



## **Středoškolská technika 2018**

**Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na  
ČVUT**

### **Černé díry**

**Pozorování masivních černých děr komparací záznamů  
rádiového a infračerveného záření**

**Jakub Kuthan**

**Lauderova MŠ, ZŠ a Gymnázium při ŽOP**

## **Abstrakt**

Tato práce pojednává o souhrnných charakteristikách černých děr.

Cílem teoretické části je definovat klíčové fyzikální vlastnosti černých děr a stanovit rozdíly mezi několika typy černých děr.

Prvním cílem praktické části této práce je vysvětlit podstatu infračerveného a rádiového záření, zmapovat teleskopy, které tímto zářením monitorují určité segmenty černé díry. Druhým cílem praktické části je pozorování a identifikace jevů a objektů pomocí internetového portálu Zooniverse.

**Klíčová slova:** černá díra, pozorování, Zooniverse, identifikování

## **Abstract**

This paper summaries common characteristics of black holes.

The goal of the theoretical part is to define the key physical properties of black holes and to determine the differences between several types of black holes.

The first goal of the practical part of this seminar paper is to explain the principle of infrared and radio radiation that is imperceptible to us and to determine which black hole segments are visible in IR and which one are visible in radio spectrum. A secondary goal is to list the most important infrared and radio telescopes in the world and in the outer space. The second objective of the practical part is the observation and identification of objects using the Zooniverse portal.

**Key words:** black hole, observing, Zooniverse, identifying

## Obsah

Úvod.....	5
1. Černé díry.....	6
1.1. Historie výzkumu .....	6
1.2. Fyzikální vlastnosti.....	7
1.2.1. Horizont událostí.....	7
1.2.2. Dilatace času .....	8
1.2.3. Slapové síly .....	8
1.2.4. Abnormality .....	9
2. Pozorování .....	10
2.1. Schéma masivní černé díry.....	10
2.2. Vizualizace .....	11
2.3. Infračervený teleskop .....	11
2.4. Rádiový teleskop .....	12
3. Identifikace černých děr.....	14
3.1. Zooniverse .....	14
3.2. Princip zkoumání.....	14
3.3. Identifikované objekty.....	16
3.4. Zhodnocení.....	18
Závěr .....	20
Zdroje.....	21

## Úvod

Téma této seminární práce jsem si vybral, protože mě zajímají obory zabývající se pozorováním vesmíru a vysvětlující komplikované děje, které probíhají ve vesmíru.

O internetovém portálu Zooniverse, kde je vypsáno mnoho přírodovědných, matematických ale i vesmírných výzkumů, které jsou sice přísně odborné, ale jejich dílčí části může dělat i laická veřejnost, jsem se dozvěděl od učitelky Šárky Kvasničkové. Z nabídnutých témat na portálu jsem si vybral téma pro mne nejpritažlivější, a přitom nejméně známé. Takovým tématem jsou pro mne černé díry, o kterých jsem dosud neměl dostatek odborných znalostí.

Prostředkem k dosažení cíle této seminární práce je prostudování základních charakteristik, funkcí a fází života normálních malých černých děr. Tato část se pojí s černými děrami, jež vznikly implozí hvězdy, které neemitují světlo a které dosahují řádově velikosti hvězd.

V teoretické části stanovuji předpoklady potřebné k praktické části. Mezi ně patří např. prostudování charakteristik již výše zmiňovaných masivních černých děr. Tato část obsahuje představení základních charakteristik této kategorie černých děr a odlišností, kterými se tyto černé díry liší od děr vzniklých zhroucením hvězd.

Hlavním cílem praktické části seminární práce je identifikace masivních černých děr podle jejich emisí infračerveného a radiového záření. Identifikování černých děr spočívá v porovnávání záznamů z infračerveného teleskopu se záznamy z radiového teleskopu.

Dílčím cílem praktické části je předvedení výsledků pozorování na každoroční prezentaci vědeckých projektů na fakultě ČVUT.

# 1. Černé díry

V této kapitole se krátce zaměřuji na historii rozvoje vědomostí týkajících se černých děr, stručně zde definuji několik charakterizujících fyzikálních vlastností černých děr a stroze definuji nejčastější výskyty některých typů černých děr ve vesmíru. K uvedení tématu dodávám citát Igora Novikova z jeho knihy: „*Černé díry jsou jedním z nemnoha případů v historii vědy, kdy byla teorie rozvinuta do velkých detailů dříve, než pozorování alespoň náznakem potvrdila správnost předpokladů.*“<sup>1</sup>

## 1.1. Historie výzkumu

První vyjádření o existenci černých děr na akademické půdě vyslovil John Michell již v roce 1783. „*V té době již byly newtonovská teorie gravitace a pojem únikové rychlosti dostatečně známé. Michell vypočítal, že těleso s poloměrem 500krát větším, než je poloměr Slunce, a se stejnou hustotou, by mělo na povrchu únikovou rychlost rovnou rychlosti světla, a proto by bylo neviditelné.*“<sup>2</sup>

Výskyt černých děr byl předpovězen Albertem Einsteinem roku 1915 v obecné teorii relativity, kde Einstein teoreticky rozpravoval existenci masivně hmotných objektů, které mají tak vysokou gravitační sílu, že na úrovni horizontu událostí (více viz kapitola 1.2.1) nebo uvnitř horizontu událostí černé díry není schopno úniku do okolního prostoru ani světlo pohybující se světelnou rychlostí.<sup>3</sup>

Dalším průlomem ve výzkumu černých děr bylo objevení masivní rentgenové dvojhvězdy, která je známá pod označením Cygnus X-1, pomocí družice UHURU Thomasem Boltonem roku 1971.

