

# Rozhledy matematicko-fyzikální

---

Ivan Štoll

Červený a modrý svět Christiana Dopplera

*Rozhledy matematicko-fyzikální*, Vol. 90 (2015), No. 1-2, 78–86

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/146619>

## Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2015

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>

### Červený a modrý svět Christiana Dopplera

*Ivan Štoll, FJFI ČVUT, Praha*

**Abstract.** The history of the Doppler Principle discovery and its key role in many areas of physics, astronomy and technology is discussed. Despite the lack of theoretical and experimental evidence, Doppler thanks to his enthusiasm and intuition reached his goal to become the benefactor of mankind, though posthumously. Many following physicists further developed and applied his ideas. In fact, Doppler's discovery was the most important physical result in our country during the 19th century. Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering of the Czech Technical University borrowed Doppler's name when organizing Doppler Institute of mathematical physics.

Začátkem roku 1989 jsem dostal pozvánku na seminář o Dopplerovi, který se konal 24. ledna ve Fyzikálním ústavu v Praze Kobylisích. Hlavním bodem programu měla být přednáška zahraničního hosta, anglického lékaře a podnikatele, profesora Aleca Edena, který působil na zemské neurologické klinice v Salzburku.

Jak je obecně známo, Dopplerův jev se ve spojení s ultrazvukem dnes hojně využívá v lékařství k diagnostickým účelům pomocí tzv. sonografie, která neohrožuje organismus rentgenovým zářením. Tento jev umožňuje sledovat pohyby uvnitř lidského těla, ať už srdeční stahy, pohyby lidského plodu nebo průtoku krve v cévách. V posledním případě se ultrazvukový signál odráží na červených krvinkách a krevních destičkách a umožňuje změřit rychlost proudění krve úplně stejně, jako když policejní radary pomocí elektromagnetických vln měří rychlost projíždějících automobilů.

Při průtoku krve v cévách se uplatní známá rovnice kontinuity nestlačitelných kapalin – v zúženém místě cévy musí krev proudit rychleji, aby se zachoval spojitý tok. (Zcela opačně se chová lidský dav; v zúženém místě průchodu lidé zpomalí a vznikne tlačeniče.) Změříme-li tedy rychlost proudění krve, můžeme vytipovat místa zúžení cév a upozornit na možnost jejich ucpání.

První, kdo uplatnil Dopplerův jev v lékařství v roce 1959, byl japonský neurolog Ziro Kaneko z Ósaky. Brzy se vytvořila potřeba proniknout s ultrazvukovým signálem spánkovou kostí do mozku a pomocí dopplerovské

sonografie varovat před hrozbou mozkové mrtvice. To ovšem zpočátku představovalo technický problém, který se podařilo překonat až pozdějším výzkumníkům. Jedním ze spoluautorů nitrolebního transkraniálního dopplerovského sonografu byl právě profesor Eden. Pustil se dokonce do výroby těchto zařízení a uplatňoval je zejména na východoasijských trzích (kde je z nějakých důvodů riziko mozkových příhod vyšší) a tímto podnikáním zbohatl. Jeho přístroj se ukázal poměrně jednoduchým. Později na dopplerovské konferenci v Praze pořádané jadernou a fyzikálně inženýrskou fakultou ČVUT nabízel účastníkům, aby si přímo v posluchárně nechali zobrazit krevní řečiště svého mozku, ale nikdo se tak nějak neodhodlal.

Profesor Eden si na svém bohatství nezakládal, hojně přispíval na charitu a vždy se roztomile omlouval: „Víte, já za to nemohu, ale já jsem prostě bohatý.“ Za dobrodince, jemuž vděčil za své bohatství, považoval právě Christiana Dopplera, který byl znám tím, že ve své době třel bídu s nouzí. Eden toužil dozvědět se o objeviteli Dopplerova jevu více, a tak jednou ve Spojených státech amerických, kde přednášel o svých diagnostických metodách, nahlédl do encyklopedie a tam se dočetl, že Doppler byl americký matematik.

