

Černý, Michal

Paradoxy (nejen v přírodních vědách) jako cesta poznání

ProInflow. 2014, vol. 6, iss. 2, pp. 16-24

ISSN 1804-2406

Stable URL (handle): <https://hdl.handle.net/11222.digilib/133808>

Access Date: 28. 11. 2024

Version: 20220831

Terms of use: Digital Library of the Faculty of Arts, Masaryk University provides access to digitized documents strictly for personal use, unless otherwise specified.

Paradoxy (nejen v přírodních vědách) jako cesta k poznání

Paradoxes (Not only in Natural Sciences) as a Path to Knowledge

Michal Černý

Kabinet informačních studií a knihovnictví, Filozofická fakulta, Masarykova univerzita v Brně

Recenzenti:

Mgr. Lukáš Richterek, Ph.D.

RNDr. Blažena Švandová, PhD.

Abstrakt:

Článek se věnuje problematice paradoxů z hlediska jejich přínosnosti pro poznání či výpovědi o světě. Zvláštní důraz je přitom kladen na paradoxy matematické a fyzikální, které se ukazují být dobrým katalyzátorem změn myšlenkového paradigmatu. Paradox tak není něčím skutečně nesmyslným, ale ukazuje cestu k poznání, vede k novým přístupům k řešení vybraného problému.

Klíčová slova: *informace, paradox, věda, EPR, fyzika, Bertrand Russell, Kurt Gödel.*

Abstract:

This paper discusses the paradox in terms of their value added to the knowledge and testimony of the world. Special attention is placed on the physical and mathematical paradoxes that show be a good motivator change the paradigm of thinking. Paradox is not something really absurd, but it shows the path to knowledge, leading to new approaches to solving the problem.

Klíčová slova: *information paradox, science, EPR, physics, Bertrand Russell, Kurt Gödel.*

Samo slovo paradox je pro přírodovědecky smýšlejícího člověka něčím velmi podivným. Pokud věříme v konzistenci vědeckých teorií, pak může být paradox jen něčím zdánlivým – špatně položenou otázkou nebo upozorněním na to, že ne vše v našich teoriích je opravdu dobře uspořádáno. Představuje paradox problém, se kterým je třeba se vypořádat.

Jazykově pochází z řečtiny – *paradoxos* znamená neočekávaný, překvapivý, mimo běžné poznání stojící. Tak většinou paradox také chápeme, tedy jako jev, který nezapadá do kontextu naší běžné životní zkušenosti. Jako synonymum se až do novověku používalo také antinomie (opět z řeckého *antinomos*),¹ což bychom mohli přeložit jako proti zvyku či zákonu stojící. Opět je tu základní jazyková konstrukce, která nás vede k myšlence, že by mělo být možné paradox odstranit.

Paradox jako něco, co představuje rozpor v systému poznání, je fenomén relativně starý. Mezi nejstarší patří Zenonovy aporie o želvě a o letícím šípu² nebo paradox lháře. Přesto lze říci, že obrat k paradoxu jako ke zdroji poznání nastává až začátkem dvacátého století díky osobnosti Bertranda Russella, který se snažil vytvořit systém matematiky založený na několika málo axiomech využívajících teorii množin.³ A právě s nimi se pojily zajímavé problémy, které s paradoxy souvisí.

Právě v tomto období přestal být vnímán jako defekt vědomí, neznalost nebo neschopnost popsat daný jev správně, ale stal se nástrojem, který umožňoval hlubší poznání. S axiomatizací matematiky souvisel také filosofický obrat k jazyku. Rychle se ukázalo, že řada paradoxů může být pomocí jazyka vysvětlena a pochopena.

V následujících řádcích se pokusíme ukázat některé zajímavé paradoxy, které přispěly k hlubšímu poznání světa, a ukázat tak, že jde skutečně o nástroj mimořádně zajímavý a účinný. Dříve než k tomuto popisu přistoupíme, pokusíme se stručně naznačit některé základní aspekty paradoxů v obecnější rovině.

Co je paradox?

Najít uspokojivou odpověď na to, co je to paradox, není vůbec jednoduché. Podle Klause Heusingera musí být pro existenci paradoxu splněny tři vlastnosti:⁴

- Musí obsahovat negaci – tato vlastnost je společná paradoxům stejně jako obyčejným kontradikcím v logice.
- Jsou sebevztahné – odkazují samy na sebe, vypovídají o vlastnosti, kterou má (nebo nemá) daný výrok.
- Jsou cyklické – po konečném množství kroků se lze dostat opět k počátečnímu bodu.

