



Středoškolská technika 2016

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

KONSTRUKCE SPEKTROMETRU V DOMÁCÍCH PODMÍNKÁCH

Adam Prášek

Střední průmyslová škola, Ostrava - Vítkovice, příspěvková organizace
Zengrova 1, 703 00 Ostrava - Vítkovice

Obsah

1. Úvod.....	2
2. Spektrální analýza a její využití	2
2.1 Rozdělení spekter dle vzhledu.....	3
2.2 Rozdělení podle původu.....	4
2.3 Rozdělení dle spektrální oblasti.....	4
3. Konstrukce spektroskopu	7
4. Pokusy	9
4.1 Turistická svítilna.....	9
4.2 Terarijní žárovka	9
5. Závěr.....	10
6. Citace.....	11

1. Úvod

Původně jsem chtěl postavit spektrometr k měření vlnových délek laserů, které vlastním. Bohužel se to ukázalo jako nemožné bez vynaložení značných finančních nákladů, ale zjistil jsem, že mohu svou práci převést na úlohu: „Jak sestrojít spektrometr snadno a levně“. Celková cena byla z počátku proměnnou, nakonec jsem však cenu stanovil

1 000 Kč, jejím základem byla cena hranolu 918,- Kč bez poštovného. I kdybychom poštovné nezapočítávali, částka by zůstala stanovená na dané částce, důvodem by byla určitá rezerva v případě cenových výkyvů a na nákup černé pásky. Ačkoliv jsem to nezkoušel, je pravděpodobné, že místo hranolu by šel použít i kus skla nebo skleněná soška.

2. Spektrální analýza a její využití

Spektroskopie je fyzikální obor zabývající se vznikem a vlastnostmi spekter. Je to metoda založená na interakci elektromagnetického záření se vzorkem.

Prochází-li světlo složené ze všech vlnových délek např. sodíkovými čarami, pohltí se ze spojitého spektra světlo těch vlnových délek, která by sodík sám vyzařoval, a vznikne spektrum absorpční.

Charakter absorpčního spektra má i sluneční spektrum, které obsahuje řadu temných čar. Jejich původ lze vysvětlit tak, že záření z vnitřní vrstvy slunce (fotosféry) prochází okrajovou chladnější chromosférou. Spektrum záření fotosféry je spojitě, ale při průchodu chromosférou dochází k absorpci některých vlnových délek. V daných místech spektra se pak objevují temné Fraunhoferovy čáry. Částečně se na vzniku absorpčního spektra podílí i atmosféra Země.

Záření, které látky vyzařují, je důležitým zdrojem informací o složení dané látky. Z tohoto hlediska se studiem záření zabývá spektrální analýza. Základním přístrojem spektrální analýzy je spektroskop, který je založen na rozkladu světla. Podle způsobu rozkladu se rozlišuje:

1. hranolový spektroskop - rozklad se provádí pomocí hranolu;
2. mřížkový spektroskop - rozklad světla se provádí optickou mřížkou pomocí ohybu světla.

Spektrální analýza studuje chemické složení látek na základě poznatku, že poloha čar ve spektru přesně určuje obsah chemických prvků ve zkoumané látce. Analogicky je možné pomocí pásového spektra určovat přítomnost molekul v dané látce.

Dále je možné na základě intenzity spektrálních čar stanovit i množství daného prvku (např. ve slitině kovu, ...). Tím se zabývá kvantitativní spektrální analýza.

Metody spektrální analýzy patří mezi nejcitlivější analytické metody určování hmotnosti

(přesnost řádově 10^{-13} kg). Nejvíce se využívá ohyb světla na optické mřížce s velkým počtem vrypů na milimetr délky mřížky. Spektrální analýza má značný praktický význam - uplatňuje se při analýze složení v chemii, metalurgii, lékařství, potravinářství, kriminalistice, astronomii, ... Pomocí spektrální analýzy bylo zjištěno nejen složení Slunce a hvězd, ale lze také určit rychlost jejich pohybu.