Zaznamenané gravitační síly v této soustavě naznačují, že se zde nachází enormně hmotná stelární<sup>4</sup> černá díra, poněvadž gravitační síla emitovaná objekty je dvakrát větší, než bychom měli zaznamenat u běžných neutronových hvězd. Cygnus X-1 je binární soustava modrého obra a dnes již vědeckou komunitou všestranně

---

<sup>1</sup> NOVIKOV, Igor. *Černé díry a vesmír*. Praha: Mladá fronta, 1989. ISBN 80-204-0028-1.

<sup>2</sup> JANDA, Martin. Žijeme uvnitř černé díry? *21. století* [online]. 2010 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://21stoleti.cz/2010/11/19/zijeme-uvnitř-černe-diry/>

<sup>3</sup> DVOŘÁK, Leoš. *Obecná teorie relativity a moderní fyzikální obraz vesmíru*. Praha: SPN, 1984.

<sup>4</sup> Stelární černé díry vznikají zhroucením hvězdy do sebe. Při tomto zhroucení vzniká tzv. singularita.

uznalé stelární černé díry.<sup>5</sup> „Rozměry rentgenového zdroje vycházejí dokonce menší než rozměry naší Země. Objekt je gravitačně vázán s blízkým modrým veleobrem HDE 226868 deváté magnitudy.“<sup>6</sup>

## 1.2. Fyzikální vlastnosti

Černé díry se rozdělují do několika druhů. Jsou to například primordiální černé díry, stelární černé díry nebo mnou pozorované masivní černé díry. Tyto druhy se ovšem v drtivé většině rozlišují jen svojí velikostí a hmotností. Všechny druhy černých děr mají podobné fyzikální vlastnosti.

### 1.2.1. Horizont událostí

Horizont událostí vzniká zhroucením hvězdy do singularity<sup>7</sup>, kdy se „hvězda zhroutlí na nulovou velikost a nekonečnou hustotu“.<sup>8</sup> Tento horizont událostí je definovaný jako předěl mezi oblastí časoprostoru a oblastí, odkud není díky gravitačním a slapovým silám úniku.

Horizont událostí je svrchní část černé díry, která se vyznačuje tím, že jakmile objekt, vlnění nebo záření dosáhne této oblasti, nemůže vyvinout dostatečnou rychlost na jeho opuštění. U černé díry se horizont událostí nachází přesně v bodě, kde je úniková rychlost potřebná pro únik částice z jejího gravitačního pole rovna světelné rychlosti.<sup>9</sup>

Protože se vnitřek černé díry neřídí zákony obecné relativity ale naopak zákony kvantové mechaniky, z úrovně horizontu událostí dochází k vyzařování tepelného záření z vnitřku černé díry do okolního prostoru. Toto je zatím jediná známá teorie vypařování černých děr (tzv. Hawkingovo záření), podle které dochází k redukci hmotnosti černé díry a pravděpodobnému zániku černé díry.<sup>10</sup>

---

<sup>5</sup> GREGOROVÁ, Dagmar. Černá perla na krku hvězdné Labutě. *Osel* [online]. 2011 [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/6002-erna-perla-na-krku-hvezdne-labute.html>

<sup>6</sup> KULHÁNEK, Petr. Černé díry II: Kandidáti na hvězdné černé díry. In: *Hvězdárna F.P.* [online]. [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://www.hvezdarna-fp.cz/dokumenty/CD%20II.pdf>

<sup>7</sup> Singularita je vyhraněný prostor, ve kterém neplatí obecně přijímané fyzikální teorie. Většinou v těchto vyhraněných prostorech nabývají veličiny vysokých až nekonečných hodnot. U černých děr to platí pro hustotu a hmotnost.

<sup>8</sup> HAWKING, Stephen. *Vesmír v kostce*. Praha: Argo, 2002. ISBN 80-720-3421-9.

<sup>9</sup> Rychlost světla je 299 792 458 m/s

<sup>10</sup> HAWKING, Stephen. *Vesmír v kostce*. Praha: Argo, 2002. ISBN 80-720-3421-9.

### 1.2.2. Dilatace času

Dilatace času či ohýbání časoprostoru je fyzikální jev, při kterém dochází k zpomalení či k zrychlení vnímání času. Závisí na několika faktorech. Abychom mohli zaznamenat ohyb v čase, musíme pozorovat dva objekty ve dvou odlišných soustavách. V kontextu černých děr pozorujeme horizont událostí či díru samotnou a objekt, jenž je vně černé díry a přibližuje se do gravitačního pole singularity.

Zapříčiněním silných rotačních sil, které dosahují abnormálně vysoké rychlosti<sup>11</sup>, a enormní hmotnosti černé díry dochází k tvorbě tzv. Cauchyova horizontu, kde je standardní časoprostor narušen či zjednodušeně řečeno ohýbán. Klíčově vysoká hybnost singularity dokáže v tomto eliptickém pásu prohnout samotné plynutí času.<sup>12</sup>

Z Cauchyova eliptického horizontu je možný únik do okolního normálního prostoru. Proto mnozí teoretici proklamují, že se tato Cauchyova sféra dá použít k cestování v čase.<sup>13</sup> „Z hlediska fyzikálního chápání okolí černé díry dochází v důsledku rotace ke změnám v prostoročase. Ten začíná být díky nenulovému momentu hybnosti centrálního tělesa strháván ve směru rotace, což známe jako tzv. Lense-Thirringův jev.“<sup>14</sup>

### 1.2.3. Slapové síly

Černá díra má oproti své velikosti nepřiměřeně větší hustotu a hmotnost. Slapové síly jsou výsledkem masivního gravitačního pole.

