

# Pozorování a měření černých děr

Jiří Horák

*Zatímco ještě před čtyřiceti lety, v době konání prvního pražského kongresu IAU, byly černé díry studovány téměř výhradně teoreticky, nyní se těší i velkému zájmu pozorovatelů. Neklamně známky těchto objektů jsou pozorovány v jádrech mnoha aktivních galaxií, v centru Mléčné dráhy i v několika dvojhvězdných systémech v naší Galaxii.*

Z teoretického hlediska je pozoruhodná jejich jednoduchost; ačkoli jde o makroskopické objekty jsou černé díry obvykle určeny pouze dvěma čísly: hmotností a rychlostí své rotace. Rychlost rotace vyjadřuje tzv. spin, který nabývá hodnot mezi 0 a 1. Nula odpovídá nerotující (Schwarzschildově) černé díře a jednička maximálně rotující (Kerrově) černé díře. Podaří-li se určit současně hodnoty obou parametrů, získáme úplnou informaci o černé díře samotné i o gravitačním poli které kolem sebe vytváří. Dvě stejně těžké černé díry se stejným spinem totiž vypadají na vlas stejně a i se stejně chovají.

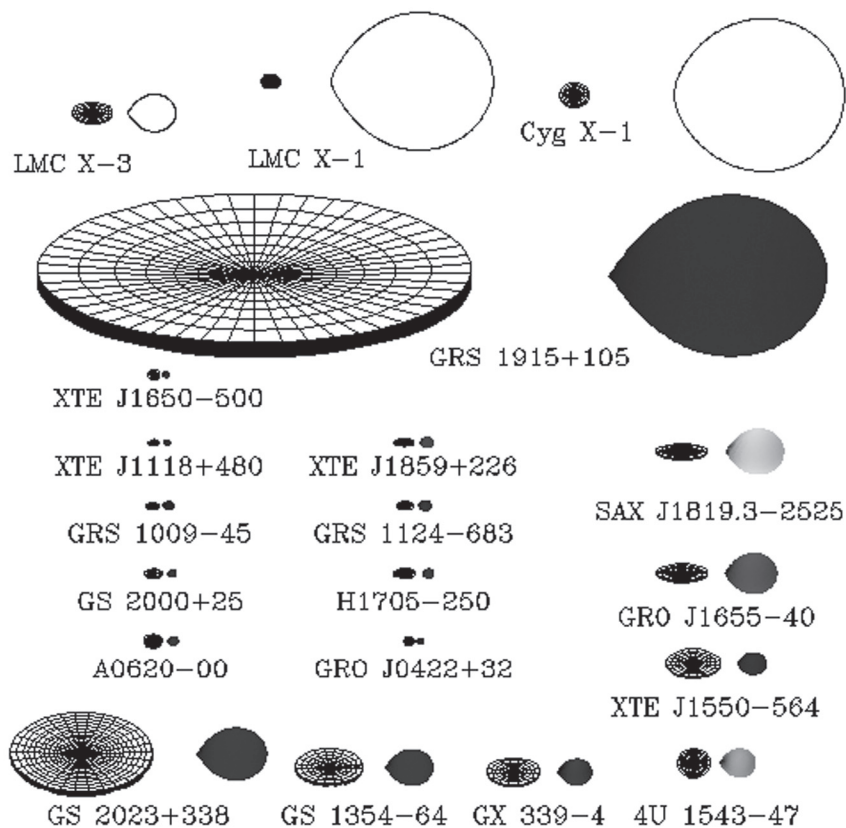
Základní překážkou při pozorování černých děr je jejich „neviditelnost“. Veškerá hmota je soustředěna v tak malém objemu, že z nich žádná informace nepronikne silným gravitačním polem až k vnějšímu pozorovateli. Veškerá pozorování se tak musí soustředit pouze na jevy které se odehrávají v jejich okolí. Hranicí mezi dostupnou a nedostupnou oblastí je tzv. horizont událostí. Díky tomu probíhají důkazy černých děr v podstatě vylučovací metodou: na základě přibližného určení hmotnosti neviditelného objektu a postupným omezením velikosti oblasti, ve které se tento objekt nachází, jsou postupně vylučováni ostatní kandidáti.

