

MASARYKOVA UNIVERZITA

Přírodovědecká fakulta

Ústav teoretické fyziky a astrofyziky



DIPLOMOVÁ PRÁCE
3D spektroskopie galaxií

Lenka Janeková

Vedoucí diplomové práce:

RNDr. Bruno Jungwiert, Ph.D.

Brno 2013

Bibliografický záznam:

Autor: Bc. Lenka Janeková
Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

Název práce 3D spektroskopie galaxií

Studijní program: Fyzika

Studijní obor: Teoretická fyzika a astrofyzika

Vedoucí práce: RNDr. Bruno Jungwiert, Ph.D.
Astronomický ústav AV ČR, v.v.i.

Akademický rok: 2013

Počet stran: 141

Klíčová slova: galaxie, spektroskopie, kinematika galaktického plynu, aktivně galaktické jádra, outflows

Bibliografický záznam:

Autor: Bc. Lenka Janeková
Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

Název práce 3D spektroskopie galaxií

Študijný program: Fyzika

Študijný obor: Teoretická fyzika a astrofyzika

Vedúci práce: RNDr. Bruno Jungwiert, Ph.D.
Astronomický ústav AV ČR, v.v.i.

Akademický rok: 2013

Počet stran: 141

Klíčové slová: galaxie, spektroskopie, kinematika galaktického plynu, aktivní galaktická jádra, outflows

Bibliographic entry:

Author: Bc. Lenka Janeková
Faculty of Science, Masaryk University
Department of Physics and Astrophysics

Title of Thesis 3D spectroscopy of galaxies

Degree Programme: Physics

Field of Study: Theoretical Physics and Astrophysics

Supervisor: RNDr. Bruno Jungwiert, Ph.D.

Astronomical Institute of the Academy of Sciences of
the Czech Republic

Academical Year: 2013

Number of Pages: 141

Keywords: galaxies, spectroscopy, kinematics of galactic gas, active
galactic nuclei, outflows

Abstrakt:

Cílem práce bylo vytvoření programu pro generování teoretických kanálových map (channel maps) emise ionizovaného plynu v galaxiích, které by umožnily interpretovat jeho 3D geometrii a kinematiku na prostorových škálách stovek parseků až desítek kiloparseků. Uvažované modely zahrnují sférické, diskové a prstencové konfigurace plynu; možnou kinematikou je buď rotace při různě parametrizovaných rotačních křivkách, nebo radiální proudění hmoty, tzv. outflow, a rovněž kombinace těchto modelů, tj. rotující outflow, který byl zatím v literatuře opomíjen navzdory zřejmé fyzikální motivaci. V rámci vytvoření uvedeného programu byl též vylepšen existující program pro tvorbu map teoretických rychlostních polí. Oba programy byly vyvíjeny pro účely budoucího využití v rámci projektu CALIFA (Calar Alto Legacy Integral-Field spectroscopy Area survey), v současné době nejrozsáhlejší 3D spektroskopické přehlídce blízkých galaxií.

Abstrakt:

Cieľom práce bolo vytvorenie programu pre generovanie teoretických kanálových máp (channel maps) emisie ionizovaného plynu v galaxiách, ktoré by umožnili interpretovať jeho 3D geometriu a kinematiku na priestorových škálach stoviek parsekov až desiatok kiloparsekov. Uvažované modely zahŕňajú sférické, diskové a prstencové konfigurácie plynu; možnou kinematikou je buď rotácia pri rôzne parametrizovaných rotačných krivkách, alebo radiálne prúdenie hmoty, tzv. outflow, a rovnako kombinácia týchto modelov, t.j. rotujúci outflow, ktorý bol zatiaľ v literatúre zabúdaný navzdory jasnej fyzikálnej motivácii. V rámci vytvorenia uvedeného programu bol tiež vylepšený existujúci program pre tvorbu máp teoretických rýchlostných polí. Obidva programy boli vyvíjané pre účely budúceho využitia v rámci projektu CALIFA (Calar Alto Legacy Integral-Field spectroscopy Area survey), v súčasnej dobe najrozsiahlejšej 3D spektroskopickkej prehliadke blízkych galaxií.

Abstract:

The goal of the work has been to create a program for generating theoretical channel maps of the ionized gas emission in galaxies that would allow to interpret its 3D geometry and kinematics on spatial scales of the order of hundred parsecs to dozens of kiloparsecs. The considered models include spherical, disky, ring-like and conical gas configurations; the allowed kinematics is either rotation with various parametrizations of the rotation curve, or a radial streaming, so called outflow, as well as a combination of those models, i.e. a rotating outflows, so far largely neglected in the literature, despite its evident physical motivation. In the framework of the above work, an existing program for creating theoretical velocity fields was also upgraded. Both codes have been developed for the sake of their future use within the CALIFA project (Calar Alto Legacy Integral-Field spectroscopy Area survey), currently the largest 3D spectroscopy survey of nearby galaxies.

Ďakujem predovšetkým vedúcemu svojej práce RNDr. Brunovi Jungwiertovi, Ph.D., za cenné rady, ochotu a trpezlivosť pri konzultáciach. Veľká vďaka patrí môjmu priateľovi Rokymu za pripomienky k mojej práci, ale najmä za psychickú podporu počas jej tvorby. V neposlednej rade chcem tiež poďakovať svojej rodine, bez ktorej by táto práca nebola možná.

Prehlasujem, že som svoju diplomovú prácu napísala samostatne a výhradne s použitím citovaných prameňov. Súhlasím so zapožičiavaním práce a jej zverejňovaním.

V Brně dne

Lenka Janeková

Obsah

I	Teoretická časť	9
1	Úvod	10
2	Galaxie	13
2.1	História	13
2.2	Skupiny galaxií	15
2.3	Časti galaxie	15
2.3.1	Disk	16
2.3.2	Priečka	17
2.3.3	Špirálne ramená	17
2.3.4	Medzihviezdny plyn a prach	17
2.3.5	Výduť	18
2.3.6	Halo	18
2.3.7	Halo tmavej hmoty	18
3	Klasifikácia galaxií	19
3.1	Revidovaná Hubblova klasifikácia	19
3.1.1	Eliptické galaxie	20
3.1.2	Šošovkovité galaxie (bez priečky)	21
3.1.3	Šošovkovité galaxie s priečkou	21
3.1.4	Špirálové galaxie (bez priečky)	21
3.1.5	Špirálové galaxie s priečkou	21
3.1.6	Nepriavidelné galaxie	21

4	Aktívne galaktické jadrá	23
4.1	Seyfertove galaxie	24
4.1.1	Seyfertove galaxie typu 1	25
4.1.2	Seyfertove galaxie typu 2	26
4.1.3	Ďalšie typy Seyfertových galaxií	26
4.2	Oblasť širokých čiar (BLR - Broad-line region)	29
4.3	Oblasť úzkych čiar (NLR - Narrow-line region)	30
4.4	Zjednotený model AGN galaxií	31
5	Spektrum	34
5.1	Radiálna rýchlosť a Dopplerov posun	34
5.2	Plošná spektroskopia galaxií	36
5.2.1	Plošný spektroskop	37
5.2.2	Dátové kocky	38
5.2.3	Výhody IFS	39
5.2.4	Kanálové mapy	40
5.3	CALIFA	40
5.4	Súradnice	41
II	Vlastná práca	45
6	Programy	46
6.1	Program vfields	46
6.1.1	Konfiguračné súbory	47
6.1.2	Práca s programom vfields	47
6.2	Program ChannelMaps	52
6.2.1	Vybrané časti ChannelMaps	52
7	Záver	88

III	Prílohy	93
A	Programy	94
A.1	Konfiguračné súbory programu vfields	94
A.1.1	vfields.inp	94
A.1.2	spaxels.inp	95
A.2	Zdrojový kód programu ChannelMaps	96
B	Výstupy programov vfields a ChannelMaps	104

Časť I

Teoretická časť

Kapitola 1

Úvod

Motivácia tejto diplomovej práce je zložená z dvoch vzájomne sa dopĺňujúcich zložiek. Z astrofyzikálneho hľadiska je ňou štúdium tzv. *outflows*, teda výtokov či vyvrhnutí plynu z jadra galaxie (typicky sub-parseková oblasť okolo aktívneho jadra) do medzihviezdneho prostredia na priestorových škálach stoviek parsekov až desiatok kiloparsekov, v extrémnych prípadoch aj mimo materskú galaxiu, do medzigalaktického prostredia. Pôvod energie majú outflows veľmi pravdepodobne v aktívnom jadre (akrečnom disku okolo centrálnej supermasívnej čiernej diery), v niektorých prípadoch môžu byť pravdepodobne vyvolané tiež veľmi intenzívnou a centrálnou koncentrovanou tvorbou hviezd (tzv. *nuclear starbursts*). V každom prípade je nutné ich dôsledne odlišovať od tzv. *výtryskov (jetov)*, ktoré sú oveľa užšie (typicky jeden stupeň, kým outflows dosahujú desiatky stupňov) a oveľa energetickejšie (často relativistické, zatiaľ čo rýchlosti plynu outflows sú rádovo stovky $km.s^{-1}$).

Outflows patria k aktuálnym témam súčasného výskumu galaxií, a to hneď z niekoľkých dôvodov: ovplyvňujú koncentráciu hmoty a pomer hviezd a plynu v centrálnych častiach galaxií, t.j. hmotnostný rozpočet galaktických centier; môžu ovplyvňovať rýchlosť akrecie hmoty na centrálnu supermasívnu čiernu dieru; môžu ovplyvniť rýchlosť vzniku hviezd, prípadne ich vzniku úplne zabrániť.

Outflows tiež vzbudzujú pozornosť ako jedna z možných interpretácií komplexných rýchlostných polí plynu pozorovaných v centrách niektorých, prevažne aktívnych galaxií. V posledných rokoch je v tejto súvislosti venovaná veľká pozornosť hlavne aktívnym galaktickým jadrám s tzv. dvojitémi profilmi emisných čiar charakteristických pre oblasti NLR. Dvojité profily môžu znamenať prítomnosť dvojitých aktívnych jadier, čo môže byť dôsledkom deštruktívnej zrážky galaxií a ich následného splynutia. V tomto prípade by sa jednalo o fázu pred splynutím centrálnych čiernych dier z jadier pôvodných galaxií. Dvojité profily môžu byť ale tiež dôsledkom komplexnej kinematiky v jednom aktívnom jadre.

Druhá motivácia súvisí s relatívne novou spektroskopickou metódou, tzv. *3D spektroskopia* (alebo tiež celoplošná spektroskopia) a jej rýchlo sa rozvíjajúcim použitím v galaktickej astrofyzike. 3D spektrografy sú dnes na všetkých veľkých (6 – 10)*m* a niektorých stredne veľkých (3 – 5)*m* ďalekohľadoch, plánujú sa tiež pre obrie pozemské ďalekohľady

novej generácie (GMT, TMT, E-ELT) a kozmický ďalekohľad JWST. Konkrétna motivácia je v danom prípade prispieť k rozvoju použitia tejto metódy aj v Českej republike a tiež prispieť touto diplomovou prácou k medzinárodnému projektu CALIFA, (Calar Alto Legacy Integral-Field spectroscopy Area survey). Informáciám o tomto projekte je venovaná sekcia 5.3.

Hlavným cieľom tejto práce bolo vytvoriť pre konzorcium CALIFA program pre výpočet zobrazení tzv. *kanálových máp* (*channel maps*) modelovej emisie ionizovaného plynu. Kanálové mapy ukazujú emisiu zintegrovanú cez určitý interval rýchlosti. Už niekoľko desiatok rokov sú bežne používané v rádioastronómii ako nástroj pre štúdium rozloženia a kinematiky chladného plynu. V optickej astronómii ich využitie bolo zatiaľ len veľmi riedke, lebo pri pozorovaní ionizovaného plynu v emisných čiarach donedávna dominovala štrbinová spektroskopia neumožňujúca rutinnú tvorbu dátových kociek a teda ani kanálových máp. V tejto súvislosti je potrebné spomenúť aj, že v otvorených internetových zdrojoch sú dostupné programy pre vytváranie kanálových máp z napozorovaných dát, nie však programy schopné počítať a zobrazovať kanálové mapy pre zvolené teoretické modely. Práve konštrukcia takéhoto programu bola cieľom práce. Vytvorený program počíta a zobrazuje kanálové mapy pre rôzne rotačné krivky a rôzne konfigurácie ionizovaného plynu, začínajúc najjednoduchšími geometrickými modelmi a končiac rotujúcim outflow pozdĺž definovaného ionizačného kužeľa.

Práve naprogramovanie spomínaného programu počítanie kanálových máp (najzložitejšieho z uvažovaných možností) bol pôvodne hlavný cieľ práce. Model rotujúceho outflow zatiaľ nebol na kinematiku ionizovaného plynu v NLR oblastiach aktívnych jadier aplikovaný, má však zrejme fyzikálnu motiváciu: pokiaľ je NLR určitým vetrom, ktorého pôvod je v strhávaní plynnej hmoty z torusu obklopujúceho aktívne jadro, čo je jedna z uvažovaných teórií, potom je prirodzené, že odtekajúci plyn musí okrem expanznej zložky (radiálne prúdenie pozdĺž ionizačného kužeľa vymedzeného torusom) vykazovať, vďaka zákonu zachovania momentu hybnosti, aj rotáciu. Takýto model by v budúcnosti mohol prispieť k pochopeniu komplexnej kinematiky v jadrách niektorých galaxií. Aj jednoduchšie prezentovanie modelov je však potenciálne veľmi užitočné pre interpretáciu rýchlostných polí galaxií.

Tu je na mieste zdôrazniť užitočnosť kanálových máp v kombinácii s inými nástrojmi, konkrétne tzv. rýchlostnými mapami (t.j. mapami strednej rýchlosti v smere od pozorovateľa $\langle v_{los} \rangle$, prípadne doplnenými o mapy disperzie rýchlosti) a tvarmi spektrálnych čiar. Pri obyčajnom použití mapy rýchlostného poľa (t.j. mapy strednej rýchlosti $\langle v_{los} \rangle$ v smere od pozorovateľa, prípadne mapy disperzie rýchlosti) nie je možné, ani v kombinácii so znalosťou tvaru spektrálnej čiary, jednoznačne odlíšiť nerotujúci outflow od rotácie, ani jednoznačne identifikovať prítomnosť rotujúceho outflow, lebo u oboch typov kinematiky dochádza v projekcii k degenerácii. Kanálové mapy predstavujú spôsob, ako túto degeneráciu odstrániť a správne identifikovať 3D geometriu a 3D kinematiku.

Twinkle, twinkle, little star,
We know exactly what you are:
Nuclear furnace in the sky,
You'll burn to ashes, by and by.
But twinkle, twinkle, quasi-star,
Biggest puzzle from afar;
How unlike the other ones,
Brighter than a trillion suns.
Twinkle, twinkle, quasi-star,
How we wonder what *you* are . . .
after G. Gamow and N. Calder

Kapitola 2

Galaxie

Galaxie sú obrie zoskupenia hviezd, plynu a prachu, ktoré sú držané pokope a organizované gravitačným pôsobením jednotlivých telies.

Galaxie sa delia do skupín podľa ich približného javu alebo na základe ich zintegrovaného spektra. Ukazuje sa, že často daný typ závisí od toho, či sa galaxia nachádza v oblasti s vysokou alebo nízkou hustotou vo vesmíre. Galaxie sa líšia svojími rozmermi aj jasnosťou. Nie všetky sme schopní pozorovať, niektoré slabé len vďaka ich relatívne blízkej vzdialenosti voči nám. Naša Galaxia Mliečna cesta je druhá najjasnejšia galaxia v skupine nazývanej Miestna skupina galaxií. Táto skupina obsahuje 35 členov. Verí sa, že väčšina galaxií sa nachádza v galaktických skupinách. zdroj(6).

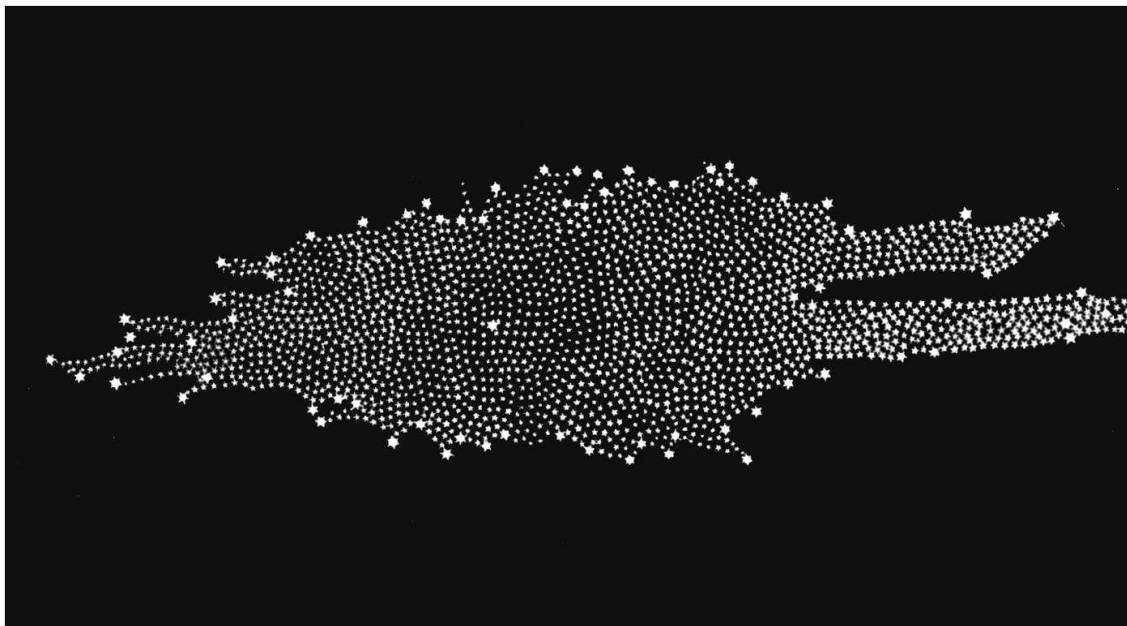
2.1 História

Nočná obloha fascinovala ľudí odjakživa. Hľadeli na ňu a pomenovali mnohé objekty. Väčšina mien pretrvala do dnešných čias. Prisudzovali im božské vlastnosti a rozšírili o nich príbehy. Tieto príbehy majú rôzne tvary a rôzne postavy, podľa oblasti kde vznikli. Meno tej našej, Galaxia Mliečna cesta, pochádza ešte z dôb Antiky. Vtedy ľudia verili, že bledá žiara tiahnuca sa oblohou je skutočne mlieko, ktoré rozlial poloboh Herkules.

Vysvetlenie podstaty Galaxie, ktoré by nezahŕňalo božstvá, prichádzalo postupne po malých krôčikoch, o mnoho storočí neskôr. Thomas Wright ako prvý v roku 1750 predložil hypotézu, podľa ktorej sa naša hviezdna sústava skladala z vrstvy obsahujúcej jednotlivé hviezdy a tieto sú v pohybe okolo jej stredu. Slnko rotovalo tiež okolo tohto stredu. Systematický výskum tvaru Galaxie prišiel o pár rokov neskôr. Od roku 1775 skúmal William Herschel vybrané časti oblohy, vyhodnocoval ich a snažil sa nájsť zákonitosti rozloženia hviezd. V počiatkoch svojho skúmania vychádzal z chybných predpokladov: hviezdy majú rovnaké žiarivé výkony a sú rozložené rovnomerne v Galaxií, čo bolo dôsledkom neznalosti medzihviezdnej absorpcie. Skúmaním objavil nerovnomerné rozloženie hviezd v páse Mliečnej dráhy. Tento objav ho viedol k opusteniu názoru ich rovnomerného roloženia, rovnako

ako opustil pôvodnú myšlienku, že môže pozorovať hranice Galaxie. Napriek obmedzeným poznatkom vytvoril historicky prvý model našej Galaxie. Herschlove pôvodne rozmery však boli zjavne podcenené (3×0.3)*kpc*. Tento model bol publikovaný v roku 1785 (viz. 2.1). Zárez na pravej strane je dôsledok názoru tmavých oblastí v tejto časti Galaxie. Daný pokles je vysvetlený medzihviezdnou absorpciou. Výrazný pokrok urobil aj Jacobus Cornelius Kapteyn, ktorý využil pozorovania svojich predchodcov a vďaka známym absolútnym hviezdным veľkostiam pri niektorých typoch hviezd určil ich vzdialenosť. Následne v roku 1901 zostrojil model Galaxie pripomínajúci zploštený elipsoid. Model čiastočne pripomínal model Herschela - Slnko sa nachádzalo v strede Galaxie. Rozmery boli (7×2)*kpc*. V rokoch 1905 – 1916 bol publikovaný *Fotografický atlas vybraných častí Galaxie*, o jeho vznik sa pričínili Edward Emerson Barnard.

Z dynamických dôvodov a z pozorovaní pohybu objektov na oblohe bolo zjavné, že naša Galaxia rotuje. Základy štúdia dynamiky Galaxie položil Oort v roku 1927. Štatisticky študoval radiálne rýchlosti a vlastný pohyb hviezd, následne potvrdil závery Bertila Lindblada ohľadom rotácie Galaxie okolo jej stredu, stanovil rotačnú rýchlosť Galaxie v blízkosti Slnka na 250km.s^{-1} . Ďalší z významných krokov urobil Edwin Powell Hubble, ktorý v roku 1925 navrhol klasifikáciu galaxií podľa ich tvaru a štruktúrnych prvkov. Táto morfológická klasifikácia sa stala základom pre ďalšie rozdelenia. Bližšie sa jej venujem v kapitole 3.1, zdroj(14).



Obrázok 2.1: Model Galaxie podľa Herschela, rozmer (3×0.3)*kpc*, zdroj(5).

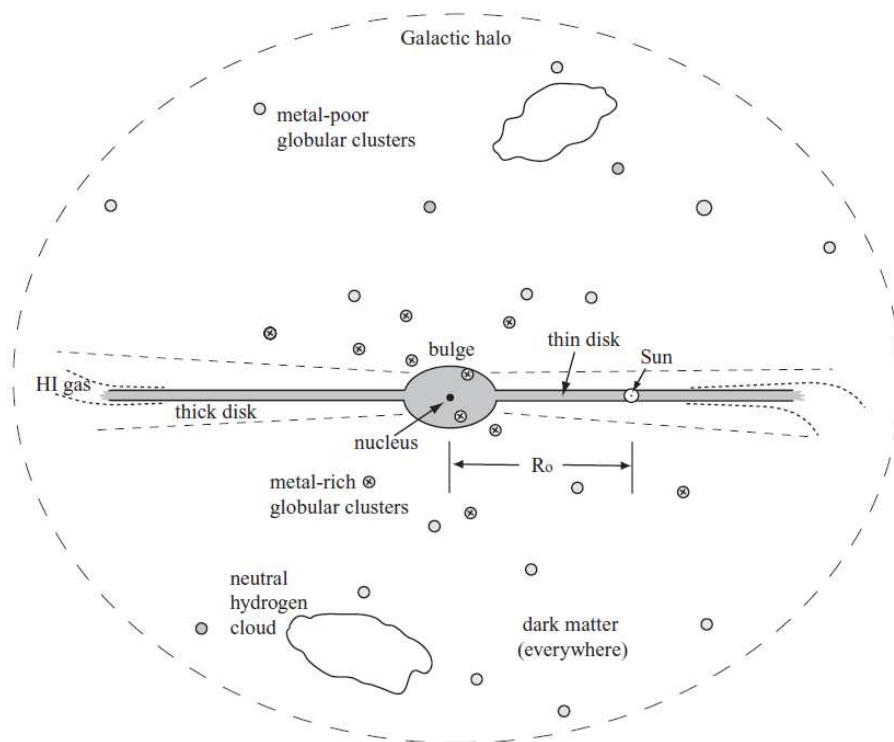
2.2 Skupiny galaxií

Najmenšie zoskupenia galaxií sa nazývajú skupiny. Štandardne pozostávajú z menšieho počtu galaxií (do 50 členov). Ich priemer je približne $2Mpc$. Celková hmotnosť týchto skupín je približne $(10^{13} - 10^{13})M_{\odot}$ a disperzia rýchlosti $150km.s^{-1}$, zdroj(4).

