

Nejistoty vědy - Richard Feynman

„Výjimka potvrzuje, že pravidlo neplatí." To je princip vědy. Jestliže existuje nějaká výjimka z pravidla, jestliže tato výjimka může být potvrzena pozorováním, pak pravidlo neplatí.

Tyto výjimky z nějakého zákona jsou neobyčejně zajímavé samy o sobě, protože dokazují, že starý zákon neplatí. Vedou nás přímo k tomu, abychom hledali, jak má ten zákon správně znít, pokud vůbec existuje. Tato výjimka je dále studována spolu s podmínkami, za nichž nastávají podobné jevy. Vědec se snaží nalézt další výjimky, určit, co je pro ně charakteristické, což je proces, který je postupně stále zajímavější. Vědec se nesnaží zatajit, že studovaný zákon neplatí. Pokrok vědy a uspokojení z ní jsou spojeny právě s tímto opačným procesem.

Tento princip, že rozhodující slovo má experiment, klade významná omezení na typ otázek, které může věda zodpovědět. Jsme omezeni na otázky typu: „Když udělám to a to, co se stane?" S příslušnými prostředky to zkusím a uvidím. Otázky jako: „Měl bych to a to udělat?" nebo „Jakou má to a to cenu?" takovými otázkami nejsou.

Ale když něco není vědecké, jestliže to nemůže být ověřeno pozorováním, neznamená to ještě, že to nemá smysl, že je to špatně nebo že je to hloupé. Netvrdím, že věda je tak nějak to správné a ostatní tak správné není. Vědci se prostě zabývají všemi problémy, které je možno pozorováním analyzovat, a vytvářejí tak to, čemu říkáme věda. Existují ovšem i další problémy, pro které tahle metoda nefunguje a kterými se věda nezabývá - což neznamená, že by tyto problémy nebyly důležité. Ve skutečnosti jsou to v mnoha směrech ty nejdůležitější problémy. Když je třeba se rozhodnout, zda učinit nějaký krok, něco udělat, vždycky vyvstanou nějaká „měl bych?" a odpověď nenajdeme v jednoduchém: „Co se stane, když udělám to a to?" Namítnete mi: „No co, zjistíte, co se má stát, a pak rozhodnete, jestli chcete, aby se to stalo, nebo nestalo." Ale tohle je už krok, který vědec udělat nemůže. Vědec může přijít na to, co se stane, ale pak je na každém, aby se rozhodl, jestli se mu to líbí, nebo ne.

Z principu, že pozorování je rozhodující, plyne ve vědě řada technických důsledků. Tak například musí být pozorování dostatečně přesné. Člověk musí být velice opatrný. Změna barvy nemusí být způsobena tím, čím jste se domnívali, ale třeba jen nečistotou v aparatuře. Každé pozorování musíte velice pečlivě znovu a znovu prověřovat, abyste si mohli být jisti, že víte o všech podmínkách, za nichž měření probíhá, a že jste správně interpretovali, co jste naměřili.

Je zajímavé, že tahle důkladnost, která je ve vědě ctností, je často špatně pochopena. Když někdo řekne, že něco bylo provedeno vědecky, často tím myslí, že to bylo uděláno důkladně. Slyšel jsem, jak lidé mluví o „vědeckém" vyhlazování Židů za druhé světové války v Německu. Na tom přece nic vědeckého nebylo. Bylo jen důkladné. Tam nešlo o žádné pozorování a jeho vyhodnocení s cílem něco zjistit. V tomhle smyslu docházelo k „vědeckému" vyhlazování lidí už za starého Říma a v jiných obdobích, kdy věda nebyla tak rozvinutá jako dnes a pozorování se žádná velká pozornost nevěnovala. V takovýchto případech by se lidé měli držet termínu „důkladný" a označení „vědecký" by používat neměli.

S pozorováními je spojena řada speciálních technik a velká část takzvané filozofie vědy se zabývá analýzou těchto technik. Příkladem může být interpretace výsledku. Abych to hodně zjednodušil, uvedu známou anekdotu o muži, který si příteli stěžuje najeden záhadný jev. Na jeho farmě žerou bílí koně víc než černí. Dělá si kvůli tomu starosti a nemůže to pochopit, až jeho přítel nadhodí, že má možná víc bílých koní než černých.