Spektrometrii můžeme rozdělit podle několika hledisek. Prvním hlediskem může být typ interakce záření s hmotou. Atom nebo molekula mohou záření pohltit (absorpce), nebo může naopak uvolnit energii ve formě záření (emise), nebo může záření pohltit a po čase jej opět

emitovat (fluorescence a fosforescence). Základní fyzikální vlastností látek je, že se jedná o záření určitých specifických vlnových délek. Absorbované nebo emitované spektrum není spojitě, ale skládá se z mnoha linií (čar nebo pásů), které jsou specifické pro každou látku. Neexistují dvě chemicky odlišné látky mající stejné absorpční nebo emisní spektrum. V kapalně a pevné fázi pozorujeme spektra pásová. V plynné fázi mají spektra podobu separovaných linií v případě molekul sdružených do pásů. Ve vzdálené infračervené oblasti odpovídá každá linie změně rotace molekuly. Ve střední a blízké infračervené oblasti změně vibrace a rotace molekuly. Ve viditelné a ultrafialové oblasti spekter dochází k elektronovým změnám (přeskokům z orbitalů různých energií) ve vnějších slupkách molekulových a atomových orbitalů, v oblasti rentgenového záření ke změnám ve vnitřních slupkách atomů. Radioaktivní záření gama vede k přeskokům jaderných částic mezi jednotlivými energetickými hladinami jádra. Jak bylo zmíněno, vlnové délky linií odpovídajících těmto změnám v energii molekul a atomů jsou specifické podle druhu specie.

Se zkracující se vlnovou délkou záření se zvyšuje jeho energie a také účinek záření na atomy, či molekuly je znatelnější. Zatímco radiové vlny svým dopadem ovlivní jen orientaci jaderného spinu a účinek na molekulu je téměř nulový, tak gama záření je schopno zničit i atomová jádra.

Analytická chemie a forenzní chemie využívají RTG záření, případně UV/VIS nebo IR spektroskopii. Fluorescence se používá například k zobrazování otisků a také k DNA značení při hledání otcovství.

2.1 Rozdělení spekter dle vzhledu

➤ Čárové spektrum

Čárové spektrum je spektrum složené ze spektrálních čar buď vyzářených (emisní spektrum), nebo pohlcených (absorpční spektrum). Emisní časové spektrum vysílají emisní mlhoviny. Absorpční čárové spektrum se tvoří ve fotosférách hvězd. Příkladem časového spektra je Fraunhoferovo spektrum Slunce.

➤ Spojité Spektrum

Spektrum zdroje, který vysílá záření všech vlnových délek (bez spektrálních čar). Při rozložení ve spektroskopu nebo spektrografu se spojitě spektrum ve viditelném oboru jeví jako spojitý barevný pás, přecházející od barvy červené u nejdelších vlnových délek přes oranžovou, žlutou, zelenou a modrou k barvě fialové u nejkratších vlnových délek. Vysílají je pevné látky (např. vlákno žárovky, rozpálené uhlí), nebo rozsáhlé oblasti plazmatu, jakými jsou hvězdy. Např. spojitě sluneční spektrum je vysíláno rekombinací atomů neutrálního vodíku s volnými elektrony. Rozložení zářivého toku ve spektru černého tělesa je dáno Planckovým zákonem.

➤ Pásové

Pásové spektrum je tvořeno velkým množstvím čar v těsné blízkosti. Tvoří skupiny oddělené temnými pásy. Zdrojem takového spektra jsou zářící molekuly látek.

2.2 Rozdělení podle původu

➤ Emisní

Emisní spektrum vzniká vyzařováním určitou látkou nebo materiálem

➤ Absorbční

Zdrojem je bílé světlo, které přichází o některé své složky při průchodu prostředím, například skrze páry některého prvku.

➤ Luminiscenční

Spektrum vznikající při luminiscenci. Fluorescenční metody se stále více používají nejen v biochemickém a biofyzikálním výzkumu, ale i v klinické chemii, genetických analýzách, monitorování prostředí a dalších oborech. V biomedicině se jedná především o identifikaci a dělení buněk v průtokové cytometrii, zobrazování buněčných složek ve fluorescenční mikroskopii a analýze obrazu, studium změn konformací a dynamiky buněčných systémů, aplikace v různých testech jako je ELISA a další, kdy fluorescenční metody často nahrazují metody využívající radionuklidové zářiče.

