

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Martin Šolc

Cesta Dopplerova principu zpět do astrofyziky

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 38 (1993), No. 6, 318--330

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137553>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1993

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



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

Cesta Dopplerova principu zpět do astrofyziky

Martin Šolc, Praha

Když byl v pražském Karolinu 25. května 1842 poprvé vysloven princip nesoucí dnes Dopplerovo jméno, slyšelo ho jen málo posluchačů. Pouze pět učených mužů se dostavilo na zasedání přírodovědecké sekce České královské společnosti nauk, na němž Doppler přednesl své pojednání *Ueber das farbige Licht der Doppelsterne* (O barevném světle dvojhvězd), byli to Bernard Bolzano, J. S. Presl, Špirk, J. Redtenbacher a Ryba. Ostatní zájemci, kterých též nebylo mnoho, se musili spokojit s tištěnou formou Dopplerova článku. Vyšel ještě téhož roku v Pojednáních královské české společnosti nauk [1]. Německý článek v regionálním časopisu všeobecného zaměření téměř neznámém mezi tehdejší astronomickou vědeckou komunitou, skomírající domácí astronomie, zastoupená snad jen dvěma badateli jiného zaměření, a izolace pražského vědeckého života, to vše představovalo ideální podmínky pro to, aby byl později tentýž princip objeven ještě jednou někde jinde. Stalo se tak po šesti letech v Paříži, kde fyzik a snad i trochu astronom Fizeau odvodil a správně vyložil změnu frekvence pozorovanou při pohybu zdroje a pozorovatele vlnění.

Mnoho papíru již bylo spotřebováno na úvahy o Dopplerově mylné snaze vysvětlit různé barvy složek dvojhvězd jejich pohybem kolem společného těžiště. Za předpokladu, že každá hvězda vysílá bílé světlo, se měla modře zbarvit ta složka dvojhvězdy, která se právě přibližuje k pozorovateli, a vzdalující se složka měla být zbarvena do červena. Několikařádkové odvození vzorce pro změnu frekvence při pohybu zdroje vln ovšem Doppler podal zcela obecně a pro libovolný druh vlnění, jak sám podotýká. Celý rozsáhlý zbytek Dopplerovy originální práce představují právě ony zmíněné spekulace o barvě dvojhvězd. Ukazuje se přitom dosti dobrý Dopplerův přehled o dobové astronomii, ale zároveň i naprostý nedostatek vlastní praxe ve výpočtech drah dvojhvězd. Jak později ukážeme, při zkušenosti s výpočty drah dvojhvězd by musil Doppler získat reálnější představu o možných rychlostech jejich složek.

Vzrušená mezinárodní diskuse o platnosti vzorce, která se rozpoutala na mnoho let kolem nešťastného autora, poukazovala zejména na chybnou aplikaci na dvojhvězdy. Příklady k ověření Dopplerova vzorce se hledaly a později i našly v akustice, hlavně s využitím tehdy se rozvíjející železniční dopravy. Teprve když zmizeli zapříisáhlí odpůrci Dopplerova principu, jejichž prototypem byl vídeňský Petzval [9], rozšířila se důvěra v tento jednoduchý jev mezi fyziky a i mezi astronomy. Tak se Dopplerův princip, zrozený v astrofyzice, dostal zpět do astrofyziky teprve po dvou desetiletích.

Doc. RNDr. MARTIN ŠOLC, CSc., (1949) je vedoucím Astronomického ústavu MFF UK, Švédská 8, 15000 Praha 5.

Karl Kreil a jeho komentář k Dopplerovu principu z roku 1843

Mezi pražskými kolegy Dopplera byl též Karl Kreil, adjunkt a později ředitel klementinské hvězdárny. Dopplerovu přednášku 25. května sice zameškal, ale sešel se s Dopplerem, Bolzanem a Zimmermannem na příštím setkání matematické sekce dne 9. června. Karl Kreil byl patrně první, kdo o Dopplerově jevu diskutoval, pochopil ho a přijal za platný. Editorům *Abhandlungen* napsal krátké doporučení k publikaci Dopplerova článku [1] a při té příležitosti se s ním podrobněji seznámil. Musíme si připomenout, že tehdejší situace se hodně podobala dnešní v tom, že Doppler i Kreil měli mnohem „důležitější a nezbytnou“ práci, za kterou byli placeni, a Dopplerovo bádání i publikace v *Abhandlungen* byly něčím navíc. V Dopplerově životopisu se můžeme dočíst o jeho přetlžení pedagogickými úvazky. Kreilovou povinností byla zase pravidelná denní pozorování v Klementinu, k nimž později přibyla i pozorování zemského magnetismu na různých stanicích v Čechách a na Moravě.

Kreil se tedy prvně zmiňuje o významu Dopplerova principu v ročence *Astronomisch-Meteorologisches Jahrbuch fuer 1844, Prag* [2]. Za koncem tabulek, jaké tvoří základ každé hvězdářské ročenky, jsou připojeny dva rozsáhlé populární články o nových astronomických objevech: První o Besselově úspěšném pokusu z let 1837–1838, kdy se poprvé podařilo změřit roční paralaxu jedné z hvězd (byla to 61 Cygni v souhvězdí Labutě, hvězda, jejíž relativní blízkost Bessel správně předpokládal, protože v důsledku pohybu prostorem se na obloze nepatrně, ale měřitelně posouvala stále jedním směrem — tento její tzv. vlastní pohyb činí 5" za rok). Druhý rozsáhlý článek na stranách 235–279 je věnován populárnímu výkladu Dopplerova jevu, paralaxy a aberace, tedy jevům, které nastávají při pohybu zdroje a příjemce vlnění. Kreil vydal celkem jen čtyři ročníky pražské astronomicko-meteorologické ročenky klementinské hvězdárny, první byl na rok 1842. Aby taková ročenka splnila svůj účel, bylo třeba ji prodávat ještě před začátkem roku a to znamenalo, že Kreil měl rukopis článku [2] hotový někdy v průběhu roku 1843. Jde tedy asi o první publikovanou reakci na Dopplerův článek v *Abhandlungen*, ale naneštěstí v tak lokálním a krátkodobém periodiku, že to nemohlo k rozšíření povědomosti o principu vůbec přispět. Aktualita ročenek končí s koncem roku a jen některé instituce je pak ukládají do knihoven. Kreilova ročenka byla tehdy uložena asi jen v klementinské knihovně.