2.3 Časti galaxie

Ako mnohé objekty vo vesmíre, ani galaxie nie sú striktne ohraničené. Na ich okraji sa nenachádza presná hranica, ktorá by vymedzovala ich pôsobenie. Pri skúmaní galaxií, ich tvaru a rozmerov, dostávame rôzne výsledky pre rôzne časti spektra.

Svojou stavbou sa líšia galaxie špirálne a eliptické (viac o jednotlivých typoch galaxií v kapitole 3.1). Galaxie obsahujú hviezdy, medzihviezdny materiál a tmavú hmotu. V špirálnych galaxiách zväčša nachádzame centrálnu výduň, pričom disk obsahuje špirálne ramená. Eliptické galaxie svojím tvarom pripomínajú výduň, ale zároveň nemajú disk. Špirálne galaxie majú veľa plynu a prachu ($M_{prach} = 1\%M_{plyn}$, $M_{plyn} = (5 - 10)\%M_{plyn}$), kým eliptické obsahujú malé množstvo týchto materiálov, zdroj(3).



Obrázok 2.2: Schématicky bočný náhľad Mliečnej cesty, zdroj(18).

2.3.1 Disk

Väčšina viditeľných hviezd v Galaxii leží v sploštenej, približne osovo symetrickej oblasti, ktorá predstavuje galaktický disk. Za jasnej noci je možné pozorovať súhrnné svetlo z miliard slabých hviezd nachádzajúcich sa v disku, ako svetlé pásmo tiahnuce sa cez oblohu. Nazýva sa Mliečna cesta.

Temné miesta v Mliečnej ceste sú zhľuky prachu a hustého plynu. Na južnej oblohe sú svetlé centrálné oblasti videné ako rozšírenie výdute nad a pod diskom. V centre výdute je zdroj rádiového žiarenia, predpokladá sa čierna diera s hmotnosťou $M_{BH} \approx 4.10^6 M_{\odot}$, zdroj(18).

Slnko sa nachádza vo vzdialenosti približne $8kpc$ od centra Galaxie (v roku 2003 bola táto vzdialenosť stanovená na hodnotu $R_0 = (7.94 \pm 0.42)kpc$), zdroj(12). Vďaka pozorovaniam druhých galaxií s podobnou štruktúrou predpokladáme, že plošná jasnosť disku exponenciálne závisí na jeho polomere

$$I(R) = I_0 e^{\frac{-R}{R_h}}. \quad (2.1)$$

Hodnota škálového faktoru je $R_h = (3.5 \pm 0.5)kpc$ (závisí exponenciálne na plošnej jasnosti), zdroj(11). Táto koncentrácia jasnosti smerom ku galaktickému centru nie je pozorovateľná voľným okom, keďže medzihviezdny prach absorbuje svetlo hviezd zo vzdialených častí disku. Naproti tomu je Galaxia smerom k pólom takmer priehľadná.

Hviezdy v disku rotujú okolo centra Galaxie takmer po kruhových dráhach. Rýchlosť hviezd pohybujúcej sa po kruhovej dráhe s polomerom R v galaktickom rovníku je $v_c(R)$. Hodnota tejto rýchlosti na úrovni Slnka je rovná

$$v_c(R) = (220 \pm 15)km.s^{-1}. \quad (2.2)$$

Nie je stanovená jednotná hrúbka galaktického disku. Tento parameter je závislý od hviezd, ktoré pozorujeme. Staré hviezdny nachádzame vo väčšej vzdialenosti od galaktickej roviny. *Charakteristická hrúbka* disku je pomer plošnej hustoty disku k objemu disku v galaktickej rovine. Pre masívne mladé hviezdy typu O a B (vek $\lesssim 10^7 rokov$) je charakteristická hrúbka okolo $200pc$. Pre staršie hviezdy slnečného typu (trieda G, typický vek $5.10^9 rokov$) dosahuje táto hodnota $700pc$.

Vertikálny profil hustoty disku nemôže byť fitovaný jednou exponenciálou. Táto situácia ponúka dve riešenia: Galaxia má jeden disk a je len náhoda, že jeho profil nie je exponenciálny. Druhá možnosť spočíva v zložení galaktického disku z dvoch podzložiek - *tenkého* a *hrubého* disku, zdroj(10).

Tenký disk, ktorý pozostáva z relatívne mladých hviezd, prachu a plynu má vertikálnu škálovú výšku $z_{thin} \simeq 350pc$. Časť tenkého disku zodpovedá aj stredovej rovine plynu a prachu, tá má škálovú výšku pravdepodobne $90pc$, no niektoré štúdie uvádzajú hodnoty menšie ($35pc$). Hrubý disk obsahujúci staršie hviezdy, má škálovú výšku $z_{thick} \simeq 1000pc$, zdroj(12).

Hustota hviezd n v disku klesá s polomerom R exponenciálne

$$n(R) \propto e^{\frac{-R}{h_R}}, \quad (2.3)$$

kde h_R predstavuje škálovú dĺžku, ktorej hodnoty sú v rozmedzí $(2,5 - 4,5)kpc$. V tenkom disku sa nachádza približne 95% hviezd patriacich disku, zdroj(18).

Na základe údajov zo stelárneho počtu a orbitálnych pohybov, bola hmotnosť hviezd v tenkej časti disku stanovená približne na $6 \cdot 10^{10}M_{\odot}$, hmotnosť plynu a prachu tvorí $0.5 \cdot 10^{10}M_{\odot}$.

2.3.2 Priečka

Priečky sú stelárne útvary s elipsoidálnou geometriou, vyskytujúce sa veľmi často v centrálnych oblastiach diskových (špirálnych a šošovkových) galaxiách. Sú dôsledkom gravitačnej nestability rotujúcich diskov a podstatne ovplyvňujú kinematiku galaxie, predovšetkým ich plynovej zložky, u ktorej vedú k systematickému azimutálnemu aj radiálnemu prúdeniu a tvorbe prstencov.

2.3.3 Špirálne ramená

Pri pozorovaní galaxií v modrej oblasti sa často vynorí špirálna štruktúra (oblasť charakteristická pre mladé, horúce hviezdy), kým v červenej oblasti je tento jav menej badaťelný. Tieto pozorovania napovedajú, že špirálna štruktúra má úzke spojenie s mladými hviezdami, kým staré sa stihli za dobu svojho života vzdialiť z týchto oblastí. univers

Špirálne ramená sú predĺženia, gravitačné poruchy. Obsahujú plyn a prach a tiež mladé modré hviezdy. Ako napovedá názov, sú súčasťou špirálnych galaxií. Ramená sú oblasťou zhustenia plynu a prachu, zastúpenie hviezd v ramenách je premenlivé - hviezdy netvorí ich stálu súčasť, ale putujú nezávisle od ramien. Ich pohyb je však ramenami ovplyvnený - pohyb medzi ramenami je rýchlejší, ako pohyb v rámci jednotlivých ramien.

2.3.4 Medzihviezdny plyn a prach

Prach a plyn existuje v našej Galaxii v širokom merítke hmotností, teplôt a hustôt. Astronómovia sa zaoberali rozložením prachu a plynu v našej Galaxii, meraním prišli na to, že molekulárny vodík a chladný prach sa vyskytuje hlavne v oblastiach od 3 do $7kpc$ od stredu Galaxie. Atomárny vodík sa nachádza aj vo väčších vzdialenostiach za hranicami disku ($25kpc$). Škálová výška je pravdepodobne menej ako $90kpc$ od roviny galaxie. Celková hmotnosť vodíku je veľká, atomárny dosahuje hmotnosti $M_{HI} = 4 \cdot 10^9 M_{\odot}$, molekulový len o niečo menšie $M_{H_2} = 10^9 M_{\odot}$. Pre vzdialenosti väčšie ako $12kpc$ od centra Galaxie dosahuje škálová výška HI viac ako $900pc$.

2.3.5 Výduť

Škálová šírka tenkého disku nie je rovnaká vo všetkých častiach, ale z hodnoty $350pc$ prudko narastá smerom do vnútroných častí galaxie a tvorí tzv. *výduť*. Táto výduť netvorí len rozšírenie disku, ale tvorí samostatnú zložku Galaxie. Hmotnosť výdute sa odhaduje na približne $10^{10}M_{\odot}$. Pozorovaním sa zistilo, že rozdielna hustota hviezd vo výduti zodpovedá škálovej výške $(100 - 500)pc$, v závislosti od veku hviezd, podľa ktorých sa stanovovala (ako sa už spomínalo, menšie hodnoty budú pre mladé hviezdy, ktoré sa nachádzajú bližšie galaktickej roviny).

2.3.6 Halo

Halo je zložka Galaxie obsahujúca guľové hviezdokupy a hviezdne polia, ktorých významná zložka rýchlosti je kolmá voči Galaktickej rovine. Niektoré staršie hviezdy môžu dosiahnuť pomerne veľké vzdialenosti od roviny, na rozdiel od mladších, ktoré bývajú často súčasťou disku. V Mliečnej ceste sa nachádza najmenej 150 guľových hviezdokup, ktorých vzdialenosti od centra sú v rozmedzí $(500 - 120000)pc$. Najmladšie guľové hviezdokupy obsiahnuté v hale majú 11.10^9 rokov, najstaršie dosahujú až 13.10^9 .

2.3.7 Halo tmavej hmoty

Pokiaľ skombinujeme všetky spomínané zložky Galaxie, dostaneme výslednú hmotnosť žiarivej hmoty dosahujúcu $9.10^{10}M_{\odot}$. Táto hodnota súhlasí s pozorovaným orbitálnym pohybom Slnka okolo Galaktického stredu, ale vo väčších vzdialenostiach nezodpovedá pozorovaným pohybom. Väčšina hmoty Galaxie leží vo väčšej vzdialenosti od stredu, kde je relatívne len málo hviezd, zdroj(18). V Galaxii sa teda musí nachádzať ešte ďalšia zložka, ktorá nevyžaruje žiadne pozorované žiarenie a s okolitou hmotnou interaguje len gravitačne. Tmavá hmota. Zdá sa, že halo temnej hmoty je približne sférické a rozširuje halo galaxie najmenej na $230kpc$. Z pozorovaní gravitačných vplyvov na pozorovateľnú hmotu, bol pre rozloženie tmavej hmoty v hale nájdený vzťah, tzv. *NFW (Navarro-Frenk-White) profil*:

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{\left(\frac{r}{a}\right)\left(1 + \frac{r}{a}\right)^2}, \quad (2.4)$$

kde r označuje efektívny polomer hala, a škálovú dĺžku. Približná hmotnosť hala čiernej hmoty závisí od polomeru. Do vzdialenosti $50kpc$ je $5.4.10^{11}M_{\odot}$, kým do $230kpc$ to je $1.9.10^{12}M_{\odot}$. Táto oblasť tvorí až 95% hmotnosti celej Galaxie.

Kapitola 3

Klasifikácia galaxií

Človek má tendenciu veci zaraďovať, klasifikovať, triediť. Táto potreba vzniká pri väčšom množstve podobných objektov, kvôli ich prehľadnosti a rýchlejšej orientácii.

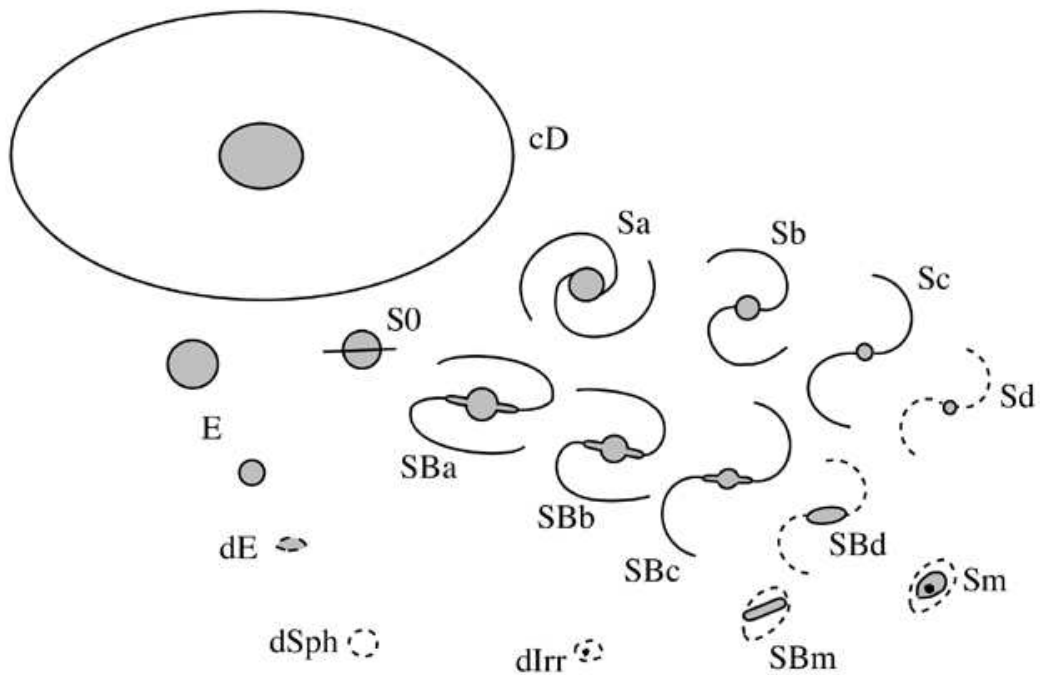
Najideálnejší prípad je, keď máme niekoľko snímok jednej galaxie v rôznych oboroch. V takomto prípade je možné jednoznačne vylúčiť či potvrdiť prítomnosť napr. špirálnych ramien.

Pri porovnávaní tiež musíme dbať na výber správnych oborov. Môže totiž dôjsť k situáciám, že jeden objekt je snímaný v vlnových dĺžkach, ktorý zlepšuje viditeľnosť špirálnych štruktúr, kým druhý bude v obore, ktorý ich viditeľnosť naopak potlačuje. Z tohto dôvodu by boli objekty milne rozdelené do rôznych skupín.

Morfologická klasifikácia je vlastne zaraďovanie do skupín podľa kritérií, ktoré sa javia ako dôležité, kým iným sa nemusí prináležať rovnaká dôležitosť. Postupom času sa môže stať, že niektoré veci považované za menej dôležité, hrajú dôležitú/základnú úlohu či naopak. Pri identifikácii galaxií sa nezriedka stáva, že jednotlivé znaky zodpovedajú viacerým skupinám. Z tohto dôvodu je potrebné určiť poradie priorít zaraďovania do skupín.

3.1 Revidovaná Hubblova klasifikácia

Napriek rôznym klasifikáciám, ktoré počas rokov vznikli, je najrozšírenejšia Hubblova klasifikácia. Súčasná podoba sa striktné nezhoduje s prvou publikovanou, ale bola počas rokov rozšírená. V roku 1936 v knihe *Svet hmlovín predstavil* Hubble prvú podobnú rozdelenia. Doplnenú a upravenú verziu s názvom *Hubbleov atlas galaxií* publikoval Sandage v roku 1961. Hubblova klasifikácia (Hubble Atlas) bola nakoniec nahradená v roku 1994 rozšírenejším *Carnegie Atlas of Galaxies*, autormi sú Sandage a Bedke. Klasifikácia sa odlišuje od pôvodnej Hubblovej hlavne zaradením šošovkovitých galaxií medzi eliptické a špirálne. 2.1, uvádzané v (12).



Obrázok 3.1: Klasifikácia galaxií, zdroj(18).

3.1.1 Eliptické galaxie

Eliptické galaxie sa nachádzajú na ľavej strane Hubblovho diagramu, sú zdanlivo hladké a bez štruktúry. Delia sa do podkategórií podľa tvaru. Označujú sa En , pričom n môže nadobúdať hodnotu 0-7.

$$\frac{10(a-b)}{a} = 0 - 7 \quad (3.1)$$

a - veľká poloosa galaxie

b - malá poloosa galaxie

$E0$ sú kruhové galaxie v priekci, $E7$ sú najviac elipsovité galaxie v projekcii. Existuje možnosť, že sa v skutočnosti jedná o jeden typ galaxie a odlišnosti sú spôsobené len rozdielnou inklináciou.

Väčšina eliptických galaxií má malú jasnosť a sú označované dE - trpasličie eliptické galaxie. Niekoľko sa ich nachádza aj v Miestnej skupine galaxií.

3.1.2 Šošovkovité galaxie (bez priečky)

Šošovkovité galaxie sa na modifikovanom Hubblovom diagrame nachádzajú za eliptickými galaxiami a zároveň pred normálnymi špirálnymi. Označenie *normálne* napovedá najmä o tom, že pôvodne boli pozorované hlavne galaxie bez priečok, ale s vývojom pozorovacích metód sme získavali údaje aj o galaxiách s priečkami, ktoré sú nakoniec väčšinové. Normálne šošovkovité galaxie sú označované *S0*.

Galaxie *S0* sú charakteristické jednoliatym centrálnym zhustením jasnosti, podobné eliptickým galaxiám, obklopeným veľkou oblasťou s menej strmým poklesom jasnosti. Medzi vonkajšími časťami, oblasťou podobnou eliptickej výduti a vnútornými časťami, veľa galaxií *S0* obsahuje hladké bočné časti - šošovky. Galaxie typu *S0* sa ďalej delia na tri podskupiny - *S0₁*, *S0₂*, *S0₃*. Zaradenie do týchto skupín závisí najmä na prachovej absorpcii vo vnútri disku.

3.1.3 Šošovkovité galaxie s priečkou

Jedná sa o šošovkové galaxie, ktoré obsahujú priečku. Ich označenie je *SB0*. Rovnako sa delia do troch podskupín, pričom delenie závisí na výraznosti priečky.

3.1.4 Špirálové galaxie (bez priečky)

Na Hubblovom diagrame sú šošovkové galaxie bez priečky nasledované normálnymi špirálnymi galaxiami - špirálnymi galaxiami taktiež bez priečky. Označujú sa *S*. Galaxie typu *S* sa vyznačujú jasnejším jadrom v centrálnej oblasti, situovaným doprostred tenkého disku. Z jadra vychádzajú jasnejšie ramená, ktoré môžu byť rôzne navinuté. V týchto galaxiách zaznamenávame tmavé pásy, pravdepodobne vznikajúce pri absorpcii svetla prachovými časticami.

Galaxie typu *S* sa delia do kategórií, podľa typu jadra a navynutia ramien.

3.1.5 Špirálové galaxie s priečkou

Špirálne galaxie obsahujúce priečku. Označenie je *SB*. Delia sa do skupín, podobne ako normálne špirálne galaxie. Typický sa pozorujú dve ramená, výnimočne sa objavili aj galaxie so štyrmi.

3.1.6 Nepravidelné galaxie

Nepravidelné galaxie Hubble rozdelil do dvoch skupín:

- *IrrI* - nedostatok symetrie a dobre definované špirálne ramená

- *IrrII* - nesymetrické objekty majúce hladký obraz

Nie všetci boli spokojní s Hubblovou klasifikáciou - niektorým prišla hrubá, neúplná. V roku 1959 De Vaucouleurs klasifikáciu rozšíril, pričom niektoré objekty zaradené Hubbлом našli nové miesto. Pridal triedy *Sd*, *Sm* a *Im*.

- *Sd* - presahuje do Hubblovej triedy *Sc* a rozširuje ju, pričom tiež obsahuje niektoré extrémnejšie objekty, pôvodne klasifikované ako *IrrI*
- *Sm*, *Im* - obsahujú zostávajúce objekty triedy *IrrI*. Písmeno *m* značí Magellanic, kvôli Veľkému Magellanovmu mraku klasifikovanému ako *SBm*.
- *Im* - obsahuje len veľmi nepravidelné objekty ako Malý Magellanov mrak.

Kým u Hubbla nemali galaxie bez priečky špeciálne písmeno a galaxie s priečkou mali označenie *B*, Vaucouleurs pozmenil značenie na: *SA* (špirálna galaxia bez priečky), *SB* (špirálna galaxia s priečkou), *SAB* - galaxia so slabou priečkou. Tiež používal symboly (*r*) pre galaxie s ramenami a (*s*) pre galaxie bez ramien.

Kapitola 4

Aktívne galaktické jadrá

Vo všeobecnosti pojem *aktívne galaktické jadrá* (angl.skratka AGN) odkazuje na existenciu energetického úkazu v jadrách alebo centralných oblastiach galaxií, ktorý nemôže byť priradený hviezdám a ani prachu, ktoré by ho zahrievali svojim žiarením. Patria sem napríklad Seyfertove galaxie, kvasary, blazary, rádiové galaxie a ďalšie. Aktívne galaxie emitujú žiarenie cez celé elektromagnetické spektrum, vrátane rádiovkej, röntgenovej a gamma oblasti, kde väčšina galaxií takmer nežiari. Tieto galaxie sa študujú vo všetkých vlnových dĺžkach. Vzhľadom na ich rýchlu premenlivosť je výhodne tieto merania uskutočňovať súčasne.

Hlavný rozdiel medzi podtriedami aktívnych galaxií je daný množstvom žiarenia, ktoré je vyžiarené z kompaktného centrálného jadra. Pre typické Seyfertove galaxie platí, že celková energia vyžiarená centrálnym jadrom je porovnateľná s celkovou energiou vyžiarenou všetkými hviezdami nachádzajúcimi sa v danej galaxii ($L = 10L_{\odot}$) (v typickom kvasare, je hodnota žiarenia z centrálného jadra väčšia oproti žiareniu hviezd 100násobne, prípadne viac.)

Prvé pozorovanie aktívnych galaxií v optickom obore prebehlo v roku 1908. Bolo zistené, že spektrum sa podobá spektru planetárnych hmlovín a rozoznané čiary majú šírku stoviek kilometrov za sekundu.

Ako prvý si podobnosť medzi určitým typom galaxií uvedomil Carl Seyfert v roku 1943. Vybral skupinu dvanástich galaxií, ktorých spektrum obsahovalo vysoko excitované emisné čiary pochádzajúce z jadra. Toto spektrum malo ďalšie charakteristiky:

- Čiary sú široké (niektoré až k $8500\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$, plná šírka pri nulovej intenzite).
- Vodíkové čiary sú niekedy širšie, ako čiary ostatných prvkov.

V roku 1955 boli dve Seyfertove galaxie zaznamenané aj ako rádiové zdroje. Mali niekoľko spoločných charakteristík:

1. Jadrá Seyfertových galaxií neboli rozlišitelné dostupnými prostředky, velikost jadra byla stanovena na menší rozměry jako $100pc$ (bližší struktúra jadra AGN nie je rozlišitelná ani pri najvyššom možnom rozlíšení Hubblovho vesmírneho ďalekohľadu $0.05 in$)
2. Všetky Seyfertove galaxie boli vždy Seyfertovými galaxiami, z toho by vyplýval ich vek $10^{10} rokov$. Alebo všetky špirálne galaxie boli Seyfertovými, keďže podiel Seyfertových v špirálnych je teraz $1/100$, značilo by to vek $10^8 rokov$.
3. Ak je materiál v jadre gravitačne viazaný, hmotnosť jadra musí byť veľmi vysoká. Viriálový argument zodpovedajúci tomuto tvrdeniu

$$M \approx \frac{v^2 r}{G}$$

Disperzia rýchlosti σ sa získa zo šírky emisných čiar, jej hodnota je $10^{-3} km.s^{-1}$. Horný limit pre rozmery jadra získame zo skutočnosti, že je priestorovo nerozlišiteľné. Jeho hodnota zodpovedá $r \lesssim 100pc$. Emisné čiary sú charakteristické pre plyn s malou hustotou, čo poskytuje menšie hodnoty $r \gtrsim 1pc$. Z toho bola odvodená približná hmotnosť jadra na $M \approx 10^{9 \pm 10} M_{\odot}$.

