



BÍLÉ DÍRY

UVNITŘ HORIZONTU

CARLO ROVELLI

CARLO ROVELLI
BÍLÉ DÍRY
UVNITŘ HORIZONTU

CARLO ROVELLI

BÍLÉ DÍRY

UVNITŘ HORIZONTU

Copyright © Carlo Rovelli, 2023

Translation © Jiří Podolský, 2025

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této publikace nesmí být rozmnožována a rozšiřována jakýmkoli způsobem bez předchozího písemného svolení nakladatele.

Druhé vydání v českém jazyce (první elektronické).

Z anglické předlohy *White Holes: Inside the Horizon*

přeložil Jiří Podolský.

Odpovědný redaktor Jan Kárník.

Obálka, sazba a konverze do elektronické verze Michal Puhač.

Vydalo v roce 2025 nakladatelství Dokořán, s. r. o.,

Holečkova 9, Praha 5,

dokoran@dokoran.cz, www.dokoran.cz,

jako svou 1 337. publikaci (467. elektronická).

ISBN 978-80-7675-247-4

Francesce, mé souputnici ve vědě i snech

*Nejkrásnější, co můžeme prožívat, je tajemno.
Je skutečným zdrojem všeho umění a vědy.
Ten, kdo postrádá city (..),
je vlastně mrtvý - jeho oči jsou vyhaslé.*

Albert Einstein

OBSAH

Část první	11
Část druhá	77
Část třetí	111
POZNÁMKY	163
SEZNAM ILUSTRACÍ	169
REJSTŘÍK	171

ČÁST PRVNÍ

Nejtěžší krok je začít. První slova otevírají prostor. Stejně jako první pohled na dívku, do které se mám zamilovat - o životě rozhodne náznak jejího úsměvu. Dlouho jsem váhal, než jsem začal psát. Na dlouhých procházkách v lese za domem, tady v Kanadě.

Stále si nejsem jistý, kam se to vlastně vydávám.

Už několik let se můj vědecký výzkum soustředí na bílé díry, nepolapitelné mladší sourozence černých děr. Toto je moje kniha o bílých dírách. Snažím se v ní co nejlépe popsat černé díry, kterých dnes na obloze vidíme stovky: co se děje na okrajích těchto podivných hvězd, na jejich *horizontu*, kde se čas, zdá se, zpomaluje, až se úplně zastaví, a prostor jako by tam končil. A co je uvnitř, tam dole v nejhlubších vnitřních oblastech, kde se čas a prostor úplně rozplývají. Kde se dokonce zdá, že čas obrací svůj směr. Kde se rodí bílé díry.

je to cestopis. je to také příběh o pokračujícím dobrodružství. jako na začátku každé cesty si nejsem jist,

kam až mě zavede - při tom prvním úsměvu se také nelze ptát, kde spolu budeme žít -, ale mám v hlavě letový plán. dostaneme se na okraj horizontu. vstoupíme do něj, sestoupíme až na samé dno, překročíme ho - jako když alenka vstoupila za zrcadlo -, abychom se vynořili na druhé straně, v bílé díře. tam se zeptáme, co vůbec znamená, když se čas obrátí... než se opět vynoříme, abychom znovu spatřili hvězdy, naše známé hvězdy. po čase, který pro nás trval jen několik vteřin - ale také miliony let. nebo možná dobu, kterou trvá přečtení této krátké knihy.

Vydáte se spolu se mnou?

Marseille. Hal je v mé pracovně a stojí před tabulí. Já sedím ve velkém polohovacím křesle, lokty opřené o stůl, oči upřené na něho. Oknem dovnitř padá jasné, oslnivé světlo Středozevního moře. Tak začíná mé dobrodružství s bílými dírami.

Hal je Američan. Čiší z něj přirozená vlídnost, která mírní brilantnost jeho nápadů. Dnes je univerzitním pedagogem, tehdy byl ještě student. Laskavý, přesný, s rozvahou a klidem člověka na svá léta hodně vyzrálého. Snaží se mi říct cosi, čemu tak docela nerozumím. Je to myšlenka o tom, co by se mohlo stát s černou dírou přesně v okamžiku, kdy její dlouhý život končí.

Vzpomínám si na jeho slova: Einsteinovy rovnice se nezmění, obrátíme-li čas. Aby se kolaps odrazil, stačí obrátit čas a řešení slepit dohromady.

