

## **Rychlost světla**

---

Michael Faraday, syn yorkshirského kováře, se narodil v jižním Londýně roku 1791. Byl samoukem, který školu opustil ve čtrnácti, aby se stal učněm u knihaře. Zajistit si vstup do světa profesionální vědy se mu poštěstilo poté, co se roku 1811 zúčastnil v Londýně přednášky cornwallského vědce, sira Humphryho Davyho. Poznámky, které si Faraday na přednášce udělal, poslal Davymu. Na vědce udělaly Faradayovy příčinnivé zápisky takový dojem, že jej jmenoval svým vědeckým asistentem. Faraday se posléze stal velikánem vědy devatenáctého století a je všeobecně uznáván za jednoho z největších experimentálních fyziků všech dob. Davy údajně řekl, že Faraday byl jeho největším vědeckým objevem.

Vědci z jednadvacátého století na počátek devatenáctého století rádi hledí závistivýma očima. Aby Faraday dosáhl převratných objevů, nepotřeboval spolupracovat s 10 000 dalšími vědci a techniky v laboratoři CERN ani vypustit na oběžnou dráhu vysoko nad Zemí vesmírný dalekohled velikosti dvoupatrového autobusu. Jeho „CERN“ se mu pohodlně vešel na stůl, a přece Faraday dokázal uskutečnit pozorování, která přímo vedla k odstranění pojmu absolutního času. V průběhu staletí se měřítka vědy nepochybně posunula, a to částečně i kvůli tomu, že ty oblasti přírody, jejichž pozorování nevyžaduje technicky vyspělé přístroje, již byly prostudovány do nejmenších podrobností. Tím nechceme říct, že v dnešní vědě neexistují případy, kdy jednoduché

experimenty dávají důležité výsledky, pouze naznačujeme, že k dalšímu posunutí hranic vědy jako celku jsou obecně zapotřebí složité přístroje. K tomu, aby Faraday předložil první experimentální důkaz, že čas není tím, čím se být zdá, nepotřeboval v Londýně na počátku viktoriánské éry nic exotičtějšího ani nákladnějšího než cívky z drátu, magnety a kompas. Tento důkaz získal tak, že dělal to, co vědci dělají nejraději. Dal dohromady veškerou výbavu související s nově objevenou elektřinou, hrál si s ní a pozorně se díval. Téměř cítíte tu tmavou, fermeží natřenou lavici se skvrnami stínů stočeného drátu mihotajícími se ve světle plynové lampy, protože ačkoli už Davy ohromoval roku 1802 publikum v Královském ústavu předváděním elektrického světla, musel svět ještě dlouho čekat, než Thomas Edison koncem století zdokonalil elektrickou žárovku natolik, že byla použitelná. Počátkem devatenáctého století byla elektřina hranicí poznání ve fyzice i technice.

Faraday přišel na to, že když prostrkujete magnet stočeným drátem a magnet se právě pohybuje, teče drátem elektrický proud. Všiml si také, že pokud pošlete drátem elektrický pulz, současně s pulzem se vychýlí střílka kompasu ležícího opodál. Kompas není nic jiného než detektor magnetismu; když v drátu nepulzuje žádná elektřina, srovná se podle směru zemského magnetického pole a bude mířit k severnímu pólu. Pulz elektřiny musí tudíž vytvářet magnetické pole podobné zemskému, avšak silnější, jelikož pulz pohybující se kolem střílky kompasu ji na krátký okamžik strhne od magnetického severu. Faraday si uvědomil, že pozoruje jakousi hlubokou souvislost mezi magnetismem a elektřinou, dvěma jevy, které se na první pohled zdají být naprosto nezávislé. Co má elektrický proud, který protéká žárovkou, když cvaknete vypínačem na zdi vašeho obývacího pokoje, společného se silou, jež drží magnetická písmenka

na dveřích vaší chladničky? Tato spojitost jistě není zřejmá, a přece Faraday pečlivým pozorováním přírody zjistil, že elektrické proudy vytvářejí magnetická pole a pohybující se magnety vyvolávají elektrické proudy. Tyto dva jednoduché jevy, které dnes známe pod označením elektromagnetická indukce, jsou základem výroby elektřiny ve všech elektrárnách na světě a všech elektrických motorů, které každý den používáme, od kompresoru ve vaší chladničce až po „vysunovací“ mechanismus ve vašem DVD přehrávači. Faradayův příspěvek k rozvoji průmyslového světa je nevyčísitelný.

