

MASARYKOVA UNIVERZITA
Přírodovědecká fakulta
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Slupkové galaxie

Jana Mázlová

Brno 2011

Ráda bych poděkovala především svému vedoucímu práce Filipu Hrochovi, za jeho ochotu a cenné rady během zpracování bakalářské práce, a hlavně za jeho neuvěřitelnou trpělivost a pomoc při překonávání nástrah příkazových řádků. Dále bych chtěla poděkovat všem, kteří si ochotně přečetli mou práci a přispěli svými názory k jejímu zlepšení a v neposlední řadě bych chtěla poděkovat mamince za její gramatickou korekturu.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci napsala samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů. Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Brně dne

Jana Mázlová

Abstrakt:

V předložené práci studuji slupkové galaxie. První část se věnuje samotným slupkám, zaměřuje se na jejich historii zkoumání, vzhled, výskyt a barvu. Dále se věnuje modelům vzniku těchto útvarů a metodě jejich zpracování pomocí mediánu. V poslední kapitole pak předkládám svá vlastní zpracování a výsledky. Ke zpracování jsem využívala snímky z Hubbleova vesmírného dalekohledu a primárním úkolem bylo na těchto snímcích najít ony slabé, slupkám podobné struktury nacházející se okolo eliptických galaxií.

Klíčová slova: slupkové galaxie, eliptické galaxie, slupky, medián

Abstract:

This Bachelor's thesis is concerned with Shell galaxies. The first part deals with the shells themselves and focuses on exploring their history, appearance, occurrence and color. Furthermore, deals with models of creation of these units and with the method of treatment by using the median. In the last chapter I put forward my own treatment and results. I used images from the Hubble Space Telescope and the primary task was to find the weak, shell-like structures located around elliptical galaxies.

Keywords: Shell galaxies, Elliptical galaxies, shells, median

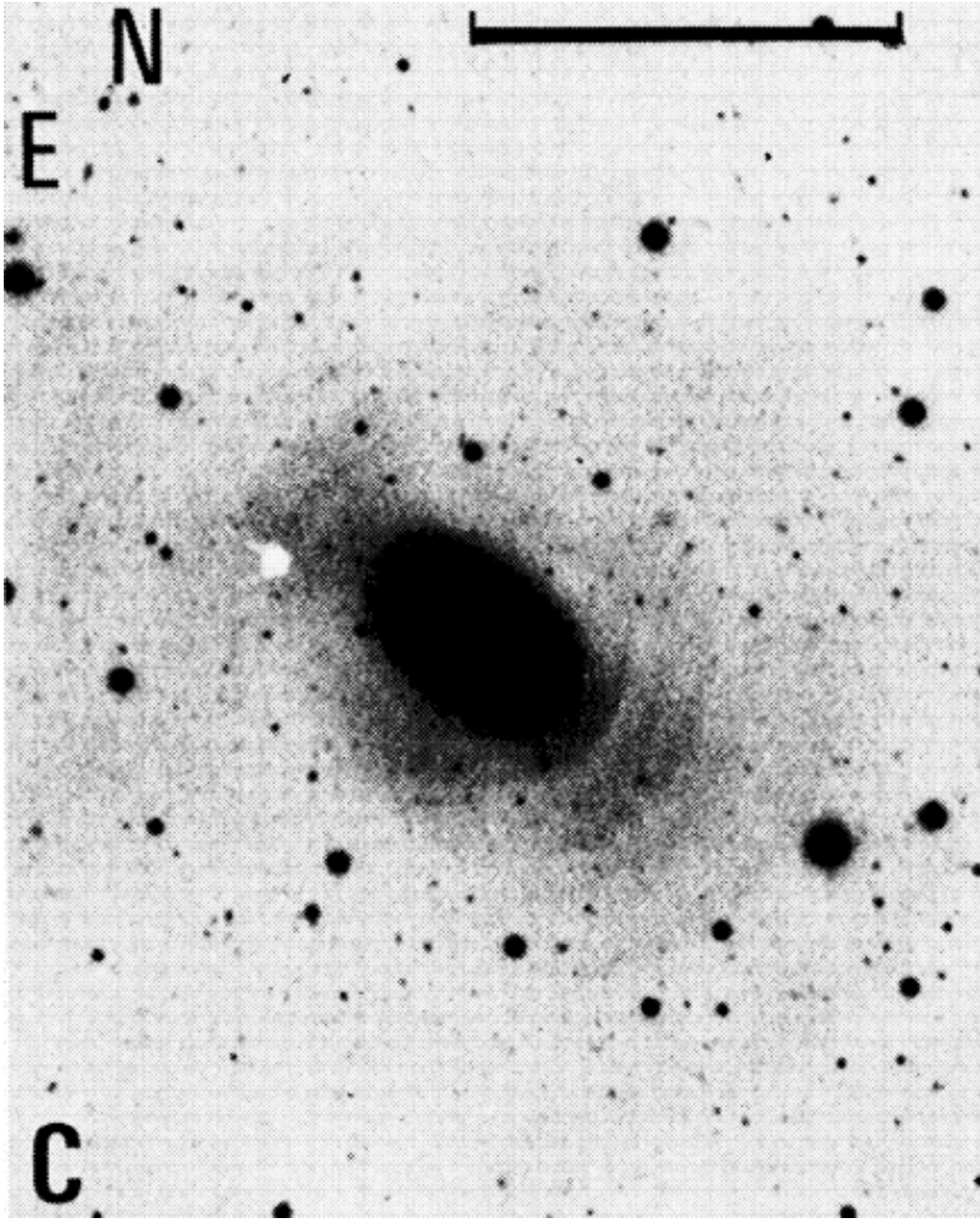
Obsah

1	Úvod	4
2	Co to jsou slupkové galaxie?	6
2.1	Historie	6
2.2	Výskyt	9
2.3	Vzhled	9
2.4	Barva	11
2.5	Plyn a prach	12
2.6	Rádiový zdroj	12
3	Vznik slupek	13
3.1	Srážkový model	13
3.1.1	Fáze balení	14
3.2	Model slabé interakce	15
4	Metody zpracování dat	16
4.1	Astrometrie a fotometrie	16
4.2	Mediánové filtry	16
5	Vlastní zpracování	18
5.1	Získání snímku	18
5.2	Fotometrická analýza	23
6	Závěr	30
	Literatura	32

Kapitola 1

Úvod

Země je jen jednou z mnoha planet v tom nekonečném vesmíru, který je všude okolo nás. Můžeme v něm najít tolik krásných věcí, od těch nejmenších prachových zrn, až po vznešené galaxie putující prostorem. S každým pohledem k hranicím vesmíru objevujeme stále nové a nové objekty, které nám vyrážejí dech a my nad nimi zůstáváme stát s ústy dokořán. Jedním z takových úkazů jsou také slupkové galaxie. Jejich zajímavost tkví především v kruhových strukturách, které samotnou galaxii obklopují. Tyto oblouky jsou tvořené převážně hvězdami a ve většině případů se neprotínají. Samotný termín „slupka“ je už v literatuře poněkud rozšířený a postupně tak nahradil konkurenční termín „vlnky“. A co se týče původu tohoto krásného úkazu, tak podle posledních poznatků jejich vznik souvisí s interakcí mezi galaxiemi.



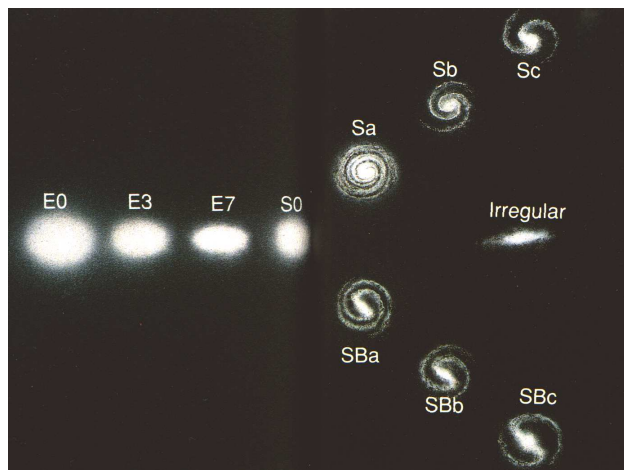
Obrázek 1.1: *Galaxie NGC 3923 z A Catalog of elliptical galaxies with shells*

Kapitola 2

Co to jsou slupkové galaxie?

2.1 Historie

Vývoj poznání vzniku galaxií se datuje hluboko do minulosti. Jedním z prvních, kdo zastávali myšlenku, že hvězdy dohromady tvoří naši Galaxii, byl Immanuel Kant. Od této myšlenky nebylo daleko k myšlence, že naše Galaxie je pouze jedna z mnoha dalších, které tvoří samotný vesmír. Stále ale chyběl dostatek údajů, aby se tato tvrzení mohla potvrdit. Zlom přišel v roce 1924, kdy Edwin Powell Hubble nashromáždil dostatek dat a objasnil, že některé z oněch pozorovaných mlhovin jsou jiné galaxie. Rok na to tento americký astronom zavedl klasifikaci galaxií.



