



**Rentgenová observatoř ATHENA se má stát nástupkyní úspěšných teleskopů XMM-Newton a Chandra. Dokáže studovat i velmi vzdálené objekty**

# Za extrémny kosmu s českou účastí

**Za hranice možností dnešních kosmických sond, vstříc černým dírám i dalším extrémním objektům se vydá nová evropská mise ATHENA. Na podrobnosti unikátní rentgenové observatoře jsme se zeptali hlavního koordinátora českého zapojení, Jiřího Svobody z Astronomického ústavu Akademie věd**

Ptala se Jana Žďárská

**?** Jak byste zhodnotil vzájemnou spolupráci České republiky s Evropskou kosmickou agenturou?

Česko je členem ESA již od roku 2008 a zmíněná spolupráce má pro nás velký význam. Především nám umožňuje zapojovat se do komplexních projektů s prvotřídními vědeckými přístroji, které bychom si jako malá země nemohli dovořit kvůli omezenému rozpočtu i omezeným technologickým znalostem. Jedná se o mise v oblasti astronomického výzkumu, studia Slunce a naší soustavy, ale také o družice zkoumající prostor kolem Země nebo přímo naši planetu z vesmíru. Čeští vědci se díky účasti na misích ESA mohou

podílet na plánování světově nejvýznamnějších kosmických projektů s následným přístupem k získaným datům, a průmysl má díky tomu možnost profitovat z vývoje špičkových technologií. Výsledky získané při vývoji a výrobě se pak mohou uplatnit při běžném použití v celé společnosti.

**?** Účast na významných misích ESA si klade za cíl program Akademie věd nazvaný Vesmír pro lidstvo, který koordinujete. Jak se to daří?

Od vzniku programu se nám za pět let podařilo vstoupit do všech nových významných velkých a středně velkých misí ESA, což považuji za neobyčejně důležité.

V České republice tak získáme na příští dvě dekády zapojení ve všech oblastech vědeckého kosmického výzkumu. Díky tomu se příštím generacím vědců a studentů otevřou obrovské příležitosti, ať už je budou zajímat planety Sluneční soustavy, exoplanety u jiných hvězd, nebo černé díry.

**?** Mezi připravované mise ESA s českou účastí patří také ATHENA, primárně zaměřená na studium horkého a energetického vesmíru. Jaké poznatky by nám mohla přinést?

Díky své mimořádné prostorové a spektrální citlivosti zvládne rentgenová observatoř

ATHENA studovat velmi vzdálené objekty, odkud k nám záření putuje mnoho miliard let. Umožní nám to podívat se zpět do minulosti, a odpovědět tak na základní otázky, jimiž se současná astronomie zabývá: například jakým způsobem vznikly rozsáhlé struktury hmoty, které pozorujeme v dnešním vesmíru, či jak se zformovaly obří černé díry v centrech galaxií a jakou roli hrály při utváření okolního kosmu.

ATHENA však bude zkoumat celou řadu dalších objektů, zejména těch, kde panují vysoké teploty nebo se uvolňuje značné množství energie vedoucí ke vzniku rentgenového záření. Patří mezi ně vybuchující hvězdy – novy a supernovy, rentgenové dvojhvězdy, aktivní galaktická jádra nebo horký plyn v kupách galaxií. U všech zmíněných objektů očekáváme získání nových poznatků, jež prohloubí naše znalosti o energetických procesech, které nedokážeme napodobit v pozemních laboratořích.

### ? Kdy má mise odstartovat?

Již v tuto chvíli je jasné, že plánovaný start v roce 2028 se nestihne. Aktuálně se tak počítá nejdříve s rokem 2031.

### ? Jakým způsobem se na misi podílejí čeští vědci?

Už nyní se vědci z Astronomického ústavu Akademie věd podílejí na vědeckých simulacích, které ukazují, jak citlivá měření zvládne ATHENA uskutečnit.

## Kdo je...

### RNDr. Jiří Svoboda, Ph.D. (\*1982)

je vědeckým pracovníkem Astronomického ústavu AV ČR. Vystudoval Matematicko-fyzikální fakultu Univerzity Karlovy, kde v roce 2010 získal doktorát. Poté obdržel prestižní ESA Fellowship a dva roky působil v astronomickém centru ESAC poblíž Madridu. Je držitelem Ceny Bernarda Bolzana, Fričovy a Wichterleho prémie. Ve výzkumu se zabývá zejména **rentgenovou astronomií a studiem aktivních galaxií**. Vede juniorský vědecký tým zkoumající černé díry

různých hmotností. Je také **koordinátorem programu Akademie věd Vesmír pro lidstvo**, v jehož rámci zajišťuje odbornou spolupráci na mezinárodních kosmických misích určených k vědeckému výzkumu vesmíru. **Má na starosti české zapojení do velkých evropských misí ATHENA a LISA**, zaměřených na studium černých děr. Věnuje se i pedagogické činnosti na univerzitách, popularizaci astronomie a kosmických projektů. Jako odborný poradce se podílel na přípravě seriálu Génius o Albertu Einsteinovi v produkci National Geographic.



