

## Kvantová fyzika

Družice na dráze kolem Země má solární panely o ploše  $2,6 \text{ m}^2$  kolmé ke směru paprsků. Vzdálenost Země (i družice) od Slunce je 150 mil. km. Zářivý výkon Slunce je  $3,83 \cdot 10^{26} \text{ W}$ , poloměr je 700 tis. km.

- jaká je teplota Slunce (svítí-li jako absolutně černé těleso)?
- světlo s jakou vlnovou délkou vyzařuje Slunce nejvíce?
- s jakým výkonem dopadá energie ze Slunce na panel?
- s jakou četností jsou fotony pohlcovány panelem (d,e,f: předpokládejme, že veškeré dopadající záření se pohltí a je monochromatické s vlnovou délkou 500 nm)
- jaká je hmotnost fotonů dopadajících na panel za 1s?
- jakou silou tlačí fotony do panelu? [5755 K, 500 nm, 3,5 kW,  $8,9 \cdot 10^{21} \text{ s}^{-1}$ ,  $3,9 \cdot 10^{-14} \text{ kg}$ ,  $12 \mu\text{N}$ ]

Draslíková fólie o velikosti  $1 \times 1 \text{ cm}$  je ve vzdálenosti  $s = 3,5 \text{ m}$  od izotropního zdroje světla, který má výkon  $P = 1,5 \text{ W}$ . Světlo dopadá na fólii kolmo.

a) Předpokládejme, že energie je přenášena dopadajícím světelným svazkem spojitě a plynule (tj. klasicky vlnově). Jak dlouho potrvá, než fólie vstřebá dost energie na to, aby emitovala elektron? Předpokládejme, že fólie absorbuje všechnu dopadající energii a že elektron bude emitován, jestliže potřebnou energii absorbuje ploška o poloměru  $5,0 \cdot 10^{-11} \text{ m}$  (přibližně rozměr atomu), výstupní práce draslíku je 2,2 eV. Jaký průměrný proud poteče destičkou?

[na jeden atom dopadá výkon:  $P_0 = P \cdot S_{\text{atomu}} / S_{\text{celé koule}} = P \cdot 2\pi r_0^2 / 4\pi s^2$ ,  $t = W_{\text{výstupní}} / P_0 = 4570 \text{ s}$ , proud: na povrchu desky je  $N = S / S_{\text{atomu}}$  atomů, jejich náboj  $Q = N \cdot e$  a proud je pak  $I = Q/t = 450 \text{ nA}$ ]

b) Předpokládejme, že na světlo se můžeme dívat jako na proud „kuliček“ (tzv. fotonů), které „vyrážejí“ jednotlivé elektrony. Energie jednoho fotonu se rovná  $E_{\text{foton}} = h \cdot f$ , kde  $h$  je Planckova konstanta a  $f$  je frekvence světla. Vypočítejte velikost proudu v tomto případě pro vlnovou délku světla 400 nm, resp. 600 nm.

[pro 600 nm je  $E < W_{\text{výst.}}$ , fotoelektrický jev nenastane,  $I = 0$ ; pro 400 nm nastane okamžitě, zdroj emituje za 1s  $N = P/E_{\text{fotonu}}$  fotonů, na desku jich dopadne  $N_0 = N \cdot S_{\text{desky}} / S_{\text{koule}}$  a každý emituje 1 elektron,  $I = N_0 \cdot e/t = 310 \text{ nA}$ ]

Při fotoelektrickém pokusu na sodíkovém povrchu zjistíme, že záření s frekvencí  $1,0 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$  (300 nm) přísluší brzdný potenciál 1,85 V (to znamená, že foton má takovou energii, že po dodání výstupní práce mu ještě zbude energie na překonání potenciálového rozdílu 1,85 V, tedy má ještě kinetickou energii 1,85 eV) a záření s frekvencí  $0,75 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$  (400 nm) přísluší brzdný potenciál 0,82 V. Z těchto hodnot určete (a ze znalosti elem. náboje  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ): (náповěda: nakreslete si graf energie elektronu (určenou z brzdného napětí) na frekvenci světla – co je tímto grafem, platí-li  $E_k = hf - W_{\text{výst.}}$ ?)

- hodnotu Planckovy konstanty
- výstupní práci pro sodík,
- mezní (prahovou) frekvenci pro sodík
- brzdný potenciál pro světlo s vlnovou délkou 350 nm

[ $6,59 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ , 2,27 eV,  $0,55 \cdot 10^{15} \text{ Hz}$ , 1,26 V]

Světlo (i) foton viditelného světla s vlnovou délkou 590 nm, (ii) foton RTG záření s energií 50 keV se rozptýlí na volném elektronu v klidu do úhlu  $90^\circ$  vůči dopadajícímu svazku. Určete:

a) absolutní (v nm) i relativní ( $\frac{\Delta \lambda}{\lambda_0}$ ) změnu vlnové délky rozptýleného fotonu (pozn. pro Comptonův rozptyl

platí:  $\Delta \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \phi)$ , kde  $m_e$  je hmotnost elektronu,  $\phi$  je odchylka dopadajícího a rozptýleného světla)

b) absolutní (v eV) i relativní ( $\frac{\Delta E}{E_0}$ ) změnu energie rozptýleného fotonu

[i)  $\Delta \lambda = 2,4 \text{ pm}$  ( $4,1 \cdot 10^{-4} \%$ ),  $\Delta E = -8,6 \mu\text{eV}$  ( $4,1 \cdot 10^{-4} \%$ ), ii)  $\Delta \lambda = 2,4 \text{ pm}$  (9,8 %),  $\Delta E = -4,45 \text{ keV}$  (8,9 %)]

Dosažitelná rozlišovací schopnost mikroskopu je dána vlnovou délkou použitých částic. To znamená, že nejmenší detail, který můžeme rozlišit, má velikost přibližně rovnou vlnové délce. Předpokládejme, že chceme vidět dovnitř atomu, tj. chceme rozlišit detaily o velikosti řádově 10 pm.

- Jakou energii musí mít elektrony, chceme-li použít elektronový mikroskop?
- Jakou energii musí mít fotony, chceme-li použít světelný mikroskop?

[a)  $\lambda_B = h/p$ ,  $p^2 = 2 \cdot m \cdot E$ ,  $E = h^2 / (2m\lambda_B^2)$ ,  $E = 15 \text{ keV}$ , b)  $E = h \cdot f = h \cdot c / \lambda$ ,  $E = 124 \text{ keV}$ ]

Projektil o hmotnosti 25g letí rychlostí 800 m/s. Jakou vlnovou délku můžeme projektilu přiřadit? Proč se nám nepodaří změřit jeho vlnovou povahu? [ $\lambda_B \approx 10^{-35} \text{ m}$ ]