Obrázek 2.1: Hubbleova klasifikace galaxií (<http://universeacross.wordpress.com/>)

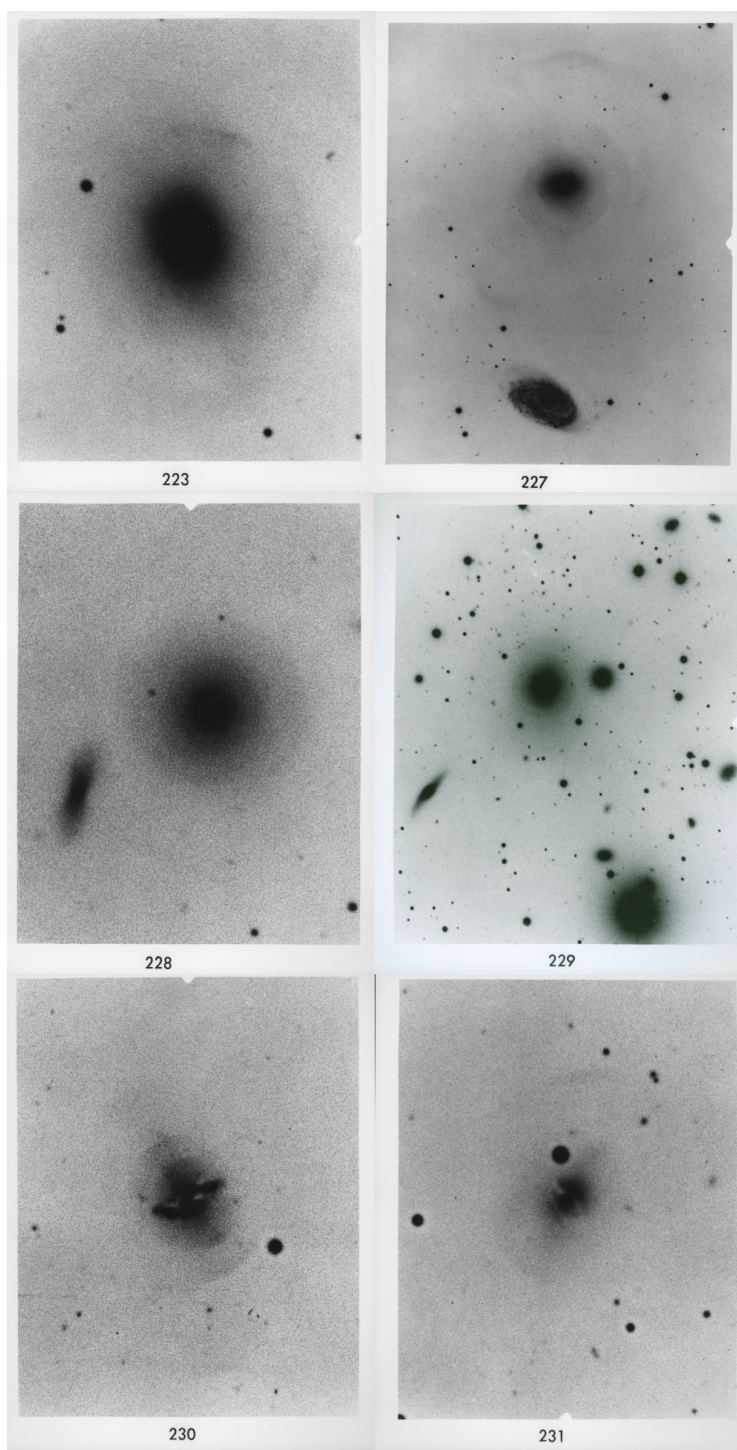
Díky této klasifikaci jsou galaxie rozděleny do několika kategorií podle tvaru samotné galaxie. Rozlišujeme tak galaxie eliptické, spirální, spirální s příčkou a nepravidelné. Každá tato skupina se dělí ještě na několik podskupin určených specifitějšími znaky. Pokud jde o skupinu nepravidelných galaxií, zde se zařazují všechny ty galaxie, které nelze přisoudit zbylým třem skupinám. Díky tomuto faktu je tato skupina poněkud obsáhlá.

V té době se však o slupkových galaxiích ještě nevědělo. První, kdo se o ně začal zajímat a zaznamenal je ve svém katalogu *Atlas of Peculiar Galaxies*, byl Halton Arp. Tento pán také jako první použil při označení těchto struktur slovo „slupky“, které pozoroval u objektu Arp 230. Jeho katalog vznikl v roce 1966 a obsahuje fotografie 338 nejbližších galaxií, které jsou něčím neobvyklé a nelze je zařadit mezi běžné typy galaxií. Netypické galaxie jsou rozděleny do několika podskupin.

Slupkové galaxie zde konkrétně nalezneme pod označením „soustředné kruhy“, do této skupiny patří objekty Arp 227 až Arp 231, také se k nim řadí objekt Arp 223. Na obrázku 2.2 se nacházejí zmíněné galaxie.

Dalším katalogem, kde lze najít slupkové galaxie, je *A Catalogue of elliptical galaxies with shell* (1983). Autoři tohoto katalogu, Malin a Carter, zde prezentují 137 galaxií s deklinací větší než je -17° , u kterých pozorovali projevy slupek nebo vlnek. Polovina z těchto galaxií jsou galaxie izolované. Zbylé jsou členy blízkých jižních kup Fornax, Hydra a Centaurus.

Kromě těchto dvou pánů se slupkovými galaxiemi zabývali i jiní. Například Wilkinson, který se pokoušel najít rádiový a infračervený zdroj a hlavně přispěl svou dvojbarevnou CCD fotometrií šedesáti šesti galaxií. V sériích článků Longhetti a Rampazzo zkoumali historii hvězdných seskupení v jednadvaceti katalozích slupkových galaxií. Forbes a spol. zase hledali sekundární jádro u 29 slupkových galaxií. Zkoumání a sbírání poznatků o slupkových galaxiích bylo učiněno v rozmezí desítek let řadou individuálních pozorování. A s každým novým objevem se znalosti posouvaly o kousek dál.



Obrázek 2.2: *Slupkové galaxie v Atlas of Peculiar Galaxies*

2.2 Výskyt

Ze začátku byly slupky nalézány především u galaxií typu E, E/S0 nebo S0. Poté je však Schweizer a Seitzer objevili také u galaxií typu S0/Sa a Sa. Co bylo překvapující, tak i u galaxie typu Sbc (NGC 3310) byly objeveny struktury podobné slupkám. Ve skutečnosti však tito dva pánové byli proti používání termínu „slupky“ a přikláněli se spíše k označení „vlny“, což bylo podle nich mnohem výstižnější.

Pokud jde o reálný odhad hojnosti výskytu slupkových galaxií, je to zhruba okolo 10 % u galaxií raného typu. Raný typ je běžné označení galaxií E, E/S0 a S0 Hubbleovy klasifikace. Hubble původně věřil, že spirální galaxie se v průběhu času vyvinuly roztočením z eliptických galaxií. A i když toto už delší dobu neplatí, v astronomickém žargonu se zachovaly pojmy jako raný a pozdní typ galaxií, což souvisí s tím, zda se galaxie vyskytuje vlevo či vpravo na diagramu.

Dalším důležitým kouskem informací v souvislosti se slupkami je jejich závislost výskytu na prostředí. Slupky můžeme spatřit 5 krát častěji u izolovaných galaxií než u galaxií v kupách. Malin a Carter (1983) prozkoumali 137 galaxií–izolovaných jich bylo šedesát pět, čtyřicet dva z nich bylo ve volných skupinách galaxií a pouze pět jich bylo součástí kup. Zbýlých dvacet pět galaxií patřilo do skupiny dvou až pěti galaxií. Když budeme brát v potaz pouze izolované galaxie, tak nám zastoupení vzroste až na 17 % . Stejněho výsledku dosáhl také Colbert a spol. (2001), který detekoval slupky u devíti z 22 izolovaných galaxií, ale u galaxií raného typu měla slupky pouze jedna z dvaceti galaxií. Reduzzi a spol. (1996) představují výsledky, kdy detekovali slupky u 4 % z 54 párů galaxií a u 16 % z 61 izolovaných galaxií raného typu. Schweizer a Ford zase zkoumali nezávislé vzorky třiceti šesti izolovaných eliptických galaxií za účelem studia jejich morfologie. Zjistili, že šestnáct z nich má vlnky. Naproti tomu Marcus a spol. (2004), při zkoumání stejného vzorku galaxií, našel pouze jednu jedinou slupkovou galaxii, napříč předpovědi, že by zde měly být aspoň čtyři galaxie se slupkami.

