Černé díry

M. Vlasák, M. Vajzer
Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1
michal.vlasak@email.cz

Abstrakt:
Poster měl přiblížit širšímu okolí černé díry. A to jak jejich historii poznávání, tak i teorie týkajících se jejich vlastností.

1 Úvod

Termín černá díra je poměrně nový. Zavedl jej v roce 1969 americký vědec John Wheeler, když chtěl názorně označit důležitou vlastnost jednoho z nejpodivuhodnějších druhů kosmických objevů.

Úvahy o možné existenci černých děr jsou však více než dvě stě let staré a poprvé se objevily v době, kdy spolu soupeřily dvě teorie světla.

Roku 1783 napsal John Michell článek do časopisu *Filozofická pojednání královské společnosti v Londýně*. V něm poukázal na to, že hvězda, která je dostatečně hmotná a kompaktní, vytváří tak silné gravitační pole, že z ní neunikne ani světlo. Veškeré světlo vyzářené z povrchu této hvězdy bude její gravitační přitažlivostí vtaženo zpět dříve, než se od ní dostane do větší vzdálenosti. Michell tvrdí, že by mohlo existovat mnoho takových hvězd. Ačkoli bychom je nemohli vidět, protože jejich světlo by k nám nepřicházelo, přesto bychom pociťovali jejich gravitační přitažlivost. Takovéto objekty jsou tím, co dnes nazýváme černými dírami – protože skutečně jsou černou prázdnotou v prostoru.

S podobným tvrzením přišel o několik let později francouzský vědec markýz de Laplace, a to zřejmě nezávisle na Michellovi. Zajímavé je, že je uvedl pouze v prvním a druhém vydání své knihy *Exposition du systéme du monde* (Výklad systému světa) a v pozdějších vydání je vynechal. Ve skutečnosti není zcela důsledné přirovnávat světlo v Newtonově teorii gravitace k dělovým koulím, protože rychlost světla je neměnná. Dělová koule vystřelená vzhůru ze Země bude zpomalována gravitací a nakonec se zastaví a spadne zpět. Foton však musí pokračovat v pohybu vzhůru stálou rychlostí. Jak tedy může newtonovská gravitace působit na světlo? Konzistentní teorie, která to vysvětlovala, se neobjevila až do okamžiku, kdy Einstein v roce 1915 přišel s obecnou relativitou – a i potom trvalo ještě dlouhou dobu, než byly rozpracovány závěry plynoucí z této teorie pro hmotné hvězdy.

2 Vznik černých děr

Představme si hvězdu, jejíž hmotnost dosahuje přibližně desetinásobku hmotnosti Slunce. Taková hvězda může být stará zhruba miliardu let. Po celou tuto dobu produkovala ve svém centru teplo tím, že přetvářela vodík v helium, podobně jako ve vodíkové bombě. Teplo uvolněné tímto procesem vytváří tlak, který dovoluje hmotě hvězdy vzdorovat přitažlivosti vlastní gravitace, jež se ho snaží zmenšit. Takovýto rovnovážný objekt bude mít asi pětinásobný poloměr Slunce. Úniková rychlost, tedy rychlost potřebná k opuštění gravitačního pole hvězdy, na povrchu takového tělesa je kolem 1 000 kilometrů za sekundu. To znamená, že objekt vystřelený z povrchu hvězdy přímo vzhůru rychlostí menší než 1 000 kilometrů za sekundu na ni nakonec znovu spadne účinkem jejího gravitačního pole, zatímco objekt vystřelený větší rychlostí unikne do nekonečna.

Když však hvězda vyčerpá veškeré své jaderné palivo, nemá v ní už co udržovat spád tlaku směrem vzhůru a začne se hroutit účinkem vlastní gravitace. Jak se hvězda smršťuje, gravitační pole na jejím povrchu sílí a úniková rychlost roste. Objem hvězdy se zmenšuje, ale hmotnost zůstává, čili její hustota vzrůstá. V okamžiku, kdy její poloměr klesne na pouhých 30 kilometrů, vzroste úniková rychlost na 300 000 kilometrů za sekundu, tedy nad rychlost světla. Po tomto okamžiku se světlo vyslané z povrchu hvězdy nemůže vzdálit do nekonečna, nýbrž je gravitačním polem vráceno zpět. A protože podle speciální teorie relativity se nic nemůže pohybovat rychleji než světlo, nic také nemůže z hvězdy uniknout.

