

Ivan Štoll
Dopplerovský rok

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 49 (2004), No. 2, 89--94

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141215>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2004

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>

Dopplerovský rok

Ivan Štoll, Praha



Obr. 1. CHRISTIAN DOPPLER

Uplynulý rok 2003 byl ve znamení dvou kulatých životních výročí Christiana Dopplera, badatele, kterého proslavil po něm pojmenovaný fyzikální jev. Doppler se narodil 29. listopadu 1803 v Salcburku, zemřel 17. března 1853 v Benátkách a svůj vrcholný objev přednesl na zasedání přírodovědné sekce Královské české společnosti nauk v dnešním Vlasteneckém sále Karolina v Praze 25. května 1842.

Doppler vyrůstal v rodině uměleckého kameníka a toto prostředí poznamenalo jeho zdraví onemocněním dýchacích cest. V dětství trávil mnoho času v prostředí hřbitovů a kostelů, což patrně přispělo k jeho poněkud introvertní a melancholické povaze.

Po smrti otce se rodina ocitla ve svízelné finanční situaci a Doppler psychicky trpěl svou chudobou; podle slov jeho matky se spořívost stala jeho charakteristickou vlastností. Protože rodinnou živnost převzal Dopplerův starší bratr Johann, připravoval se Doppler na dráhu účetního. K těžké kamenické práci neměl ostatně ani fyzickou dispozici. Rodinný přítel, významný rakouský geodet Simon Stampfer, rozpoznal zájem a schopnosti mladého chlapce pro matematiku a doporučil mu studium na vídeňské polytechnice. Období nastupující průmyslové revoluce, éry prvních parních strojů, parníků, lokomotiv a plynového osvětlení posílilo v Dopplerovi odhodlání stát se velkým vědcem a prospět lidstvu.

Po vystudování polytechniky na ní Doppler působil ještě čtyři roky jako asistent, ale jeho postavení nemělo další perspektivu. Účastnil se několika konkurzů na rakouských školách, ale bez výsledku. Protože neviděl způsob, jak najít vhodný zdroj obživy a uspokojit přitom své ambice badatele, uvažoval o vystěhování do Ameriky. Nakonec získal místo učitele na pražské stavovské reálce. Dvanáct nejneprodnějších let svého života, 1835–1847, tak spojil s Prahou, podobně jako kdysi Johannes Kepler. Za svého pobytu v Praze se Doppler oženil a stal se otcem pěti dětí. Po čase postoupil z reálky na profesora pražské polytechniky a stal se nejprve mimořádným, od roku 1843 řádným členem Královské české společnosti nauk. K 500. výročí svého založení mu pražská univerzita udělila čestný doktorát.

Pedagogické působení na pražské polytechnice Dopplera nesmírně vyčerpávalo. Přednášel stovkám studentů v přeplněných posluchárnách, prováděl s nimi praktická

Doc. Ing. IVAN ŠTOLL, CSc. (1935), katedra fyziky FJFI ČVUT, Břehová 7, 115 19 Praha 1, e-mail: ivan.stoll@fjfi.cvut.cz

cvičení z geodézie v okolí Prahy někdy už od čtyř hodin ráno (!), zkoušel je podle předpisů písemně i ústně, bez asistentů. Navíc vyučoval především elementární matematiku a jeho mysl se přitom podle svědectví některých žáků vznášela „ve vyšších sférách“. Archivní dokumenty o Dopplerově působení na technice jsou tristní sbírkou žádostí o zvýšení platu a o různé příplatky (v Praze narůstala drahota a uživit rodinu s pěti dětmi nebylo snadné), udání, že nedodržuje studijní předpisy, pochval a následujících důtek, hořkých obhajob a přímluv. Dopplerovo zdraví se přitom stále zhoršovalo (trpěl tuberkulózou hrtanu) a v roce 1844 úplně ztratil hlas.

Nakonec Doppler přijal nabídku působení na Báňské a lesnické akademii v Banské Štiavnici, kam odjel i s rodinou na podzim roku 1847. Podmínky pro klidnější pedagogickou a vědeckou práci však netrvaly dlouho. Revoluční události roku 1848 a uherské povstání jeho pobyt ve Štiavnici zkomplikovaly a Doppler se nakonec přestěhoval do Vídně. Po krátkém působení na vídeňské polytechnice ho nový císař František Josef jmenoval ředitelem nově založeného Fyzikálního ústavu vídeňské univerzity a Doppler tak dosáhl zenitu své akademické dráhy. Měl vlastně na starost výuku učitelů fyziky pro celou monarchii i koncepci výzkumné práce ve fyzice. Jeho přednášky z experimentální fyziky navštěvoval i zakladatel genetiky Johann Gregor Mendel, ale Doppler nebyl s jeho znalostmi příliš spokojen.