Nicméně, pravé zastoupení slupkových galaxií se stále může lišit od uvedených hodnot. Vše samozřejmě záleží na tom, jaké galaxie klasifikujeme jako slupkové galaxie a na naší schopnosti detekovat mnohdy slabé a nevýrazné slupky.

2.3 Vzhled

Slupky nacházíme v rozmanitých podobách, neliší se pouze vzhledem, ale také počtem či rozdělením. Jsou všeobecně soustředné a jsou zcela odlišné od spirálních ramen. Slupky nikdy zcela neobklopovaly galaxii a všeobecně se myslelo, že jde o difúzní struktury. Ač se to někdy nezdá, galaxie mohou mít velké množství slupek, ale

my je nemusíme zahlédnout díky nízké povrchové svítivosti ve větších vzdálenostech od jádra. Takovým příkladem je NGC 1355. Bohatý systém až třiceti slupek také nalezneme u galaxií NGC 3923 a NGC 5982, v tomto případě se ale jedná spíše o výjimky mezi slupkovými galaxiemi. Když se podíváme na Malin-Carterův katalog, tak zde má většina galaxií méně než čtyři slupky. Proto je velice obtížné vynést jakýkoliv soud o typickém počtu slupek kolem galaxie. Navíc, detekce většiny z nich je velice delikátní záležitost. Slupky totiž ve skutečnosti zastupují pouze malý zlomek z celkové zářivosti hostitelské galaxie. Jedná se většinou o 3 % až 6 %, takže jejich povrchová zářivost je velmi nízká.

Základním materiálem jsou převážně hvězdy. Samotné slupky jsou formovány do oblouků a nalézají se ve specifickém dvojitém kuželu vždy na opačných stranách galaxie nebo galaxií obklopují téměř všude okolo. I přesto, že mají tendence mít ostré okraje, u spousty z nich jsou okraje spíše slabé a rozptýlené. Prieur (1900) a Wilkinson a spol. (1987c) rozdělili slupkové galaxie do tří morfologických kategorií.

- **Typ I (Cone)**

U tohoto typu se slupky vzájemně prokládají v poloměru, takže další vnější slupka je obvykle na opačné straně jádra. Slupky jsou dobře sladěny s hlavní osou a rozstup slupek roste s poloměrem. Ukázkou tohoto typu je galaxie NGC 3923, NGC 5982 a také NGC 7600.

- **Typ II (Randomly distributed arcs)**

Zde je systém slupek náhodně rozmístěný především okolo kruhových galaxií. Zástupcem je například NGC 474.

- **Typ III (Irregular)**

Systém slupek se skládá z více komplexních struktur, které lze klasifikovat.

Dupraz a Combes (1986) uvádějí, že neostré rozdělení slupek je úzce spojeno s excentricitou samotné galaxie. Pokud se eliptická galaxie nachází na diagramu blíže k typu E0, pak je struktura slupek náhodně rozmístěna okolo galaktického centra. Naopak, když je galaxie zřetelně zploštělá, slupky inklinují k sladění s hlavní osou. V tomto případě jsou slupky často prokládány na obou stranách centra.

U slupkových galaxií se také velice často definuje radiální rozsah slupkového systému. Jedná se o poměr vzdáleností nejvzdálenější slupky s nejbližší slupkou. Tento

poměr poloměrů nám může vyjít velký, jako například pro Typ I, kdy je to šedesát. To ovšem nebývá tak běžné. Typický poměr je deset a méně. U galaxií, kde je detekováno jenom pár slupek, bývá poměr dokonce nižší než pět.

Wilkinson a spol. (1987c) zkoumali šedesát šest z 74 galaxií s rektascenzí od $01^{\circ}40'$ do $13^{\circ}46'$ z Malin-Carterova katalogu a zjistili, že slupky se běžně vyskytují blíže k jádru a zhruba 20 % těchto systémů vnitřních slupek má spirální tvar.

2.4 Barva

Na počátku zkoumání slupkových galaxií bylo všeobecně rozšířeno a věřilo se, že slupky jsou spíše modřejší než základní galaxie (Athanasoula and Bosma 1985). Tehdy bylo však docela obtížné získat potřebná data z pouze pár procent zářivosti galaxie a nejistota byla pravděpodobně velká.

Carter a spol. (1982) představují široko rozsahovou optiku a blízkou infračervenou fotometrii galaxie NGC 1344. Zde odvozená barva indikuje, že se slupky skládají z hvězdných populací, které jsou možná modřejší než hlavní část galaxie. První CCD fotometrická pozorování byla uskutečněna Fortem a spol. v květnu 1983 za pomoci CFHT (Canada-France-Hawaii Telescope). Pozorovány byly galaxie NGC 2865, NGC 5018 a NGC 3923. U prvních dvou galaxií bylo zjištěno, že slupky jsou modřejší než samotná galaxie. Pokud jde o NGC 3923, zde slupky vykazovaly stejnou barvu jako galaxie. Výsledky byly získávány z vnějších slupek. Stejných výsledků dosáhl i Pence (1986), když se zaměřil na slupky u galaxií NGC 3923 a NGC 3051. Na druhou stranu, McGaugh a Bothum objevili jak zčervenalý, tak i nepatrně namodralý systém slupek mezi vzorkem tří galaxií (Arp 230, NGC 7010 a Arp 223). Multibarevná fotometrie NGC 7010 pak ukazuje barevný trend mezi červenějším centrem galaxie a jejími modřejšími periferiemi.

Co se týče zjišťování barev slupek, proběhlo ještě spoustu dalších pozorování. Forbes a spol. (1995) zjišťovali barvu slupek u IC 1459 a zjistili, že mají stejnou barvu jako galaxie. Turnbull a spol. zase našli u slupkových galaxií NGC 474 a NGC 7600 vnitřní slupky červenější než ty vnější. Prierfederici a Rampazzo (2004) prozkoumávali vzorek šesti galaxií (NGC 474, NGC 6776, NGC 7010, NGC 7585, IC 1575) a zjistili, že barvy slupek byly podobné nebo nepatrně červenější než hostitelská galaxie. Sikkema a spol. například přisuzují ono červené zbarvení prachu, který je fyzicky spojený se slupkami.

2.5 Plyn a prach

Co se týče výskytu prachu, tak při použití archívních dat z HST se zjistilo, že polovina eliptických galaxií vykazuje viditelnou přítomnost prachu. Colbert a spol. zase zjistili, že to je až 75 % u izolovaných galaxií a galaxiích ve skupinách. Nutno ale podotknout, že v jejich vzorku byla většina galaxií slupkových, které obsahovaly prach. Sikkema a spol. (2007) objevili, že slupky obsahují procentuálně více prachu vzhledem ke hvězdám než hlavní část galaxie. Tohle by také mohlo být vysvětlení, proč v mnoha případech pozorujeme červenější zbarvení slupek. Velké množství prachu bylo také nalezeno v galaxií NGC 5128.

Když se podíváme na plyn, tak zjistíme, že množství jak neutrálního tak ionizovaného plynu obsaženého ve slupkových galaxiích, je srovnatelné vzhledem k obsahu plynu v ranějších typech galaxií. U oblouků H I se pozoruje, že sice leží paralelně s hvězdnými oblouky, jsou však posunuté mimo vnější slupky. Takovéto uskupení bylo nalezeno například u Centaurus A, kde byl plyn v podobném obloukovém zakřivení a byl posunut o 1' vnějším směrem od hvězdných slupek. Podobně to také bylo u NGC 3656. Rampazzo zase zkoumal kinematiku horkého plynu a zjistil, že ve většině případů se hvězdy a plyn objevují odděleně.

2.6 Rádiový zdroj

Wilkinson a spol. (1987a) objevili v Malin-Carterovu katalogu podmnožinu šedesáti čtyř galaxií, které vyzařovaly na 20 a 6 cm vlnové délky. Což by poukazovalo na možný rádiový zdroj nacházející se v galaxii. Nakonec ale pouze dvě galaxie z jejich souboru obsahovaly zřejmý rádiový zdroj. Galaxií detekovaných s hustotou toku okolo 0,6 mJy při 6 cm bylo čtyřicet dva. Výsledky této detekce se nijak neliší od eliptických galaxií či galaxií typu S0. Wilkinson také našel soubor galaxií obsahující objekty s širokou různorodostí optického projevu a navrhoval, že tyto galaxie nepatří do homogenní skupiny s jednotnými fyzikálními vlastnostmi.