To se mu nějak nezdálo, a tak ho další pátrání přivedlo do Salzburku, kde se Doppler narodil, a do Prahy, kde roku 1842 učinil svůj objev. Dopplerova rodina bydlela v Salzburku v těsné blízkosti rodiny Mozartových a Doppler přednášel v Praze o svém objevu poprvé ve Vlasteneckém sále Karolina jen pár desítek metrů od Stavovského divadla, kde Mozart kdysi dirigoval světovou premiéru svého Dona Giovanniho. Mozart a Doppler jsou tak dvě osobnosti, jedna umělecká a jedna vědecká, svázané se Salzburkem a Prahou. Eden pak organizoval a financoval celou řadu dopplerovských konferencí a akcí, jimiž propagoval vědecký přínos svého dávného inspirátora. Přitom hodně cestoval, a to i po exotických zemích. Při návštěvě východní Afriky se poranil, infikoval nějakou tropickou nemocí, a to se mu později stalo osudným.

Doppler vyrůstal v rodině proslulého kameníka, měl slabý hlas a byl chabého zdraví. Přispělo k tomu zřejmě vdechování kamenného prachu v otcově dílně. Zato projevil zájem i určité nadání pro matematiku a fyziku a vystudoval tehdy nedávno založenou vídeňskou polytechniku. Po ukončení studií získal sice dočasnou pozici asistenta na katedře matematiky, ale po ukončení smlouvy měl potíže najít odpovídající uplatnění. V Praze zatím vzkvétala pražská stavovská polytechnika a nově byla u ní zřízena i reálka pro přípravu mladých studentů. Tam Doppler nakonec

přijal místo, přestěhoval se do Prahy, založil rodinu (měl pět dětí) a pomalu postupoval ve své kariéře. Stal se profesorem polytechniky a členem Královské české společnosti nauk a na jejích schůzích přicházel se stále novými fyzikálními nápady.



Christian Doppler (1803–1853)

Tyto nápady, které chrlil, chtělo by se říci jako gejzír, byly však většinou jen drobná technická zdokonalení měřicích, zejména geodetických nebo optických přístrojů, různé nepodložené fantazie a spekulace. Hájil názor, že Měsíc má hustou atmosféru, bádá nad příčinami sekulárních změn zemského magnetického pole, navrhoval měřit tlak v kotlích lokomotiv (které tehdy ještě občas explodovaly) podle výšky tónu vydávaného parní píšťalou a jeho jediným experimentálním výsledkem bylo zjištění, že vodič se při průchodu elektrického proudu zkracuje, zatímco všem ostatním experimentátorům se teplem prodlužoval.

Doppler tedy nebyl ani velkým teoretikem, ani experimentátorem, ale byl velkým nadšencem. Nadchl se atmosférou probíhající průmyslové revoluce a rozhodně přispěl k zájmu o fyziku v Praze. Pevně se rozhodl, že zasvětit svůj život vědě, bude kráčet ve stopách jejích velikánů a stane se dobrodincem lidstva. Jeho devízou bylo: „Nejvděčnější výzkumy jsou ty, které přinášejí objeviteli radost z myšlení a zároveň užitek lidstvu.“

Zaujala ho otázka, jak se změni charakter vlnění přijímaného pozorovatelem, jeho směr, intenzita a kmitočet, bude-li zdroj vlnění nebo pozorovatel v pohybu. Jak sám uváděl, chtěl navázat a dále zobecnit představu velkého anglického astronoma 18. století Jamese Bradleye o aberaci stálic.

Bradley, královský astronom působící na Greenwichské hvězdárně, měl už k dispozici dalekohledy s rozlišením několika úhlových vteřin a podařilo se mu zjistit, že stálice opisují během roku na obloze elipsy a kroužky s velkou poloosou 20,5 úhlových vteřin (aberační konstanta). Tyto pohyby stálic jsou ovšem zdánlivé a jsou vyvolány pohybem Země na její dráze kolem Slunce. Stálice jsou prakticky v nekonečné dálce, jejich paprsky dopadají na Zem jako rovnoběžné. Vzhledem k oběhu Země musí však astronomové naklánět tubusy svých dalekohledů během roku rovnoběžně s těmito paprsky. Můžeme si představit, že obíháme po uzavřené dráze v dešti rovnoběžných kapek s deštníkem v ruce a musíme deštník naklánět stále kolmo k dešti. Zmínujeme se o tom podrobněji proto, že Bradley vlastně poprvé astronomickým měřením prokázal, že se Země ve vesmíru pohybuje a obíhá kolem Slunce. Někdy se uvádí, že Galileo Galilei sto let před Bradleyem za svého procesu při odchodu ze soudní síně řekl o Zemi své *A přece se točí!* Galilei to ovšem neřekl, je to míněno symbolicky a výrok zněl jinak: *A přece se pohybuje!* (*E eppur si muove!*) Ke svému tvrzení, byť pravdivému, však Galilei ještě neměl přímý pozorovací důkaz.