Jestliže by člověk padal přímočaře, kolmo a konstantní rychlostí na horizont událostí do vnitřku singularity, působily by na jeho tělo odlišně velké gravitační síly. Při předpokladu, že by člověk padal do singularity nohami napřed, by na nohy působila řádově větší gravitační síla než na jeho hlavu. V důsledku tohoto jevu by se člověk začal roztahovat se zvětšující se rychlostí. Tento gradient<sup>15</sup> gravitačního pole

---

<sup>11</sup> FROLOV Valeri P. a NOVIKOV Igor D. *Black Hole Physics Basic Concepts and New Developments*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1998. ISBN 9789401151399.

<sup>12</sup> Rotující černé díry. Hvězdárna Františka Pešky [online]. 15. února 2014 [cit. 2018-01-27]. Dostupné z: <http://www.hvezdarna-fp.eu/news/rotujici-cerne-diry/>

<sup>13</sup> GOTT, Richard. *Cestování časem v Einsteinově vesmíru: fyzikální možnosti cestování časem*. Praha: Argo, 2002. s. 54. Aliter. ISBN 80-865-6936-5.

<sup>14</sup> Rotující černé díry. Hvězdárna Františka Pešky [online]. 15. února 2014 [cit. 2018-01-27]. Dostupné z: <http://www.hvezdarna-fp.eu/news/rotujici-cerne-diry/>

<sup>15</sup> Gradient značí směr růstu veličiny v závislosti na druhé veličině.

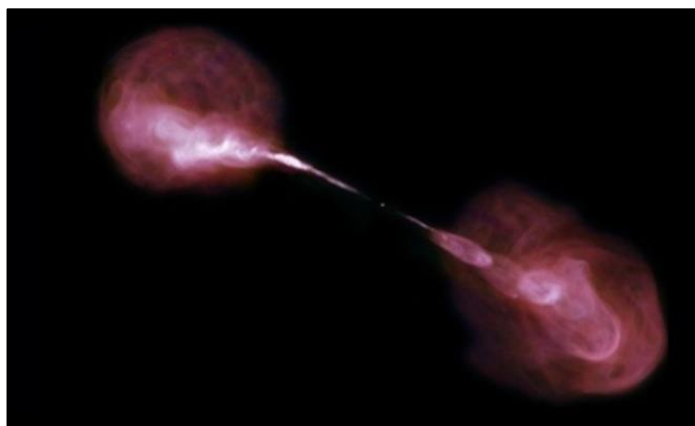
je přímo úměrný přímé rychlosti pádu objektu do singularity a vzdálenosti objektu od středu černé díry.<sup>16</sup>

*„Blízko singularity se gradient stane dostatečně velkým k roztržení samotných atomů. Bod, ve kterém se slapové síly stávají zhoubnými, závisí na hmotě černé díry. Pro velké černé díry bude tento bod ležet až pod horizontem událostí, takže se člověk může teoreticky dostat přes horizont událostí živý a v případech supermasivních černých děr tento přechod nemusí dokonce ani pocítit. Naopak u malých černých děr se tyto slapové síly mohou stát osudnými mnohem dříve, než člověk dosáhne horizontu událostí.“<sup>17</sup>*

#### 1.2.4. Abnormality

U některých druhů černých děr můžeme spatřovat odlišnosti. Jak jsem psal v úvodu kapitoly 1.2., většina černých děr se dá oficiálně rozdělit jen podle jejich předpokládané hmotnosti.

U supermasivních černých děr můžeme pozorovat světélkující až zářící oblak polarizované a vroucí plazmy, jak obíhá po kruhové dráze kolem středu singularity. Plazma tvoří akreční disk singularity, který je postupně pohlcován černou dírou. Do supermasivní černé díry také vždy míří přesně dvě trysky nabitých částic, které lze spatřit na Obrázku 1.



Obrázek 1 – supermasivní černá díra (zdroj: NASA, ESA, S. Baum, C. O’Dea, R. Perley, W. Cotton)

<sup>16</sup> JURČA, Miroslav. *Černé díry*. České Budějovice, 2010. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.

<sup>17</sup> Černé díry: pád dovnitř. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-01-27]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cern%C3%A1\\_d%C3%ADra](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cern%C3%A1_d%C3%ADra)



## 2. Pozorování

Tato kapitola se zabývá teoretickou stránkou pozorování mnou zkoumaných masivních černých děr. V této kapitole se nachází informace týkající se toho, jaké části masivní černé díry lze sledovat, v jakém spektru a jakým teleskopem.

### 2.1. Schéma masivní černé díry

Masivní černá díra sama o sobě nemůže být zachycena žádným teleskopem. Jediným faktorem, kterým můžeme identifikovat masivní černou díru, jsou dva proudy plynů, které proudí do jednoho středového bodu.<sup>18</sup> Tímto středovým bodem je černá díra. Identifikace ionizovaných plynů může proběhnout díky emitovaným radiovým vlnám, které přehřáté plyny (plazma) vyzařuje.

Abychom ale mohli existenci masivní černé díry fakticky potvrdit, měli bychom porovnat radiový záznam oblasti s infračerveným záznamem stejné oblasti. V místě středu dvou proudů plazmy bychom měli najít zdroj IČ záření. V tomto bodě by se měl nacházet akreční disk<sup>19</sup> masivní černé díry, který v krouživém pohybu černou díru obíhá. Nejlepší současná představa o přesné struktuře masivních černých děr pochází z modelu, který je založený na údajích známých z pozorování, od Sterla Phinneyho z Kalifornského technologického institutu.<sup>20</sup> Tento model (viz Obrázek 2) složitěji popisuje zdroje záření a vlnění.