Kapitola 3

Vznik slupek

Znalosti týkající se slupkových galaxií se postupně zdokonalovaly a s tím přicházela i otázka, co je příčinou jejich vzniku. Odpověď na tuto otázku nebyla jen jedna, ale hned několik. Některé teorie bohužel neuspěly, jiné zůstaly aktuální až do dnešní doby.

Jedna z prvních teorií byla vyslovena Fabianem v roce 1980. Tento pán se spolupracovníky zastával myšlenku, kdy jsou slupky formovány galaktickým větrem. Williams a Christiansen byli zase toho názoru, že slupky jsou důsledkem vymetení plynu pomocí po sobě jdoucích výbuchů hvězd během raného vývoje galaxie. Mnoho teorií postupně vznikalo a zase upadalo do zapomnění. Nakonec však zůstaly dva možné scénáře původu slupek, o kterých se neustále debatuje. Jsou jimi Srážkový model a Model slabé interakce.

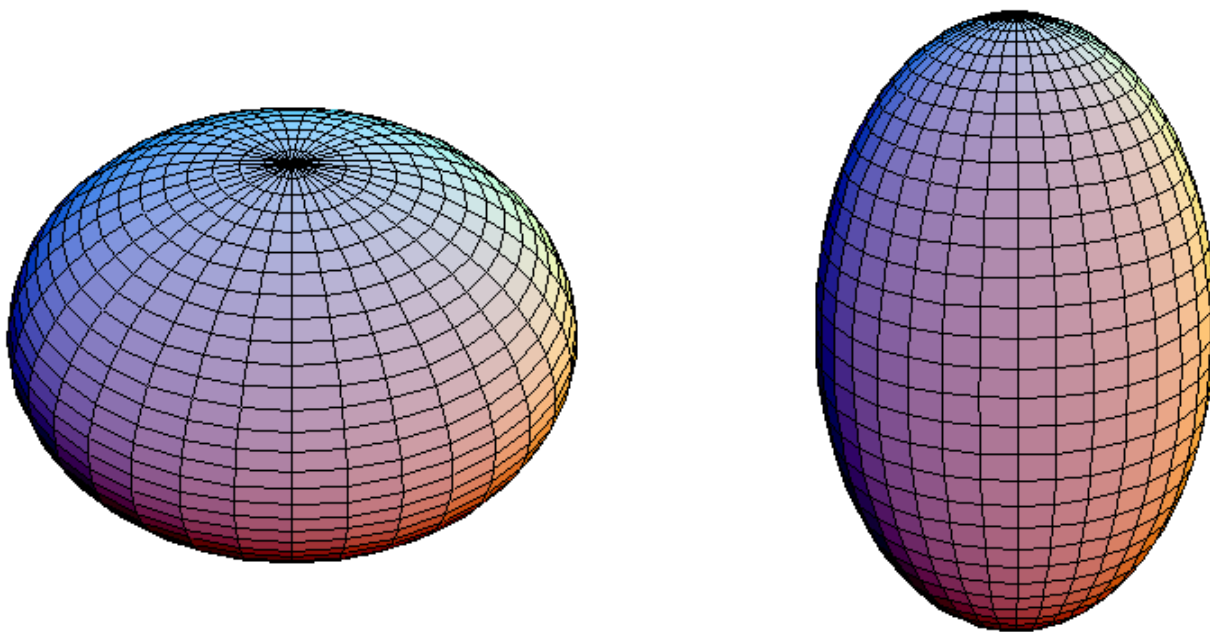
3.1 Srážkový model

Když se podíváme na jednu z prací Toomreho a Toomreho z roku 1972, nalezneme v ní informace o úžasných filamentárních strukturách spojených s pekuliárními galaxiemi. Domnívali se, že struktury jsou výsledkem blízkého setkání dvou rozdílných objektů. Ve Schweizerově studii o slupkové galaxii NGC 1316 (Fornax A) byla poprvé publikována myšlenka spojitosti mezi splynutím dvou galaxií a vznikem slupek. Představoval si, že slupky jsou důsledkem silné reakce, která se projeví v disku galaxie, když jiná galaxie srovnatelné velikosti padá volným pádem do centra mateřské galaxie. Tehdy se hustotní vlna šíří ven, někdy následována menšími vlnami, a dává tak galaxií slupkový vzhled. Základní myšlenka je vždy stejná. Během setkání dvou galaxií dojde k narušení gravitačního pole mateřské galaxie cizí galaxií a slupky jsou tedy hustotní vlny utvářené hvězdami cizí galaxie.

3.1.1 Fáze balení

Pokud menší galaxie vstoupí na radiální či jí blízké trajektorii do prostoru větší eliptické galaxie, menší galaxie se rozdělí a její hvězdy začnou oscilovat v potenciálním poli velké galaxie, která zůstane nepoznamenaná. Hvězdy při oscilaci kolem galaxie v některých místech zpomalují a mají tendenci strávit zde více času, pomalu se tam hromadí a vytvářejí tak obloukům podobné struktury.

Dupraz a Combes se snažili vysvětlit napozorované typické slupkové útvary při setkání sekundární galaxie s primární zploštělou a protáhlou galaxií. Tyto dva případy se liší hned v několika věcech. Nejdříve se podíváme na případ, kdy sekundární galaxie padá do protáhlé primární galaxie. Tehdy padá galaxie okolo osy symetrie. Hvězdy sekundární galaxie se pohybují kyvadlově podél hlavní osy primární galaxie a formují se kolem ní vždy na protilehlých stranách. Zatímco u zploštělé galaxie dochází k pádu svisle ve směru osy symetrie. Jelikož se zde nenachází žádná privilegovaná hlavní osa, systém slupek zde nejeví žádnou symetrie a slupky jsou tak náhodně rozprostřeny okolo centra primární galaxie.



Obrázek 3.1: *Zploštělý a protáhlý tvar*(*sc.wikipedia.org*)

V důsledku toho Dupraz a Combes přišli s tvrzením, že systém slupek je sladěný s hlavní osou primární galaxie, pouze pokud se jedná o protáhlou galaxii a úhel dopadu sekundární galaxie je menší než 60° . Na druhou stranu systém slupek uspořádaný podle vedlejší osy je možný jen v případě, kdy je primární galaxie zploštělá a úhel dopadu je menší než 30° . Toto tvrzení však vyvrátil Hernquist a Quinn, kteří provedli své vlastní simulace a přišli s tím, že dvě primární galaxie, jedna protáhlá a druhá zploštělá, při srážce se sekundární galaxií, mohou mít stejné vnější slupky, pokud jejich potenciál bude v každém případě sférický.

3.2 Model slabé interakce

Model slabé interakce neboli WIM představili jako alternativu ke Srážkovému modelu Thomson a Wright (1990). Podle nich, když dojde k setkání dvou galaxií na parabolické dráze a slabé interakci mezi nimi, tak v tlustém disku tvořeném populací chladných dynamických hvězd vznikají hustotní vlny, které můžeme později pozorovat jako slupky. Už Toomre a Toomre modelovali setkání dvou systémů s chladným diskem, kdy vznikaly, různé slupkám podobné, struktury. Slabinou tohoto modelu slabé interakce je však fakt, že eliptické galaxie jsou známé jako horké dynamické systémy. Thomson a kolektiv poznamenali, že většina eliptických galaxií z katalogu Malina a Cartera jsou klasifikovány jako S0s, kde by se neměly vyskytovat populace chladných hvězd pohybujících se po blízké orbitě. Také ale poznamenali, že tlustý disk může být přítomen v mnoha eliptických galaxiích, jen nebyl nikdy detekován. Ze simulací Thomsona a Wrighta vyplývá, že tlustý disk je vždy chladný, a i když tvoří jen pár procent z celkové hmoty galaxie, dají se pomocí něj vysvětlit slabé struktury, které vidíme u mnoha slupkových galaxií.

Kapitola 4

Metody zpracování dat

4.1 Astrometrie a fotometrie

Každý světelný paprsek, který k nám přichází z nebeského tělesa, můžeme charakterizovat třemi základními vlastnostmi. Směrem, intenzitou a spektrálním složením. Každou touto vlastností se zabývá jiný obor astronomie. Spektrálním složením se zabývá spektroskopie. Co se týče směru, ten je předmětem zkoumání astrometrie. Jejím cílem je přesné určení této veličiny. Dále také zkoumá polohy a pohyby hvězd a nebeských objektů na nebeské sféře. Fotometrie se zaměřuje na intenzitu světelného paprsku. Slovo pochází z řeckého „fotos“ jako světlo a „metron“ jako míra. Ve viditelné oblasti světlo charakterizujeme podle toho, jak moc působí na lidské oko. Veličinám, které měříme, se říká fotometrické a patří mezi ně například svítivost, světelný tok nebo osvětlení.