To můžeme shrnout do tvrzení, že paradox je podle něj spor vyvolaný implicitní sebevztahnou kontradikcí. Je ale třeba rozlišovat paradoxy také v rovině nutné a nahodilé. Zatímco v oblasti nutných jsou paradoxy nesmyslné – aby součet úhlů v trojúhelníku v eukleidovském prostoru byl jiný než 180° nebo aby existoval kulatý čtverec, v oblasti jsou paradoxy existovat mohou a skutečně existují. Možnost ale ještě neimplikuje nutnost.

Na tomto místě je zřejmě užitečné učinit další klasifikaci paradoxů, které se vztahují k výrokům běžného jazyka. Grellingův paradox si všimá přídavných jmen, která odkazují k sobě samým, a to nepravdivě – ty označuje jako heterologická. Zatímco přídavný je přídavné jméno, české je české slovo, tak například německé není německé slovo, jednoslabičné není jednoslabičné, dlouhé není dlouhé.⁵ Jazyk sám v sobě obsahuje takových paradoxů nesmírné množství.

Epimenidův paradox je známý také jako paradox lháře. Odkazuje na Kréťana, který tvrdil, že všichni Kréťané lžou.⁶ Pokud je to pravda, tak také on lže, ale to znamená, že všichni Kréťané

¹ ŠVANDOVÁ, Blažena. Cesty paradoxu. Str. 33.

² Podrobněji o nich pojednává kniha SALMON, Wesley C. (ed.). *Zeno&s paradoxes*.

³ Srov. WHITEHEAD, Alfred North; RUSSELL, Bertrand. *Principia Mathematica*. Str. 4–36.

⁴ ŠVANDOVÁ, Blažena. Cesty paradoxu. Str. 49.

⁵ RACLAVSKÝ, Jiří. Řešení Grellingova heterologického paradoxu. Str. 134-148.

⁶ Viz List apoštola Pavla Titovi (Tit. 1,12).

mluví pravdu, což ale není pravda. Pokud to není pravda, pak všichni obyvatelé Kréty mluví pravdu, ale Epimenidés lže, ale je sám Kréťan. Lhářský paradox je vůbec možná nejslavnějším. Existuje také v podobě banální věty: „Lžu.“

Velice podobný je také paradox spojený s venkovským holičem: Holič holí ve vesnici každého, kdo se neholí sám. Holí se ale sám? Tyto (a podobné) paradoxy se podařilo rozřešit pomocí teorie tříd, které jednotlivé výroky řadí do uspořádaných struktur.

Na tyto jazykové paradoxy zcela přirozeně navazují paradoxy matematické. Nejjednodušší jsou ty, které jsou pouze zdánlivé. Uvažme například následující situaci. $X=1$. Pokud obě strany rovnice vynásobíme X , získáme $X^2=X$, po odečtení jedničky na obou stranách: $X^2-1=X-1$. Podělíme $X-1$ a pro $X=1$ získáme, že $X=2$, tedy $1=2$. Problém je v tom, že $X-1$ je nula, kterou nelze dělit. Nejde tak o skutečný paradox.⁷

Na holičův paradox navázal Russell, který jej formalizoval: uvažujme množinu S definovanou tak, že jejími členy jsou všechny množiny, které nejsou svým vlastním prvkem, tedy formálně $S = \{X | X \notin X\}$.⁸ Je ale S také prvkem této množiny? Řešením bylo to, že množiny mohou obsahovat pouze objekty nižšího typu, čímž se tento spor řeší, ovšem zcela neintuitivně.⁹

Další paradox je označován jako paradox sta slov¹⁰ a je spojen opět se jménem Russella, který jej však přisoudil Berrymu. Česká abeceda má konečný počet písmen. Uvažujme všechna slova, která mají délku menší než sto písmen a jsou smysluplná. Těch je tak opět konečný počet. Stejně konečný musí být také počet vět kratších než sto slov. Výpočet horní hranice počtu takových vět je jednoduchý kombinatorický problém, ve skutečnosti je jich však mnohem méně. Z těchto vět vybereme ty, které definují jednoznačně nějaké přirozené číslo – „tři plus tři“, „druhá odmocnina z šestnácti“ ... Je zřejmé, že přirozených čísel musí být více než těchto vět, protože je jich nekonečně mnoho. V systému dovolených vět je ovšem také věta „Nejmenší přirozené číslo, které není možné definovat pomocí věty o méně než sto slovech, z nichž každé má méně než sto písmen české abecedy.“ Také tato věta jednoznačně identifikuje přirozené číslo.

