

Měsíční kvantum informací

4. série, květen 2023



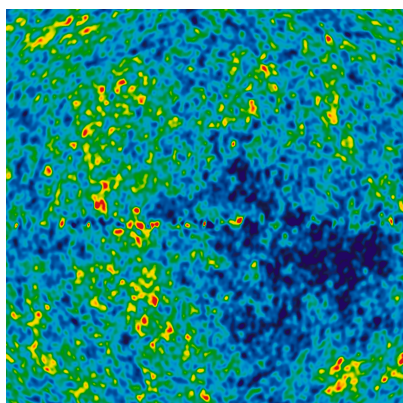
Elektronická verze

IV.U1 To na tabuli neuvidíte!

K následujícím obrázkům přiřaďte jev, nebo objekt, který zachycuje.

Jevy/objekty

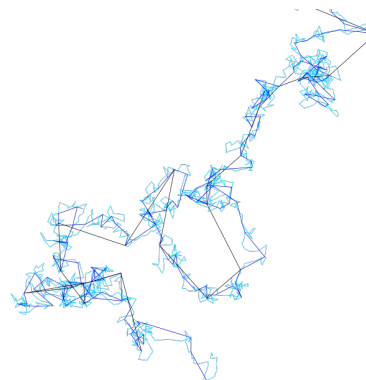
interakce radioaktivního záření s fotografickou deskou, simulace brownova pohybu částice, Sgr A*, mapa teplotního rozložení raného vesmíru, čerenkovovo záření, elektron letící zpátky v čase mlžnou komorou



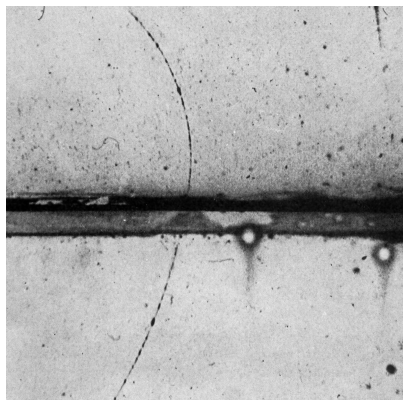
1



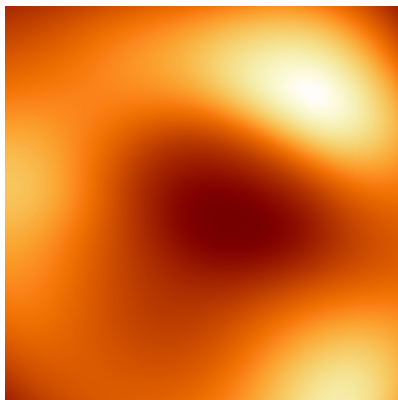
2



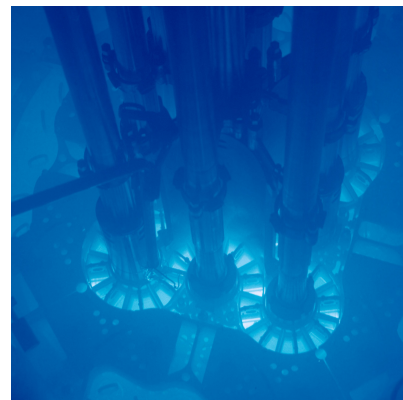
3



4



5



6

Bonus: Jak jinak byste mohli pojmenovat 4. obrázek?

¹Autor: NASA/WMAP Science Team

²Autor: Henri Becquerel

³Autor: Di Gama

⁴Autor: Carl D. Anderson

⁵Autor: EHT Collaboration

⁶Autor: Argonne National Laboratory

IV.U2 Světla, kamera, Stockholm!

