

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Jana Olivová

Stále záhadné černé díry

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 54 (2009), No. 1, 15--22

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/141882>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 2009

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

Stále záhadné černé díry

Rozhovor s F. Mirabelem a A. Eckartem

Jana Olivová, Praha

Snad žádný jiný objekt ve vesmíru nevzbuzuje tolik zvědavosti jako černé díry, jimž dal jméno americký fyzik John Archibald Wheeler. Fascinují pisatele sci-fi, provokují fantazii široké veřejnosti a budí neutuchající zájem fyziků i astronomů. Přes všechno jejich úsilí se stále vzpírají plnému fyzikálnímu poznání: i když některá svá tajemství už přece jen vydaly. Dnes se definují jako gravitačně zhroucené objekty nacházející se uvnitř oblasti dané Schwarzschildovým poloměrem, jejíž gravitační pole je tak silné, že úniková rychlost přesahuje rychlost světla. Z černé díry (přesněji řečeno z oblasti pod tzv. horizontem událostí) tedy nemůže uniknout žádné elektromagnetické záření ani žádná informace, neboť rychlost jejich šíření by musela být nadsvětelná. Pod tímto horizontem se zcela mění charakter prostoročasu.

Existenci černých děr teoreticky předpověděli v rámci Newtonovy fyziky už v roce 1783 anglický geolog John Mitchell a v roce 1795 je zmínil také francouzský astronom a matematik Pierre Laplace. Nejjednodušší černou díru (tedy nerotující, s nulovým elektrickým nábojem a charakterizovanou pouze hmotností) odvodil už z Einsteino- vých rovnic obecné relativity v roce 1916 německý astrofyzik Karl Schwarzschild. Novozélandský fyzik a matematik Roy Kerr uveřejnil v roce 1963 řešení Einsteinových rovnic pro zakřivený prostoročas kolem rotujícího gravitačně zhrouceného tělesa – tedy rotující černé díry. Další teoretické poznávání černých děr je spojeno se jménem slavného britského astrofyzika Stephena Hawkinga, který teoreticky odvodil tzv. kvantové vypařování černých děr a před několika lety vyslovil také hypotézu, že informace se v černé díře nemusí zcela zničit — což by znamenalo řešení tzv. informačního paradoxu černých děr. Jiní teoretikové jsou však k jeho hypotéze zatím skeptičtí. K pokroku na teoretickém poli významně přispěli i další významní matematikové, fyzici a astrofyzici, včetně Rogera Penrose, Kipa Thornea či už zmíněného Johna Wheelera.

Dnes se černé díry dělí podle hmotnosti do několika kategorií — od miniaturních přes hvězdné, tedy objekty hvězdných hmotností, intermediální černé díry o hmotnosti řádově tisíc Sluncí až po obří, supermasivní černé díry – někdy také označované slovem „veledíry“ – o hmotnosti minimálně milionkrát větší než hmotnost Slunce, které se nacházejí v jádrech galaxií a v kvasarech. Třebaže je stacionární černá díra z fyzikálního hlediska plně popsána pouhými třemi veličinami: hmotností, momentem hybnosti a elektrickým nábojem, mají tyto exotické objekty některé zvláštní vlastnosti, které si astronomové a fyzici nedovedou dosud zcela přesně vysvětlit, a na mnoho otázek ještě nebyly nalezeny jasné odpovědi: Jak mohou některé černé díry nabýt

Mgr. JANA OLIVOVÁ, Český rozhlas 3 – Vltava, Vinohradská 12, 120 99 Praha 2, e-mail: jana.olivova@cro.cz

svých ohromujících hmotností? Jakou roli hrají ve vývoji galaxií a celého vesmíru? Co je vlastně uvnitř černých děr? Nám známé fyzikální zákony v nich přestávají fungovat — jaké tam tedy platí? Jak vypadá ono něco, co vědci označují slovem „singularita“ v samém středu černých děr? Jak se tam mění prostor a čas? Představuje tato singularita spojku s jiným vesmírem? Jak je to s entropií černých děr? Kromě teoretiků se snaží odhalit jejich tajemství samozřejmě i pozorovatelé a experimentátoři: Jelikož černé díry nelze pozorovat přímo, ale prozrazují se pouze svými gravitačními účinky, trvalo řadu let, než jejich předpokládanou existenci potvrdili také pozorovatelé.