2.3 Rozdělení dle spektrální oblasti

Typ záření	Vlnočet (cm ⁻¹)	Frekvence	Energie (kJ/mol)	Interakce s hmotou
Záření gama (γ)	$10^8 - 10^{10}$	$3 \cdot 10^{18}$ Hz - $3 \cdot 10^{20}$ Hz	$10^6 - 10^8$	Rozpady atomových jader
Rentgenové záření (RTG)	$10^6 - 10^8$	$3 \cdot 10^{16}$ Hz - $3 \cdot 10^{18}$ Hz	$10^4 - 10^6$	Ionizace
Ultrafialové záření (UV)	$10^4 - 10^6$	$3 \cdot 10^{14}$ Hz - $3 \cdot 10^{16}$ Hz	$100 - 10^4$	Přechody elektronů
Viditelné záření (VIS)	$100 - 10^4$	$3 \cdot 10^{12}$ Hz - $3 \cdot 10^{14}$ Hz	$1 - 100$	Přechody elektronů
Infračervené záření (IR)	$1 - 100$	30 GHz - $3 \cdot 10^{12}$	$0,01 - 1$	Vibrace molekul
Mikrovlnné záření (MW)	$0,01 - 1$	300 MHz - 30 GHz	$10^{-4} - 0,01$	Rotace molekul
Rádiové záření (LW)	$10^{-4} - 0,01$	3 MHz - 300 MHz	$10^{-6} - 10^{-4}$	Přechody jaderného spinu

➤ Gama záření

Záření gama (často psáno řeckým písmenem gama, γ) je vysoce energetické elektromagnetické záření vznikající při radioaktivních a jiných jaderných a subjaderných dějích. Záření gama je často definováno jako záření o energii fotonu nad 10 keV, což odpovídá frekvenci nad 2,42 EHz či vlnové délce kratší než 124 pm, přestože do tohoto spektrálního pásma zasahuje i velmi tvrdé rentgenové záření. To souvisí se skutečností, že hranice není stanovena uměle, ale tyto druhy záření se rozlišují dle svého zdroje, přičemž se samo záření jinak fyzikálně neliší. Vzhledem ke způsobu vzniku však rentgenové záření nemůže mít kratší vlnovou délku než 10 pm.

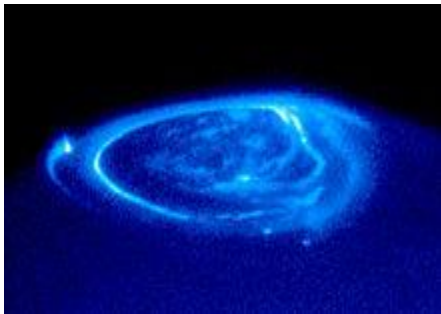
Záření gama je druh ionizujícího záření. Do materiálů proniká lépe než záření alfa nebo záření beta, ale je méně ionizující.

➤ Rentgenové záření

Rentgenové záření (starším názvem záření X či paprsky X) je forma elektromagnetického záření o vlnových délkách 10 nanometrů až 1 pikometr. Využívá se při lékařských vyšetřeních a v krystalografii. Jedná se o formu ionizujícího záření a jako takové může být nebezpečné.

➤ Ultrafialové světlo

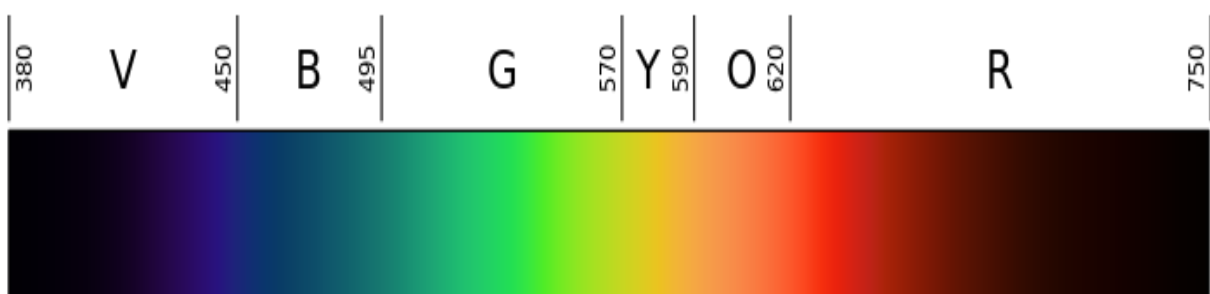
Ultrafialové (zkratka UV, z anglického ultraviolet) záření je elektromagnetické záření s vlnovou délkou kratší než má viditelné světlo, avšak delší než má rentgenové záření. Pro člověka je neviditelné, existují však živočichové (ptáci, plazi, některý hmyz), kteří jej dokáží vnímat. Jeho přirozeným zdrojem je Slunce. Způsobuje pigmentové skvrny v obličeji.