První věty Kreilova článku *Doppler's Erklarung des farbigen Lichtes der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne* (Dopplerovo vysvětlení barevného světla dvojhvězd a některých dalších nebeských těles) zdůrazňuje význam objevu roční paralaxy i Dopplerova jevu, protože se navzájem doplňují a při pozorování blízkých hvězd odrážejí roční oběh Země kolem Slunce.

Dopplerův jev je zde vyložen na příkladu zvuku, a Kreil uvažuje o tom, jak velké rychlosti je třeba dosáhnout pro rozeznatelný posun akustických frekvencí anebo výšky tónu. Navrhuje tento experiment: Blízko u železniční dráhy umístíme varhany nebo orchestr a budeme sledovat, co uslyší pasažér jedoucí kolem vlakem. (V této souvislosti je na místě podotknout, že Praha v tom roce ještě nebyla napojena na železniční síť.)

V následující části článku Kreil uvažuje, jak velká by musela být oběžná rychlost Země, aby nějaká hvězda ležící poblíž roviny oběžné dráhy Země jevila během roku

pozorovatelné změny v barvě. Vzdálenost Země od Slunce byla v té době již poměrně spolehlivě změřena, a to z pozorování přechodu Venuše před slunečním diskem ze dvou různých stanovišť na Zemi, kdy ze zakreslené cesty Venuše na slunečním disku a změřených časů začátku a konce přechodu lze z příslušných trojúhelníků a třetího Keplerova zákona vzdálenost vypočítat. K tomuto jevu dochází poměrně zřídka, ale v letech 1761 a 1769 byla zorganizována mezinárodní pozorovací kampaň a astronomové pozorovali ve Vídni, Finsku, na Tahiti, na Madagaskaru, v Indii a na několika místech v Rusku. Vyšla hodnota jen o 2,3 % vyšší.

Také rychlost světla byla tehdy naměřena. Protože Kreil užívá rakouské zeměpisné míle (1 míle je přibližně 7,2 km), rychlost světla je 41 500 mil za sekundu a vzdálenost Slunce–Země 20,76 milionů mil. Z hodnoty aberace 20,5" vychází oběžná rychlost Země na 4,2 míle za sekundu a stejná hodnota nezávisle vychází vydělením délky oběžné dráhy Země dobou jednoho roku v sekundách. Kreil uzavírá, že tato rychlost pro změnu barvy nestačí. Pozoruhodné je, že Kreil tyto hodnoty počítal nezávisle na Dopplerovi, který ve svém článku použil nepřesnou hodnotu rychlosti Země — 4,7 mil za sekundu.

Pozorovatelné změně barvy, vyjádřené posunem frekvence v tabulce frekvencí světla různých barev, odpovídá podle Kreila minimální rychlost asi 4300 mil za sekundu. Je to hodnota odlišná od původního odhadu Dopplerova, který byl mezi 33 a 19 000 mílemi za sekundu. Pozoruhodné je, že Kreil si asi nebyl jist žádnou z uvedených hodnot takové minimální rychlosti, na straně 265 znovu opakuje Dopplerův odhad, ale v dalším textu pak používá hodnotu 187 mil za sekundu.

V každém případě jsou to vysoké rychlosti, daleko překračující rychlost Země. Na některých místech textu jsou patrné Kreilovy pochybnosti, zda vůbec nějaká vesmírná tělesa mohou mít tak vysoké rychlosti. Nejprve uvádí rychlosti těles ve sluneční soustavě. Nejrychlejší z planet je Merkur, pro který však Doppler uvažoval hodnotu 8,3 mil za sekundu na rozdíl od správného Kreilova údaje 6,7 mil za sekundu. Kreil dále píše o svém vlastním pozorování komety 1843 I, která proletěla perihelem rychlostí 80 mil za sekundu, ale nebyla na ní patrná žádná změna barvy. Nakonec Kreil vysvětluje, že pozorovatelná změna barvy složek dvojhvězdy, působená oběžným pohybem, by vyžadovala velice speciální tvar dráhy (vysokou excentricitu, aby rychlost v periastru, kdy jsou si složky navzájem nejbliž, byla co nejvyšší). Podobnou námitku vznáší Kreil proti Dopplerovu vysvětlení změn barvy u některých proměnných hvězd. Odtud můžeme usoudit, že Kreil nejen pečlivě prostudoval Dopplerův článek, ale byl také prvním, kdo o Dopplerově vysvětlení barev dvojhvězd pochyboval.