Obrázek 2 – model okolí masivní černé díry (zdroj: Kip Thorne, Sterl Phinney)

<sup>18</sup> THORNE, Kip. *Černé díry a zborcený čas: podivuhodné dědictví Einsteinova génia*. Praha: Mladá fronta, 2004. s. 341. Kolumbus. ISBN 80-204-0917-3.

<sup>19</sup> Akreční disk je spirála, která obíhá okolo centrálního tělesa (v tomto případě černé díry). Akreční disk je složen z mnohých částic. Tyto částice jsou postupně po spirálovité ose přitahovány k centrálnímu tělesu.

<sup>20</sup> THORNE, Kip. *Černé díry a zborcený čas: podivuhodné dědictví Einsteinova génia*. Praha: Mladá fronta, 2004. s. 339. Kolumbus. ISBN 80-204-0917-3.

## 2.2. Vizualizace

Pozorování v jiném než optickém spektru vyžaduje vizualizace, grafy, diagramy či grafické znázornění. Infračervené a rádiové záření není lidským okem pozorovatelné. IČ a rádiové teleskopy proto prozkoumávají vesmír za nás.

Získané údaje nezobrazují reálný snímek vesmíru, ale pomocí kvantifikovatelných hodnot zobrazují výskyt záření. Pokud tedy rádiový teleskop narazí na zdroj enormně vysokého rádiového záření, přiřadí mu patřičnou hodnotu.

Pomocí součtu těchto hodnot můžeme vytvořit komplexnější vizualizace. Příklad vizualizace je na Obrázku 3 a Obrázku 4.

## 2.3. Infračervený teleskop

Infračervené záření je elektromagnetické záření. Jeho vlnová délka je větší než vlnová délka viditelného světla, ale menší než vlnová délka mikrovlnného záření.<sup>21</sup>

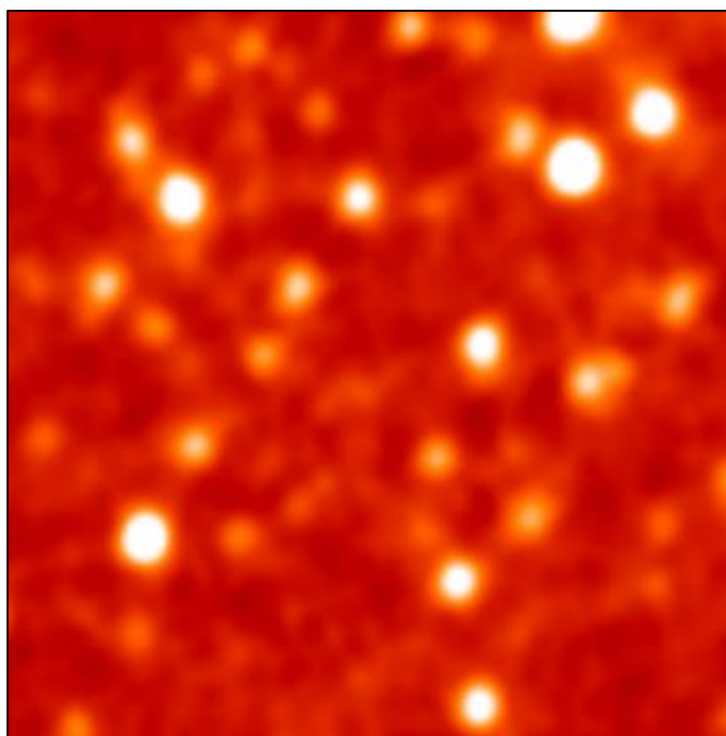
Mezi nejvýznamnější a neznámější IČ teleskopy patří Hubbleův vesmírný dalekohled, který kombinuje několik pozorovatelských metod, a Spitzerův vesmírný dalekohled, jenž je určen primárně na zaznamenávání prostoru v IČ spektru. Na rozdíl od radioteleskopů se IČ teleskopy vyskytují nejčastěji ve vakuu mezihvězdného prostoru (tedy ve vesmíru).

Typickým zdrojem IČ záření může být například hvězda, planeta s atmosférou s funkčním skleníkovým efektem nebo i akreční disk, který je tvořen rychle kmitajícími rozehřátými částicemi. IČ teleskopem se ale pozorují i nejstudenější oblasti mezihvězdného vakua.<sup>22</sup> Typický IČ záznam, který zachycuje vzdálené vesmírné objekty podle jejich teploty, může vypadat jako záznam na Obrázku 3. Na Obrázku 3 jsou nejvýraznější zdroje IČ záření označeny bílou barvou, zatímco méně výrazné zdroje jsou vyjádřeny tmavšími červenými barvami. Protože IČ záření není člověkem viditelné, k jeho vizualizaci se používají grafy, diagramy a grafické obrázky. Tyto pomůcky jsou vytvořeny pomocí získaných hodnot z teleskopů.

---

<sup>21</sup> ASIMOV, Isaac. *Isaac Asimov's Book of facts*. 2. vyd. New York: Hastings House, 1979. s. 113. ISBN 08-038-9347-7.

<sup>22</sup> ROHLFS, Kristen. *Tools of radio astronomy*. Berlin: Springer-Verlag, 1986.



Obrázek 3 – záznam z IČ teleskopu (zdroj: zooniverse.org)

#### 2.4. Rádiový teleskop

Rádiové záření je elektromagnetické záření. Existuje mnoho typů rádiového záření, pro potřeby této seminární práce stačí uvést, že rádiové záření obsahuje rádiové vlny o frekvencích v rozsahu 300 Hz až 300 GHz.<sup>23</sup>

Mezi nejvýznamnější a nejznámější radioteleskopy patří soustava ALMA v Chile, Green Bank ve Východní Virginii nebo Arecibo v Portoriku. Radioteleskopy jsou především na povrchu Země. Nejčastěji se nachází daleko od měst či hustě zalidněných oblastí. Důvodem je snaha o eliminaci rušivého rádiového vysílání, které je generováno člověkem (jako je například rádio, televize, internet).