Hodnota hmotnosti nám zároveň hovorí o existencii niečoho netradičného v centre Seyfertových galaxií. Pokiaľ sa zoberie väčšia hodnota r , môžeme vyvodit', že asi 10% hmoty galaxie je obsiahnutej v objeme s polomerom $100pc$. Na druhej strane, pokiaľ je r oveľa menšie ako jeho vrchná hodnota stanovena priestorovým rozlíšením, naskytuje sa otázka, ako je možné generovať nezvyčajne veľké množstvo energie v tak malom objeme.

Nie všetky objekty, ktoré nazývame AGN sú vo všetkých bodoch rovnaké. Ich najdôležitejším spoločným bodom je, že sú veľmi silnými röntgenovými zdrojmi.

Na rozdiel od spektier hviezd alebo galaxií, spektra AGN nemôžu byť opísané žiarením čierneho telesa o jednej teplote. Tento popis nie je možné ani zložiť z viacerých blízkych teplôt. Na opis kvasarov sa využívajú netermálne procesy (hlavne nekoherentná synchrotronná radiácia).

Taxonomia AGN galaxií môže byť mäťúca, keďže doteraz nerozumieme fyzike stojacej za AGN úkazom. Nepochybne sú niektoré pozorované rozdiely medzi rôznymi typmi AGN zapríčinené spôsobom, ako ich pozorujeme a príčinou nie sú základné rozdiely medzi týmito typmi.

4.1 Seyfertove galaxie

Seyfertove galaxie je trieda málo žiarivých AGN galaxií. Všeobecne prijateľné kritérium pre rozlišovanie aktívneho jadra Seyfertových galaxií od kvasarov je $M_B > -21.51 +$

$\log h_0$, pričom $h_0 = 100 \text{ km.s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$, zdroj(8). Napriek podobnosti jadra majú Seyfertové galaxie na rozdiel od kvasarov, jasne detekovatelný zvyšok galaxie.

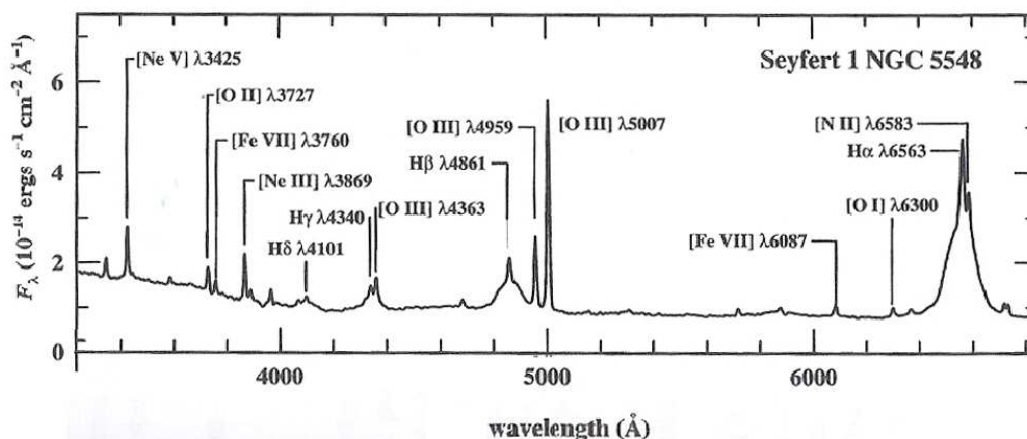
Pôvodná definícia Seyfertových galaxií bola hlavne morfológická "sú to galaxie s jadrom s vysokou plošnou jasnosťou a následujúca spektrokopia odhalila nezvyčajné charakteristiky emisných čiar. Pozorované priamo cez veľký teleskop, Seyfertove galaxie sa tvária ako normálna vzdialená galaxia, ktorej centrum prekrýva hviezda", zdroj(9). Definícia sa postupom času vyvíjala. V súčasnosti definujeme Seyfertove galaxie podľa prítomnosti silných, vysoko ionizovaných emisných čiar. Morfológické štúdie tiež nasvedčujú, že väčšina ak nie všetky Seyfertové galaxie sa nachádzajú v špirálnych galaxiách.

Na dva rozdielne typy boli galaxie rozdelené až v roku 1974 vedcami Khachikianom a Weedmanom. Delenie do týchto skupín je podmienené prítomnosťou alebo absenciou čiar so širokými základňami povolených emisných čiar.

4.1.1 Seyfertove galaxie typu 1

Typ Seyfert 1 má dve skupiny emisných čiar, ktoré sa vzájomne prekrývajú. Jedna skupina čiar, tzv. *úzke čiary*, je charakterizovaná malou hustotou ionizovaného plynu ($n_e \approx 10^3\text{--}10^6 \text{ cm}^{-3}$) so šírkami zodpovedajúcimi stovkám kilometrov za sekundu (o niečo vyššie hodnoty ako v galaxiách, ktoré nie sú AGN), zdroj(15).

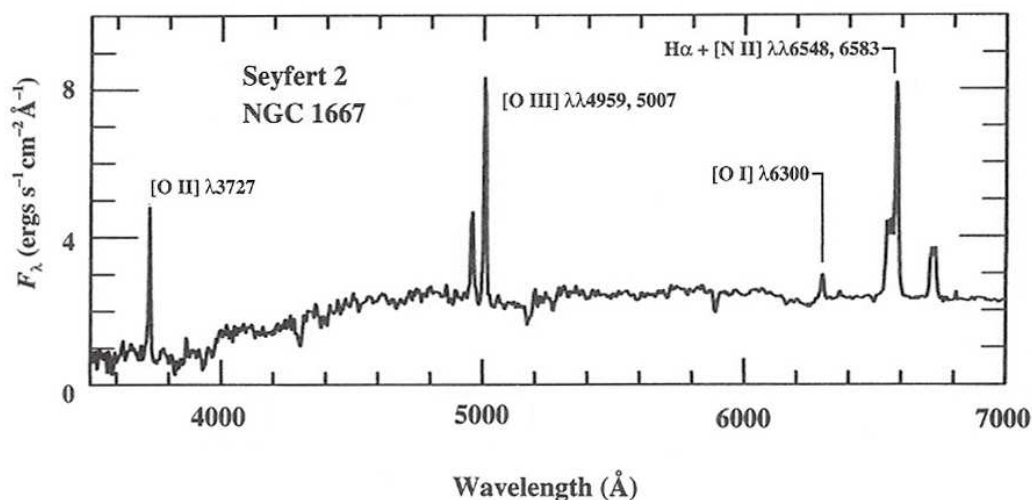
Z druhej skupiny, tzv. *širokých čiar*, sú prítomné len jej dovolené prechody. Tieto čiary majú šírku približne 10^4 km.s^{-1} . Neprítomnosť zakázaných širokých čiar naznačuje, že široké čiary vznikajú v plyne s vysokou hustotou $n_e \approx 10^9 \text{ cm}^{-3}$ prípadne vyššou, neelektrické dipólové prechody sú potlačené zrážkami.



Obrázok 4.1: Spektrum galaxie Seyfert 1, zdroj(15).

4.1.2 Seyfertove galaxie typu 2

Typ Seyfert 2 sa od typu Seyfert 1 líši prítomnosťou len jedného typu čiar, úzkych čiar. Široké čiary v spektrách Seyfertových galaxií typu 2 nepozorujeme. Predpokladá sa, že tienenie jadra je spôsobené plyno-prachovým torusom, nachádzajúcim sa v jeho blízkosti. Kvôli tomuto tieneniu nie je možné žiarenie z oblastí širokých čiar sledovať priamo, ale len ako odraz od okolitého materiálu. Podobne sa nedá priamo pozerať jadro Seyfertovej galaxie typu 2, zdroj(16).



Obrázok 4.2: Spektrum galaxie Seyfert 2, zdroj(15).

Pozorovanie spektra typu Seyfert 1 a Seyfert 2: v oboch prípadoch pozorujeme slabé absorbčné čiary vďaka obrom neskorých typov v galaxii. Tieto absorbčné čiary sú relatívne slabé kvôli tomu, že svetlo hviezd je zriedené nehviezdnym kontinuum (bez emisných a absorbčných vlastností.) AGN kontinuum sa veľmi ťažko odlišuje od kontinua hviezd (v Sey2), lebo je veľmi slabé.

Pôvod rozdielu medzi Seyfertovými galaxiami typu 1 a 2 nie je známy. Rozšírený je názor, že galaxie sú rozdelené do dvoch tried, pretože pri type Seyfert 2 sme neboli z nášho miesta pozorovania schopní detekovať zložky širokých čiar. Táto hypotéza nie je potvrdená, no vysvetľovala by všetky pozorované rozdiely medzi týmito triedami.

4.1.3 Ďalšie typy Seyfertových galaxií

Ďalšie rozdelenie Seyfertových galaxií bolo navrhnuté v roku 1981 astronómom Osterbrockom, ktorý predstavil typ Seyfert 1.5, 1.8 a 1.9, kde podtriedy sú rozlíšené čisto na rozdieloch v optickom obore. Číslené väčšie podtriedy majú slabšie zložky širokých čiar relatívne k úzkym čiarom. V galaxiách typu Seyfert 1.9 sú široké zložky detekovateľné len

v H_α a nie v higher-order Balmer lines. V galaxiách typu Seyfert 1.8 sú široké zložky veľmi slabé, ale detekovateľné v H_β a tiež v H_α . V galaxiách typu Seyfert 1.5 je sila širokých a úzkych zložiek v H_β porovnateľná.

Jednou zo základných otázok ohľadom AGN je, ako produkujú tak veľké množstvo energie (rovnajúce sa energii vyžiarenej milióňmi hviezd) vo veľmi malom objeme ($V \leq 1pc^3$). Odpoveďou je model, tzv. *centrálny motor*, ktorý pozostáva z extrémne horúceho akrečného disku a supermasívnej čiernej diery. Energia sa vytvára pri gravitačnom páde materiálu, ktorý je zahrievaný na vysoké teploty disipatívnym akrečným diskom. Táto hypotéza sa prvýkrát objavila v roku 1964.

Pri odhadoch hmotnosti takéhoto centrálného zdroja, sa uvažuje o izotrponom a stabilnom zdroji s ionizovaným plynom a tlakom žiarenia smerujúcim von, ktorý je v rovnováhe s gravitačnými silami. Unikajúce žiarenie v určitej vzdialenosti r vypočítame vzťahom (zdroj(15))

$$F = \frac{L}{4\pi r^2}, \quad (4.1)$$

pričom L je žiarenie zdroja v $erg.s^{-1}$. Vzťah pre tlak potom získame ako:

$$P_{rad} = \frac{F}{c} = \frac{L}{4\pi r^2 c} \quad (4.2)$$

Sila pre odchádzajúce žiarenie pre jednotkový elektrón je:

$$F_{rad} = \sigma_e \frac{L}{4\pi r^2 c} \hat{r} \quad (4.3)$$

Po úpravách rovníc F_{rad} a F_{grav} dostaneme vzťah známy ako *Edingtonov limit*, udávajúci minimálnu hmotnosť zdroja (M_E) s určitou jasnosťou.

$$L \approx 1.26 \times 10^{38} \frac{M}{M_\odot} ergs.s^{-1} \quad (4.4)$$

Pre AGN môžeme zapísať

$$M_E = 8 \times 10^5 L_{44} M_\odot \quad (4.5)$$

$$(L_{44} = 10^{44} ergs.s^{-1})$$

Hodnota L_{44} je charakteristická pre Seyfertove galaxie.

Druhá možnosť určenia centrálnej hmotnosti je cez spektrum. Prepodkladáme, že Dopplerov posun je spôsobený len centrálnym zdrojom. Takto vypočítané M_E je väčšie len o jeden rád.

Štruktúra akrečného disku závisí od rôznych parametrov: sile magnetického pola, stupňa akrecie, prítomnosti či absencie diskovej koróny či jetu. Povaha viskozity je zatiaľ neznáma, rovnako ako rola tepelnej nestability. Diskusia ohľadom základnej štruktúry AGN prebehla v rokoch 1985 – 1992.

Predpokladá sa, že žiarivá energia ANG pochádza z akrecie akrečnou a ďalej že energia

častíc vo vzdialenosti r od centrálného zdroja je lokálne disipovaná a prostredie je opticky husté. Za týchto podmienok aproximujeme emisie na čierne teleso. Podľa viriálového teorému sa polovica gravitačnej energie využije na zohriatie plynu, druhá polovica a vyžiari ako

$$L = \frac{GM\dot{M}}{2r} = 2\pi r^2 \sigma T^4 \quad (4.6)$$

pričom σT^4 predstavuje energiu na plochu, πr^2 popisuje plochu disku a 2 reprezentuje dve strany disku.

Hodnota miery akrecie a opacita materiálu rozhodujú o základnej štruktúre:

- Pri malej akrecii $\frac{\dot{M}}{\dot{M}_E} \lesssim 1$, vysokej opacite je disk tenký v zrovnaní s polomerom. Z toho vyplýva, že rýchlosť odvodu tepla do vnútorných častí je zanedbateľná v zrovnaní s rýchlosťou vyžarovania. Vyžarované spektrum je zložené z termálnych emisných spektier cez všetky teploty, ktoré sa v disku vyskytujú. Röntgenové žiarenie pochádza hlavne z najteplejších (vnútorných) oblastí disku, ultrafialové a viditeľné z emisií vznikajúcich ďalej od stredu disku.
- Pri vysokej akrecii $\frac{\dot{M}}{\dot{M}_E} \gg 1$ odchádzajúca radiácia je čiastočne zachytená akrečným materiálom. Disk vertikálne expanduje do žiarivého toru alebo tenkého disku, ktorý vyžaruje neefektívne (asi okolo $(\frac{\dot{M}_E}{\dot{M}}) (\ll 1)$). V tomto prípade je energia privádzaná dnu rýchlejšie, ako sa môže plyn ochladiť vyžarovaním. Táto štruktúra pripomína prípad ranných hviezd, s opacitou spôsobenou rozptylom na elektrónoch. Kvôli nezanedbateľnosti radiálneho transportu tepla sa spektrum podobá spektru čierneho telesa o teplote $10^4 K$.
- V prípade veľmi malej akrecie $\frac{\dot{M}}{\dot{M}_E} \lesssim 0.1$ je disk opticky riedky. Je možné aby sa vyvinula stabilná dvoj-teplotná štruktúra iónového toru, a to vďaka tomu, že sa vnútorné oblasti disku nedokážu efektívne chladiť, keď sú elektróny a ióny teplotne oddelené. V tomto prípade môže teplota iónov dosiahnuť hodnotu danú viriálovým teorémom ($2K + U = 0$, kde $K = \frac{3kT}{2}$). Z toho dostaneme viriálovú teplotu $T_{vir} \approx 2 \cdot 10^{12} \frac{R_S}{r}$ (R_S - Schwarzschildov polomer). Predpokladá sa, že magnetické pole centrálného zdroja je vmrazené do ionizovaného torusu a tým vytvára rýchlo rotujúce pole s osami súbežnými s osami disku. Táto skutočnosť má vplyv na vznik jetov. Sfokusovaním outflowu nabitých častíc magnetickým polom vedie k jetovým štruktúram.

Hlavný problém pri aplikácii teoretického modelu akrečného disku na pozorovania, spočíva vo veľkom množstve voľných parametrov stavby akrečného disku, napr. sily magnetického pola, inklinácie osy, prítomnosť horúcej koróny nad diskom, ktorá ovplyvňuje žiarenie.

Hoci je myšlienka čiernej diery ako centrálného motora AGN široko rozšírená, nebola zatiaľ dokázaná. Jej veľké rozšírenie vďaka aj nedostatku vhodných konkurenčných kandidátov.

4.2 Oblasť širokých čiar (BLR - Broad-line region)

Oblasť širokých čiar má dominantnú úlohu v spektrách AGN. Táto oblasť sa nachádza blízko centrálnemu zdroju. Vďaka širokým čiarom môžeme urobiť dobrý prieskum centrálnemu zdroju AGN z dvoch dôvodov:

- Pohyby v oblastiach širokých čiar sú ovplyvnené hlavne centrálnym zdrojom, a to ako gravitáciou tak aj tlakom žiarenia.
- Oblasti širokých čiar pohlcujú ultrafialové žiarenie zdroja, ktoré potom vyžarujú na iných vlnových dĺžkach. Tieto emisné čiary nám spätne poskytujú informáciu o pôvodnom žiarení zdroja, ktoré inak nie sme schopní pozorovať.

Spektra oblasti so širokými čiarami majú veľkú rozdielnosť v sile čiar a profile, šírka sa líši objekt od objektu. Predpokadá sa, že je vždy prítomné Dopplerovské rozšírenie, šírky čiar sa merajú v jednotkách rýchlosti, pričom ich môžeme merať ako:

- FWHM - plná šírka v polovičke maxima
- FWZI - plná šírka pri nulovej intenzite

Šírky čiar z BLR nadobúdajú hodnoty $\Delta v_{FWHM} \approx 500 km.s^{-1} - 10^4 km.s^{-1}$, typická hodnota je $5000 km.s^{-1}$. Štruktúra čiar sa môže meniť pre rôzne čiary spektra. Relatívna šírka čiar sa mení v závislosti na rýchlosti v_{LOS} .

Často Dopplerovské rozšírenie spôsobuje vznik blendovaných čiar. Blendované čiary majú za následok, že niektoré dublety, v ktorých sú čiary blízko seba, sú v spektre AGN nerozpoznateľné.

Intenzita emisných čiar spoločne aj s kontinuum sa mení s časom, v niektorých prípadoch široké čiary v Seyfertových galaxiách typu 1 veľmi zoslabli, ale boli stále pozorovateľné.

Spoločným znakom širokých čiar je ich zložitá teplotná a hustotná charakteristika. Elektrónová hustota je dostatočne veľká na to, aby všetky zakázané čiary boli potlačené kolíziami ($n_e \approx 10^{21-22} cm^{-3}$).

Podobnosť relatívnej intenzity čiar s čiarami ionizovaného plynu napovedá, že teplota je $10^4 K$, $v_{LOS} \approx \left(\frac{kT}{m_p}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 10 km.s^{-1}$.

Hoci väčšina BLR emisie zjavne pochádza z opticky hustých mračien, vyskytujú sa tiež opticky riedke komponenty BLR. Jadro širokej H_β emisnej čiar v Seyfertových galaxiách typu 1 sa mení s kontinuum, ale vysokorýchlostné krídla sú konštantné, čo dáva predpoklad opticky riedkeho plynu s vysokými radiálnymi rýchlosťami.

Hlavná príčina rozšírenia čiar je vďaka Dopplerovskému pohybu jednotlivých mračien.

Čiary širokých oblastí nemajú symetrický profil. Profil spektra sa tiež mení s časom (táto skutočnosť je zatiaľ nevysvetlená), pričom existujú rôzne profily čiar pre AGN - nie je jeden univerzálny model.

V princípe môže byť veľkosť a štruktúra oblasti širokých čiar získaná z pozorovaní, z chovania reakcie emisných čiar na zmeny v kontinuu.

4.3 Oblasť úzkych čiar (NLR - Narrow-line region)

Záujem o oblasť úzkych čiar je najmä z troch dôvodov:

1. Jedná sa o najväčšiu priestorovú oblasť, v ktorej ionizujúce žiarenie z centrálného zdroja prevýši ostatné zdroje.
2. Je to jediná súčasť AGN, ktorá je priestorovo rozlíšiteľná v optickej oblasti - toto je zvlášť dôležité, lebo NLR je jasne ožiarované neizotropným žiarením centrálného zdroja.
3. Dynamika oblasti úzkych čiar nám môže prezradiť spôsob napájania AGN.

Rovnako ako u oblastí širokých čiar, relatívna šírka emisných čiar, ktoré pozorujeme v spektre oblasti úzkych čiar nám dovoľuje rozoznať niektoré vlastnosti ionizovaného spektra. Na rozdiel od oblastí širokých čiar majú oblasti úzkych čiar nízku hustotu elektrónov, zakázané prechody nie sú potlačené zrážkami. Základné vlastnosti NLR emisií sú:

1. Emisie vynikajú v rozľahlej oblasti takže aspoň čiastočne je možné pozorovať ich fyzikálne a kinematické rozdelenie.
2. Žiarenie vznikajúce pri zakázaných prechodoch je izotropné, keďže môžeme zanedbať absorpciu.

FWHM úzkych čiar spadá do oblasti $200 \lesssim \Delta v_{FWHM} \lesssim 900 \text{ km.s}^{-1}$, najčastejšie hodnoty sú $(350 - 400) \text{ km.s}^{-1}$.

Rozsah teplôt elektrónov pre oblasti NLR je $(10000 - 25000 \text{ K})$. Typická hodnota predstavuje $T_e \approx 16000 \text{ K}$.

Profil úzkej čiary zreteľne nie je gaussovský. Čiara má zjavne širšiu základňu, ako by zodpovedalo gaussovskému a jej tvar nie je symetrický. Táto nesymetrickosť sa prejavuje hlavne pri základni. Keďže absorpciu vysoko ionizovaných čiar je možné zanedbať, táto nesymetrickosť musí byť dôsledkom radiálneho pohybu oblakov materiálov, ktorý pohlcuje široké spektrum vlnových dĺžok, ako napríklad prach.

Porovnanie radiálnych rýchlostí úzkych čiar ukazuje, že centrum NL sú často mierne posunuté k modrej časti spektra relatívne k rýchlostiam tohoto systému, zvyčajne $(50 -$

$100)km.s^{-1}$. Napriek tomu sa zdá, že peaky sú bližšie k červenému posunu galaxie. Toto napovedá, že väčšina úzkych emisných čiar vzniká približne v symetrických oblastiach s červeným posunom a je tu ďalší slabý komponent, ktorý je zľahka posunutý k modrej oblasti relatívne k rýchlostiam systému.

4.4 Zjednotený model AGN galaxií

Väčšina práce na zjednotenom modeli je morfolologickej povahy, primárne sa jedná o hľadanie korelácií pozorovaných procesov. Cieľom takýchto štúdií je nájsť vzťahy, ktoré by vyžadovali čo najmenší počet parametrov, ktorý je potrebný na charakterizovanie závislostí medzi rôznymi vlastnosťami tohto modelu. Predpokladá sa, že skutočné rozdiely medzi AGN triedami sú pomerne malé a veľká rôznorodosť je spôsobená najmä miestom a spôsobom pozorovania týchto objektov.

Zjednotený model môže byť charakterizovaný ako *silný* alebo *slabý*, v závislosti na počte parametrov, ktoré obsahuje. *Slabý* zjednocujúci model povoľuje väčšiu fyzikálnu rozmanitosť, pričom vysvetľuje len vzťahy v obmedzenom počte AGN (príkladom je model dovoľujúci dve vnútorné charakteristiky, žiarivosť v optickej a rádiovkej oblasti). V týchto modeloch sú dve základné skupiny AGN, radio-quiet (galaxie málo vyžarujúce v rádiovkej oblasti) a radio-loud (galaxie vyžarujúce v rádiovkej oblasti). V každom type je viditeľná široká škála úkazov, závislá na týchto dvoch základných parametroch, plus zjavné rozdiely kvôli orientácii systému relatívne k pozorovateľovi. *Silný* model predpokladá, že je tu len jeden vnútorný parameter a tým je absolútna jasnosť (optická a rádiová jasnosť sú korelované) a všetky tieto rozdiely sú pozorované v rôznych orientáciách.