Kreilovi naneštěstí scházelo jen málo k nápadu, že Dopplerův jev se musí projevit posunem celého spektra včetně tmavých čar a že právě posuv tmavých čar bude možno měřit. Na straně 263 totiž píše o projekci hranolového spektra na stěnu „kamery obscury“, aby se zde mohl posuv barev měřit. Kreil bezpochyby věděl o tmavých absorpčních čarách ve slunečním spektru, ale ve svém článku se o nich nezmiňuje. Tyto čáry byly objeveny Wollastonem už v roce 1802. Fraunhofer je studoval od roku 1814, kdy zkoušel různé druhy skla a brousil z nich hranoly, které pak použil ve svém jednoduchém spektroskopu. Ve slunečním spektru objevil několik tisíc tmavých čar,

polohy nejsilnějších pečlivě proměřil teodolitem a pak nakreslil mapu slunečního spektra se 324 čarami. Tmavé čáry později našel i ve spektrech nejjasnějších hvězd. Jeho spektroskop už byl natolik dokonalý, že mohl rozlišit sodíkový dublet jak v absorpci u Slunce, tak v emisi u spektra laboratorního kahanu. Příčinu přítomnosti čar ve spektru ovšem Fraunhofer ještě neznal.

Další pozoruhodná okolnost je, že se Kreil nezmiňuje o tom, že vzdálenost mezi složkami dvojhvězdy a oběžná rychlost složek jsou spolu vázány třetím Keplerovým zákonem. V okamžiku, kdy byly změřeny první paralaxy hvězd, bylo už možné udělat si alespoň řádovou představu o vzdálenostech mezi složkami dvojhvězdy a podle toho odhadnout reálně i rychlosti složek. Vizuální dvojhvězdy, kterých v té době bylo známo již na stovky, mají totiž velké vzdálenosti mezi složkami, a proto jsou jejich oběžné rychlosti malé, o několik řádů menší, než by vyžadovalo Dopplerovo vysvětlení barev dvojhvězd, ať by se předpokládal jakýkoli průběh intenzity ve hvězdném spektru.

Prvenství ale patří Kreilovi v tom, že poukázal na to, jak využít Dopplerova jevu ke zjištění prostorové rychlosti hvězdy, jejíž vzdálenost a vlastní pohyb známe. Rozklad prostorové rychlosti na radiální a tangenciální složku, máme-li použít současnou terminologii, dokumentoval právě na příkladu hvězdy 61 Cyg. Kreil si první uvědomil, že radiální rychlost bude možno ze spektra změřit nezávisle na vzdálenosti hvězdy, zatímco tangenciální složka na vzdálenosti závisí nepřímo úměrně.

Doppler se ve svých publikacích ještě několikrát vrátil k problematice vlnění v případě pohybu zdroje, příjemce a prostředí, v němž se vlnění šíří [4], [5], [6], [7], [8], [9]. Kreil se však nadále zaměřoval už jen denním astronomickým, meteorologickým a geomagnetickým pozorováním.

Fizeauův objev Dopplerova principu

Armand-Hyppolite-Luis Fizeau (1819–1896) zveřejnil v roce 1848 článek [3] o šíření zvuku v případě, že se zdroj a pozorovatel pohybují. Předpokládejme, že pohybující se zdroj spojitě vysílá tón o konstantní frekvenci. Fizeau ukázal, že přijatá frekvence bude obecně odlišná od vysílané, protože zvukové vlny se šíří jako kulové slupky ve všech směrech stejnou rychlostí, ale z různých středů. Odvodil, že když se zdroj a pozorovatel přibližují, pozorovaná frekvence roste úměrně relativní rychlosti, a když se vzdalují, pozorovaná frekvence klesá.

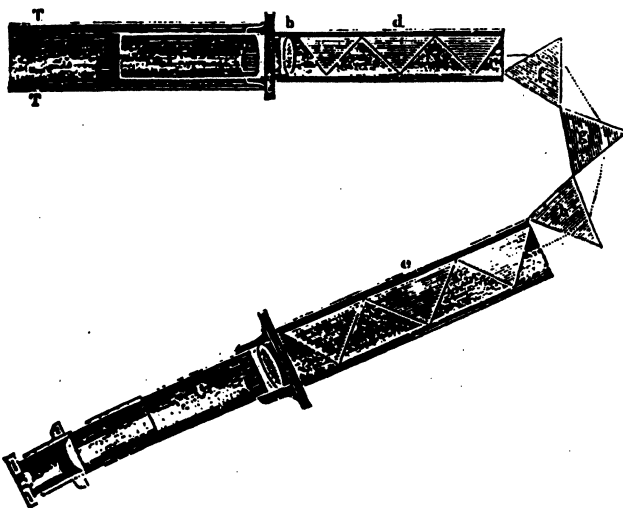
Fizeau Dopplerův článek neznal, a i když se „opozdil“ o šest let, jeho vysvětlení vlivu pohybu zdroje světla na spektrum bylo správné. Vzdalující se zdroj světla pozorovaný zezadu bude jevit spektrum posunuté jako celek k červenému konci a naopak, přibližující se zdroj bude mít spektrum posunuté ke konci modrému. Fizeau si tím byl zcela jist, protože měl značnou zkušenost z optických experimentů, při nichž se zejména snažil změřit, zda rychlost monochromatického světla závisí na vlnové délce použité při měření.

William Huggins a první radiální rychlosti

Podmínky pro opravdový vstup Dopplerova jevu do astrofyziky připravili Gustav Kirchhof a Robert W. Bunsen v roce 1859. Ve své laboratoři na Hauptstrasse v Heidelbergu zjistili, že polohy tmavých čar ve slunečním spektru souhlasí s polohami jasných emisních čar ve spektru plamene, do něhož byly nějak dopraveny atomy různých prvků. Podařilo se jim tak ke každému z tehdy známých prvků přiřadit spektrální čáry, které způsobuje. Ve slunečním spektru našli navíc množství dalších čar, které takto identifikovat nemohli. Vyslovili tedy domněnku, že čáry asi patří k dosud neobjeveným prvkům.

