Měsíční kvantum informací

řešení 2. série, březen 2023

II.U1 Když hvězdy mizí

V jaké úhlové výšce nad obzorem je extinkce světla hvězd největší?

a) 0°(obzor)
b) 45°
c) 90°(zenit)

Pokuste se svou odpověd odůvodnit.

Jindra si přál zmizet, když ho prohlásili za hvězdu tanečního večera.

V čím nižší úhlové výšce (výšce nad obzorem) světlo vzhledem k pozorovateli přichází, tím delší dráhu v atmosféře musí urazit. Jelikož tedy urazí delší dráhu, světlo se více rozptýlí. Je tedy jasné, že správná odpověd je a).

II.U2 Jedna konstanta vládne všem. . .

Kdo z uvedených fyziků jako první teoreticky předpověděl svými rovnicemi koncept neměnnosti rychlosti světla?

a) Hendrik Lorentz
b) Albert Einstein
c) James Clerk Maxwell
d) Henri Poincaré

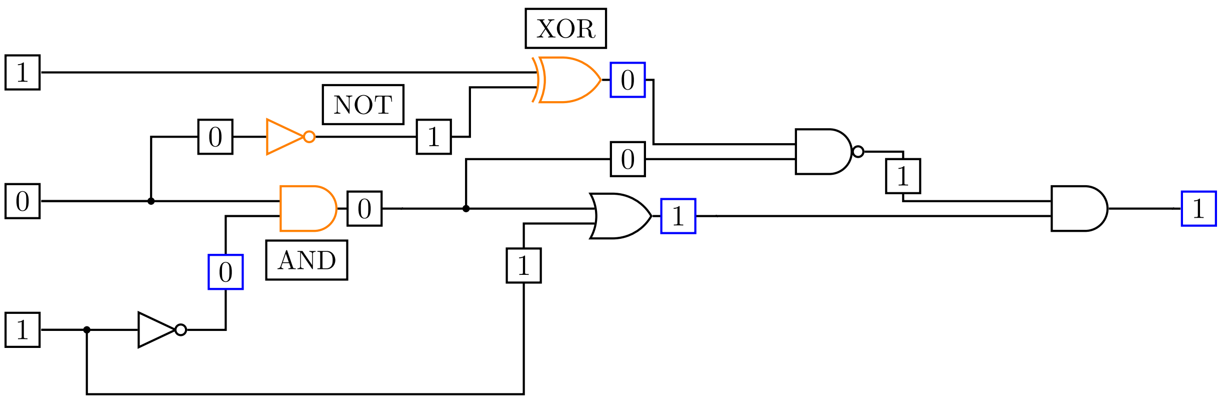
Michal přemýšlel, jak funguje záhadná moc Jednoho prstenu.

V roce 1865 slavný skotský fyzik *James Clerk Maxwell* zformuloval své čtyři rovnice elektromagnetismu, podle kterých se může elektrické a magnetické pole šířit ve formě vlny. Zjistilo se rovněž, že tato vlna nápadně odpovídá světlu. To, co je ale na Maxwellových rovnvicích zajímavé a podivné, je tvrzení, že světlo jakožto nosič elektromagnetického pole se šíří konstantní rychlostí nezávisle na tom, z jaké soustavy se na něj díváme. Na základech této Maxwellovy teorie byla vystavěna tzv. *Lorentzova transformace* a následně i věhlasná Einsteinova speciální teorie relativity.

II.U3 Logická hradla

Pojmenujte oranžově zvýrazněná logická hradla a určete pravdivostní hodnotu signálu v místech a, b, c a d.

Vojta chtěl flexit se svými TEXanými obvody.

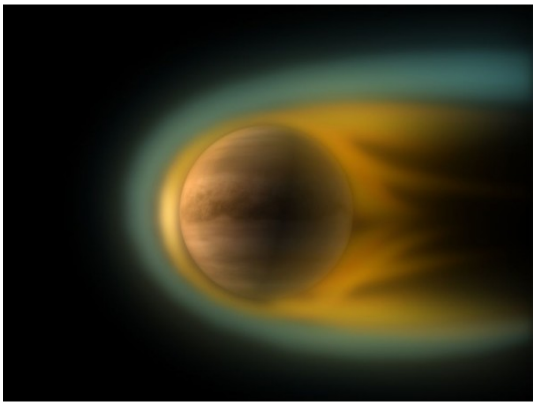


II.A Polární záře

V seriálu jste se dozvěděli o polární záři na Zemi, nyní se zkuste zamyslet, jak je to s polární září na našísousední planetě Venuši. Rozhodněte jestli lze v atmosféře Venuše pozorovat jev podobný polární záři na Zemi, pokud ano popište, jak vzniká.