Řešení tohoto paradoxu je založeno na podobném principu jako v případě paradoxu předchozího. Budeme odlišovat dvě třídy jazyka – přirozený a ten, kterým se vyjadřujeme o konkrétních objektech. Je možné pomocí přirozeného jazyka popisovat tento jazyk speciální, ale není možné tak činit naopak. Opět pomocí segregace čili tvoření tříd s podřazenými a nadřazenými skupinami dochází k řešení paradoxu.¹¹

Na tomto místě je třeba zdůraznit, že fyzikální paradoxy, které se pokusíme níže představit, jsou charakteru jen částečně podobného. Ukazují existenci rozporu mezi ustálenou teorií a úvahou, která z nich vychází, a přitom se jeví jako nesmyslná nebo alespoň silně překvapivá. Ukazuje se, že právě existence těchto paradoxů pomohla formovat myšlenky přesněji, lépe nebo stála za hlubším pochopením zákonů našeho světa.

Stejně jako v případě matematických paradoxů, které jsou spojené s Russellem, často ve fyzice dochází k tomu, že pro jejich vysvětlení musíme přijít s teorií obecnější, hlubší nebo jinak abstraktnější, která umožní nově klasifikovat jevy a vysvětlit je v rámci širší teorie.

Volný pád a Galileo Galilei

Galileo Galilei studoval padající tělesa. Podle tehdejších představ závisela rychlost volného pádu na hmotnosti tělesa. Galilei ale provedl následující myšlenkový experiment – mějme kamennou kouli, kterou rozdělíme na dvě stejné části. Podle tehdejších představ by měly padat různou rychlostí, i když je přiložíme velice těsně k sobě. Co se stane, když bychom obě koule spojili tenkým volným provázkem? Podle čeho může „tíže poznat“, že jde o dva objekty, a ne jen o jeden?

⁷ ŠVANDOVÁ, Blažena. Cesty paradoxu. Str. 17.

⁸ COFFA, J. Alberto. The humble origins of Russell's paradox. Str. 31-35.

⁹ Tento paradox je spojený s otázkou existence největšího kardinálního a největšího ordinálního čísla.

¹⁰ CHAITIN, Gregory J. The berry paradox. Str. 26-29.

¹¹ Tamtéž.

Na základě těchto úvah dospěl Galileo Galilei k názoru, že všechna tělesa musí padat stejně rychle, bez ohledu na svoji hmotnost. Dnes můžeme konstatovat, že tento princip platí pouze ve vakuu, protože v běžném prostředí působí na padající objekty ještě odporová síla, která pohyb zpomaluje a závisí na tvaru tělesa. Šlo ale nepochybně o krok, který umožnil začít budovat moderní mechaniku, a o jeden z nejdůležitějších poznatků italského učenice (za podobně významné by bylo možné považovat princip relativity – který sám o sobě může působit také paradoxně – a kinematický popis pohybu).

Paradox Richarda Bentleyho

Již v době, kdy Newton představil své Principie, bylo zřejmé, že pojetí gravitace jako jediné přitažlivé síly ve vesmíru s sebou může přinášet řadu problémů, na které upozornil Richard Bentley, který představil následující úvahu.

Vesmír je podle Newtona konečný a jedinou interagující silou je přitažlivá gravitační – pak nutně musí dojít k tomu, že dříve nebo později se všechna hmota spojí v jeden celek. Budeme svědky stále rychleji se smršťující hmoty, která nakonec vytvoří jednu velkou ohnivou kouli.¹² Pokud je vesmír nekonečný, pak síla působící na každou z hvězd je v každém směru nekonečná a hvězdy budou rozervány na kusy.¹³

Sám Newton na tuto námitku odpověď našel, i když je otázkou, do jaké míry uspokojivou. Jedinou možností, jak udržet vesmír v podobě, v jaké ho známe, je homogenní nekonečný vesmír. Na hvězdu pak působí ze všech stran stejně velké síly, opačně orientované, a jejich výsledný součet je přibližně nulový. Newton tak použil kosmologický princip homogenity vesmíru ve velkém měřítku. Síly přitom nemusí být nutně nekonečné, protože s druhou mocninou vzdálenosti klesají.