William Huggins (1824–1910) zahájil svou průkopnickou práci v astrofyzice, když připojil k dalekohledu spektroskop a tak získal pracovní nástroj ohromných možností. Se svými zkušenostmi z laboratorní spektroskopie okamžitě poznal závažnost Fizeauova článku a začal pracovat na zdokonalení spektroskopu, aby mohl měřit i malé změny polohy spektrálních čar. Stejným spektroskopem měřil jednu polohu čar sodíku a vápníku ve spektrech jasných hvězd, podruhé v laboratoři ve spektru plamene se sodíkem, resp. vápníkem. Naměřený rozdíl byl podle Dopplerova principu přímo úměrný průmětu rychlosti hvězdy do zorné přímky, tedy složce rychlosti později nazvané „radiální rychlost“. Huggins o měření diskutoval s Maxwellem, četl Kirchhofovy a Bunsenovy práce a použitím mnoha hranolů se snažil zkonstruovat spektroskop s dostatečnou rozlišovací schopností a zároveň s malou ztrátou světla. Tyto dva požadavky jsou protikladné, protože hvězdy jsou jen velmi slabé zdroje světla. Huggins totiž mohl použít tehdy pouze čočkový dalekohled, a velikosti tehdejších objektivů byly vždycky omezené (největší průměr má objektiv Yerkesovy observatoře ze začátku tohoto století, 102 cm).

Éra velkých spektroskopických dalekohledů začala teprve později, když se rozšířil Foucaultův vynález, jak pokrývat vybroušená skleněná zrcadla stříbrnou odraznou



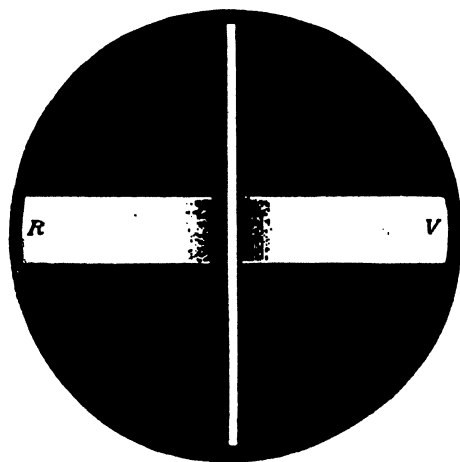
Obr. 1. Higginsův velký stelární spektroskop.

- T* – tubus dalekohledu
- b* – štěrbinu
- d, e* – hranoly složené způsobem podle Browninga
- f, g, h* – hranoly
- o* – okulár

vrstvou. U skleněného zrcadla totiž nezáleželo na optické kvalitě skla, ale jen na jeho tepelné roztažnosti, která měla být co nejmenší, aby zrcadlo udržovalo pokud možno stálý tvar. Navíc bylo třeba brousit jen jednu optickou plochu namísto nejméně čtyř v případě čočkových objektivů. To dovolilo rychlý růst průměrů zrcadlových dalekohledů.

V roce 1868 Huggins slavil první úspěch — změřil radiální rychlost Siria jako 29,4 anglických mil za sekundu směrem ke Slunci. Pozdější měření ukázala o něco nižší hodnotu mezi 18 a 22 mílemi za sekundu, což je už bližší skutečné hodnotě 8 km/s. Huggins a o tři roky později Vogel v Německu pro toto měření použili spektroskop instalovaný na větším čočkovém dalekohledu, před jehož štěrbinou byla Geislerova trubice naplněná vodíkem. Spektroskop nastavili na čáru H a střídavě do spektrometru pouštěli světlo hvězdy a z Geisslerovy trubice. Polohu čar si sledovali vláknem mikrometru v okuláru spektroskopu a dopplerovský posun odečítali na stupnici mikrometru.

Huggins si byl vědom problémů hvězdné spektroskopie prováděné pouhým okem, kdy se měří nepatrné posuvy neostrých jednotlivých čar. Vyfotografovat spektrum Siria se pokoušel už o pět let dřív, ale bez výsledku vzhledem k tehdejším kvalitám fotografických materiálů. Uspokojivé fotografie spekter získal teprve Henri Draper v roce 1872. Jakmile se Huggins o jeho úspěchu dozvěděl, zopakoval své pokusy a brzy oba nashromáždili několik stovek hvězdných spekter.



Obr. 2. Rytina pohledu na Fraunhoferovu čáru F ve spektru Siria. R je směr k červenému, V k fialovému konci spektra. Svislý bílý pásek naznačuje laboratorní, klidovou polohu této čáry vodíku. Prosinec 1875.