O výzkum černých děr se výrazně zasloužil i FÉLIX MIRABEL, představitel Evropské jižní observatoře – ESO – v Chile, který se zúčastnil Valného shromáždění Mezinárodní astronomické unie v Praze v roce 2006. V přednášce pro toto shromáždění¹⁾ konstatoval, že zatímco donedávna byly černé díry často považovány za exotické objekty, jejichž existence je sporná, v posledních desetiletích se objevily pádné pozorovací důkazy svědčící o přítomnosti supermasivních černých děr ve středech galaxií, černých děr hvězdných hmotností v binárních systémech a možná i intermediálních černých děr.

Současná fyzika podle Félix Mirabela naznačuje, že kompaktní objekty v dvojhvězdných systémech s hmotností vyšší než $4 M_{\odot}$ musí být černé díry. Již známe asi 20 takových systémů. Má se ovšem za to, že jde jen o špičku ledovce. Otevřenou otázkou však podle něho zůstává existence intermediálních černých děr. Na základě spektrálních vlastností ultrasvitivých rentgenových zdrojů v blízkých galaxiích byl vysloven předpoklad, že některé z nich obsahují černé díry o hmotnostech stovek a možná tisíců Sluncí. Nebyly nicméně nalezeny žádné dynamické důkazy získané na základě pohybu těles obíhajících kolem takovýchto objektů a nesvědčí o nich jednoznačně ani další parametry. Intermediální černé díry tedy mohou existovat, ale obtížně se hledají. Při své návštěvě České republiky nám Félix Mirabel zodpověděl i několik otázek:

Jana Olivová: Černé díry se řadí k nejzajímavějším objektům ve vesmíru a z velké části pro vědce stále zůstávají záhadou. Co tedy jsou vlastně černé díry podle současných poznatků a proč jsou pro vědce tak důležité?

Félix Mirabel: Černé díry předpověděl již Einstein — nebo přesněji: jsou důsledkem jeho obecné teorie relativity. Ačkoli z ní vyplývají, Einstein sám jejich existenci nepřijal z gnozeologických důvodů. Ovšem před několika desetiletími, zhruba před 30 lety, začali astronomové vážně zvažovat možnost, že černé díry možná skutečně existují a jsou výsledkem zhroucení velmi hmotných hvězd nebo jádra velmi hmotných hvězd. Až do doby před zhruba deseti lety se však o existenci černých děr pochybovalo. V posledním desetiletí, a zejména v posledních letech, máme nicméně solidní důkazy, že černé díry skutečně existují a že hrají významnou úlohu například při utváření galaxií. A máme v zásadě jasné důkazy pro dva typy černých děr – černé díry, které jsou pozůstatkem po těch nejhmotnějších hvězdách, a ty černé díry, jejichž hmotnost se

¹⁾ I. F. Mirabel: *Black holes: from stars to galaxies*. Proceedings IAU Symposium No. 238 (Prague 2006): “Black Holes from Stars to Galaxies — across the Range of Masses”. Cambridge University Press, 2007, 2:309–314.

rovná několika málo hmotnostem Slunce – a dále supermasivní černé díry nacházející se v dynamických centrech galaxií. A na tomto Valném shromáždění Mezinárodní astronomické unie v Praze jsme vyslechli referáty o nesmírně pozoruhodných výsledcích, které získala Evropská jižní observatoř – ESO – pomocí dalekohledu VLT na Paranal: jedná se o dynamické důkazy supermasivní černé díry ve středu naší Galaxie o hmotnosti asi 4 milionů hmotností Slunce.

J. O.: Co míníte oněmi dynamickými důkazy o existenci supermasivní černé díry ve středu naší Galaxie?

F. M.: Mám na mysli to, že se více než desetiletí sledoval pohyb hvězd a zjistilo se, že hvězdy na obloze se pohybují kolem jednoho bodu v galaktickém středu, odkud nevychází žádné světlo — a přitom se jedná o oblast vesmíru, která vykazuje přitažlivost odpovídající 4 milionům hvězd podobných našemu Slunci. Tato gravitace se neprojevuje přímo, ale projevuje se svým vlivem na pohyb hvězd. Právě v důsledku tohoto vlivu se konkrétně hvězdy obíhající kolem zmíněného bodu pohybují stejně jako komety kolem Slunce. S použitím jednoduché klasické mechaniky, Newtonovy fyziky, můžeme z tohoto pohybu hvězd dovodit, jaká je hmotnost uvedeného objektu nevyzařujícího žádné světlo. Právě z tohoto důvodu mu říkáme *černá díra* — je černá, protože nevyzařuje. A dynamickým důkazem se míní přesně tento pohyb hvězd.

