

Blížíme se k hranici, k horizontu. Co se děje na horizontu masivní černé díry, uprostřed žhnoucího materiálu, který víří tak prudce a je rozžhaven tak moc, že ho lze detekovat i třicet milionů světelných let daleko pomocí docela jednoduché sítě železných tyčí?

Trvalo celá desetiletí, než jsme pochopili, co se to na horizontu děje. Einstein nebyl jediný, kdo ničemu z toho nerozuměl. Fyzikové zůstávali bezradní dlouho. Teprve ve druhé polovině dvacátého století začali horizonty chápat. V mém oboru je dost kolegů, kteří jsou z toho popletení ještě dnes (a to už je míněno jako kritika).

Pojďme se na to podívat podrobněji.

Johannes Kepler – astronom sedmnáctého století, který jako první pochopil, jak planety obíhají kolem Slunce – ve svém díle nazvaném *Sen neboli Měsíční astronomie* vypráví, jak ho jeho matka vozila na létajícím koštěti kolem Sluneční soustavy, aby mu ji ukázala z jiné perspektivy.

Keplerova matka byla souzena za čarodějnictví. A kdyby vás snad zajímalo, zda skutečně byla čarodějnící, nebo ne: při soudním procesu, v němž ji obhajoval její syn, byla zproštěna viny.

Kepler, snad díky své matce čarodějnici, chtěl jít a podívat se. Vydat se a spatřit: právě to je věda. Jít a podívat se tam, kde jsme ještě nebyli, pomocí logiky, rozumu, matematiky, intuice, představitivosti. Kolem Sluneční soustavy, do nitra atomů, do nitra živých buněk, do závitů neuronů našeho mozku, daleko do minulosti, za horizont černých děr... Vydat se tam a spatřit to očima vlastní mysli.

Na Zemi nazýváme horizontem vzdálenou linii obzoru, za kterou už nevidíme. Pokud ale nasedneme na loď a vyplujeme směrem k ní, můžeme tuto pomyslnou čáru překročit: můžeme se dostat *za horizont*. Když ho překročíme, nic podivného se nestane. Kromě toho, že zmizíme z dohledu všech, kdo nás pozorují ze břehu, se s lodí neděje nic zvláštního (snad s výjimkou večírku na palubě, který se má podle některých námořních tradic odehrát).

A zde je překvapivá informace: totéž platí i pro „horizont“ černé díry. Cestujeme-li v kosmické lodi, můžeme se k horizontu přiblížit, jak blízko chceme.

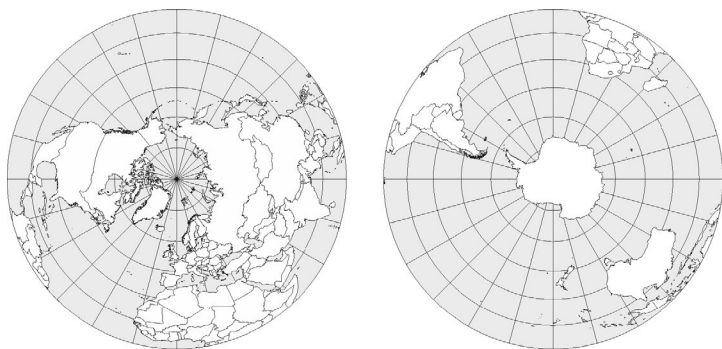
Dosáhneme ho. Překročíme ho. Nic zvláštního se nám nestane. Naše hodinky tikají dál normálním tempem, vzdálenosti v našem blízkém okolí jsou stále stejné.

Jenom pozorovatelé z dálky, stejně jako to platí pro loď na moři, nás už nevidí. Jsme za *jejich* obzorem. Pokud se jim pokusíme vyslat zpět směrem ven světelný signál, paprsek světla nemůže uniknout. Je uvězněn pod horizontem. Ke vzdáleným přátelům se již nemůžeme dostat. Uvnitř horizontu je totiž gravitační síla tak mohutná, že uvězní vše, dokonce i světlo.

Proč tedy řešení nalezené Schwarzschildem naznačuje, že na horizontu se zastavují hodiny a prostor se rozpadá, což mátló Einsteina a všechny ostatní? Můžete-li překročit horizont a najít tam vše víceméně normální, je snad Schwarzschildovo řešení chybné?