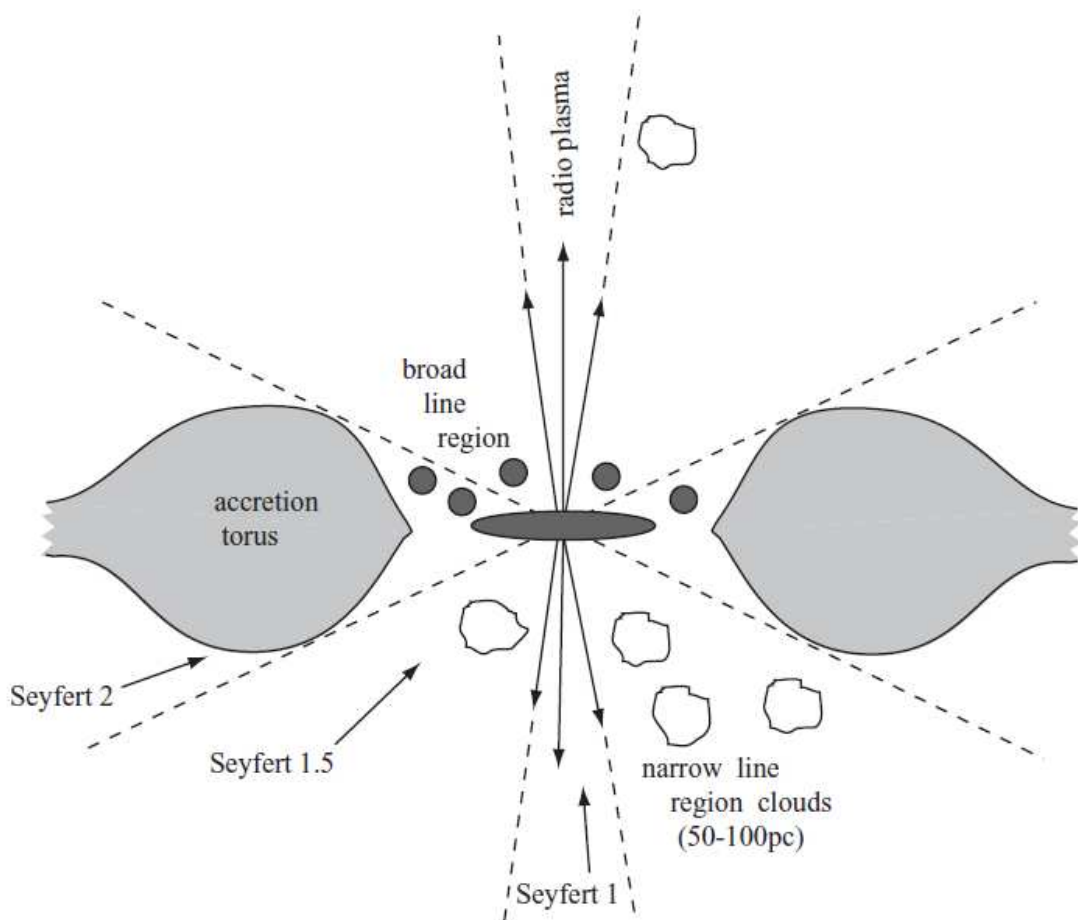
Existuje niekoľko jasných ukazateľov na prepojenie aspoň niektorých typov AGN. Dôkazy sú presvedčivé zvlášť pri nasledujúcich modeloch:

- Hlavný rozdiel medzi Seyfertovými galaxiami a kvasarmi je v jasnosti ich centrálného zdroja.
- Seyfertove galaxie typu 1 a Seyfertove galaxie typu 2 sú v princípe rovnakým zdrojom. Rozdiel je v tom, že v prípade Seyfertových galaxií typu 2 nemôžeme vidieť jadrový zdroj priamo kvôli prekážkam v smere pozorovania.
- Blazary sú zjavne radio-loud AGN, pričom sa na ne pozeráme v smere blízkom rádiovým osám.

V roku 1995 bol navrhnutý Wilsonom a Colbertom základný parameter, ktorý rozhoduje, či je jadro radio-quiet alebo radio-loud. Stala sa ním rýchlosť rotácie čiernej diery.

Tabuľka 4.1: Možné zjednotenie, zdroj(15).

Rádiové vlastnosti	Orientácia	
	spredu	zboku
Radio Quiet	Seyfert 1 QSO	Seyfert 2 FIR galaxy?
Radio Loud	BL Lac BLRG Quasar/OVV	FR I NLRG FR II



Obrázok 4.3: Zjednotený model AGN galaxií, zdroj(18).

Napriek tomu, že je pozorovaných dosť podobných znakov, ako jasnosť jadra, šírka kontinua alebo časová závislosť, sú pozorované aj rozdiely, napr. absencia čiar zo širokých oblastí, sila rádiovej a röntgenovej emisie.

Zdá sa pravdepodobné, že aktívne galaktické jadra sú napájané akreciou v okolí centrálnej supermasívnej čiernej diery. Taktiež pozorované rozdiely sú spôsobené rozdielnou orientáciou objektov pri pozorovaní zo Zeme a rôznym stupňom akrecie.

Napriek tomu, že zatiaľ nie je jednoznačný názor na niektoré detaily zjednoteného modelu, model nám poskytuje rámcovú predstavu pri pozorovaní AGN a ich následnú interpretáciu. Správny model by mal predpovedať výsledky nových pozorovaní a vysvetliť všetky predchádzajúce pozorovania. Úspešné predpovede boli vytvorené na základe zjednocujúcej myšlienky a zdá sa, že základné poznatky do seba zapadajú.

Niekoľko rôznych poznatkov viedlo k ustanoveniu centrálneho modelu. Ako hlavný motor slúži akrečný disk obiehajúci a rotujúci okolo supermasívnej čiernej diery. AGN sú zásobované premenou gravitačnej potenciálnej energie na synchrotronné žiarenie, hoci rotačná kinetická energia čiernej diery môže tiež slúžiť ako významný zdroj energie. Štruktúra akrečného disku závisí na pomere žiarivosti vzniknutej akreciou a Eddingtnovho limitu. Aby boli schopné zásobovať pozorované množstvo žiarenia, musia AGN pohltiť približne $(1 - 10)M_{\odot}$ materiálu za rok. Pohľad pozorovateľa spolu so stupňom akrecie hmoty a hmotou čiernej diery rozhodne, do ktorej skupiny AGN sa daný objekt zaradí.

Kapitola 5

Spektrum

Akýkoľvek objekt, majúci teplotu vyššiu ako absolútna nula, vyžaruje do svojho okolia elektromagnetické žiarenie. V bežnom živote je vďaka tomuto žiareniu vo viditeľnej oblasti, ktoré zaznamenávajú naše oči, možné zistiť napr. farbu predmetu. V astronómii sa zo spektra objektu dá vyťažiť oveľa viac, ako len jeho farba. Vďaka spektru vieme zistiť chemické zloženie objektu, gravitačné zrýchlenie, žiarivý výkon, hmotnosť a v nesposlednej rade radiálnu rýchlosť. Zisťovanie chemického zloženia nie je vždy jednoduché, nakoľko profily čiar nebývajú idálne jednoznačné. Pri veľmi malých posunoch, rady angstromov a podobných intenzitách neraz čiary rôznych prvkov splývajú, navzájom sa prekrývajú a ovplyvňujú svoj profil. Jedná sa o tzv. *blendované čiary*, kedy nám jeden profil zastupuje viaceré prvky. Identifikáciu spektra sťažujú nielen jednotlivé prvky, ale aj molekuly. V prípade získavania spektra pozemskými zariadeniami musíme často rátať s kontamináciou spektra tellurickými čiarami. Tellurické čiary sú spôsobované hlavne molekulami vodných pár nachádzajúcimi sa v atmosfére. Ich zastúpenie v získanom spektre závisí hlavne od zemepisných šírok a zastúpení daných prvkov v ovzduší.

5.1 Radiálna rýchlosť a Dopplerov posun

V prípade ďalšej práce so spektrom sa obraciame hlavne na čiary, ktoré môžeme jednoznačne identifikovať. Zväčša sa jedná o osamotené, výrazné čiary alebo skupiny čiar. Jednou zo základných informácií v spektre je vlnová dĺžka. Hodnoty vlnových dĺžok pre jednotlivé prvky boli získané v laboratórnych podmienkach na Zemi a nie sú ovplyvnené pohybom objektu. Keďže však objekty vo vesmíre nie sú statické ale pohybujú sa voči sebe a voči nám, ako pozorovateľovi, vznikne v spektre vždy istý posun vlnových dĺžok pre jednotlivé prvky. Tento poznatok využil v roku 1842 rakúsky astrofyzik Christian Doppler vo svojej publikácii *O farebnom svetle dvojhviezd a niektorých ďalších nebeských telies*, v ktorej vysvetlil zmeny frekvencie detekovaného svetla pri pohybe zdroja. Vo svojej práci hovorí Doppler o tom, že detekovaná frekvencia zdroja je rovnaká ako emitovaná, len pokiaľ sa pozorovateľ a objekt nepohybujú. V prípade, že sa vzájomná vzdialenosť skracuje,

dochádza tiež ku skracovaniu vlnovej dĺžky detekovaného žiarenie a so súčasným nárastom frekvencie. Naopak, keď sa objekt a pozorovateľ vzdalujú, frekvencia klesá spolu s hodnotou vlnových dĺžok. Tento poznatok sa využíva na určenie radiálnych rýchlostí kozmických telies:

$$v_r = c \frac{\lambda_r - \lambda_l}{\lambda_l} \quad (5.1)$$

v_r - radiálna rýchlosť pozorovaného objektu

λ_r - detekovaná vlnová dĺžka

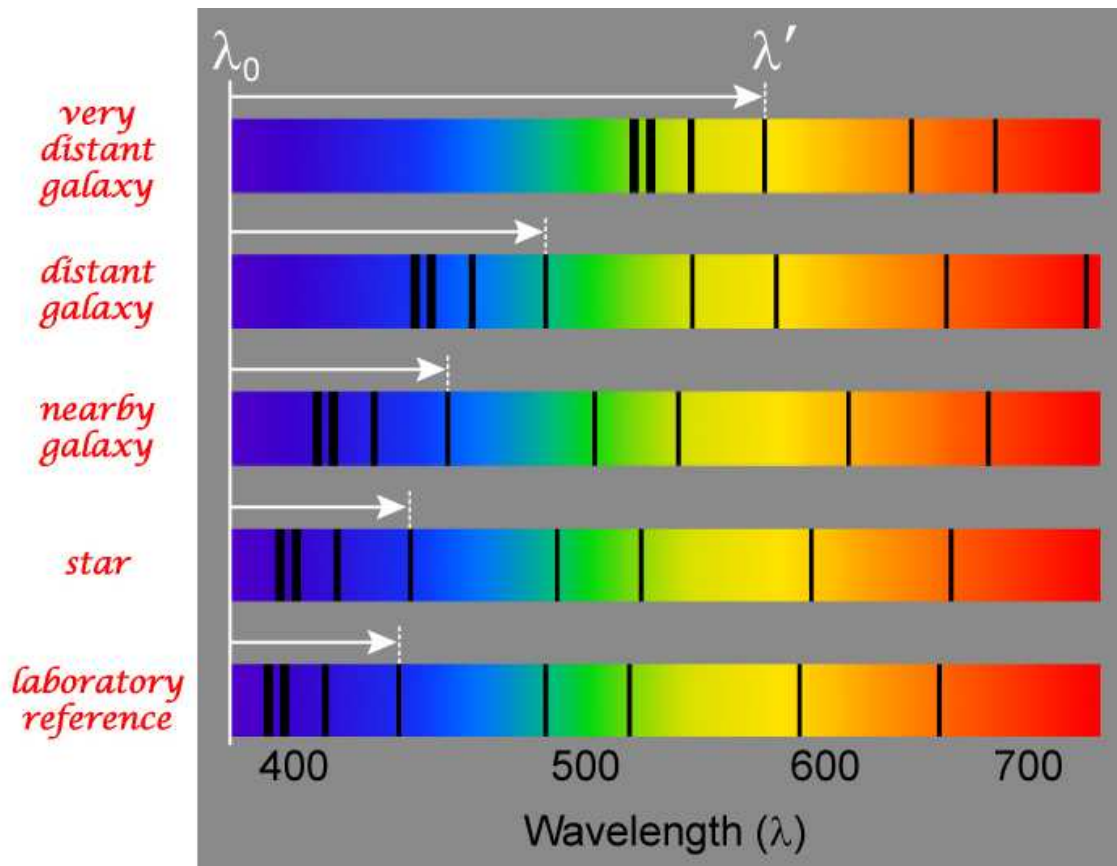
λ_l - vlnová dĺžka nameraná v laboratórnych podmienkach

c - rýchlosť svetla vo vákuu, $c = 299792.458 \text{ km.s}^{-1}$

Radiálna rýchlosť nadobúda dve hodnoty: kladnú alebo zápornú. Kladné či záporné znamienko nám poskytuje informáciu o smere pohybu objektu:

- záporné znamienko - objekt sa pohybuje smerom k pozorovateľovi (približuje sa)
- kladné číslo - objekt sa pohybuje smerom od pozorovateľa (vzdďaľuje sa)

Tento jav súvisí s Dopplerovým efektom (či Dopplerovým posunom) - jedná sa o zmenu frekvencie vysielanej zdrojom (a tým aj zmenou vlnovej dĺžky). Pokiaľ sa objekt pohybuje k pozorovateľovi, jeho frekvencia sa zvyšuje, nastáva posunutie vlnových dĺžok k väčším dĺžkam (hodnota vlnovej dĺžky narastá) – stretávame sa s tzv. *modrým posunom*. Naopak, pokiaľ frekvencia elektromagnetického žiarenia, ktorú zachytí pozorovateľ, je v porovnaní s pôvodnou frekvenciou zdroja nižšia, dostávame sa ku kratším vlnovým dĺžkam a hovoríme o *červenom posune*, viditeľné na obrázku 5.1.



Obrázok 5.1: Dopplerov posun, zdroj(2).

5.2 Plošná spektroskopia galaxií

Aj veľmi veľké objekty sa vďaka obrovským vzdialenostiam vo vesmíre javia malé. V spektrografoch takýto objekt (napr. hviezda) zvyčajne zaberá jeden pixel, kým objekty s väčším priestorovým rozlíšením je potrebné snímať vo viacerých bodoch. Tento proces zaobstarávajú prístroje určené na plošnú spektroskopiu, v súčasnosti nazývanú tiež 3D spektroskopia.

Snímaný objekt je rozdelený podľa mriežky na pixely a spektrum sa zaznamenáva pre všetky body súčasne

Rozdiel oproti štrbinovej spektroskopii spočíva v zázname aj spracovaní spektra. Štrbinovou spektroskopiou sa zaznamenáva v danom časovom intervale len úzka časť vybranej oblasti. Po nazbieraní údajov sa štrbina presunie na novú pozíciu. Naproti tomu v plošnej spektroskopii je spektrum celého objektu v jednotlivých bodoch brané súbežne.

Nasnímané dáta skladajú do tzv. *dátovej kocky*, vďaka ktorej sa táto spektroskopia tiež nazýva 3D.

5.2.1 Plošný spektroskop

Plošné spektroskopy (IFS) sú prístroje, ktoré nám umožňujú zaznamenávať spektra v dvoj rozmernom zornom poli. Výsledkom takéhoto záznamu je dátova kocka, s osami x, y (prípadne súradnicami) a poslednou osou prislúchajúcou vlnovej dĺžke (prípadne rýchlosti).

Tradičné štrbinové spektroskopy majú hlavne nevýhodu v zmene atmosferickej refrakcie, ktorá môže nastať pri postupnom snímaní jednotlivých častí objektu a v dĺžke tohto snímania.

Väčšina častí IFS je uspošobená aj na pozeranie v červenej časti optickej oblasti a tiež v blízkej infračervenej oblasti. Hlavnou príčinou je, že je pomerne ťažké vyrobiť také optické vlákno, ktoré by prevádzalo modré svetlo efektívne a používané zrkadlá sú lepšie uspošobené pre dlhšie vlnové dĺžky.

Plošná spektroskopia je ideálna pre akékoľvek objekty, ktoré sa nejavia ako bodové. Použitie je široké, napríklad: normálne galaxie (dynamika hviezd a plynu, čierne diery, galaktické jadrá, eliptické galaxie, priečky...), aktívne galaxie (dynamika plynu, hviezdne populácie, zásobovanie jadier aktívnych galaxií...)

Plošné spektroskopy pozostávajú z dvoch častí: spektrografu a integrálnej jednotky (IFU). Toto zariadenie zabezpečuje zaznamenávanie dvojrozmerných máp súvislo. Najpoužívanejšie spôsoby vytvárania 3D spektier je možné vidieť na obrázku 5.2.1:

Pole minišošoviek

Obraz je rozdelený polom mikrošošoviek (MLA). Žiarenie z jednotlivých bodov pozorovaného objektu je sfokusované do jedného bodu a následne rozptýlené spektrografom. Keďže sa jedná o malú oblasť, je možné nakloniť MLA a zabezpečiť, aby sa jednotlivé spektra neprekrývali a zároveň aby mohol byť obraz vzorkovaný bez prerušenia. Nevýhoda spočíva v malom rozsahu vlnových dĺžok takto spracovaného spektra, ktorý je potrebný aby sa jednotlivé spektra neprekrývali. PACKIN of the CCD nie je dostatočne efektívny.

Rezač obrazu

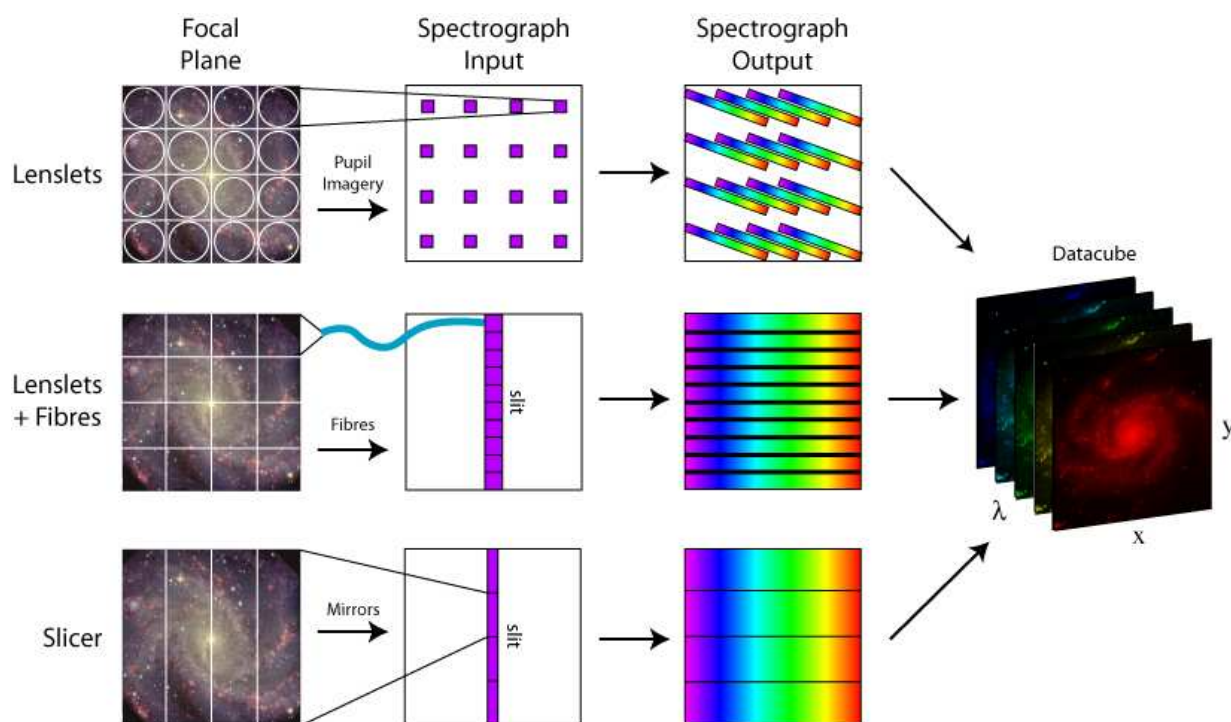
Snímaný obraz je segmentovaný na horizontálne rozdelenom zrkadle, pričom tieto jednotlivé štrbiny posielajú obraz v rozdielnych smeroch. Ďalšie segmentované zrkadlo sformuje jednotlivé štrbiny. Takto získané časti spektra sa neskladajú nad seba, ale napájajú za svoje konce, aby zodpovedali štrbine spektrografu. Výhodou tejto techniky je vysoké priestorové rozlíšenie. Tento systém je vhodný hlavne pre dlhovlnné, infračervené oblasti, nakoľko využíva len zrkadlá chladené na veľmi nízke teploty. Taktiež má ale svoje nevýhody. V podstate sa jedná o rovnaký systém, aký používajú teleskopy a dochádza tu ku skráteniu rozsahu spektra kvôli štrbine spektrografu. Ďalšou nevýhodou je samotná konštrukcia, ktorá spočíva v komplikovanej výrobe zrkadiel a býva zvyčajne dosť objemná.

Optické vlákna

V súčasnosti sa najviac používajú vlákna. Vstupný obraz je sformovaný do dvoj-rozmerneho balíku, ktorý dopravujú vlákna k štrbine spektrografa. Flexibilita vlákien nám dovoľuje zmeniť zorné pole do rôzneho počtu štrbín, cez ktoré je žiarenie dopravované k spektrografu.

Hlavné výhody teda sú: potlačenie časovej premennosti oblohy (bez zmeny reafrakcie a jasnosti oblohy) a niekoľko násobne rýchlejšie zbieranie údajov na dátové kocky.

Pri takomto spracovaní spektra nevykazujú vzájomný posun vo vlnových dĺžkach. Táto technika má však aj nedostatky, napr. mapovanie oblohy nie je kontinuálne, nakoľko majú vlákna kruhový tvar a sú medzi nimi medzery. Táto nevýhoda môže byť odstránená po vložení šošovkovej mriežky pred vlákna. Šošovky sú okrúhleho alebo hexagonálneho tvaru a zaostrujú žiarenie do jednotlivých vlákien.

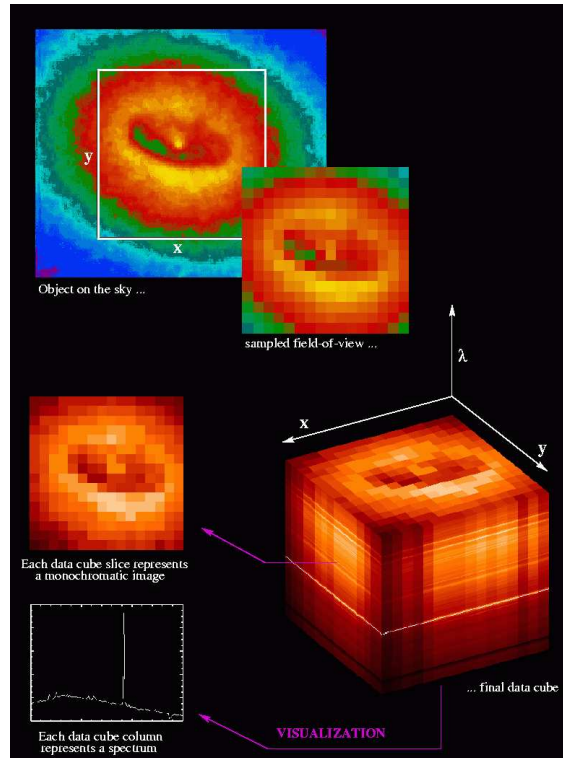


Obrázok 5.2: Najpoužívanejšie spôsoby vytvárania plošných spektier, zdroj(7).

5.2.2 Dátové kocky

Nespracované údaje z plošných spektroskopov pozostávajú z viacerých súčasti, pričom každá časť je zaznamenaná jednotlivým prvkom IFU. Označenie týchto jednotiek je *spatial pixels* alebo skrátene *spaxels*. Tento pojem bol zavedený hlavne kvôli odlíšieniu jednotiek

IFU a jednotiek detektoru, ktorými sú pixely. Z takto získaných jednotlivých spektier sa následne zostaví dátová kocka, ktorá je ukázaná na obrázku 5.2.2.



