

ELEKTRONSKA STRUKTURA ATOMA

primjeri

primjer 1

Prosječna udaljenost između Marsa i Zemlje je 1.3×10^8 milja. Koliko će biti potrebno TV slici emitiranoj sa svemirskog broda Viking sa Marsove površine da stigne na Zemlju?

(1 milja = 1.61 km)

Rješenje:

Brzina zračenja jednaka je brzini svjetlosti

brzina svjetlosti = $3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

brzina

milje $\rightarrow$ km $\rightarrow$ m $\rightarrow$ vrijeme

$$\text{vrijeme} = 1.3 \times 10^8 \text{ milja} \times \frac{1.61 \text{ km}}{1 \text{ milja}} \times \frac{1000 \text{ m}}{1 \text{ km}} \times \frac{1}{3.00 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}} = 7.0 \times 10^2 \text{ s}$$

primjer 2

Naše oko osjetljivo je na svjetlo u približnom frekvencijskom području od 4×10^{14} Hz do 7.5×10^{14} Hz. Izračunajte valne duljine koje odgovaraju tim dvjema frekvencijama!

Rješenje:

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

$$\lambda_1 = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{4 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 7.5 \times 10^{-7} \text{ m} = 750 \text{ nm}$$

$$\lambda_2 = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{7.5 \times 10^{14} \text{ s}^{-1}} = 4.0 \times 10^{-7} \text{ m} = 400 \text{ nm}$$

primjer 3

U SI sustavu osnovna jedinica za vrijeme je sekunda. Definirana je kao 9 192 631 770 ciklusa zračenja vezanog uz određeni emisijski proces u atomu cezija.

Izračunajte valnu duljinu tog zračenja (s 3 značajne znamenke).

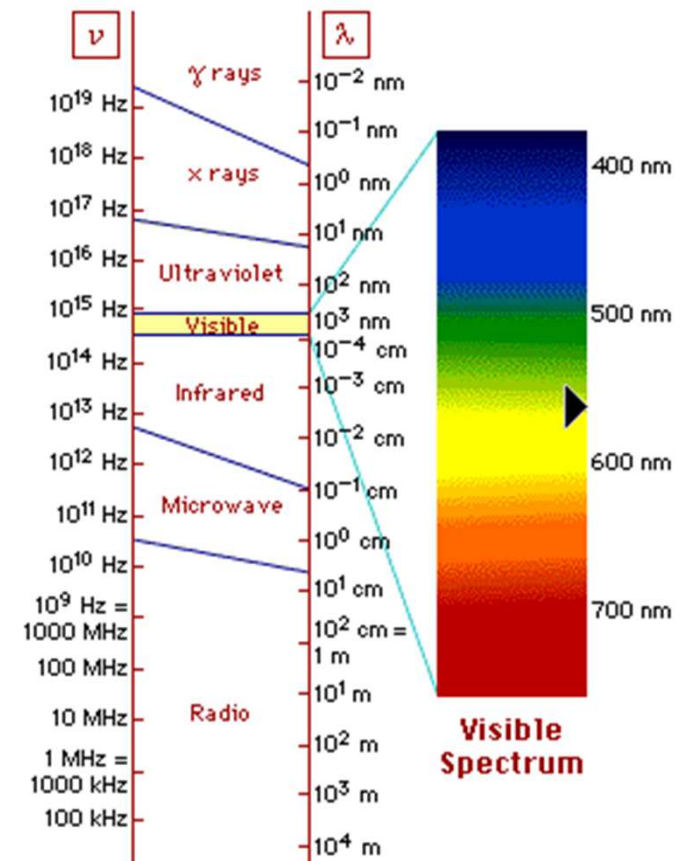
U koje područje elektromagnetskog spektra pripada ta valna duljina?