Zní to směšně, ale podobně jednoduché chyby se často objevují při úsudcích nejrůznějšího druhu. Vědecké uvažování vyžaduje jistou metodiku, kterou bychom se měli snažit vyučovat, protože dneska jsou i na té nejnižší úrovni takovéto chyby zbytečné.

Další důležitou vlastností vědy je její objektivita. Na výsledky měření je třeba se dívat nezaujatě, přestože se vám, jako experimentátorovi, některé výsledky líbí víc než jiné. Opakujete měření a vzhledem k různým nepředvídaným okolnostem, jako je třeba smítko

prachu v aparatuře, jsou výsledky pokaždé trochu jiné. Prostě nekontrolujete všechny podmínky, jak je třeba. Určité výsledky se vám zamlouvají, takže když zrovna vyjdou, řeknete si: „Aha, vychází to.“ Ale při příštím měření to vyjde jinak. Možná že to smítko prachu bylo právě v tom prvním případě, jenomže vy tu možnost ignorujete.

Tyhle věci se zdají samozřejmé, jenomže se jim při řešení problémů ve vědě - nebo problémů na okraji vědy - nevěnuje dost pozornosti. Tak například může do jisté míry záležet na tom, jakým způsobem analyzujete, proč burza šla nahoru nebo dolů, protože prezident něco řekl nebo neřekl.

Dalším důležitým technickým aspektem je skutečnost, že zákon je tím zajímavější, čím je konkrétnější. Čím je konkrétnější, tím zajímavější je ho testovat. Kdyby někdo navrhl, že planety se pohybují, protože všechny mají jistou tendenci se hýbat, protože mají schopnost samovolného pohybu - řekněme tomu, že mají „páru“ - mohl by tím také vysvětlit celou řadu jevů. Takže to vypadá jako dobrá teorie - nebo ne? Nevypadá. Není ani zdaleka tak dobrá jako představa, že planety se pohybují kolem Slunce pod vlivem centrální síly, která se mění nepřímo úměrně se čtvercem vzdálenosti od centra síly. Tato druhá teorie je lepší, protože je mnohem konkrétnější. Zjevně je velice nepravděpodobné, že by její tvrzení bylo založeno na náhodě. Je tak konkrétní, že sebemenší odchylka v pohybu by prokázala, že je špatná. Kdyby se ale planety kymácely, jak by je napadlo, pak byste mohli podle té první teorie říct: „To je tím, že ta jejich ‚pára‘ má takové pitoreskní vlastnosti.“

Takže čím je zákon detailnější, tím je jeho tvrzení silnější. Tím pravděpodobnější je, že z něho budou výjimky, a tím je ten zákon zajímavější a stojí za tu námahu ho prověřovat.

Slova mohou být bezobsažná. Jsou-li slova použita takovým způsobem, že z nich neplynou žádné jasné důsledky - jako v mém příkladě slovo „pára“ - pak jejich tvrzení jsou téměř bezobsažná; tvrzením, že věci mají schopnost samovolného pohybu, můžete vysvětlit téměř cokoli. Tomuhle věnovali velkou pozornost filozofové, kteří tvrdí, že význam slov musí být definován neobyčejně přesně. Po pravdě řečeno, já s tím do jisté míry nesouhlasím. Myslím si, že vyžadovat extrémně přesnou definici nemá často cenu a občas to ani není možné — tedy vlastně většinou to není možné. Ale nechci to zde podrobněji rozebírat.

Většina toho, co filozofové o vědě říkají, se týká pouze technických aspektů, které mají zaručit, že nedojde k metodickým chybám. Jestli jsou tyto technické aspekty důležité i v oborech, kde pozorování nehraje klíčovou roli, to nemám ponětí. Nehodlám tvrdit, že i v oborech, kde se používají jiné metody testování, než je pozorování, se musí postupovat stejným způsobem. V jiných oborech možná není tak důležité mít přesně definované pojmy, vyžadovat, aby zákonitosti dávaly co nejdetailnější výpovědi a podobně. To prostě nevím.

O jedné velice důležité věci jsem se zatím nezmínil. Řekl jsem, že pozorování rozhoduje o pravdivosti nějaké nové myšlenky. Ale kde se ta nová myšlenka vezme? Rychlý rozvoj vědy a její pokrok si žádají, aby lidské bytosti objevovaly, co je třeba testovat.

