

# Aktivní galaxie jako standardní svíčky: Může za nesrovnalosti prach?

## Pozadí

Jak a kdy vznikl vesmír? Kdy vznikly první hvězdy a galaxie? Jaký je osud vesmíru?

Standardní kosmologický model známý také jako LambdaCDM (Lambda - Cold Dark Matter neboli Lambda chladná temná hmota) dokáže odpovědět na většinu těchto otázek, včetně vlastností velko-  
rozměrové struktury vesmíru - a to jak v jeho současné podobě, tak i v minulosti, kdy se první struktury  
teprve formovaly. V tomto referenčním modelu, který je do značné míry v souladu s pozorováními,  
představuje kosmologická konstanta Lambda temnou energii tvořící 70% z celkového energetického ob-  
sahu současného vesmíru, a je zodpovědná za zrychlené rozpínání vesmíru, které bylo poprvé odhaleno  
pomocí supernov typu Ia. Zbývajících 30% energetického obsahu tvoří hmota, které dominuje dosud  
neznámá temná hmota, zatímco běžná baryonová hmota, která se nachází ve hvězdách, planetách a  
lidech, tvoří jen asi pět procent.

Navzdory mnoha úspěchům vedlo posledních deset let měření lokálních supernov a analýzy kos-  
mického mikrovlnného pozadí k několika nesrovnalostem mezi kosmologickými parametry, které by  
mohly naznačovat problémy se standardním modelem kosmologie za předpokladu, že data nejsou sys-  
tematicky chybná. Zejména došlo k výraznému rozdílu v naměřené rychlosti rozpínání nebo Hubblově  
konstantě, když se hodnota určená na základě měření kosmického mikrovlnného pozadí porovná s  
místními pozorováními výbuchů supernov. Aby se zjistilo, zda je tento rozdíl způsoben systemat-  
ickými problémy jednotlivých souborů dat, nebo zda jde o skutečný problém modelu LambdaCDM,  
hledají se alternativní kosmologické “sondy”. Jedním z nich jsou kvazary, což jsou aktivní galaktická  
jádra hostící akreující supermasivní černé díry, které lze detekovat od lokálního vesmíru až po období,  
kdy se první galaxie teprve formovaly. Umožňují tak přemostit lokální měření supernov se vzdálenými  
kosmologickými sondami, jako je kosmické mikrovlnné pozadí. Mohou nám kvazary pomoci vyřešit  
současné kosmologické problémy?

## Dvě metody

Může se zdát zvláštní, že aktivní galaktická jádra (AGJ), což jsou poměrně komplikované objekty s  
hmotnostmi supermasivních černých děr v rozsahu pěti řádů a s velmi rozdílnou mírou akrece, lze  
standardizovat obdobně jako pulzující nebo explodující hvězdy. Během posledních třiceti let, kdy  
bylo nashromážděno množství dat o různých vlnových délkách, byly u AGJ nalezeny dvě důležité  
korelace, které obě zahrnují ultrafialový ionizační tok záření pocházející z vnitřního akrečního toku  
kolem centrální černé díry.

První vztah je založen na korelaci mezi UV a rentgenovou svítivostí (UV/X-ray vztah). Obě tyto  
svítivosti jsou ve většině aktivních galaktických jader propojeny a jejich vzájemný vztah je nelineární,  
což umožňuje odvodit svítivostní vzdálenost jednotlivých zdrojů. Svítivostní vzdálenost jako funkce  
červeného posuvu zdroje v podstatě poskytuje tzv. Hubblův diagram kvasarů, který lze použít k  
testování různých kosmologických modelů, včetně LambdaCDM.