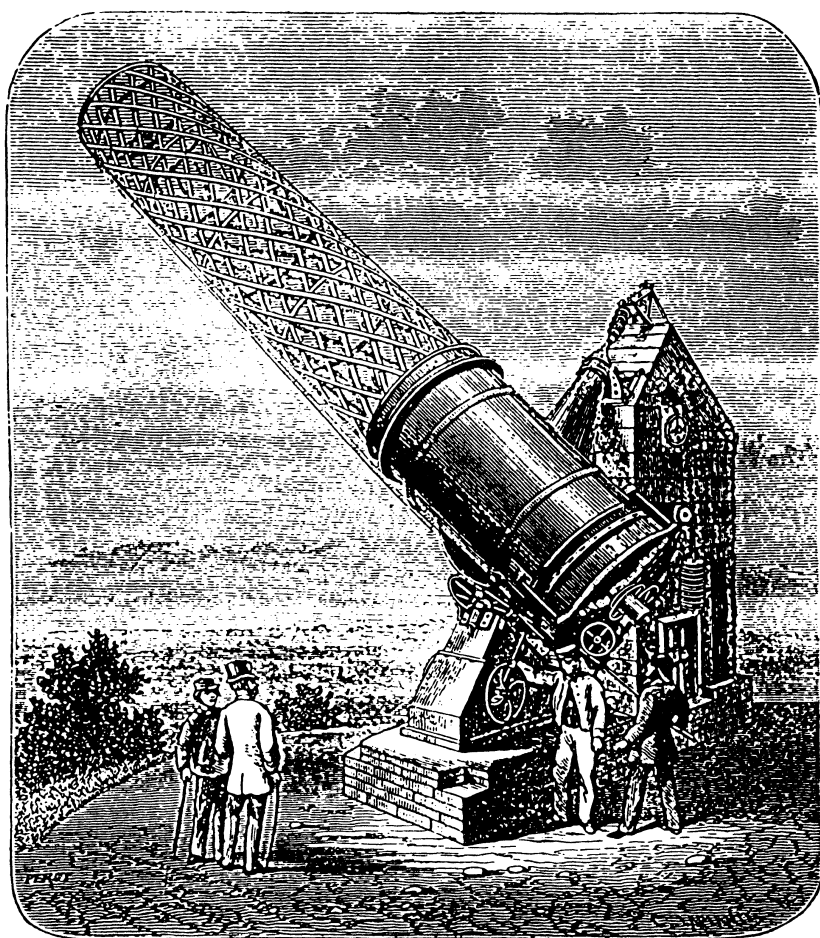
Rozkvět spektroskopické astrofyziky

Kdybychom měli vyjmenovat předpoklady rozvoje astrofyziky devadesátých let minulého století, pak by to byly zejména stále větší zrcadla spektroskopických teleskopů, neustálé zdokonalování technologie fotografie, zdokonalené spektroskopy a aplikace Dopplerova principu při vyhodnocování každého získaného spektra. Devadesátá léta byla dobou budování velkých astrofyzikálních observatoří na všech kontinentech —

Lickova observatoř na Mt. Hamilton v Kalifornii, Yerkesova observatoř u Chicaga, observatoře v Postupimi, Vídni, Paříži a Meudonu, Pulkovu a Melbourne (zde bylo instalováno první velké skleněné zrcadlo o průměru 120 cm z Grubbových optických závodů).

Nejlepší spektrální rozlišení se získalo, když se na štěrbinu spektrografu soustředilo světlo hvězdy odražené plochou co největšího primárního zrcadla dalekohledu. Pouze taková spektra pak dovolila měřit radiální rychlosti hvězd. Jestliže před začátkem masového pořizování fotografických spekter na začátku devadesátých let byly známy radiální rychlosti pro několik desítek hvězd, pak tento počet rostl nejméně desetkrát během každého desetiletí.

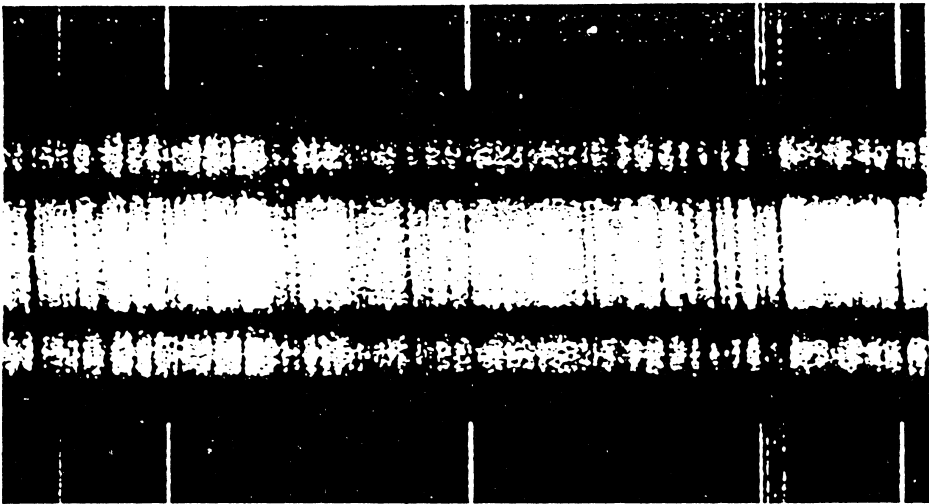
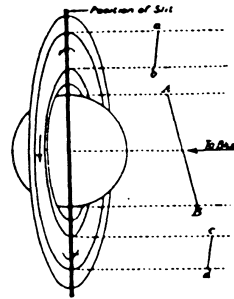
Expozice jednoho spektra na fotografickou desku trvala tehdy od několika minut až po několik hodin podle toho, o jak jasnou hvězdu šlo. Italský astronom Angelo Secchi a Henri Draper přišli nezávisle na nápad, že umístí-li se před fotografickou