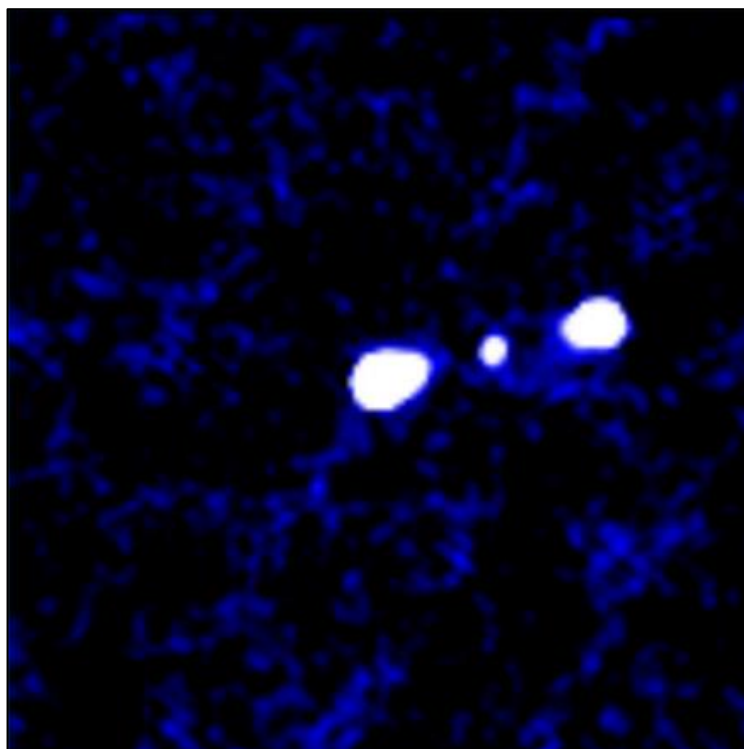
Typickým zdrojem rádiového záření může být například hvězda, v ojedinělých případech planeta (jako Jupiter) či výtrysky vycházející z akrečního disku černé díry.<sup>24</sup> Typický rádiový záznam, který zachycuje vzdálené vesmírné objekty, může vypadat jako záznam na Obrázku 4. Na Obrázku 4 jsou nejvýraznější

---

<sup>23</sup> ASIMOV, Isaac. *Isaac Asimov's Book of facts*. 2. vyd. New York: Hastings House, 1979. s. 116. ISBN 08-038-9347-7.

<sup>24</sup> ROHLFS, Kristen. *Tools of radio astronomy*. Berlin: Springer-Verlag, 1986.

zdroje rádiového záření označeny bílou barvou, zatímco méně výrazné zdroje jsou vyjádřeny tmavšími modrými barvami.



*Obrázek 4 – záznam z radioteleskopu (zdroj: zooniverse.org)*

### 3. Identifikace černých děr

Tato kapitola se zabývá praktickým pozorováním a identifikováním masivních černých děr.

#### 3.1. Zooniverse

Černé díry jsem identifikoval prostřednictvím radiových a IČ záznamů poskytnutých platformou Zooniverse.

Internetový portál Zooniverse je otevřený prostor pro vědecké výzkumníky. Funguje jako spojka mezi zájmy laické veřejnosti a reálnými akademickými pracemi. Dobrovolníci získávají pomocí této platformy možnost podílet se na reálné výzkumné práci. Tuto možnost získávají především v oblastech, kde je k dispozici mnoho dat ke třídění a kde není striktně potřeba odborný dohled. Zkoumání se většinou účastní alespoň přes sto dobrovolníků, jedná se tedy o platformu s velkým zájmem.

#### 3.2. Princip zkoumání

V mém případě práce závisela na hledání dvou do sebe jdoucích radiových kontur, které by teoreticky mohly předvídat přítomnost výtrysků, a jednoho zdroje IČ záření ve středu, který by mohl být akrečním diskem masivní černé díry.

Na Obrázku 5 je vidět uživatelské rozhraní ve čtyřech fázích. Fáze jdou po sobě zleva doprava odshora dolů. Úkolem těchto úkonů je roztrždit pozorovaný vzorek do kategorií.

V první fázi se v rozhraní objeví prolnutý obrázek obou záznamů (IČ a radiového).

V druhé fázi se rozhraní přepne do radiového módu. Prvním úkolem je vyznačit všechny radiové kontury, které lze na snímku spatřit. Tento úkon usnadňují počítačem předem rozpoznané oblasti,<sup>25</sup> které jsou v rozhraní zvýrazněné a které stačí jen potvrdit. V tomto bodě jde většinou jen o korekci filtru počítače.

V třetí fázi se rozhraní přepne do infračerveného módu. Dalším úkolem je najít související zdroj IČ záření.<sup>26</sup> Tyto zdroje povětšinou září výrazněji než pozadí.