Za druhé bylo zjištěno, že ionizační zářivý výkon koreluje s poloměrem oblasti, kde rychlá mračna  
krouží kolem centrální černé díry. Pohyb těchto mračen se projevuje prostřednictvím velmi širokých  
emisních čar, jejichž zářivý tok je proměnlivý. Proměnlivost toku navíc obvykle dobře koreluje s  
proměnlivostí ionizačního toku pocházejícího z vnitřní části akrečního disku. To lze vysvětlit pomocí  
jednoduchého geometrického modelu, v němž je záření akrečního toku zachycováno rychle obíhajícími  
mračny. Porovnáním proměnlivého záření mraků s tokem akrečního disku lze změřit časové zpoždění  
mezi centrální černou dírou a oblastí širokých čar, a tedy odvodit poloměr této oblasti. Tato pozorovací

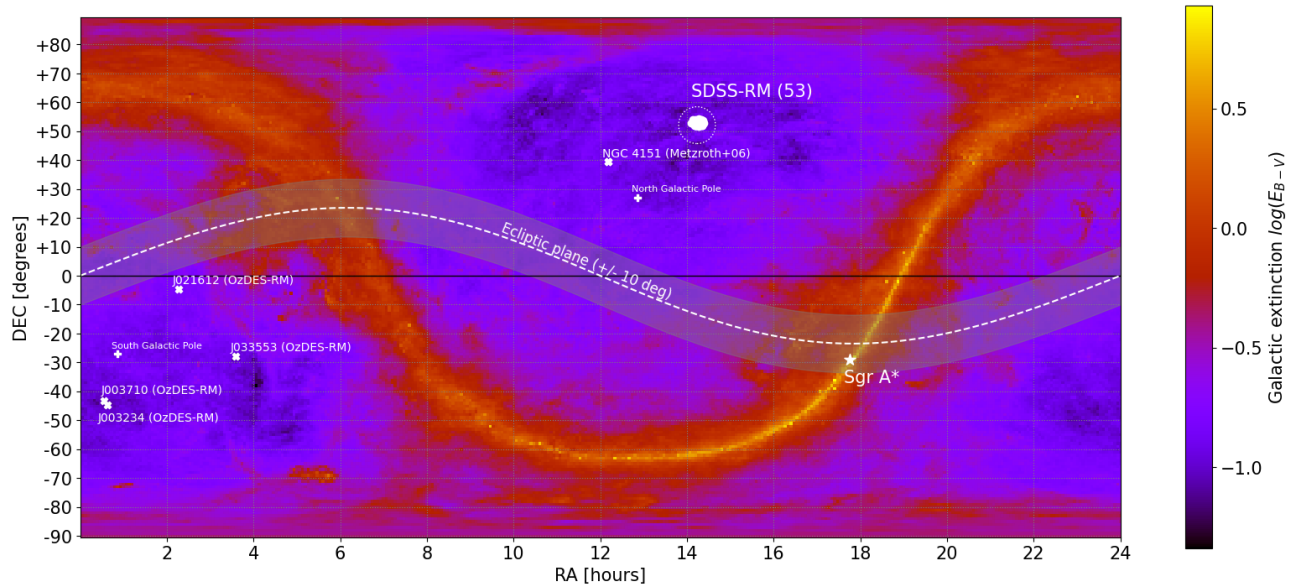


Figure 1: Poloha studovaného souboru 58 kvasarů, u nichž bylo možné studovat jak korelaci UV a rentgenového záření, tak korelaci poloměru a zářivého výkonu, s cílem porovnat kosmologické parametry určené z těchto dvou vztahů.

technika je známá jako reverberační mapování a během posledních 30 let byl vztah poloměru a zářivého výkonu stanoven pro několik stovek zdrojů. Vztah poloměru a zářivého výkonu umožňuje ze změřeného poloměru určit absolutní svítivost zdroje. Z naměřeného toku lze pro každý zdroj určit jeho svítivostní vzdálenost, a tedy opět zkonstruovat Hubbleův diagram populace kvasarů, který lze přímo využít pro kosmologické aplikace.

Otázkou zůstává, zda je možné nalézt takový soubor aktivních galaktických jader, pro který by bylo možné studovat oba vztahy. Následně by bylo možné ověřit konzistenci určených svítivostních vzdáleností a kosmologických parametrů.