3.1 Snímek polární záře na Jupiteru, jak ji v ultrafialovém oboru spektra zaznamenal Hubbleův vesmírný dalekohled.

➤ Viditelné spektrum

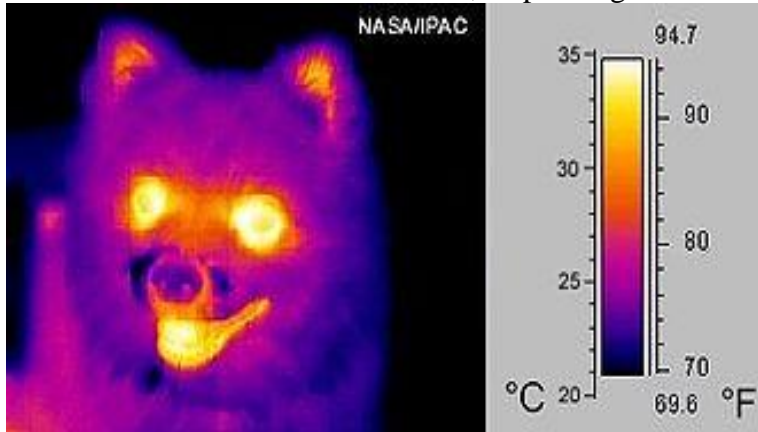
Barevné spektrum je lidským okem viditelná část spektra elektromagnetického spektra o vlnových délkách 380 až 750 nm (odpovídá frekvenci 790 - 400 THz). Odpovídající vlnové délky ve vodě a v ostatních prostředích závisí na indexu lomu. Tento rozsah vlnových délek je nazýván viditelné světlo nebo jednoduše světlo. Oko je nejcitlivější na elektromagnetické záření vlnové délky 555 nm (540 THz), tj. na zelenou barvu.



3.2 Zobrazení barevného spektra

➤ Infračervené záření

Infračervené záření (také IR, z anglického *infrared*) je elektromagnetické záření s vlnovou délkou větší než viditelné světlo, ale menší než mikrovlnné záření. Název značí „pod červenou“ (z latiny *infra* = "pod"). Infračervené záření zabírá ve spektru 3 dekády a má vlnovou délku mezi 760 nm a 1 mm, resp. energii fotonů mezi 0,0012 a 1,63 eV.



3.3 Infračervený snímek psa v tzv. falešných barvách spolu s teplotní škálou („tepelné záření“).

➤ Mikrovlnné záření

Mikrovlny jsou elektromagnetické vlny o vlnové délce od 1 mm do 1 m, což odpovídá frekvenci 300 MHz (0.3 GHz) až 300 GHz, jsou to pásma Ultra high frequency (UHF), Super high frequency (SHF) a Extremely high frequency (EHF).

Elektromagnetické vlny o vyšší frekvenci (tedy kratší vlnové délce) nazýváme decimilimetrovými vlnami, terahertzovým zářením nebo také T-paprsky (T-rays). Vlny delší vlnové délky jsou ultrakrátké vlny (UKV) / Ultra high frequency (UHF), rádiové vlny.

Využíváme je v mnoha odvětvích lidské činnosti; nejen k ohřevu potravin ale i například k vysoušení knih či tkanin, obrábění materiálů, přenosu informací, radiolokaci, restaurování uměleckých děl, tavení skla, navigaci a v mnoha dalších.

➤ Rádiové záření

Rádiové vlny (též rádiové záření) je část spektra elektromagnetického záření s vlnovými délkami od 1 milimetru až po tisíce kilometrů. Vzniká mimo jiné v obvodu střídavého proudu, k němuž je připojena anténa. Rychlost šíření rádiových vln je v prostoru přibližně rovna rychlosti světla ve vakuu. V případě jiných prostředí závisí na indexu lomu.

3. Konstrukce spektroskopu

Spektroskop je přístroj pro rozkládání viditelného spektra na jednotlivé složky a jejich vizuální pozorování. Skládá se z kolimátoru se štěrbinou, disperzního prvku (hranol, mřížka) a objektivu spojeného s dalekohledem. Kolimátor vytváří z rozbíhavých paprsků zkoumaného světla paprsky rovnoběžné, které dopadají na disperzní prvek, který zkoumané světlo rozkládá na spektrum. Dalekohled umožňuje podrobnější zkoumání vzniklého spektra.

