

Přesvědčivý důkaz existence supermasivních černých dvojděr v aktivních galaktických jádrech

Proměnlivost jetů blazarů odráží precesi způsobenou obíhajícími černými dírami v centrech galaxií

Mezinárodní výzkumný tým pod vedením Silke Britzen z Institutu Maxe Plancka pro radioastronomii v německém Bonnu zkoumal blazary, akreující supermasivní černé díry v centrech galaxií. Blazary představují aktivní galaxie, jejichž rychlé výtrysky horké plazmy, tzv. jety, směřují přímo k Zemi. Vědci prezentují důkazy, že za pozorovanou proměnlivost blazarů je ve skutečnosti zodpovědná precese jetů, způsobená buď přítomností druhé masivní černé díry v blízkosti primární, nebo pokřiveným akrečním diskem kolem jediné černé díry.

Jejich výsledky jsou prezentovány v časopise Astrophysical Journal.

Výrazem "blazary" vědci označují nejdramatičtější příklady v zoo aktivních galaktických jader (AGN), akreujících supermasivních černých děr v centrech galaxií. Objevují se, když jeden z emitovaných proudů plazmy, tzv. jetů, směřuje přímo k nám, k Zemi.

Výsledky desetiletí trvajících sledování blazarů byly vždy interpretovány tak, že časté a výrazné zjasnění těchto jetů, tzv. vzplanutí, je spojeno s vyvržením shluků plazmy z jádra do jetu, což vede k náhlému zesílení emise.

Jety blazarů jsou často zakřivené a ne tak rovné, jak by se dalo očekávat. Předpokládalo se, že klikaté struktury jetů souvisejí s vyvržením oblaků plazmy z jádra. Původní teorie tvrdí, že zakřivené jety i zjasnění AGN mají náhodný charakter - v závislosti na krmení a aktivitě černé díry. V průběhu let však stále podrobnější výsledky pozorování zpochybňují tuto možná až příliš jednoduchou příčinnou souvislost.

Nový článek v prestižním časopise Astrophysical Journal zpochybňuje tento zavedený vztah mezi vymrštním a vzplanutím u jasných a silně proměnných blazarů. "Předkládáme důkazy a diskutujeme možnost, že za pozorovanou proměnnost je ve skutečnosti zodpovědná precese jetu, způsobená buď supermasivní binární černou dírou u paty jetu, nebo - což je méně pravděpodobné - deformovaným akrečním diskem kolem jediné černé díry," říká Silke Britzen z Max Planck Institutu pro Radioastronomii v německém Bonnu, vedoucí autorka studie.

Když jety krouží v důsledku precese, tento otáčivý pohyb přirozeně přináší periodické změny také v intenzitě, a to v důsledku Dopplerova zasilujícího efektu, viz zjednodušené schéma tohoto jevu na obr. 1. Tento jev byl v průběhu mnoha let zjištěn u řady jetů AGN.

V případě OJ 287 - nejlepšího kandidáta na přítomnost binární supermasivní černé díry - Silke Britzen a její tým ve svém článku o OJ 287 jako "Rosettské dosce blazarů" (REF) prokázali precesní původ silných změn jasnosti a zakřivení jetu. Tým nyní aplikoval stejný model na další blazary. Na vzorku 12 významných AGN článek ukazuje, jak lze proměnlivost jasnosti a zakřivení jetu skutečně vysvětlit pomocí modulační síly precese.

Autoři nezpochybňují, že skrytá a těžko uchopitelná fyzika jetů může být způsobena také vnitřními interakcemi v jetu, které vysvětluje tzv. "shock-in-jet" model, nestabilitami v paprsku jetu nebo energetickými magnetickými rekonexemi. Navrhují však, že vzhled jetů je silně modulován a měněn

precesi. V podstatě by tyto jety nevypadaly tak zakřivené a jasné, kdyby nebyly zesíleny vlivem precese.

Opuštění koncepce "jedna ku jedné" mezi zesílením emise a výtryskem oblaků plazmy, tedy rádiových komponent jetu, umožňuje zkoumat vzájemné působení dynamického systému, který je v podstatě hezky předvídatelný, protože jej lze chápat z čistě geometrického hlediska.