Obrázok 5.3: Dátová kocka z IFS, zdroj(7).

5.2.3 Výhody IFS

Oproti klasickej spektroskopii má plošná spektroskopia veľa výhod:

- Oprava atmosferickej refrakcie.
- Vytvorenie detailných máp zorného pola vo vybraných vlnových dĺžkach.
- Výbranie zaujímavej oblasti v zornom poli.

Dve osy určujú polohu, na tretej ose je vynášaná vlnová dĺžka. Dvoj rozmernú interpretáciu nameraných dát získame pomocou dodatočných máp. Z týchto dát získavame hlavne rýchlostné mapy, v tomto prípade na pozícií tretieho rozmeru sa nachádzajú rýchlosti, vyrátané z posunu čiar (metóda spomínaná v časti ??). Použitím vhodných vzťahov získavame aj mapy disperzie rýchlosti a plošnej jasnosti. Vďaka takto vyobrazeným mapám môžeme lepšie skúmať rotáciu jednotlivých častí galaxií.

5.2.4 Kanálové mapy

Kanálové mapy je pojem zaužívaný pre väčší počet map s rôznymi centrálnymi rýchlosťami. Jedná sa o akúsi tomografiu. Klasická mapa rýchlosti zobrazuje plný interval pre zvolené rýchlosti daného objektu. Podľa určitých kritérií (šírka intervalu rýchlosti pre jednotlivé mapy, počet máp) sa vytvorí niekoľko máp so zvoleným intervalom rýchlosti Δv . Kebyže tieto kanálové mapy s rýchlosťami $v \pm \frac{\Delta v}{2}$ zložíme, dostaneme našu pôvodnú rýchlostnú mapu. Ukážky kanálových máp sa nachádzajú v ďalšej kapitole, 6.2.1, 6.2.1.

Hlavným cieľom tejto práce bolo vytvoriť pre konzorcium CALIFA program pre výpočet zobrazení tzv. *kanálových máp (channel maps)* modelovej emisie ionizovaného plynu. Kanálové mapy ukazujú emisiu zintegrovanú cez určitý interval rýchlosti. Napriek tomu, že tento systém je dlhé desaťročia využívaný v rádioastronómii, v optickej astronómii zatiaľ plne využitý nebol. Jednou z hlavných príčin nedostatočného zastúpenia tejto metódy, na štúdium rozloženia a kinematicky chladného plynu, je fakt, že najviac rozšírenou spektrálnou metódou na skúmanie galaxií bola práve štrbinová a nie 3D spektroskopia. Štrbinová spektroskopia neumožňuje rutinnú dávku dátových kociek, ktoré sú základom pri tvorbe kanálových máp.

Veľmi užitočné sú kanálové mapy v kombinácii rýchlostnými mapami (t.j. mapami strednej rýchlosti pozdĺž zorného lúča $\langle v_{los} \rangle$, prípadne doplnenými o mapy disperzie rýchlosti) a tvarmi spektrálnych čiar. Pri obyčajnom použití mapy rýchlostného nie je možné, ani v kombinácii so znalosťou tvaru spektrálnej čiary, jednoznačne odlíšiť nerotujúci outflow od rotácie, ani jednoznačne identifikovať prítomnosť rotujúceho outflow, čo je z dôvodu degenerácie v projekciách oboch typov. Kanálové mapy predstavujú spôsob, ako túto degeneráciu odstrániť a správne identifikovať 3D geometriu a 3D kinematiku.

5.3 CALIFA

CALIFA (Calar Alto Legacy Integral Field Area Survey) je medzinárodný projekt zaoberajúci sa plošnou spektroskopiou. Na skúmanie sa využíva spektrometer umiestnený na 3,5 metrovom teleskope na Calar Alto. Tento projekt má zmapovať 600 zvolených galaxií počas 250 pozorovacích nocí. V súčasnosti sa jedná o najväčšie a najobsiahlejšie širokouhlé snímanie galaxií. Dňa 1.11.2012 boli sprístupnené prvé dáta, obsahujúce 200 dátových kociek vzťahujúcich sa ku 100 snímaným objektom. Dáta boli spracované, bola otestovaná ich kvalita a sú použiteľné pre vedecké účely.

Dvojrozmerné spektrálne mapy obsahujúce veľkú a podrobnú vzorku umožnia napríklad:

- rozšíriť kinematickú klasifikáciu galaxií na celú Hubbleovu klasifikáciu, použitím homogénneho vzorku dát
- skúmanie medzihviezdnej hmoty naprieč galaxiami, čo prinesie nové poznatky o význame aktívnych galaktických jadier, hviezdnych formácií, nárazových vln a starých hviezd ako ionizačných zdrojov

- študovanie hviezdnych populácií v okrajoch galaxií atd.

Califa tvorí most medzi jednoapertúrnymi prehliadkami a prehliadkami sledujúcimi celé galaxie. Maximálne využíva jedinečné možnosti PMAS/PPAK zariadenia. (PMAS - Potsdam Multi-Aperture Spectrograph instrument at the 3.5m telescope of CAHA). PPAK ponúka kombináciu extrémne širokého zorného pola ($> 1 \text{ arcmin}^2$) s veľkým zberným potenciálom, dobrým spektrálnym rozlíšením, citlivosťou na vlnové dĺžky vo viditeľnej oblasti. PPAK zväzok vlákien z 382 vlákien s priemerom 2.7 arcsec. 331 vlákien je sústredených do hexagonálneho zväzku pokrývajúceho zorné pole 74"x64". Pozadie je zaznamenané 36 vláknami v šiestich zväzkoch po šiestich vláknach. Zostávajúcich 15 vlákien sa využíva na kalibračné účely, zdroj(17).

Spektrá sú zaznamenané v rozsahu (3700-7000)Å v dvoch prekrývajúcich sa meraniach. Jedno v červenej časti (4300 – 7000)Å, so spektrálnym rozlíšením $R = 850$, druhé v modrej časti (3700 – 5000)Å s rozlíšením $R \sim 1650$, zdroj(1).

5.4 Súradnice

V astronómii existuje niekoľko súradnicových systémov. Vždy využívame tie, ktoré sú nám výhodnejšie pri skúmaní objektov. Súradnice máme obzorníkové, rovníkové I. a II. druhu, ekliptikálne a galaktické.

V prípade, že pozorujeme hviezdy v našej Galaxii, môžeme zmerať ich rýchlosť vo všetkých troch zložkách, ako kombináciu Dopplerovho posunu a vlastného pohybu. Rovnako máme možnosť zistiť ich polohu v trojrozmernom priestore cez ich uhlovú pozíciu a paralaxu. Podobnú možnosť pri vzdialených galaxiách nemáme. Kvôli veľkej vzdialenosti nemôžeme zmerať ich vlastný pohyb a paralaxy hviezd v týchto galaxiách. Jediné čo nám ostáva, je rýchlosť v smere od/k pozorovateľovi a uhlová pozícia. Vďaka veľkej vzdialenosti galaxií a súčasnej technike nie je zatiaľ možné pozorovať jednotlivé hviezdy v galaxiách, informácie získavame ako súhrn pre celú galaxiu. Tieto objekty bývajú navyše dosť slabé, takže pohyby externých galaxií nie sú merané s najväčšou presnosťou.

Pri meraní rýchlosti hviezd v Mliečnej ceste alebo otvorenej hviezdokope, aplikujeme Dopplerov posun na jednotlivé spektra hviezd. Zmeraná rýchlosť je tzv. *rýchlosť voči pozorovateľovi* v_{los} , zdroj(10).

Rýchlosť v_{los} nezodpovedá reálnej rýchlosti hviezdy, ale je to rýchlosť, ktorú zaznamenáva pozorovateľ. Súradnicový systém pozorovateľa je spojený s kartézskymi súradnicami a galaxia s cylindrickými.

Cylindrické súradnice (G):

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{x^2 + y^2} \\ \varphi &= \text{arctg} \frac{y}{x} \\ z &= z \end{aligned}$$

Kartézské súradnice (P):

$$x = r \cos \varphi$$

$$y = r \sin \varphi$$

$$z = z$$

Z tohto dôvodu je výhodné si zaviesť prevodné vzťahy medzi týmito systémami. Zadefinujeme si galaxiu ležiacu v rovine os x_g, y_g a my ju pozorujeme pozdĺž osy z . V prípade, že sa smer nášho porovania zhoduje s galaktickou osou z_g , je inklinácia $I = 0^\circ$ (uhol medzi rovinou galaxia a spojnicou pozorovateľ-galaxia, meraný od spojnice). Pre rôzne hodnoty inklináčného uhlu som riešila rotáciu galaxie okolo osy y_g , matica prechodu má tvar

$$R = \begin{pmatrix} \cos I & 0 & \sin I \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin I & 0 & \cos I \end{pmatrix}$$

a inverzná matica:

$$R^{-1} = \begin{pmatrix} \cos I & 0 & -\sin I \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin I & 0 & \cos I \end{pmatrix}$$

Prevodné vzťahy medzi jednotlivými súradnými systémami pomocou matice prechodu som zvolila:

$$R \cdot \begin{pmatrix} v_{x,p} \\ v_{y,p} \\ v_{z,p} \end{pmatrix}_P = \begin{pmatrix} v_{x,p} \cos I + v_{z,p} \sin I \\ v_{y,p} \\ -v_{x,p} \sin I + v_{z,p} \cos I \end{pmatrix}_G$$

$$R^{-1} \cdot \begin{pmatrix} v_{x,g} \\ v_{y,g} \\ v_{z,g} \end{pmatrix}_G = \begin{pmatrix} v_{x,g} \cos I - v_{z,g} \sin I \\ v_{y,g} \\ v_{x,g} \sin I + v_{z,g} \cos I \end{pmatrix}_P$$

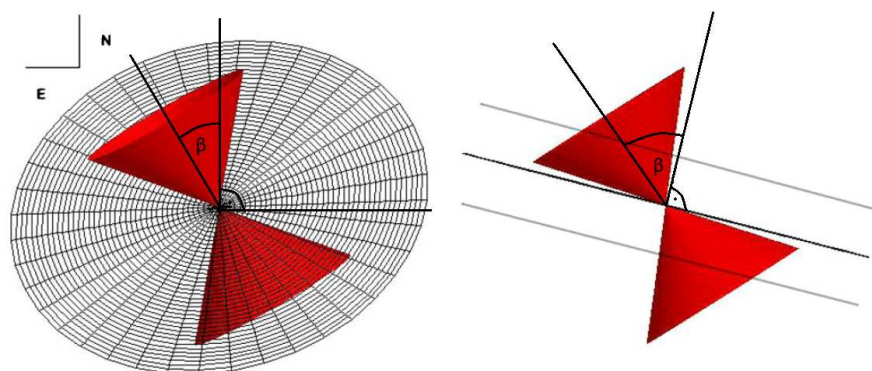
Po úprave dostanem vyjadrujúci priemet rýchlosti galaxie do smeru pozorovania

$$v_{z,p} = v_{x,g} \sin I + v_{z,g} \cos I \quad (5.2)$$

Keďže uvažujem pohyb galaxie len v rovine x, y , z -tovú zložku rýchlosti $v_{z,g}$ položíť rovnú nule. Rovnica prejde na tvar $v_{z,p} = v_{x,g} \sin I = v_{los}$. Pre plochú rotačnú krivku dostávame výsledný vzťah kombináciou rovnice pre v_{los} a $r = \sqrt{x^2 + y^2}$

Analogicky sa odvádzajú rovnice aj pre radiálny outflow. V prípade outflowu pracujem ešte s ďalšími veličinami, ktoré popisujú vlastnosti kužela (dva orientačné uhly, uhol otvorenia, dĺžka kužela):

(β) - uhol sklonu, ktorý normála na rovinu galaxie x,y s osou kužela. Meria sa od osy z_g
 (α) - uhol natočenia udáva natočenie osy kužela v rovne galaxie, meria sa od osy x_g .
 (θ) - uhol otvorenia udáva, ako veľmi je kužel otvorený. Polovičný uhol otvorenia $\frac{\theta}{2}$ sa meria od kolmice kužeľa k jeho plášťu.
 Dĺžka kužela pri jeho ose, zvyčajne sa jedná o jednotky až desiatky kpc .



Obrázok 5.4: Orientácia kužela, zdroj(13).

Časť II

Vlastná práca

Kapitola 6

Programy

6.1 Program vfields

Jednou z mojich prvých úloh bolo zoznámiť sa s už existujúcim programom vfields.f na výpočet 3D máp. Program nepracuje s nasnímanými spektrami, ale s umelými dátami a simuluje správanie sa objektu. Slúži pre užívateľa na skúmanie zmien v objekte na základe zadaných parametrov. Obsahuje rôzne zadané modely, medzi ktorými sa dá zvoliť.

- prípustné 3D geometrie a hustotné profily plynu:
 - sféra - homogenná, polynomiálna, power-law, exponenciálna, gaussovská
 - disk - homogénny, polynomiálny, power-law, exponenciálny, gaussovský
 - prstence - sú povolené viaczložkové systémy pozostávajúce z nezávislých kombinácií predchádzajúcich rozdelení
- Kinematika:

vypočítané rozdelenie rýchlosti smerom k pozorovateľovi z predchádzajúcich komponentov zobrazuje rotáciu v gravitačnom poli galaxie alebo outflowu (prípadne obe možnosti) rovnako ako lokálnu disperziu rýchlosti. Uložené rotačné krivky sú viac-zložkové, zahŕňajúce supermasívnu čiernu dieru, hviezdnu výduť (de Vaucouleurs, Sersic, Moffat), hviezdny disk (Miyamoto-Nagai, exponenciálny) a halo temnej hmoty (power-law, Plummer). Tiež môže byť špecifikovaný zákon zahŕňujúci radiálnu závislosť na lokálnej disperzii rýchlosti.
- Ionizačný (dvoj)kužel:

môže byť superponovaný na rozloženie plynu: v tomto prípade predpokladáme, že emisia pochádza len z plynu nachádzajúceho sa vo vnútri kužela. Kužel je charakterizovaný uhlom otvorenia, dvoma orientačnými uhlami s ohľadom na galaxiu či pozorovateľa a dĺžkou kužela.

Program vfields.f je napísaný v jazyku Fortran 77 a využíva grafickú knižnicu PGPLOT. S obidvoma som sa musela tiež zoznámiť a porozumieť im.

6.1.1 Konfiguračné súbory

Neoddeliteľnou súčasťou programu sú dva konfiguračné súbory vfieldsa.inp a spaxels.inp.

Súbor vfields.inp

V konfiguračnom súbore vfields.inp sa zadávajú parametre modelovaného objektu. Je možné zvoliť si vzdialenosť objektu, jeho inklináciu, pozičný uhol a zorné pole. V závislosti od objektu (sféra, disk) je už vytvorených niekoľko modelov. V práci som využila exponenciálny model disku a lineárnu sféru. Ďalšou z možností voľby je ionizačný kužel, pri ktorom sa definuje uhol otvorenia, dva pozičné uhly a dĺžku. Ďalej sa volia osy pre jednotlivé rezy. Primárne sa pracuje s týmto konfiguračným súborom.

Súbor spaxels.inp

Je vstupný súbor obsahujúci charakteristiky zobrazenia. Nastaví sa v ňom počet spaxelov, počet binov, maximálne a minimálne rýchlosti galaxií.

6.1.2 Práca s programom vfields

Po zoznámení sa s programom som v ňom postupne doprogramovala niektoré veci. Niektoré z nich boli potrebné pre mnou napísaný program, iné sa využili v jeho grafickom výstupe.

Niektoré údaje v mnou vytvorenom programe ChannelMaps.f bolo potrebné čerpať priamo z programu vfields.f, nakoľko ich program počítane a nebolo by efektívne definovať znovu. Do programu som doplnila výpis hodnôt do súboru, ktorý následne slúži ako jeden zo vstupných pre program ChannelMaps.f

```
REAL*4 PgRmaxNeg, PgRmax, TR(6)
...

!ZAPIS HODNOT DO SUBORU
!   write(*,*) 'ZAPIS HODNOT', -PgRmax, PgRmax
   open(122,FILE='values.txt')
   write(122,*) ,-PgRmax, PgRmax
   close(122)
```

```

!ZAPIS MATICE
!      write(*,*) 'ZAPIS MATICE'
      open(126,FILE='matrix.txt')
      do 500 I = 1,6
        write(126,*), TR(I)
500    continue
      close(126)

```

Potrebné bolo tiež získať údaje z dátovej kocky. Jedná sa o pole rýchlosti *Fvel*, ktoré program *vfields.f* počíta pre celú galaxiu, teda pre rozmedzie rýchlosti *VelMin* a *VelMax* zadaných v súbore *spaxels.inp*. Toto pole som si tiež vypísala.

```

REAL*8 Fvel(ND,ND,NV)
...

!VYPIS POLA DO SUBORU
!      write(*,*) 'ZAPIS POLA'!, Fvel(ND,ND,NV)
      open(124,FILE='field.txt')
      do 100 IY=1,ND
        do 200 IX=1,ND
          do 300 IV=1,NV
            write(124,*), Fvel(IY,IX,IV)
300          continue
200        continue
100      continue
      close(124)

```

Z programu *vfields.f* som dostala množstvo grafov pre rôzne konfigurácie. Nakoľko je potrebné konfiguračné súbory upravovať jednotlivo, zadefinovala som si do nich ďalší parameter - názov, ktorý bol načítaný pri spracovávaní súboru.

```

OPEN (11, FILE = 'vfields.inp', STATUS = 'OLD')
READ(11,*) OutputFile !nacita prvý riadok

```

Výsledne grafy boli uložené do súboru s rovnakým názvom, aký obsahoval konfiguračný súbor.

```

CALL PGBEGIN(0, '//trim(OutputFile)//'.ps/cps', Ncols, Nrows)

```

Posledné úpravy sa týkali hlavne vzhľadu grafického výstupu. Pre veličiny v hlavičke som pridala jednotky, pridané boli tiež názvy grafov a označenie jednotlivých osí. Dôležitú

súčasť predstavujú tiež klíny pri jednotlivých mapách, ktoré nám poskytujú informáciu o hodnotách vyobrazených v mape, viz.6.1.2

Výstup programu vfields pre model galaxie GALAXY006 sa skladá z niekoľkých častí. V hornej časti vidíme údaje generované z konfiguračného súboru vfields.inp;

TEXT:

prvý riadok: GALAXY006 predstavuje meno modelu. D_g vyjadruje vzdialenosť objektu, $Scale$ udáva merítko v parsekoch na oblúkovú sekundu, I_g inklináčny uhol galaxie voči pozorovateľovi, PA_g pozičný uhol galaxie, hodnota $R_{rot} = 0$ značí, že galaxia má plochú rotačnú krivku a rotuje s rýchlosťou v_{rot} (znamienko udáva smer rotácie);

druhý riadok: Ionization cone not present - model nezahŕňa outflow.

MAPY:

prvý riadok, všetky mapy: na osách x, y sú vynesené uhlové sekundy a napravo pri každej mape sa nachádza klin v príslušných jednotkách, ktorý obsahuje farebné vyjadrenie hodnôt vykreslených v grafe. Biele osy v mape predstavujú rezy zvolenými rovinami, odlišené sú štýlom krivky. V modeloch bez kužeľa sa nachádzajú dva rezy.

prvý riadok, vľavo: mapa plošnej jasnosti: do mapy sa vykresľujú hodnoty plošnej intenzity v relatívnych jednotkách (tieto sú úmerné $[erg/cm^2/s/arcsec^2]$),

prvý riadok, stred: mapa rýchlosti $\langle v_{los} \rangle [km.s^{-1}]$,

prvý riadok, vpravo: disperzia rýchlosti $\sigma [km.s^{-1}]$;

GRAFY:

prvý riadok, všetky grafy: na ose x sú vynesené uhlové sekundy, jednotky na ose y sú príslušné pre každý graf. Jednotlivé krivky zodpovedajú (podľa štýlu) príslušným rezom na mapách,

druhý riadok, vľavo: graf zobrazuje rozloženie plošnej jasnosti vo vybraných rezoch, jednotky na ose y sú relatívne,

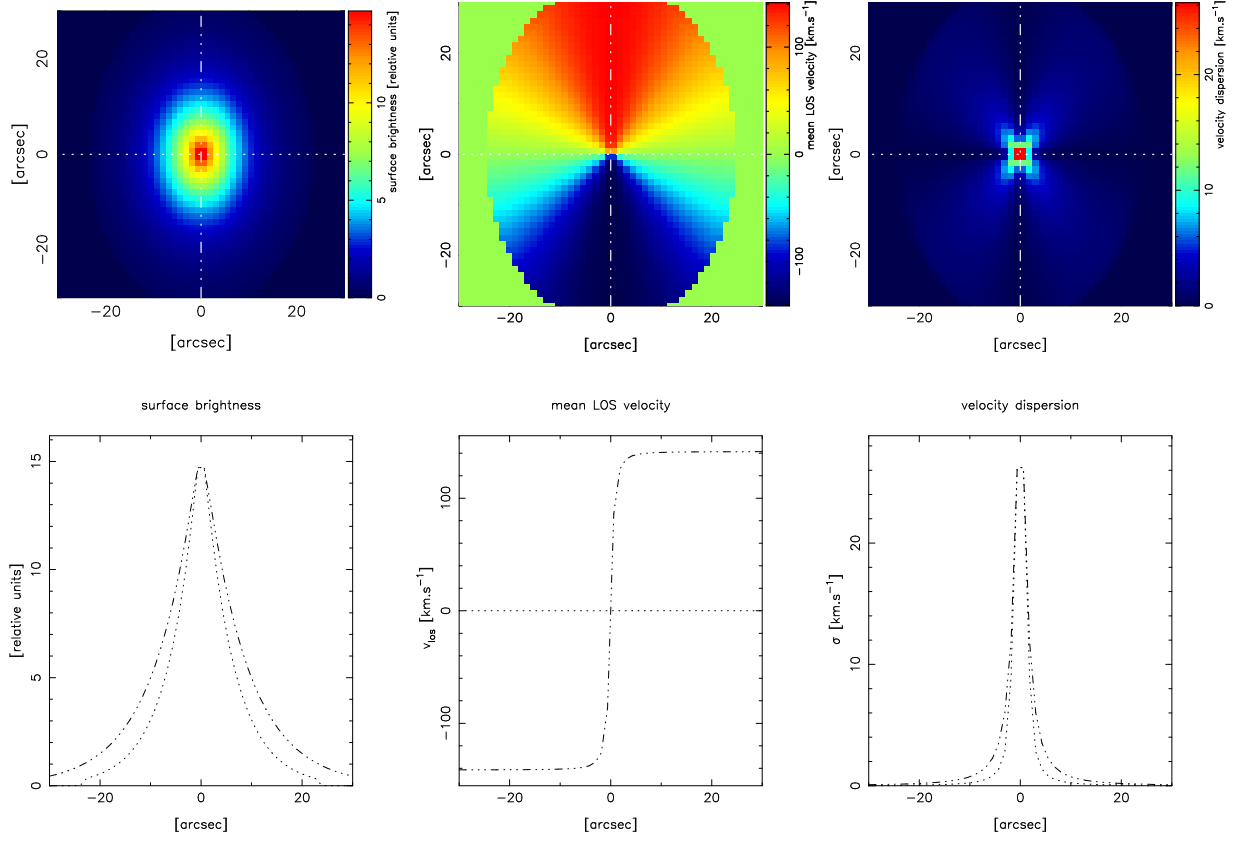
druhý riadok, stred: graf zobrazuje priebeh rýchlosti $\langle v_{los} \rangle$ v rezoch, jednotky na ose y sú $[km.s^{-1}]$

druhý riadok, vpravo: graf zobrazuje hodnoty disperzie rýchlosti σ , jednotky na ose y sú $[km.s^{-1}]$;