Doppler se zamýšlel nad tím, zda se při pohybu zdroje nebo pozorovatele mění i pozorovaný kmitočet vlnění. I na toto téma existovaly dávno před Dopplerem inspirativní poznatky. Týkaly se však nikoli přímo kmitočtu vlnění, nýbrž změn kmitočtu periodických dějů. Ještě do středověku sahá úloha o poslech. Při válečné srážce se fronta mezi dvěma bojujícími armádami pohybuje a mění se podle toho, jestli jedna z armád postupuje nebo je následně zatlačována nazpět. Velitel jedné z armád vysílá každý den v určitou hodinu jízdního posla do hlavního města, aby informoval panovníka o situaci na frontě. Jestliže jeho armáda postupuje vpřed, přijíždějí poslové stále z větší dálky s delšími časovými odstupy. Pokud ale armáda chvatně ustupuje, začínají se poslové v hlavním městě zlověstně hromadit. Podobně byla měřena perioda zákrytů Jupiterova měsíčku Io, který představuje jakési gigantické hodiny na obloze. Pokud se Země k Jupiteru přibližuje, tato perioda se zkracuje, vzdaluje-li se Země, perioda se prodlužuje. Mimořádně pozorování měsíce Io v bodech, kdy je Země Jupiteru nejbližší a nejdále, také pomohlo upřesnit rychlost šíření světla a poloměr zemské dráhy.

Doppler možná tyto úvahy znal, ale pro svou myšlenku se nadchl z jiných důvodů. V jeho době, v souvislosti s dalším rozvojem možností astronomických dalekohledů, docházelo k postupnému objevování velkého počtu dvojhvězd. Astronomové s podivením zjistili, že velký počet ne-

beských těles se vyskytuje v párech. Doppler si byl vědom, že bílé světlo je složeno ze spektrálních barev, přičemž vysokým kmitočetům odpovídá barva modrá, nižším barva červená. Vyšel z představy, že při pohybu zdroje směrem k nám se vysílané vlny zhušťují a bílé světlo se stává modřejší, vzdaluje-li se zdroj, bude světlo červenější.

Provedl dokonce i jakési dosti neobratné matematické odvození změny kmitočtu na vzdálenosti jedné vlnové délky a dostal vzorce pro případ pohybu zdroje nebo pohybu pozorovatele. Zdůrazňoval, že tyto dva případy je třeba odlišovat, že dávají různé výsledky. Dnes víme, že tyto výsledky jsou různé u zvukových vln, nebo vln pohybujících se v látkovém prostředí, zatímco v případě vln elektromagnetických podle speciální teorie relativity rychlost světla nezávisí na pohybu zdroje či pozorovatele a změna kmitočtu záleží jen na vzájemném pohybu vysílače a přijímače. Dopplerova „teorie“ jevu se vešla na dva řádky a čtenář si musí lámat hlavu, co písmenka v Dopplerově odvození vlastně znamenají. Takovými maličkostmi se génius nezabývá.

Nejzajímavější je ovšem to, že Dopplerův výsledek, i když se neopírá o žádnou obecnější matematickou teorii, a není tedy deduktivní, je v podstatě správný. Dáme-li si trochu práce, najdeme u Dopplera skutečně dnes tak dobře známé vztahy pro změny kmitočtu vlnění pohybujících se zdrojů. Matematická logika nás ostatně učí, že vyjdeme-li ze správných premis a postupujeme správným postupem uvažování, musíme dostat správný výsledek. Vyjdeme-li z nesprávných premis, a postupujeme tak trochu nesprávným způsobem, můžeme dostat cokoliv, tedy třeba i správný výsledek. Máme-li ovšem štěstí.