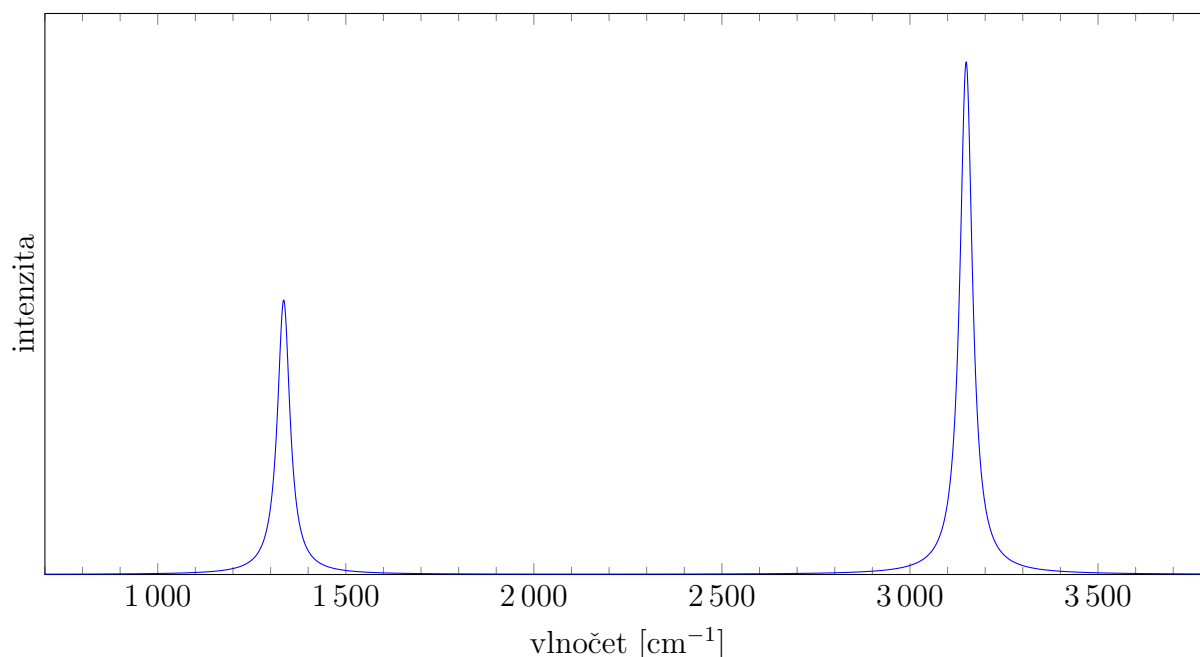
Za rok 2022 byla udělena Nobelova cena za fyziku Alainu Aspectovi, Johnu Clauserovi a Antonu Zeilingerovi konkrétně za experimenty s provázanými fotony. Jejich výsledky potvrdili neplatnost tzv. *Bellových nerovností* u provázaných částic, což vede k faktu, že se tyto částice ovlivňují na dálku a to nadsvětelnou rychlostí. Je takto ale možné posílat informace rychleji než světelnou rychlostí? Pokuste se nastínit zdůvodnění své odpovědi.

IV.U3 Molekuly, molekuly, hýbejte se!

1. Které molekule pravděpodobně patří níže zobrazené Ramanovo spektrum?

- a) H_2O
- b) CO_2
- c) CH_4
- d) F_2

Ramanovo spektrum molekuly (teorie)



2. Co v molekule určuje toto (čistě Ramanovo) spektrum?

- a) Energetické hladiny přeskakujících elektronů
- b) Energetické hladiny kmitajících jader

IV.A Pozdní večer, první máj, večerní máj, byl hvězd čas.

Hned na začátek zapátrejme v paměti, a vzpomeňme si na seriál II.K. V tomto seriálu jste se dozvěděli o *Planckově vyzařovacím zákonu*. Víte tedy, že každé těleso vyzařuje na všech vlnových

délkách, avšak na jedné nejvíce. A převážně tuto vlnovou délku vidíme. Podle *Wienova posunovacího zákona* je tato vlnová délka nepřímo úměrná teplotě tělesa. To znamená, že čím vyšší teplota hvězdy je, tím více se maximální vlnová délka posouvá k modré části spektra. Modré hvězdy jsou tedy teplejší než hvězdy červené. Při pohledu na hvězdnou oblohu si lze velmi snadno všimnout toho, že hvězdy jsou různě jasné.⁷ Jak jasně hvězdu vidíme závisí na veličině, kterou nazýváme *hustota zářivého toku*⁸ a na vzdálenosti. Prozatím vzdálenost odložíme, a budeme počítat s tím, že pozorujeme hvězdy ve stejné vzdálenosti.