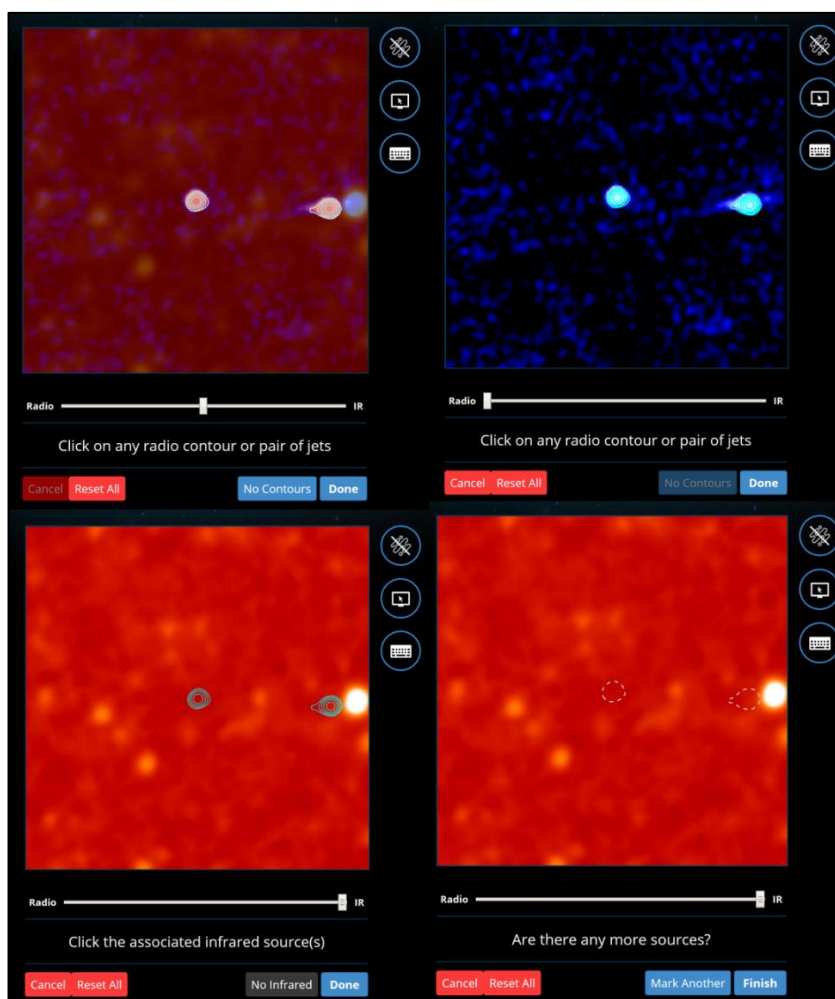
---

<sup>25</sup> Jedná se o vrstevnicově modře ohraničené oblasti na Obrázku 5.

<sup>26</sup> Souvisejícím zdrojem se míní infračervený zdroj, který je umístěn uprostřed do sebe se sbíhajících radiových kontur (viz začátek kapitoly 3.2.).

Mohou ale nastat i případy, kdy mezi dvěma do sebe se sbíhajícími výtrysky žádný výrazný zdroj IČ záření není. V těchto případech se jedná o masivní černou díru s nevýrazným akrečním diskem.

V poslední čtvrté fázi je uživatel vybidnut k uložení dosavadní práce a k přemístění k dalším záznamům.



Obrázek 5 – po sobě jdoucí úkony v programu Zooniverse (zdroj: zooniverse.org)

Vesmír je nicméně přeplněn rádiovým i IČ zářením. Proto se v nejednom případě stane, že při identifikaci objektů lze narazit na nežádoucí a podprahové prvky.

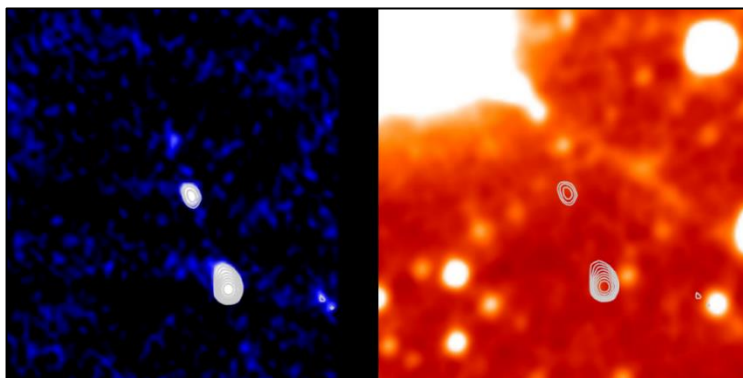
Příčiny výskytu těchto prvků jsou různé – od chyb teleskopu k chybám, které jsou způsobeny 2D záznamem 3D prostoru. Například na Obrázku 5 v třetí a čtvrté fázi je vidět jeden významný zdroj IČ záření. Je nepravděpodobné, že by se

pohyboval ve stejné prostorové přímce s výtrysky.<sup>27</sup> Výtrysk by byl totiž vlivem zdroje IČ zakřiven. Pravděpodobněji se jedná o hvězdu, která v odlišné rovině rádiové záření jen překrývá.

### 3.3. Identifikované objekty

S identifikováním některých pozorovaných objektů mi pomohl na konzultaci Petr Kulhánek, teoretický fyzik, který vyučuje na ČVUT a zároveň se věnuje modelům a simulacím plazmatu. V této kapitole jsem se pokusil vyzdvihnout ty nejzajímavější identifikované objekty (nejen černé díry).

Velmi zajímavým případem černé díry může být například černá díra v solární soustavě Cygnus X-1, o které jsem psal v kapitole 1.1. Zhroucením jedné hvězdy v binárním systému vznikla stelární černá díra, která postupně pohlcuje druhou, zbylou hvězdu. Podobný osud má i hvězda na Obrázku 6 (na snímku ARG000345v).<sup>28</sup> Žhavé částice hvězdy zde proudí směrem ke středu potenciaální černé díry. Porovnání rádiového a IČ záznamu je vidět na Obrázku 6.