Jsem z toho zmaten. Ale najednou chápu, co má na mysli. Páni! (Jsem Ital, žádný klidás.) Jdu k tabuli a črtám schéma. Srdce se mi rozbuší.

Chvíli o tom dumá: „Jo, to je vlastně ono.“ Já na to: „... je to černá díra, která se uvnitř kvantově protunelovala do bílé na druhé straně - a vnějšek přitom mohl zůstat stejný.“ Chvilku o tom přemýšlí: „Ano... no nevím. Co myslíš, mohlo by to fungovat?“

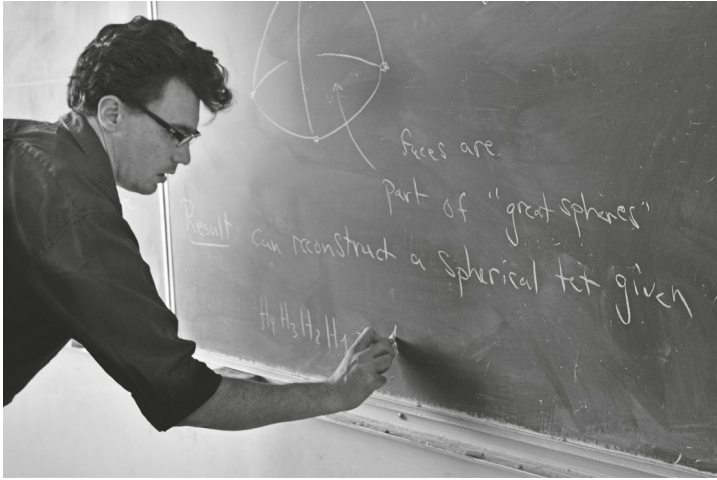
Fungovalo to. Alespoň v teorii. Od tohoto rozhovoru v oslnivém světle Marseille uplynulo už devět let. Se studenty a kolegy jsem pokračoval v práci na hypotéze, že se černé díry mohou přeměnit na bílé. Je to myšlenka, která mi připadá velmi krásná. Myšlenka, o které vám tu chci vyprávět.

Nevím, zda je správně. Ani nevím, jestli bílé díry skutečně existují. O černých dírách toho dnes už víme hodně - vidíme je; bílou díru ještě nikdo neviděl. Zatím.

Když jsem dělal doktorát v Padově, teoretickou fyziku nás učil Mario Tonin. Říkal nám, že si myslí, že Pán Bůh čte každý týden slavný fyzikální časopis *Physical Review D*. Kdykoli tam narazí na nějakou

myšlenku, která se mu líbí, šup!, uvede ji do praxe a upraví podle ní univerzální zákony světa.

Je-li tomu tak, milý Pane, byl bych Ti vděčný, kdybys to takhle zařídil: zaříd', aby se z černých děr nakonec stávaly bílé díry...



Hal

přečetl jsem si předchozí řádky: příběh mého prvního setkání s bílými dírami. chci vysvětlit vše popořadě. o jakých objektech jsme to s halem mluvili. co o nich víme a co nevíme. v čem spočíval problém, který jsme se tenkrát snažili rozlousknout. jaká přesně byla ha-

lova myšlenka a jaké jsou její důsledky. co znamená obrátit čas (není to nic složitého) a co znamená, že čas má směr (to je, možná překvapivě, ta těžší část).

budete-li mne následovat, zavedu vás na samý okraj horizontu černé díry, vstoupíme do ní, sestoupíme až na samé dno. projdeme skrz a vynoříme se v bílé díře, kde je tok času obrácen. pak vystoupáme nahoru a venku zase spatříme hvězdy.*

Vydejme se tedy na cestu: vzhůru za bílými dírami.

* Možná jste někdy slyšeli termín „horizont událostí“. Navzdory své poetické kráse ho raději nepoužívám, protože má rigorózní matematickou definici, která pro černé díry přeměňující se v bílé nefunguje. Diskusi o tomto technickém bodě najdete například v mé odborné knize *General Relativity* (Obecná relativita).

Vlastně ne, nejdříve ze všeho se musíme vydat k černé díře. Abychom pochopili, co je bílá díra, potřebujeme mít jasnou představu o tom, co je to černá díra. Co tedy vlastně je?

První, kdo se mýlil, byl Einstein. V roce 1915, po deseti letech „šílené a zoufalé“ práce, zveřejnil Albert Einstein finální rovnice své nejdůležitější teorie, která se dodnes studuje na všech univerzitách po celém světě: obecné teorie relativity.