4.2 Mediánové filtry

Při zpracování signálů se převážně využívají lineární filtry. Je to hlavně díky zpracovatelnosti lineárních systémů a efektivnosti výpočtů. Tyto filtry mají však i své slabiny, kterými jsou nezachování ostrosti hran signálů a neefektivnost při zpracování signálů obsahující impulsní rušení. Mezi šумы, které ruší signály, patří například atmosférické šумы. Tento problém lze však vyřešit nelineárními filtry a jedním takovým příkladem je třída mediánových filtrů.

Jsou založeny převážně na teorii seřazovacích statistik, kdy se využívají nelineární metody vyhlazení signálu, potlačení impulsního šumu a zachování hran obrazů, což je velmi důležité. Tyto metody nám poskytují větší kompromis mezi vyhlazením a



Obrázek 4.1:

Vlevo originální fotografie, vpravo medián této fotografie(en.wikipedia.org)

ztrátou velmi jemných detailů obrazu. Přes všechny tyto výhody však nejsou ideálními filtry. Mnohdy způsobují časový pohyb hran, pruhy v obrazu anebo odstranění důležitých detailů. Když si vezmeme jednodimenzionální případ, zde se mediánový filtr skládá z posuvného okna, které je tvořeno lichým počtem pixelů. Medián je pak hodnota, kdy se z lichého počtu uspořádaných prvků od minima po maximum vybere prostřední hodnota. V případě sudého počtu prvků se vyberou prostřední dvě a udělá se jejich aritmetický průměr.

Pokud jde o rozdělení pravděpodobnosti je mediánem číslo m , pro které platí tato podmínka:

$$P(X \leq m) \geq \frac{1}{2} \quad \text{a} \quad P(X \geq m) \geq \frac{1}{2} \quad (4.1)$$

V případě spojitého rozdělení zadaného hustotou pravděpodobnosti f pro medián platí:

$$\int_{-\infty}^m f(x) dx = \frac{1}{2} \quad (4.2)$$

Medián je velice často používán pro jeho zachování hran při odstraňování šumu. Není ovlivňován extrémními hodnotami, což je jeho velkou výhodou. Také ho lze definovat na každém souboru uspořádaných relací a nemusí jít přitom jen o čísla.

Kapitola 5

Vlastní zpracování

Odhalit slupkám podobné útvary okolo vybraných galaxií, bylo mým prvním úkolem, který jsem si předsevzala. Volba padla na galaxii NGC 3923 a galaxii NGC 2865.

Galaxii NGC 3923 jsem vybrala pro její jedinečnou bohatost slupkových struktur. Její slupkový systém patří do kategorie Typ I, kdy se slupky vzájemně prokládají v poloměru, takže další vnější slupka je obvykle na opačné straně jádra. Slupky jsou dobře sladěny s hlavní osou a jejich rozestup roste s poloměrem. Původně byla objevena na konci 18. století Williamem Herschlem, že se však jedná o galaxii obklopenou zvláštními útvary zjistil až v roce 1977 Malin. A to díky své nové metodě odhalování slabého vnějšího okolí galaxie. NGC 3923 je galaxie typu E nacházející se v souhvězdí Hydra, je od nás vzdálena 25,8 Mpc a její přesné souřadnice jsou $\alpha = 11^\circ 51' 1.7''$ a $\delta = -28^d 48^m 22^s$.

Druhým kandidátem byla galaxie NGC 2865. Poprvé byla objevena v roce 1835 Johnem Herschlem a pravděpodobně reprezentuje dřívější stádium slupkových struktur než jaké najdeme například u galaxie NGC 3923. Nachází se ve vzdálenosti 35,71 Mpc a její hvězdná velikost je 12,57 magnitud. Opět se jedná o galaxii typu E, kterou nalezneme v souhvězdí Hydra na souřadnicích $\alpha = 09^\circ 23' 30.2''$ a $\delta = -23^d 09^m 41^s$.

5.1 Získání snímku

K zpracování jsem potřebovala vhodné fotografie, a ty jsem si stáhla z Hubbleova vesmírného dalekohledu (HST)[11]. Ačkoliv už byly snímky kalibrované, přesto je bylo potřeba dále upravit, aby na nich byly vidět slabé struktury obklopující galaxii. K tomu jsem využila metodu, při které se pracuje s mediánem a program IRAF. Zkalibrovaný snímek jsem pomocí několika příkazů a v konečné fázi pomocí příkazu fmedian upravila. Poté takto upravený snímek odečetla od původního a výsledkem

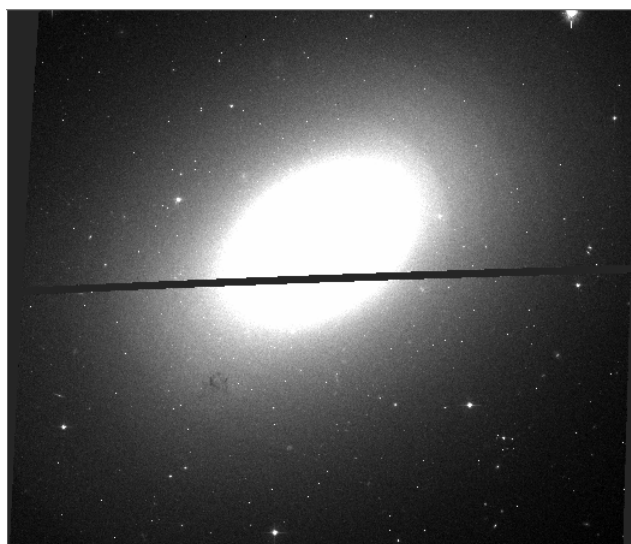
byl snímek, na kterém byly krásně vidět ony obloučky reprezentující slupky. Stejným procesem jsem upravila i fotografie galaxie NGC 2865 a došla opět k uspokojivému výsledku.

```
ecl> images
images> imfilter
imfilter> cd ngc3923
imfilter> fmedian
Input images to be filtered: j8fk01011_drz.fits[sci]
Output images: median1
X window size of median filter: 100
Y window size of median filter: 100
101x101 Box median filter j8fk01011_drz.fits[sci] to median1
Pixels from -60.54755 to 146.9794 mapped to integers from -32768 to 32767
```

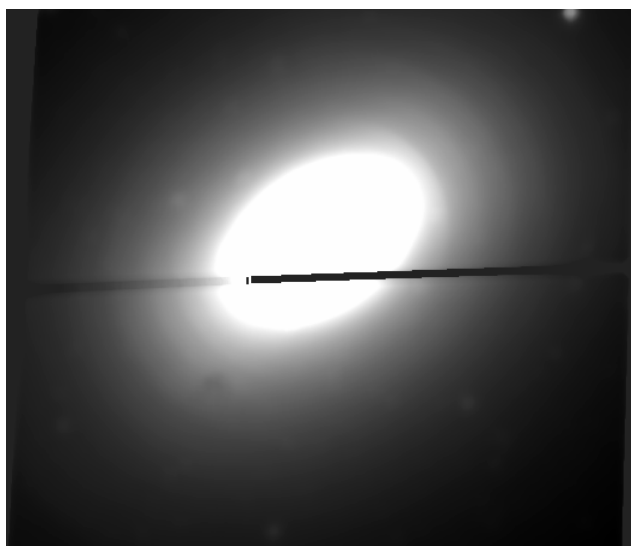
Nejprve jsem z možných příkazů zvolila ten správný, kterým byl „fmedián“, a pak jsem vstupní snímek `j8fk01011_drz.fits[sci]` pomocí tohoto příkazu upravila. U mediánu je také potřeba určit rozsah okna, ze kterého se budou data brát. Okno se pak pohybuje po navzorkovaném signálu a vzorky se v něm seřadí podle velikosti. Ten prostřední je medián.

```
imfilter> imarit
Operand image or numerical constant (median1): j8fk01011_drz.fits[sci]
Operator (+|-|*|/ min|max) (-): -
Operand image or numerical constant (slupka1): median1
Resultant image: slupka1
```

Po získání mediánu následovalo jeho odečtení od původního snímku. Jednoduchým příkazem „`imarit`“ jsem provedla potřebnou výpočetní operaci a získala tak výsledný snímek, který jsem využila k dalšímu zpracování.

