

NGC 4647

M60

M60 UCD1

DEVAKY KUNNERIATH
VLADIMÍR KARAS

Nejhustší galaxie

Záhadné fosilie z kosmického dávnověku

Klasifikace galaxií se v minulých letech rozšířila o kategorii ultrakompaktních trpasličích galaxií. Z hlediska pozoruhodnosti nejde jen o nejhustší hvězdná seskupení. Mají všechny ve svém jádru superhmotnou černou díru? Proč je poměr jejich hmotnosti a svítivosti větší než u ostatních galaxií?

Galaxie jsou vesmírné ostrovy tvořené zářícími hvězdami společně s mezihvězdným plynem a prachem. Obsahují také množství chladnoucích pozůstatků někdejších hvězd, které již spotřebovaly veškeré své jaderné palivo, a hypotetickou temnou hmotu, jejíž existence a složení jsou stále předmětem vzrušené debaty. Galaxie mají rozličné tvary a hmotnosti, od trpasličích systémů s několika tisícovkami hvězd až po gigantické soustavy s mnoha triliony sluncí. Určující silou, jež váže jednotlivé komponenty dohromady, je gravi-

tační přitažlivost. Ta stojí i za vznikem superhmotných černých děr nacházejících se v jádrech většiny galaxií. V průběhu posledních čtyř desetiletí jsme se stali svědky pozoruhodného posunu v pohledu na existenci nezářící hmoty ve vesmíru, a to především díky přesné astrometrii pohybů hvězd, měření jejich koncentrace a záření, které vypovídají o přítom-

Devaky Kunneriath, Ph.D., (*1983) po ukončení doktorských studií v oboru radiové interferometrie v International Max Planck Research School na německé Universitát zu Köln působí od r. 2011 v Astronomickém ústavu AV ČR. Spolupracuje s Národní radioastronomickou observatoří (NRAO) v Charlottesville.

Prof. RNDr. Vladimír Karas, DrSc., (*1960) vystudoval matematickou fyziku na Matematicko-fyzikální fakultě UK v Praze. V Astronomickém ústavu AV ČR se zabývá relativistickou astrofyzikou a aktivními galaxiemi. Je spoluřešitelem projektu „Centrum Alberta Einsteina pro gravitaci a astrofyziku“ v Praze.

←← 1. Na tomto snímku z Hubbleova kosmického teleskopu je zachycena eliptická galaxie M60 spolu se svým souputníkem, ultrakompaktní trpasličí galaxií M60-UCD1, a další blízkou spirální galaxií NGC 4647 (ilustrace: NASA, Space Telescope Science Institute, European Space Agency).

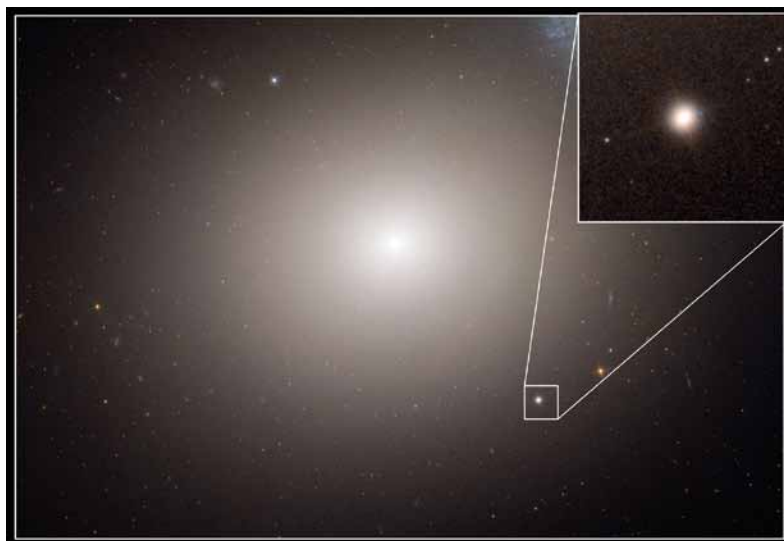
nosti temných kompaktních těles a temné rozptýlené hmoty na různých škálách.

