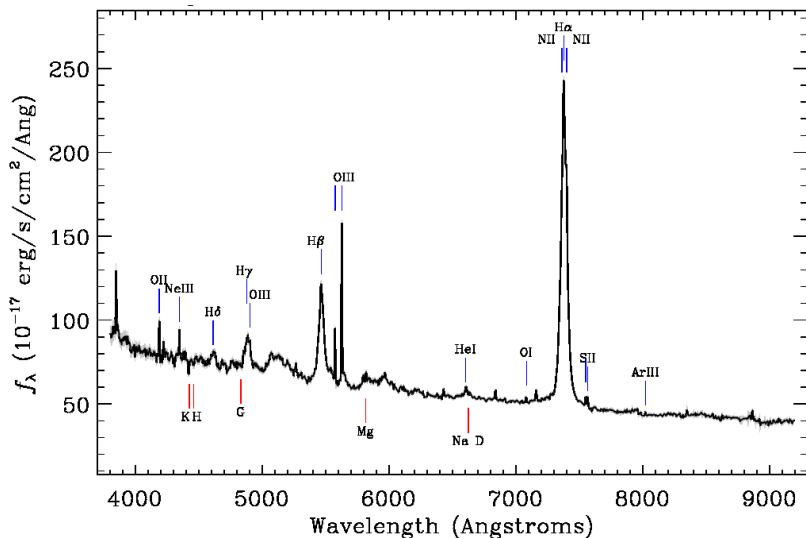


Úloha III.V ... Záření hvězd

7 bodů; průměr 5,94; řešilo 16 studentů

1. Chemici našli ve spektru čáru H-epsilon – přechodem elektronu mezi kterými hladinami vznikla tato čára? Vypočítejte pomocí Balmerova vzorce, na jaké vlnové délce tuto čáru v laboratorních podmínkách najdeme. Dále spočítejte, jakou energii má foton vyzářený tímto přechodem.
2. Astronomové pozorovali vzdálenou galaxii a získali spektrum, které vidíte na obrázku. Na jaké vlnové délce najdeme čáru H-alpha? Pomozte astronomům spočítat radiální rychlost dané galaxie, když víte, že laboratorní vlnová délka čáry H-alpha je $\lambda_0 = 656 \text{ nm}$. Pohybuje se galaxie směrem od nás, nebo se přibližuje?



Obrázek 1: Závislost hustoty zářivého toku na vlnové délce s vyznačenými spektrálními čarami.

Přestože to pro řešení této úlohy není důležité, povšimněte si veličiny na svislé ose. Základní veličinou observační astronomie je intenzita, která udává výkon záření na jednotku plochy pozorovacího přístroje a jednotku vlnové délky nebo frekvence, pro danou úhlovou výšeč zdroje. Například kolik wattů přichází na metr čtvereční na nanometr z dané úhlové výšeč Slunce.

Zde je na svislé ose vynesena hustota zářivého toku, což je výkon vztažený na jednotku plochy a vlnové délky, ale z celého zdroje – není tedy vztažena na jednotku prostorového úhlu. V astronomii se někdy setkáme s neobvyklými jednotkami. Jedná se o pozůstatek soustavy cgs (centimetry-gramy-sekundy), která bývala v experimentální fyzice po dlouhou dobu používána.

Jednotkou energie v cgs soustavě je erg, který odpovídá 10^{-7} J . Vlnová délka se někdy měří v jednotce zvané Angström, což je 10^{-10} m , tedy desetina nanometru. Za jednotku plochy byl zvolen čtvereční centimetr.

1. H-epsilon je spektrální čára z Balmerovy řady. Čáry v této posloupnosti vznikají přechodem elektronů z n -té energetické hladiny na druhou. První z této posloupnosti je čára

H-alpha, která vznikne přechodem z třetí hladiny na druhou, H-beta pak odpovídá přechodu mezi čtvrtou a druhou atd. V našem případě je čára označená písmenkem epsilon, to je páté písmeno v řecké abecedě, jedná se tedy o pátou čáru ze série a vzniká při přechodu ze sedmé energetické hladiny na druhou. Máme tedy $n = 7$ a po dosazení do Balmerova vzorce tedy zjistíme, že vlnová délka vyzařeného fotonu je:

$$\lambda = \lambda_B \cdot \frac{n^2}{n^2 - 4} \doteq 397,0 \text{ nm}.$$

Jen pro úplnost připomeňme, že $\lambda_B \doteq 364,6 \text{ nm}$. Dále potřebujeme spočítat energii fotonu o této vlnové délce. Platí:

$$E = hf,$$

kde $h \doteq 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ je Planckova konstanta a f je frekvence fotonu, kterou převedeme na vlnovou délku pomocí vztahu $c = \lambda f$. Jen pro zajímavost (opravdu jen pro zajímavost, pro úspěšné řešení této úlohy toto nebylo třeba) nastíníme, z čeho tento vztah plyne. Vlnění je obecně šíření nějakých poruch. Touto poruchou mohou být změny výšky vodní hladiny, zhušťování a zředování molekul vzduchu (zvuk) nebo změny velikosti elektromagnetického pole. Pokud se poruchy pravidelně opakují, můžeme jim přiřadit nějakou časovou periodu $T = 1/f$. Ukazuje se, že fotony jsou změny elektromagnetického pole, a tyto změny mají tím vyšší energii, čím větší mají frekvenci.

Rychlost šíření vlnění c si můžeme představit tak, že za čas T urazí vlna vzdálenost odpovídající jedné prostorové periodě, což je vlastně vlnová délka, tedy: $\lambda = cT = c/f$. Energie našeho fotonu pak je:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_B} \cdot \frac{n^2 - 4}{n^2} \doteq 5,004 \cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

2. Z grafu vyčteme, že pozorovaná vlnová délka čáry H-alpha je přibližně $\lambda = 740 \text{ nm}$. Je tedy větší oproti laboratorní délce, z čehož plyne, že se galaxie vzdaluje. Ještě spočítáme velikost rychlosti ze vztahu pro Dopplerův jev:

$$\frac{v}{c} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$$

$$v = 0,13c \doteq 3,9 \cdot 10^7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$$

Pro zvědavé čtenáře opět uvedeme, jak se dá použitý vzorec odvodit. Představme si, že místo vlnění vysílá zdroj záření krátké impulzy s frekvencí $f_0 = \frac{1}{T_0}$. Tyto impulzy se šíří prostorem rychlostí c vzhledem k pozorovateli (nejedná se o rychlost $c - v$, jak bychom očekávali, pozorování ukazují, že světlo se šíří stejnou rychlostí vzhledem ke všem pozorovatelům nezávisle na jejich relativních rychlostech, je to i jeden z postulátů speciální teorie relativity). Kdyby se zdroj nepohyboval, byly by impulzy od sebe vzdáleny o $\lambda_0 = cT_0$. Pohyb však způsobí, že se před vysláním dalšího impulzu zdroj přesune o vzdálenost vT_0 . Tím se vlnová délka prodlouží na:

$$\lambda = \lambda_0 + v \cdot T_0,$$

kde po dosazení $T_0 = \frac{1}{f_0} = \frac{\lambda_0}{c}$ a několika úpravách dostaneme námi využitý vztah:

$$\begin{aligned}\lambda - \lambda_0 &= v \cdot \frac{\lambda_0}{c}, \\ \frac{v}{c} &= \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}.\end{aligned}$$

Jiří Kohl

jirkak@vyfuk.org

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. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

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