

Rozhledy matematicko-fyzikální

František Jáchim

Joseph Fraunhofer (1787–1826) – zkoumáním spektra otevřel cestu
k poznání složení hvězd

Rozhledy matematicko-fyzikální, Vol. 98 (2023), No. 4, 52–60

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/152006>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2023

Institute of Mathematics of the Czech Academy of Sciences provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This document has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ*:
The Czech Digital Mathematics Library <http://dml.cz>

Joseph Fraunhofer (1787–1826) – zkoumáním spektra otevřel cestu k poznání složení hvězd

František Jáchim, Základní škola Dukelská, Strakonice

Abstrakt. Článek pojednává o životě a díle německého fyzika Josepha Fraunhofera. Předmětem jeho vědecké činnosti bylo studium světelného spektra. V článku jsou uvedené některé metody, jimiž zkoumal světelné spektrum včetně schémat technických zařízení, která k tomu účelu zhotovil.

Když pozitivistický filozof Auguste Comte (1798–1857) uváděl příklad absolutní nepoznatelnosti, napsal, že nikdy nezjistíme složení hvězd. Obrovské vzdálenosti zaručují navždy jejich nedostupnost, a jediné, co nám poskytují, je jejich světlo. Dnes víme, že se tento filozof mýlil a jím pronesený výrok o této absolutní nepoznatelnosti se stal ještě za jeho života nepravdivý. Cestu k tomu, co všechno lze vyčíst ze světla hvězd, odkryl bavorský fyzik Joseph Fraunhofer.



Obr. 1: Joseph Fraunhofer (1787–1826)

Duha a čárový kód

Problaskne-li mezi dešťovými mraky slunce, můžeme spatřit krásný přírodní jev – duhu. Vzniká při lomu slunečního světla na vodních kap-

kách a vykresluje barevný oblouk po obloze. Na obr. 2 vidíme dokonce duhu dvojitou. Proč a jak vedlejší duha vzniká (je v ní opačné pořadí barev), nechť náš čtenář vnímá jako možnost uplatnit svoji zvědavost.



Obr. 2: Hlavní a vedlejší duha – výsledek lomu slunečního světla na kapkách vody

Na cestě k životu a dílu Josepha Fraunhofera si ještě prohlédneme jinou docela obyčejnou věc, jakou je čárový kód na obalu téměř každého výrobku (obr. 3).



Obr. 3: Čárový kód na obalu kakaa

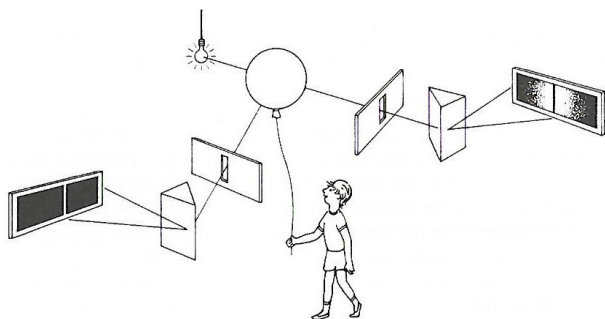
Z jedinečného uspořádání rovnoběžných čar přečte laserová čtečka u pokladny, že jde právě o kakao, a pokladna zobrazí jeho cenu. A jak spolu duha a čárový kód souvisejí? Vraťme se k fyzice. Na obr. 4 je spektrum bílého světla získané rozkladem po průchodu skleněným hranolem. Je složeno z řady barev, které plynule přechází jedna v druhou. Při podrobnějším pohledu na toto spektrum bychom zjistili, že jsou v něm jakési kazy, úzké temné čáry.



Obr. 4: Spojité spektrum

Jak vznikají ve spektru čáry

Vznik čar ve spektru si můžeme v jednoduchosti vysvětlit pokusem podle obr. 5. Bílé světlo ze zdroje necháme procházet plynem, například vodíkem v balónku. Prošlé světlo rozložíme skleněným hranolem a ve spektru spatříme temnou čáru. To znamená, že plyn pohltil určitou barvu – přesněji konkrétní vlnovou délku světelného záření – a ostatní jím prošly. Podíváme-li se naopak na balónek s plynem ze strany, spatříme po rozkladu jeho svitu hranolem pouze právě tu jednu čáru spektra, kterou ze spojitého spektra žárovky plyn zachytil. V pravé části obrázku máme na stínítku absorpční spektrum plynu v balónku, v levé části je jeho spektrum emisní. Protože každý plyn vytváří při rozkladu světla jiný, a to jedinečný systém spektrálních čar, můžeme si vytvořit jakýsi vzorník spekter odpovídající různým plynům a využívat ho pro jejich identifikaci.