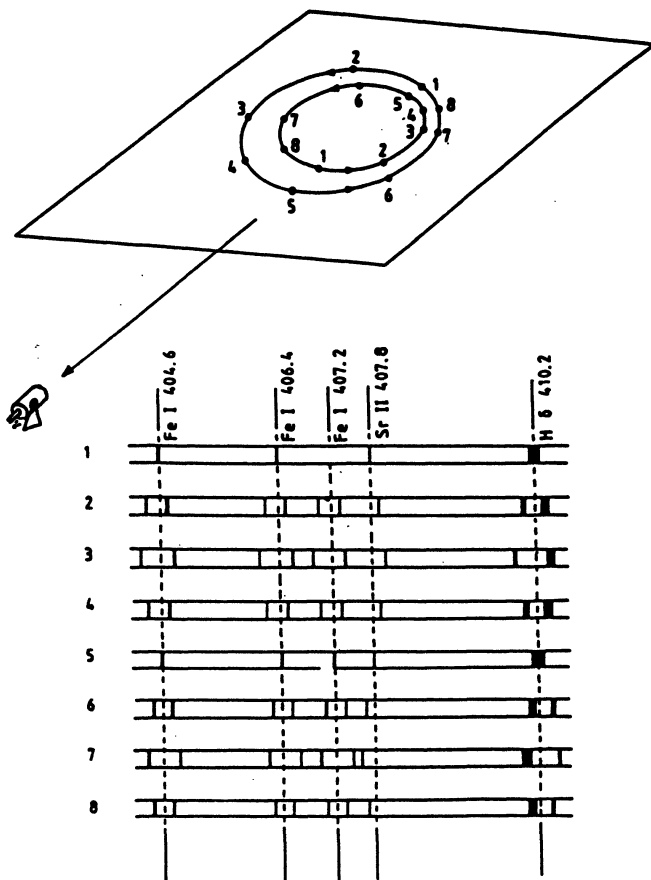
Obr. 3. Velký reflektor Melbournské observatoře vybavený Commonsovým zrcadlem.

desku v ohniskové rovině dalekohledu tenký skleněný hranol, pak se na ní místo obvyklých malých kotoučků hvězd objeví krátká spektra. Tato spektra budou mít sice malé rozlišení, ale zato se pořídí pro všechny hvězdy na desce najednou. Harvardský astronom E. C. Pickering umístil tenký hranol před objektiv dalekohledu a počínaje rokem 1886 zahájil náročný projekt získání spekter všech hvězd od nejjasnějších až do hvězd deváté magnitudy. Spektra asi 300 000 hvězd byla zařazena do sedmi (hlavních) tříd O, B, A, F, G, K, M a seznam hvězd se spektrální klasifikací byl pak uveřejněn v mnohasvazkovém katalogu na paměť Henriho Drapera (v roce 1918).

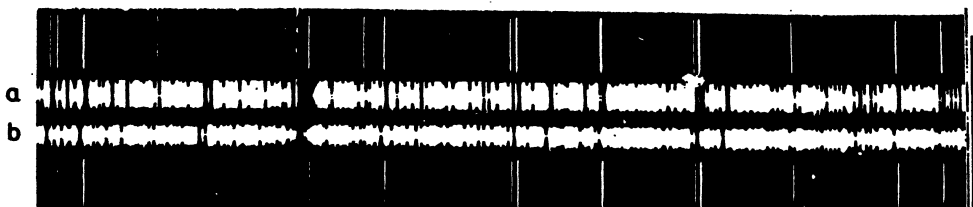
Dopplerovské posuvy, rozšíření čar anebo znalost radiálních rychlostí hvězd mají základní význam ve všech odvětvích astrofyziky a kosmologie. Radiální rychlosti galaxií byly prvně zjištěny v roce 1912 a k překvapení astronomů byly o několik řádů



Obr. 4. Spektrum Saturna a jeho prstenců ukazuje sklon spektrálních čar světla ze Slunce, odraženého planetou a prachem prstenců. Zatímco planeta rotuje skoro jako tuhé těleso, rychlost oběhu látky v prstencích klesá s planetocentrickou vzdáleností. Sklon čar v prstencích a podél rovníku planety je proto opačný. (Lickova observatoř)



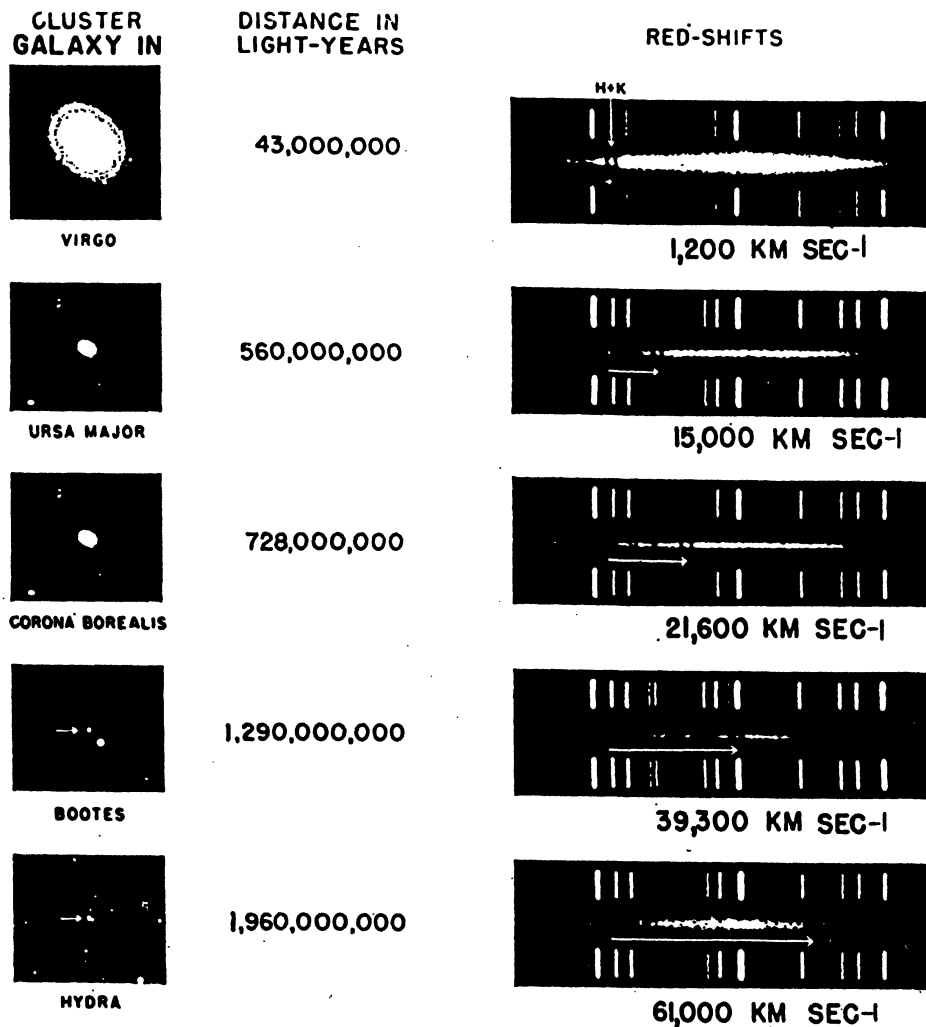
Obr. 5. Rozdvojení spektrální čáry dvojhvězdy s blízkými složkami, kdy jsou jejich oběžné rychlosti kolem společného těžiště poměrně velké. Šipka ukazuje směr k pozorovateli. Rozdvojení je maximální, když jedna složka směřuje od pozorovatele a druhá k němu.