Současné vysvětlení spočívá v představě, že se vesmír rozpíná, což dokazují také četná měření. Rozpínání spolu s přitažlivou interakcí zajistí, že se všechna tělesa vesmíru nezhroutí do jediného centra. Ve dvacátém století dochází také k rozvoji newtonovská kosmologie, která tento paradox dokáže za pomoci roztažnosti vesmíru rovněž vysvětlit. Uvažujme vesmírné těleso a určitý další referenční bod – sestrojíme vhodnou plochu, pomocí které budeme moci vyšetřovat působící síly. Mějme tedy kouli o poloměru vzdálenosti mezi tělesem a bodem se středem v něm. Vnější síly na těleso nepůsobí.¹⁴ Jediné síly, které na těleso působí, jsou vnitřní. Pakliže má zůstat těleso s tímto bodem v rovnováze, musí docházet k rozpínání vesmíru.

Prostá existence gravitační síly tak vedla k paradoxu hroučícího se vesmíru, který ale nepozorujeme. Newton díky ní přijal kosmologický princip, který byl později doplněn myšlenkou rozpínajícího se vesmíru.

Olbersův paradox

Již Johannes Kepler si uvědomil, že v homogenním a nekonečném vesmíru bychom spatřili světlo přicházející z nekonečného počtu hvězd, ať už bychom pohlédli kterýmkoli směrem.¹⁵ Situace je na první pohled podobná jako v hustém lese – ať se podíváme jakýmkoli směrem, vidíme stromy.

Pokud budeme předpokládat nekonečný vesmír s nekonečným množstvím hvězd, musí být v každém směru dostatečné množství hvězd na to, aby hvězdnou oblohu zcela vyplnilo (pokud je tedy vesmír homogenní, což předpokládalo řešení Bentleyho paradoxu a potvrdila také pozorování). Noční obloha by tudíž měla žhnout jako výheň – měla by být bílá. Tento

¹² Představa hvězdy jako ohnivé koule je v souladu s Newtonovým přesvědčením vyjádřeným v Optics.

¹³ This Month in Physics History – Einstein's Biggest Blunder. EDITOR: ALAN CHODOS.

¹⁴ Respektive jejich výslednice je díky homogenitě a izotropii vesmíru nulová.

¹⁵ HOUSER, Pavel. Proč celá noční obloha nezáří?

problém systematicky formuloval a diskutoval o něm s německým astronomem Heinrichem Wilhelmem Olbersem v roce 1823.¹⁶

Vysvětlení tohoto paradoxu černé oblohy se postupně nabízelo hned několik. Jako nejjednodušší se nabízela teorie s absorbujícími mračny. Obloha je temná, protože ve vesmíru existují shluky plynů, prachu a dalších částic, které zabraňují průchodu takového záření. Ve skutečnosti se ale nejednalo o uspokojivou odpověď – takové mračno by mělo v případě absorpce vyzařovat také, takže na obloze bychom zřejmě neviděli nějakou hustou síť zářivých bodů, ale spíše svítící kontinuum. To ale nemusí být úplně pravda – část energie se může použít například na tepelný pohyb nebo vznik či zánik chemických vazeb a vyzařováno může být záření o nižší energii, které bylo v této době nedetekovatelné.¹⁷

Edgar Allan Poe ve svém díle Eureka říká, že to musí být z důvodu toho, že k nám světlo z nich nestihlo dorazit. To skutečně je v souladu se základním postulátem teorie relativity. Světlo se může šířit konečnou rychlostí $c = 299\,792\,458\text{ ms}^{-1}$. Vesmír není nekonečně starý a má přibližně 13,7 miliard let. Z toho je zřejmé, že světlo z nekonečných oblastí k nám doletět nestihne. Jestliže dnes můžeme pomocí teleskopů pozorovat velice rané hvězdy, je to důkaz nikoli existence podobných objektů nesmírně daleko od nás, ale spíše výpověď záření o tom, jak tyto objekty vypadaly před miliardami let.