Obrázek 6 – proud částic směřující do středu černé díry, snímek ARG000345v (zdroj: zooniverse.org)

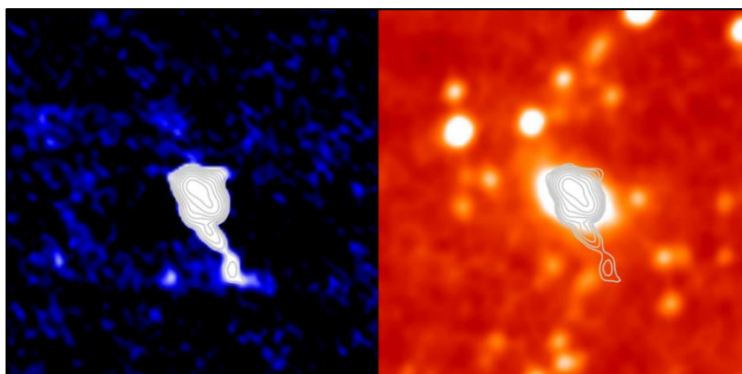
Další ukázkou toho, co lze pomocí programu Zooniverse zaznamenat, je na Obrázku 7 (na snímku ARG0003bq8).<sup>29</sup> Prostřednictvím normálního přibližovacího teleskopu bychom poznali hned, co se na snímcích odehrává. V rádiovém a IČ

<sup>27</sup> Tedy se zdroji rádiového záření.

<sup>28</sup> Vědecké označení snímku je ARG000345v. Pod tímto názvem je segment snímaného vesmíru dohledatelný v katalozích. Důkaz k podložení závěrů jsem našel zde: [WISE](#). Záznamy z infračerveného teleskopu WISE jsou dokonalejší než ze serveru Zooniverse a taktéž poskytují možnost srovnat záznamy v odlišném časovém rozpětí.

<sup>29</sup> Vědecké označení snímku je ARG0003bq8. Pod tímto názvem je segment snímaného vesmíru dohledatelný v katalozích. Důkaz k podložení závěrů jsem našel zde: [SDSS](#). Záznamy SDSS jsou vytvořeny standardním optickým teleskopem.

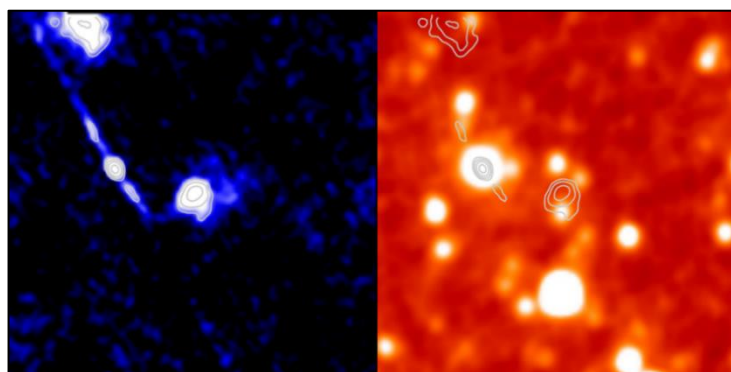
spektru ale celá situace vypadá jinak. Na snímku ARG0003bq8 dochází totiž k spojení dvou galaxií. Porovnání rádiového a IČ záznamu je vidět na Obrázku 7.



Obrázek 7 – spojení dvou galaxií, snímek ARG0003bq8 (zdroj: zooniverse.org)

Mojí nejčastější chybou při identifikaci masivních černých děr byla záměna černých děr s podobnými vesmírnými úkazy, mezi které patří rádiové galaxie či kvasary. Rozdíl mezi rádiovou galaxií a masivní černou dírou je prostý. Masivní černá díra má právě dva výtrysky. Rozpoznání kvasaru od masivní černé díry je ovšem složitější. Dost často se tyto dva pojmy i překrývají.

Na Obrázku 8 (na snímku ARG0000jqj)<sup>30</sup> se s největší pravděpodobností vyskytuje kvasar se silným infračerveným zdrojem (zdroj vlevo). Zdroje dalšího rádiového záření jsou nejasné. Určitě se ale nejedná o černou díru. Může se jednat o neutronové hvězdy, stejně tak se ale může jednat o jev v překryvné vrstvě. Porovnání rádiového a IČ záznamu je vidět na Obrázku 8.



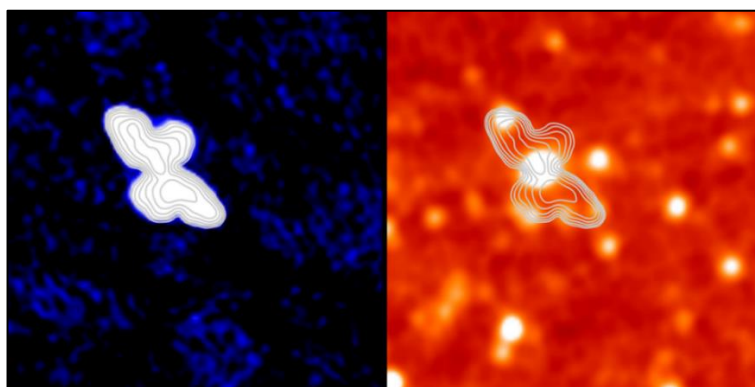
Obrázek 8 – neurčité, snímek ARG0000jqj (zdroj: zooniverse.org)

<sup>30</sup> Jelikož jsem nedospěl k jednoznačnému závěru, nemohu poskytnout důkaz zkoumání.



Rádiová galaxie je zachycena na Obrázku 9 (na snímku ARG0002ato).<sup>31</sup> Na záznamu z rádiového teleskopu upoutá laického pozorovatele především pravidelně zaoblené kontury. Tyto kontury mohou signalizovat existenci silového pole emitovaného středem radiové galaxie. Toto stanovisko je však pouhou spekulací a k jeho potvrzení by byla potřeba zevrubnější analýza, na kterou bohužel nemám dostatek dat.