Obr. 5: Vznik čar ve spektru

Od sklářského dělníka k fyzice

Joseph Fraunhofer se narodil v bavorském městě Straubingu jako jedenácté dítě sklářského mistra. Smutný život sirotka do jeho 14 let nesl s sebou téměř úplnou negramotnost. Přestože nechodil do školy, vyučil se sklářem a dostal podřadné místo pomocníka v jedné sklářské dílně.

Zde prožil velmi tragickou událost: Když se v roce 1801 sklářský dům najednou zřítíl a pod jeho troskami našla smrt většina sklářovy rodiny, on sám jen shodou náhod pod troskami přežil.

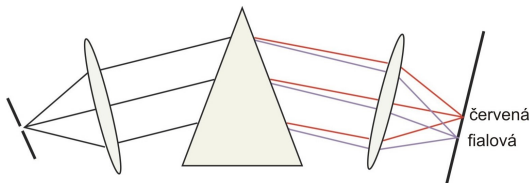
Ve dvaceti letech začal pracovat ve sklářské manufaktuře v hornobavorské obci Benediktbeuern a pro svoje nápady a zručnost byl v letech 1807–1819 vedoucím výroby. V dílně platil za největšího odborníka.

Sklo jako látka ho velice zajímalo a k poznání jeho možností se dal do studia optiky a sklářské technologie. Zkoumal složení různých druhů skl – korunových, flintových a olovnatých – a hledal i rozdíly v jejich optických vlastnostech. Dokonale ovládal výrobu čoček a našel i nové postupy při jejich broušení. Dokázal vyrobit velké skleněné součástky vhodné pro dopracování do čoček a hranolů do optických přístrojů. Později se stal významným výrobcem součástí hvězdářských dalekohledů.

Zkoumání spektra

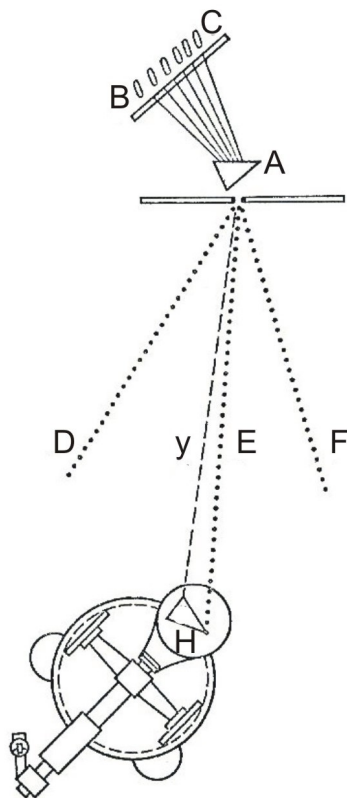
Předehrou k Fraunhoferovu zkoumání světelného spektra byl roku 1802 objev anglického fyzika, chemika a krystalografa Williama Hyde Wollastona (1766–1828). Ten si při prohlížení slunečního spektra všiml, že v některých místech jsou barvy přerušovány tmavými čarami. Tento jev nedokázal vysvětlit a ani se o něj dále nezajímal. To už byla záležitost J. Fraunhofera. K bližšímu zkoumání bylo třeba mít spektrum kvalitnější, řekněme „více roztažené“, aby vynikly jeho podrobnosti. Prvním Fraunhoferovým cílem bylo takové spektrum získat. Světelné spektrum lze získat dvojím způsobem – buď skleněným hranolem, nebo optickou mřížkou. Oba způsoby Fraunhofer použil a zdokonalil natolik, že mohl spektrum velmi podrobně prohlížet.

Technicky zdokonalil spektrometr uspořádáním podle obr. 6. Paprsky ze zdroje nechal projít štěrbinou a čočkou je rovnoběžně usměrnil. Během průchodu skleněným hranolem došlo k rozkladu světla, který se projevil na stínítku (pro jednoduchost jsou znázorněny jen paprsky okrajových barev červené a fialové).