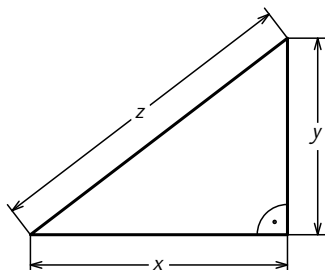
Pokrok základní fyziky však málokdy vychází pouze z pokusů. Faraday chtěl porozumět základnímu mechanismu stojícímu za jeho pozorováním. Jak je možné, ptal se, že magnet, který není s drátem fyzicky spojen, může stejně způsobit, že drátem protéká elektrický proud? A jak může pulz elektrického proudu strhnout střílku kompasu od magnetického severu? Prázdným prostorem mezi magnetem, drátem a kompasem musí procházet jakési působení; smyčka z drátu musí cítit, že skrz ni prochází magnet, a střílka kompasu musí cítit proud. Toto působení je dnes známo jako elektromagnetické pole. Slovo „pole“ jsme již použili v souvislosti s magnetickým polem Země, protože se tento výraz každodenně používá a vy jste si toho pravděpodobně ani nevšimli. Pole jsou ve skutečnosti jedním z abstraktnějších fyzikálních pojmů. Jsou také jedním z pojmů, které nejvíce potřebujeme a které nám nejvíce dají, když se snažíme dospět k hlubšímu poznání. Rovnice, které nejlépe popisují chování miliard subatomárních částic, z nichž se skládá kniha, kterou právě čtete, ruka, kterou si tuto knihu držíte před očima, a vlastně i vaše oči, jsou rovnice pole. Faraday si svá pole představoval jako řadu čar, které nazval čarami toku a které vycházely z magnetů a drátů, jimiž protékal proud. Jestliže jste někdy vložili magnet pod list papíru posypaný železnými pilinami,

viděli jste tyto čáry sami. Jednoduchý příklad běžné veličiny, kterou lze reprezentovat polem, je teplota vzduchu ve vašem pokoji. Poblíž topení bude vzduch teplejší. Poblíž okna bude chladnější. Můžete si představit, že změříte teplotu v každém bodě v místnosti a tento ohromný soubor čísel zapíšete do tabulky. Tato tabulka potom představuje teplotní pole ve vašem pokoji. V případě magnetického pole si můžete představit, že zaznamenáte odklon stříelky kompasu v každém bodě a magnetické pole v místnosti znázorníte tímto způsobem. Pole subatomárních částic je dokonce ještě abstraktnější. Jeho hodnota v nějakém bodě v prostoru vám říká, jaká je šance, že tuto částici v tomto bodě najdete, pokud ji budete hledat. S těmito poli se opět setkáme v 7. kapitole.

Zcela oprávněně byste se mohli ptát, proč bychom se měli namáhat se zaváděním tohoto poněkud abstraktního pojmu pole. Proč nezůstat u věcí, které můžeme změřit: elektrického proudu a odklonu stříelky kompasu? Faradayovi tento nápad přišel lákavý, protože byl v jádru praktický člověk, což je rys, který sdílel s mnoha velkými experimentálními vědci a konstruktéry z doby průmyslové revoluce. Jeho instinkt jej vedl k tomu, aby si vytvořil mechanickou představu o souvislosti mezi pohybujícími se magnety a smyčkami drátu, a pole v jeho mysli překlenuvalo prostor mezi nimi, a vytvářelo tak fyzické propojení, které, jak mu říkaly jeho pokusy, zde muselo být přítomno. Existuje však i hlubší důvod, proč jsou pole nezbytná a vlastně i proč moderní fyzikové vnímají pole jako naprosto stejně reálná jako elektrický proud a odchylky kompasu. Klíč k tomuto hlubšímu pochopení přírody spočívá v práci skotského fyzika Jamese Clerka Maxwella. Roku 1931, u příležitosti stého výročí Maxwellova narození, popsal Einstein Maxwellovu práci v oblasti elektromagnetismu jako „nejhlubší a nejplodnější dílo, které fyzika zažila od dob Newtonových“. Roku 1864, tři roky před Faradayovou

smrtí, se Maxwellovi podařilo sepsat soustavu rovnic, které popisovaly všechny elektrické a magnetické jevy, jež Faraday a mnozí další během první poloviny devatenáctého století bedlivě pozorovali a dokumentovali. (První soustavu analogických rovnic publikoval již v roce 1861, my se však budeme držet druhého data.)

