

Infravörös fény és a szem

Egy nemrég megjelent tanulmány szerint az emberi szem képes érzékelni a szemnek amúgy láthatatlan infravörös fényt. A kutatás azután kezdődött, hogy több tudós is zöld fényvillanásokat vélt látni, miközben infravörös lézerekkel dolgozott. A szakemberek tudni akarták, hogyan érzékelhették azt a fényt, hiszen ez elvileg lehetetlen. A kutatócsoport egyik vezetője, Frans Vinberg beszámolója szerint különböző időtartamú lézerimpulzusokkal kísérleteztek, melyek rendre ugyanannyi fotont bocsátottak ki. Az eredmények szerint minél rövidebb az impulzus, annál nagyobb a valószínűsége, hogy az emberi szem érzékeli. A fotonokat úgy érzékeli a szem, hogy a retinában lévő fotopigment nevű molekulák fotonokat nyelnek el, és ennek hatására azok aktiválódnak. Az aktiválódás vegyi reakciót vált ki a retinában. Jellemzően minden egyes fotopigment egy-egy fotont nyel el. Ha túl kicsi a foton energiája, akkor nem aktiválódik a fotopigment-molekula, így nincs észlelés. Amikor azonban sok foton adagoltak a rövid impulzusú, gyorsan pulzáló lézerfénybe, akkor egyetlen fotopigment egyszerre akár két fotont is elnyelt. A jelenséget kétfotonos abszorpciónak nevezik. A tanulmány szerint két, egyidejűleg befogott foton energiája már elég lehet a fotopigment aktiválásához, és így az amúgy láthatatlan infravörös fény észleléséhez. A jelenség bekövetkeztére példa lehet egy olyan $1\ \mu\text{J}$ ($10^{-6}\ \text{J}$) energiájú, 100 femtoszekundumos ($10^{-13}\ \text{s}$) impulzushosszú lézer, mely 1000 nm-es ($10^{-6}\ \text{m}$) infravörös fotonokat bocsát ki. Az impulzushossz azt az időt jelöli, ameddig a fotonkibocsátás zajlik, az impulzus energiáján az impulzushoz tartozó összes foton együttes energiáját értjük.

a) Mi a foton? Hogyan függ a foton energiája a fény hullámhosszától?

b) Vázlatosan ismertessen egy-egy, a fény hullámtermészetét és részecsketermészetét igazoló kísérletet!

c) Nagyjából mely hullámhossztartományban érzékeli az emberi szem a fényt? Mekkora frekvenciatartománynak felel meg ez?

d) Mekkora annak az egyetlen fotonnak a hullámhossza, ami két, 1000 nm hullámhosszúságú foton együttes energiáját tartalmazza? Milyen színű ez a fény?

e) Magyarázza meg, miért érzékelték zöld villanásokat az infravörös fénnel dolgozó tudósok!

f) Mekkora a jelenség bekövetkeztére példaként megadott lézerimpulzus teljesítménye?

(2025. május)

Megoldás: (18 pont)

Adatok: $\lambda = 1000 \text{ nm}$, $T = 100 \text{ fs}$, $E = 10^{-6} \text{ J}$

a) A foton fogalmának ismertetése, és az energia hullámhosszfüggésének felírása: 1 + 1 pont

b) A fény hullám-, illetve részecsketermészetét igazoló egy-egy kísérlet bemutatása: 3 + 3 pont

c) Látható fény hullámhossz- és frekvencia-tartományának megadása: 2 pont

A hullámhossz: 380 nm-től 750 nm-ig (1 pont)

A frekvencia: 400 THz-től 790 THz-ig (1 pont)

($\pm 10\%$ -os eltéréssel minden észszerű adat elfogadható.)

d) A keresett hullámhossz meghatározása, és az ennek megfelelő szín megadása: 4 pont

Mivel $2 \cdot h \cdot \frac{c}{\lambda} = h \cdot \frac{c}{\lambda'}$ (1 pont), ezért $\lambda' = 500 \text{ nm}$ (2 pont), ami zöld színű (1 pont) fénynek felel meg.

e) A zöld felvillanások érzékelésének magyarázata: 2 pont

Két infravörös foton együttes elnyelése már aktiválja a pigmentmolekulát (1 pont).

Mivel két infravörös foton energiája egy zöldének felel meg (1 pont), zöld fénynek érzékeljük.

f) A lézerimpulzus teljesítményének meghatározása: 2 pont

$$P = \frac{E}{t} = \frac{10^{-6} \text{ J}}{10^{-13} \text{ s}} = 10^7 \text{ W (képlet + számítás, 1 + 1 pont).}$$

Összesen

18 pont