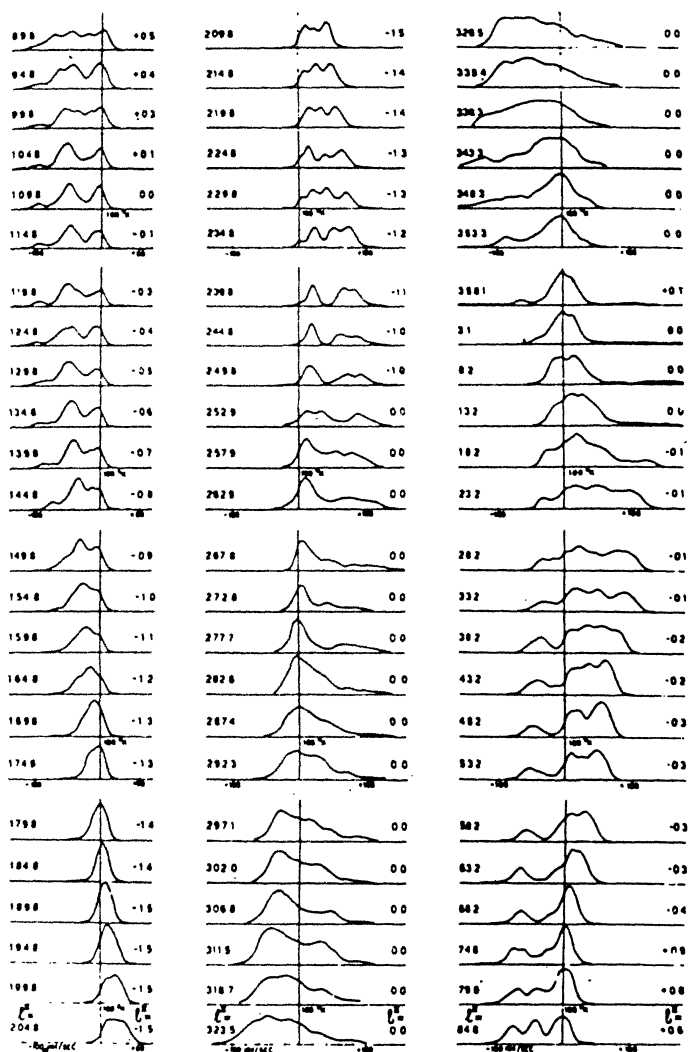
Obr. 6. Dopplerův posuv čar ve spektru Arktura vzniklý v důsledku ročního oběžného pohybu Země kolem Slunce. Spektrum *a* bylo pořízeno 1. července a ukazuje radiální rychlost +18 km/s, spektrum *b* bylo pořízeno 19. ledna a ukazuje radiální rychlost -32 km/s. (Ve spektrech hvězd jsou absorpční čáry znázorněny černě, emisní čáry srovnávacího spektra železného oblouku (nahore a dole kolem spekter hvězd) jsou světlé na tmavém pozadí.) Srovnávací spektra si udržují laboratorní — klidové délky čar a během roku se samozřejmě nemohou posunovat.

vyšší než rychlosti hvězd v naší Galaxii. Hubbleův objev rozpínání vesmíru vycházel také z měření radiálních rychlostí galaxií.

Také když se v dvacátém století postupně otvírala další spektrální okna do vesmíru — rádiové v padesátých letech, ultrafialové a rentgenové v sedmdesátých a infračervené v osmdesátých letech, byl Dopplerův princip užit při zpracování každého spektra. Radioastronomové například rovnou zavedli pro kreslení profilů spektrálních čar cejchování osy vlnových délek v kilometrech za sekundu. Typická přesnost dosažovaná dnes v optických a rádiových spektrech objektů mimo sluneční soustavu je asi 300 m/s, v ostatních spektrálních oblastech je asi třikrát horší (snad s výjimkou oblasti gama, kde se vůbec nedá mluvit o nějaké přesnosti). Existují ovšem i speciální případy,



Obr. 7. Známý Hubbleův diagram, který pro blízké galaxie můžeme ztotožnit s projevem Dopplerova jevu. Vzdálenost galaxií na obrázku byla doložena za předpokladu, že Hubbleova konstanta je 100 km/s/Mpc. Jsou sledovány čáry H a K jednou ionizovaného vápníku.



kdy se dosáhne přesnosti vyšší, ale jinak všeobecně platí, že čím slabší je zdroj, tím menší rozlišení nutno volit, aby se spektrum vůbec mohlo zaznamenat. V poslední době je fotografie vytlačena prvky CCD, které mají expoziční doby asi o jeden řád kratší vzhledem k vysoké kvantové účinnosti.