Podle těchto měření jsou v centru prakticky všech galaxií přítomny superhmotné černé díry. Tvrzení o všudypřítomnosti kosmických černých děr je pochopitelně dost překvapivé a snad i těžko uvěřitelné. Jde o jednu z nejpodivuhodnějších předpovědí Einsteinovy teorie v režimu velmi silné gravitace. Asi bychom však takovým závěrem neměli být příliš překvapeni, protože je to přímý důsledek výlučně přitažlivého charakteru gravitační síly a jejího dalekého dosahu. Nepochybně překvapivý je však objev početné nové třídy hvězdných soustav obsahujících tyto zvláštní objekty. Ultrakompaktní trpasličí galaxie jsou tvořeny velmi starými hvězdami (typicky 8 až 12 miliard roků, tedy jen o málo mladšími než kosmos) a zároveň představují nejhustší hvězdné systémy, jaké se astronomům dosud podařilo nalézt.

Ultrakompaktní trpasličí galaxie tvoří třídu neobvykle malých a hustých galaxií. Zřejmě jsou ve vesmíru poměrně hojně zastoupeny. Svou morfologií připomínají kulové hvězdokupy – přísně sférické soustavy převážně starých hvězd vyskytující se v početném zastoupení v halu naší vlastní Galaxie – a zatím není známo, zda vznikaly podobným způsobem, nebo zda jde o zcela odlišné kosmické útvary. Astronomové označují tyto nově nalezené galaxie zkratkou UCD (z anglického Ultra-Compact Dwarf), jež do astronomického slovníku přibyla teprve na začátku 21. století – je to nová a do značné míry dosud nepoznaná kategorie!

UCD jsou nejhustší galaxie, jaké známe. Objeveny byly jako vedlejší produkt spektroskopické přehlídky klastru galaxií Fornax ve stejnojmenném souhvězdí (Pec je název jednoho z 88 souhvězdí moderní astronomie, leží na jižní obloze). Dosahují rozměru jen několika desítek světelných roků, jsou tedy tisíckrát menší než naše Mléčná dráha. Velikostí odpovídají ultrakompaktní trpasličí galaxie spíše centrálním hvězdokupám, které se nalézají ve středu četných velkých galaxií včetně naší vlastní Galaxie. Jaderné hvězdokupy jsou však vnořeny do mohutného galaktického disku, zatímco UCD se jeví jako samostatné útvary. To mimo jiné znamená, že pokud bychom měli možnost přenést se do takové hvězdné soustavy a podívat se v ní na noční oblohu, spatřili bychom na nebi okem tisíckrát víc hvězd, než kolik jich vidíme při pohledu na noční oblohu ze Země.

Scénář vzniku ultrakompaktních trpasličích galaxií je dosud nejasný a astronomové spekulují o několika možnostech. Jako nejpravděpodobnější se jeví dva vývojové kanály. Prvním z nich je interakce dvou galaxií při jejich blízkém přiblížení a následná sla-