Poslední léta života Dopplerovi ztrpčil neočekávaný protivník, Josef Maxmilián Petzval, který napadl a znevažil celé jeho vědecké dílo. To byla poslední kapka, která podlomila Dopplerovo narušené zdraví. Po krátkém pobytu v italských Benátkách, tehdy součásti habsburské monarchie, Doppler zemřel a byl pochován na hřbitově na ostrově San Michele.

Ještě za svého asistentského působení ve Vídni začal Doppler publikovat první matematické práce. Týkaly se tehdy aktuální problematiky pátého Eukleidova postulátu o rovnoběžkách, vlastností nekonečných logaritmických řad, řetězových odmocnin a také základů analytické geometrie. Bernard Bolzano, matematik a filozof světového věhlasu, který se stal v Praze Dopplerovým ochráncem, přijímal zpočátku tyto Dopplerovy práce se sympatiemi. Brzy se však přesvědčil, že Doppler nemá předpoklady pro tvůrčí rozvíjení matematiky. Svému příteli Josefu Feslovi v roce 1842 napsal:

„Na vaši otázku, proč Doppler při svých přednáškách, kdy má příležitost využít své vlastní matematické metody a ukázat jejich použitelnost, tak nečiní, musím vám znovu sdělit prostou pravdu, že Doppler tyto metody nejen nezná, ale nemá pro jejich pochopení žádný talent (už vůbec ne filozofický). Proto bych ho také odrazoval, i kdyby se o to chtěl pokoušet, a prosil bych ho, aby se raději zabýval věcmi, pro něž má nadání.“

Na Dopplerovu obhajobu můžeme uvést, že při přednáškách z elementární matematiky a geodézie neměl mnoho příležitostí k hlubším pohledům na filozofii matematiky. Obsah výuky byl navíc striktně předepsán, úředně kontrolován a přílišné pedagogické inovace byly posuzovány nevlídně. Doppler nebyl ostatně jediný matematik, který nebyl schopen ocenit Bolzanovy převratné matematické koncepce; nerozuměla jim tehdy většina matematiků. Bolzano tak na Dopplerovi oceňoval především jeho nadšení,

zápal pro vědu, jeho „milý charakter“ a gejzíry nápadů a dělal si velké starosti o jeho zdraví.

Doppler skutečně hýřil nápady. Zajímal se o účinky elektrického proudu a dospěl k podivnému závěru, že vodič se při průchodu proudem zkracuje. Zkoumání jakýchkoli pomyslných „svítících bodů“ na Měsíci ho vedlo k přesvědčení, že Měsíc má velmi hustou atmosféru. Nadchl se pro možnosti fotografie a navrhoval měřit průměry hvězd opakovaným zvětšováním jejich fotografických obrazů. Zabýval se otázkou, zda je možno pozorovat hvězdy zakryté jádrem komety. V Banské Štiavnici zkoumal staré důlní mapy a snažil se najít zákonitosti změn magnetické deklinace v průběhu staletí. Ve Vídni se pokoušel experimentálně měřit tlak v parním kotli podle výšky tónu vydávaného parní píšťalou. Experimenty prováděl na zahradě Fyzikálního ústavu na vídeňském předměstí v Erdbergu a děsil jimi sousedy.

Za svého působení v Královské české společnosti nauk v Praze přicházel Doppler na téměř každé zasedání s novými nápady. Navrhl konstrukci cyklografu k rýsování oblouků kružnic libovolně velkého poloměru, aniž by využil znalosti polohy středu, dále přístroje k rýsování Descartových oválů, k vytyčování železničních křivek, zdokonalení konstrukce měřického stolu a mikroskopu, projekty optických přístrojů k měření vzdáleností, zorného úhlu nebo malých odchylek světelného paprsku, stroboskopický způsob zviditelnění rychlých pohybů. Až na výjimky šlo vždy o drobná konstrukční zlepšení nebo kuriózní nápady, které neměly praktické uplatnění. Vzhledem k tomu, že před Dopplerovým příchodem se fyzikální práce v činnosti Společnosti neobjevovaly, znamenaly jeho nápady alespoň oživení zájmu o tuto problematiku.