"Proměnlivost blazarů v mnoha galaxiích nemusí mít převážně stochastickou, ale deterministickou povahu," pokračuje Silke Britzen. "Je fascinující rozluštit vnitřní fungování této mašinerie černých děr pomocí studia proměnnosti."

Jedním z nejdůležitějších důsledků této studie je, že zakřivení jetů pravděpodobně vypovídá o existenci binárních černých děr v centru těchto galaxií. Jet je tedy nucen se stáčet v důsledku gravitačního vlivu druhé černé díry na černou díru emitující jet. Kromě toho se týmu podařilo odhalit stopy nutačního pohybu s menší amplitudou v rádiových světelných křivkách i v kinematice komponent jetu - efekt druhého řádu a další důkaz precese.

"Fyzika akrečních disků a jetů je poměrně složitá, ale jejich prostorovou kinematiku lze přirovnat k jednoduchým gyroskopům - pokud na akreční disk působí vnější kroutící moment, například prostřednictvím obíhající sekundární černé díry, dojde k jeho precesi a nutaci a spolu s ním tento pohyb vykonává i jet, podobně jako u osy rotace Země, kterou ovlivňuje Měsíc a Slunce," dodává Michal Zajaček z Masarykovy univerzity (Brno, Česká republika), spoluautor studie.

Rádiová pozorování dosahují nejvyššího rozlišení v astronomických pozorováních díky propojení radioteleskopů na velmi velké vzdálenosti pomocí rádiové interferometrie s velmi dlouhou základnou (VLBI). Jedná se o stejnou techniku, která umožnila kolaboraci Event Horizon Telescope (EHT) poprvé zobrazit stín černé díry a pozorovat černou díru o hmotnosti 6,5 miliardy Sluncí v galaxii M87.

Hledání těchto blízkých párů supermasivních binárních černých děr probíhá již několik desetiletí a připomíná úsilí nutné k nalezení jehly v kupce sena.

"Stále nám chybí dostatečné rozlišení, abychom mohli existenci supermasivních binárních černých děr zkoumat přímo. Zdá se však, že precese jetů poskytuje nejlepší stopu těchto objektů, jejichž existenci očekává nejen komunita odborníků na černé díry / AGN, ale také komunita odborníků na gravitační vlny, kteří nedávno publikovali důkazy o existenci kosmického gravitačního pozadí v důsledku gravitačních vln emitovaných při splynutí masivních černých děr v průběhu kosmické historie," uzavírá Silke Britzen.

Další informace:

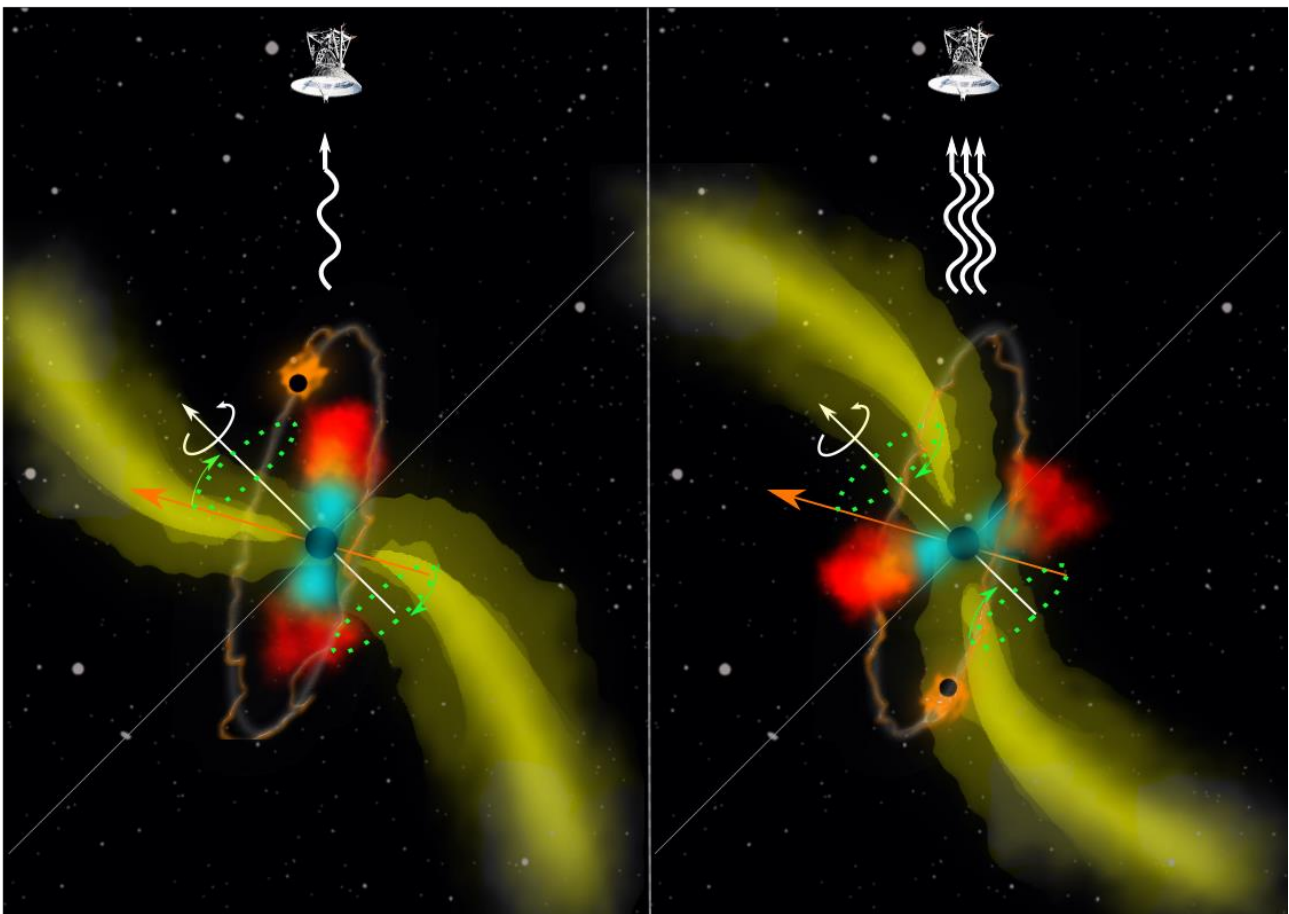
Supermasivní černé díry se obvykle nacházejí v centrech galaxií. V aktivních galaxiích se předpokládá, že akrece hmoty na centrální černou díru vytváří obrovské množství energie, které může zastínit celou galaxii - tyto centrální oblasti, označované jako aktivní galaktická jádra (AGN), jsou nejsvětivějšími trvalými zdroji ve vesmíru.

Z centrální oblasti supermasivní černé díry jsou pomocí silného magnetického pole vypouštěny prodloužené bipolární proudy plazmatu pohybující se relativistickou rychlostí, tzv. jety.

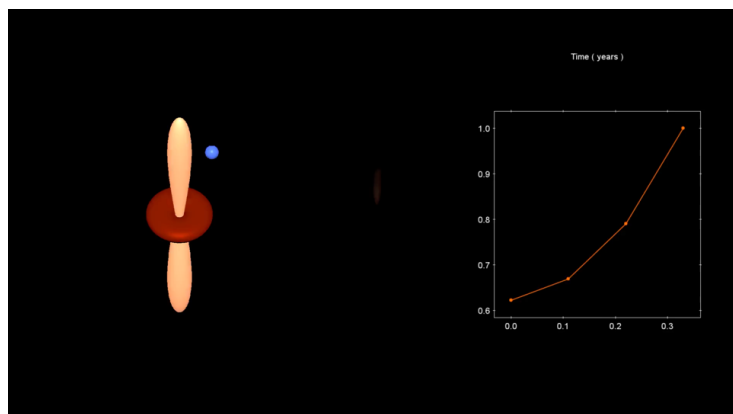
V rámci jetu jsou pozorovány jasné části, tzv. složky jetu, které se pohybují podél jetu. Rychlost těchto složek se často může jevit jako nadsvětelná, což je geometrický efekt, který zdánlivě vykazuje

rychlosti převyšující rychlost světla. To však není v rozporu s Einsteinovou speciální relativitou, protože to lze snadno vysvětlit jako důsledek známého relativistického projekčního efektu. Jelikož se materiál jetu pohybuje rychlostí blízkou rychlosti světla a směřuje k pozorovateli, pozorovaná rychlost se jeví jako zvýšená, protože pozorovaný čas příchodu světla se zkracuje, jak se složka pohybuje směrem k pozorovateli. Současně je intenzita zesílena tzv. dopplerovským zesílením, které lze nezávisle ověřit různými způsoby, tj. studiem proměnnosti jasnosti jetů. Fyzikální procesy, které vysvětlují, jak tyto složky zpočátku vznikají, jsou dosud neznámé.