Obr. 6: Schéma Fraunhoferova spektrometru

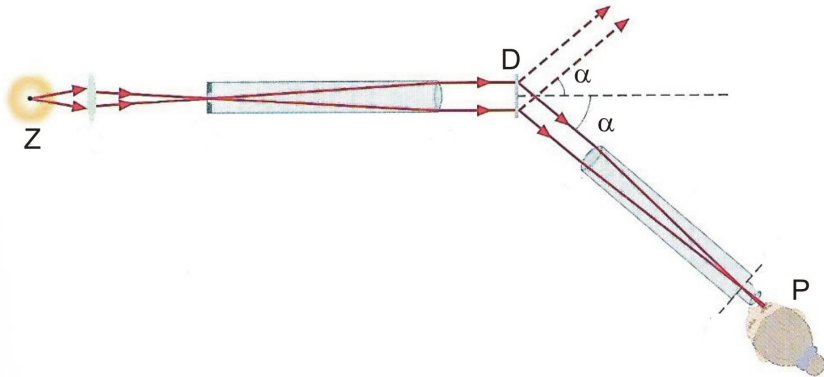
Pro podrobnější zkoumání tmavých čar si Fraunhofer spektrum rozšířil postupem podle obr. 7. Před hranol A umístil zdroj světla, který postupně přemísťoval mezi polohami B a C. Ze vzniklého spektra šterbinou vybral vždy úsek yE a podrobil ho dalšímu lomu v hranolu H spektrometru. Dalekohledem pak prohlížel jednotlivé části spektra.



Obr. 7: Fraunhoferovo rozšíření spektra

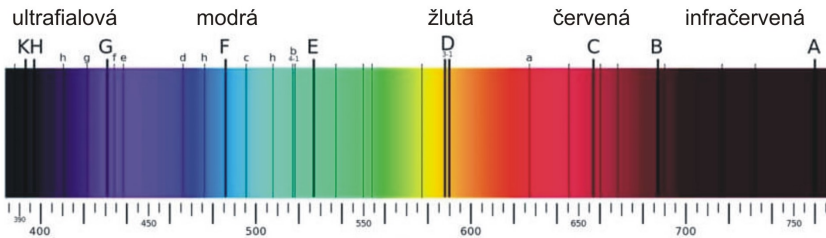
Roku 1814 objevil ve vodíkovém spektru tři základní tmavé čáry – po jedné v barvě červené, modré a fialové. Brzy jich našel 11 a při podrobnější prohlídce dokonce několik set. Každé čáře přisoudil nějakou hodnotu indexu lomu a začal je využívat jako stupnice. Dnes existují podrobné tabulky Fraunhoferových čar, které jsou rozmístěny prakticky po celém spektru.

Jako lepší nástroj než hranol se k získání spektra ukázala difrakční mřížka, jíž je Fraunhofer vynálezcem. Nejprve ji zhotovoval jako hustou síť tenkých rovnoběžných drátků, později se jako nejvhodnější ukázal systém hustých vrypů (až několik set na milimetru) do skleněné destičky. Když místo hranolu vložil mřížku do spektroskopu (obr. 8), mohl při znalosti vzdálenosti dvou sousedních vrypů a změření úhlu odchýlení vypočítat vlnovou délku jednotlivých spektrálních čar.



Obr. 8: Chod paprsků ve spektroskopu s optickou mřížkou

Na obr. 9 je pod spektrem uvedena vlnová délka v nanometrech.



Obr. 9: Spektrum s Fraunhoferovými čarami

Jak své pokusy zdokonaloval, mohl pozorovat stále větší počet tmavých čar – až dospěl k počtu 576. Fraunhoferovi bylo zřejmé, že rozmístění tmavých čar není nahodilé a že nějak souvisí s látkou, která je jejich původem. Proto se jako významné ukázalo principiální odlišení spekter jednotlivých zdrojů. Když Fraunhofer získal spektrum světla Měsíce,

zjistil jeho identitu se světlem slunečním. Zatímco spektra hvězd Pollux, Capella, Betelgeuze aj. vykazovala od slunečního jen nepatrné odchylky, spektra Siria a Castora již byla značně odlišná. Otázkou zůstávalo, proč tomu tak je.

Pokračovatelé

Podstatu Fraunhoferových čar objasnil Gustav Kirchhoff (1824–1887). Roku 1860 objevil zákon, podle něhož každá látka pohlcuje světlo takové vlnové délky, kterou může sama vyzařovat. Když byl k dispozici Wilhelmem Bunsenem (1811–1889) zhotovený hořák dávající stále světlo, Kirchhoff sypáním kuchyňské soli do plamene vyvolal ve spektru plamene žlutou emisní dvojčáru (dublet) vždy na stejném místě. Byla-li v plameni jiná látka, byly při sledování emisního spektra čáry na jiných místech. Poloha těchto čar definovala látku. Na obr. 10 je emisní spektrum kadmia. Obráceně vzato – budeme-li mít emisní spektrum prozatím neznámé látky a bude-li se shodovat se spektrem uvedeným na obr. 10, pak je neznámou látkou právě kadmium.



