenta količine gibanja  $\vec{J}$   
 $m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \ell$   
 $(2\ell + 1)^{\text{za}} \text{ određene e}$   
sobiranu na smjer vanjskog magn. polja (veličina  $L$ )

4. SPINSKI KV. BROJ

$$\mu_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$$

$\uparrow$   
ako je spin orientiran  $\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow$   
 $\downarrow$   
spin  $\downarrow \downarrow \downarrow \downarrow$

PAUUJEV princip (1945. Pauli - Nobelova)

DVA e u atomu NE MOGU IMATI ISTI  
SER KUANTNIH BROJEVA, gdje ne mogu biti  
u istom stanju

e - fermioni (pose drugebiti od Coulombovih  
sile - e "izbjegavaju"  
jedni druge)

## ZAKON RADIJAKTIVNOG RASPADA

1.

### NUKLEARNE REAKCIJE

#### FISIJA. FUSIJA.

UKRJAVANOST da je dejstva raspada međusobno se u vremenu čekaju, ves je jednak za bilo koji vremenski interval

AKTIVNOST = brojna količina radiaktivnog materijala po jedinici vremena

$$\frac{-dN}{dt} = \lambda N \quad [Bg] \rightarrow \text{proporcionalna broju } N$$

konst. raspada

$\Rightarrow$  ZAKON RADIJAKT. RASPADA

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

početni broj jedinica ( $t=0$ )  
broj neraspadnutih u meleni  $t$

$\lambda t = (-\frac{dN}{dt})_0$  početna aktivnost; aktivnost relativna

$$\frac{-dN}{dt} = \lambda N$$

$$\frac{-dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \left( -\frac{dN_0}{dt}_0 \right) e^{-\lambda t}$$



nu uče u jergu, već se za ostale nullizme

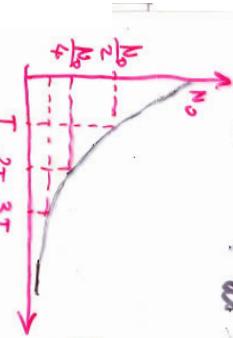
= ostlobodena energija vezanih posudjivača jergne (iznad praga kinetičke)  $\rightarrow$  raspad

$$\rightarrow T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = 0,693$$

$$\frac{S \cdot dN}{N} = \frac{\int N_0 \lambda e^{-\lambda t} dt}{N_0} = \frac{1}{\lambda}$$

stabilne živote jergne  $T = \frac{S \cdot dN}{N} = \frac{S \cdot dN}{N_0} \cdot \frac{N_0}{N} = \frac{1}{\lambda}$

vrijeme potrebno da pojavi smrtni za faktor  $e \{ N = \frac{N_0}{e} \}$



$T_{1/2}$

VRIJEME POLU RASPADA (polovična)  $T_{1/2}$   
(raspadne se polovina jedinica)

$$t = T_{1/2} \cdot \ln 2$$

$$N = \frac{N_0}{2}$$

proces interakcije jergre s elementarnom česticama  
ili drugom jergrou, koriči radijsku transformaciju  
jergre



meda upadna

$$ESE = mc^2 + E_{Ex} + u_x c^2 + E_{Ex} = u_y c^2 + E_{Ex} + u_y c^2 + E_{Ex}$$

ostlobodena ili apsorbirana energija

$$Q = (m_x + u_x)c^2 - (m_y + u_y)c^2 = (E_{Ex} + E_{Ex}) - (E_{Ex} + E_{Ex})$$

Q- vrijednost  
kategorije

### FISIJA

1

## FIZIJA

### ELEMENTARNE ČESTICE

1930. H. BETHE

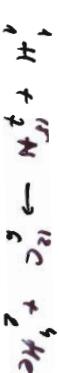
nuklearna reakcija spajanja  
dvaju jergova u novu protonenu

se ostavlja velika količina energije

- odgovara za asto hranjive energije  
sa Sunca i zvijezda

velike  $E_k \rightarrow$  ubravljivanje u akceleratorima ( $10^{12} \text{ eV}$ )  
zagnjavanjem do vrhutih  $T$  ( $10^3 \text{ K}$ )

elastičnoj  
atome  
bonde  
kao dekontin-  
uitet u vrtcu



4. redilice jergne utrošene

četveri približuju reakciju



na Suncu se ostavlja sunčeva  $\approx 3,7 \cdot 10^{27} W$

"termorelektrečna energija"