Není chybné. Je jen napsáno z pohledu někoho, kdo je od horizontu velmi vzdálen. Schwarzschildovo řešení je jako zeměpisná mapa prostoru *vně horizontu*.

U zeměpisných map – jak je všeobecně známo – se děje cosi divného. Vezměme si mapu Země složenou ze dvou disků:



Rovník na této mapě se při pohledu z pólů jeví velmi zvláště, jako vnější kružnice. Jako by to byl okraj světa. Ve skutečnosti se o žádný okraj světa nejedná a nic divného se tam neděje (kromě vyšší teploty). Povrch Země není plochý, takže se nedá dobře vměstnat do jedné mapy – a nekončí na jejím okraji. Stejně tak prostoročas není plochý a ani on se nevejde do jediné mapy – a také nekončí na okraji Schwarzschildova řešení.

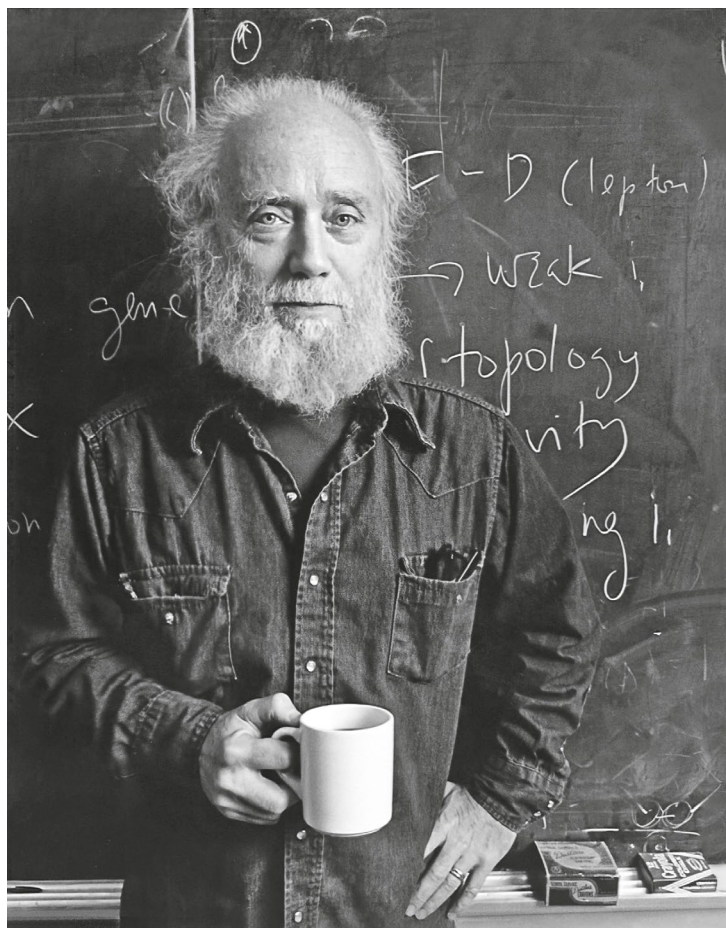
Einsteinovi i všem ostatním se stalo následující: špatně si vyložili Schwarzschildovo řešení. Jako když se někdo podívá jenom na levou mapu na obrázku výše a odvodí z ní, že Země končí na rovníku. Tuto chybu dělaly desítky vynikajících vědců po celá dese-

tiletí (a jsou tací, i mezi těmi nejvýznamnějšími, kteří ji dělají dodnes).

Jak poznáme, že se jedná o chybu? Nikdo z nás ještě nebyl osobně svědkem toho, co se děje na horizontu černé díry...

Nikdo z nás tam nebyl, ale máme teorii. Stejný soubor rovnic, který dává Schwarzschildovo řešení, nám také umožňuje vypočítat, co se stane, když se přiblížíme k horizontu. Vyřešit to není nikterak obtížné. Zadávám to jako cvičení svým studentům, když učím obecnou teorii relativity. Trvalo však, než kdysi někoho jako prvního napadlo to udělat a než pochoopil, co to vlastně znamená.