J. O.: Je přítomnost supermasivní černé díry jediným možným vysvětlením tohoto podivného pohybu hvězd kolem středu naší Galaxie? Vědci totiž právě v této době intenzivně diskutují o tzv. temné hmotě a temné energii. Nemohou ty vysvětlit onen pozorovaný pohyb hvězd?

F. M.: To, čemu astronomové říkají „temná hmota“, je v zásadě forma hmoty, která také působí gravitační silou, ale je v naší Galaxii široce rozprostřena. Někteří astronomové navrhli existenci černé veledíry v této oblasti: první důkazy o pohybu hvězd v centru naší galaxie totiž naznačovaly přítomnost velké hmoty – 4 miliony Sluncí – soustředěné do oblasti o stejném poloměru, jaký má oběžná dráha Země kolem Slunce. Objevily se i domněnky, že by nemuselo jít o černou díru, ale místo toho by to mohl být jen shluk velmi kompaktních těles – neutronových hvězd nebo jiného typu zvláštních hvězd: Fyzika, jak ji známe, ale ukazuje, že by tento shluk byl nestabilní, že by nemohl existovat trvale — tak, jako existuje tento objekt. Pokud by šlo o kupu kompaktních těles, poměrně rychle by se rozpadla. To je tedy velmi pádný důkaz. Řekl bych, že to je nejsilnější důkaz hovořící pro existenci černé veledíry v naší vlastní Galaxii. Nyní však máme důkazy, že formování černých veleděr je velmi těsně spojeno s formováním jejich hostitelské galaxie, v níž se nacházejí. Také jsou nyní stále zřejmější důkazy, že při vývoji struktury vesmíru byla tvorba galaxií pevně svázána s tvorbou těchto černých děr — nevíme však, zda byly tyto černé díry takříkajíc semínky pro formování galaxií, nebo zda naopak vznik hvězd v galaxiích byl semínkem pro vznik těchto černých děr. To je jedna z otevřených otázek, které si v současné době klademe. Je ale jasné, že černé veledíry hrají v některých případech ve vztahu ke struktuře galaxie významnou roli. Co se týče menších černých děr o hmotnosti rovnající se několika málo hmotnostem Slunce, na této konferenci byly prezentovány

zprávy o 20 objektech, o kterých s určitostí víme, že jsou to kompaktní hmotné objekty nevyzařující světlo — a opět: z dynamiky hvězd, z toho, jak se hvězdy pohybují kolem tohoto temného bodu na obloze, víme, že podle nám známé fyziky tato tělesa musí být černé díry. Kdo by nechtěl připustit myšlenku černých děr, ten by musel v určitém směru změnit celou nám známou fyziku.

J. O.: Řekl jste, že černé veledíry se tvoří ve středech galaxií. Formují se všichni stejným mechanismem a ve všech galaxiích, které pozorujete, nebo se v raných fázích vývoje vesmíru tvořily hojněji — či vznikají častěji nyní? Mají o tom astronomové a astrofyzikové nějakou představu?

F. M.: Ano. Máme důkazy, že černé díry – ty nejhmotnější, supermasivní černé veledíry se vytvořily velmi časně v průběhu evoluce vesmíru. V současné době máme stále přesvědčivější důkazy, že pouhých pár desítek milionů let po velkém třesku probíhal prudký proces formování černých veleděr. A to je opět jedna z otázek, na které neznáme přesnou odpověď: Jak se mohly vytvořit tak rychle?

J. O.: Už bylo řečeno, že Albert Einstein nepřijal existenci černých děr a že zákony fyziky, tak jak je známe v současné době, v samém středu černých děr nefungují, že naše fyzika se nehodí pro vysvětlení existence singularit ve středu černé díry. Co vědci potřebují k tomu, aby tento jev mohli objasnit?