Rovnice jsou nejmocnějším z nástrojů, které mají fyzici k dispozici při své snaze porozumět přírodě. Rovnice také často patří mezi to nejděsivější, s čím se lidé během školních let setkají, a my se domníváme, že dřív, než budeme pokračovat, je nutné říct znepokojenému čtenáři pár slov. Samozřejmě víme, že ne každý má z matematiky tento pocit, a tak čtenáře, kteří si jsou v tomto ohledu jistější, prosíme o trochu trpělivosti a doufáme, že nebudou mít pocit, že jsme příliš blahosklonní. Na nejjednodušší úrovni vám rovnice umožňuje předpovědět výsledky experimentu, aniž byste jej museli skutečně provést. Velice prostým příkladem, který později v této knize budeme používat k dokazování všelijakých neuvěřitelných výsledků o povaze času a prostoru, je slavná Pythagorova věta dávající do souvislosti délky stran pravoúhlého trojúhelníku. Pythagoras tvrdí, že „čtverec přepony je rovný součtu čtverců zbývajících dvou stran“. Matematickými symboly lze Pythagorovu větu zapsat jako  $x^2 + y^2 = z^2$ , kde  $z$  je délka přepony, což je nejdelší strana pravoúhlého trojúhelníku, a  $x$  a  $y$  jsou délky zbývajících dvou stran. Obrázek 1 znázorňuje, oč jde. Symboly  $x$ ,  $y$  a  $z$  chápeme jako znaky zastupující skutečné délky stran a  $x^2$  je matematický zápis  $x$  vynásobeného  $x$ . Například  $3^2 = 9$ ,  $7^2 = 49$  a tak dále. To, že používáme  $x$ ,  $y$  a  $z$ , není nijak důležité; jako znak zastupující délky bychom mohli používat kterýkoli symbol, jak by se nám zachtělo. Možná by Pythagorova věta vypadala přátelštěji, kdybychom ji zapsali jako  $\text{☉}^2 + \text{♠}^2 = \text{☺}^2$ , kde délku přepony představuje smajlík. Zde je



Obr. 1

příklad použití této věty: jestliže jsou dvě kratší strany trojúhelníku dlouhé 3 centimetry (cm) a 4 centimetry, potom nám tato věta říká, že délka přepony se rovná 5 centimetrům, jelikož  $3^2 + 4^2 = 5^2$ . Samozřejmě že tato čísla nemusejí být celá. Změření délek stran trojúhelníku pravítkem je pokus, ač poněkud nezajímavý. Pythagoras nám ušetřil námahu sepsáním své rovnice, která nám umožňuje délku třetí strany trojúhelníku prostě vypočítat, pokud známe zbývající dvě. Klíčové je uvědomit si, že pro fyzika rovnice vyjadřují vztahy mezi „věcmi“ a že jde o způsob, jak formulovat přesná tvrzení o skutečném světě.

Maxwellovy rovnice jsou matematicky poněkud složitější, ale v podstatě odvádějí přesně stejnou práci. Mohou vám například říct, kterým směrem se odkloní strelka kompasu, vyšlete-li drátem pulz elektrického proudu, a to aniž byste se na kompas museli podívat. Na rovnicích je však úžasné to, že dokážou také odhalit hluboké souvislosti mezi veličinami, které nejsou z výsledků pokusů okamžitě zřejmé, a tak mohou vést k mnohem hlubšímu a pronikavějšímu pochopení přírody. Ukazuje se, že pro Maxwellovy rovnice to rozhodně platí. Ústředním bodem Maxwellova matematického popisu elektrických a magnetických jevů jsou abstraktní elektrická a magnetická pole, která si jako první představoval Faraday.