## V rámci ESA se účastníme projektů s prvotřídními vědeckými přístroji, jež bychom si jako malá země nemohli dovolit

Využívají přitom vlastní modely, zahrnující veškeré efekty Einsteinovy obecné teorie relativity – například gravitační rudý posuv či ohyb světla v gravitačním poli. Zaměřujeme se zejména na schopnost mise ATHENA měřit rotaci černých děr.

### ? Jak je možné rotaci černých děr měřit?

Jedná se o velmi obtížný úkol. Nemáme možnost sledovat přímo rotující objekt,

musíme tedy rotaci měřit z chování okolní hmoty. Zjednodušeně se dá říct, že čím rychleji černá díra rotuje, tím blíže se k ní hmota může dostat a tím výraznější pozorujeme efekty silné gravitace na vyzářeném spektru. U superhmotných černých děr v aktivních galaktických jádrech nám situaci komplikuje plyn, který jádro zakrývá a mění vlastnosti spekter. Se současnými detektory proto často nedokážeme rotaci černých děr spolehlivě měřit, protože

nemusíme správně odstranit efekty okolního plynu. V tom by měl pomoci hlavní přístroj mise ATHENA nazvaný X-ray Integral Field Unit neboli X-IFU, vůbec nejcitlivější rentgenový spektrograf vyvíjený pro kosmický výzkum.

### ? Jaká data by mohl pořídit?

Očekáváme, že pořídí dostatečně citlivá spektra s vysokým rozlišením, abychom dokázali rozeznat záření pocházející z těsné blízkosti černých děr a z jejich okolí, které se projeví zejména absorpčními spektrálními čarami. Přístroj X-IFU totiž dokáže přesně měřit energie každého přichozícího fotonu, což nám umožní sestavit citlivá spektra, v nichž jasně rozlišíme emisní i absorpční čáry.

### ? Jaký je mezi nimi rozdíl?

Spektrální čáry odpovídají různým přechodům elektronů v atomech. Emisní čáry vznikají například tak, že jsou

elektrony v atomech nabuzeny energetickým zářením a při jejich přechodu na nižší hladinu se vyzáří foton o určité charakteristické energii. Absorpční čáry potom vznikají, když rentgenové záření prochází skrz plyn, v němž atomy pohlcují fotony o určité energii. Opět to souvisí s kvantovými přechody v atomech. Díky citlivým spektrům pak rozeznáme vlastnosti hmoty, která rentgenové záření vyzařuje i pohlcuje.

### ? Jak vlastně přístroj X-IFU vypadá a jak bude fungovat?

Půjde o takzvaný mikrokalorimetr, chlazený na teplotu téměř rovnou absolutní nule – převyší ji jen o padesát tisícín stupně. S nadsázkou se dá říct, že se stane nejchladnějším objektem ve vesmíru. Tak nízkých teplot se totiž dosahuje pouze ve specializovaných pozemních laboratořích, ale v prázdném a chladném vzduchoprázdnu je přece jen o něco tepleji v důsledku všudypřítomného kosmického záření. Tak nízká teplota je důležitá, aby byl přístroj schopný velmi přesně určit energii a čas příletu každého rentgenového fotonu z vesmíru. Díky své nadstandardně vyspělé technologii, na

níž se budou podílet špičkové laboratoře z Evropy, Japonska i Spojených států, dosáhne ATHENA vysoké spektrální citlivosti – nižší než pět elektronvoltů – při zachování velké sběrné plochy. Ta je důležitá pro pozorování zejména slabých či vzdálených objektů.

### ? A jak si můžeme vesmírnou laboratoř ATHENA představit?

## ATHENA zvládne studovat velmi vzdálené objekty, jejichž záření k nám letí miliardy let

Tvarem připomíná okřídlený dalekohled: Bude protáhlá, aby dosáhla ohniskové vzdálenosti asi deseti metrů, což je vzdálenost mezi optikou a samotnými vědeckými přístroji. Družici tak tvoří zhruba desetimetrový tubus, na jehož konci se bude nacházet modul s vědeckými přístroji. Na bocích pak budou umístěny solární panely,

kteří působí trochu jako „křídla“, ale plní zcela jinou roli – a sice zajišťovat energii k natáčení družice i k posílání cenných naměřených dat do pozemních stanic.

