

## ATOMFIZIKA

### 1. A fény kvantumossága: fotoeffektus, Compton-effektus

A fotoelektromos effektus során a fémből kilépő elektronok  $v$  sebessége és a besugárzó fény  $f$  frekvenciája közötti kapcsolatot a

$$hf = \frac{1}{2} mv^2 + W$$

Einstein-féle összefüggés határozza meg, amelyben  $h$  a Planck-féle állandó,  $m$  az elektron tömege,  $W$  az adott fémre jellemző mennyiség: a kilépési munka. Nagyobb frekvenciák esetén  $\frac{1}{2} mv^2 \gg W$  lehet, ekkor a kilépési munkát a számításokban figyelmen kívül hagyhatjuk.

Az összefüggés baloldalán szereplő  $hf$  mennyiséget az elektromágneses erőtér energiakvantumának nevezzük, az ekkora energiával rendelkező megfelelő anyagi objektumot fotonnak hívjuk. A foton

$$m = \frac{hf}{c^2}$$

relativisztikus tömeggel rendelkezik, alapvető jellemzője még a

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

impulzus.

A fény kvantumossága természetének egy másik döntő bizonyítéka a Compton-effektus: az elektromágneses sugárzás anyagon bekövetkező szóródása során a szórt sugárzás hullámhossza megnövekszik. A hullámhossznövekedés

$$\Delta \lambda = 2 \lambda \sin^2 \frac{\vartheta}{2}$$

ahol  $\vartheta$  a szórt sugárzás eltérülési szöge,  $\lambda$  egy állandó, ezt Compton-hullámhossznak is nevezik. Számértéke  $\lambda = 0,024 \text{ \AA}$ , az a hullámhosszváltás, amelyet az eredeti iránytól merőlegesen eltért foton szenved el.

## Feladatok

404. Mekkora az energiája, impulzusa és tömege annak a fotonnak, amelynek hullámhossza

- a)  $0,6 \mu$  (látható fény)
- b)  $1 \text{ \AA}$  (röntgensugárzás);
- c)  $0,01 \text{ \AA}$  (gamma-sugárzás).

405. Mekkora hullámhossz esetén egyezik meg a foton tömege a nyugvó elektron tömegével?

406. Határozzuk meg a látható fény fotonjának impulzusát ( $\lambda = 5000 \text{ \AA}$ ) és hasonlítsuk össze egy szobahőmérsékleten ( $20^\circ\text{C}$ ) levő hidrogéngáz molekulájának átlagos impulzusával. A hidrogénmolekula tömege  $2,35 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

407. Egy  $200 \text{ W}$ -os izzólámpa sugárzásának közepes hullámhossza  $1200 \text{ \AA}$ . Határozzuk meg az időegység alatt kisugárzott fotonok számának közeli értékét.

408. A klasszikus elektromágneses fényelmélet szerint a fényforrásból kiinduló sugárzó energia árama minden irányban folytonosan terjed. Ennek alapján határozzuk meg, hogy egy tantálatód ( $W = 4 \text{ eV}$ ) küllön tekintett atomja mennyi idő alatt tudna felhalmozni annyi energiát, hogy lehetségessé váljék egy fotoelektron kirepülése? A katód és a fényforrás közötti távolság  $10 \text{ m}$ , a fényforrás teljesítménye  $25 \text{ W}$ . A számításoknál tételezzük fel, hogy a tantálatom átmérője  $3 \text{ \AA}$ , és a benne felhalmozódó energia teljesen átadódik a fotoelektronnak.

409. Monokromatikus fényhullámot a terjedés irányára merőlegesen elhelyezett keskeny résen bocsátunk keresztül.  $5 \text{ mm}$  résszélesség mellett a diffrakciós kép első minimuma  $\varphi = 6^\circ$  szög alatt keletkezik. Határozzuk meg a fotonok energiáját és impulzusát.