F. M.: Albert Einstein neakceptoval existenci černých děr kvůli matematickým singularitám. Při řešení příslušných rovnic například pro hustotu těchto těles vychází, že je nekonečná. A s tím se on nechtěl smířit. Dnes máme jiný gnozeologický přístup. Uznáváme, že existuje horizont, že černé díry jsou tělesa, jež mají hmotnost, mají setrvačnost, zakřivují prostoročas, nemají však pevný povrch — a pojem „horizont“ je základním pojmem definujícím černou díru. Myslím si tudíž, že je třeba změnit v zásadě spíš naše pojetí vědy, než aby se nějak měnila obecná relativita sama. Změny tedy doznává gnozeologie, která nás nutí uznat, že pro rovnice obecné relativity mohou být řešením funkce s nekonečnými hodnotami.

J. O.: Jak se stavíte k představám, že černé díry mohou být místy, jež nás spojují s jinými vesmíry? Přijímáte myšlenku multiverza?

F. M.: Musím říct, že podle mého názoru ta možnost existuje. Jsem ale v tomto ohledu dost zdrženlivý. Řekl bych, že v zásadě nestojím ani na jedné straně, ovšem představa multiverza má za to, že kdybychom konkrétně překročili horizont černé díry, určitě bychom se dostali do dalšího pozorovatelného vesmíru. Avšak to my podle mého názoru nevíme — a v tom právě spočívá pojem horizontu: není jasné, co je za ním. Přijímám tedy hypotézu, že z pozorovacího hlediska jsou to vesmíry, které jsou spojené, nevím ovšem, jestli se z ontologického pohledu jedná o multiverza. To podle mne v tuto chvíli nevíme. Multiverza předpovídá ve skutečnosti teorie strun, která však nebyla ověřena. Je to krásná teorie — a kvůli tomu, že je krásná a že má velkou syntetizující schopnost, jsou někteří lidé přesvědčeni, že musí být správná a v souladu s realitou. Podle mého názoru se však dosud neuskutečnil žádný její skutečný test.

J. O.: Jaká je hlavní otázka týkající se černých děr, na kterou byste rád brzy znal odpověď?

F. M.: V podstatě jde o otázku, kterou se zabývám: totiž jak se utvořily černé veledíry a zejména jak se mohly ty nejmasivnější vytvořit tak rychle po velkém třesku. To nám zatím není jasné. Fakticky však diskutujeme i o tom, jak vznikají černé díry hvězdných hmotností. Ani to nám není jasné. Jednou z otázek, které si klademe, je, jestli při hroucení nejhmotnějších hvězd na černou díru dochází k výbuchu supernovy, nebo ne. Důkazy si protiřečí: na základě chemie jejího hvězdného průvodce lidé říkají že ano, že hvězdné černé díry vznikají prostřednictvím přirozeného výbuchu supernov. Na druhé straně však existují důkazy, že velmi hmotné a velmi svítivé hvězdy mohou vytvořit černou díru i bez supernovy. Takže se díváte na velmi svítivou hvězdu na obloze — a náhle, když se vyčerpá jaderné palivo, hvězda prostě zmizí, aniž by to doprovázel nějaký světelný jev. To jsou tedy otázky, které právě formulujeme: konkrétně jak tyto nové, záhadné entity vznikly.

Přímá měření radiálního pohybu hvězd v jádru naší Galaxie (jejich přibližování a vzdalování vůči nám) na základě Dopplerova posuvu spektrálních čar astronomové považují za dosud nejpřesvědčivější důkaz existence černé díry v této oblasti. Mezinárodní tým astronomů pod vedením vědců z Ústavu Maxe Plancka řadu let sledoval pohyb hvězd kolem nejjasnějšího rádiového zdroje u galaktického středu – Sagittaria A* (Sgr A). Zjistili, že vlastní pohyb těchto hvězd je příliš velký vzhledem k rychlostem jejich radiálního pohybu. Příčinou by mohl být nezářivý, temný objekt o hmotnosti několika milionů hmotností Slunce, ve vzdálenosti zhruba 26 000 světelných let od nás.