Dopplerova přednáška, na níž uvedl objev principu, podle něhož se frekvence přijímaného vlnění mění v závislosti na vzájemném pohybu zdroje a pozorovatele, však rázem tisícinásobně převážila všechny jeho ostatní nápady. Historikové fyziky ji považují za nejvýznamnější fyzikální objev, který vznikl v Praze v 19. století. Na Dopplerově principu dnes pracují nesčetné přístroje v astrofyzice, experimentální fyzice, technice, navigaci, lékařství a mnoha dalších oborech. Dopplerův sen přinést užitek lidstvu tak došel svého naplnění.

Zpočátku o tom nic nesvědčilo a Doppler se slávy svého objevu nadožil. Prezentace jeho výsledků před šesti posluchači, členy přírodovědné sekce Společnosti, byla nešikovná. Dopplerovo originální odvození je velmi nedokonalé a málo srozumitelné, obsahuje chyby a nekonzistentní označení. Doppler neuvedl pro svůj princip žádný experimentální důkaz a nahradil ho fantaziemi o barvách hvězd, podle nichž všechny hvězdy, které se k nám přibližují, svítí modřeji a ty, které se od nás vzdalují, červeněji. Astronomové nad tím kroutili nedůvěřivě hlavou.

Sama matematická formulace Dopplerova jevu se zdála až podezřele primitivní. Doppler odvodil výrazy pro změnu frekvence f_0 vlnění šířícího se v daném prostředí rychlostí c_z , jak ji registruje pozorovatel ve dvou případech: přibližuje-li se zdroj vlnění k nehybnému pozorovateli rychlostí v (1), a naopak je-li zdroj nehybný a pozorovatel se k němu přibližuje touž rychlostí (2). V těchto případech dostal

$$f_1 = \frac{c_z}{c_z - v} f_0, \quad f_2 = \frac{c_z + v}{c_z} f_0.$$

Pokud se zdroj nebo pozorovatel vzdaluje, změní se znaménko u v . Doppler zdůrazňoval rozdíl mezi případy pohybu zdroje a pohybu pozorovatele a později odvodil i vzorec pro případ, kdy se pohybuje jak zdroj, tak pozorovatel. Nesymetrie mezi oběma případy je dána tím, že pokud se pohybuje zdroj, šíří se vlna rychlostí c_z , mění se prostorové rozložení vln (vlnová délka) a frekvence. Pokud se pohybuje pozorovatel, sčítá se jeho rychlost vzhledem k prostředí s rychlostí vlny, vlnová délka zůstává beze změny a mění se frekvence. Pokud platí $v \ll c_z$, frekvence f_1 a f_2 se liší jen málo.

Doppler aplikoval své vzorce i na světlo, které považoval v duchu doby za podélné vlnění světelného éteru. Odmítal přitom vzít na vědomí Fresnelovy výsledky o příčném charakteru světelného vlnění, který se projevuje polarizací světla. Einsteinova teorie relativity vychází z poznatku, že rychlost světla ve vakuu c se s rychlostí zdroje nebo pozorovatele nesčítá a je stejná ve všech inerciálních vztažných soustavách. Ve výše uvedených případech dává pro frekvenci registrovanou pozorovatelem stejné výrazy

$$f_1 = \frac{1}{\gamma} \frac{c}{c-v} f_0 = f_2 = \gamma \frac{c+v}{c} f_0,$$

kde $\gamma^2 = 1/(1 - v^2/c^2)$.

Petzval napadal Dopplerovu práci tím, že se neopírá o diferenciální vlnové rovnice a že „pouhý zlomek“ nemůže být přece fyzikální teorií. Argumentoval situací, kdy je zdroj i pozorovatel v klidu a proudí prostředí mezi nimi, například vzduch mezi lázeňským orchestrem a posluchači v zahradní restauraci. Pak je ovšem ovlivněna rychlost šíření vlny a vlnová délka, ale nikoli frekvence — harmonie skladby se nenaruší. Tyto diskuse, založené v podstatě na nedorozumění, neměly pro Dopplera východisko.