Oním prvním byl v roce 1958 David Finkelstein (tehdy mi byly dva roky). Finkelstein byl velice vzdělaný vědec a kultivovaný muž, který se kromě vědy zabýval také o politiku, umění a hudbu. Měl schopnost hlubokého a odvážného myšlení. Opustil nás teprve před několika lety, v roce 2016. Měl jsem to velké štěstí, že jsem se s ním v posledních letech jeho života setkal, s jeho dlouhým prorockým plnovousem a specifickým chováním, uvolněným i vznešeným zároveň. Byl jedním z oněch vzácných vědců, kteří otevírají nové obzory či cesty k přemýšlení. V tomto příběhu se s ním setkáme znovu o něco později.



David Finkelstein

V roce 1958 Finkelstein publikoval nádherný, brilantní článek, v němž objasnil povahu horizontu. Pojmenoval ho „Asymetrie minulosti a budoucnosti gravitačního pole bodové částice“.¹ Název zní hodně technicky, ale zapamatujte si ho, protože myšlenka, kterou vyjadřuje, bude základním kamenem našeho příběhu: „asymetrie minulosti a budoucnosti“.

Finkelsteinův výpočet ukázal, že přiblížíme-li se k horizontu a vydáme se za něj, naše hodinky se nezpomalí a s prostorem kolem nás se nic zvláštního nestane. Stejně jako se nic zvláštního nestane s lodí, když překročí linii horizontu a zmizí nám z dohledu.

Proč se tedy ve Schwarzschildově řešení hodinky zdánlivě zastavují?

Protože Schwarzschildovo řešení popisuje, co se v blízkosti horizontu děje - *viděno z dálky*. Z dálky to *vypadá*, že se všechny hodinky zpomalí a zastaví, jakmile dosáhneme horizontu. Mezi těmito dvěma pohledy, naším a tím z dálky, přitom není žádný rozpor.

Představme si, že cestujeme po zemích, v nichž pošta funguje stále pomaleji, a že každý den posíláme domů dopis otci. Náš otec bude dopisy dostávat v prodlužujících se intervalech, protože budeme přijíždět do míst, kde poště trvá déle, než je odešle. Jemu se bude zdát, že jsme zpomalili: zpočátku od nás bude

zprávy dostávat každý den – následně ale bude muset čekat několik dní, a nakonec i týdnů, jen aby se dozvěděl o jediném našem dni. Pro něj jako by se náš život zpomalil...

Dostaneme-li se do pouště, kde pošta vůbec nefunguje, dostane od nás jenom poslední dopis, který napíšeme těsně před vstupem do pouště, a ten dorazí až dlouho poté, co jsme ho odeslali. Pro našeho otce je tedy okraj pouště místem, kde se *pro něj* náš čas zastaví. Je to horizont, za nímž nás již on nemůže spatřit. Informace o nás bude mít nadále pouze „zamrzlé na okraji pouště“.

Něco podobného se děje, když překročíme horizont černé díry. Pokud nás náš otec vidí, jak se blížíme k horizontu, vidí také, jak se tikot našich hodiněk postupně zpomaluje. Jak se totiž přibližujeme, světlu trvá stále déle, než se od nás vzdálí a dorazí k němu. Světlo se v blízkosti horizontu, zadržováno gravitací, zdržuje stále delší dobu, než se mu podaří uniknout. Pokud se náš otec bude dál dívat, uvidí, jak se okamžiky našeho života postupně zpomalují, až se úplně zastaví – zamrznou s posledním tikotem hodiněk, než přejdeme na druhou stranu.

My v poušti nebo za horizontem černé díry existujeme dále jako obvykle. Ale náš otec už od nás žádnou zprávu nedostane, ať bude čekat jakkoli dlouho.

Řečeno stručně: pro ty, *kdo překročili horizont*, se čas nezastaví. Pouze těm, kdo se dívají z velké dálky, se zdá, že procesy v blízkosti horizontu se dramaticky zpomalují.

Analogie s dopisy posílanými při cestě na poušť je dobrá. Ale jen částečně. Mezi cestou na poušť a cestou k horizontu je rozdíl. Pokud se v průběhu cesty na poušť otočíme, vrátíme zpět a znovu obejmeme svého otce, hodiny, které uplynou od chvíle, kdy jsme ho viděli naposledy, budou pro nás oba stejné. Bude-li o rok starší on, budeme o rok starší i my.

To stejné ale neplatí pro časové deformace v okolí horizontu černé díry. Ty jsou reálné a konkrétní, a to v následujícím smyslu. Přiblížíme-li se k horizontu, setrváme v jeho blízkosti a pak se otočíme zpět, bude pro nás doba, která uplynula mezi posledním setkáním s otcem a jeho opětovným objetím, kratší nežli doba, která uplynula pro něj. On zestárne více než my.