* * * * *

Autorka tohoto článku se dále zeptala člena zmíněného týmu, profesora ANDREASE ECKARTA, který nyní působí ve Fyzikálním ústavu Univerzity v Kolíně nad Rýnem, na další podrobnosti.

J. O.: Vědci mají v současné době dost přesvědčivé důkazy, že v centru naší Galaxie se nachází obří černá díra — jakým způsobem dokázali její existenci?

A. E.: Existují různé způsoby, jimiž věda dokázala, že v centru naší Galaxie se nachází černá veledíra. Hlavní přímý důkaz přineslo pozorování hvězd, které v centru Galaxie kolem něčeho obíhají. Nejnapadnější je hvězda, kterou nazýváme S2. Její oběžná doba je asi 15 let a my jsme dokončili její měření na celé oběžné dráze. Takže vidíme, že na obloze obíhá kolem nějakého tělesa — a z toho můžeme pomocí Keplerových zákonů fakticky vypočítat hmotnost tohoto tělesa. Zjišťujeme tak, že v těchto místech je ve velmi malé oblasti soustředěna hmota odpovídající asi 4 milionům hmotností Slunce. Jediná fyzikální forma, v níž se může takové množství hmoty nacházet, je přitom velmi hmotná černá díra. Pro existenci takové velmi hmotné černé díry hovoří i další jev: totiž, že tento zdroj zároveň vysílá záření a je silně proměnlivý. Tuto proměnlivost vidíme v rádiovém pásmu. Také v infračerveném pásmu pozorujeme,

že tok záření je polarizovaný a jeho hustota silně proměnlivá. Pozorujeme též silná vzplanutí v rentgenovém oboru spektra. Víme přitom, že k těmto vzplanutím dochází simultánně v infračerveném a rentgenovém pásmu — což může znamenat jediné: jde o netepečný mechanismus a procesy, k nimž tam dochází, s největší pravděpodobností doprovázejí akreci hmoty na disk obklopující černou veledíru ve středu Galaxie.

J. O.: Astronomové nyní vědí, že uprostřed prakticky každé velké galaxie se nachází černá veledíra. Tyto objekty jsou stejné povahy — co vypovídají o původu a vývoji vesmíru?

A. E.: Černé veledíry mají samozřejmě různou hmotnost a v závislosti na této své hmotnosti a také na prostředí, v němž se nacházejí, více či méně září. V případě naší Galaxie jde o nejmenší černou veledíru, jakou známe, její hmotnost se rovná pouhým 4 milionům hmotností Slunce. Sedí uprostřed velkého seskupení hvězd a mezihvězdné hmoty a je obklopena několika desítkami velmi svítivých hvězd spektrální třídy O, což jsou velmi horké hvězdy, jež kolem ní obíhají velkou rychlostí. Víme z jiných galaxií, ještě daleko svítivějších, že je tam zjevně daleko víc hmoty, která může padat na akreční disk. Opravdu pozorujeme výtrysky vycházející z center těchto cizích galaxií, jež ve skutečnosti dokazují přítomnost obří černé díry v jejich jádře. V případě středu naší Galaxie zatím důkazy o takových výtryscích nemáme, i když máme důkazy o jevech způsobovaných hvězdným větrem, který zjevně proudí z hvězdy z oblasti Sagittarius A* nebo z horkých hvězd v jeho blízkosti a má vliv na tamní mezihvězdné prostředí.

J. O.: Říkáte, že zatím nevidíte žádné výtrysky z černé díry v centru naší vlastní Galaxie. Znamená to, že se vytvořila trochu jiným způsobem, nebo že naše Galaxie je mladší, menší nebo jinak odlišná od těch ostatních?

A. E.: Myslím si, že naše Galaxie se v současné době nachází ve fázi, kdy se hmota akreovaná do centrální oblasti přeměnila na velký počet velmi hmotných hvězd. Jak víme, z těchto hvězd proudí silný hvězdný vítr — pozorujeme to z jejich spekter. Tento silný vítr v současnosti brání tomu, aby se do těsné blízkosti černé veledíry dostávala další hmota. A samozřejmě, jak už jsem říkal, černá veledíra ve středu naší Galaxie je nejmenší, jakou známe. Očekáváme tedy v této oblasti menší aktivitu než například u kvasarů, které jsou velmi jasné a nacházejí se v kosmologických vzdálenostech. Kdyby se naše Galaxie a černá díra v jejím středu přesunuly do velké vzdálenosti, například do takové, z níž pozorujeme kvasary, neviděli bychom ji. Byla by příliš málo svítivá.