Hustota zářivého toku (dále jen HZT) je veličina popisující tok záření, které projde 1 m^2 za 1 s . HZT dává do vztahu společně s teplotou tělesa *Stefan-Boltzmannův zákon*.⁹ Ten říká, že HZT je přímo úměrná čtvrté mocnině teploty tělesa. Proto, čím teplejší hvězda je, tím více energie vyzařuje – je jasnější.

Jako míru jasnosti používáme hvězdnou velikost, neboli *magnitudu*. Tato míra odpovídá historickému dělení hvězd do šesti skupin, kde 0 byla nejjasnější a 5 nejméně jasná. Dnes však magnitudu používáme pro všechny objekty na obloze, proto může jít i do záporu. Například, nejjasnější objekt na obloze – Slunce – má magnitudu $-26,6$. Chceme-li však porovnávat magnitudu nezávisle na vzdálenosti objektu, používáme tzv. *absolutní magnitudu*. Jedná se o magnitudu, jakou by mělo pozorované těleso kdybychom ho pozorovali ze vzdálenosti 10 pc od nás.

Různě velké hvězdy mohou být stejně jasné (mít stejnou HZT), avšak budou různě zářivé. Proto zavádíme další veličinu, která nám popisuje, jak hvězdu vidíme, a to *zářivý výkon* (mohli bychom říct zářivost či svítivost). Jak je ale možné, že dvě stejně jasné hvězdy uvidíme jinak zářivé? Odpověď spočívá v odlišných rozměrech. Hvězdy vyzařují energii svým povrchem. Je-li jedna hvězda o stejné jasnosti větší než druhá, tedy má větší povrch, bude zářit více. Zkrátka, má větší plochu, ze které září. Není tedy těžké domyslet, že zářivý výkon vypočítáme tak, že HZT vynásobíme povrchem hvězdy.

Jak jsme již na samém začátku avizovali, hvězdy mají různé barvy. Neboli, světlo, které k nám od nich přichází, má různé spektrum. Na základě toho byly vytvořeny tzv. *spektrální třídy*. Původně byly hvězdy rozděleny do sedmi skupin¹⁰, kde každá skupina má deset podskupin. S rozvojem techniky rozsah nestačil, a tak se třídy postupně rozrostly do dnešních třinácti. Často se ale uvádí pouze sedm základních, jelikož další skupiny jsou zastoupeny jen zřídka.

Na začátku 20. století nezávisle na sobě dva astronomové zkonstruovali diagram, na kterém zaznamenávali absolutní magnitudu na svislou osu a spektrální třídu na vodorovnou osu. Tento diagram se po nich nazývá *Hertzsprung-Russelův diagram*. Od svého vzniku však diagram prošel malými změnami. Dnes již víme (a vy od minulého seriálu také!), že spektrální třída závisí na teplotě. Proto se spíše častěji setkáte s diagramem, kde na vodorovné ose bude teplota. Také víme, že absolutní magnituda závisí pouze na zářivém výkonu, proto je dnes na jedné svislé ose stupnice zářivého výkonu, a na druhé absolutní magnituda. Co se však nezměnilo jest, že teplota se historicky zaznamenávala tak, že roste zprava doleva.

Při zanášení dat do diagramu si astronomové všimli, že diagram není vyplněn rovnoměrně, ale vzniklo v něm několik výrazně zaplněných oblastí. Nejvýraznější je tzv. *hlavní posloupnost*. Na ní se nacházejí hvězdy, které v jádře spalují vodík na hélium. Tato linie je tak výrazná, protože zářivý výkon i teplota závisí na hmotnosti hvězdy dokud spaluje vodík. Čím je hvězda hmotnější, tím vyšší teplotu a zářivý výkon bude mít, a na hlavní posloupnosti bude více vlevo.