Podobnou funkci jako spektroskop má spektrograf, který umožňuje zaznamenání zkoumaného spektra, a spektrometr, který umožňuje proměření zkoumaného spektra.

Zvolil jsem spektrometr hranolový, protože sehnat hranol je jednodušší než mřížku.

Základním principem je, že paprsky zdroje jsou omezeny na úzký svazek, jenž jde k difrakční desce či hranolu, kde se světlo láme pod různými úhly na základě jejich vlnové délky.

Nosný rám tvoří dřevěný hranol dlouhý asi 60 cm vysoký 3 cm a široký 7 cm, rozměry však nejsou důležité. Na jednom konci je papírová krabička obalená černou izolační páskou, s malým otvorem v čele, kterým proniká světlo, zbytek hranolu je volný, jsou na něm nakreslené místa, na které je obvykle nejlepší postavit hranol. Hranol samotný je pak připevněn gumičkou a při použití přístroje se ustavuje ručně. Ruční ustavení jsem zvolil z toho důvodu, že ačkoliv směry paprsků omezuje štěrbina, stále světlo vstupuje z různých zdrojů pod různými úhly, a proto by jakákoli pevná pozice byla ideální pouze pro určitý konkrétní zdroj ustavené přesným způsobem. Světlo rozložené hranolem dopadá na zobrazovací plochu, která může být rovná nebo nějakým způsobem zakřivená – zakřivení roztáhne spektrální čáry, a jednotlivé barvy a jejich přechody jsou více zřetelné, nicméně je to na úkor intenzitě světla, takže nejlepší je, když se světelný zdroj vejde do krabičky, eventuálně jsou okolní paprsky odstíněny, a v místnosti je úplná tma.



4.1 Pohled na spektroskop i s dopadovou plochou



4.3 Pohled na spektroskop zblízka

4. Pokusy

Se spektrometrem jsem provedl sérii pokusů s několika světelnými zdroji.

4.1 Turistická svítilna

Pro první pokus jsem použil turistickou svítilnu s halogenovou žárovkou. Celý světelný zdroj byl zasunut v krabičce, okolní světelný smog byl tedy minimální.

Spektrum obsahovalo mnoho fialové, modré, modrozelené a trochu žluté a oranžové barvy. Nejširší pás, červený téměř úplně chyběl, žárovka tedy svítila blíže k UV hranici viditelného světla.

4.2 Terarijní žárovka

Pro druhý pokus jsem obvyčejnou 50 W žárovku zakoupenou v obchodě. Zde byl výsledek opačný – modrá a fialová téměř úplně chyběla, zato se zde vyskytovalo trochu více zelené a žluté a pak velké množství červené barvy. Obyčejné žárovky jsou tedy blíže IR hranici.

5. Závěr

Postavit jednoduchý spektroskop v domácích podmínkách je jednoduché, s výjimkou hranolu se jedná jen o materiály, které se nacházejí ve většině domácností. I hranol by šel pravděpodobně nahradit něčím jiným např.: kouskem skla, ale disperzní vlastnosti této náhrady by byly horší. Vzhledem k tomu, že můžeme pozorovat jen viditelné a UV světlo, (digitální fotoaparát vykresluje UV a fialové spektrum modře) jsou možnosti spektrometru omezené. Navíc i jednotlivé barvy pozorujeme jen pouhým okem, takže výsledek měření není přesný. Kvůli této nepřesnosti jsem se rozhodl zařadit svou práci mezi didaktické a učební pomůcky – na měření je příliš nepřesný, ale na objasnění funkce spektroskopu a vysvětlení principu spektrální analýzy dostačuje.

Místo dopadové plochy můžeme také použít průhlednou destičku, a pozorovat spektrum skrze ni, ale to by zvedlo cenu, a hlavně si myslím, že pro splnění účelu tohoto zařízení je to zbytečné.

6. Citace

- 1: Spektra látek. *Fyzika.jreichl* [online]. 12.3.2016
- 2: Čárové spektrum. *Wikina* [online]. 12.3.2016
- 3: Rozdělení dle spektrální oblasti. *Wikipedie* [online]. 10.3.2016
- 4: Typy záření. *Wikipedie* [online]. 6.3.2016
- 5: Spojité spektrum. *Wikipedie* [online]. 2.3.2016
- 6: Luminiscenční spektrum. *Psych.lfl.cuni* [online]. 11.3.2016