410. Monokromatikus sík fényhullám útjába a terjedés irányára merőlegesen helyezzünk el egy  $d = 3 \mu$  rácsállandóju diffrakciós rácsot. Az ernyőn megjelenő diffrakciós képben két szomszédos maximumhoz tartozó elhajlási szögek  $\varphi_1 = 23^\circ 35'$  és  $\varphi_2 = 36^\circ 52'$ . Számítsuk ki az adott fényáram fotonjainak energiáját.

411. A  $K'$  inerciarendszer állandó  $v$  sebességgel mozog a  $K$  inerciarendszerhez képest. Mekkora a foton energiájának és impulzusának változása a  $K$  inerciarendszertől a  $K'$  rendszerbe való áttérés során? Tekintsük a  $v$  sebességet egybeesőnek a foton haladási irányával és tételezzük fel, hogy  $v \ll c$ .

412. Sík monokromatikus fényhullám intenzitása  $30 \text{ J/m}^2\text{s}$ . Az elektromágneses sugárzás kvantumozott természetét alapján határozzuk meg a fényhullám által  $5 \text{ s}$  alatt egy  $10 \text{ cm}^2$  nagyságú felületen át szállított impulzust.

413. A fotoeffektus küszöbértéke kálium esetén  $577 \text{ nm}$  hullámhossznak felel meg. Mekkora a fénykvantumnak az elektron kiszabadításához szükséges minimális energiája az adott fém esetén?

414. Egyedülálló rézgömböt  $0,2 \mu$  hullámhosszu monokromatikus fényvel világítunk meg. Mekkora maximális potenciálra töltődik fel a rézgömb a fotoelektronok kilépése révén?

415. Sík cinklemez folytonos spektrumú sugárzással világítunk meg. A spektrum rövidhullámú határa  $30 \text{ nm}$ . A lemez felületétől mekkora távolságra távolodhatnak el a fotoelektronok, ha a lemezen kívül  $10 \text{ V/cm}$  térerősségű homogén fékező elektromos erőteret létesítünk? Tételezzük fel, hogy az elektromos erőteret a kilépési munkát számottevően nem befolyásolja.

416. Valamely fémet  $2790$  és  $2450 \text{ \AA}$  hullámhosszuságú fényvel világítunk meg. A fékező feszültség megfelelően  $0,66$  és  $1,26 \text{ V}$ . Az elektron töltése és a fénysebesség ismert. Határozzuk meg a Planck-állandót és az adott fém kilépési munkáját.

417.  $\lambda = 342 \text{ \AA}$  hullámhosszuságú fotonok elektronokat váltanak ki fém litium felületéről. A környező mágneses erőterben a fotoelektronok  $r = 1,2 \text{ cm}$  sugarú körpályát írnak le. (A mágneses erőter indukciója  $B = 15 \cdot 10^{-4} \text{ Vs/m}^2$ . Mekkora energia fordítódik egy elektronnak a litium atomból való kiszabadítására?

418. Ismeretes, hogy a Compton-effektus során fotonok szóródnak szabad elektronokon. Ezzel kapcsolatban válaszoljuk meg a következő két kérdést:

- a) a fizikai anyagban milyen elektronokat tekinthetünk szabadoknak?
- b) miért nem figyelhető meg a Compton-effektus látható fényvel történő besugárzás esetén?

419. Magyarazzuk meg a Compton-effektus alábbi sajátosságait:

- a) a rendszám csökkenésével és a szórési szög növekedésével az eltolódott komponens intenzitása növekszik;
- b) a hullámhossznövekedés független a szóró anyag jellemzőitől;
- c) a szórt sugárzásban a beesővel egyező hullámhosszu komponens is jelen van.

420. Határozzuk meg a Compton-effektusnál a hullámhosszváltozást, ha a megfigyelést a sugárnyaláb eredeti irányára merőlegesen végezzük.

421. Határozzuk meg a hullámhossz maximális Compton-féle változását, ha a fény szabad elektronokon, illetve hidrogén atommagon szóródik.