Jen několik týdnů po jejím zveřejnění obdržel dopis od svého mladého kolegy Karla Schwarzschilda, v té době poručíka německé armády, který o několik měsíců později přišel o život na východní frontě.

Dopis končí těmito překrásnými slovy: „Jak vidíte, navzdory neustálé dělostřelecké palbě se ke mně válka zachovala natolik laskavě, že mi dovolila od toho všeho na chvíli odejít a moci se procházet zemí Vašich myšlenek.“ Procházka zemí Vašich myšlenek...

Schwarzschildova procházka zemí Einsteinových myšlenek během přestávky v bojích na východní frontě, mezi mrtvolami mladých Němců a Rusů, které povraždila lidská hloupost, jež zuřila tehdy stejně jako dnes (co může být hloupějšího než zemřít kvůli pofidérní hranici států?), vyústila v přesné řešení rovnic, které Einstein právě publikoval.

Tyto rovnice Einsteina dost potrápily. Jejich vývoj můžeme sledovat prostřednictvím série článků, z nichž každý obsahoval jinou verzi rovnic. Všechny byly špatně.

V roce 1915 však byly konečně správně. Právě tyto rovnice přesvědčily fyziky, aby zrevidovali své představy o povaze času a prostoru - ukázaly, že hodiny na horách jdou rychleji nežli v nížinách; že vesmír se rozpíná; že existují vlny prostoru a tak dále. Jsou to rovnice, které dnes používáme ke studiu vesmíru. Snad nejkrásnější v celé fyzice. (Jedná se také o jediný vzorec, který je obsažen v textu mé knihy *Sedm krátkých přednášek z fyziky*.)*

Na následujících stránkách zaujmeme k těmto rovnicím blížký, ale komplikovaný vztah: budou sloužit

* Pozn. překl.: Najdete ho na straně 20 českého překladu, do nějž jsem však oproti originálu doplnil i další klíčové rovnice, které uvádějí každou ze sedmi Rovelliho přednášek.

jako náš průvodce, podobně jako sloužil Vergilius Dantovi v *Božské komedii*, protože v sobě zahrnují to nejlepší, co dnes o prostoru, čase a gravitaci víme. Jsou nástrojem porozumění světu. Říkají nám, co můžeme očekávat na okraji černé díry a uvnitř ní. Říkají nám také, co jsou to bílé díry. Ukazují nám cestu napříč těmito podivnými teritorii.

A přesto je smyslem celého příběhu, který se tu chystám vyprávět, jít a podívat se, co se děje tam, *kde tyto rovnice už nefungují*. Tam, kde je nutné je opustit. Taková je věda.

Uprostřed naší cesty proto budeme muset opustit poklidné, rozvážné vedení těmito rovnicemi a nechat se vést něčím jiným - stejně jako Dante uprostřed své cesty opouští Vergilia a nechává se uchvátit čímsi lákavějším.

Vratme se ale ke Schwarzschildovi. Řešení, které předložil ve svém dopise Einsteinovi, dnes také najdete ve všech univerzitních učebnicích. Popisuje, co se děje s prostorem a časem kolem nějaké hmoty; například kolem Země nebo Slunce. Gravitace Země a Slunce způsobuje ohyb prostoru a času (brzy se pokusím vysvětlit, co to znamená). Právě toto zakřivení prostoru a času způsobuje, že tělesa padají k Zemi a planety obíhají kolem Slunce. Je to základní příčina gravitační síly.

Schwarzschild zkoumal problém, jak se pohybují věci působením gravitace kolem něčeho těžkého, například kolem Země nebo Slunce. Jde o stejnou otázku, kterou o tři století dříve studoval Newton a otevřel tím cestu k moderní vědě. Einstein a Schwarzschild opravili Newtona a vylepšili jeho předpovědi o tom, jak se věci pohybují kolem velkých hmot.

Schwarzschildovo řešení však neposkytuje jen malou korekci pohybů planet. Předpovídá také něco radikálně nového. A zvláštního. Je-li hmota extrémně koncentrovaná, vytváří kolem sebe obal, kulový povrch, kde je všechno zcela bizarní: hodiny - které se v blízkosti každé hmoty vždy zpomalují - se na tomto povrchu dokonce zastavují. Čas se úplně zastaví. Už neplyne. Prostor se prodlužuje ve směru koncentrované hmoty, natahuje se jako dlouhý trychtýř a na tomto absurdním povrchu natahování přechází v trhání. Body, které se zde nacházejí, jsou již nekonečně vzdáleny. Jako by se dál prostor doslova trhal na kusy.