Výsledkem takového procesu bude černá díra; oblast prostoročasu, z níž nic nemůže uniknout do nekonečna. Hranice černé díry se nazývá horizont událostí. Představuje vlastně čelo vlny, která nemůže uniknout do nekonečna. Každá hvězda má předem určený svůj horizont událostí. Můžeme spočítat jeho poloměr podle vzorce

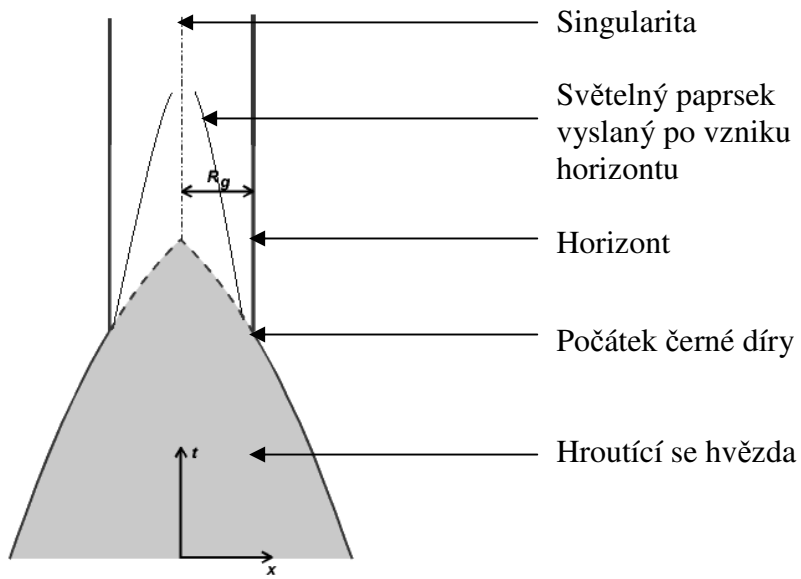
$$r = \frac{2 \cdot G \cdot M}{c^2},$$

r je poloměr horizontu událostí

G je Newtonova gravitační konstanta,

M hmotnost hvězdy

c rychlost světla ve vakuu

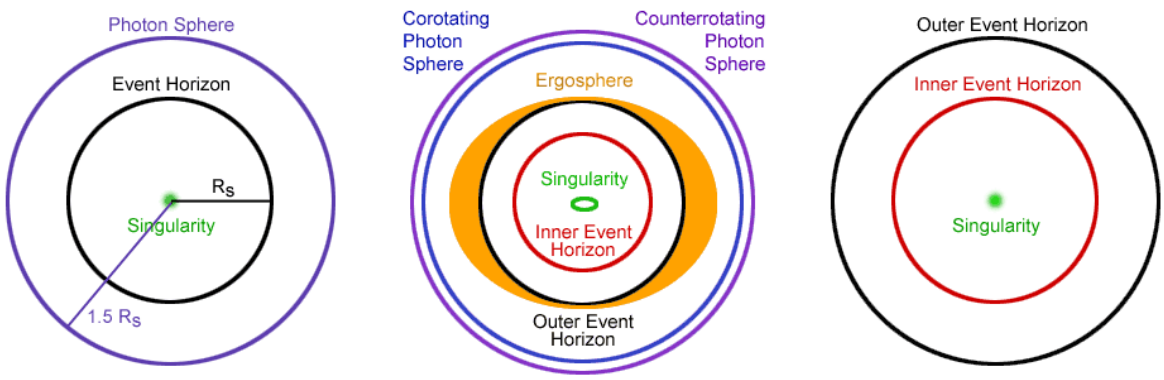


3 Typy černých děr

Černá díra si při vzniku ponechává jen informaci o hmotnosti, momentu hybnosti a náboji. Všechny ostatní atributy materiálu (např. různá kvantová čísla, hmota, antihmota, …) jsou při průchodu horizontem černé díry zapomenuty.

Podle hodnot těchto tří atributů dělíme černé díry na:

1. *Schwarzschildovy černé díry*:
   Mají nenulovou hmotnost, nulový moment hybnosti a elektrický náboj. Každý zkolabovaný sféricky symetrický objekt se stane Schwarzschildovou černou dírou.
2. *Kerrovy černé díry*:
   Mají nenulovou hmotnost a moment hybnosti. Jde o výsledek kolapsu rotujících objektů, typickým jevem je existence ergosféry - oblasti mezi statickou mezí a Schwarzschildovým poloměrem.
3. *Reisnerovy-Nordströmovy černé díry*:
   Nejobecnější možná teoretická forma černé díry s nenulovým nábojem.