Vojta chtěl teraformovat Venuši.

Venuše nemá vlastní magnetické pole, takže na první pohled by se mohlo zdát, že odpověď je jasná - Ne, žádný jev podobný zemské polární záři v atmosféře Venuše pozorovat nelze, protože nabité částice slunečního větru nemají s čím interagovat. Tato úvaha je zcela správná, ale i přes to astronomové pozorují *auroru* na Venuši.



Aurora na Venuši[1]

Jak je to možné? V atmoféře Venuše se vyskytuje hodně iontů, převážně ionty kyslíku O^{2-}. Plazmoid blížící se k Venuši indukuje v ionosféře Venuše slabé magnetické pole. Nabité částice slunečního větru pak s tímto indukovaným polem interagují a předávájí svojí energii kyslíkovým iontům, které jí následně vyzáří a vytvoří tak v celé atmosféře jev podobný polární záři na Zemi.

II.K Není všechno teplé, co se třpytí!

Dle Planckova vyzařovacího zákona má závislost spektrální intenzity na vlnové délce jedno maximum. V praxi to znamená, že tělesa vyzařují na všech vlnových délkách, ovšem na některých vyzařují méně a na některých více. Existuje však jedna vlnová délka, na které dané těleso vyzařuje nejvíce, říkejme jí $\lambda_{\max}$. A právě tuto vlnovou délku $\lambda_{\max}$ také nejlépe vidíme.

1. Jaký je vztah mezi $\lambda_{\max}$ a teplotou příslušného tělesa?
   a) $\lambda_{\max}$ je přímo úměrná teplotě tělesa
   b) $\lambda_{\max}$ je nepřímo úměrná teplotě tělesa
2. Svou předchozí odpověd se pokuste zdůvodnit úvahou nebo prokázat na nějakém jevu v přírodě.

   Nápověda: Zamyslete se například nad tím, co dává hvězdám jejich barvu.
3. Jak se nazývá zákon, který dává do vztahu $\lambda_{\max}$ a teplotu vyzařujícího tělesa?
   a) Stefan–Boltzmannův zákon
   b) De Broglieho vlna
   c) Einsteinova rovnice fotoefektu
   d) Wienův posunovací zákon

Vlnová délka, na které těleso (z původní teorie absolutně černé) vyzařuje nejvíce, je **nepřímo úměrná** jeho teplotě. Tento fakt se dá dokázat matematicky hledáním maxima funkce spektrální intenzity (pomocí matematické operace zvané *derivování*). Protože se jedná o docela signifikantní poznatek, vysloužil si vlastní název, *Wienův posunovací zákon*.

V přírodě ho lze pozorovat zejména ve vesmíru, například barva hvězd je bezprostředně určena jejich teplotou. Modré hvězdy jsou teplejší než oranžové a to právě proto, že modré barvě odpovídá kratší vlnová délka než oranžové. V astronomii proto lze pozorováním barvy hvězd relativně snadno určit jejich povrchovou teplotu.

Zákon vyzařování se projevuje i v jedné v současné době probírané problematice, kterou je skleníkový efekt. Nepochybně jste už někdy slyšeli, jak tento jev funguje. V jednoduchém podání sluneční světlo projde atmosférou Země, ale jeho energie se už poté nevrátí zpátky do vesmírného prostoru. Jak je to možné? Energii ze Slunce pohltí zemský povrch, který se tak ohřívá. Podle Planckova zákona musí i samotná Země vyzařovat. Ovšem na mnohem delší vlnové délce, než je

[1] Illustration by C. Carreau/ESA

viditelné světlo ze Slunce, protože Země má porvchovou teplotu mnohokrát nižší než Slunce. Naše planeta ve výsledku vrací přijatou enrgii v infračervené oblasti, jenže právě na takových vlnových délkách absorbují záření ony skleníkové plyny (původ toho děje tkví v kvantové chemii a tzv. *Ramanově spektroskopii*) a udržují tím energii v atmosféře, čímž se planeta rychle otepluje…

V poslední řadě by bylo hezké uvést něco, co všichni nepochybně znáte. Infračervená kamera, přístroj umožňující vidění ve tmě, též zvaný jako termovizní kamera. Funguje přesně na principu sledování infračeveného záření, tedy záření, které člověk emituje. Jeho vlnovou délku přepočítá na teplotu tělesa a vykreslí nám hezký obraz rozložení teploty v okolním prostoru.