Při velkém třesku byl celý vesmír zaplněný silným intenzivním zářením, které by na temnotu noční oblohy mělo mít také nezanedbatelný vliv. Tento jev ale nepozorujeme, neboť se vesmír rozpíná a dochází k rudému posunu. Světlo z doby velkého třesku tak můžeme detekovat jako mikrovlnné reliktní záření, které je téměř homogenní v celém vesmíru. Za toto tvrzení získali Arno Penzias a Robert Wilson v roce 1978 Nobelovu cenu.

Do úvahy je přitom třeba vzít ještě Dopplerův jev. Tím, jak se vesmír rozpíná, dochází k posunu záření směrem do infračervené oblasti. Díky tomu lze říci, že velkou část záření nevidíme, protože se již nenachází v optickém oboru.¹⁸

Na otázku, proč není obloha zářící celá, tak existuje relativně komplikovaná odpověď, která umožnila zásadní rozvoj astrofyziky – spojuje kosmologický princip, existenci velkého třesku, problematiku reliktního záření, ale také absorpci záření plyny v mezihvězdném prostoru a rozpínání vesmíru.

Vlna nebo částice?

Světlo je vlna. Světlo je částice. Tyto dvě věty se zdají být protikladné a skutečně byly předmětem četných sporů a diskusí. Zřejmě nejnámějšími protagonisty jsou Christian Huygensen a Issac Newton. První jmenovaný vytvořil model světla, které se šíří pomocí vln. Díky představě o vlnách dokázal popsat ohyb a lom světla, takže se zdálo, že jde o přístup relativně velice nadějný. Naopak Newton si představoval světlo jako eliptické částice, které podle své velikosti různě procházejí hmotou. Stála za ním skvělá práce na dalekohledech a částice světla, které na sebe působily jen gravitačně, byly integrální součástí celého fyzikálního obrazu světa, jak jen Newton sám navrhoval.

Zdálo se, že rozřešení sporu přinesl anglický lékař Thomas Young v roce 1801, který realizoval dvoušterbinový experiment. Na desce byly dvě úzké štěrbinny a dopadalo na ni světlo. Na stínítku za ní bylo pak možné sledovat obrazec, který byl v řadě ohledů překvapivý. Předně se ukázalo, že nejde o prostý součet intenzit z jednoho a druhého otvoru, ale že obrazec vzniká z obou dohromady. Druhým zjištěním bylo, že maximum leží mezi štěrbinami, tedy v místě, kde má být podle částicové představy minimum. Šlo o natolik pádný argument, že na celé století byla představa světla jako vlny zcela neotřesitelná a nezpochybnitelná.

Max Planck v roce 1901 vydal článek, ve kterém vysvětluje záření černého tělesa. V něm vychází z teorie elektromagnetického záření, tak jak jej představil Maxwell, ale přidává

¹⁶ HARRISON, Edward. *Darkness at night: A riddle of the universe*. Str. 5-8.

¹⁷ WESSON, Paul S. Olbers's paradox and the spectral intensity of the extragalactic background light. Str. 399-406.

¹⁸ ASSIS, A. K. T. On Hubble's law of redshift, Olbers' paradox and the cosmic background radiation Str. 17-21.

k němu ještě Wienův vztah. Maxwellovy rovnice chápaly světlo jako formu vlnění a dovolovaly vypočítat také jeho rychlost. Výsledkem Planka bylo, že černé těleso nevyzařuje spojitě, ale po určitých kvantech či balíčcích. Sám přitom považoval výsledek za matematicky zajímavý, ale současně jej fyzikálně neinterpretovat. To učinil až v roce 1905 Albert Einstein, který podal výklad fotoelektrického jevu, který vysvětlil kvantově – foton má konkrétní energii, lze s ním pracovat jako s ohraničenou částicí.

Paradox z osmnáctého století se tak do fyziky vrátil neméně naléhavě. Vznikla třída problémů, které bylo možné popsat pomocí vln a které měly řešení jen částicové. Věda se tak stala do značné míry nekonzistentní.

Na řešení bylo nutné počkat až do dvacátých let. Comptonův jev z roku 1923, kdy záření interaguje s volnými částicemi, ukázal, že světlo má také hybnost. Světlo bylo definitivně a nezpochybnitelně identifikováno jako částice i vlna současně. Má energii i hybnost, které jsou spojené s jeho vlnovou délkou. Jedna veličina přitom určuje zbývající dvě, alespoň co do velikosti.