Zastavení času, trhání prostoru... to zní hodně bizarně a nepravděpodobně. Einstein pochopitelně dospěl k závěru, že je to nesmysl - tak absurdní povrch nemůže v reálném světě existovat.

Když si to spočítáme, zjistíme, že aby takový povrch vznikl, je třeba hmotu zmáčknout do zcela nemož-

né míry. Abychom takový povrch vytvořili například kolem Země, museli bychom celou planetu stlačit na velikost pingpongového míčku. Naprosto absurdní představa! Einstein proto dospěl k závěru, že se tím vůbec nemusí zajímat: nelze přece zkoncentrovat hmotu natolik, abychom dospěli do situace, kdy se vytvoří tak bizarní obal.

Mýlil se. Neměl dostatečnou důvěru ve své vlastní rovnice. Neměl odvahu uvěřit podivným důsledkům své vlastní teorie. Dnes už vše víme lépe: tak silné koncentrace hmoty skutečně existují. Ve skutečnosti jich jsou na nebi miliardy a miliardy. Říkáme jim černé díry.

Astronomové je pozorovali mockrát a jejich velikost se pohybuje od několika kilometrů až po skutečné kolosy, velké jako celá Sluneční soustava nebo ještě větší. Mohou existovat i malé (jako pingpongový míček), a dokonce extrémně malé černé díry (vážíci jen jako vlásek), ale ty jsme zatím neviděli. Prozatím.

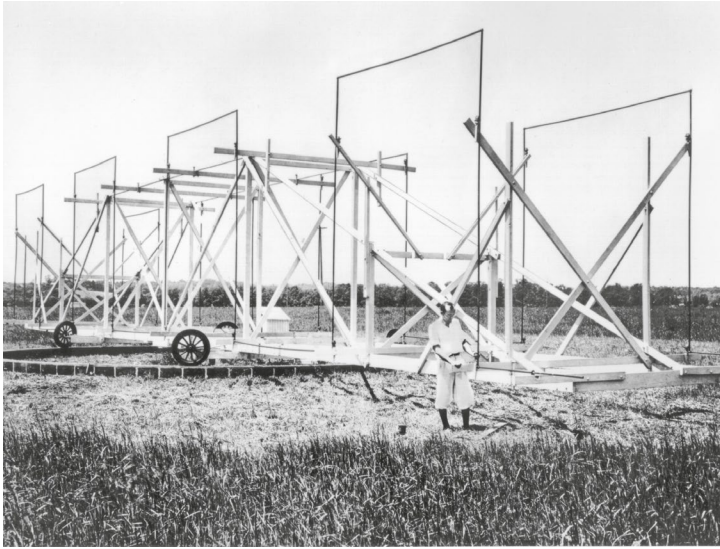
Většina černých děr identifikovaných astronomy na obloze pochází z hvězd, které dohořely. Byly to tak velké a těžké hvězdy, že by se dávno zhroutily samy do sebe, nebýt toho, že hořely. Hvězdy spalují vodík, z něhož se skládají, a přeměňují ho na helium. Teplo vznikající při tomto spalování vytváří tlak, který vy-

važuje hmotnost hvězdy a zabraňuje jejímu rozdrčení vlastní vahou. Takto hvězda žije a pokojně hoří po miliardy let.

Ale nic netrvá věčně. Nakonec se veškerý vodík hvězdy spotřebuje, změní se na helium a další popel, který už neshoří, a hvězda zůstane jako auto bez paliva. Teplota hvězdy klesá a její hmotnost se začíná projevovat. Hvězda je drcena svým vlastním gravitačním působením. Gravitační síla ve velké hvězdě je obrovská – jejímu tlaku by neodolala ani ta nejtvrďší hornina – a teď už nic nebrání tomu, aby se hvězda zhroutila sama do sebe. A tak se zhroutí až ke svému horizontu. Vzniká černá díra.

V roce 1928 – dávno předtím, než byl tento proces gravitačního kolapsu pochopen – najala Bellova telefonní společnost fyzika Karla Janského, aby studoval zvuky, které ruší rádiovou komunikaci. Jansky sestrojil primitivní třicetimetrovou směrovou anténu: zvláštní mřížku z kovových tyčí na kolečkách, která se mohla otáčet v libovolném směru. Jeho kolegové ji nazvali „Janského kolotoč“.