### ? Proč je nezbytné vyslat rentgenový spektrograf do vesmíru?

Rentgenová astronomie vyžaduje kosmické sondy, protože zemskou atmosférou rentgenové záření neprochází. Přitom nám

přineslo již mnoho významných objevů, například že existují černé díry, neutronové hvězdy nebo že se v kupách galaxií nachází horký plyn. Současná rentgenová observatoř XMM-Newton představuje historicky jednu z neúspěšnějších vědeckých misí ESA, co se týče počtu odborných publikací a dosažených objevů. I proto vkládá vědecká komunita do

## Vesmír pro lidstvo

Cílem programu **Vesmír pro lidstvo** je posílit zapojení Akademie věd ČR do kosmického výzkumu, včetně vazeb na průmysl, a propagovat jej ve společnosti. Na program spolupracuje řada ústavů AV a je v něm zapojeno několik pozoruhodných projektů. První významnou misí se silnou českou stopou představuje **Solar Orbiter**, který v únoru 2020 zamířil ke Slunci. Češi se přitom podíleli na vývoji čtyř z deseti unikátních přístrojů sondy určených ke komplexnímu studiu naší denní hvězdy.

Další v pořadí je mise **JUICE** k měsícům Jupitera, jež se orientuje především na Ganymed coby jediný satelit Sluneční soustavy s vlastním magnetickým polem. Bude rovněž **zkoumat vnitřní strukturu ledových měsíců plynného obra**: Zejména u Evropy předpokládají vědci existenci podpovrchového oceánu tekuté slané vody, a tudíž i prostředí teoreticky vhodného pro výskyt života.

Další dvě velké mise – **ATHENA** a **LISA** – se zaměří na černé díry a měly by přinést v prvé řadě odpověď na otázku, **jak se v jádrech galaxií zformovaly superhmotné černé díry**. ATHENA představuje velký kosmický rentgenový teleskop a LISA gravitační observatoř, jež bude detekovat gravitační vlny vytvořené srážkou hmotných černých děr.

Významné jsou rovněž projekty výzkumu exoplanet a jejich atmosfér, tj. mise **PLATO** a **ARIEL**. Program **Vesmír pro lidstvo** však pokrývá také experimenty studující kosmickou radiaci, dálkové pozorování Země, zkoumání vesmíru pozemními teleskopy, využití laserů v kosmickém výzkumu, ale nově třeba i psychologické aspekty dlouhodobého pobytu mimo rodnou planetu.

**LISA se bude skládat ze tří kosmických sond obíhajících asi 60 milionů km za Zemí v sestavě téměř rovnostranného trojúhelníku**



příští rentgenové mise velká očekávání a je třeba skutečně přijít se sondou, která dokáže pořídit mnohem citlivější pozorování, než máme k dispozici dnes s XMM-Newtonem či americkou Chandrou.

**?** Může nám ATHENA zajistit i další poznatky o černých dírách?

Černých děr existuje v naší Galaxii odhadem sto milionů. Pomocí dalekohledů však můžeme pozorovat jen jejich nepatrný zlomek – pouze objekty, které se krmí okolní hmotou. Ta se okolo nich zahřívá na miliony stupňů, a vyzařuje tedy intenzivní rentgenové paprsky, jež mohou zachytit detektory na kosmických observatořích. ATHENA bude mít detektory natolik citlivé, že zvládne zkoumat zejména černé veledry sídlící uvnitř galaxií a vzdálených kvazarů. Zatím zůstává záhadou, jak se zmíněné objekty zformovaly. A popsání mise by mohla část hádanky rozluštit.