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

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{9192631770 \text{ s}^{-1}} = 3.26 \times 10^{-2} \text{ m} = 3.26 \times 10^7 \text{ nm}$$

$$= 3.26 \text{ cm}$$

Vidi sliku: - mikrovalno područje



primjer 4

Koja je valna duljina (u nm) zračenja koje posjeduje energiju od $1.0 \times 10^3 \text{ kJ mol}^{-1}$. U kom području elektromagnetskog spektra se to zračenje nalazi?

Rješenje:

Energija od $1.0 \times 10^3 \text{ kJ mol}^{-1}$ pripada 1 molu fotona. Za primjenu jednadžbe $E = h \times \nu$ energija se mora podijeliti s Avogadrovom konstantom. Energija 1 fotona je

$$E = \frac{1.0 \times 10^3 \text{ kJ mol}^{-1}}{1 \text{ mol}} \times \frac{1 \text{ mol}}{6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}} \times \frac{1000 \text{ J}}{1 \text{ kJ}} = 1.7 \times 10^{-18} \text{ J}$$

Valna duljina računa se iz: $E = h \times \nu$; $h = \text{Planckova konstanta} = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1.7 \times 10^{-18} \text{ J}} \times \frac{10^9 \text{ nm}}{1 \text{ m}} = 1.2 \times 10^2 \text{ nm}$$

ultraljubičasto područje

primjer 5

Bombardiranjem bakra elektronima visoke energije nastaju x-zrake. Izračunajte energiju (u J) x-zraka ako je njihova valna duljina 0.154 nm.

Rješenje:

$$E = h \times \nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{0.154 \times 10^{-9} \text{ m}} = 1.29 \times 10^{-15} \text{ J}$$

Hipotetski atom ima slijedeće energetske nivoe:

E_4	$-1.0 \times 10^{-19} \text{ J}$
E_3	$-5.0 \times 10^{-19} \text{ J}$
E_2	$-10 \times 10^{-19} \text{ J}$
E_1	$-15 \times 10^{-19} \text{ J}$

a) Koja je valna duljina fotona potrebna za izbacivanje (ekscitiranje) elektrona s E_1 nivoa na E_4 nivo?

b) Koja je vrijednost (u J) kvanta energije fotona potrebna za ekscitiranje elektrona s E_2 nivoa na E_3 nivo?

c) Kada elektron padne s E_3 na E_1 nivo kažemo da atom podliježe emisiji. Izračunaj valnu duljinu fotona u tom procesu!

primjer 6

Izračunajte valnu duljinu fotona kojeg emitira vodikov atom prijelazom elektrona iz stanja $n = 5$ u stanje $n = 3$.

$E_{n\text{-tog nivoa}} = -R_Y/n^2$ gdje je $R_Y = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$ - Rydbergova jedinica energije

- ako se emitira foton (svijetlo), dolazi do prijelaza elektrona s energetskog nivoa p (početnog) na neki k (konačni)

$$\Delta E = \left(-\frac{R_Y}{n_k^2}\right) - \left(-\frac{R_Y}{n_p^2}\right) \quad E_k - E_p = \Delta E = h \times f = \frac{h \times c}{\lambda} = R_Y \left(\frac{1}{n_p^2} - \frac{1}{n_k^2}\right)$$

- foton (svijetlo) ima određenu valnu duljinu (frekvenciju) koju izračunavamo preko izraza

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{R_Y}{c \times h} \left(\frac{1}{n_p^2} - \frac{1}{n_k^2}\right)$$

$\frac{R_Y}{c \times h}$ iznosi $1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ što označavamo kao R (Rydbergova konstanta za vodik)

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_p^2} - \frac{1}{n_k^2}\right)$$

budući da ovakav izraz pri emisiji ($n_p > n_k$) daje negativnu valnu duljinu, to se radi fizikalne korektnosti u tom slučaju za λ daje slijedeći izraz:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_k^2} - \frac{1}{n_p^2}\right)$$