- polovi milijane jergje lasenima

osobne sile u mikroti

1. JAKA sila

2. elektromagnetska sila

3. SKALA sila

4. gravitacijska sila

1. nuklearna sila imaju  $p$  i m u jergu

- među atomima i molekulama česticama

- najjača, brzala, duga

2. do 100 puta slabije od jake

- između neelektričnih čestica

3. do  $10^{12}$  puta slabije od jake

- brojna konzervacija

4.  $10^{39}$  puta slabije - zamjenjuje se nuklearnim silama  
mjerljivim u makroskopskim

fizika elem. c.  $\Rightarrow$  bavi se osnovnim djelima trazi

- jedinjenim, fundamentalnim elem. c.  
i prirodou ujednoj međudjelovanju



Sila	GRAVITACIJA	EL.-MAGN.	SLAŽA	SAKA
čvor	masa	elektro. naboj	"slabi" naboj	"boje"
Doseg		0	$\approx 10^{-18}$	$\approx 10^{-15}$
prenosnik (čvor)	granica?	Foton	W $^{\pm}, Z^0$ bosoni	gluoni
Masa $G/c^2$	0	0	80 - 90	0
Spin	2	1	1	1
Sila između 2 protona	$10^{-38}$	$10^{-2}$	$10^{-13}$	1

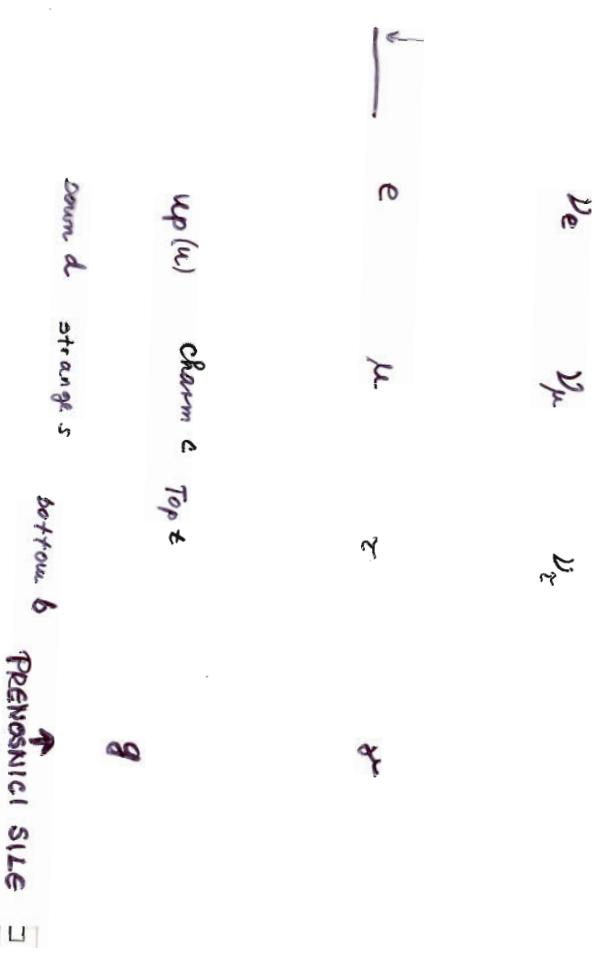
medudjelovanje dva čvora u kvantovoj teoriji suvodi se na razinu prenosnika sile

podjela elem. čestica

LEPTONI (časte) - medudjeljevanje el.-magn. (ako je na razini), stationski i gravitacijski.

KVARKOVI - interakcija između atoma i molekula (p, n), medudjeljevanje sile silom, silom

PRENOŠNIČI SILE - kvanti odgovarajućih poljina



kvarkovi osim električne naboja ( $e_{kvarkova} = 1/3$ ) nose još jedan atribut po kojem se razlikuju razlikuju  $\Rightarrow$  "boje".  $\rightarrow$  između dalekih medudjelovanja

koji prenose gluoni

jeo nije objasnjeno!

- sličnost/prenoshost između leptona i kvarkova.

(3 "obitelji" sa po 2 čestice iz svake vrste)  $\Rightarrow$  prenoshodstvo

nose još jedan atribut po kojem se razlikuju

razlikuju  $\Rightarrow$  "boje".  $\rightarrow$  između dalekih medudjelovanja

## $m_i, e, m_e, m_s$

$$n = 1 \quad l = 0 \quad m_l = \pm \frac{1}{2} \quad j = \frac{1}{2}$$

$m_i = 0$

$m_l = 0$

$A$

$\frac{12}{6} C$

•  $10^6$  do  $10^5$  puta manja od atoma  
masa: - maseni broj  $A$  -  $\Sigma$  protutini neutroni i nabori - redni brojem protona  $Z \rightarrow e \cdot Z$