Ve středověku se věřilo, že prostě stačí udělat hodně měření a příslušné zákony ze všech těch výsledků pak už samy vyplynou. Jenomže takhle to nefunguje. Objevit něco nového vyžaduje mnohem víc představivosti než tohle. Takže další věc, o níž se musíme zmínit, je otázka, odkud se nové nápady berou. Vlastně je celkem jedno, odkud se berou, jen když tu jsou. Naše metoda ověřování, jestli je nápad dobrý nebo špatný, nemá nic společného s tím, odkud se ten nápad vzal. Prostě ho prověříme příslušným experimentem. Takže ve vědě nás nezajímá, odkud se něco nového vzalo.

Také neexistuje žádná autorita, která by rozhodovala, co je, a co není dobrý nápad. Nepotřebujeme už chodit za nějakou autoritou, abychom zjistili, jestli je něco pravda, nebo ne. Můžeme autoritu vyslechnout a nechat ji, ať se k tomu vyjádří. Pak to ověříme a zjistíme, jestli měla pravdu, nebo ne. Jestli ne, tím hůř pro ni - pak „autorita“ ztratí něco ze své „authority“.

Vztahy mezi vědci byly zprvu plné hádek a třenic, tak jako mezi většinou lidí. Tak tomu například kdysi bylo ve fyzice. Ale dnes jsou vztahy mezi fyziky mimořádně dobré. Vědecké

diskuse většinou zahrnují i spoustu žertování a nejistoty na obou stranách, přičemž obě strany společně přemýšlejí o experimentu, který by spor rozhodl, a sázejí se, jak to dopadne. Ve fyzice se postupem času nashromáždilo tolik měření, že je téměř nemožné vymyslet něco nového, co by se odlišovalo od všech představ, které už byly vytvořeny, a přitom to bylo ve shodě se všemi měřeními, která už byla provedena. Takže když někdo přijde s něčím novým, jste rádi, a nehádáte se s ním, proč tvrdí, že to a to je tak a tak.

Mnohé vědní obory se nedostaly takhle daleko a vypadá to v nich tak, jako ve fyzice v době jejich počátků, kdy neexistovalo dost měření a fyzici se mezi sebou hádali. Mluvím o tom, protože je zajímavé, že když existuje nezávislá možnost jak ověřit pravdu, mohou být vztahy mezi lidmi prostě hádek.

Spoustu lidí překvapuje, že když někdo přijde s něčím novým, nezajímáme se o jeho původ nebo o to, co tím sleduje. Prostě ho vyslechnete, a když to vypadá, že ten nápad stojí za ověření, že ho ověřit lze, že to je něco nového a není to v rozporu s něčím, co už pozorováno bylo, pak to je prima a stojí to za další úsilí. Nemusíte začít přemýšlet, kolik let dotyčný studoval a proč přišel právě za vámi. V tomto smyslu nezáleží na tom, odkud se ten nápad vzal. Přesně vzato to zůstává neznámo - vděčíme za něj totiž vlastnosti lidského mozku, které říkáme představivost, kreativita -je dobře známá, je to prostě jedna ze záhad přírody.

Je překvapující, že spousta lidí nevěří, že k vědecké práci je třeba představivosti. Představivost ve vědě je odlišná od té, kterou mají umělci, a je velice pozoruhodná. Nejobtížnější je, že si musíte představit něco, co ještě nikdo neviděl, přitom to je v detailním souhlasu s tím, co už pozorováno bylo, a zároveň je to odlišné od toho, co už vymysleli jiní. Navíc ta představa nesmí být jenom vágní, ale musí být zcela konkrétní. Splnit tohle vseje opravdu obtížné.

Mimochodem, je tak trochu zázrak, že vůbec existují zákonitosti, které můžeme ověřovat. Ze je možné najít zákon - jako je třeba ubývání gravitační síly se čtvercem vzdálenosti -, to je svým způsobem zázrak. Proč to tak je, nevíme, ale umožňuje to předpovídat -to jest, umožňuje to říct, co se stane v experimentu, který jste ještě neuskutečnili.

Je zajímavé a naprosto nezbytné, aby různé zákony v různých oblastech vědy byly vzájemně konzistentní. Jelikož všechny zákony jsou ověřeny pozorováními, nemůže jeden zákon předpovědět jeden výsledek, a druhý zákon jiný. Z toho plyne, že věda je naprosto univerzální. Mluvil jsem o atomech ve fyziologii. Mluvil jsem o atomech v astronomii, elektřině a chemii. Jsou to tytéž atomy. Jejich vlastnosti musí být vzájemně konzistentní. Nemůžete prostě přijít s něčím novým, co se z atomů složit nedá.