- tada vrijedi da je $R_Y = R \times h \times c$, te za energiju možemo pisati i:

$$E_k - E_p = \Delta E = h \times f = \frac{h \times c}{\lambda} = R \times h \times c \left(\frac{1}{n_p^2} - \frac{1}{n_k^2}\right) = -R_Y \left(\frac{1}{n_k^2} - \frac{1}{n_p^2}\right)$$

primjer 6

Koristimo oznake: p - početno; k - konačno

$$E_k - E_p = \Delta E = h \times f = \frac{h \times c}{\lambda} = -R_Y \left(\frac{1}{n_k^2} - \frac{1}{n_p^2} \right) = -R \times h \times c \left(\frac{1}{n_k^2} - \frac{1}{n_p^2} \right) =$$

$$\Delta E = -2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2} \right) = -1.55 \times 10^{-19} \text{ J}$$

ΔE je negativan, što znači da je energija vezana uz emisijski proces!!

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1.55 \times 10^{-19} \text{ J}} = 1.28 \times 10^{-6} \text{ m} = 1.28 \times 10^3 \text{ nm}$$

ili:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_k^2} - \frac{1}{n_p^2} \right) = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2} \right) = 0.077 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda = 1.28 \times 10^3 \text{ nm}$$

primjer 7

Pažljiva spektralna analiza pokazuje da je uobičajeno žuto svjetlo natrijeve lampe (ulične žarulje) sačinjeno od fotona dviju valnih duljina: 589.0 nm i 589.6 nm. Koja je razlika u energiji (u J) između fotona tih valnih duljina?

Rješenje:

$$E_1 = \frac{hc}{\lambda_1} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{589.0 \times 10^{-9} \text{ m}} = 3.372 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E_2 = \frac{hc}{\lambda_2} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{589.6 \times 10^{-9} \text{ m}} = 3.369 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Za jedan foton razlika energije je:

$$\Delta E = (3.372 \times 10^{-19} \text{ J}) - (3.369 \times 10^{-19} \text{ J}) = 3 \times 10^{-22} \text{ J}$$

Za jedan mol fotona:

$$3 \times 10^{-22} \text{ J} \times \frac{6.022 \times 10^{23}}{1 \text{ mol}} = 2 \times 10^2 \text{ J mol}^{-1}$$

primjer 8

Elektron iz orbitale glavnog kvantnog broja n_p u vodikovom atomu čini prijelaz u orbitalu glavnog kvantnog broja 2. Emitirani foton ima valnu duljinu od 434 nm. Izračunaj n_p .

Rješenje:

Energija fotona je

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{434 \times 10^{-9} \text{ m}} = 4.58 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Kako je riječ o emisijskom procesu ΔE mora biti negativna, tj. $-4.58 \times 10^{-19} \text{ J}$.

$$E_k - E_p = \Delta E = h \times f = \frac{h \times c}{\lambda} = R_Y \left(\frac{1}{n_p^2} - \frac{1}{n_k^2} \right) = R \times h \times c \left(\frac{1}{n_p^2} - \frac{1}{n_k^2} \right)$$

$$\Delta E = -4.58 \times 10^{-19} \text{ J} = R_Y \left[\left(\frac{1}{n_p^2} \right) - \left(\frac{1}{n_k^2} \right) \right] = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \left[\left(\frac{1}{n_p^2} \right) - \left(\frac{1}{2^2} \right) \right]$$

$$\left(\frac{1}{n_p^2} \right) = \left(\frac{-4.58 \times 10^{-19} \text{ J}}{2.18 \times 10^{-18} \text{ J}} \right) + \frac{1}{2^2} = -0.210 + 0.250 = 0.040$$

$$n_p = \frac{1}{\sqrt{0.040}} = 5$$

iii:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_k^2} - \frac{1}{n_p^2} \right)$$

$$\frac{1}{434 \times 10^{-9} \text{ m}} = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n_p^2} \right)$$