Obr. 10: Spektrum s čarami kadmia

Bunsen s Kirchhoffem ve své laboratoři v Heidelbergu zjistili, že tmavé čáry ve slunečním spektru odpovídají jasným čarám spektra plamene, do něhož byly dopraveny atomy různých prvků. Podařilo se jim ke známým prvkům přiřadit spektrální čáry a o těch zbylých prohlásili, že patří dosud neznámým prvkům.

Rozmístění čar ve spektru čtenáři jistě připomene čárový kód uváděný v úvodu článku. Stejně jako čárový kód o zboží poskytuje systém spektrálních čar řadu informací o látkách, jež jsou jejich původem. A nejen to, případný posuv spektrálních čar ve světle hvězd poskytuje informaci o směru jejich pohybu. Jde o využití tzv. Dopplerova jevu v astronomii.

Pomocí soustav čar ve spektrech byly objeveny některé prvky – např. rubidium, cesium a indium. Jako zajímavost uvádíme skutečnost, že hélium bylo spektroskopicky prokázáno roku 1868 nejprve na Slunci a

teprve roku 1895 Williamem Ramseyem (1852–1916) i na Zemi. Průkopnickou práci v astrofyzice započal William Huggins (1824–1910), když připojil k dalekohledu spektroskop.

Přístroje

Jak již bylo zmíněno, J. Fraunhofer zhotovoval astronomické dalekohledy. Jeho velkým dílem je objektiv k zrcadlovému dalekohledu s průměrem zrcadla 24 cm a ohniskovou vzdáleností 4,3 metru pro hvězdárnu v estonském Dorpatu (nyní Tartu). Jedním z dalekohledů zhotoveným Fraunhoferem změřil Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846) v roce 1838 první paralaxu hvězdy. Jiný využil zakladatel Pulkovské hvězdárny Friedrich Georg Wilhelm von Struve (1793–1864) k sestavení katalogu 3 110 dvojhvězd.

První veličinou – a dlouho jedinou, kterou astronomové odpradávná měřili – byla velikost úhlu mezi směry k nebeským objektům. Nejprve Jakubovou tyčí, někdy v 16. století sextanty, posléze dalekohledy s mikrometrickým nitkovým křížem. Principiálně odlišným zařízením, s nímž přišel J. Fraunhofer, je *heliometr*. Rozřízl objektiv dalekohledu na dvě poloviny, kterými bylo možné v rovině kolmé na směr pozorování mikrometrickými šrouby stranově posouvat. Při pozorování dvojhvězdy bylo možno dosáhnout posunutím polovin objektivu překrytí obrazu obou složek v obraz jediný. Heliometr tak nahrazoval úhlový posun nitkového vlákna dalekohledu.

V roce 1812 Fraunhofer postavil heliometr o průměru objektivu 76 mm s ohniskovou vzdáleností 1,15 m a poslal ho německému matematikovi a astronomovi Friedrichu Gaussovi (1777–1855). Další Fraunhoferem zhotovené heliometry dostaly hvězdárny v Berlíně a Wroclawi. Když zhotovil další heliometr, tentokrát s objektivem dvojnásobného průměru a ohniskem ve vzdálenosti 2,6 m, obdržel od Friedricha Wilhelma Bessela¹⁾ (1784–1846) několik rad k technickému zdokonalení, které sice nevyužil, ale ve spolupráci se sklářskými mistry přece jen přístroj ještě zdokonalil natolik, že když ho Bessel vyzkoušel, zařídil jeho umístění na hvězdárnu v Královci (nyní Kaliningrad v Ruské federaci).

Závěrem

Joseph Fraunhofer jako velmi uznávaný fyzik odešel v roce 1819 do Mnichova, kde se stal členem Bavorské akademie věd a pracovníkem

¹⁾Bessel jako první změřil heliometrem paralaxu hvězdy (61 Cygni).

FYZIKA

jejího fyzikálního kabinetu. Byly mu poskytnuty i společenské pocty – čestné občanství Mnichova, pasování na rytíře a povýšení do šlechtického stavu. Zemřel 7. června 1826 na tuberkulózu. Jeho hrob je na mnichovském hřbitově Alte Arkaden (obr. 11).



Obr. 11: Fraunhoferův hrob

Literatura

- [1] Houdek, F., Tůma, J.: *Objevy a vynálezy tisíciletí*. Nakladatelství Lidové noviny, Praha, 2002.
- [2] Štoll, I.: *Dějiny fyziky*. Prometheus, Praha, 2009.