Je zajímavé, že jak přemýšlíme o nalezených zákonitostech, počet zákonů - alespoň ve fyzice - se zmenšuje. Uvedl jsem ten nádherný příklad redukce zákonů chemie a elektřiny do jediného zákona, ale takových příkladů je mnoho.

Zdá se, že přírodní zákony mají matematickou podobu. To není důsledkem toho, že kritériem pravdivosti je měření, a ani z ničeho jiného neplyne, že by to tak muselo být. Prostě se ukazuje, že - aspoň ve fyzice -můžete vyslovit matematické zákony, které přírodu popisují a umožňují závažné předpovědi. Proč lze přírodní zákony vtělit do matematického tvaru, je záhada.

Teď se dostáváme k jedné důležité věci. Staré zákony nemusí platit. Jak je možné, že pozorování bylo nepřesné? Jestliže bylo pečlivě prověřeno, jak by mohlo být nesprávné? Proč musí fyzici zákony pořád měnit? Odpověď zní: za první, zákony nejsou totéž co pozorování, za druhé, všechny experimenty jsou vždycky nepřesné. Zákony jsou pravidla, která uhodneme, jsou to jen extrapolace, není to nic, co z měření nutně vyplývá. Jsou to uhodnuté závislosti, které až dosud prošly sítím pozorování. A později se prostě ukáže, že nová síta mají menší otvory než ta, která byla používána dosud, takže tentokrát zákon neprojde. Zákony tedy jenom hádáme, jsou to extrapolace do neznáma. Nevíte, jak to všechno je, tak prostě hádáte.

Tak například se věřilo - či bylo zjištěno - že pohyb neovlivňuje váhu — to jest, jestliže roztočíte setrvačnick a zvážíte ho, a pak ho zvážíte potom, co se zastavil, bude vážit stejně. To je výsledek měření. Jenomže člověk nedokáže cokoliv zvážit na nekonečně mnoho desetinných míst, ani třeba na jednu miliardtinu. A my dneska víme, že rotující setrvačnick váží víc než setrvačnick v klidu - rozdíl je o něco větší než jedna miliardtina. Kdyby se setrvačnick točil tak rychle, že rychlost jeho okraje by se blížila rychlosti světla - 300 000 kilometrů za sekundu - jeho váha by vzrostla podstatně - ale až při této rychlosti. Prvé experimenty byly konány se setrvačnick, jejichž obvodová rychlost byla mnohem nižší než je 300 000 kilometrů za sekundu. Proto se zdálo, že hmotnosti rotujícího setrvačnicku i setrvačnicku v klidu jsou přesně stejné, takže někdo odhadl, že hmotnost se nemění nikdy.

Jak bláhové! Takový hlupák! Byl to jenom odhad, byla to extrapolace. Proč si někdo počínal tak nevědecky? Nebylo na tom nic nevědeckého. Jenom to nebylo stoprocentně jisté. Nevědecké by bylo, kdyby se ta extrapolace neprovedla. Protože extrapolace je to jediné, co má doopravdy cenu. Cenu má jenom představa o tom, co praví váš princip, že se stane v situaci, kterou jste ještě nevyzkoušeli. Jestliže mi můžete říct pouze to, co se stalo včera, nemá ta informace velkou cenu. Musíte dokázat předpovědět, co se stane zítra, když uděláte to a to. To je nejenom nutné, ale pak je to i zajímavé - chce to jenom odvalu riskovat tím tvrzením svou vědeckou pověst.

Každý zákon ve vědě, každý princip, každé tvrzení založené na měřeních je jisté shrnutí, jež nechává podrobnosti stranou, protože nic nemůže být vysloveno absolutně přesně. Ten člověk prostě na něco zapomněl — měl ten zákon formulovat takto: „Hmotnost věci se nemění, pokud její rychlost není *příliš vysoká*.“ Je třeba vyslovit jasné pravidlo a pak zkusit, jestli projde sítím. Takže to pravidlo znělo, že hmotnost se prostě nikdy nemění. Pozoruhodná možnost. Ukázalo se sice, že to není pravda, ale to nevadí. Nebylo to nic jistého a není nic špatného na tom, když si člověk není jistý. Je lépe říct něco a nebyť si tím jistý, než neříct nic.