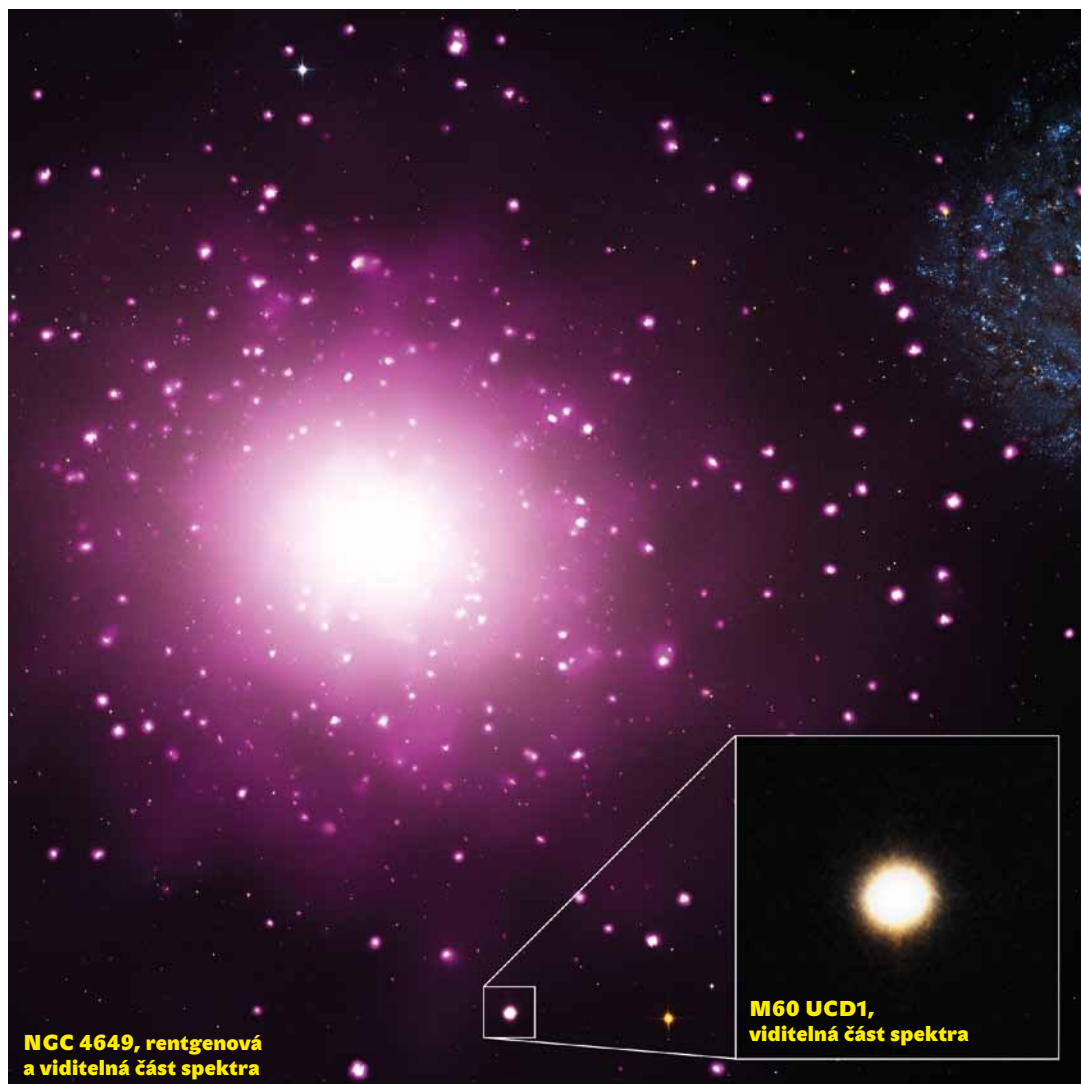
2. Detail soustavy velké eliptické galaxie M60 a ultrakompaktní trpasličí galaxie M60-UCD1. Výřez ukazuje oblast UCD1 v maximálním rozlišení Hubbleova kosmického dalekohledu. Černá díra ve středu UCD1 není na optickém snímku nijak patrná – její vliv se ukáže teprve při podrobném měření rychlostí, jimiž se hvězdy pohybují kolem jádra této nejhustší známé galaxie ve vesmíru (ilustrace: NASA, Space Telescope Science Institute, European Space Agency).

pová destrukce jedné z nich, té méně soudržné, po níž zůstane pouze centrální oblast s hustou hvězdokupou – UCD. Druhou možností je to, že jde o určitý druh velkých kulových hvězdokup, možná snad produkt spojení několika hvězdokup, které se ve vesmíru potkaly a navzájem splýnuly.

Měření svítivosti ultrakompaktních galaxií (dané souhrnným výkonem jejich hvězd) a jejich celkové hmotnosti (určené dynamicky na základě pohybů hvězd) záhy odhalila zvláštní nesoulad: poměr mezi hmotností a zářivým výkonem je viditelně vyšší, než by odpovídalo kanonické populaci hvězd, jak je tomu v běžných galaxiích nebo kulových hvězdokupách.