Když hvězdě dojde vodík, začne spalovat hélium na těžší prvky. V té době se dostává do druhé

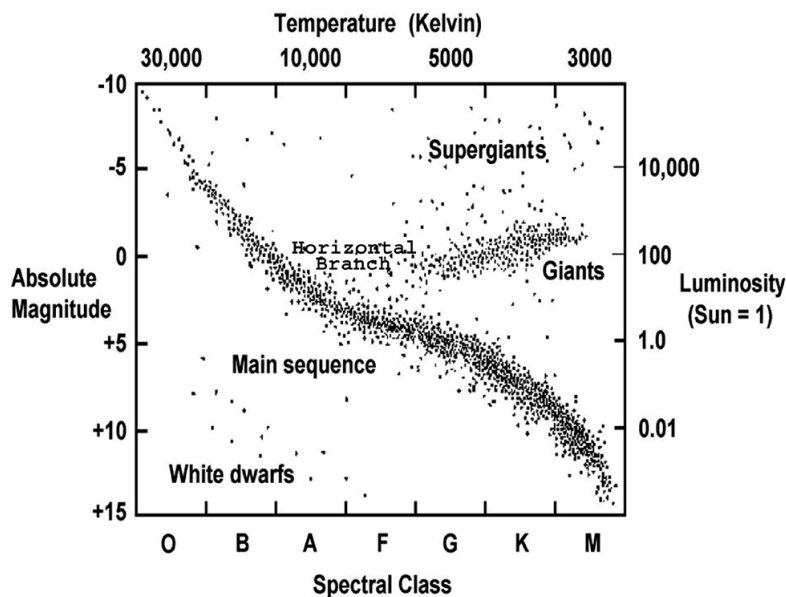
⁷Pro další čtení; je potřeba vnímat dvě odlišné veličiny: jasnost a zářivost/svítivost.

⁸V češtině se poměrně zmatečně může nazývat (bolometrická) jasnost.

⁹V češtině by se správně mělo psát: Stefanův-Boltzmannův zákon – to nám však přijde opravdu uširvoucí.

¹⁰Existuje mnoho vtipných porekadel na zapamatování si všech tříd. Doporučujeme vám si je najít.

nejvýraznější skupiny – obři. Již podle názvu lze poznat, že se jedná o hvězdy obrovských rozměrů. V tomto stádiu hvězdy postupně stlačují těžké prvky, až se dostanou k stabilnímu železu. Poté nastává závěrečné stádium chladnutí a smršťování jádra. Z málo hmotných hvězd se stanou bílí trpaslíci – třetí nejvýraznější skupina. Avšak, má-li hvězda dostatečnou hmotnost, exploduje jako supernova, a v nitru vznikne neutronová hvězda či černá díra. O nich ale zase někdy přístě. . .



Hertzsprung-Russellův diagram¹¹

Úlohy:

1. Proč nevidíme zelené nebo třeba fialové hvězdy?
2. Při pohledu na HR diagram vás možná zaskočilo, že hodnota jednoho dílku stupnice zářivého výkonu (luminosity) neodpovídá hodnotě jednoho dílku stupnice absolutní magnitudy. Co to vypovídá o lidském vnímání zářivosti?

IV.K Částice, či vlna, to je oč tu běží.

V minulém seriálu jsme si odpověděli na otázku vyzařování a představili jsme si *Planckův vyzařovací zákon*. Také jsme otevřeli téma tzv. *vlnově-částicový dualismu* (světlo se může chovat jako částice a zároveň jako vlna). Právě zkoumání tohoto jevu se budeme věnovat v tomto seriálu.

Náš příběh začíná na začátku 20. století u 26letého Alberta Einsteina, který se v té době mimo jiné pokoušel vysvětlit tzv. *fotoelektrický jev*.