II.B Zase ty světla!

Netrpělivý řidič se přibližuje k semaforu, na kterém z dálky vidí svítit červenou.Nechce zastavovat, a jelikož je fyzikálně vzdělaný, napadne ho zrychlit na takovou rychlost, že místo červené uvidí zelenou.Vypočítejte rychlost, jakou by se musel pohybovat. $\lambda_\mathrm{R} = 700\,\mathrm{nm}$ $\lambda_\mathrm{G} = 550\,\mathrm{nm}$.

Jindra se rozhodl řešit slavné dilema; řešit two B or not to be.

Od semaforu se šíří světlo směrem k autu. Jelikož se auto pohybuje, vlnová délka světla se důsledkem *Dopplerova jevu* zmenšuje. Pro frekvenci f_e emitovaného světla a frekvenci f_p přijatého světla platí rovnice

$$f_e = f_s \left(1 + \frac{v_p}{v}\right),$$

kde v_p je rychlost přijímače, tedy auta, a v je rychlost vlnění, v našem případě světla. Proto za v dosadíme rychlost světla c.

Chceme vypočítat, jakou rychlostí by se řidič musel pohybovat, tedy chceme zjistit v_p. Roznásobením závorky a úpravou se dostaneme k vztahu:

$$\frac{f_e - f_s}{f_s} = \frac{v_p}{c}.$$

frekvence můžeme obměnit za vlnové délky.

$$\frac{\lambda_e - \lambda_s}{\lambda_s} = \frac{v_p}{c}$$

Malá odbočka: dostali jsme se k vztahu, který se používá (zjednodušeně) v astrofyzice. Levá strana rovnice se nazývá rudý/červený posuv.

Zpět však k naší úloze. Za vlnovou délku λ_e emitovaného světla dosadíme vlnovou délku λ_R červené barvy, a za vlnovou délku λ_s přijatého světla vlnovou délku λ_G zelené barvy. Rovnici už jen upravíme tak, abychom vyjádřili rychlost v_p auta.

$$v_p = c\frac{\lambda_R - \lambda_G}{\lambda_G}$$

Číselně výsledek vychází

$$v_p \approx 8,2 \cdot 10^7\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

Výsledek vám možná nebude vycházet na číslo stejně… to ale vůbec nevadí. Při takhle velkém čísle nás výsledek zajímá pouze řádově.

Klasický Dopplerův jev platí pro vlnění, které se šíří jen v určitém prostředí (třeba vzduch nebo voda...). Avšak víme, že elektromagnetické vlny, a tedy i světlo, pro šíření žádné prostředí nepotřebují (mohou se šířit ve vakuu). Proto bychom správně měli používat *relativistický Dopplerův jev.* U elektromagentických vln tento jev závisí pouze na relativním pohybu mezi přijímačem a vysílačem.
Platí pro něj vztah:

$$f_p = f_e\sqrt{\frac{c+v}{c-v}},$$

kde f_p je přijímaná frekvence, f_e frekvence emitovaná a v relativní rychlost. Frekvence opět obdobně nahradím za vlnové délky a rovnici postupně upravím.

$$\left(\frac{\lambda_p}{\lambda_e}\right)^2 = \frac{c+v}{c-v}$$

$$\left(\frac{\lambda_p}{\lambda_e}\right)^2 c - v = c + v$$

$$\left(\frac{\lambda_p}{\lambda_e}\right)^2 c - c = 2v$$

$$v = \frac{c}{2}\left(\frac{\lambda_p^2}{\lambda_e^2} - 1\right)$$

Číselně je rychlost v

$$v \approx 9,3 \cdot 10^7\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}.$$

Vidíme, že oba výsledky jsou pro tak velká čísla řádově stejná, proto v tomto případě je akceptovatelné použít i klasický Dopplerův efekt. Pro menší čísla by to však mohl být problém, proto pro světlo vždy počítejte s relativistickým Dopplerovým jevem.

Seznámení a podrobné informace

Jak sepisovat řešení, pravidla

Budeme rádi, když vyplníte dotazník

Jindřich Anderle, Vojtěch Kubrycht, Michal Stroff

kvantuminformaci@gmail.com