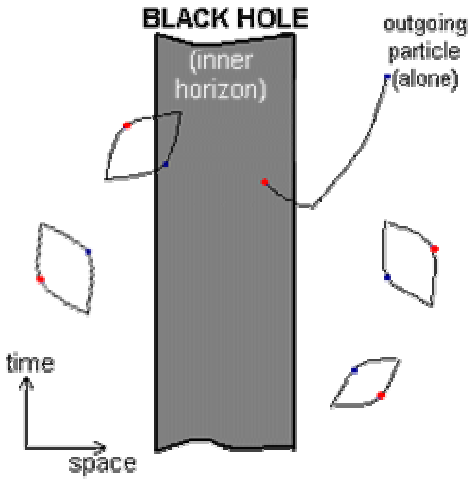
Podle velikosti dělíme černé díry na:

1. *Prvotní* (*primordiální*) *černé díry*: Tyto černé díry by měly mít nepatrné rozměry elementárních částic a mohly vznikat v ranných fázích vývoje Vesmíru. Jestliže existují, měly by díky Hawkingovu vypařování intenzivně zářit.
2. *Hvězdné černé díry*: Tyto černé díry vznikly jako závěrečné fáze hvězdného vývoje a jejich hmotnosti jsou několikanásobkem hmotnosti Slunce. Objekty tohoto typu se v naší Galaxii pozorují.
3. *Galaktické černé díry*: Černé díry s hmotností srovnatelnou s hmotností galaxií nebo jejich jader. Tvoří jádra některých aktivních galaxií, pravděpodobně i naší vlastní Galaxie a jádra kvasarů. Pozorována je řada objektů tohoto typu.

4 Vypařování černých děr

Kvantově mechanický proces v blízkosti horizontu černé díry, který má za následek únik energie z černé díry v podobě vznikajících částic. Tepelné spektrum záření odpovídá absolutně černému tělesu, maximální vlnová délka je rovna Schwarzschildovu poloměru. Čím menší je černá díra, tím intenzivnější je vypařování. Poprvé tento proces popsal S. Hawking. Různé pohledy na tento proces:

- *Kreace páru částice-antičástice*
  V blízkosti horizontu černé díry se mohou vytvářet elementární částice, které odnášejí část energie černé díry. Tento jev je způsoben kvantovými procesy. Ve vakuu neustále vznikají a zanikají páry částice-antičástice. V blízkosti horizontu zůstane jeden člen páru pod horizontem a druhý se pro vnějšího pozorovatele vynoří jakoby z ničeho v blízkosti horizontu. Pár nezanikne, ale jeden člen se dostane pod horizont a druhý se objeví jako nad horizontem jako vyzářená částice.



- *Tunelování částic z nitra černé díry*
  Bariérou je Schwarzschildův poloměr. Čím menší je díra, tím menší bariéra, tím snadnější tunelování, tím více díra září.

- *Pohyb nadsvětelnou rychlostí*
  Pod horizontem se částice po krátkou dobu (tak, aby se nenarušily Heisenbergovy relace neurčitosti) pohybuje nadsvětelnou rychlostí. Nadsvětelná rychlost nevadí – nepřenáší se informace a není pozorovatelná zvnějšku. U malé černé díry postačí kratší doba pohybu nadsvětelnou rychlostí a proces je tak pravděpodobnější.

5 Shrnutí

Posterová prezentace přinesla mnoho otázek, hlavně z oblasti vypařovaní černých děr. Černé díry jsou nejjednoduššími objekty k popisu ve vesmíru, stačí pouhá tři čísla, ale na druhou stranu jsou nejpodivuhodnějšími, co do vlastností.

6 Poděkování

Děkujeme všem autorům populárně vědeckých publikací ze kterých jsme čerpali.

7 Reference

[1] S. W. Hawking, Stručná historie času, Mladá fronta, Praha 1991
[2] S. W. Hawking, Černé díry a vesmír, Mladá fronta, Praha 2002
[3] S. W. Hawking, Ilustrovaná teorie všeho, Argo, Olomouc 2004
[4] I. Novikov, Černé díry a vesmír, Mladá fronta, Praha 1989
[5] K. S. Thorne, Černé díry a zborcený čas, Mladá fronta, Praha 2004
[6] Jillian's Guide to Black Holes, http://www.gothosenterprises.com/black_holes/index.html
[7] P. Voborník, http://www.mikmik.cz/other/fifth/index.htm