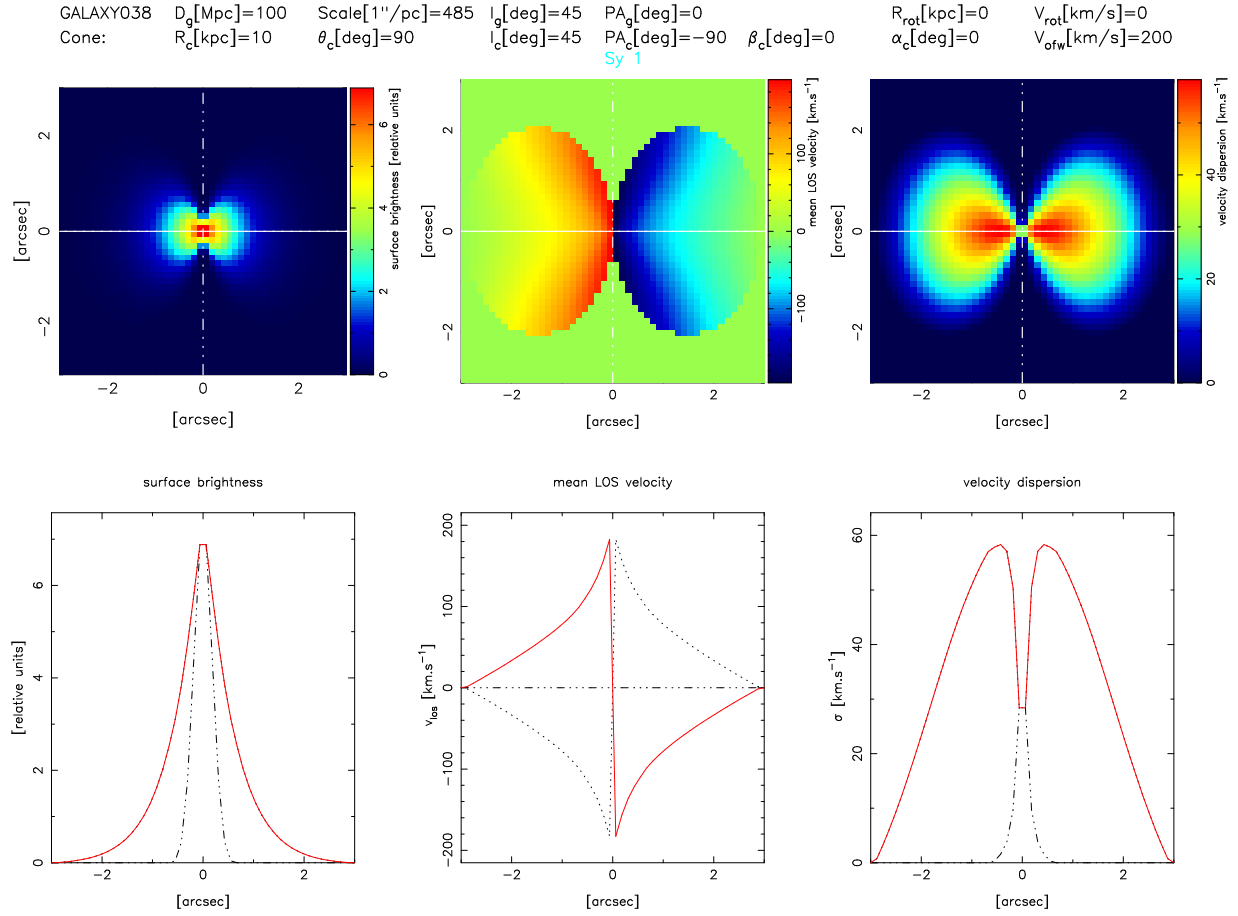
Veľkosť zorného pola je $FOV = 60[arcsec]$. Údaje z konfiguračného súboru spaxels.inp sú pre všetky modely rovnaké: počet spaxelov $ND = 50$, minimálna rýchlosť galaxie $VelMin = -220[km.s^{-1}]$, maximálna rýchlosť galaxie $VelMax = +220[km.s^{-1}]$.

GALXY006 $D_g[\text{Mpc}]=100$ $\text{Scale}[1''/\text{pc}]=485$ $l_g[\text{deg}]=45$ $PA_g[\text{deg}]=0$
ionization cone not present

$R_{\text{rot}}[\text{kpc}]=0$ $V_{\text{rot}}[\text{km/s}]=-200$



Obrázok 6.1: Výstup programu vfields pre model galaxie GALXY006.



Obrázok 6.2: Výstup programu vfields pre model galaxie GALAXY038.

Na rozdiel od predchádzajúceho modelu je ionizačný kužel prítomný. Informácie k nemu sa nachádzajú v *textovej časti v druhom riadku*: R_c udáva dĺžku kužela meranú pri jeho ose, θ_c je otvorenosť kužela. l_c inklináčny uhol osy kužela voči pozorovateľovi, PA_c pozičný uhol kužela v galaxii, β_c sklon osy kužela voči rovine galaxie, α_c natočenie kužela v galaxii, v_{otw} udáva rýchlosť častíc na osy kužela. Sey 1 identifikuje typ Seyfertovej galaxie typu 1. V galaxií s ionizačným kuželom sa nachádzajú tri rezy, posledný je pozdĺž osy kužela a je znázornený v grafe červenou krivkou. Hodnota zorného poľa je $FOV = 6[\text{arcsec}]$.

6.2 Program ChannelMaps

Vlastný program som vytvárala v náväznosti na už existujúci program vfields.f. Vďaka doprogramovaniu výstupov do súborov bolo možné program ChannelMaps.f naviazať na program vfields.f.

6.2.1 Vybrané časti ChannelMaps

V tejto časti bližšie popíšem niektoré vybrané časti programu ChannelMaps.f. Celý program, spolu so stručnými komentármi sa nachádza v prílohe. Na rozdiel od ostatných hodnôt sa pole *Fvel* musí načítavať cez všetky jeho prvky,

```
REAL*8 Fvel(ND,ND,NV)
...

      open(125,FILE='field.txt')
      do 100 IY=1,ND !cez y-nove
        do 200 IX=1,ND !cez x-ove
          do 300 IV=1,NV !cez biny
            read(125,*) Fvel(IX,IY,IV)
300      continue
200      continue
100      continue
          close(125)
```

Takto načítané pole je však pre celú rýchlostnú mapu - teda pre súčet všetkých kanálových máp. Pre naše potreby bolo nutné počítat postupne len s jeho jednotlivými časťami. Na zvolenie šírky jednotlivých kanálových map Δv_{ChM} , čiže intervalu rýchlosti pre ktorý sa budú jednotlivé mapy vykreslovať, nám slúži súbor DVch.txt, kde sa zadáva požadovaná šírka mapy v $km.s^{-1}$. Nasledujúca časť nám určuje minimálne rýchlosti pre jednotlivé kanálové mapy (*IVmin*). Hodnota *VelMin* predstavuje minimálnu hodnotu rýchlosti pre celú galaxiu (zadaná v súbore spaxels.inp). Na začiatku cyklu nám slúži ako vstupná hodnota pre minimálnu rýchlosť prvej mapy *IVmin*. Na konci cyklu je táto hodnota vždy upravená, zvýšená o hodnotu Δv_{ChM} . Maximálna hodnota rýchlosti kanálovej mapy *IVmax* sa nečerpá z rovnakého súboru (spaxels.inp), ale je vždy vypočítaná v závislosti na aktuálnej minimálnej rýchlosti jednotlivkej kanálovej mapy *IVmin* a šírky kanálovej mapy Δv_{ChM} (výpočet sa nachádza v SUBROUTINE CompFvel). Maximálna hodnota rýchlosti pre jednu mapu je minimálnou hodnotou pre mapu nasledujúcu.

```
INTEGER IVmin, IVmax
...
```

```

IVmin = NINT(VelMin) !min.velocity danej kanalovej mapy
IVmax = 0
DO 300 Ich = 1, NVch !Ich - index kanalovej mapy
    IVmax = IVmin + DVch !max.velocity danej kanalovej mapy

```

Zo známych minimálnych a maximálnych hodnôt rýchlosti pre galaxiu dostávame celkovú šírku rýchlostnej mapy. Pri zvolenej hodnote Δv_{ChM} je možné vypočítať výsledný počet kanálových máp. Hodnota $Vstep$ vyjadruje najmenší rozdiel rýchlosti, ktorý v galaxii zaznamenávame. Jej výpočet je definovaný v súbore spaxels.inp.

V závislosti od zadaného počtu binov NV následne dostaneme celkový počet kanálových máp $NVch$. (výpočet sa nachádza v SUBROUTINE NoGraphs)

```

k = NINT (DVch / Vstep)
    ! k = pocet Vstep na jednu kanalovu mapu

NVch = NINT (NV / k)
    !NV pocet binov, zadane v spaxels.inp
    !NVch - pocet kanalovych map

```

Výpočet hodnôt pola postupuje najprv cez jednotlivé spaxely a následne po rýchlostných jednotkách. Rýchlostne rozmedzie pre jednotlivé kanálové mapy získame ako závislosť k a Ich , kde Ich značí poradie kanálovej mapy. Maximálna hodnota Ich je rovná $NVch$. Na konci cyklu vždy vypočítame centrálnu rýchlosť kanálovej mapy $tVch(Ich)$ zo známych hodnôt $IVmin$ a $IVmax$. Táto hodnota sa zároveň zobrazuje pri každej kanálovej mape. Výpočet sa nachádza v SUBROUTINE CompFvel.

```

REAL*8 FV(ND,ND,NVchMax), Fvel(ND,ND,NV)

    DO 100 IY = 1, ND
        DO 200 IX = 1, ND
            FV(IX,IY,Ich) = 0.d0
            DO 400 IVvel = k*(Ich-1)+1, k*Ich !cez rychlost.biny
                FV(IX,IY,Ich)=FV(IX,IY,Ich) + Fvel(IX,IY,IVvel)
400             CONTINUE
200             CONTINUE
100             CONTINUE

    Vch (Ich) = NINT ((IVmin + IVmax)/2.0) !central.rychlost kan.map
    IVmin = IVmin + DVch

300 CONTINUE

```

V časti SUBROUTINE GraphsWin sme si zadefinovali rozloženie kanálových map na stranu, v závislosti od ich počtu. Ide aj o estetické hladisko, kedy sa chceme vyhnúť pevnej mriežke. V práci pracujeme s vyšším počtom kanálových máp, ale chceli sme ošetriť prípad nižšieho počtu, pre ktorý by sa grafy (pri pevnej mriežke) zobrazovali len na časti strany.

Nakoľko programovací jazyk Fortran 77 ešte nedisponoval vlastnou funkciou na výpočet minimálnych a maximálnych hodnôt, zadefinovali sme si ju v časti SUBROUTINE FINDMAX. Pomocou nej hľadáme minimálne a maximálne hodnoty poľa *Fvel* pre jednotlivé kanálové mapy *FVpmin* a *FVpmax*. Tieto hodnoty nám pri vykresľovaní definujú farebný rozsah, teda hodnotu popredia a pozadia mapy. Subrutína bola tiež využívaná pri dodatočnom výpočte globálnych hodnôt *FVpminG* a *FVpmaxG*. Jedná sa o minimum a maximum hodnôt poľa *Fvel* pre všetky mapy. Pri vykresľovaní kanálových map bez týchto dvoch hodnôt dochádzalo ku klamu, ktorý spôsoboval milný dojem, že minimálne a maximálne hodnoty jednotlivých kanálových map sú rovnaké.

```
*****
      SUBROUTINE FINDMAX(ARRAY, ND, ARRMIN, ARRMX)
*****
!vypocet minimalnej a maximalnej hodnoty

      IMPLICIT REAL*4 (A-H,O-Z) !must be real*4 since array used in pgplot

      DIMENSION ARRAY(ND,ND)

      ARRMX = -1.d+10;      ARRMIN = 1.d+10
      DO 10 IY=1, ND
        DO 10 IX=1, ND
          ARR          = ARRAY(IX,IY)
          ARRMX        = AMAX1 (ARRMX, ARR)
          ARRMIN        = AMIN1 (ARRMIN, ARR)
10      CONTINUE

      END
```

Časti SUBROUTINE InfoPg a SUBROUTINE Ploting nám spúšťajú vykresľovanie map s nastavenými hodnotami. Nakoľko sa jedná o mapy pracujúce s tromi hodnotami, ale zobrazené len v dvoch rozmeroch, zobrazuje sa pri každom súbore kanálových map aj klin. Tento klin nás informuje o rozmedzí farebných hodnôt.

```
      CALL PGWEDG('RI', 12.5, 5.0, FVpminG, FVpmaxG, 'relative flux units')
          !RI - R - napravo od obrázka, I - využívajú PGIMAG
!12.5 - odsadenie od grafu
!5.0 - výška/hrúbka klinu
```

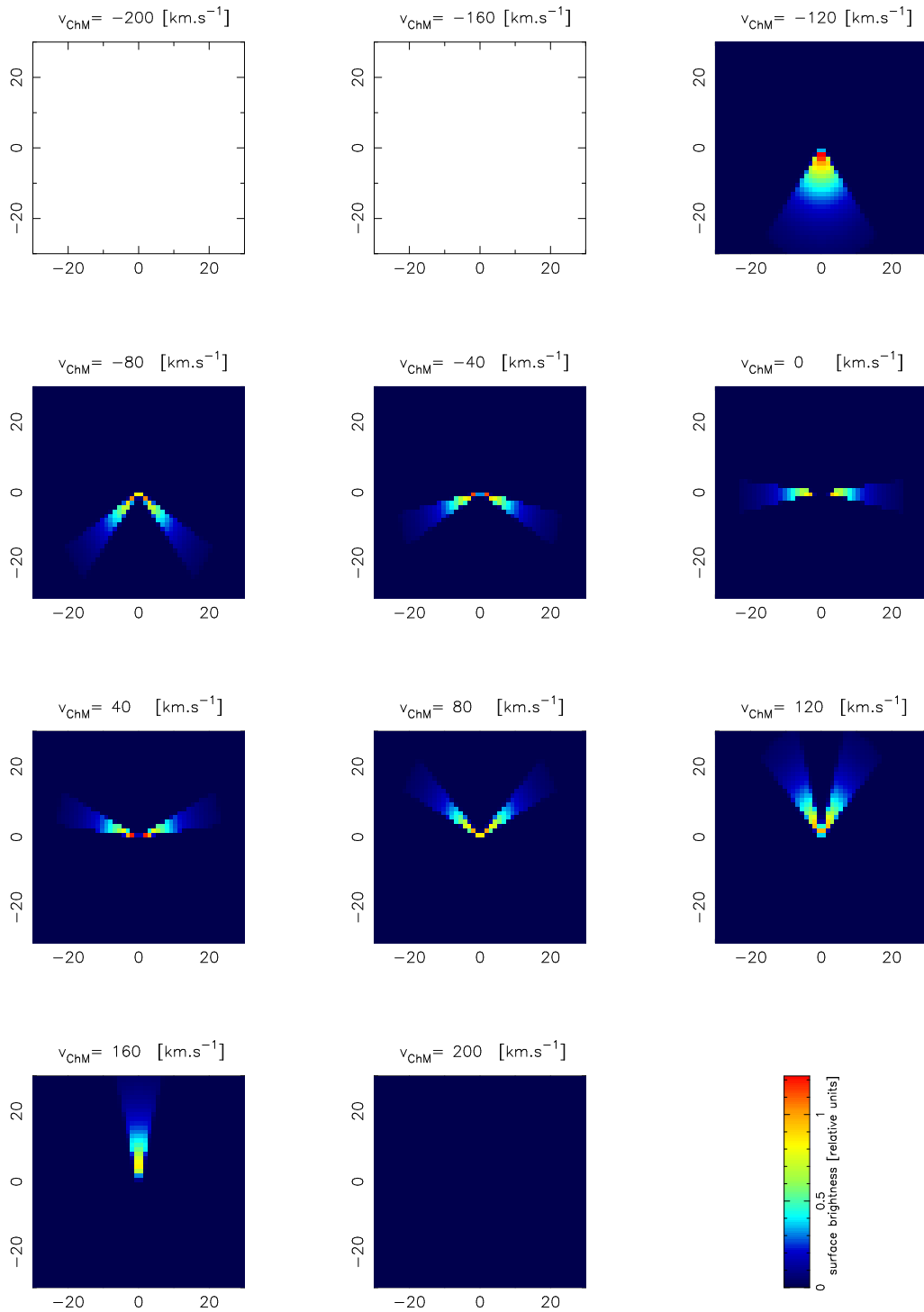


```
!FVpminG - minimálna hodnota pola definujúca pozadie / farba
!FVpmax - maximálna hodnota pola definujúca popredie / farba
```

Vzhľadom na množstvo rôznych konfiguračných súborov, popisujúcich jednotlivé modely, bolo nepraktické manuálne spúšťať programy vfields.f a ChannelMaps.f pre každý súbor jednotlivo. Na uľahčenie som vytvorila zložku, obsahujúcu požadované konfigurácie a program som zautomatizovala skriptom pro BASH. Skript uloží všetky požadované varianty do vytvoreného súboru. Ako názov súboru sa zachováva meno konfiguračného systému (čo je aj menom výstupu vfields.f), ale pridá sa koncovka "ChM", ktorá umožňuje rýchle rozlíšenie medzi výstupmi jednotlivých programov.

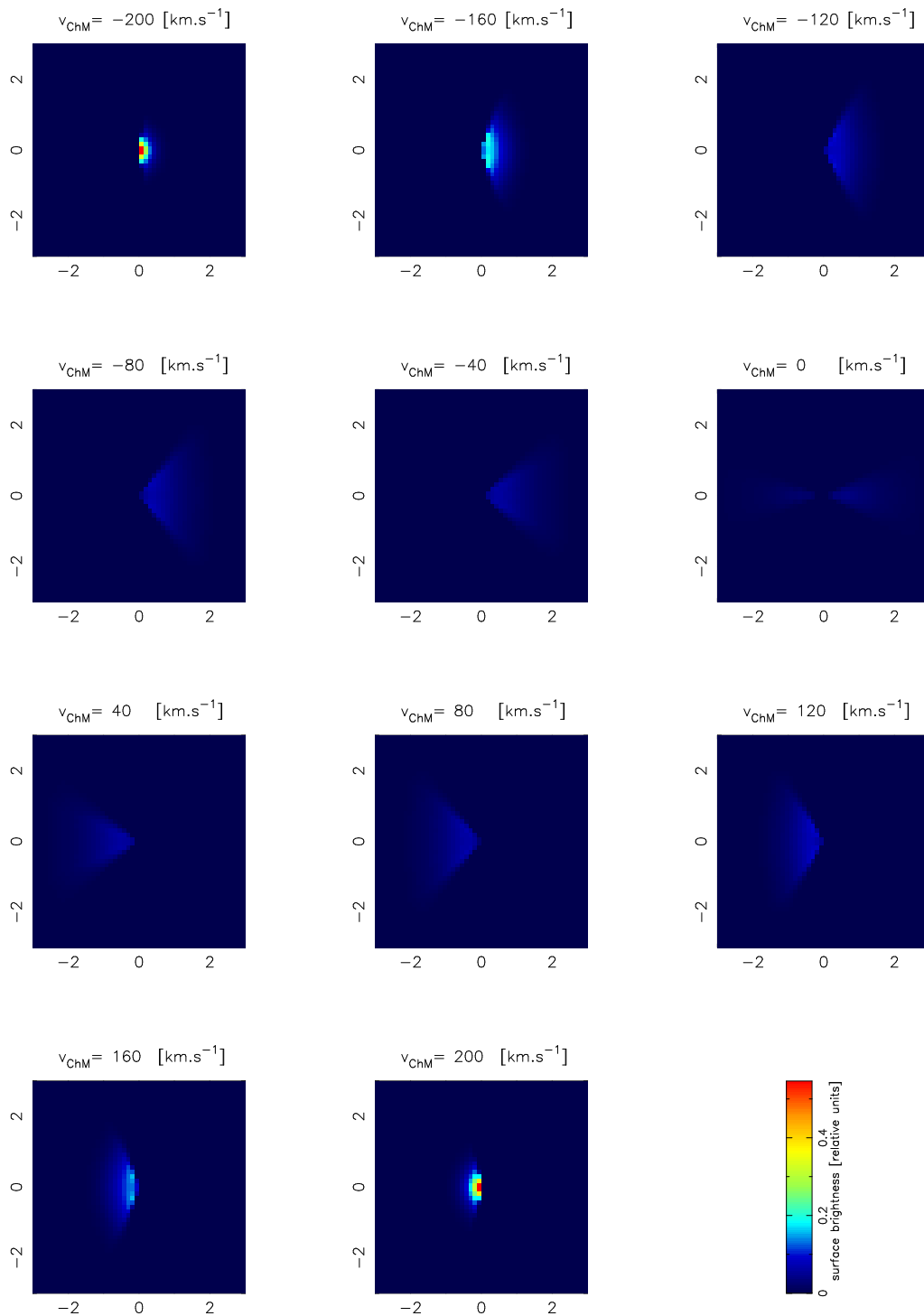
```
#####Starter#####
for config in configuration/*.inp #vybere vstupne subory
do
cp $config ./vfields.inp #skopiruje vstupne subory
./vfields #spusti program vfields.f
./ChannelMaps #spusti program ChannelMaps.f
done
mv *.ps Output/ #presunie vsetky vystupy do zlozky
```

Vytvorený program počíta a zobrazuje kanálové mapy pre rôzne rotačné krivky a rôzne konfigurácie ionizovaného plynu. Program som odskúšala pri modelovaní rôznych situácií, začínajúc jednoduchšími modelmi, konečias rotujúcim outflowom pozdĺž definovaného ionizačného kužela.



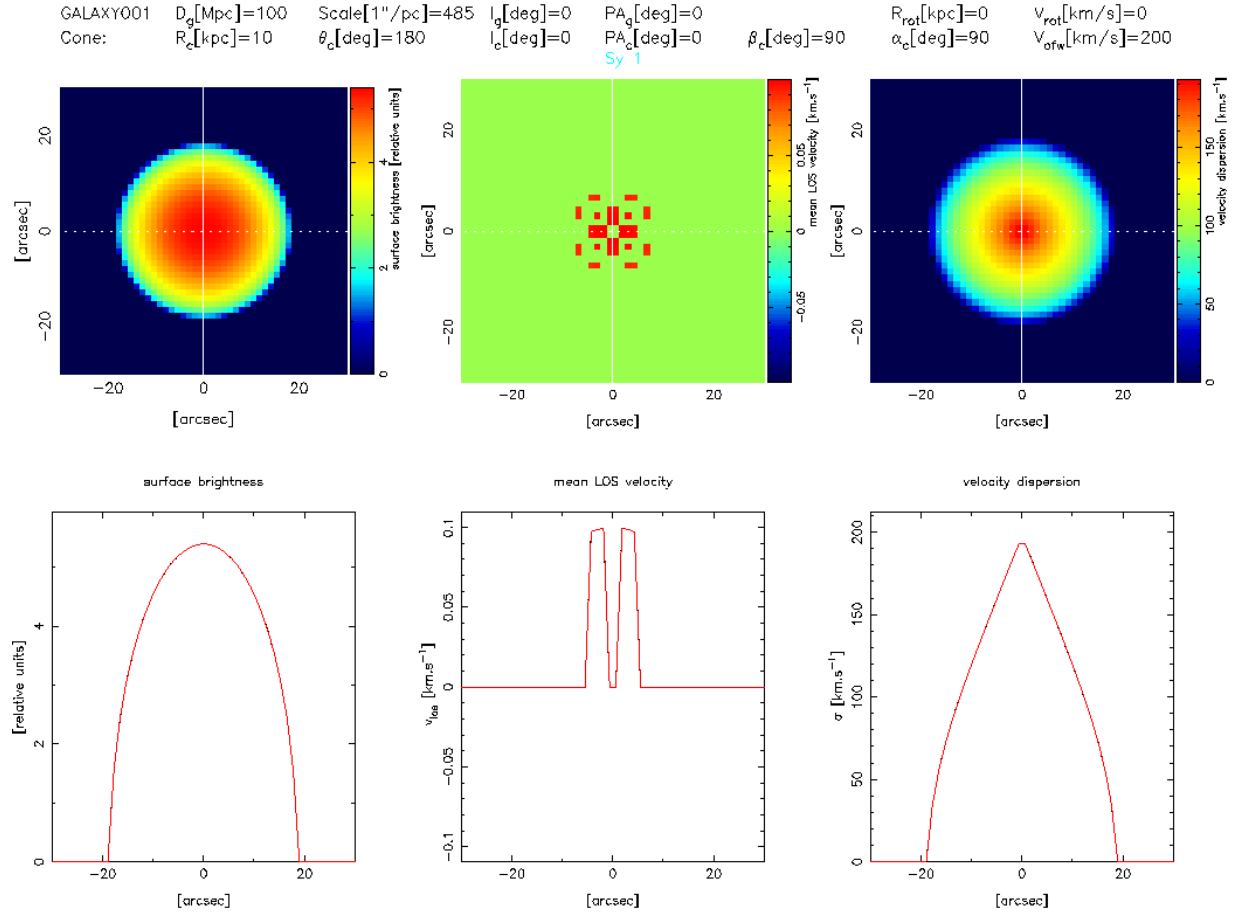
Obrázok 6.3: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY006.