## Nesrovnalosti ve svítivostních vzdálenostech

Takový soubor 58 kvasarů našel a studoval Narayan Khadka (Stony Brook University, předtím Kansas State University) se svými spolupracovníky, kteří zjistili, že oba vztahy (UV/X-ray a poloměr-svítivost) vedou ke zcela rozdílným svítivostním vzdálenostem téhož zdroje (Khadka et al., 2023), k čemuž by nemělo docházet, pokud se na tom nepodílejí další efekty. Kromě toho se kosmologické parametry získané z těchto vztahů rozcházejí, přičemž relace UV/X-ray preferuje větší obsah hmoty v současném vesmíru ve srovnání se vztahem poloměr-svítivost. Kromě toho jsou kosmologické parametry určené z UV/X-ray relace v rozporu s hodnotami získanými ze standardních kosmologických sond. Proto bylo hádankou, co by mohlo takový rozpor způsobit.

## Role prachu v galaxiích

Když sestrojíme histogramy rozdílů mezi oběma svítivostními vzdálenostmi pro celý soubor 58 kvasarů, je zřejmé, že vrchol rozdělení je posunut do kladných hodnot. Jinými slovy, svítivostní vzdálenost určená z UV/X-ray relace je systematicky větší než vzdálenost odvozená ze vztahu poloměr-svítivost. Kromě toho je rozdělení asymetrické s výrazným chvostem směrem k záporným hodnotám. Michal Zajaček (Masarykova univerzita) s Boženou Czerny (Polská akademie věd) a jejich spolupracovníci si uvědomili, že takový efekt lze přičíst prachu, respektive absorpci a rozptylu UV i rentgenových fotonů podél zorného paprsku. Přestože se pozorovaných 58 kvasarů nachází na obloze mimo prachová

mračna Mléčné dráhy (viz obrázek 1), jejich jádra jsou obklopena četnými mračny s různou geometrií. V nedávné studii publikované v časopise *Astrophysical Journal* (Zajaček et al., 2023) Zajaček a kol. výslovně ukázali, že extinkce způsobená prachem vždy přispívá k nenulovému rozdílu mezi dvěma svítivostními vzdálenostmi odvozenými z korelací kvasarů, a to buď kladně, nebo záporně, podle toho, zda jsou více ovlivněny rentgenové nebo UV fotony. Protože vrcholy rozdělení jsou u všech kosmologických modelů kladné, zdá se, že extinkce rentgenového záření z galaktických jader je u většiny kvasarů výraznější než v případě UV záření.

## Závěr

Celkově lze říci, že extinkce prachu ovlivňuje korelaci mezi UV a rentgenovou emisí více než vztah poloměr-svítivost, protože jak UV, tak rentgenová emise jsou ovlivněny jiným způsobem, což je obtížné zohlednit v analýze. Přítomnost prachu v cirkumnukleárním prostředí tak brání použitelnosti tohoto vztahu v kosmologii. Na druhou stranu se zdá, že vztah poloměr-svítivost je stále použitelný pro přeměnu kvasarů na standardní svíčky. Ačkoli současná ohraničení kosmologických parametrů odvozená ze vztahu poloměr-svítivost jsou poměrně slabá, rostoucí počet kvazarů mapovaných reverberací v blízké budoucnosti pravděpodobně povede k mnohem přesnějším limitům s vyhlídkou na určení, který kosmologický model je pro popis vesmíru vhodnější.

## Kontaktní informace

**Dr. Michal Zajaček**

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

Masarykova univerzita

Kotlářská 2

602 00 Brno

email: [zajacek@physics.muni.cz](mailto:zajacek@physics.muni.cz)

## References

Khadka N. et al. (2023), *MNRAS*, 522, 1247

Zajaček M. et al. (2023), arXiv e-prints, arXiv:2305.08179