

Truchlivé konce hmotných hvězd

aneb

černé díry

Úvodem

Hvězdy - dynamické útvary se specifickým vývojem.

Vznikají, žijí a umírají.

Na počátku: chuchvalec chladné mezihvězdné látky složený hlavně z H a He (cca 10 molekul v mm^3). Ten se začne svou vlastní gravitací hroutit, a když se v centru zahřeje na 10^7 K a více → zažehnutí TNR (důležité H→He) – jen to oddálí na řadu stovek milionů let další kolaps.

Na konci hvězdného kariéry:

- 1) nejčastěji: bílí a později *černí trpaslíci* – hmotnost Slunce, rozměry Země
- 2) *neutronové hvězdy* – hmotnost Slunce, průměr cca 20 km – předchází výbuch supernovy typu II
- 3) hvězda zcela rozmetána výbuchem *supernovy typu Ia* – kolaps zažehnán
- 4) objekty, které kolapsu podlehly – *černé díry*

Konečný osud hvězdy závisí na její hmotnosti – nejponuřejší varianta (4) je rezervována pro hvězdy trpící nadváhou.

I hvězdy platí za svou obezitu kratším životem a rychlým, neodvratným koncem

Letmé seznámení s černou dírou

ČD – dlouho jen hříčka teoretiků – teprve v současnosti se pro jejich existenci našlo dostatek nepřímých důkazů

Otcové *černé díry* – tehdy jenom „černého tělesa“: John Mitchell, Pierre Simon Laplace – 90. léta 19. stol.

John Mitchell (1793): „Pokud by v přírodě existovala tělesa se sluneční hustotou a průměrem nejméně 500 Sluncí, pak bychom pohledem na ně nezískali žádnou informaci, neboť jejich světlo by k nám pro jejich gravitaci nedoletělo.“

Černé díry – útvary natolik hmotné a husté, že z jejich povrchu neunikne vůbec nic, tedy ani světlo.

Nové dějství – počátek 20. stol. – Albert Einstein publikuje své rovnice *obecné teorie relativity* – teorie gravitace, která gravitační působení vykládá jako zakřivení časoprostoru.

1916 – Karl Schwarzschild podává sféricky symetrické řešení –

Hlavní rozdíl mezi klasickou a obecně relativistickou černou dírou je v tom, že ta druhá se nutně ještě musí zhroutit do bodu!

* * *

Robert Oppenheimer (1939), autor dnešní představy o ČD, ukázal, že pokud se hvězda při svém kolapsu dostane pod gravitační (Schwarzschildův) poloměr, pak navždy zmizí z dohledu. Gravitační poloměr jen funkcí hmotnosti: $R_g = 3 \text{ km} \cdot (M/M_\odot)$.

Název **černá díra** pochází od Johna Wheelera – použil jej na své přednášce v roce 1967 – označil jím oblast, z níž už neuniká světlo. Pomyslná hranice - *horizont událostí*. Na existenci ČD usuzujeme z jejich gravitačních účinků na okolní hmotu.

Hmota v ČD soustředěna v singularitě, ta je pod horizontem skryta. Prohlédne si jen ten kdo se spustí pod tuto mez.

Výprava do černé díry

Naše kosmická loď směřuje do nerotující černé díry $8 M_{\odot}$, s gravitačním poloměrem 24 km. Kromě silného gravitačního pole ČD se ničím neprojevuje, zakřivení prostoru způsobuje zajímavé optické efekty.

Testovací bodová sonda hladce projde horizontem události – tam dojde k záměně prostorové a časové souřadnice – sonda spadne do singularity a signály, které směrem k nám vyslala, tam spadnou za ní. Co naplat, směr chodu času nelze zvrátit!

Brzy poznáváme, že u rozměrnějších objektů nelze pominout slapové síly. Ty začnou vše živé i neživé natahovat na skřípec, cesta však pokračuje...

Ve vzdálenosti 400 km od černé díry nastává katastrofa. Kosmická loď i její posádka podlehnou děsivému tahu – špagety jejich zbytků však pokračují na své posmrtné cestě do útrob černé díry...Vše z bezpečné vzdálenosti sleduje *vnější pozorovatel*.

- Černá díra hvězdných hmotností dokáže slapově rozcupovat i hvězdy, které proletí těsně kolem. Poznamenejme však, že slapové působení není žádná specialita ČD, ba ani efektem OTR – tytéž efekty zakusíme i výprava k neutronové hvězdě – ostatní typy hvězd (BT) jsou na svou hmotnost příliš veliké...

Lze tedy vůbec někdy sestoupit pod obzor události bez úrazu? Jistě – jen je třeba si vybrat vhodnější černou díru.