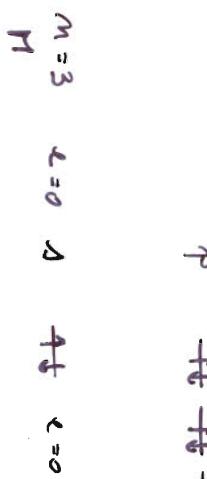
$Z \rightarrow$  redni broj elemenata

$A \rightarrow$  maseni broj

$N =$  broj neutrona  $= A - Z$

$\frac{12}{6} C$

$A$



$n$

$s$

$d$

$f$

$g$



$n$

$p$

$d$

$f$

$g$

Element	At. broj	K 1s	L 2s 2p	M 3s 3p	N
H	1	1			
He	2	2			
Li	3	2	1		
Be	4	2	2		
B	5	2	2	1	
C	6	2	2	2	
N	7	2	2	3	
O	8	2	2	4	
F	9	2	2	5	
Ne	10	2	2	6	

broj stanja  $2^m$

□

MASA nuklida praktički je uvećana masi atoma

TABLICE: mase atoma

ATOMSKA masa  $\rightarrow$  u atomskim jedinicama mase

$$u = \frac{1}{12} \times \text{masa atoma}_{\text{HC}}$$

$$u = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Unificirana atomska mase konstanta je

$$m_u = u = 1,66054 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

elementi plin -  
pravljice čvrsti  
podzemni

uporede ključje  $E = mc^2$  energetički stvar je elektr. i sv.

2.

### Energija vezanja jerve

- energija potrebna da se nuklearni vezani u jergi razdvoji

$$\text{masa nuklearna} = \frac{\text{masa } p + \text{masa } n}{2} m_A - \frac{m_p + N m_n}{2} m_A$$

$$\Delta m = 2m_p + N m_n - m_A$$

$$\text{npr. } {}^4\text{He} \quad m_A = 4,002603 \text{ u}$$

$$2m_p + 2m_n = 4,03298 \text{ u}$$

$$\Delta m = 0,03038 \text{ u}$$

$$E_b = \Delta m c^2 \leftarrow \text{energ. vezanja}$$

$$c = 23,8 \text{ MeV za } {}^4\text{He};$$

Tri spajanje nuklearna u jednu osloboditi energiju  $\Delta m c^2$   
Da bismo jergu raspaljili na sestavne nuklearne  $\rightarrow$  obično da

$$E_b = [2m_p + (A-2)m_n - m_A] c^2 \text{ energija}$$

$\rightarrow$  za jednogru masu na sestavljenim od A nuklearnim

( $\approx$  proton i  $A-2$  neutron)

FUZIJA - spajanje dveh jergi u denju

FISIJA - odvajanje jedne jergi u 2

$\Rightarrow$  osloboditi se nuklearna energija

$E_b$  - energija potrebna za odvajanje svih nuklearnih  
jergi

$\frac{E_b}{A}$  energija vezanja po nuklearu (upravlja se  
srednjost jergi)  
max za  $A \approx 60$

## RADIOAKTIVNOST

u prirodi postoji 92 kemijske elemente + 12 umjetno proizvedenih

1500 različitih nuklida, 340 prirodnih, 1/100 umjetnih

vedena (nivo)  $\xrightarrow{\text{NESTABILNI}}$   $\xrightarrow{\text{RADIOAKTIVNI}}$

u ublažuju el. st. odvajaju protone

broj m u takšim jezgra je ~ broju protona  
u težini malo veći od broja protona

Pogodna konfiguracija p i m čini jezgu stabilnu  
čim je drugačija izbačivanjem odvojavačice čestice  
masot je povećana stabilnog konfiguracije

- emisija  $\alpha$  čestica  $\beta$  čestica  $\gamma$  radioaktivni materijali

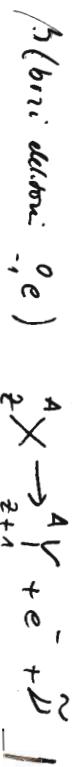
izotipi elemente sa  $A > 200$  prirodno su

radioaktivi



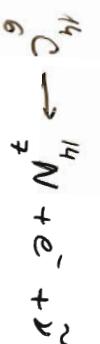
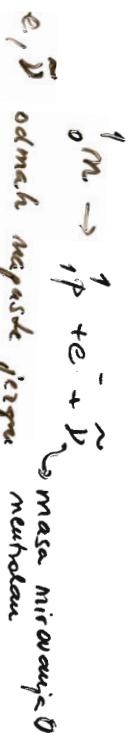
$\alpha$ : helijev jezge  ${}^4_2\text{He}$   $\alpha$  raspad

maseći broj smjeri se za 4, a zraku se 2



$\beta^-$  raspad  $\rightarrow$  preišče neutrano u jezgi; jedan od učinika

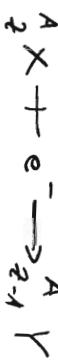
transformira se u proton i veličina  $\rightarrow$  se smanji



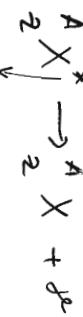
$\beta^+$  raspad - jezga nestabilna - menja dosegno  
neutrana emitiraju ponidine čestice  
masa jednakst masa elektrona, a među ne  
proton se postupa u neutralnu i žignu  
izlaze ponidini, neutrino



nele jezge mogu prći u stabilnije nuklone  
prevorbo - emitiraju elektronu (iz elektronskog omaka)



GAMA RASPAD je emisija EM zračenja iz jezge  
atoma koja privodi fotonu iz jednog  
energijskog stanja u drugo



Probačeno