Je pravda, že matematická podoba Dopplerova objevu byla prostá. Dokonce ani samotná myšlenka změny frekvence periodického děje v souvislosti s pohybem nebyla nová. Připomíná starou matematickou úlohu o jízdních poslech, které vojevůdce vysílá v pravidelných intervalech ke svému panovníkovi se zprávami o stavu na bojišti. Pokud vojevůdce postupuje proti nepříteli vpřed, jsou intervaly mezi příjezdy posílů delší, dává-li se vojsko na rychlý ústup, poslové se v sídle panovníka nepříjemně hromadí. Spočítáme-li frekvenci příjezdu posílů v závislosti na rychlosti pohybu fronty, dostaneme právě Dopplerův zlomek. Známe-li naopak rychlost pohybu fronty a změnu frekvence příjezdu posílů, můžeme vypočítat rychlost pohybu posla.

Tímto způsobem změřil v roce 1675 v Paříži dánský fyzik Olaf Römer rychlost světla. Pozoroval přitom intervaly mezi zákryty Jupiterova měsíčku Io za situace, kdy se Země od Jupitera vzdaluje a kdy se k němu přibližuje. Dokonce ani myšlenka o tom, že přibližující se nebo vzdalující se hvězdy by mohly změnit svou barvu, nebyla v Dopplerově době nová. Vyslovili ji už na konci 18. století göttingenský fyzik G. Lichtenberg a meklenburský amatérský astronom Friedrich von Hahn; Doppler si ji mohl přečíst v astronomické ročence observatoře v Postupimi za rok 1795.

Přesto byl Doppler první, kdo zformuloval obecný princip změny kmitočtu platný pro zvuk, světlo i jakékoli jiné vlny vydávané pohybujícími se zdroji. Zajistil tak nesmrtelnost sobě a slávu pražské fyzice. Francouzský fyzik A. Fizeau, který několik let po Dopplerovi objevil tento jev znovu, poukázal na to, že u pohybujících se zářících nebeských těles nemůžeme očekávat změnu barvy, ale posun jejich spektrálních čar.

Tento posun lze dnes pomocí spektrometrů měřit s neuvěřitelnou přesností a Dopplerovu jevu se tak otevřela cesta do astrofyziky. Dopplerův jev, akustický i optický, byl postupně experimentálně ověřován, vstoupil do teorie relativity i kvantové fyziky, našel souvislost s nadzvukovými, nadsvětelnými i nelineárními jevy. Jeho matematický popis je dnes mnohem složitější než původní Dopplerův „pouhý zlomek“.

Velký teoretický fyzik H. A. Lorentz prostudoval celé Dopplerovo dílo a v roce 1907 ho zhodnotil takto: „*Za formulaci Dopplerova principu můžeme autora zařadit mezi klasiky přírodovědy. I když, jak se mi zdá, jeho ostatní práce ani způsob a postup, jak svou teorii proti různým námitkám obhajuje a na barvy hvězd aplikuje, mu nárok na toto čestné označení nedává.*“ (LORENTZ, H. A.: *Abhandlungen von Christian Doppler*. W. Engelmann, Leipzig 1907.)

V závěru Dopplerova roku 2003, u příležitosti 200 let od jeho narození, proběhlo několik akcí k uctění Dopplerovy památky, především ve všech zemích bývalé monarchie, jejímž byl Doppler v širším smyslu „vlastencem“ — v Salcburku, v Praze, ve Vídni i v Benátkách. Začátkem října byl do Salcburku situován 53. výroční sjezd Rakouské fyzikální společnosti, na který navázalo zvláštní dopplerovské sympozium. Dva úvodní příspěvky sjezdu byly věnovány Dopplerovi. Dopplerův celoživotní obdivovatel, rakouský historik vědy Peter Schuster, promluvil o Dopplerově životě a působení, příspěvek I. Štolla měl název „Dlouhá cesta Dopplerovy vize do moderní fyziky“. Na sympoziu vystoupili dále J. Schwippel z Archivu AV ČR v Praze, J. Novák z Banské Štiavnice a L. Pezzolo z univerzity v Benátkách.