Z Dopplerova hlediska bylo odvození matematických vztahů jevu v podstatě spekulace, která se neopírala o žádný experimentální základ. V Dopplerově době neexistovaly rychle se pohybující zdroje zvuku nebo světla, s nimiž by bylo možno experimentovat a jev laboratorně ověřit. Dopplerův duch, který se stále vznášel tak trochu na nebesích, se proto obrátil k astronomii. Představil si, že při pohybu hvězdy směrem k nám nebo od nás se musí její celé spektrum posouvat a hvězda se stane modřejší nebo červenější (modrý a červený posuv). Inspirovaly ho k tomu již zmíněné objevy dvojhvězd. Podle Dopplera ty z dvojhvězd, které obíhají jedna druhou tak, že jedna složka se k nám přibližuje a druhá se vzdaluje, by měly svítit v doplňkových barvách – jedna by se jevila modřejší a druhá červenější. Uvažoval, že kdyby se zeměkoule pohybovala mezi hvězdami rychleji, pozorovali bychom hvězdy, k nimž se blížíme, jako modré, a ty, od nichž se vzdalujeme, jako červené. Nadchl se tak před-

stavou krásného modročerveného světa. Vysvětloval dokonce i objevení se nových hvězd a supernov tak, že tyto hvězdy září v neviditelné oblasti spektra a pak při náhlém zrychlení se celé jejich spektrum posune a ony se vynoří a opět zanoří do neviditelná. Doppler žil mnoha krásnými vidinami, mezi jiným i představou barevného vesmíru. Někdy uvádím jako vtípek, že pozorujeme-li v noci světla velkoměsta a proudy aut, které se od nás v kolonách vzdalují, svítí nám obrysová světla těchto aut červeně. Je to taky krásné, ovšem s Dopplerovým jevem to nemá mnoho společného.

A tak se 25. května 1842 sešli na své schůzi členové přírodovědné sekce Královské české společnosti nauk v Karolinu, aby vyslechli přednášku profesora Dopplera na téma „O barevném světle dvojhvězd a některých jiných hvězd na nebi“. Přednáška byla sice přijata se zdvořilým zájmem, ale vzhledem k tomu, že z přítomných šesti posluchačů byl jen jeden fyzik, vzbudila spíše rozpaky. Její text byl pak uveřejněn v Pojednáních Společnosti a Doppler ho vydal vlastním nákladem jako samostatnou brožurku. Mohl by nás zarazit malý počet posluchačů na Dopplerově přednášce, ale přírodovědecká sekce Společnosti tenkrát o mnoho více členů neměla.

Nebylo jasné, k čemu by mohl nový objev sloužit, a také chybělo jakékoliv experimentální potvrzení. Astronomové odmítli, že by pozorovali červeno–modré dvojhvězdy, ale aspoň se začali trochu víc zajímat o barevné odstíny světla hvězd. Pokud jde o zvuk, pozorujeme dnes Dopplerův jev pokaždé, když nás míjí houkající projíždějící automobil; výška tónu houkačky v okamžiku míjení poklesne. Tenkrát sice ještě automobily nejezdily, ale začínal prudký rozvoj železniční dopravy. A tak známý holandský fyzik a meteorolog Buys-Ballot se pokoušel ověřit Dopplerův jev pomocí houkajících parních píšťal lokomotiv. Protože ovšem neměl ještě k dispozici přístroje měřící kmitočet zvuku, musel angažovat místo nich hudebníky s absolutním hudebním sluchem schopné rozlišit změnu výšky tónu.

Doppler se uznání svého objevu nedožil. Jeho posledním působištěm byla funkce ředitele Fyzikálního ústavu vídeňské univerzity. V jistém smyslu tak založil tradici později proslavené rakouské fyziky. Svůj objev však marně obhajoval na půdě vídeňské akademie věd a čelil zejména útokům Jozefa Maxmiliána Petzvala, který se jako odborník na teorii diferenciálních rovnic vyjadřoval pohrdavě o Dopplerově „odvození“ vzorce pro změnu kmitočtu, označoval to za „malou fyziku“ a odmítl i existenci jevu samého. Marně se Doppler chabým hlasem bránil a zdůrazňoval,

že není žádná „malá“ a „velká“ fyzika, že fyzika je jen jedna, stejně tak jako příroda. Dopplerovo zdraví se zhoršovalo a po neúspěšném léčení v italských Benátkách tam v roce 1853 umírá. (Na pamětní desce na budově městského soudu v Praze na Karlově náměstí je uveden chybný letopočet 1854.)