Zobecnění pak přinesl v roce 1924 Louis-Victor de Broglie, který ukázal, že každý hmotný objekt má také vlnovou délku. Dualismus vlny a částice tak byl definitivně přenesen na všechny objekty, a to podle vztahu:

$$\lambda = \frac{h}{p}.$$

V roce 1925 pak Erwin Schrödinger formuloval svoji rovnici, která popisuje všechny objekty v mikrosvětě pomocí vlnové funkce. Vlna se tak stala velice užitečným nástrojem pro popis chování objektů s velice malou hmotností a korpuskulárně vlnový dualismus neotřesitelnou fyzikální realitou.

EPR paradox

Řadu zdánlivých paradoxů je možné vysvětlit pomocí konečné rychlosti světla. Ta se ale netýká jen části elektromagnetického spektra, ale lze ji formulovat také tak, že není možné přenášet informaci rychlostí větší než c . V první polovině dvacátého století se – více méně na sobě nezávisle – začaly budovat dvě významné fyzikální teorie – kvantová fyzika a teorie relativity. A právě jejich spojení, které je dodnes předmětem snah a velkých diskusí, přinášelo řadu problémů a paradoxů. Mezi nejznámější pak patří EPR.

V roce 1935 Albert Einstein v článku napsaném společně s Borisem Podolským a Nathanem Rosenem upozornili na předpoklad kvantové fyziky ohledně přenosu informací rychlostí nekonečně velkou, a to bez ohledu na vzdálenosti, a viděli v tom porušení principu kauzality – nemá smysl říkat, že by příčina předcházela následek, ale vznikají současně. Důvodem této zvláštnosti je skutečnost, že vlnová funkce elektronu je určitý druh abstraktně vytvořeného pole, které prostupuje celým časoprostorem.¹⁹ A pro tento jev nabídli autoři zmíněného článku jednoduchý myšlenkový experiment.

Dříve než k popisu experimentu přistoupíme, stručně popíšeme základní principy kvantové fyziky, o které se EPR paradox opírá.

Základním prvkem kvantové mechaniky je vlnová funkce, která nese úplnou informaci o soustavě, kterou zkoumáme. Vlnová funkce popisuje stav soustavy, stejně jako v klasické mechanice vektory polohy a hybnosti. Nic více o zkoumané soustavě nemůžeme zjistit. Vlivem vnějších polí se vlnová funkce v čase mění. Tuto změnu popisuje Schrödingerova rovnice, kterou je možné považovat za analogii Newtonových rovnic v mechanice klasické. Výsledek ale není absolutní, ale udává jen pravděpodobnost toho, že bude daný předpokládaný stav realizován (např. s jakou pravděpodobností protuneluje elektron potenciálovou bariéru při zadaných podmínkách).

¹⁹ SVRŠEK, Jirí. Determinismus a koncepce mnoha světů.

Druhým mimořádně důležitým postulátem je Heisenbergova relace neurčitosti, která říká, že nelze měřit současně absolutně přesně dvě veličiny, které spolu nekomutují.²⁰ Měření jedné veličiny ovlivňuje přesnost měření (některých) dalších. Nejde přitom o omezení technické a fundamentálně přírodní – o základní vlastnost hmotných objektů. Kvantově mechanický spin částice²¹ podle jednotlivých prostorových os tvoří navzájem nekomutující veličiny, a proto je možné měřit spin jen podél jedné osy. Na tomto místě je jistě vhodné také říci, že směr spinu (tedy znaménko plus či mínus) je pro každou částici stejně pravděpodobný.

A nyní k samotnému experimentu. Mějme nestabilní částici s nulovým spinem (například pion), která se rozpadne na dva fotony. Jelikož musí platit zákon zachování hybnosti, musí mít ve všech osách výsledný spin také nulový. Víme, že foton má spin o velikosti 1. Má-li tedy například spin v ose x první foton +1, druhý musí mít -1. Totéž platí pro všechny osy. Známe-li informaci o výsledku měření v určité ose u jednoho fotonu, máme ji také pro druhý foton.