To může být důsledek různých vlivů, z nichž však každý je značně neobvyklý. Možným vysvětlením je přítomnost velmi hmotné černé díry uvnitř UCD, která, jako je tomu ve velkých galaxiích, přispívá k celkové hmotnosti, ale ne ke svítivosti hvězdné soustavy. Logicky tomu odpovídá i zvýšená disperze rychlostí (rozptyl jejich rychlostních vektorů) hvězd, které cítí přitažlivost centrální černé díry a v jejím důsledku obíhají rychleji. Pro astronomy by tato možnost neznamenal velkého překvapení, protože většina běžných galaxií také obsahuje centrální superhmotnou černou díru. UCD by tak mohly být pozůstatky dávných galaxií, které se při svém pohybu setkaly s jinou galaxií a vzájemnou kolizí ztratily většinu svých hvězd – až na kompaktní hvězdokupu v jádru.

Alternativní vysvětlení se zdají méně pravděpodobná. Jako jedna z méně pravděpodobných možností se diskutuje neobvyklá populace hvězd s nestandardním vývojem a rozložením hmotnosti a luminozity. Někjaký podstatnější vliv temné hmoty se v případě galaxií typu UCD jeví spíše nepravděpodobný právě z důvodu jejich enormní kompaktnosti. Vzhledem k trvajícím nejistotám v teo-



3. Dvojice galaxií M60-UCD1 na snímku družice Chandra. Rentgenové paprsky jsou na tomto záběru zobrazeny růžovou barvou a zachycují převážně těsné dvojhvězdy, jež jsou v tomto spektrálním oboru velmi aktivní. Rovněž patrná je ultrakompaktní galaxie UCD1, která je ukázána i ve výřezu na optickém snímku z Hubbleova dalekohledu. Rentgenové záření přicházející z jádra UCD1 je pravděpodobně projevem zahřívání plynu, který je přitahován gravitací superhmotné černé díry, jež ho nakonec pohltí (ilustrace: NASA/Space Telescope Science Institute/Chandra X-Ray Observatory/ Michigan State University).

rii hvězdného vývoje a původu temné hmoty však ani tyto alternativní varianty nejsou zcela vyloučené.

Podle dnešních učebnic astronomie se tvoří a narůstá superhmotná černá díra společně s hostitelskou galaxií. Platí mezi nimi přímá úměrnost: čím větší je hmotnost černé díry, tím mohutnější je i centrální výduť galaxie a tím více hvězd je v této oblasti kolem jádra obsaženo. Je-li scénář vzniku UCD jako důsledku srážky dvou galaxií správný, bude to znamenat, že jde o kvalitativně jiné útvary, než jakými jsou kulové hvězdokupy. U těch se centrální černé díry nevyskytují a mechanismus jejich formování je odlišný od způsobu, jakým vznikají galaxie, i když větší na ostatních charakteristikách včetně vzhledu, hmotnosti, velikosti a stáří hvězdné populace hovoří pro blízkou souvislost mezi UCD a kulovými hvězdokupami.

Extrémní příklad ultrakompaktní trpasličí galaxie se nachází ve vzdálenosti 20 000 světelných roků od středu velké eliptické galaxie M60. Objekt s katalogovým označením M60-UCD1 má ve viditelném světle magnitudu 16 a leží ve vzdálenosti více než 54 milionů světelných roků od Země. Je součástí velkého klastru galaxií Virgo v souhvězdí Panny. Svítivost M60-UCD1 odpovídá 41 milionům sluncí, avšak velikost dosahuje nece-

lých 80 světelných roků. (Hvězdné soustavy nemají přesně daný rozměr – prostorová hustota hvězd směrem od středu postupně klesá; v daném kontextu se velikostí rozumí poloměr, na kterém se produkuje polovina celkového zářivého toku galaxie.)