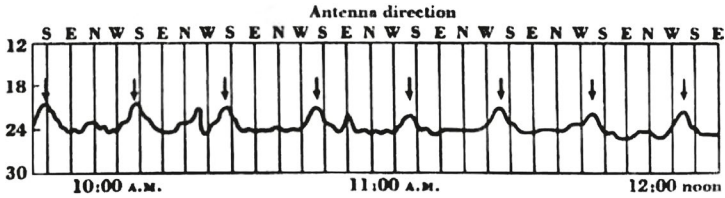
Pomocí této antény začal Jansky zaznamenávat všechny rádiové signály, které se mu podařilo zachytit: blesky z bouří, zvuky způsobené vysílacími anténami a tak dále. Mezi tím vším byl i podivně pravi-



Janského anténa

delný signál, jakési syčení, které zachytil při každém otočení kolotoče.

Janského sestra vyprávěla, jak jim jejich otec jako malým stále opakoval: „Všechno zkoumejte!“ Jansky zkoumal „syčení“ více než rok. Jeho intenzita se zvyšovala a snižovala každých čtyřiaadvacet hodin. Janského napadlo, že by mohlo pocházet od Slunce, jež nad námi po obloze putuje jednou za den. Dábel se však skrývá v detailech. Když pokračoval ve sledování signálu, všiml si, že perioda není čtyřiaadvacetihodinová,



ale o něco kratší: 23 hodin a 56 minut. Silnější signál se tedy neopakoval vždy ve stejnou denní dobu. Stále se posouval o pár minut vpřed, jako když se předbíhají hodiny. To bylo zvláštní. Syčení nemohlo být od Slunce. Slunce neběží rychleji, než plynou dny.

Hvězdy ale ano. Jeden kolega astronom ho upozornil, že 23 hodin a 56 minut je přesně doba, za kterou se kolem nás otočí hvězdy. (Hvězdy se na obloze otáčejí o něco kratší dobu nežli Slunce, protože Země a Slunce navíc jednou za rok dokončí celou vzájemnou otočku.) Záhadný rádiový signál může tedy pocházet pouze z hvězd! Směr bylo snadné zjistit: vychází z místa, kam je namířena anténa, když je signál nejsilnější. Nahlédnutím do hvězdného atlasu se zjistilo, že musí přicházet ze středu naší Galaxie...

Byla to tak senzační zpráva, že se pod titulkem „Nové rádiové vlny vystopovány do středu Mléčné dráhy“ objevila v *The New York Times*. Dne

15. května 1933 odvysílala NBC s Janským rozhovor. Miliony Američanů poslouchaly toto syčení přicházející z hvězd. „Dobrý večer, dámy a pánové. Dnes večer posloucháme živě rádiové signály přijímané z místa mimo Sluneční soustavu, odněkud z hvězd.“ Jansky vysvětlil, že signál přichází ze středu Galaxie. Hlasatel dodal, že síla signálu, který k nám dorazí ze vzdálenosti třiceti tisíc světelných let, musí být „obrovská“ a že musí být „milionkrát silnější než jakákoli rádiová stanice na Zemi“.

Pět dní předtím na Opernplatzu (nyní Bebelplatzu) v Berlíně nacisté uspořádali největší ze svých veřejných pálení knih. Mezi spálenými texty byla i díla Vladimira Majakovského („Můj verš se donese, ne jako (...) světlo zhaslých hvězd“) a rovněž knihy od Alberta Einsteina i o něm. O devadesát let později díky myšlenkám v těchto knihách víme, co přesně je ono tajemné syčení, které slyšely miliony Američanů. Je to záření vysílané žhavou hmotou, která těsně před pádem zuřivě víří kolem kolosální černé díry v centru naší Galaxie. Černé díry velké jako desetinasobek dráhy Měsíce kolem Země s hmotností čtyřmilionkrát větší, nežli váží naše Slunce.

Provádím třetí revizi těchto stránek a právě dnes astronomové zveřejnili snímek této obří černé díry. Na snímku je vidět žhoucí materiál, který víří kolem

Vážení čtenáři, právě jste dočetli ukázkou z knihy ***Bílé díry***.

Pokud se Vám ukáзка líbila, na našem webu si můžete zakoupit celou knihu.