J. O.: Nicméně, pokud vím, v blízkosti černé díry se pozorují mladé hvězdy — a ty by tam být neměly. Jak si vysvětlujete jejich existenci?

A. E.: Ano, přítomnost mladých hvězd je problém, je to obtížně vysvětlitelné. S největší pravděpodobností tam však probíhá tvorba hvězd nějakým jiným mechanismem, než jakým se tvoří hvězdy například ve víceméně klidných molekulových mračcích v discích galaxií. Nejpřesvědčivější z hypotéz, které v této souvislosti vznikly a které by mohly vysvětlit přítomnost mladých hvězd v blízkosti velmi hmotné černé díry, zní, že se tam akreovalo velké množství plynu a prachu – molekulové mračno – a že toto molekulové mračno vytvořilo kolem černé veledíry ve středu Galaxie disk. V tomto

disku pak vznikly zmíněné hvězdy podobným způsobem, jakým vznikne například planetární systém, kde máte disk prachu a plynu kolem centrální hvězdy — a v tomto disku se utvoří planety. V případě černé veledíry by zde tedy byla velmi hmotná černá díra s velmi hmotným diskem kolem sebe — a v tomto disku by mohly vznikat hvězdy. Poté, co se zformovaly hvězdy, začíná z nich proudit hvězdný vítr, který zbytek disku rozpráší. A my právě teď pozorujeme mladé hvězdy, které tu zbyly a dál se vyvíjejí.

J. O.: Vědci už dnes vědí hodně o černých dírách, přesto stále zůstává hodně neznámých, mnoho otázek nezodpovězených. Které jsou podle vašeho názoru ty nejdůležitější?

A. E.: Například vývoj velmi hmotných černých děr, jak černé veledíry interagují s okolním prostředím, zejména v galaktických výdutích ve středu galaxií, kde se nacházejí. Už nyní víme, že existuje souvislost mezi hmotností černé veledíry a hmotností galaktické výduti, v níž se nachází. To naznačuje, že jak černé veledíry, tak galaktické výduti, tedy galaxie celkově, se vyvíjely současně. Takže o sobě navzájem zcela zjevně „vědí“ — a my tuto souvztažnost nacházíme. Jak ovšem tento jejich vzájemný vztah skutečně vzniká a jak se v průběhu času – v kosmických měřítcích – vyvíjí, to teprve musíme prozkoumat.

J. O.: Černé díry se také řadí k nejzajímavějším objektům ve vesmíru, protože z nich nemůže uniknout žádné světlo, žádná hmota. Nicméně zhruba před 30 lety Stephen Hawking objevil mechanismus nazvaný „vypařování černých děr“ a před několika málo lety naznačil, že dokonce informace, která spadne do černé díry, nemusí být ztracená. Jak se na tento aspekt díváte?

A. E.: Ano. Stephen Hawking přišel s něčím, čemu se říká „Hawkingovo záření“. Jde o interakci černé díry s jejím okolním prostředím — a tuto interakci musíme vysvětlit pomocí kvantové fyziky. Ta nás fakticky vede k předpokladu, že extrémně malé černé díry, o hmotnosti několika málo gramů nebo tak nějak, se v důsledku této interakce vypaří, zmizí. Informace tedy může skutečně uniknout z horizontu událostí – a také hmota spojená s touto informací – což pak vede k vypaření černé díry. Tento proces však nemá velký význam pro velmi hmotné černé díry. U nich může k Hawkingovu záření také docházet, ale nebude mít žádný vliv na jejich vývoj. Interakce černých děr s jejich okolím však může být velmi intenzivní. Pokud máte rotující černou díru, prostoročas kolem ní získává zvláštní strukturu — nazývá se ergosféra. Kolem rotující černé díry tak existuje oblast, odkud lze fakticky odčerpávat energii rotující černé díry a takto způsobit zpomalení otáčení černé díry — můžete tedy teoreticky ovlivnit její rotaci. Pro rotující černé díry je tu dost možností interakce mezi nimi a jejich okolím.