Poprvé byl tento postup použit Martinem Reesem a Donaldem Lyndenem-Bellem u zářících jader aktivních galaxií. Velikost oblasti, ze které záření pochází, lze odhadnout z jeho proměnnosti – řádově několika hodinové změny intenzity záření nasvědčují tomu, že nemůže být o mnoho větší než Sluneční soustava, intenzitou však mnohokrát převyšuje záření z celého zbytku galaxie. Zdrojem obrovského

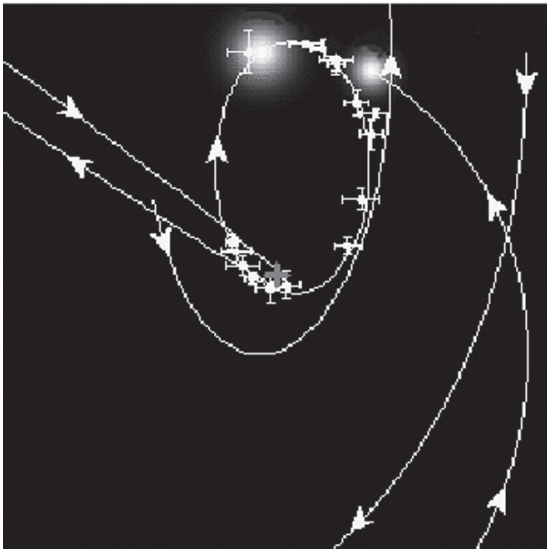
množství energie vyzářené z tak malého objemu může být pouze potenciální energie, kterou ztrácí hmota padající do obří černé díry v samotném jádře Galaxie. V devadesátých letech se začaly množit důkazy méně hmotných černých děr v naší Galaxii. Tyto objekty váží několik Sluncí a vznikají v binárních systémech z těžší hvězdy, která se vyvíjí rychleji a dříve

v ní dohoří jaderné reakce. Jelikož hmotnosti, změřené z pohybu jejich souputníka vychází příliš velké na to, aby mohlo jít o bílého trpaslíka nebo neutronovou hvězdu, jsou tato tělesa považována za černé díry. Bezprostřední okolí těchto děr vyzařuje v rentgenovém oboru a s jejich pozorováním v této části spektra je spjaté jméno Felixe Mirabela. V současné době je jich pozorováno okolo dvaceti (viz Obr. 1). Jako třetí případ lze uvést pozorování skupiny Reinharda Genzela, které se podařilo na základě pohybů blízkých hvězd „zvážit“ obří černou díru ve středu naší galaxie (viz Obr. 2).

Na rozdíl od hmotnosti ovlivňuje rotace černé díry pouze blízké okolí horizontu událostí. K měření spinu je tedy nutné využít jevy, které probíhají v mnohem silnějším gravitačním poli. Jak vypadá nejbližší okolí černých děr? Pokud má díra dostatek „potravy“, obvykle na ni nepadá přímo. Místo toho vytváří tzv. akreční disk ve kterém jednotlivé částice pomalu



**Obr. 1:** Dvacet doložených binárních systémů obsahující černé díry jako kompaktní složku. Obrázky zachycují předpokládanou velikost a inklinaci akrečního disku. Odstíny šedi je pak vyznačen i tvar a typ spoluputující hvězdy. Jejich vzdálenost od černé díry je v největším systému GRS 1915+105 srovnatelná se vzdáleností mezi Sluncem a Merkurem.



**Obr. 2:** Pohyby hvězd ve středu naší galaxie. Z analýzy pozorovaných drah vyplývá že se hvězdy pohybují v silném gravitačním poli obří černé díry o hmotnosti 3,6 mil. Sluncí. Její předpokládaná poloha je vyznačena šedivým křížkem uprostřed obrázku.

ztrácí svou energii (a moment hybnosti) a postupně sestupují na nižší, přibližně kruhové orbity.

Část uvolněné energie odchází ve formě záření, které je pozorovatelné v různých částech elektromagnetického spektra podle hmotnosti akreující černé díry; zatímco akreční disky v jádrech aktivních galaxií září převážně v optickém a ultrafialovém oboru, ty které obklopují lehké černé díry v naší galaxii vyzařují hlavně rentgenové záření. Akreční disky zpravidla sahají až k tzv. poslední stabilní kruhové orbitě, kde se pozvolný sestup částic mění v pád po prudké spirále. A právě poloměr této orbity se významně mění se spinem černé díry. U nerotujících děr je přesně třikrát větší než poloměr horizontu událostí ale čím rychleji černá díra rotuje tím blíže se k němu přibližuje. V extrémním případě maximálně rotujících děr tak akreční disk může končit až téměř na horizontu událostí.