Fotoelektrický jev (*fotoefekt*) spočívá v uvolnění (a následné emitaci) elektronů z obalu atomů po absorpci *elektromagnetického záření* (světla) danou látkou. Podle klasické fyziky by měla energie odlétajících elektronů záviset na *intenzitě* záření, ale experimentálně se dokázalo, že jejich energie záleží hlavně na *frekvenci* zdroje. K vysvětlení této závislosti použil Einstein roku 1905 Planckovu myšlenku *kvantování* a přisoudil tak elektronům energii kvanta elektromagnetického

¹¹Ilustrace od Chandra X-ray Observatory edu, NASA

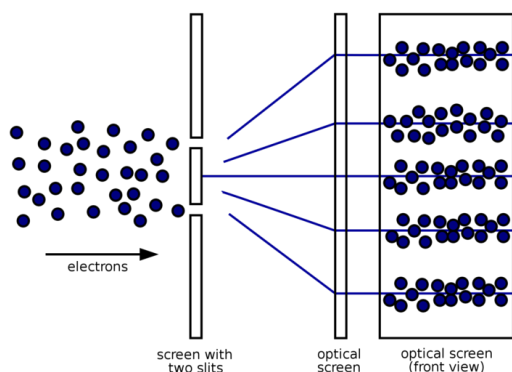
záření, tedy fotonu, $E = h\nu$, kde h je *Planckova konstanta* a ν je *frekvence elektromagnetického záření*. Toto vysvětlení spolu s Planckovým vyzařovacím zákonem stálo u zrodu kvantové fyziky a změnilo doposud čistě vlnový pohled klasické fyziky na světlo.

O několik let později se na začátku 20. let 19. století mladý *Louis de Broglie* zamýšlel nad tím, jestli by nešlo tuto úvahu zobecnit. Snažil se tedy přiřadit částicím jako např. elektronům a protonům *vlnový charakter*. Ve své doktorské práci roku 1924 přišel s následujícím vztahem mezi vlnovou délkou a rychlostí částice.

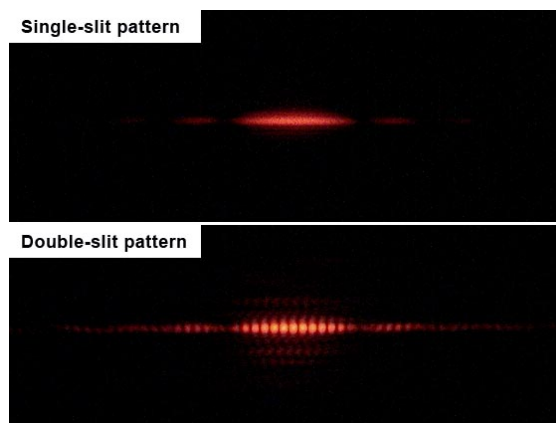
$$\lambda = \frac{h}{p},$$

kde λ je tzv. *de Broglieho vlnová délka*¹², p je hybnost částice, h je již několikrát zmiňovaná Planckova konstanta.

Tyto myšlenky byly následně ověřeny tzv. *dvojštěrbinovým experimentem*. Při provedení experimentu se zdrojem elektronů (viz obr.1) byl na detektoru pozorován interferenční obrazec podobný tomu, který vznikl při měření se zdrojem světla (viz obr.2). Tato skutečnost dokazuje, že i elektrony se mohou chovat jako vlny.



Obr.1: Schéma dvojštěrbinového experimentu s elektronovým paprskem



Obr.2: Pozorovaný interferenční obrazec

Úloha:

Zkuste najít a stručně popsat využití de Broglieho teorie.

IV.B Uf, to je tíha!

Změřte svou hmotnost bez pomoci váhy. Přístroj *váha* definujeme jako měřidlo, které měří hmotnost přímým měřením (rovnou ukazuje vaši hmotnost).

Zaměřte se především na metodu, kterou při měření postupujete, své měření co nejdůkladněji popište a pečlivě zdokumentujte. Rovněž pamatujte, že neexistuje pouze jeden způsob měření. Buďte zkrátka kreativní!

¹²V některých publikacích můžete najít i termín *de Broglieova vlnová délka*



Seznámení a
podrobné
informace



Jak sepisovat
řešení, pravidla



Budeme rádi, když
vyplníte dotazník

Jindřich Anderle, Vojtěch Kubrycht, Michal Stroff

kvantuminformaci@gmail.com