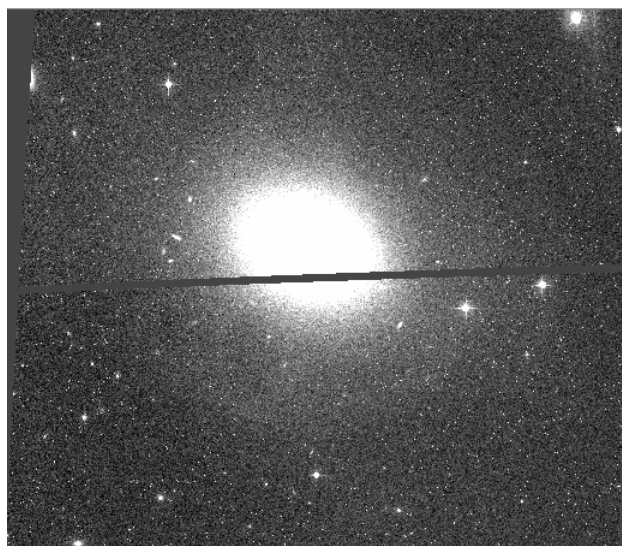


Obrázek 5.1: *Původní snímek galaxie NGC 3923*

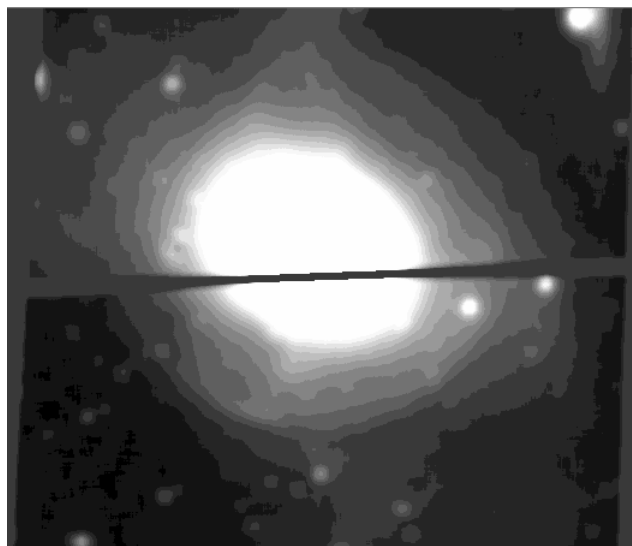


Obrázek 5.2: *Medián původního snímku galaxie NGC 3923*

Na obrázku (5.1) je původní snímek galaxie NGC 3923, tak jak jsem si ho stáhla z HST. Na obrázku (5.2) už lze vidět medián snímku.

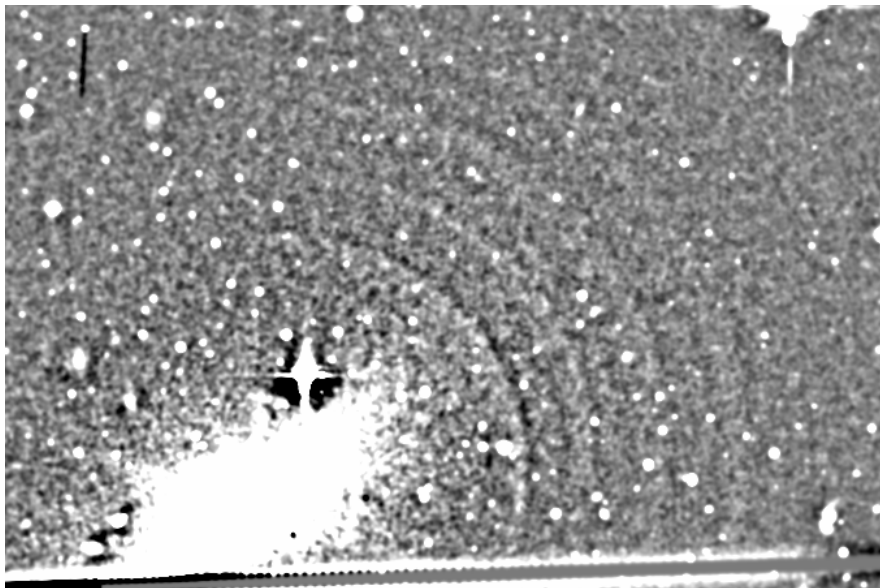


Obrázek 5.3: *Původní snímek galaxie NGC 2865*

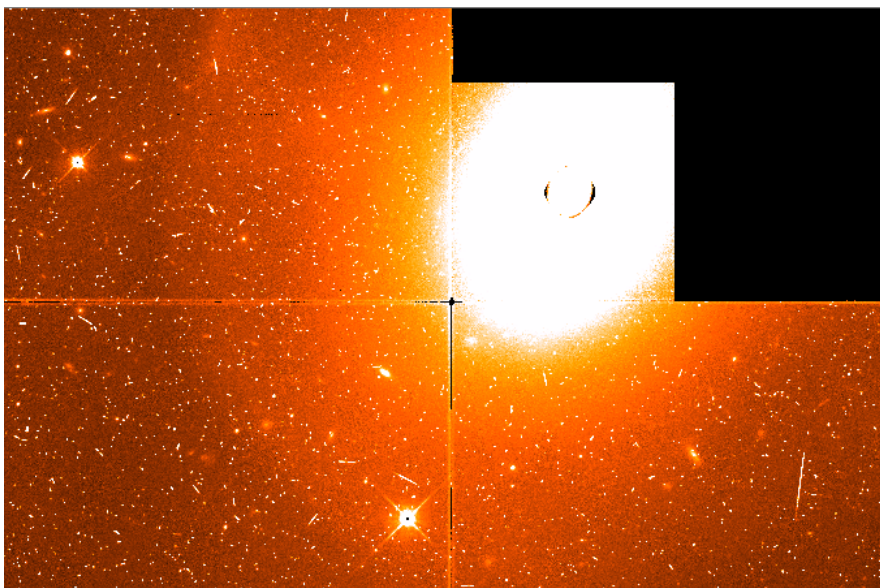


Obrázek 5.4: *Medián původního snímku galaxie NGC 2865*

Na obrázku (5.3) vidíme opět původní snímek, tentokrát však galaxie NGC 2865, následující obrázek (5.4) představuje medián.



Obrázek 5.5: Výsledný snímek se slupkami u galaxie NGC 3923



Obrázek 5.6: Výsledný snímek se slupkami u galaxie NGC 2865

5.2 Fotometrická analýza

Objevením slabých obloukových struktur však mé zkoumání neskončilo. V dalším kroku jsem se zaměřila na tu nejnápadnější vlastnost slupek, kterou lze ze snímku získat, a nebylo tím nic jiného než jejich počet a vzdálenost od centra galaxie. Jak už jsem dříve zmínila, systém slupek u galaxie NGC 3923 je považován za velice bohatý. Galaxie je obklopena dvaceti dvěma slupkami, jejichž poloměry se pohybují v rozmezí od 100 pc až po 1,7 kpc pro ty nejdálčenější slupky. Mě se jich podařilo na snímku nalézt šestnáct a v případě NGC 2865 jsem jich na snímku odhalila osm.

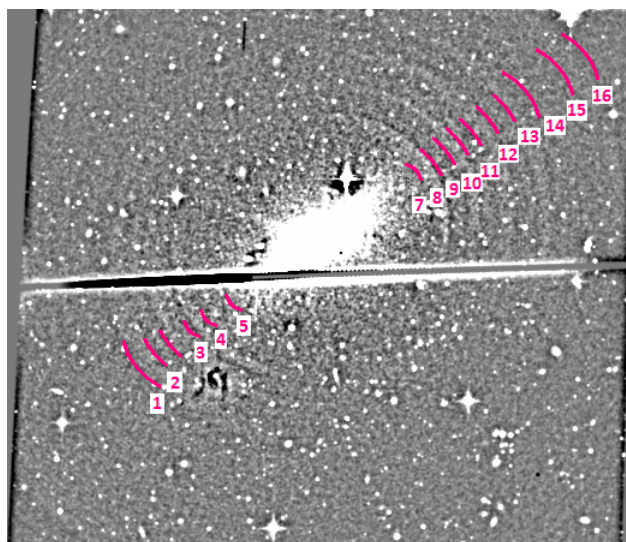
Pro určení vzdáleností slupek od středu galaxie, bylo potřeba zjistit několik hodnot. V první řadě to bylo měřítko, které udávalo kolik úhlových vteřin je jeden pixel. Z hlavičky snímku jsem zjistila hodnoty $CD1_1$ a $CD2_2$. Sečetla jsem jejich druhé mocniny a nakonec odmocnila.