Globální pohyb hvězd v této trpasličí galaxii svědčí o její celkové rotaci, v jejímž důsledku vykazuje dobře patrnou odchylku od sférické symetrie – zploštění. Nejpřekvapivější výsledek se však týká hmotnosti černé díry v jádru UCD1, která činí 15 % celkové hmotnosti této galaxie. Tak vysoký podíl znamená, že černá díra přímo gravitačně ovlivňuje celou galaxii. V jejím středu dosahují rychlosti pohybu hvězd až 400 tisíc km/h, což je řádově víc, než by byl očekávaný pohyb bez přítomnosti černé díry. Nikdy dříve nebyla podobně velká relativní hmotnost černé díry vůči zbytku galaxie zaznamenána. Většinou dosahuje podíl hmotnosti soustředěné v centrální černé díře, jakkoli se jedná o superhmotné těleso, mnohem menší hodnoty v řádu zlomku procenta, a tudíž nějaké přímé ovlivnění celého hvězdného ostrova není možné.

O přítomnosti černé díry v M60-UCD1 svědčí také detekce časově proměnného rentgenového signálu z tohoto zdroje. Rentgenové záření vzniká podle všeho v mezihvězdném plynu, který se enormně zahřívá během



pádu do černé díry. Takový proces často pozorujeme v jádrech galaxií, avšak nikoli v kulových hvězdokupách. Rentgenové záření tak může napomoci k pochopení, který ze scénářů vzniku UCD má blíž k realitě. V současnosti se proto zabýváme akrecí plynu a jeho termální nestabilitou v podmínkách UCD, protože míra záchytu hmoty černou dírou musí být poměrně velká a působení nestabilit dává naději tento proces pochopit. Vzhledem k velké vzdálenosti těchto objektů je namísto opatrnosti v interpretacích měření (jde o extragalaktické útvary). Ultrakompaktní galaxie jsou na hranici rozlišitelnosti, a tak nelze vyloučit například ani záměnu s rentgenovou emisí vznikající při akreci v kompaktní dvojhvězdě. Pokud se však nakonec prokáže, že hmotné černé díry jsou přítomné uvnitř všech nebo v převážné většině UCD, bude to znamenat, že populace těchto temných kompaktních těles je ve vesmíru mnohem početnější, než jsme se dosud domnívali. Po prvotním objevu nyní specializované pozorovací programy nacházejí ve značných počtech další dosud neznámé UCD.

Superhmotná černá díra se nachází také ve středu galaxie M60, kolem níž trpasličí galaxie obíhá. V případě M60 ukazují měření hmotnosti černé díry na monstrózní hodnotu 4,5 miliardy hmotností Slunce. Vlivem

4. Spirální galaxie M104 „Sombrero“ je od nás vzdálena 50 milionů světelných roků. Je známá především díky prachovým strukturám zakrývajícím její rovňkovou část při pohledu z boku. Zajímavá je však i neobvykle velkým množstvím kulových hvězdokup, které obíhají v halu obkružujícím tuto galaxii. Teprve v nedávné době se podařilo tyto hvězdokupy podrobněji prozkoumat a potvrdit, že některé z nich jsou ve skutečnosti víc než hvězdokupy – ultrakompaktní trpasličí galaxie (ilustrace: European Southern Observatory – ESO).

gravitačního tření se budou jádra obou galaxií k sobě postupně přibližovat, až nakonec jejich černé díry splynou. Zajímavé je i srovnání mezi ultrakompaktními trpasličími galaxiemi a jadernou hvězdokupou uprostřed naší Galaxie. Přestože UCD patří k nejhustším galaxiím, přímo v centru Mléčné dráhy nalezneme ještě kompaktnější hvězdokupu. Zdá se tedy, že nejhustší známou soustavu hvězd máme téměř za humny. γ

K DALŠÍMU ČTENÍ

- [1] D. Kunneriath et al.: Multiple accretion events as a trigger for Sagittarius A* activity, The Galactic Center: Feeding and Feedback in a Normal Galactic Nucleus, Proceedings of the International Astronomical Union 303, 320, 2013.
- [2] A. C. Seth et al.: A supermassive black hole in an ultra-compact dwarf galaxy, Nature 513, 398, 2014.
- [3] J. Strader et al.: The densest galaxy, The Astrophysical Journal 775, L6, 2013.