Na osách mapy sú uhlové sekundy. V mape sa vykresľujú hodnoty plošnej jasnosti pre príslušný interval rýchlosti $v_{ChM} \pm \frac{\Delta v}{2}$.



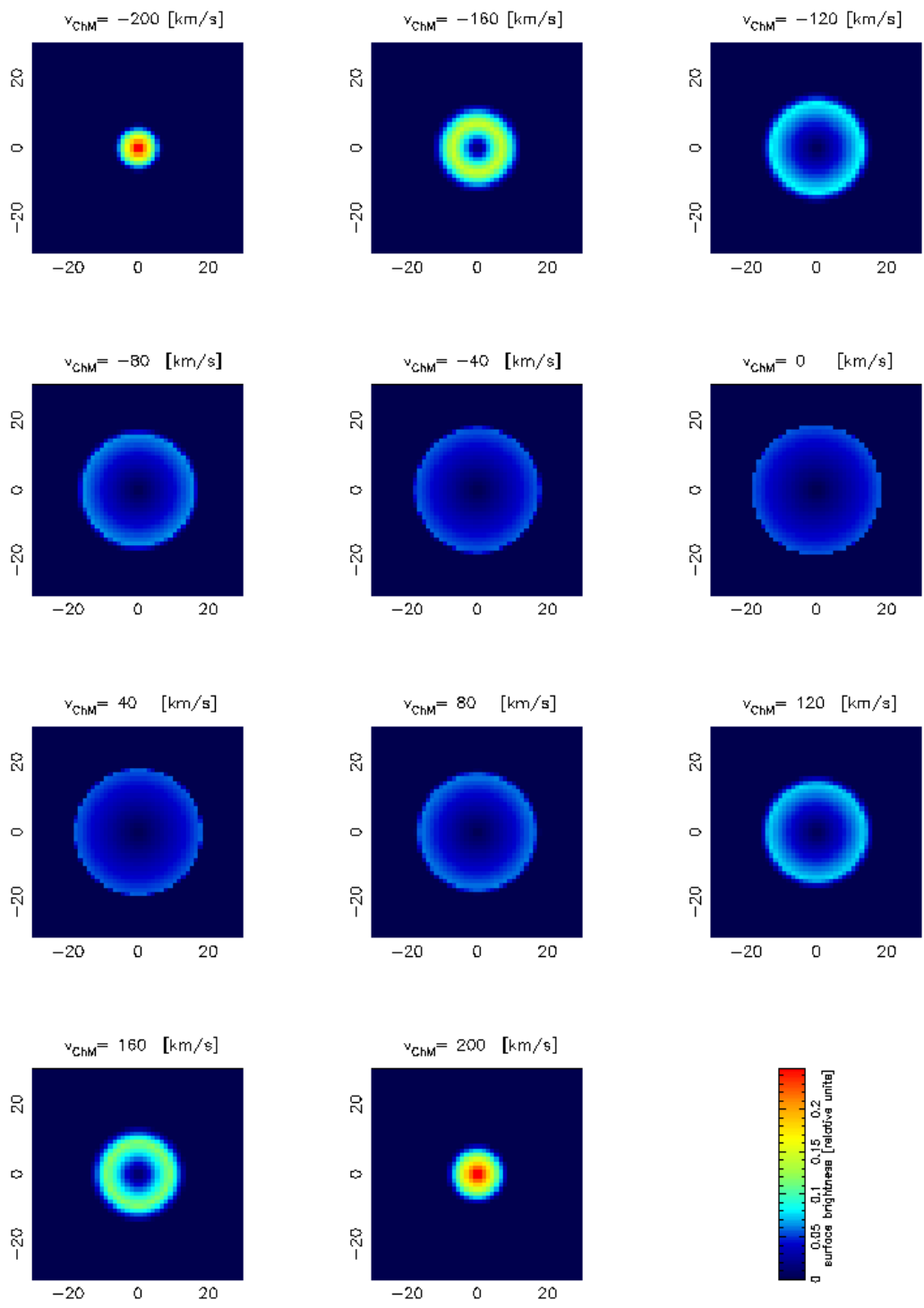
Obrázok 6.4: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY038.

V konfigurovačnom súbore DVch.txt sme zadali šírku kanálovej mapy $\Delta v_{ChM} = 40 \text{ km.s}^{-1}$. Táto hodnota je použitá pri všetkých modeloch. Klin zobrazuje grafický priebeh plošnej jasnosti, použité sú relatívne jednotky.

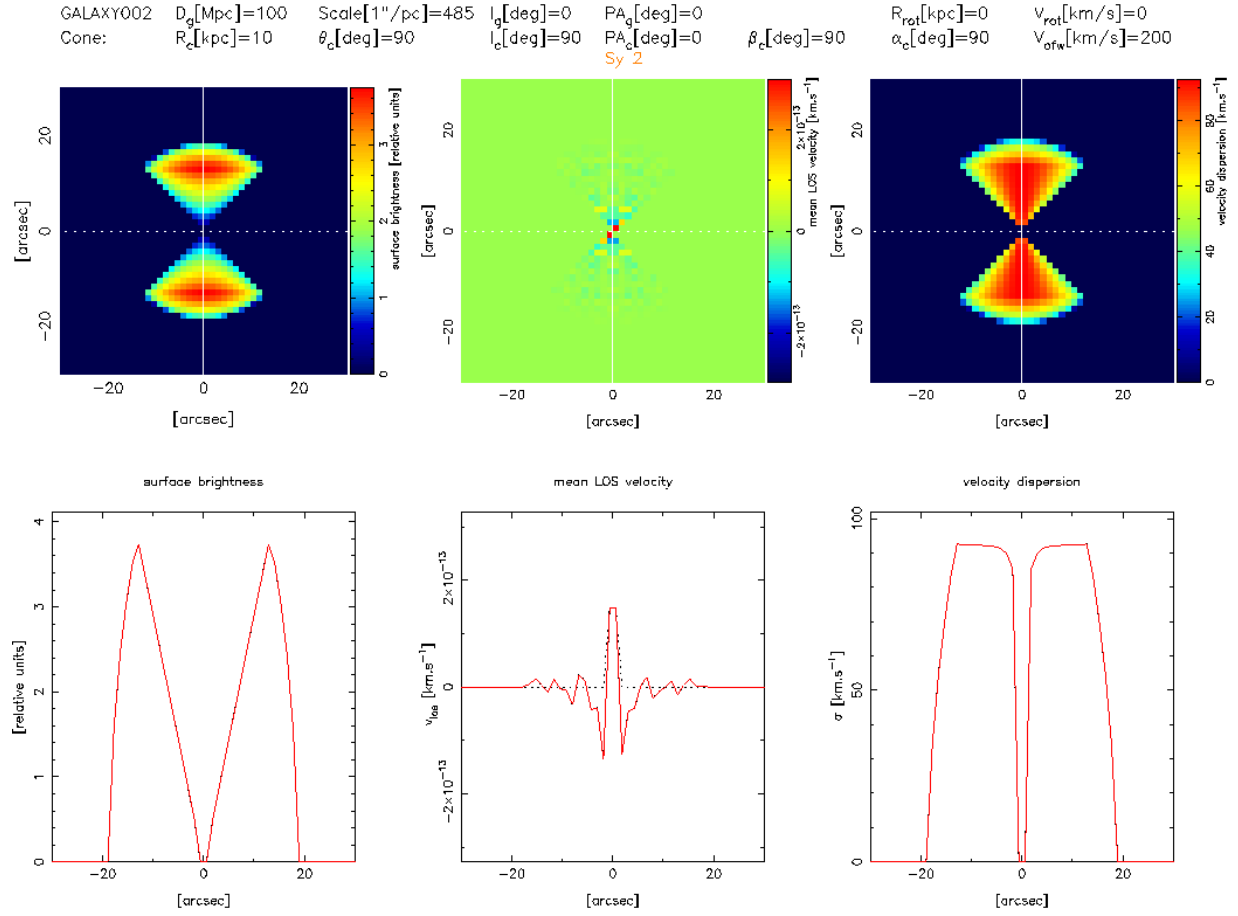


Obrázok 6.5: Výstup programu vfields pre model GALAXY001.

Jedná sa o model nerotujúceho disku ($v_{rot} = 0 \text{ km.s}^{-1}$), kde je prítomný outflow s rýchlosťou ($v_{ofw} = 200 \text{ km.s}^{-1}$) a otvorenosťou $\theta_c = 180^\circ$. Inklinácia galaxie a outflowu voči pozorovateľovi je nulová. Najvýraznejšie sa model prejavuje pri zobrazení plošnej jasnosti. Nakoľko sa jedná o sféricky model, priebehy všetkých troch rezov v grafe sa zhodujú. Hodnota $\langle v_{los} \rangle$ zodpovedá rýchlosti pozdĺž celej osy pohľadu, keďže ide o symetrický prípad, hodnoty sa navzájom vyrušia. Rýchlostné mapy a grafy zobrazujú len nepatrný šum. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 1. Pri modelovaní sa využila lineárna sféra. Zorné pole je $FOV = 60[\text{arcsec}]$.

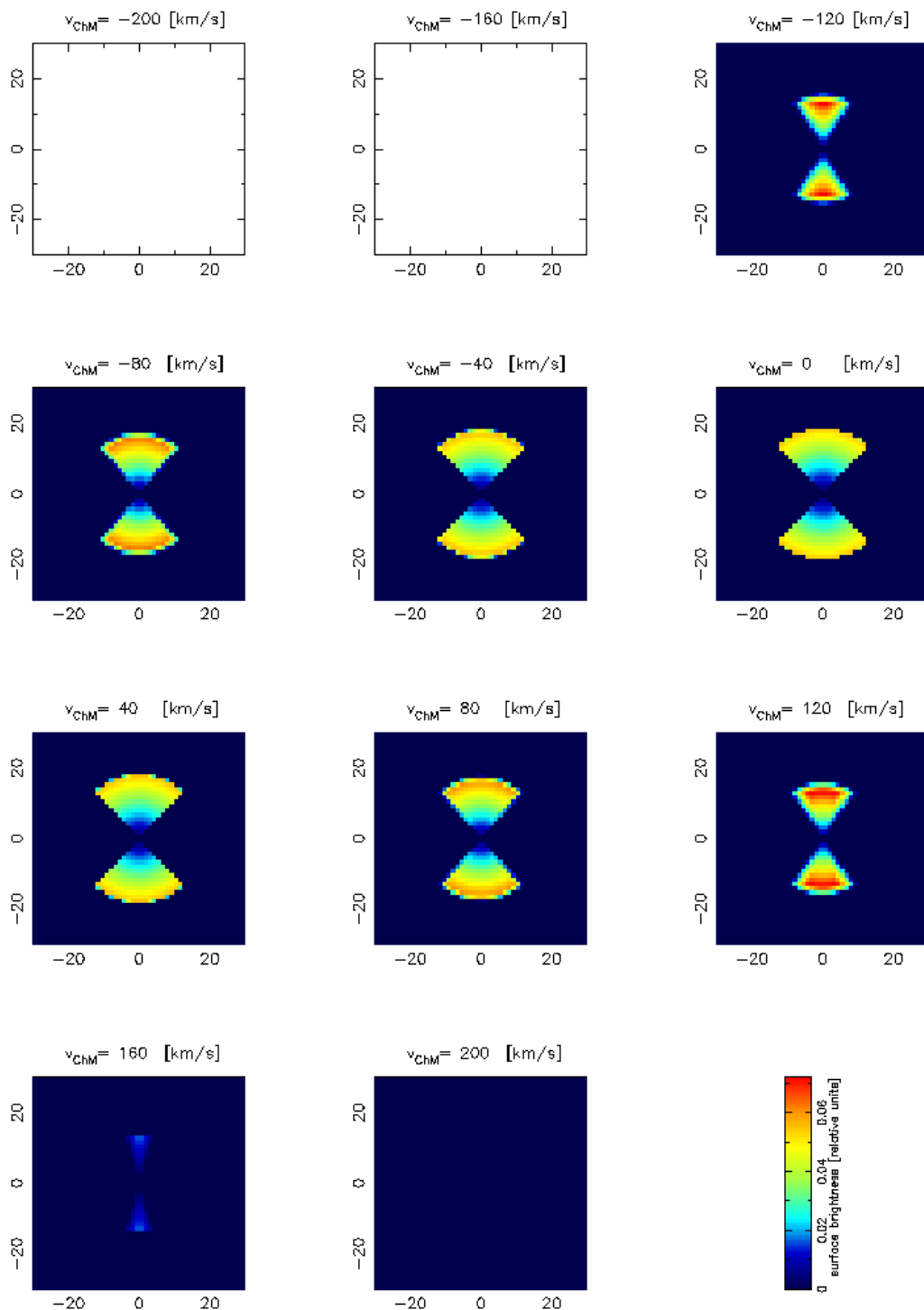


Obrázok 6.6: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY001. Na jednotlivých mapách vidíme priebeh plošnej jasnosti pre rozdielne centrálné rýchlosti mapy v_{CHM} . Zobrazenie zodpovedá rezom sférického objektu.



Obrázok 6.7: Výstup programu vfields pre model GALAXY002.

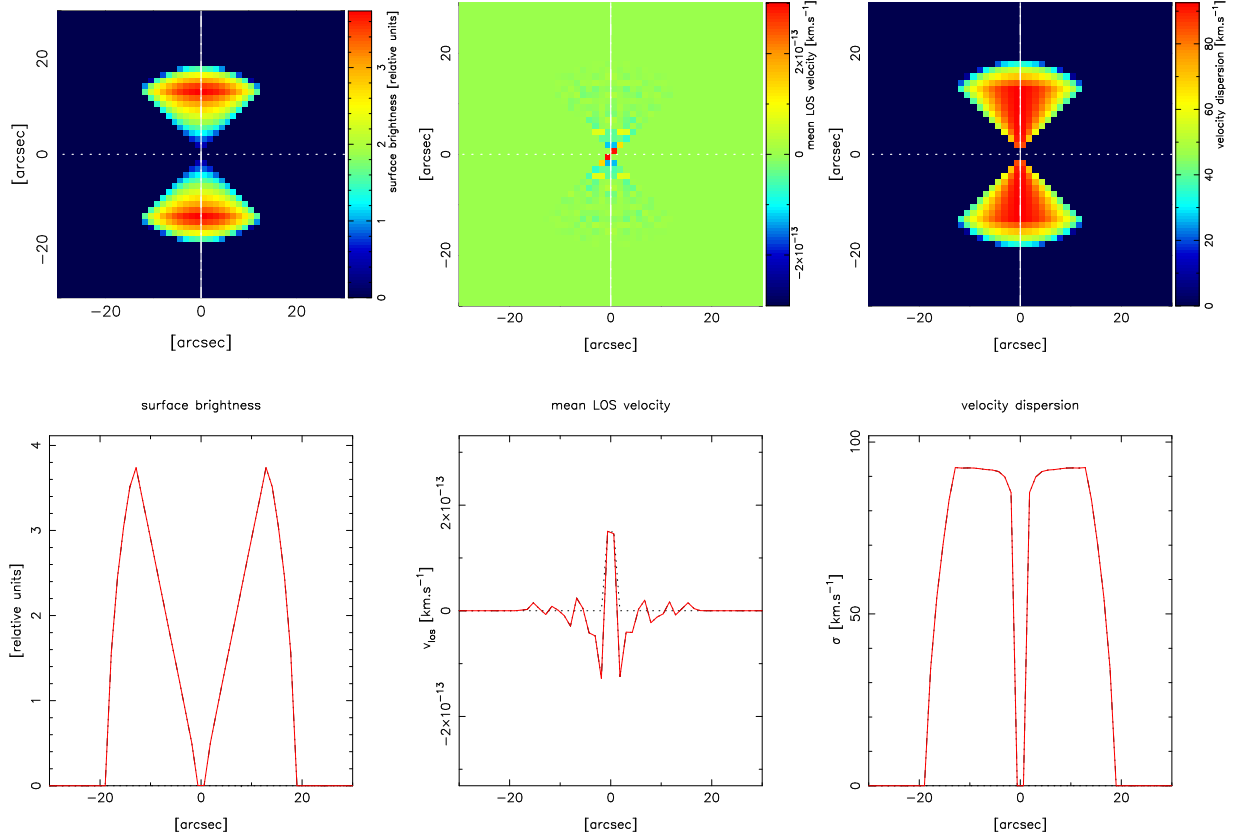
Jedná sa o model nerotujúceho disku ($v_{rot} = 0 \text{ km.s}^{-1}$), kde je prítomný outflow s rýchlosťou ($v_{ofw} = 200 \text{ km.s}^{-1}$) a otvorenosťou $\theta_c = 90^\circ$. Inklinácia galaxie je $I_g = 0^\circ$, inklinácia outflowu $I_c = 90^\circ$ voči pozorovateľovi. Najvýraznejšie sa model prejavuje pri zobrazení plošnej jasnosti. Na disk hľadíme zvrchu a kvôli nulovej rotácii sa nám neprejaví v grafoch. Ionizačný kužel vidíme z boku, zobrazená rýchlosť v_{los} predstavuje šum, keďže pozorujeme pozdĺž línie pohľadu pozorovateľa a objekt je symetrický, jednotlivé rýchlosti sa vrušia, rýchlostné mapy a grafy zobrazujú len nepatrný šum. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 2. Pri modelovaní sa využila lineárna sféra. Zorné pole je $FOV = 60[\text{arcsec}]$.



Obrázok 6.8: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY002.

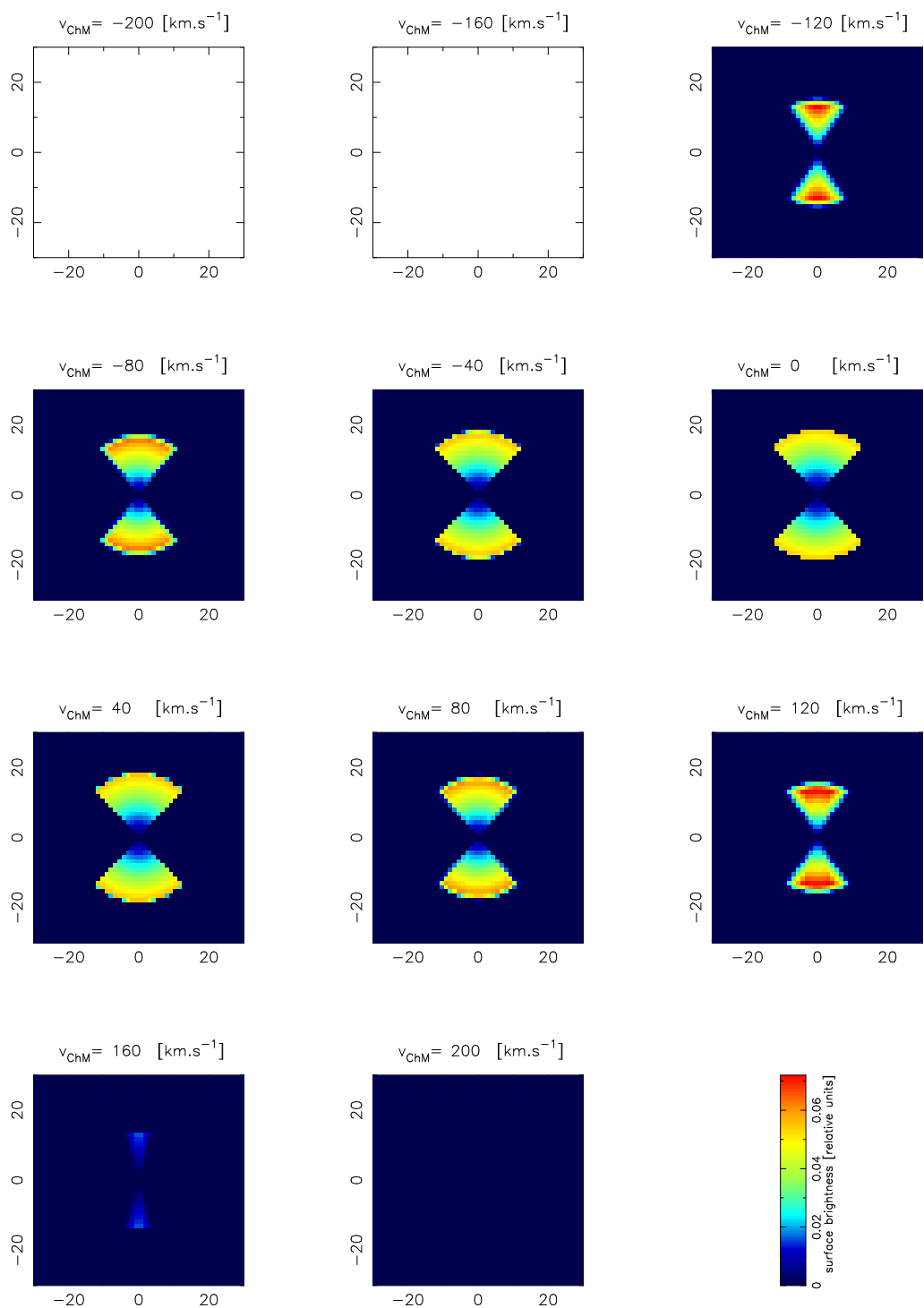
Hodnoty plošnej jasnosti nie sú pre všetky kanálové mapy rovnaké, pre rozmedzie rýchlostí $v = (-220 - 140)[km.s^{-1}]$ a $v = (180 - 220)[km.s^{-1}]$ sú nulové, v blízkom okolí hodnoty $v = 160[km.s^{-1}]$ dosahujú hodnoty blízke nulovým. Maximum sa objavuje v mapách s centrálnymi rýchlosťami $v_{CHM} = \pm 120[km.s^{-1}]$.