$$\sqrt{CD1_1^2 + CD2_2^2} \quad (5.1)$$

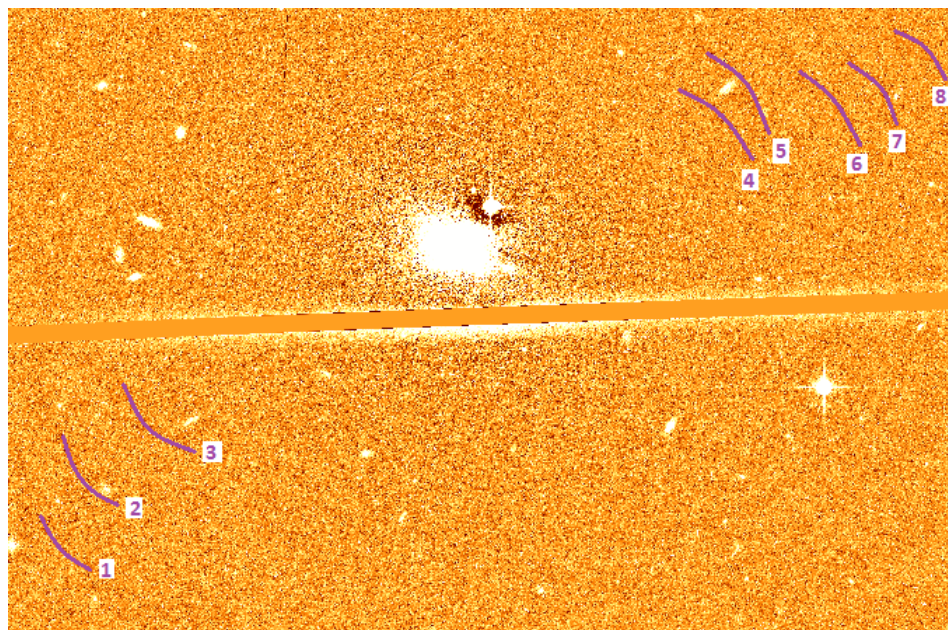
Získala jsem hodnotu 0,05 "/pix, tato hodnota udává měřítko pro daný snímek. Dále jsem zjistila pomocí x -ových a y -ových souřadnic vzdálenost slupky od středu v pixelech a následně díky měřítku také v úhlových vteřinách. Poté jsem pomocí goniometrické funkce tangens a vzdálenosti galaxie od nás, což je 25,8 kpc, určila vzdálenost slupek od středu galaxie v kiloparsecích. Za úhel α jsem doplnila jednu úhlovou vteřinu, za d pak vzdálenost galaxie od nás. Výsledkem byla vzdálenost slupek od středu galaxie.

$$\tan \alpha = \frac{r}{d} \quad (5.2)$$

U galaxie NGC 3923 byl rozsah vzdáleností od 4,3 kpc do 13,5 kpc. Pro NGC 2865 od 7,2 kpc do 12,1 kpc. Výsledky lze vidět v tabulkách 5.1 a 5.2.



Obrázek 5.7: Označené slupky galaxie NGC 3923



Obrázek 5.8: Označené slupky pro galaxii NGC 2865

Slupka	x (pic)	y (pix)	Δx (pix)	Δy (pix)	r (pix)	r (pc)
1	759	1724	1332	660	1487	9252
2	951	1748	1140	636	1305	8121
3	1055	1756	1036	628	1211	7534
4	1207	1868	884	516	1024	6358
5	1291	1920	800	464	925	5784
6	1483	1968	608	416	737	4607
7	2691	2711	600	328	684	4277
8	2771	2784	680	400	789	4928
9	2955	2632	864	248	899	5664
10	3083	2384	992	0	992	6254
11	3195	2384	1104	0	1104	6955
12	3371	2816	1280	432	1351	8496
13	3491	2856	1400	472	1477	9287
14	3619	2864	1528	480	1602	10064
15	3779	3320	1688	936	1930	12071
16	3955	3464	1864	1080	2154	13473

Tabulka 5.1: *Slupky galaxie NGC 3923 a jejich vzdálenosti*

Slupka	x (pic)	y (pix)	Δx (pix)	Δy (pix)	r (pix)	r (pc)
1	880	1664	1152	672	1334	11576
2	928	2328	1104	8	1104	9557
3	1112	2320	920	16	920	7965
4	2780	2700	748	364	832	7201
5	2788	2736	756	400	855	7403
6	3004	2860	972	524	1104	9559
7	3136	2888	1104	552	1234	10685
8	3300	2944	1268	608	1406	12173

Tabulka 5.2: *Slupky galaxie NGC 2865 a jejich vzdálenosti*

Z určených vzdáleností slupek nebyl problém také určit radiální rozsah slupek. Pro NGC 3923 vyšlo 3,15 a pro druhou galaxii 1,69. Obě tyto hodnoty se pohybují v rozsahu hodnot, které byly získány ostatními astronomy [6].

Jak už bylo dříve zmíněno, slupky jsou tvořené hvězdami. Podle srážkového modelu tyto hvězdy pocházejí z druhé galaxie, která byla při srážce s eliptickou galaxií roztrhána. Během pádu do primární galaxie postupně ztrácela svou hmotu a z jejích hvězd se utvářely slupky. Rozložení hvězd ve slupkách není konstantní a závisí na původním množství hvězd v sekundární galaxii. Pokusila jsem se tedy zjistit počet hvězd ve slupkách a zda se liší jejich množství se vzdáleností od centra.

Podívejme se na galaxii NGC 3923. Postup při určování počtu hvězd byl tedy následující. V oficiálním dokumentu pro HST „Wide Field and Planetary Camera 2 Instrument Handbook“ jsem si našla vzorec pro obecnou magnitudu.

$$m = -2,5 \log(\text{PHOTOFLAM} * \frac{\text{DN}}{\text{EXPTIME}}) + \text{PHOTZPT} \quad (5.3)$$

V tomto vzorci bylo několik neznámých hodnot, které bylo potřeba zjistit. Hodnoty v tabulce jsem získala z hlavičky vybraného snímku galaxie NGC 3923. Přičemž tyto hodnoty jsou udávány s 5% nejistotou [17].

PHOTOFLAM	$6,9255574 * 10^{-20}$ (ergs/cm ² /Å/elektron)
PHOTZPT	-2,1100000 (mag)
EXPTIME	978 (s)

Tabulka 5.3: *Hodnoty z hlavičky snímku*

Údaje pro DN jsem odčítala přímo ze snímku dotyčné galaxie a jednalo se o hodnoty z místa výskytu slupky, takže pro každou slupku byly jiné. Jelikož jsem předpokládala, že počet hvězd se neliší jen slupku od slupky, ale že i v rámci jedné slupky mohou být odlišnosti, volila jsem vždy dvě místa ve slupce, z kterých jsem odečítala hodnotu DN. Pro první slupku to byly tyto hodnoty.

Slupka	value
1	0,04 0,03

Tabulka 5.4: *Hodnoty pro DN*

Nyní jsem měla všechny potřebné hodnoty neznámých. Abych ale dostala plošnou magnitudu pro jednu úhlovou vteřinu, bylo potřeba výraz v závorce podělit měřítkem snímku umocněným na druhou a odmocnit.

$$\frac{(\text{PHOTOFLAM} * \frac{\text{DN}}{\text{EXPTIME}})}{0,05^2} \quad (5.4)$$

$$\sqrt{\frac{(\text{PHOTOFLAM} * \frac{\text{DN}}{\text{EXPTIME}})}{0,05^2}} \quad (5.5)$$

Nyní jsem už mohla hodnotu z (5.5) dosadit do (5.3), tím to však ještě nekončilo. Dále bylo potřeba vypočítat absolutní hvězdnou velikost. A tomu jsem využila tento vzorec:

$$M = m + 5 - 5 \log r. \quad (5.6)$$

Vzdálenost NGC 3923	25,8 Mpc
Vzdálenost NGC 2865	35,71 Mpc
Absolutní hvězdná velikost Slunce	4,83 mag

Tabulka 5.5: *Vzdálenosti a absolutní hvězdná velikost Slunce*

Za m jsem dosadila hodnotu získanou ze vzorce (5.3) a za r dosadila vzdálenost galaxie. Z vypočítané absolutní hvězdné velikosti a absolutní hvězdné velikosti Slunce jsem pomocí následujícího vzorce získala počet hvězd N v objemu odpovídající jedné úhlové vteřině.

$$M - M_{\odot} = -2,5 \log N \quad (5.7)$$

Zjištění kolik hvězd se promítá do čtverečného kiloparseku, vyžadovalo určit kolik parseku odpovídá jedné úhlové vteřině na snímku. Opět jsem využila znalosti vzdálenosti galaxie od nás a goniometrické funkce tangent. Vyšlo mi, že jedna úhlová vteřina odpovídá 125 pc. Teď už jen stačilo získanou hodnotu N , podělit číslem 0,125 a výsledkem byl počet hvězd promítající se do čtverečného kpc pro galaxii NGC 3923. A úplně stejně jako u této galaxie jsem postupovala i v případě galaxie NGC 2865.