Mezinárodní výzkumný tým tvoří Silke Britzen, Michal Zajaček, Gopal-Krishna, Christian Fendt, Emma Kun, Frédéric Jaron, Aimo Sillanpää a Andreas Eckart, kteří působí na Max Planck Institutu pro radioastronomii, Masarykově univerzitě, ve výzkumném centru v Mumbai, Max Planck Institutu pro Astronomii v Heidelbergu, na Univerzitě v Bochum, na Technické univerzitě ve Vídni, observatoriu Tuorla (Finsko) a Kolínské univerzitě.



Obrázek 1: Ilustrace znázorňující jet (žlutá) konající precesy v důsledku supermasivní binární černé díry v centru galaxie. Větší supermasivní černá díra je znázorněna černě v centru uvnitř akrečního disku, který obsahuje teplejší (modrá) i chladnější (červená) plyn. Bílá šipka označuje rotaci větší černé díry. Druhá černá díra obíhá (oranžově) kolem centrální supermasivní černé díry a oranžová šipka ukazuje orientaci jejího orbitálního momentu hybnosti. V důsledku vychýlení pohání otáčivý moment sekundární černé díry precesi akrečního disku i jetu (zelený kroužek a šipky). Rádiová emise je vyznačena bílými zakřivenými čarami. Radioteleskop ukazuje směr k pozorovateli na Zemi. Oba obrázky názorně ukazují, jak se jet stáčí a jak vzniká proměnlivost rádiové emise. Jet na obrázku vpravo se otáčí směrem k pozorovateli, a proto se na obloze jeví jasnější - proto je viditelná silnější rádiová emise. (Autor: Michal Zajaček/ UTFA MUNI)



Obrázek 2:
Animace ukazuje,
jak precese jetu
(vlevo) vede ke
změně jasnosti
rádiového záření
(vpravo). (Autor:
Wolfgang Steffen)

Původní článek

S. Britzen et al.: “*Precession-induced Variability in AGN Jets and OJ 287*”, in The Astrophysical Journal, 951, 106. DOI: 0.3847/1538-4357/acbbbc

<https://doi.org/10.3847/1538-4357/acbbbc>

Další informace (odkazy):

MPIfR, Radio Astronomy / VLBI Research Department

<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/research/vlbi>

Monitoring Of Jets in Active galactic nuclei with VLBA Experiments (MOJAVE)

<https://www.cv.nrao.edu/MOJAVE/>

Event Horizon Telescope (EHT)

<https://eventhorizontelescope.org/>

International Pulsar Timing Array (IPTA)

<https://ipta4gw.org/>

Souběžné a dřívější tiskové zprávy

Astronomers Capture First Image of a Black Hole, MPIfR Press Release, April 10, 2019

<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/pressreleases/2019/4>

The Rosetta stone of active galactic nuclei deciphered, MPIfR Press Release, July 21, 2018

<https://www.mpifr-bonn.mpg.de/pressreleases/2018/9>

Kontakt

Dr. Silke Britzen

Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn.

Tel: +49 228 525-280

Email: sbritzen@mpifr-bonn.mpg.de

Dr. Michal Zajaček

Masaryk University, Brno, Czech Republic.

Tel: +420 549 496-508

Email: zajacek@physics.muni.cz

Prof. Christian Fendt

Max-Planck-Institut für Astronomie, Heidelberg.

Tel: +49 6221 528-387

Email: fendt@mpia-hd.mpg.de

Dr. Norbert Junkes,

Press and Public Outreach,

Max-Planck-Institut für Radioastronomie, Bonn.

Tel: +49 228 525-399

Email: njunkes@mpifr-bonn.mpg.de