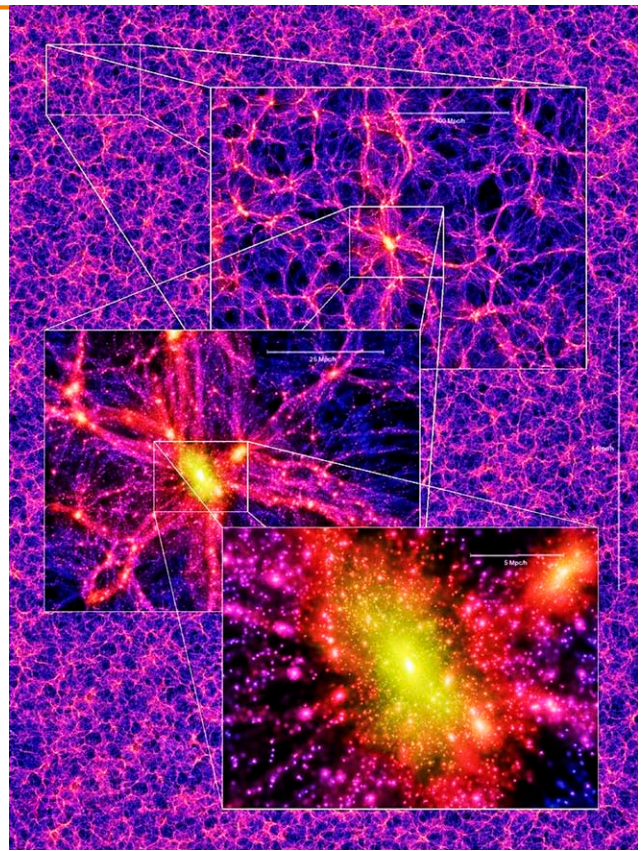
**?** Jaká další pozorování ATHENA přinese?

ATHENA by měla přinést informace o tom, jak se zformovaly nejen černé

**Pochopení horkých a energetických jevů umožní vědcům mimo jiné zjistit, jak ovlivňují formování a vývoj galaxií. Budou moci analyzovat proudění hmoty podél vláknitých struktur vesmírné sítě, spojující obří galaktické struktury**

**?** V současnosti se ještě ATHENA nachází ve studijní fázi. Co bude následovat?

Studijní fáze by měla skončit v příštím roce takzvanou adopcí mise. Design přístrojů je víceméně hotový a řeší se spíš detaily. Aktuálně ovšem ESA bojuje s rentgenovou



**Díky teplotě téměř rovné absolutní nule určí přístroj velmi přesně energii i čas přiletu rentgenových fotonů z vesmíru**

díry, ale také velké struktury hmoty, tedy galaktické kupy a nadkupy. K tomuto poznání by mělo pomoci především studium rentgenového záření horkého plynu, který se nachází uvnitř i okolo galaktických kup. ATHENA bude dále zkoumat vybuchující hvězdy, novy a supernovy i jejich pozůstatky – mlhoviny po supernovách, neutronové hvězdy a bílé trpaslíky. Zaměří se však také na cíle ve Sluneční soustavě, například na interakce nabitých urychlených částic slunečního větru a záření na Marsu či v atmosféře Jupitera. Poslední zmiňovaná pozorování budou zvláště zajímavá pro naše kolegy z Ústavu fyziky atmosféry. Rentgenová pozorování doplní jejich vlnová měření pomocí přístrojů na misi JUICE, která již bude okolo Jupitera a jeho měsíců kroužit v době, kdy se ATHENA vydá na cestu.

optikou, která bohužel zatím nedosahuje požadovaných vlastností, a nyní také s nedostatkem finančních prostředků. My ve vědeckém konsorciu s tím moc nenaděláme a nezbyvá nám než analyzovat dopady různých řešení. K tomu počítáme nejrůznější simulace a snažíme se, aby byl případný vliv na vědecké cíle co nejmenší. Pevně věříme, že ani uvedené problémy nebudou znamenat konec příprav mise a že se za nějakých deset let dalšího vývoje a budování dočkáme nástupkyně současných rentgenových observatoří.

**?** Ví se už, která raketa ATHENU do vesmíru dopraví a kde se pak bude observatoř pohybovat?

Teleskop by měla vynést nově připravovaná Ariane 6 a nasměrovat ji do jednoho z libračních bodů, kde se vyrovnávají gravitační

síly naší planety a Slunce. Družice tak bude obíhat stejnou úhlovou rychlostí společně se Zemí a její pozorování nebude tolik rušeno v důsledku oběhu planety, jako je tomu u většiny současných rentgenových družic na oběžné dráze. ATHENA tedy nebude kolem Země kroužit, ale bude své pozorování provádět ve vzdálenosti asi jednoho a půl milionu kilometrů – téměř čtyřikrát dál, než se nachází Měsíc.

**?** S jakou životností se u ní počítá?

V současném návrhu se předpokládá pět let jako minimální doba pozorování, ale věříme, že ji observatoř výrazně překoná – podobně jako družice XMM-Newton, která oslavila už více než dvě dekády úspěšného provozu na oběžné dráze a stále ve svých cenných pozorováních pokračuje. Životnost mise by nemělo příliš zkrátit ani chlazení, k čemuž často docházelo u jiných sond s aktivním chlazením. V případě ATHENY se nebudou využívat tekuté chladiče, ale speciálně navržené magnetické řetězce. Jde o unikátní technologii, která zajistí nízkou teplotu uvnitř, aniž by při tom používala chladičo, jež by mohlo uniknout.