Každý z fotonů putuje opačným směrem. Na konci jejich drah jsou detektory a u fotonu číslo 1 změříme spin v ose x, u druhého v ose y. Na první pohled tak dostáváme paradoxní situaci. Známe orientaci spinů ve dvou osách, což odporuje Heisenbergově relaci neurčitosti. Autoři z tohoto myšlenkového experimentu vyvodili závěr, že je kvantová mechanika neúplná – existují ještě skryté veličiny, které činní neměřitelnost veličin jen zdánlivou.²²

Ukazuje se, že paradox je ale mnohem hlubší. Tím, že změříme jednu veličinu na jednom fotonu, ovlivníme celý systém – dojde k redukci vlnové funkce, a to okamžitě, bez ohledu na vzdálenost. V roce 1982 bylo potvrzeno Alainem Aspectem, že částice jsou schopné spolu komunikovat rychlostí větší, než je rychlost světla ve vakuu, takže v jistém smyslu tvoří jediný fyzikální objekt. Tato vlastnost ale neporušuje teorii relativity, protože mezi dvěma oblastmi se nepřenáší informace.²³

V Bellových nerovnostech se ukazuje, že zásadní problém Einsteinových úvah byl v lokálnosti, kterou mlčky v myšlenkovém experimentu předpokládal.²⁴ Dva fotony totiž není možné považovat za lokalizované objekty před měřením, jako by byly zrnka prachu, ale za jeden objekt, který je lokalizován až v okamžiku měření.

Schrödingerova kočka

S problematikou spojení makro světa a mikro světa souvisí možná nejslavnější myšlenkový experiment – Schrödingerova kočka, kterou v roce 1935 popsal Erwin Schrödinger, když polemizoval s EPR paradoxem. Snažil se přitom ukázat, že některé myšlenkové konstrukce, se kterými jsme zvyklí pracovat, mohou být překvapivé a značně neintuitivní.

Mějme zařízení, které obsahuje nuklid, který má poločas rozpadu jednu hodinu. Po uplynutí jedné hodiny bude s padesátiprocentní pravděpodobností stále stejný, se stejnou pravděpodobností se ale rozpadne. Pokud dojde k rozpadu, aktivuje se systém, který vypustí jedovatý plyn. Toto zařízení je spolu s kočkou v neprůhledné krabici. Pokud je plyn vypuštěn, kočka umírá, když ne, žije.

Z hlediska faktického existují dvě možnosti, které nemohou být současné. Buď je nuklid původní a kočka živá, nebo kočka mrtvá a nuklid se změnil. Dokud neotevřeme krabici, nemáme ale žádnou možnost přesvědčit se o tom, která z variant je realizována. Z hlediska kvantové mechaniky však existují dva stavy, které jsou oba realizovány současně – první je popsán vlastností živá kočka a nerozpadlý nuklid, druhá je inverzní. Obě mají přitom 50% pravděpodobnost. Měření – otevřením krabice – dojde k redukci vlnové funkce na jedinou s vlastní hodnotou živé nebo mrtvé kočky.

²⁰ Pro podrobnější vysvětlení pojmů je třeba sáhnout po literatuře, například Skála, L.: Úvod do *kvantové mechaniky*. My si na tomto místě vystačíme s tím, že existují veličiny, které nelze měřit s absolutní přesností současně, jako například hybnost a poloha.

²¹ Volíme zde příklad se spinem, ač původní EPR paradox nebyl formulován pro spin. Současně je třeba říci, že jsme vybrali jen jednu z variant spinového EPR paradoxu, kterých je také více.

²² SVRŠEK, Jiří. Determinismus a koncepce mnoha světů.

²³ SVRŠEK, Jiří. Determinismus a koncepce mnoha světů.

²⁴ FINE, Arthur. The Einstein-Podolsky-Rosen Argument in Quantum Theory.

Paradox jako cesta poznání

Pokusili jsme se ukázat, jakým způsobem může paradox sehrát pozitivní roli v poznávání světa. Zatímco v teorii informace nebo v sokratovské či aristotelovské filosofii je paradox pouhým nedostatečným poznáním či chybou, kterou je nutno co možná nejrychleji odstranit či vyloučit z uvažovaného systému, v moderním slova smyslu je paradox fenoménem, který hraje důležitou roli v poznání.

Ukázali jsme některé aspekty vztahů matematiky a jazyka, což je pro oblast velké části paradoxů v klasickém smyslu, tak jak je chápe například zmiňovaný Klaus Heusinger, klíčová. Paradoxy jsou zde cestou pro hledání nových způsobů formalizace poznání světa kolem nás. Mohli bychom říci, že jde o oblast stimulující logiku, která nezná rozlišení na matematickou a filosofickou.