Dopplerův jev využívají také všechna radarová pozorování ve sluneční soustavě a nejpřesnější výsledky dávají aplikace v nebeské mechanice umělých družic a meziplanetárních sond, kde lze měřit i projevy obecné teorie relativity.

Tak široké použití, jaké má Dopplerův jev v astrofyzice a jinde v našem životě, lze sotva nějak krátce shrnout. Zevšeobecně tak jako lidová píseň a jen jeho název nám připomíná autora.



Obr. 8. Profily čáry neutrálního vodíku na 21 cm, jak byly změřeny v roce 1951. Číslo vlevo od každého profilu je galaktická délka zorného paprsku, podle kterého se měřilo. Jednotlivé hrby s různým Dopplerovým posuvem odpovídají jednotlivým oblakům vodíku v různých vzdálenostech od pozorovatele. Podle tohoto pozorování byl sestaven model prostorového rozložení oblaků neutrálního vodíku v naší Galaxii, který prokázal existenci spirálních ramen.

L i t e r a t u r a

- [1] CH. DOPPLER: *Ueber das farbige Licht der Doppelsterne und einiger anderer Gestirne des Himmels*. Abhandlungen der königlichen böhmischen Gessellschaft der Wissenschaften 2, 1842, pp. 465–482.
- [2] K. KREIL: *Astronomisch-Meteorologisches Jahrbuch fuer 1844*. Prague, Clementinum.
- [3] *Les théories de l'optique et l'oeuvre d'Hippolyte Fizeau*. Paris 1924, pp. 57–64.
- [4] CH. DOPPLER: *Beluchtung und Widerlegung der von Dr. Maedler in Dorpat gegen die Theorie des farbigen Lichtes der Doppelsterne gemachten Einwendungen und Bedenken*. Österreichische Blätter für Literatur und Kunst 15, 1844.
- [5] CH. DOPPLER: *Bemerkungen zu meiner Theorie des farbigen Lichtes der Doppelsterne, mit vorzüglicher Rücksicht auf die von Herrn Dr. Ballot in Utrecht dagegen erhobenen Bedenken*. Annalen der Physik 68 (1846), 5, 1.
- [6] CH. DOPPLER: *Ueber den Einfluss der Bewegung des Fortpflanzungsmittels auf die Erscheinung der Aether-, Luft- und Wasserwellen, ein weiterer Beitrag zur allgemeinen Wellenlehre*. Abhandlungen der königlichen böhmischen Gessellschaft der Wissenschaften 5, 1848.

- [7] CH. DOPPLER: *Einige Mittheilungen und Bemerkungen, meine Theorie des farbigen Lichtes der doppelsterne betreffend*. Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 5 (1850), 154.
- [8] CH. DOPPLER: *Bemerkungen zu dem Aufsatz: „Ueber ein allgemeines Princip zur Undulationslehre: Absatz der Erhaltung der Schwingungsdauer“*. Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 58 (1852), 587.
- [9] CH. DOPPLER: *Bemerkungen über die von Herrn Prof. Petzval gegen die Richtigkeit meiner Theorie vorgebrachten Einwendungen*. Sitzungsberichte der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften 9 (1852), 217.

Bourbaki a matematika

André Weil

Byl jsem jedním z asi deseti mladých matematiků z École Normale, kteří — i když se rozutekli po různých vysokých školách v Paříži i mimo ni — zůstávali úzce spjati s École i po jejím opuštění. Mými nejlepšími přáteli z nich vedle Henri Cartana byli Jean Delsarte a Claude Chevalley. Delsarte byl asistentem v Nancy, kde měl zůstat po celou svou životní dráhu; ta však byla nešťastně přerušena jeho předčasnou smrtí v roce 1968. Chevalley žil po návratu z Německa v Paříži. Právě se oženil a končil svou disertaci. Protože Herbrand se v červenci 1931 zabil při horolezecké výpravě, zůstali jsme, Chevalley a já, jediní ve Francii, kdo pracovali v teorii čísel. Pokaždé, když jsem byl v Paříži, jsme se setkávali.

Strávil jsem jistý čas na německých univerzitách a mnozí z mých přátel mne následovali. Semináře tam hrály podstatnou roli ve výuce. Jediný seminář, který jsme poznali ve Francii z vlastní zkušenosti, byl Hadamardův — vzor, který jsme mohli sotva napodobit. Přesto jsme se rozhodli zorganizovat seminář jako fórum pro pravidelná setkání. Tehdy takový podnik vyžadoval patrona již kvůli tomu, abychom získali na Sorbonně místnost. Julia, který byl nejmladší z našich učitelů na École, nám rád pomohl. Tento seminář se stal známý jako „Juliův seminář“. Pokračoval až do roku 1939. Na rozdíl od Hadamardova se náš seminář zaměřoval každým rokem na jiné téma. V roce 1933/34 to byly grupy a algebry, potom Hilbertův prostor, pak dílo Elie Cartana atd. Rozmnožené zápisy ze semináře jsou snad uloženy v knihovně Institutu Henri Poincarého. Julia byl pravidelným účastníkem semináře a nepochybně právě tam dostal nápad věnovat zbytek své vědecké dráhy Hilbertovým prostorům.

Několik úryvků ze životopisné knihy téhož autora *The Apprenticeship of a Mathematician*, Birkhäuser Verlag 1991. Převzato z propagačního letáku *Mathematics Quarterly Winter 1991/92* nakladatelství Birkhäuser Verlag (Basel, Switzerland).

Přeložil JAN HOUSKA.