**?** Na kterých konkrétních částech projektu ATHENA spolupracují čeští vědci?

# Černý osud

**Černé díry vznikají gravitačním kolapsem hmoty.** Dochází k tomu po nahromadění takového množství materiálu, že jeho vlastní gravitace překoná všechny vazbové síly a veškerá atomová struktura se zhroutí. Gravitačnímu kolapsu uvnitř hvězdy nejprve brání tlak záření pocházející z termojaderní syntézy vodíkových jader a později, jakmile palivo v jádru

dohoří, tlak elektronů či neutronů – v závislosti na hmotnosti stálice. **Převyšuje-li však její zbytek po vyhoření vodíku tři hmotnosti Slunce,** neznáme žádný fyzikální mechanismus, který by kolaps hvězdy zastavil, a nevyhnutelně tak vzniká černá díra. **Hmota se zhroutí pod horizont události,** odkud se nemůže dostat nic, ani světlo.

Astronomický ústav a Ústav fyziky atmosféry Akademie věd se účastní konsorcia přístroje X-IFU. Náš příspěvek tvoří vědecké simulace, které pomáhají definovat cíle i plán budoucích pozorování. Na tom se podílíme jednak na úrovni celé mise – kolegové Michal Dovčiak z Astronomického ústavu či Norbert Werner z Masarykovy univerzity patří do vrcholného studijního týmu mise neboli ATHENA Study Science Team – a jednak v rámci přístrojového konsorcia X-IFU, kde jsem členem vědeckého poradního týmu X-IFU Science Advisory Team. Kromě toho se podílíme na vývoji elektroniky, jež umožní zaznamenat, jakou energii v detektoru uvolnily zachycené fotony rentgenového záření. Kolegové z Ústavu fyziky atmosféry budou vyvíjet takzvaný row-0 addressing module přístroje X-IFU. Pro druhý přístroj mise ATHENA, WFI alias Wide Field Imager, pak u nás v Astronomickém ústavu vznikají galvanické izolační moduly, které mu zajistí požadované napětí.

## ? Jak se Evropská kosmická agentura vyrovná s finančními nároky mise ATHENA?

Výši nákladů určují zejména ambiciózní požadavky na spektrální vlastnosti detektorů. Přístroj X-IFU představuje nejcitlivější rentgenový spektrograf vyvíjený pro kosmický výzkum, a zároveň nejkomplexnější a nejdražší přístroj kdy vyvíjený pro misi ESA. Vědecké ambice jsou však vysoké a rentgenová astronomie přináší řadu důležitých objevů.

**Vizualizace spektrografu X-IFU, který se má stát nejkomplexnějším evropským vědeckým přístrojem v kosmu**

## ATHENA bude mít natolik citlivé detektory, že zvládne zkoumat dokonce černé veledíry v nitrech galaxií

Nejen pro evropskou vědeckou komunitu znamená ATHENA velmi žádanou a očekávanou misi.

### ? Většinou však slýcháme, že se peněz na vesmírný program nedostává. Jak se je tedy podařilo najít na tak drahý přístroj?

Tady se potvrzuje důležitost mezinárodní spolupráce: X-IFU by si nemohla dovolit

vyvinout žádná země sama – možná jedině Spojené státy, které však vložily hodně prostředků do dalekohledu Jamese Webba. Společného konsorcia ATHENA se tak účastní třináct nejvyspělejších zemí světa, včetně příspěvku USA a Japonska. Evropa ovšem hraje hlavní roli a naše účast v obou konsorciích X-IFU a WFI znamená pro Česko jedinečnou příležitost zapojit se do vývoje vědeckých přístrojů na jedné z nejvýznamnějších misí ESA. Zejména první zmíněný představuje technologicky jedinečný projekt a jeden z nejmambicióznějších kdy plánovaných vědeckých přístrojů pro vesmírný výzkum. ↻

*Mgr. Jana Žďárská pracuje ve Fyzikálním ústavu AV ČR, v rámci popularizace vědy publikuje v Československém časopise pro fyziku a dalších periodikách, je členkou České astronomické společnosti (ČAS), Kosmologické sekce ČAS (dříve místopředsedkyní), Astronautické sekce ČAS, porotkyní Československé astrofotografie měsíce (ČAM) a členkou Jednoty českých matematiků a fyziků*