Důležité přitom je, že celou řadu problémů je možné odstranit zavedením vhodných struktur či nějakých meta tříd. Jde přitom o zajímavý fenomén, který ale může vést k nekonečným regresím, takže často může některé problémy jen posunout do jiného světla či nabídnout řešení jen částečné. Klasickým příkladem tohoto druhu je Cantorův diagonální důkaz ukazující existenci dvou skupin nekonečen. Zavedení tříd mezi nimi nemá smysl. Známy McTaggaertův důkaz neexistence času vede k existenci cyklicky se generujících nadtříd, které umožňují řešení problému v dané oblasti, ale celý problém jen přesouvají do tříd vyšších.

V přírodních vědách, kterým jsme věnovali nejvíce prostoru, slouží paradoxy jako určité majáky, které vytyčují program práce vědců. Řada z nich je spojena s dvěma moderními směry fyziky – kvantová fyzika využívá EPR paradox, Schrödingerovu kočku nebo dualismus vlny a částice. Kosmologie, zvláště pak relativistická, stojí na myšlenkách, které jsou spojené s paradoxem dvojčat, paradoxem Richarda Bentleyho či Olbersůvým paradoxem. Je přitom příznačné, že ve fyzice existují dokonce jevy, které mají paradox přímo v názvu – hydrostatický a hydrodynamický paradox jsou přitom jen zdánlivé a ukazují, že ne všechny naše představy musí být nutně korektní. Přijetí rozumných předpokladů může mít překvapivé důsledky.

Paradox tak není něčím, co bychom měli z vědy nebo teorie poznání vyloučit. Spíše naopak. Představuje vítaný a užitečný stimul, který umožňuje hlubší pochopení věcí, poukazuje na skutečnost, že naše přijetí určitých představ může – při zachování konzistence teorie – vést k výsledkům, které jsou překvapivé. Jestliže základem každé filosofie je údiv nad světem, tak paradoxy představují cestu, jak jej vyvolávat stále znovu.

Literatura

ASSIS, A. K. T. On Hubble's law of redshift, Olbers' paradox and the cosmic background radiation. *Apeiron*, 1992, 12: 10-16.

COFFA, J. Alberto. The humble origins of Russell's paradox. *Russell: the Journal of Bertrand Russell Studies*, 1979, 99.1: 5.

FINE, Arthur. The Einstein-Podolsky-Rosen Argument in Quantum Theory. *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*[online]. 2012 [cit. 2013-12-31]. Dostupné z: <http://plato.stanford.edu/entries/qt-epr/>

HARRISON, Edward. *Darkness at night: A riddle of the universe*. Harvard University Press, 1987.

HOUSER, Pavel. Proč celá noční obloha nezáří?. *OSEL* [online]. 2007 [cit. 2013-12-31]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=2598>

CHAITIN, Gregory J. The berry paradox. In: *Complex Systems and Binary Networks*. Springer Berlin Heidelberg, 1995. p. 23-31.

RACLAVSKÝ, Jiří. Řešení Grellingova heterologického paradoxu. *Organon F*, Bratislava: Filozofický ústav SAV, 2009, roč. 16, č. 5, s. 134-148. ISSN 1335-0668.

SALMON, Wesley C. (ed.). *Zeno's paradoxes*. Hackett Publishing Company Incorporated, 1970.

SVRŠEK, Jiří. Determinismus a koncepce mnoha světů. *Natura*. 1999, č. 9. Dostupné z: <http://natura.baf.cz/natura/1999/9/9909-9.html>

ŠVANDOVÁ, Blažena. *Cesty paradoxu s úvodní esejí Willarda Van Ormana Quina*. 1. vyd. v Brně: Masarykova univerzita. Pedagogická fakulta, 2002, 262 s. ISBN 8021028629.

This Month in Physics History - Einstein's Biggest Blunder. EDITOR: ALAN CHODOS. *APS News* [online]. 2005 [cit. 2013-12-31]. Dostupné z: <http://www.aps.org/publications/apsnews/200507/history.cfm>

WESSON, Paul S. Olbers's paradox and the spectral intensity of the extragalactic background light. *The Astrophysical Journal*. 1991, vol. 367, s. 399-. DOI: 10.1086/169638. Dostupné z: <http://adsabs.harvard.edu/doi/10.1086/169638>

WHITEHEAD, Alfred North; RUSSELL, Bertrand. *Principia Mathematica*. Cambridge University Press, 1962.