

## Kapitola první

# Klasická teorie

---

S. W. HAWKING

V těchto přednáškách spolu s Rogerem Penrosem předložíme své navzájem související, avšak odlišné pohledy na povahu prostoru a času. Každý předneseme střídavě tři přednášky, následované diskusí o odlišnostech v našich názorech. Bude me při tom předpokládat základní znalost obecné relativity a kvantové teorie.

Existuje krátký článek Richarda Feynmana, popisující jeho zkušenost z konference o obecné relativitě. Myslím, že se jednalo o konferenci ve Varšavě roku 1962. Tento článek posuzuje velmi nelichotivě schopnosti zúčastněných a smysluplnost jejich bádání. To, že obecná relativita získala brzy mnohem lepší pověst a zájem o ni vzrostl, je do velké míry zásluha Rogerovy práce. Před ním byla obecná relativita zmatenou směsicí parciálních diferenciálních rovnic v jednom souřadném systému. Lidé měli takovou radost, když našli nějaké řešení, že jim ani nevadilo, že pravděpodobně nemá žádný fyzikální význam. Roger ale přišel s moderními pojmy, jako jsou spinory a globální metody. Byl první, kdo ukázal, že lze nalézt obecné vlastnosti bez přesného řešení rovnic. Byla to jeho první věta o singularitách, která mě přivedla ke studiu kauzální struktury a inspirovala mou klasickou práci o singularitách a černých dírách.

Myslím, že se s Rogerem shodneme na klasických pracích. Odlišujeme se však ve svém přístupu ke kvantové gravitaci,

a dokonce ke kvantové teorii samotné. Ačkoli já sám jsem částicovými fyziky považován za nebezpečně radikálního pro svou hypotézu o možnosti ztráty kvantové koherence, v porovnání s Rogerem jsem zcela konzervativní. Přijímám pozitivistický pohled v chápání fyzikální teorie jako pouhého matematického modelu a považuji za nepodstatné se ptát, zda odpovídá realitě. Jediné, co můžeme požadovat, je, aby její předpovědi byly v soulase s pozorováním. Myslím, že Roger je duší platonik, ale to musí zodpovědět on sám.

Ačkoli existují hypotézy, že prostoročas by mohl mít diskrétní strukturu, já sám nevidím žádný důvod, proč opustit doposud tak úspěšné spojitě teorie. Obecná teorie relativity je nádherná teorie, která souhlasí se všemi zatím provedenými pozorováními. Možná bude potřebovat úpravu na planckovských rozměrech, ale nemyslím, že to ovlivní mnoho předpovědí, které z ní můžeme získat. Může být pouze nízkoenergetickým přiblížením k nějaké fundamentálnější teorii, jako je např. teorie strun, i když myslím, že teorie strun bývá přeceňována. Za prvé, není jasné, zda obecná teorie relativity zkombinovaná s různými jinými poli do teorie supergravitace nemůže dát rozumnou kvantovou teorii. Zprávy o neúspěchu supergravitace jsou přehnané. Jednoho roku všichni věřili, že supergravitace je konečná. Následujícího roku se změnila móda a každý říkal, že supergravitace musí mít divergence, přestože žádné nebyly skutečně nalezeny. Druhým důvodem, proč nebudu diskutovat teorii strun, je, že zatím nepředložila žádné testovatelné předpovědi. Oproti tomu přímočará aplikace kvantové teorie na obecnou relativitu, o které budu mluvit, již dvě testovatelné předpovědi předložila. Jedna z nich – vývoj malých poruch během inflační fáze – se zdá být potvrzena nedávnými pozorováními fluktuací v kosmickém reliktním

záření. Druhá předpověď o tepelném záření černých děr je testovatelná alespoň v principu. Jediné, co musíme udělat, je nalézt primordiální černou díru. Bohužel se nezdá, že bychom jich měli za humny dostatek. Kdybychom totiž měli, asi bychom již věděli, jak kvantovat gravitaci.