Nejedná se jen o nějaký efekt perspektivy, subjektivního úhlu pohledu, ale o skutečné fyzikální zkreslení času působením gravitace. Tam, kde je gravitace silná, plyne čas v tomto smyslu pomaleji než tam, kde je slabá. Na různých místech čas fakticky plyne různou rychlostí.

Právě to máme na mysli, když říkáme, že prostoročas je „zakřivený“. V blízkosti horizontu je času méně a tato skutečnost „ohýbá“ prostoročas podobně, jako když se při pletení svetru stáhne několik oček.

Abychom to shrnuli. Blízko horizontu se čas zpomaluje v tom smyslu, že kdokoli, kdo nás pozoruje z dálky, nás vidí pohybovat se zpomaleně. Ale také v tom smyslu, že pokud se otočíme a vrátíme, uplyne těm, kteří zůstali v dálce, více času než nám. V jiném slova smyslu se však čas nezpomaluje: my, kteří jsme na horizontu, žádné zpomalení subjektivně nepociťujeme. Pro nás čas dál plyne normálně.

Možná tě, milý čtenáři, na tomto místě napadlo položit si otázku, který z těchto rozdílných časů je ten „skutečný“: čas těch, kteří jsou na horizontu, nebo těch, kdo se dívají z dálky? Odpověď zní: ani jeden z nich. Revoluce, kterou přinesl Einstein, spočívala právě v poznání, že otázka, který čas je ten pravý... je nesmyslná. Je to jako ptát se, které oblasti Země jsou ve skutečnosti „nahore“ a které „dole“. Z hlediska jakéhokoli místa je dané místo nahore a ostatní jsou vůči němu dole. Každé místo na Zemi stanovuje jiné „nahore“ a „dole“... Rozdíl je pouze otázkou perspektivy, lokálního pohledu na věc. Stejně tak má každé místo ve vesmíru svůj vlastní čas. Různá místa si mo-

hou navzájem posílat signály – například sykot, který k nám vysílá černá díra ve středu naší Galaxie –, ale čas na nich plyne nestejnou rychlostí a žádný z těchto časů není „pravdivější“ než kterýkoli jiný.

Jinými slovy, zpomalení času v blízkosti horizontu je něco, co se týká pouze vztahu mezi tím, jak čas plyne na různých místech. Pouze ve vztahu k času vzdáleného pozorovatele se čas na horizontu zastavuje nebo zpomaluje.

Celý svět je utkán těmito vztahy mezi časy. Neexistuje žádný univerzální čas. Časovost je síť tvořená mnoha místními časy a možností výměny signálů. Zblízka je horizont docela normálním místem. Z dálky je to místo, kde se čas zastavuje.

To je to, co pochopil David Finkelstein.

Finkelstein napsal článek o rytině proslulého renesančního mistra perspektivy Albrechta Dürera.² Rytina nese název *Melancholie I* a je to složité dílo doslova nabitě symbolikou.

Myslím, že není náhoda, že první, kdo pochopil horizont černých děr, nebyl matematický génius, ale někdo, kdo byl schopný psát o Albrechtu Dürerovi a renesanční perspektivě.

Umění perspektivy v malířství bylo objeveno v renesanci. Bylo to také období, kdy se zjistilo, že celý



Albrecht Dürer, *Melancholie I*

naš přístup ke skutečnosti je dán osobní perspektivou. Podle Finkelsteina nejednoznačnost rytiny odráží a představuje nevyhnutelnou nejednoznačnost mezi perspektivami. V jeho interpretaci rytina inscenuje melancholii těch, kteří se marně snaží dosáhnout absolutní pravdy a krásy. Nemožnost dosáhnout absolutna – pro Dürera i pro Finkelsteina – je zdrojem naší melancholie.

to není můj případ. mně se naopak zdá, že je zdrojem jemné závratí. závratí z lehkosti, z opojné nesourodosti oné jemné struktury, která tvoří realitu, jíž jsme součástí.

máme přístup pouze k perspektivám. realita možná není nic jiného nežli perspektivy. neexistuje žádné absolutno. jsme omezení, pomíjiví. a právě proto je žítí, naše bytí, jímž procházíme, tak lehké a sladké...