

**Úloha IV.C . . . Toto je světlo a toto je tma** 7 bodů; průměr 5,40; řešilo 10 studentů  
*Pan Ashkin byl velice laskav, a tak nám zapůjčil jeden ze svých experimentálních zelených laserů<sup>1</sup> s výkonem 1 W. My ho ovšem budeme používat pro poněkud jiné účely.*

1. *Vypočítejte, kolik tento laser uvolní fotonů za čas 193,2 ms, které vyžaduje náš pomyslený experiment.*
2. *Jaká je průměrná intenzita v ohnisku tohoto laseru, pokud jej zaostříme do kruhu o průměru 1 μm?*
3. *Nedopatřením jsme při experimentu vedle laseru kýchlí, když mířil ke stropu, a zjistili, že některé nejmenší kapénky vzduch zvolna donesl až na ohnisko, kde se udržely proti tíhové síle. Odhadněte jejich hmotnost, pokud jste mikroskopem určili 0,5 μm jako jejich nejmenší průměr (uvažujte, že i když se mohou opticky chovat jako voda (pro danou barvu světla), jejich hustota může být vyšší kvůli různým příměsím – laser může unést větší hmotnost při opticky stejném materiálu)<sup>2</sup>.*

*Řešení této úlohy můžete odevzdávat poštou nebo emailem (ne přes db.fykos.cz!) do 5. dubna.*

1. Jistě víte, že práce je součin výkonu a času. Práce laseru je zároveň rovna vydané energii (protože práce je rovna změně energie). Tuto skutečnost zapíšeme matematicky

$$W = E_C = Pt.$$

Pokud za výkon dosazujeme ve watttech a za čas v sekundách, obdržíme energii v joulech. Pokud čas dosadíte v milisekundách, vypočtete energii v milijoulech. Protože propůjčený laser má výkon 1 W a délka světelného pulzu je 193,2 ms, je energie pulzu 193,2 mJ.

Abychom spočetli, kolik se při experimentu z laseru uvolnilo fotonů, musíme využít skutečnosti, že mají všechny stejnou vlnovou délku 514,5 nm zeleného světla, která byla uvedena ve Výfuchení. Pro energii fotonu platí

$$E_f = hf = \frac{hc}{\lambda},$$

kde  $h$  je Planckova konstanta,  $c$  je rychlost světla,  $f$  je frekvence světla a  $\lambda$  je jeho vlnová délka. Abychom tedy zjistili počet fotonů, stačí celkovou energii pulzu vydělit energií jednoho fotonu.

$$N = \frac{E_C}{E_f} = \frac{\lambda Pt}{hc} \doteq 5,0 \cdot 10^{17}$$

V jednom pulsu tedy náš laser uvolní  $5,0 \cdot 10^{17}$  fotonů, což je méně než počet atomů v mililitru vzduchu.

2. Rozumějme intenzitu jako veličinu popisující výkon dopadající na danou plochu. Ostříme-li laser do kruhu o průměru jednoho mikrometru, plocha tohoto kruhu je

$$S = \pi r^2 = \pi \frac{d^2}{4}$$

<sup>1</sup>Vlnová délka byla uvedena v textu.

<sup>2</sup>Většina skutečných kapek, které kýcháme, je mnohem větší, řádově v jednotkách až desítkách mikrometrů.

a hledanou intenzitu spočteme jako

$$I = \frac{P}{S} = \frac{4P}{\pi d^2}.$$

Tady si bylo potřeba dát pozor na jednotky, protože nebyl zadán poloměr, ale průměr, a to navíc v mikrometrech. Dosadíme-li, dostáváme číselný výsledek  $I \doteq 1,27 \cdot 10^{12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ , což je  $10^9$ krát víc než intenzita záření ze Slunce na povrchu Země.

3. Z Výfučtení jsme si zjistili vzorec, ke kterému došel pan Ashkin

$$F_x = \frac{I_0 r^6}{\lambda^4} K,$$

kde  $K$  pro kapičku vody ve vzduchu je  $1,8 \cdot 10^{-6} \text{ s}\cdot\text{m}^{-1}$ . O původu této síly jsme již hovořili ve Výfučtení. Nyní ji jednoduše dáme do rovnosti se silou tíhovou využívaje první Newtonův zákon

$$mg = \frac{I_0 r^6}{\lambda^4} K.$$

Z toho si vyjádříme  $m$  tím, že obě strany vydělíme  $g$

$$m = \frac{I_0 r^6}{g \lambda^4} K.$$

Po dosazení za  $I_0$  a  $r$  (pozor na to, že v zadání byl uveden *průměr*, který je dvojnásobný oproti  $r$ ) pak dostáváme výslednou hmotnost zhruba  $8 \cdot 10^{-10} \text{ kg}$ .

*Marco Souza de Joode*  
joode@vyfuk.mff.cuni.cz

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported.  
Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.