Velmi čilá reprezentativní skupina v Salcburku, tvořená představiteli salcburské zemské vlády, univerzity a Dopplerova fondu, se ujala úlohy jakéhosi koordinátora všech mezinárodních akcí. V areálu salcburské Dopplerovy kliniky na Ignaz-Harrer-Strasse byla odhalena Dopplerova busta, po Dopplerovi byla pojmenována ulice, režisér Lothar Riedl natočil dojemný životopisný film o Dopplerovi nazvaný Dvojhvězdi (některé scény byly natočeny v Praze), o Dopplerovi vznikla dokonce i symfonie s dopplerovskými akustickými efekty. Vzpomínkové semináře o Dopplerovi proběhly na vídeňské a benátské univerzitě, v Praze na Karlově univerzitě a v rámci Dopplerova institutu na Jaderné a fyzikálně inženýrské fakultě ČVUT. Dopplerovi bylo v Praze věnováno i mezioborové 11. mezinárodní sympozium o neinvazivní cévní diagnostice, které pravidelně organizuje profesor V. Blažek z Cách a kde se setkávají lékaři, fyzikové a inženýři. Promítání filmu Dvojhvězdi za účasti delegace ze Salcburku uspořádalo gymnázium Ch. Dopplera v Městské knihovně v Praze. Dále společně s JČMF uspořádalo v Kladně 10. mezinárodní konferenci mladých vědců, na které jedna sekce byla věnována aplikacím Dopplerova jevu.

Doppler přednesl svou památnou přednášku v prostorách dnešního Vlasteneckého sálu v Karolinu, který byl tenkrát čítárnou univerzitní knihovny a místem setkávání členů KČSN. V roce 1992, ve výroční den Dopplerova objevu, se ve Vlasteneckém sále konala přednáška anglického lékaře, spoluzakladatele Dopplerova lékařského ústavu v Salcburku, Aleca Edena. Eden zdokonalil metodu ultrazvukové sonografie pro sledování průtoku krve v mozkových cévách založenou na Dopplerově jevu a stal se nadšeným propagátorem Dopplerova odkazu. Během tehdejší návštěvy v Praze věnoval Eden lékařské fakultě UK sonografický přístroj a Českému vysokému učení

technickému v Praze sádrovou Dopplerovu bustu, odlitek mramorové busty z foyeru vídeňské univerzity.

I v roce 2003 byl Vlastenecký sál Karolina dějištěm vzpomínkového dopplerovského sympozia, pořádaného Spolkem absolventů a přátel UK pod záštitou rektora I. Wilhelma. Spolupřátajícími institucemi byl Ústav dějin UK, MFF UK a Dopplerův institut FJFI ČVUT. Na sympoziu bylo v přednáškách J. Schwippela, I. Štolla, M. Šolce a Z. Kasalové vzpomenuo Dopplerovo působení v Praze, zhodnocen jeho přínos pro fyziku a astronomii a uvedeny zkušenosti s uplatněním Dopplerova jevu v lékařství. Pražská pobočka České astronomické společnosti a Štefánikova hvězdárna uspořádaly 12. listopadu vzpomínkový večer na Petříně, k němuž přispěli svými přednáškami A. Šolcová a I. Štoll.



Obr. 2. Pamětní deska na Karlově náměstí v Praze.

Na Dopplerův pobyt v Praze upomíná deska na domě č. 20 na Karlově náměstí, bohužel s nesprávným letopočtem Dopplerova úmrtí. Ani budova není původní. Zachoval se však dům v ulici U obecního dvora 799/1 na Starém městě, v němž Doppler s rodinou v posledních letech svého pobytu v Praze bydlel. ČVUT se za finančního příspěvní salcburské strany chystá umístit na tento dům dvojjazyčnou pamětní desku s Dopplerovým reliéfem, dílo akademické sochařky Ellen Jilemnické. Doufejme, že dříve než proběhne slavnostní odhalení zmíněné desky jako výraz česko-rakouské kulturní spolupráce, bude zanedbané okolí tohoto pěkného barokního domu upraveno.

Na další kulaté dopplerovské výročí si budeme muset počkat padesát let. S Dopplerovým jevem se však budeme setkávat neustále, ať už ve fyzikální laboratoři, při ultrazvukovém lékařském vyšetření nebo na silnici, až budeme platit pokutu za rychlou jízdu.

L i t e r a t u r a

- [1] EDEN, A.: *Po stopách Christiana Dopplera*. PMFA 38 (1993), 194–201.
- [2] KRAUS, I.: *Dějiny technických věd a vynálezů v českých zemích*. Academia, Praha 2004.
- [3] ŠTOLL, I.: *Život a dílo badatele Dopplera*. PMFA 38 (1993), 260–269.
- [4] ŠTOLL, I.: *Christian Doppler. Pegas pod jařmem*. Prometheus, Praha 2003.
- [5] ZAJAC, Š.: *150 let Dopplerova principu*. PMFA 38 (1993), 192–193.