J. O.: Astronomové a astrofyzikové nyní velmi intenzivně studují otázku tzv. temné hmoty. Do jaké míry mohou být černé díry zodpovědné za tuto chybějící hmotu ve vesmíru?

A. E.: O temné hmotě z pohledu galaxií se často mluví v tom smyslu, že se předpokládá její největší soustředění ve středech galaxií. Existuje však také teoretická práce, podle níž by tato soustředění temné hmoty – pokud vznikají – byla opět rozbita

při vzájemném působení galaxií nebo dokonce v procesu splývání galaxií. Domnívám se, že to může platit pro větší galaxie, jako je naše, o hmotnosti řádově několikrát 10^{12} – tedy několik bilionnásobků hmotnosti Slunce – kde k takovým interakcím dochází, nebo při splývání i menších galaxií. Takže například efekty doprovázející splynutí Magellanova mračna a naší Galaxie nebo v budoucnu možná splývání Andromedy a Galaxie by zničily shluky skryté látky ve středech těchto galaxií. Myslím, že to je zajímavé téma a výzkum v této oblasti stále pokračuje.

J. O.: Vraťme se k naší Galaxii a černé díře v jejím středu. Co ve vztahu k ní ještě zůstává nezodpovězeno?

A. E.: Rádi bychom získali ještě přímější důkaz o přítomnosti této velmi hmotné černé díry, protože černá veledíra ve středu naší Galaxie je skvělou laboratoří pro studium vlivu hmoty na její okolí. Hmotnost této veledíry je, jak už jsem říkal dříve, 4 miliony hmotností Slunce a nic z toho, k čemu tam dochází z hlediska interakce s hvězdami, s mezihvězdným plynem, nelze studovat v laboratoři. Jediný způsob, jak zkoumat fyzikální procesy v extrémních podmínkách a jak zjistit víc o našich fyzikálních modelech, je studovat mezihvězdnou hmotu a hvězdy v blízkosti velmi hmotné černé díry. Z toho důvodu je tak důležité, abychom shromáždili všechny možné střípky důkazů, které nám mohou něco víc prozradit o přesné povaze tohoto zdroje ve středu Galaxie. Ačkoliv jsme už shromáždili dostatek důkazů, je nesmírně důležité pokračovat v měření dalších zmíněných vzplanutí, postavit přístroje s větším úhlovým rozlišením, abychom mohli sledovat hvězdy, které jsou ještě blíže než S2, a abychom získali podrobné informace o struktuře disku kolem Sagittaria A* nebo o možné existenci výtrysků z této oblasti.

J. O.: Jaké vědecké přístroje už máte k dispozici ke studiu těchto jevů a jaké ještě potřebujete?

A. E.: Právě nyní používáme zařízení pro výzkum v infračerveném oboru spektra, která nabízí Evropská jižní observatoř – ESO. Tam můžeme studovat střed Galaxie s využitím adaptivní optiky s 8m teleskopy ESO, kde se dosahuje velkého úhlového rozlišení. To nám umožňuje odlišit Sagittarius A* v místech, kde se nachází velmi hmotná černá díra, od ostatních hvězd. Díváme se přímo k Sagittariu A*. Další důležitý nástroj, který využíváme, je radiointerferometrie. V květnu 2007 jsme provedli rozsáhlý experiment s využitím VLBA, což je soubor velkých antén, který můžeme využít k simulování velkého teleskopu, jenž by měl průměr jako celá Země. Díky tomu se budeme moci podrobně podívat na okolí Sgr A* v rádiovém oboru spektra. Doufáme, že v budoucnu obě tyto metody ještě rozvineme. Interferometrie v infračerveném pásmu bude důležitá, abychom nastínili strukturu disku a prokázali správnost modelu oběhu kolem nějakého bodu, a také ke sledování dráhy hvězd v bezprostřední blízkosti Sgr A*. V rádiovém oboru půjde o interferometrická pozorování na vlnové délce 1 mm, což nám fakticky umožní podívat se zblízka na akreční disk. Doufáme, že tak spatříme tzv. stín černé díry na pozadí okolního zářícího disku, který zvyšuje rádiové záření ze Sagittaria A*. Na to se těšíme.