Pravda je, že nic, co ve vědě tvrdíme, žádné naše dedukce nejsou naprosto jisté, protože to jsou jenom dedukce. Tak tomu musí být. Jsou to naše odhady, co se stane, a člověk nemůže vědět jistě, co se stane, protože žádný experiment není naprosto dokonalý.

Je pozoruhodné, že rychlost setrvačnicku má jen tak malý vliv na jeho hmotnost. Člověk by si mohl říct: „No jo, vždyť je to vlastně jedno.“ Ale přeformulovat ten zákon tak, aby byl správně, nebo alespoň tak, aby prošel dalšími a dalšími sítími odpovídajícími dalším a dalším měřeními, to vyžaduje úžasnou inteligenci a představitivost a naprostý převrat naší filozofie, našeho pojetí času a prostoru. Mluvím tu o teorii relativity. Ukazuje se, že když se objeví takovýhle nepatrný efekt, vždycky to vede k těm nejpřevratnějším změnám našich představ.

Vědci jsou proto zvyklí střídat se s pochybnostmi a nejistotami. Nic z vědeckého poznání není absolutně jisté. Takle zkušenost s nejistotami a pochybnostmi je důležitá. Osobně věřím, že je úžasně důležitá a že má platnost i mimo vědu. Myslím si, že když máte vyřešit jakýkoliv problém, který dosud nebyl vyřešen, musíte si nechat pootevřená vrátka pro neznámo. Musíte připustit možnost, že vaše řešení není naprosto správné. Jinak, když k řešení přistoupíte předpojatě, možná ten problém nikdy nevyřešíte.

Když vám vědec řekne, že na vaši otázku odpověď nezná, prostě o vašem problému nic neví. Když řekne, že má jakousi představu o tom, jak se věci mají, nemá v té věci jistotu. Když si je docela jistý tím, jak se věci mají, a řekne vám: „Vsadím se, že se stane to a to!“, stejně to není jisté. A chceme-li ve vědě jít kupředu, je naprosto nezbytné, abychom si uvědomovali tuto nevědomost a nejistotu. Právě proto, že v nás hlodají pochybnosti, díváme se novými směry po nových nápadech. Tempo vědeckého pokroku není dáno tempem, s nímž se provádějí měření - mnohem důležitější tempo je to, jakým přicházíme s novými nápady k ověření.

Kdybychom nedokázali nebo neměli zájem vydávat se novým směrem, kdybychom netrpěli pochybnostmi nebo si neuvědomovali svoji nevědomost, neměli bychom žádné nové nápady. Věděli bychom, co je pravda, a neexistovalo by nic, co by nám stálo za to prověřovat. Takže to, co nazýváme dnešním vědeckým poznáním, je suma tvrzení, kterou známe s větší či menší jistotou. Některá z tvrzení jsou velice nejistá. Některá jsou skoro určitě správná. Ale žádná z nich nejsou naprosto jistá. Vědci jsou na to zvyklí. Víme, že život jde ruku v ruce s nevědomostí. Jsou lidé, co nám říkají: „Jak můžete žít, aniž byste měli jistotu?" Nevím, co tím chtějí říct. Vždycky jsem žil s vědomím, že jistotu nemám. Je to snadné. Chtěl bych vědět, jak dokázat, aby člověk něco věděl jistě.

Právo pochybovat je důležité nejen pro vědu, ale řekl bych, že i pro jiné oblasti. Je to právo získané v boji. V boji za to, aby člověk směl pochybovat, aby si nemusel být jistý. Chci, abychom nezapomněli na význam tohoto boje a nedopustili, aby toto právo bylo zapomenuto. Cítím svou zodpovědnost v této věci jako vědec, jenž si je vědom hodnot této úspěšné filozofie nevědomosti. Jako vědec, jenž si je vědom pokroku, který tato filozofie umožnila, pokroku, který je plodem této svobody myšlení. Cítím povinnost hlásat význam této svobody a učit, že pochybností se netřeba bát, naopak, že je máme vítat jako možnost dalšího rozvoje lidstva. Jestliže víte, že si něčím nejste jisti, máte možnost to zlepšit. Chci apelovat na to, aby tato svoboda byla zachována i pro příští generace.

Pochybnosti jsou zjevně cenné ve vědě. Otázkou zůstává, jestli je to stejné i v jiných oblastech. V dalších přednáškách bych se chtěl právě touto otázkou zabývat a pokusím se ukázat, že pochybovat je důležité a že pochybnost není nic, čeho se třeba bát, ba naopak, že to je cosi neobyčejně cenného.