$$n_p = 5$$

primjer 9

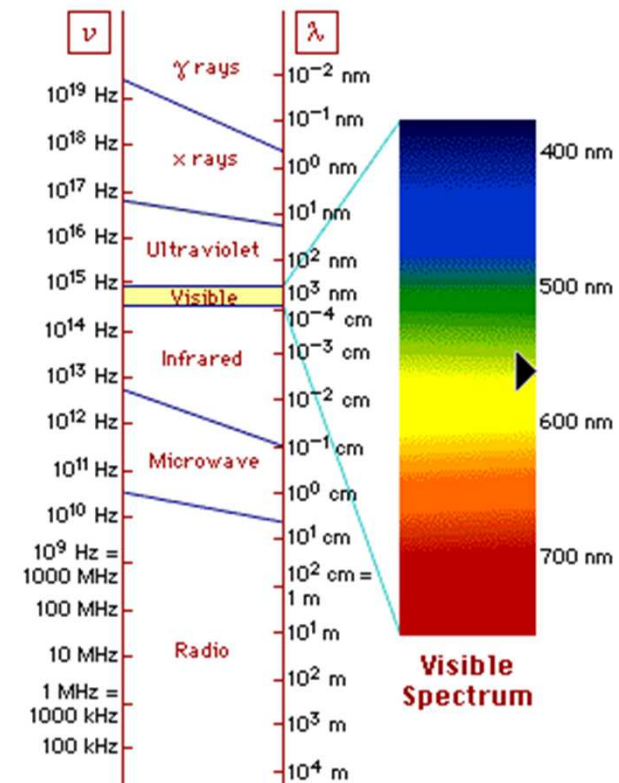
Kada se spoj koji sadrži cezijev ion podvrgne plamenu Bunsenovog plamenika emitira fotone energije $4.30 \times 10^{-19} \text{ J}$. Koja je boja cezijevog plamena?

Rješenje:

Prvo računamo valnu duljinu fotona, a onda određujemo boju plamena!

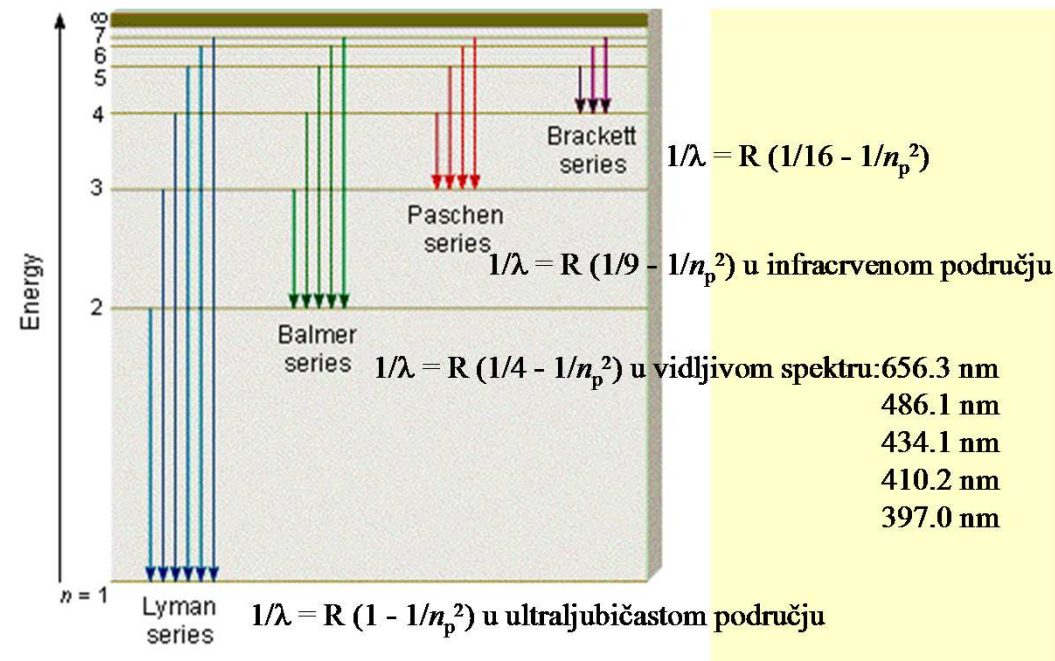
$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{4.30 \times 10^{-19} \text{ J}} = 4.63 \times 10^{-7} \text{ m} = 463 \text{ nm}$$

Za ovu valnu duljinu sa slike se odredi boja: plava



primjer 10

Spektralne linije Lymanove i Balmerove serije se ne preklapaju. Potvrdi tu tvrdnju računajući najveću valnu duljinu za Lymanovu seriju i najkraću valnu duljinu (u nm) za Balmerovu seriju.