O rádiovou galaxii se v tomto případě jedná z toho důvodu, že počet laloků převyšuje číslo dvě. Každý úkaz, který má více než dva rádiové laloky či výtrysky, musí být rádiovou galaxií. Porovnání rádiového a IČ záznamu je vidět na Obrázku 9.



Obrázek 9 – rádiová galaxie, snímek ARG0002ato (zdroj: zooniverse.org)

### 3.4. Zhodnocení

Souhrnně jsem úspěšně identifikoval přes šedesát masivních černých děr. Nejčastěji jsem měl problém s vizualizacemi, které jsou koncipovány jako vizualizace v rovině, vesmír je nicméně trojrozměrný. Překrývání objektů bylo největším úskalím pro úspěšné identifikování objektů a jevů.

Druhou překážkou byly objekty a jevy, které mají podobné fyzikální vlastnosti jako masivní černé díry. Mezi tyto jevy patří například pulzary či kvasary. Kvasary s pulzary se liší od masivních černých děr jen velikostí a údaji, které lze nasbírat jen v bezprostřední blízkosti jevu. Proto pro mě v mnohých případech nebylo možné tyto tři jevy od sebe odlišit.

---

<sup>31</sup> Vědecké označení snímku je ARG0002ato. Pod tímto názvem je segment snímaného vesmíru dohledatelný v katalogích. Důkaz k podložení závěrů jsem našel zde: [SDSS](#). Záznamy SDSS jsou vytvořeny standardním optickým teleskopem.

Druhým nejčastěji zobrazovaným jevem hned po masivních černých děrách byly rádiové galaxie.<sup>32</sup> Těch se mi podařilo identifikovat přesně čtrnáct.

Lituji jen toho, že se mi nepodařilo na snímcích zachytit rádiové kontury neutronové hvězdy. S předpokladem, že na tento zdroj rádiového záření narazím, jsem vstupoval do celé práce.

Překvapivě ale musím uznat, že internetový portál Zooniverse je skutečně funkční jako platforma spojující veřejnost a vědeckou komunitu.

---

<sup>32</sup> Jedna z vizuálně „hezčích“ rádiových galaxií je na Obrázku 9.

## **Závěr**

Všechny vytyčené cíle této seminární práce jsou splněny.

V teoretické části jsem objasnil historii výzkumu a fyzikální vlastnosti černých děr. V praktické části jsem bezpečně identifikoval přes padesát masivních černých děr. S pomocí profesora Petra Kulhánka jsem ale úspěšně rozeznal i rádiovou galaxii nebo kvasar.

Praktická část této práce přispěla ve výzkumu masivních černých děr k prohloubení znalostí vědecké komunity.

Vidím prostor pro rozvedení této práce. Určitě by se zde dalo navázat v oblasti zevrubnějšího a konkrétnějšího popsání charakteristik a odlišností. Zejména mám na mysli rozdíl mezi masivní černou dírou a kvasarem, nebo rozdíl mezi kvasarem a pulsarem. Pro tyto kapitoly bohužel nezbylo v této práci místo.

Děkuji Šárce Kvasničkové za zdárné vedení této seminární práce. Děkuji také za její připomínky, nápady a výhrady, které se mi dostaly během mé práce. Nemohu zapomenout ani na konzultaci s Petrem Kulhánkem, který mi pomohl s nemalou částí této seminární práce.

## Zdroje

- [1] ASIMOV, Isaac. *Isaac Asimov's Book of facts*. 2. vyd. New York: Hastings House, 1979. ISBN 08-038-9347-7.
- [2] Černé díry: pád dovnitř. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-01-27]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cern%C3%A1\\_d%C3%ADra](https://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cern%C3%A1_d%C3%ADra)
- [3] DVOŘÁK, Leoš. *Obecná teorie relativity a moderní fyzikální obraz vesmíru*. Praha: SPN, 1984.
- [4] FROLOV Valeri P. a NOVIKOV Igor D. *Black Hole Physics Basic Concepts and New Developments*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1998. ISBN 9789401151399.
- [5] GOTT, Richard. *Cestování časem v Einsteinově vesmíru: fyzikální možnosti cestování časem*. Praha: Argo, 2002. Aliter. ISBN 80-865-6936-5.
- [6] GREGOROVÁ, Dagmar. Černá perla na krku hvězdné Labutě. *Osel* [online]. 2011 [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/6002-erna-perla-na-krku-hvezdne-labute.html>
- [7] HAWKING, Stephen. *Vesmír v kostce*. Praha: Argo, 2002. ISBN 80-720-3421-9.
- [8] JANDA, Martin. Žijeme uvnitř černé díry? *21. století* [online]. 2010 [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <https://21století.cz/2010/11/19/zijeme-uvnitř-černe-díry/>
- [9] JURČA, Miroslav. *Černé díry*. České Budějovice, 2010. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích.
- [10] KULHÁNEK, Petr. Černé díry II: Kandidáti na hvězdné černé díry. In: *Hvězdárna F. P.* [online]. [cit. 2017-12-08]. Dostupné z: <http://www.hvezdarna-fp.cz/dokumenty/CD%20II.pdf>
- [11] NOVIKOV, Igor. *Černé díry a vesmír*. Praha: Mladá fronta, 1989. ISBN 80-204-0028-1.
- [12] ROHLFS, Kristen. *Tools of radio astronomy*. Berlin: Springer-Verlag, 1986.
- [13] Rotující černé díry. Hvězdárna Františka Pešky [online]. 15. února 2014 [cit. 2018-01-27]. Dostupné z: <http://www.hvezdarna-fp.eu/news/rotujici-černe-díry/>
- [14] THORNE, Kip. *Černé díry a zborcený čas: podivuhodné dědictví Einsteinova génia*. Praha: Mladá fronta, 2004. Kolumbus. ISBN 80-204-0917-3.