- Slapové síly $\sim M/R^3 < M/(R_g)^3 \sim M^2$ – u ČD o hmotnosti nad $1000 M_\odot$ lze pod horizont události vstoupit bez nejmenších problémů.

Pokračování výpravy stejné jako u bodové sondy – ani z takové dobrácké díry nelze ani uniknout, ani podat zprávu o průběhu a výsledcích pracovní cesty. Platí to i o supermasívních černých dírách řidších než vzduch.

Jak to vidí vnější pozorovatel?

- Zpočátku stejně, ale pak vstoupí do hry efekt OTR – zakřivení prostoročasu – zpomalení času – kosmická loď k horizontu nikdy úplně nedospěje.
- Pozorování kolapsu hvězdy – rychlý pád, zabrzdění, rychlé zrudnutí a vyhasnutí – z objektu pak už nepřichází žádné záření.



Černá díra + velký třesk – oblíbená ale současně nesmírně matoucí sousloví → velký zájem odborníků i laiků

Černá díra – v myslích mnoha lidí: obávaný obyvatel vesmíru – nenasytné stvůry, které ničí a požírají vesmírné objekty a jednoho dne si smlsnou i na naší Zemi a jejich obyvatelích

- ČD – prázdný prostor, díra, past, která někde číhá, aby nás pohltila, ale je to tak dopravní prostředek, který nám dovoluje cestovat v prostoru i čase.

Jsou černé díry díry?

Snad jedině v tom, že když vám do ní něco spadne, tak se s tím můžete rozloučit.

Díra je to bezedná! Snažíme-li se černou díru zasypat, tak se ještě zvětší – poloměr ČD je úměrný její hmotnosti.

V díře by snad mělo něco chybět, ale tam naopak prokazatelně přebývá! ČD díra není mimo vesmír – se svým okolím interaguje, i když její výrazový rejstřík je poněkud chudičký. Někdy se proto o ČD dírách tvrdí, že jsou holohlavé... (No hair theorem)

- a) Na vzdálené objekty působí jen gravitačně, a to silou, odpovídající hmotnosti, kterou měla zhroucený objekt před kolapsem
- b) Moment hybnosti je týž jako před zhroucením – projevuje deformací prostoru, roztáčí blízka tělesa
- c) Elektrický náboj černé díry je týž jako náboj zhrouceného tělesa

Všechny ostatní vlasaté charakteristiky vzaly při kolapsu za své.

Jsou černé díry skutečně tak výbornými vysavači?

Hvězdné černé díry jsou sice vynikajícími vysavači okolní hmoty, ale mají zcela mikroskopickou hubici. Jejich účinný průřez je neskutečně malý. V mhv. látce za sebou zanechávají tunel o světlosti pár km. Běžné hvězdy jsou mají průřez biliónkrát větší.

Běžné černé díry jsou zcela chladné – oběť si nemohou předebrát a pak si na ni smlsnout, jak to dělají hvězdy s kometami.

Představme si sebevražednou kometu – blíží se po dráze přibližující se jen na 1600 km od obzoru události – kometa projde hladce – slapové působení na jádro je takové jako

působení Měsíce na zemský povrch. Proletí kolem ČD, aniž by si něčeho všimla.

Aby se ke slovu dostaly efekty OTR, musela by proletět blíže než $10 R_g$.

Černá díra ve dvojhvězdě je sice svým gravitačním polem přetáhnout na sebe z druhé hvězdy spoustu látky, ale ta kolem ní krouží dlouhé roky, než se k ní konečně dostane.

Jsou černé díry černé?

Černou díru v principu nelze spatřit – nevysílá záření, jen ho pohlcuje, ale také jej ohýbá – působí jako svérázný optický element – gravitační čočka. Sama je lineárně velice malá – sama nic takřka nic nezakryje, úhlová oblast distorze obrazu hvězdného pole je i o několik řádů větší – tak by se snad mohla prozradit.

Uvážíme-li, že vše může do černé díry a nic nemůže ven, pak by taková měla existovat věčně. Jenže ono se ukazuje, že černá díra není tak úplně černá, ale vždy poněkud září...

Hawking (1974) ukázal, že membrána ČD není ve směru ven tak úplně nepropustná – tu a tam jí protunelují nějaké částice, nejčastěji fotony, méně elektrony a pozitrony a zcela výjimečně orosené růže...

Vyzařování lze popsat jistou teplotou, která je nepřímo úměrná hmotnosti. Energetický výkon $\sim T^4$.

Černá díra září (vypařuje se) na účet své hmotnosti, v průběhu času stále rychleji – poslední s \sim exploze, počátky vypařování velice pozvolné. ČD o hmotnosti Slunce vydrží 10^{66} let.