Po Dopplerově smrti se Dopplerův jev ale začal ve fyzice a v technice prosazovat. Jeho „kauzy“ se ujal především mladý rakouský fyzik původem z Chrlic u Brna Ernst Mach, který energicky oponoval i samotnému profesoru Petzvalovi. Mach byl do jisté míry kontroverzní postava. Vynikající experimentátor a didaktik, jehož názorné učební pomůcky nacházíme dnes v mnoha školních fyzikálních laboratořích (Machův vlnostroj, Machovo kyvadlo, Machovy sondy a další), teoretik a filozof, který provedl důkladnou kritickou analýzu Newtonovy mechaniky a přišel s představou, že setrvačné síly nejsou důsledkem neinerciálnosti vztažených soustav, ale že mají svůj původ v třeba vzdálených vesmírných tělesech. Proto si také vřdycky říkám, když můj autobus prudce zabrzdí nebo vjede příliš rychle do zatáčky, že za vzniklé síly, které pohazují pasažéry, vlastně nemůže nepozorný řidič, ale působení vzdálených galaxií. Sám Einstein si Macha (i Dopplera) vysoce cenil a vážil si toho, že mu jejich práce poskytly cennou oporu pro formulaci teorie relativity, speciální i obecné. Mach se ale kupodivu od teorie relativity ostře distancoval a zpochybňoval i existenci atomů i objektivně existujícího světa, který považoval pouze za soubor našich vjemů.

Pokud jde o Dopplerův jev, snažil se Mach jeho existenci v laboratorních podmínkách dokázat. Místo dvojhvězd zkonstruoval dvojici píšťal upevněných na obvodu velkého kola a rotujících ve svislé rovině ve směru našeho pozorování. Přibližující se píšťala skutečně zněla vyšším tónem než vzdalující se. Když se dozvěděl o pokusech Buys-Ballotových, posteskl si, že každý nemá k dispozici lokomotivu, a zvolil náhradní, poměrně riskantní variantu. Požádal přítele, aby z určité vzdálenosti vystřeloval provrtané kulky tak, aby prolétaly Machovi těsně nad hlavou a on mohl posoudit, jak se mění výška tónu jejich svistu při přibližování a vzdalování.

Akustický Dopplerův jev tak přesvědčivě potvrdil a otevřela se cesta k jeho mnohočetným uplatněním, zejména v oblasti ultrazvukových vln. O lékařských aplikacích jsme se už zmiňovali. Tyto výzkumy navedly Macha také na zkoumání zvukových vln při pohybu těles nadzvukovou rychlostí v daném prostředí. V souvislosti s tím zkoumal vlastnosti tzv. rázové vlny, která nás vždy zasáhne, překročí-li nadzvukový letoun zvu-



kovou bariéru. Říkáme, že se pohybovala rychlostí jednoho machu. Teprve v 50. letech 20. století se vyjasnilo, může-li člověk vůbec pilotovat nadzvukový letoun a jaký to má vliv na jeho pocity a zdraví. Své pokusy s nadzvukovými pohyby zkoumal Mach na rakouské vojenské střelnici v Pule. Problém byl v tom, že kulky z rakouských pušek rychlostí zvuku nedosahovaly, a tak se Mach musel obrátit na německé zbrojařské závody Krupp v Essenu.

Pohybují-li se nabitě částice, např. elektrony, rychlostí nadsvětelnou v daném prostředí, nastává tzv. Čerenkovův jev obdobný Machovu jevu v akustice. Tento jev má bohaté uplatnění zejména v dozimetrii záření a Čerenkovovo záření můžeme pozorovat, nahlédneme-li do aktivní zóny jaderného reaktoru. (Mach by si asi posteskl, že ne každý má k dispozici reaktor.)

Pokud jde o Dopplerův jev pro elektromagnetické vlny, zlom v nazírání na ně je spojen s francouzským fyzikem jménem Armand Fizeau. Ten je znám především tím, že se mu podařilo změřit rychlost světla v pozemských podmínkách ve vakuu i ve vodě. Ještě za Dopplerova života Fizeau objevil jeho jev nezávisle. (Pojednání Královské české společnosti nauk nebyla v Evropě příliš známa a Francouzi někdy nazývají tento jev Fizeauův–Dopplerův.)