Vždy jsem si k tomuto propočítání vybrala tři slupky, u kterých jsem si zjistila hodnotu na dvou různých místech. A slupky volila tak, aby tam byl zástupce jak jedné

z vnitřních slupek, tak také z těch vnějších. Předpokládala jsem, že množství hvězd ve slupkách se bude směrem od centra buď zvětšovat nebo zmenšovat. Po získání výsledku jsem však zjistila, že rozdíl mezi jednotlivými slupkami ve stejné galaxii není zas tak velký jak jsem čekala. U galaxie NGC 3923 se hodnoty pohybovaly v rozmezí od 820 do 870. Pro galaxii NGC 2865 byla tato čísla poněkud větší, řádově se pohybovaly v tisících. Jediný takový náznak možného úbytku počtu hvězd se vzdálenosti od centra je u galaxie NGC 3923 pro třetí slupku, tato slupka je ta nejvzdálenější, kterou jsem na obrázku odhalila a můžeme u ní vidět, že v jedné její části se nachází oproti ostatním hodnotám pouze 819 hvězd na čtverečný kiloparsek, může se však jednat pouze o lokální úkaz, protože na jiném místě v této slupce se počet hvězd vyšplhal na hodnotu srovnatelnou s jinými slupkami. U galaxie NGC 2865 jsem žádný výrazný úbytek hvězd se vzdáleností od středu galaxie nenalezla. Celkové výsledky lze vidět v následujících dvou tabulkách.

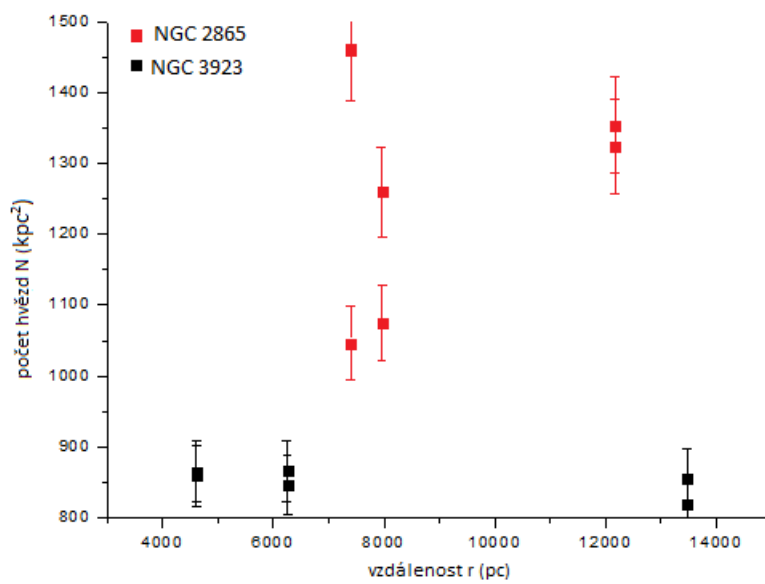
Slupka	value	N ($1''^2$)	N (kpc^2)
6	0,04	13,50	864,09
	0,03	13,43	859,29
10	0,04	13,52	865,02
	0,03	13,22	845,91
16	0,03	13,35	854,21
	0,01	12,80	819,03

Tabulka 5.6: *Počet hvězd ve slupce pro galaxii NGC 3923*

Slupka	value	N ($1''^2$)	N (kpc^2)
3	0,05	19,69	1260,16
	0,03	16,81	1075,84
5	0,06	22,83	1461,12
	0,03	16,35	1046,4
8	0,05	21,17	1354,88
	0,05	20,7	1324,8

Tabulka 5.7: *Počet hvězd ve slupce pro galaxii NGC 2865*

V grafu lze vidět vyneseno hodnoty z tabulek 5.6 a 5.7.



Obrázek 5.9: Graf závislosti počtu hvězd na vzdálenosti

Kapitola 6

Závěr

Téma mé práce jsou slupkové galaxie. Jako své objekty zájmu jsem si vybrala galaxii NGC 3923 a galaxii NGC 2865, jejichž snímky jsem si stáhla z Hubbleova vesmírného dalekohledu. V první fázi bylo potřeba tyto jemné a slabě zářící útvary na fotografiích nalézt. Použitím vhodného programu a později příkazů, jak je uvedeno v kapitole 5.1, se mi povedlo tyto struktury na snímcích odhalit. Nebylo překvapující, že u galaxie NGC 3923 jsem jich našla mnohem více než u druhé galaxie. V zobrazování slupek záleží na jejich svítivosti a především na vzdálenosti galaxie od nás. I přesto, že se možnosti detekce zlepšují, stále mají svá omezení a některé věci je velmi obtížné detekovat. A navíc NGC 3923 je známá pro svůj až neobyčejně bohatý systém slupek, což dokládá i mé vlastní zpracování.

Díky zviditelnění slupek jsem mohla dále zkoumat některé jejich vlastnosti. Určila jsem jejich počet, vzdálenost od středu galaxie a nakonec i radiální rozsah. Hodnoty mnou získané odpovídaly předpokladům a výsledkům ostatních astronomů[1]. U galaxie NGC 3923 se mi však nepodařilo nalézt tu nejvzdálenější slupku, která by se měla vyskytovat ve vzdálenosti přibližně 100 kpc. Ta má se nacházela jen 13,5 kpc od středu, což je pouze jedna sedmina očekávané vzdálenosti, a tím pádem to vedlo k značně menším výsledkům, než jaké by mohly být.

Dále jsem se zaměřila na počet hvězd v jednotlivých slupkách. Jak jsem už v předešlém textu zmiňovala, počet hvězd ve slupce záleží na celém průběhu srážky dvou galaxií. Do výpočtů jsem se vrhla s předpokladem, že zaznamenám úbytek či nárůst množství hvězd ve slupce závislý na vzdálenosti od středu. Z tohoto důvodu jsem vždy zvolila slupku z vnitřní části, z vnější části, a pak jednu nacházející se mezi těmito dvěma slupkami. U galaxie NGC 2865 se ve slupkách nachází mnohem více hvězd než u NGC 3923. Je avšak zajímavé, že ani u jedné z galaxií jsem nenašla žádnou výraznou změnu v počtu hvězd závislou na vzdálenosti.

Slupkové galaxie jsou poněkud mladým objektem zájmu. Jejich zkoumání započalo ve 20. století a dá se říct, že je před astronomy ještě dlouhá cesta než přijdou všem věcem na kloub. Ani za těch pár let, které už uplynuly, si nejsou vědci jisti jejich vznikem. Je mnoho teorií, ale žádná, která by stoprocentně popisovala zákonitosti vzniku těchto jemných struktur okolo eliptických galaxií. Já jsem se snažila shrnout základní poznatky týkající se slupkových galaxií a poté provést výpočty vyvracející či potvrzující tuto teorii. Během psaní této práce jsem se seznámila se slupkovými galaxiemi a částečně pronikla za tu oponu tajemství, kterou jsou zahaleny. A opět jsem si potvrdila, že ač se naše technika zdokonaluje a naše vědomosti prohlubují, stále jsou ve vesmíru věci, které čekají na naše objevení a pochopení. A ve chvíli, kdy si už budeme myslet, že jsme dosáhli samotného dna vědění, objeví se z hlubin nekonečna další tajemství a opět zaměstnají naše hlavy.

Literatura

- [1] D. F. Malin, D. Carter: 1983, A Catalog of elliptical galaxies with shells
- [2] F. Schweizer, P. Seitzer: 1988, Ripples in disk galaxies
- [3] R. C. Thomson: 1991, Shell formation in elliptical galaxies
- [4] T. Piran, J. V. Villumsen: Shell and encounters of disk galaxies with ellipticals
- [5] Stacy S. McGaugh, Gregory D. Bothun: 1990, Stellar populations in shell galaxies
- [6] Ivana Ebrova: N-body simulation of shell galaxies
- [7] J.-L. Prieur: Observations of the Shell Galaxy NGC 3923 with EFOSC
- [8] A. Wilkinson, J.-L. Prieur, R. Lemoine, D. Carter, D. Malin and W. B. Sparks: 2000, 0422-476: a shell galaxy with azimuthally distributed shells
- [9] G. K. T. Hau, D. Carter and M. Balcells: 1999, The shell elliptical galaxy NGC 2865: evolutionary population synthesis of a kinematically distinct core
- [10] <http://objekty.astro.cz/galaxie/1967-historie-pozorovani-galaxii>
- [11] <http://archive.stsci.edu/hst/search.php>
- [12] <http://smoka.nao.ac.jp/about/index.jsp>
- [13] <http://ned.ipac.caltech.edu/>
- [14] www.stsci.edu/hst/wfpc2/documents/handbook/cycle17/wfpc2_ihb.pdf
- [15] Doc. ing. Milan Štork, Jednodimenzionalnı nelinearnı digitalnı filtry
- [16] <http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>
- [17] http://www.stsci.edu/hst/wfpc2/analysis/wfpc2_cookbook.html