Černé díry jako kosmický dopravní prostředek

Chcete cestovat časem a prostorem? Najděte si vhodnou ČD:

- Skočíte do černé díry, tam si prohlédnete a zaznamenáte celou budoucnost našeho vesmíru a pak vyletíte z **bílé díry** v nějakém jiném vesmíru. Najdete si pak jinou černou díru pro cestu zpět.
- Cesty po Galaxii si můžete podobně jako Enterprise zkrátit pomocí červích děr, budete-li se nudit, můžete si vyzkoušet černoděrovou smyčku času...

I když se ČD intimně dotýkají prostoročasu a dokáží ho lokálně pěkně zašmodrchat, všechny uvedené nápady jsou předem odsouzeny k nezdaru. Domyslíte-li je, vždy by to vedlo k narušení časové následnosti příčiny a následku, a to je věc, proti níž se příroda náramně dobře pojistila...

Černé díry nesmějí existovat!

Nechtěný duchovní otec ČD – Albert Einstein sám na aplikaci své teorie na reálné objekty nevěřil – vždy počítal s existencí nějaké síly, která by kolapsu zamezila.

Chandrasekhar (1931) ale už byl jiného mínění:

„V celé kvantové teorii nenajdete způsob, jak zabránit tělesu s hmotností větší než 1,5 Sluncí, aby se nezhroutilo do bodu... „

V tomto směru byl spíše výjimkou, mínění ostatních vyjádřil na zasedání Královské astronomické společnosti sám sir Arthur Stanley Eddington:

„Různé náhody mohou hvězdu zachránit, ale já si žádám ochranu důkladnější. Domnívám se, že by měl existovat nějaký přírodní zákon, který by hvězdám nedovolil, aby sešly se světa tak absurdním způsobem!“

Proč takový odpor u tak vynikajícího astrofyzika?

Měl rád hvězdy, vytvořil teorii jejich stability – a teď najednou kolaps - pravý opak stability!

Další vývoj mu nedal za pravdu – byly nalezeny i hvězdné černé díry – příroda hvězdy před osudem ČD neochránila

Jak se hledají černé díry?

Skvělý návod jak odhalit nezářící ČD nám dal před více 200 lety reverend John Mitchell:

Pokud by kolem nějakého takového tělesa shodou okolností obíhal zářící objekt, byla by tu ještě možnost na základě tohoto pohybu usoudit na přítomnost tělesa ústředního...“

Strategie hledání vychází z typu černé díry:

- a) supermasivní ČD v centrech galaxií $10^8 - 10^9 M_{\odot}$ – ty jsou tu od prvopočátku – na ně se nabalovala hmota galaxií v raném vesmíru – ty se běžně pozorují, jedna sedí v naší Galaxii
- b) hvězdné ČD – výsledek závěrečného kolapsu velmi hmotných hvězd → tělesa o hmotnosti 3 až $50 M_{\odot}$

Supermasivní černé díry velmi časté v centru velkých hvězdných seskupení (kulové hvězdokupy), povinně jsou přítomny v centrech galaxií, včetně té naší.

Projevují se gravitačně – nutí k rychlému oběhu oblaka látky poblíž centra i hvězdy, což lze prokázat spektroskopicky. Rozměrově velké jako sluneční soustava, hustota mnohem menší než hustota vzduchu! S tím jak rostou stávají se řidšími.

Aktivní galaxie – galaxie s mimořádně hustými jádry – *kvasary, blazary, Seyfertovy galaxie, rádiové galaxie...*

Hvězdné černé díry – měly by vzniknout ze všech hvězd s hmotností nad $3 M_{\odot}$ - pro ně neexistuje žádné stabilní řešení!

Nejlépe je lze prokázat ve společnosti druhé hvězdy – zjistíme-li v soustavě zhroucený objekt s hmotností nad 3 Slunce musí jít o černou díru.

Takové případy nalezeny byly, ale jsou nesmírně vzácné, mnohem vzácnější než hvězdy s počáteční hmotností nad 3 Slunce!

Rentgenový zdroj Cygnus X-1

Nejstarší kandidát na černou díru – hvězdný zdroj rtg. Záření objevený sondou *UHURU*. Rentgenové záření rychle proměnlivé bez náznaku periodicity (10 ms) – zahřátí vnitřku akrečního disku vnitřním třením – energie z energie gravitační – uprostřed zhroucený objekt s hmotností $9M_{\odot}$ - nutně černá díra. Dárcem hmoty modrý veleobr, vzdálenost 0,27 AU, oběžná doba 5,6 dne.

Jak vznikají hvězdné černé díry?

Zhroucením degenerovaného vnitřku původně mnohonásobně hmotnější hvězdy několik desítek M_{\odot} výbuchem supernovy či dokonce hypernovy. Truchlivé černoděrné konce se tak týkají jen těch nejobéznějších hvězd.

☞ Osuš slzy Eddingtona, vezmi to jako chlap!