Fizeau ukázal, že pohybuující se nebeská tělesa nemění viditelně svou barvu, ale v jejich spektru dochází k posuvu spektrálních čar k modrému nebo červenému konci. Tento posun spektrálních čar je dobře měřitelný, a tak se podařilo zjistit rychlost rotace Slunce, radiální rychlosti planet, některých hvězd a došlo i na Dopplerovy dvojhvězdy. Chaotický tepelný pohyb vede k dopplerovskému rozšíření spektrální čáry a jejího profilu, a dá se tak zjistit teplota plynů a hvězd. Když potom Zeemanův jev (rozštěpení spektrálních čar v magnetickém poli) umožnil měřit i magnetické pole v okolí slunečních skvrn, stal se spektrometr nedílným společníkem hvězdářského dalekohledu. Dopplerův jev umožnil měřit rychlost vyvřování hmoty při slunečních erupcích a při výbuších supernov, ověřit Keplerovy výpočty rychlosti pohybu planet na jejich dráhách, včetně pohybu Země kolem Slunce.

Nakonec, když Edwin Hubble objevil galaxie a v jejich spektrech byl zjištěn známý červený posuv, podařilo se tento jev interpretovat jako důsledek rozpínání vesmíru po Velkém třesku. Že by vesmír byl skutečně červený? A kdyby pak nedej bože došlo k opětovnému hroucení a smršťování vesmíru směřujícího k Velkému křachu, vesmír by nám zmodral? Kosmogonie a kosmologie se dnes bez Einsteinovy obecné teorie relati-

vity, kvantové fyziky a Dopplerova jevu neobejde. K pochopení vesmíru a jeho vývoje nám dnes možná chybí ještě nějaká další teorie.

Pozemské aplikace Dopplerova jevu jsou nepřeborné. Bez nich by nebylo možné řídit silniční, leteckou ani námořní dopravu, navádět rakety a provozovat kosmonautiku, udržovat sítě spojů. Dopplerův jev se uplatňuje v jaderné a reaktorové fyzice, v mössbauerovské spektroskopii, při studiu antihmoty (anihilace částic) a vlastností záření gama. Pomocí Dopplerova jevu se dnes provádí laserové chlazení atomů. Atomy pohybující se proti svazku laserového záření absorbují fotony s dopplerovsky posunutou frekvencí, a jsou tak brzděny. V průmyslu se dopplerovsky měří rychlost výtoků plynů z trysek, obtékání profilů křídel letadel, rychlosti rotujících strojních součástí a další. Protože makrosvět i mikrosvět jsou v neustálém pohybu a navenek se projevují vyzařováním vln, chová se vlastně celá příroda dopplerovsky.

O tom všem se chudákovi Dopplerovi nemohlo ani zdát i při jeho bezbřehé fantazii. Fyzikální princip, k němuž Doppler dospěl šťastnou intuicí (nikoli pouhou náhodou) a který byl po celá desetiletí přijímán s rozpaky, se stal nakonec jakýmsi svorníkem různých oblastí fyziky a techniky a pro lidstvo skutečným dobrodiním. Dopplerovo odhodlání kráčet ve stopách velikánů vědy a stát se dobrodincem lidstva se mu nakonec splnilo, i když posmrtně. Když jsme v roce 1993 na fakultě uvažovali o založení instituce, která by spojovala odborníky a studenty v oborech matematické fyziky různých pracovišť (katedry fyziky, katedry matematiky, Fyzikálního ústavu Akademie věd, Univerzity v Hradci Králové, případně dalších), zvala zahraniční odborníky k přednáškové činnosti a vědecké spolupráci, organizovala pravidelné semináře a kroužky, mezinárodní kolokvia a konference a poskytovala pomoc talentovaným studentům na počátku jejich aktivní vědecké činnosti, stáli jsme před otázkou, jak tuto instituci pojmenovat. Nakonec jsme se vrátili ke kořenům fyziky na pražské technice a Královské společnosti nauk 19. století a k postavě, která takovou spolupráci tenkrát reprezentovala. Tak vznikl náš Dopplerův institut – DI.

## Literatura

- [1] Štoll, I.: *Christian Doppler. Pegas pod jařmem*. Prometheus, Praha, 2003.
- [2] Štoll, I.: *Dějiny fyziky*. Prometheus, Praha, 2009.
- [3] Eden, A.: *The Search for Christian Doppler*. Springer-Verlag, Berlin, 1992.