Žádná z těchto předpovědí se nezmění, ani pokud teorie strun je konečnou teorií přírody. Ale teorie strun, alespoň na současném stupni svého vývoje, není schopna provést tyto předpovědi jiným způsobem než odkazem na obecnou teorii relativity jako nízkoenergetickou efektivní teorii. Obávám se, že tomu tak může být i ve všech dalších případech a že nemusí existovat žádná předpověď teorie strun, která by nemohla být odvozena z obecné relativity nebo supergravitace. Pokud tomu tak je, naskýtá se otázka, zda teorie strun je opravdu vědecká teorie. Je matematická krása a úplnost dostatečná, pokud neexistují význačně pozorovatelně testovatelné předpovědi? Přitom teorie strun v současné formě není ani krásná, ani úplná.

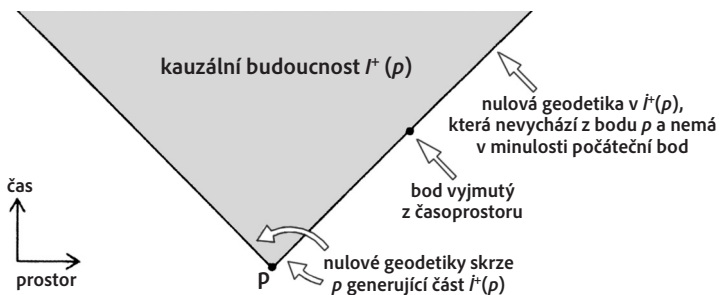
Z těchto důvodů se v následujících přednáškách zaměřím na obecnou teorii relativity. Soustředím se na dvě oblasti, v nichž se zdá, že gravitace vede k důsledkům zcela odlišným od ostatních polních teorií. První odlišností je fakt, že gravitace by měla být příčinou toho, že prostoročas má počátek a možná i konec. Druhou je objev naznačující existenci čistě gravitační entropie, která není důsledkem hrubozrnnosti našeho popisu. Někteří lidé tvrdí, že tyto předpovědi jsou pouze pozůstatkem semiklasické aproximace. Říkají, že teorie strun, pravá teorie gravitace, vyhladí singularity a zavede korelace v záření černých děr tak, že bude pouze přibližně tepelné ve smyslu hrubozrnného pohledu. Bylo by nudné, kdyby tomu tak bylo. Gravitace by byla stejná jako ostatní pole. Ale já věřím, že je podstatně odlišná, protože formuje

jeviště, na kterém sama účinkuje, na rozdíl od jiných polí, která působí v již daném prostoročase. Toto vede k možnosti, že čas má počátek. To též umožňuje existenci oblastí vesmíru, které nemůžeme pozorovat a které jsou základem pojmu gravitační entropie jako míry toho, co neznáme.

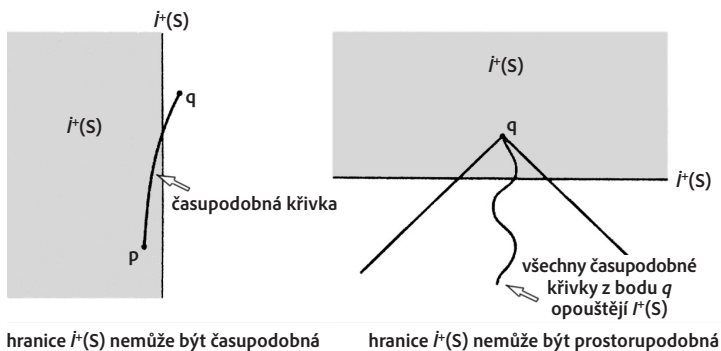
V této první přednášce podám přehled prací v obecné teorii relativity vedoucích k těmto myšlenkám. Ve své druhé a třetí přednášce (kapitoly 3 a 5) ukážu, jak se tyto úvahy mění a rozšiřují s příchodem kvantové teorie. Má druhá přednáška bude o černých dírách a třetí o kvantové kosmologii.

Klíčovou technikou pro zkoumání singularit a černých děr, kterou zavedl Roger a já ji pomohl rozvinout, bylo zkoumání globální kauzální struktury prostoročasu. Definujme kauzální budoucnost  $I^+(p)$  bodu  $p$  jako množinu všech bodů prostoročasu  $M$ , které mohou být dosaženy z bodu  $p$  pomocí časupodobné, do budoucnosti orientované křivky (viz obr. 1.1).  $I^+(p)$  můžeme chápat jako množinu všech událostí, které mohou být ovlivněny tím, co se odehraje v  $p$ . Můžeme zformulovat obdobné definice, v nichž plus nahradíme minusem a budoucnost minulostí. Takové definice budu považovat za samozřejmé.