422. A Compton-féle hullámhosszváltozás  $0,1 \text{ \AA}$  eredeti hullámhosszu röntgensugarak esetén  $0,024 \text{ \AA}$ . Határozzuk meg a fotonok szóródási szögét és a megütközött elektronnak átadott energiát.

423. A beeső foton hullámhossza  $0,03 \text{ \AA}$ . Mekkora energiára tesz szert a Compton-szórás során megütött elektron  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  és  $180^\circ$  szórési szögeknél?

424. Mekkora a Compton-effektus során megütött elektron impulzusa, ha a kezdetben  $0,05 \text{ \AA}$  hullámhosszal rendelkező foton  $90^\circ$  alatt szóródik?

425. Határozzuk meg a megütött elektron mozgási iránya és a foton eredeti iránya közötti szöget, ha a foton a Compton-effektus során derékszög alatt szóródik.

404. a) 2,07 eV;  $1,1 \cdot 10^{-27}$  kgm/s;  $3,68 \cdot 10^{-36}$  kg;  
 b) 12,4 keV;  $6,62 \cdot 10^{-24}$  kgm/s;  $2,21 \cdot 10^{-32}$  kg;  
 c) 1,24 MeV;  $6,62 \cdot 10^{-22}$  kgm/s;  $2,21 \cdot 10^{-30}$  kg.  
 405. 0,02426 Å, ez éppen a Compton- hullámhossz.  
 406.  $I_f = 1,33 \cdot 10^{-27}$  kgm/s;  $I_{H_2} = 6,6 \cdot 10^{-24}$  kgm/s.  
 407.  $N = 1,2 \cdot 10^{21}$ /s.  
 408.  $t = 456$  s (A valóságban azonnal bekövetkezik).  
 409. 2,6 eV;  $I = 1,39 \cdot 10^{-27}$  kgm/s.

$$420. W = \frac{hc}{d(\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1)} = 2,07 \text{ eV.}$$

411. Közvetlenül a Doppler-effektusból adódik: mind az energia, mind az impulzus csökken.  $\Delta W = W_0 \frac{v}{c}$  és  $\Delta I = I_0 \frac{v}{c}$ , ahol  $W_0$  és  $I_0$  az elektron energiája és impulzusa a K rendszerben.

$$412. 5 \cdot 10^{-10} \text{ kgm/s.}$$

$$413. 2,15 \text{ eV.}$$

$$414. 1,73 \text{ eV.}$$

$$415. 3,76 \cdot 10^{-2} \text{ m.}$$

$$416. h = 6,55 \cdot 10^{-34} \text{ Js.; } 3,74 \text{ eV.}$$

$$417. W_i = \frac{hc}{\lambda} - W_{ki} - \frac{(Q_e r_B)^2}{2m} = 5,4 \text{ eV}$$

418. a) Azokat, amelyeknek kötési energiája lényegesen kisebb a bérépülő fotonok energiájánál;

b) Ebben az esetben az elektronok kötési energiája nagyságrendben egyezik a fotonok energiájával, következésképp szabad elektronok nincsenek.

419. a) A szabad elektronok relatív száma növekszik;

b) a fotonok szabad elektronokon szóródnak;

c) a fotonok kötött elektronokon szóródnak.

$$420. \Delta \lambda = 0,02426 \text{ Å.}$$

$$421. 0,048 \text{ és } 2,6 \cdot 10^{-5} \text{ Å.}$$

$$422. 90^\circ; 24 \text{ keV.}$$

$$423. \Delta W = \frac{hc}{\lambda} \frac{2\Lambda \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{\lambda + 2\Lambda \sin^2 \frac{\varphi}{2}}, \text{ ahol } \Lambda = \frac{h}{mc} : 120, 185 \text{ és } 256 \text{ keV.}$$

$$424. 1,6 \cdot 10^{-22} \text{ kgm/s.}$$

$$425. \operatorname{tg} \psi = \frac{\operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}}{1 + \frac{hf}{mc^2}} = \frac{mc^2}{mc^2 + hf}$$