Měření spinu černé díry lze tedy provést měřením vnitřního okraje akrečního disku, který ji obklopuje. Tuto jednoduchou myšlenku není ovšem zdaleka snadné realizovat. Hmotnosti černých děr v jádrech aktivních galaxií se pohybují

v rozsahu několika milionů až desítek miliard hmotností slunce a jejich velikosti se pohybují v řádu astronomických jednotek. Velikosti akrečních disků v těchto objektech lze odhadnout na světelné hodiny, což je při vzdálenosti miliard světelných let příliš málo na to aby je bylo možné přímo pozorovat. Podobné je to u galaktických černých děr jejichž vzdálenost je sice jen několik světelných let ale velikost jejich akrečních disků dosahuje jen stovek kilometrů. Akreční disky je tak možné pozorovat jen prostřednictvím spektra popř. proměnnosti jejich záření. Zcela nedávno se tak detailním modelováním spekter a jejich porovnáváním s pozorováním podařilo změřit vnitřní okraje disků čtyř akrečních disků

v galaktických zdrojích s katalogovými čísly 4U 1543-47, GRO J1655-40, GRS 1915+105, LMC X-3. Odvozené spiny černých děr jsou značně různorodé, např u LMC X-3 se podařilo stanovit pouze jeho horní mez na 0,26, naproti tomu ve zdroji GRS 1915+105 máme možnost pozorovat černou díru rotující se spinem větším než 0,98.

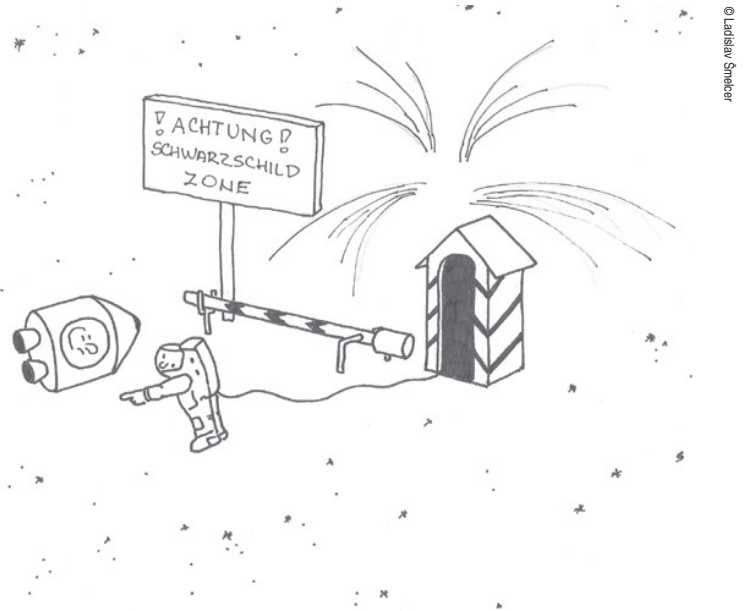
Pokud se tento odhad podaří potvrdit, stane se z tohoto systému vynikající laboratoř pro studium extrémních jevů které probíhají v blízkosti horizontu rychle rotujících černých děr. ■

### Tři hmotnostní třídy černých děr?

Jak se podrobně diskutovalo na pražském kongresu na „černoděrovém“ sympoziu a jak o tom v sousedícím článku píše Jiří Horák, jsme si celkem jisti, že ve vesmíru známe černé díry dvou víceméně extrémních tříd – celkem lehké „hvězdné“ černé díry, které nalézáme jako velmi kompaktní objekty těžší čtyř Sluncí v binárních systémech a kterých nyní známe kolem dvacítky, a pak na opačném konci hmotnostního spektra stojí supertěžké černé díry v jádrech galaxií, zvíci minimálně několik miliónů hmotností Slunce. A co mezitím?

Je možné, že černé hvězdy středních hmotností (to znamená v řádu stovek či tisícovek hmotností Slunce), vůbec neexistují? To se zdá na první pohled jako celkem absurdní varianta, vždyť i ty veliké díry v jádrech galaxií se musely nějak vyvinout. Ale možná lze připustit hypotézu, že miliónová díra sedí v jádru každé galaxie jedna jediná a zbytek černých děr dosahuje jen jednotek slunečních hmotností.

V několika blízkých galaxiích známe extrémně svítivé rentgenové zdroje, které jakoby svědčily o hmotnosti právě takových středněhmotných hvězd ve svém centru. Dynamické důkazy, tedy důkazy na základě pohybu jiných hvězd v blízkosti těchto objektů, však zatím chybí. Ještě podivnější je, že v naší Galaxii po objektech tohoto typu není ani stopy. Takže shrňme – černé díry stovkových či tisícovkových slunečních hmotností možná existují, ale bude extrémně obtížné je najít. ■ **Michael Prouza**



#### Mgr. Jiří Horák, PhD. (\*1978)

vystudoval teoretickou fyziku na MFF UK a nyní pracuje v Astronomickém ústavu AV ČR. Zabývá se fyzikou akrečních disků u černých děr a procesy, které vedou k proměnnosti a polarizaci záření z těchto objektů.  
E-mail: horak@astro.cas.cz