Dále zkoumejme hranici  $\dot{I}^+(S)$  kauzální budoucnosti množiny  $S$ . Lze snadno nahlédnout, že tato hranice nemůže být časupodobná. V takovém případě by totiž bod  $q$  ležící kousek vně hranice byl v kauzální budoucnosti bodu  $p$  ležícího uvnitř. Stejně tak hranice kauzální budoucnosti nemůže být prostorupodobná s výjimkou hranice množiny  $S$  samotné. V opačném případě by totiž každá křivka orientovaná do minulosti vedoucí z bodu  $q$ , který leží kousek v budoucnosti od hranice, překročila tuto hranici a opustila kauzální budoucnost množiny  $S$ . To je ale spor se skutečností, že  $q$  leží v kauzální budoucnosti  $S$  (viz obr. 1.2).



OBRÁZEK 1.1 Kauzální budoucnost bodu  $p$ .

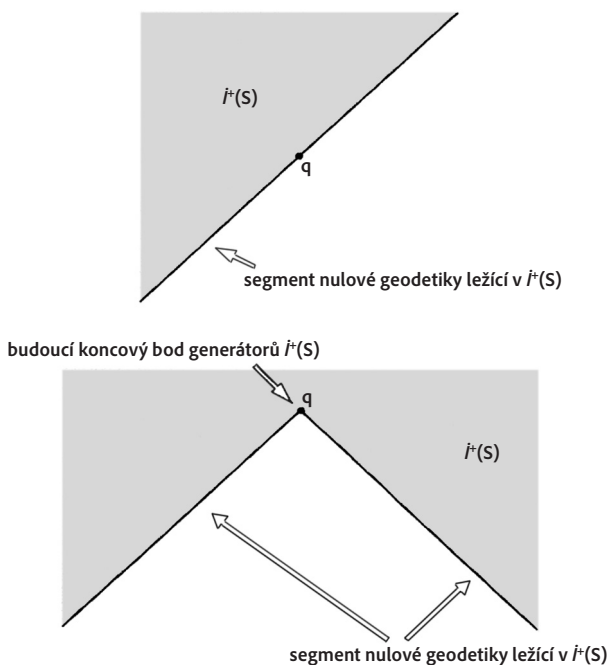


hranice  $I^+(S)$  nemůže být časopodobná

hranice  $I^+(S)$  nemůže být prostorupodobná

OBRÁZEK 1.2 Hranice kauzální budoucnosti nemůže být časopodobná ani prostorupodobná.

Můžeme tedy usoudit, že hranice kauzální budoucnosti má nulový charakter všude mimo množinu  $S$  samotnou. Přesněji: pokud  $q$  leží na hranici kauzální budoucnosti, ale nepatří do uzávěru množiny  $S$ , existuje segment nulové geodetiky orientované do minulosti procházející bodem  $q$  a ležící na hranici (viz obr. 1.3). Může existovat více takových nulových geodetických segmentů procházejících skrze  $q$  ležících na hranici, ale v takovém případě je  $q$  budoucím



OBRÁZEK 1.3 *Nahoře:* Bod  $q$  leží na hranici kauzální budoucnosti, a proto jím prochází segment nulové geodetiky ležící na hranici. *Dole:* Jestliže existuje více než jeden takový segment, je bod  $q$  jejich budoucím koncovým bodem.

koncovým bodem segmentu. Jinými slovy: hranice kauzální budoucnosti množiny  $S$  je generována nulovými geodetikami, které mají budoucí koncové body na hranici a vnikají do vnitřku kauzální budoucnosti, pokud protnou jiný generátor. Na druhé straně, nulové geodetické generátory mohou mít minulé koncové body pouze v množině  $S$ . Je však možné, že v některých prostoročasech existují generátory hranice kauzální budoucnosti množiny  $S$ , které nikdy neprotnou  $S$ . Takové generátory nemají minulé koncové body.