Rješenje:

Za Lymanovu seriju želimo odrediti najveću valnu duljinu (najmanju energiju) s $n_p=2$ i $n=1$

$$\Delta E = R_Y \left[\left(\frac{1}{n_p^2} \right) - \left(\frac{1}{n_k^2} \right) \right] = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \left[\left(\frac{1}{2^2} \right) - \left(\frac{1}{1^2} \right) \right] = -1.64 \times 10^{-18} \text{ J}$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{1.64 \times 10^{-19} \text{ J}} = 1.21 \times 10^{-7} \text{ m} = 121 \text{ nm}$$

iii:

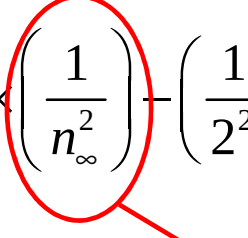
$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_k^2} - \frac{1}{n_p^2} \right) = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2} \right)$$

$$\lambda = 121 \text{ nm}$$

primjer 10

Za Balmerovu seriju želimo odrediti najkraću valnu duljinu (najvišu energiju) s $n = \infty$ i $n_k = 2$.

$$\Delta E = R_Y \left(\frac{1}{n_p^2} \right) - \left(\frac{1}{n_k^2} \right) = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J} \times \left(\frac{1}{n_\infty^2} \right) - \left(\frac{1}{2^2} \right) = -5.45 \times 10^{-19} \text{ J}$$


$$\left(\frac{1}{n_\infty^2} \right) \approx 0$$

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{5.45 \times 10^{-19} \text{ J}} = 3.65 \times 10^{-7} \text{ m} = 365 \text{ nm}$$

ili:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_k^2} - \frac{1}{n_p^2} \right) = 1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1} \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{\infty} \right)$$

$$\lambda = 365 \text{ nm}$$

Lymanova serija 121 nm

Balmerova serija 365 nm

Vidljivo je da se ove dvije serije ne preklapaju!

primjer 11

Neke naočale imaju male kristale AgCl uključene u leće. Kada su izložene svjetlu određenih valnih duljina zbiva se slijedeća reakcija:

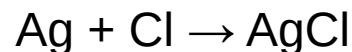


Atomi srebra čine jednoliku sivu boju koja pravi sjenu. Ako je promjena energije (ΔH) za tu reakciju 284 kJ mol^{-1} , izračunaj maksimalnu valnu duljinu svjetla koja može izazvati taj proces.

Rješenje:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ Js} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{\frac{248 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1}}{6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}} = 4.83 \times 10^{-7} \text{ m} = 483 \text{ nm}$$

Svaka valna duljina manja od 483 nm također će izazivati tu reakciju. Kada osoba uđe u prostoriju, zbiva se obrnuta reakcija.



primjer 12

Fotodisocijacija vode prema reakciji:



preporučena je kao izvor vodika. Promjena energije (ΔH°) za tu reakciju izračunata iz termodinamičkih podataka iznosi 285.8 kJ za 1 mol disocirane vode. Izračunaj maksimalnu valnu duljinu u nm koja može osigurati potrebnu energiju. Je li izvodivo koristiti sunčevo svjetlo kao izvor energije za taj proces?

Rješenje:

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \text{ J s} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{\frac{285.8 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1}}{6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}}} = 4.19 \times 10^{-7} \text{ m} = 419 \text{ nm}$$

Ta valna duljina pripada vidljivom dijelu spektra. Kako je voda kontinuirano izložena vidljivom zračenju bez dekompozicije, izgleda da fotodisocijacija vode ovom metodom nije izvediva.