GALAXY003 $D_g[\text{Mpc}]=100$ $\text{Scale}[1''/\text{pc}]=485$ $i_g[\text{deg}]=45$ $PA_g[\text{deg}]=0$ $R_{\text{rot}}[\text{kpc}]=0$ $V_{\text{rot}}[\text{km/s}]=0$
 Cone: $R_c[\text{kpc}]=10$ $\theta_c[\text{deg}]=90$ $i_c[\text{deg}]=90$ $PA_c[\text{deg}]=0$ $\beta_c[\text{deg}]=90$ $\alpha_c[\text{deg}]=90$ $V_{\text{ofw}}[\text{km/s}]=200$
 Sy 2

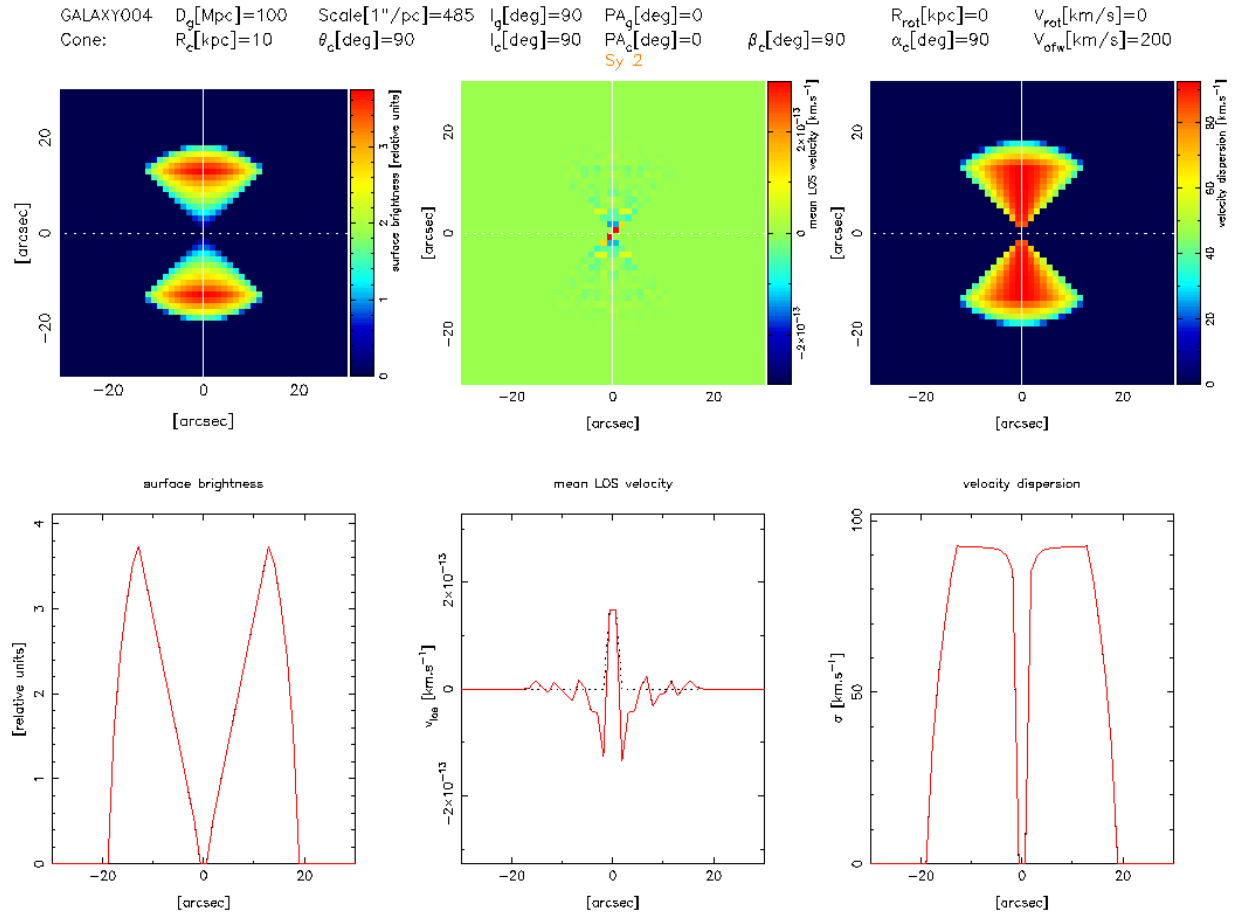


Obrázok 6.9: Výstup programu vfields pre model GALAXY003.

Situácia je podobná ako pri modely GALAXY002, zmena je v inklinácii disku, ktorý je $I_g = 45^\circ$, v grafoch sa disk neprejaví. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 2. Pri modelovaní sa využila lineárna sféra. Zorné pole je $FOV = 60[\text{arcsec}]$.

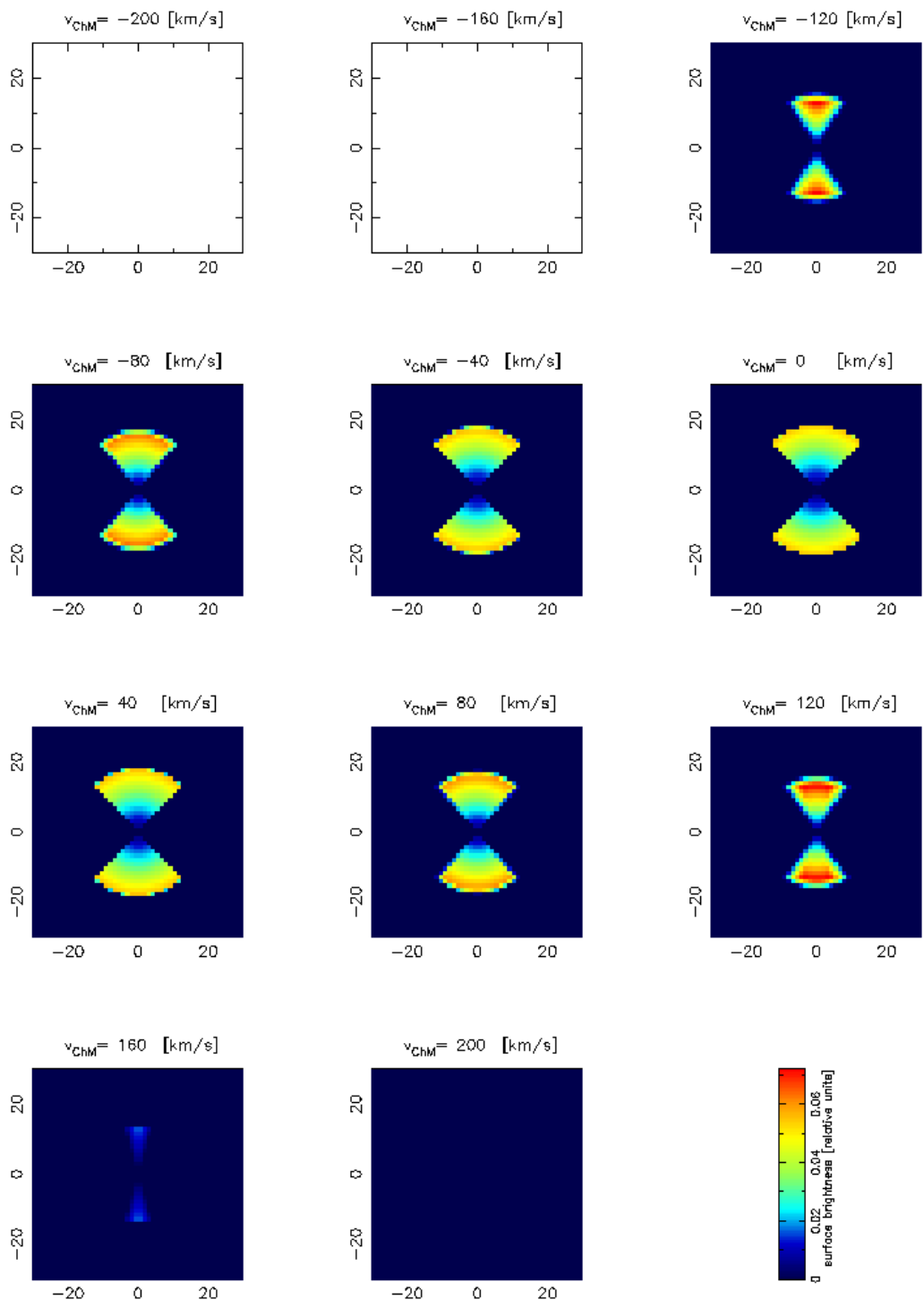


Obrázok 6.10: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY003. Situácia je podobná ako pri kanálových mapách modelu GALAXY002, plošná jasnosť sa pre niektoré intervaly rýchlosti neprejaví.



Obrázok 6.11: Výstup programu vfields pre model GALAXY004.

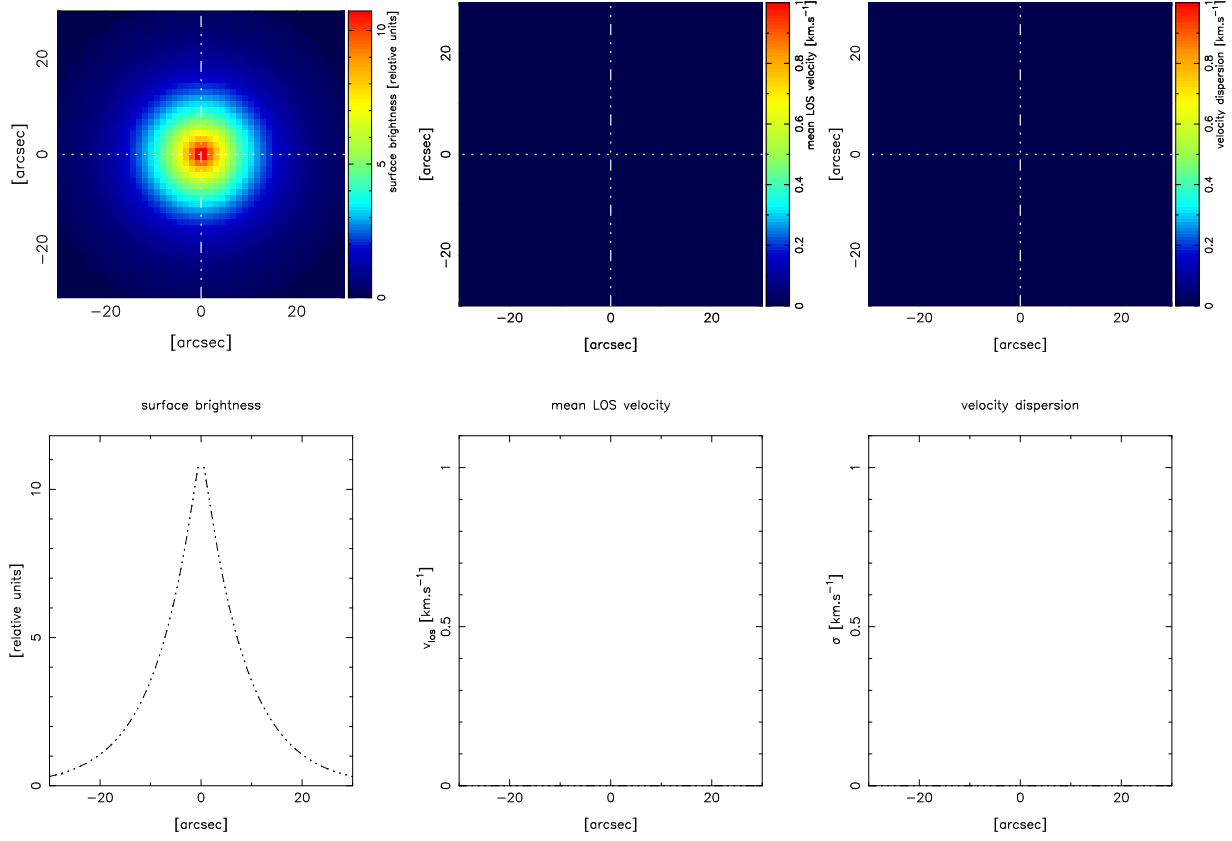
Obdobná situácia ako modely GALAXY002 a GALAXY003, zmena je v inklinácii disku, ktorá je $I_g = 90^\circ$, v grafoch sa disk neprejaví. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 2. Pri modelovaní sa využila lineárna sféra. Zorné pole je $FOV = 60[\text{arcsec}]$.



Obrázok 6.12: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY004. Situácia je podobná ako pri kanálových mapách modelu GALAXY002 a GALAXY003, plošná jasnosť sa pre niektoré intervaly rýchlosti neprejaví.

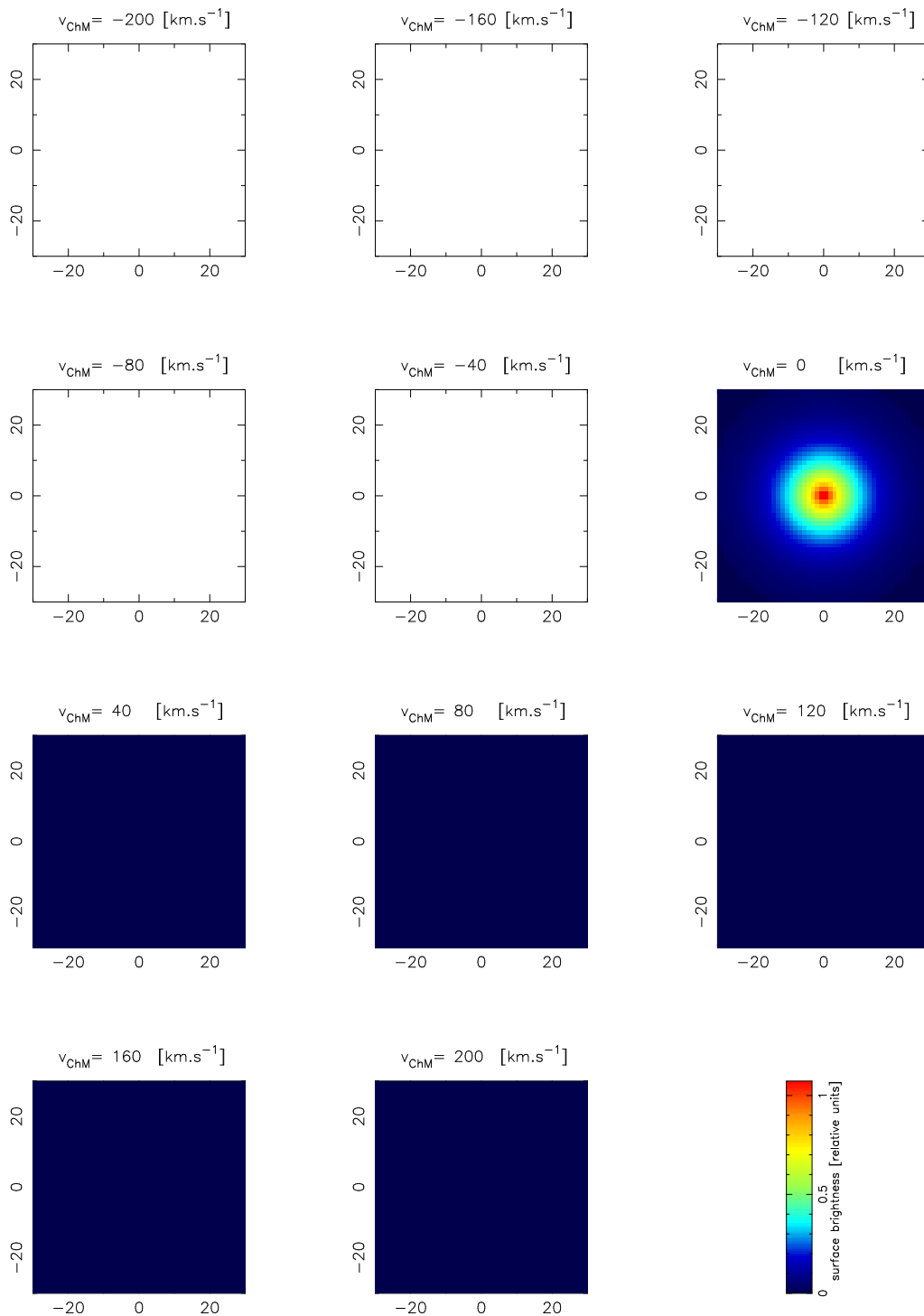
GALAXY005 $D_g[\text{Mpc}]=100$ $\text{Scale}[1''/\text{pc}]=485$ $I_g[\text{deg}]=0$ $PA_g[\text{deg}]=0$
 ionization cone not present

$R_{\text{rot}}[\text{kpc}]=0$ $V_{\text{rot}}[\text{km/s}]=-200$



Obrázok 6.13: Výstup programu vfields pre model GALAXY005.

Jedná sa o model rotujúcej galaxie ($v_{\text{rot}} = -200 \text{ km.s}^{-1}$) bez prítomnosti ionizačného kužela. Inklínácia galaxie je $I_g = 0^\circ$ voči pozorovateľovi. Model rotuje v rovine x, y , z -tová zložka rýchlosti je nulová. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Zorné pole je $FOV = 60[\text{arcsec}]$.

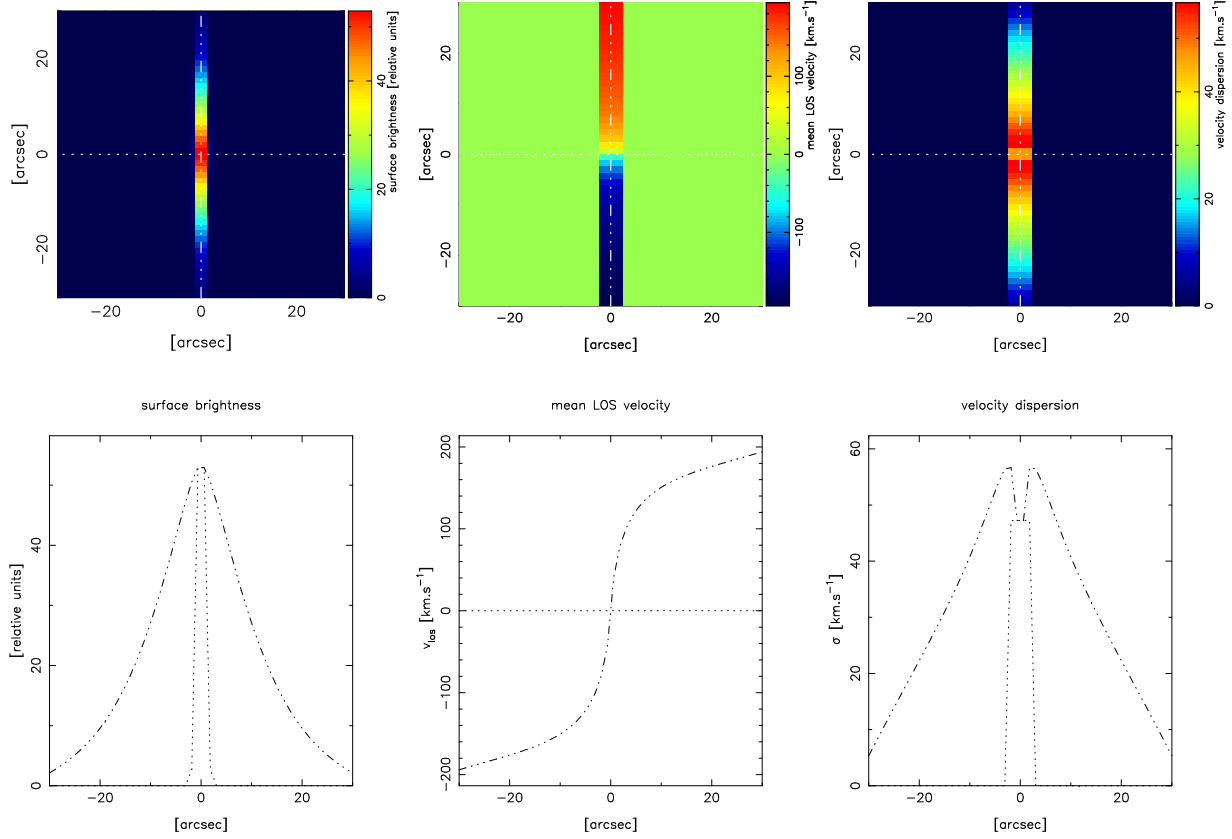


Obrázok 6.14: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY005.

Nakoľko galaxia rotuje len v rovine kolmej na smer pozorovania, intenzita sa v kanálových mapách prejaví len pri nulovej hodnote rýchlosti.

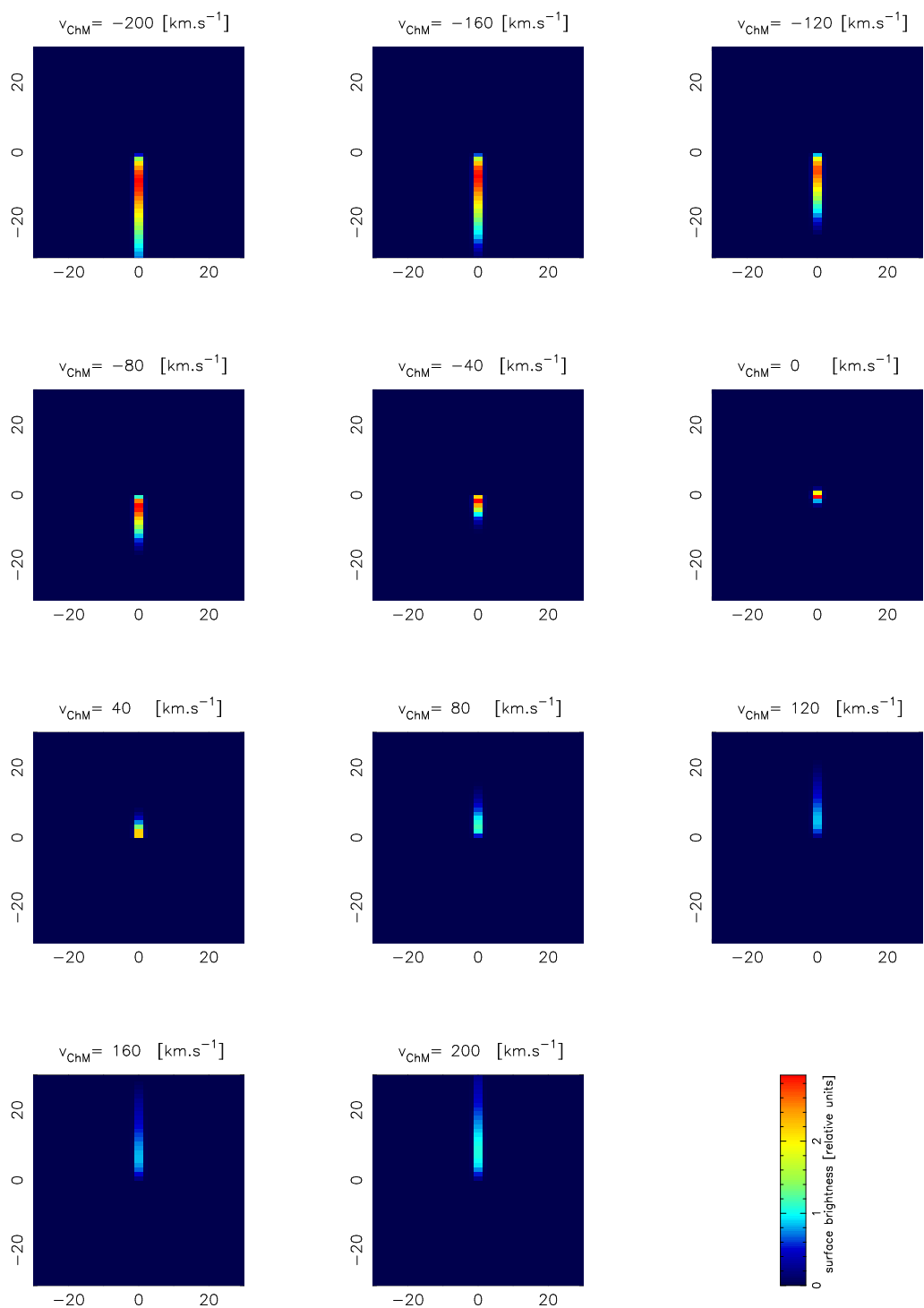
GALAXY007 $D_g[\text{Mpc}]=100$ $\text{Scale}[1''/\text{pc}]=485$ $I_g[\text{deg}]=90$ $PA_g[\text{deg}]=0$
 ionization cone not present

$R_{\text{rot}}[\text{kpc}]=0$ $V_{\text{rot}}[\text{km/s}]=-200$

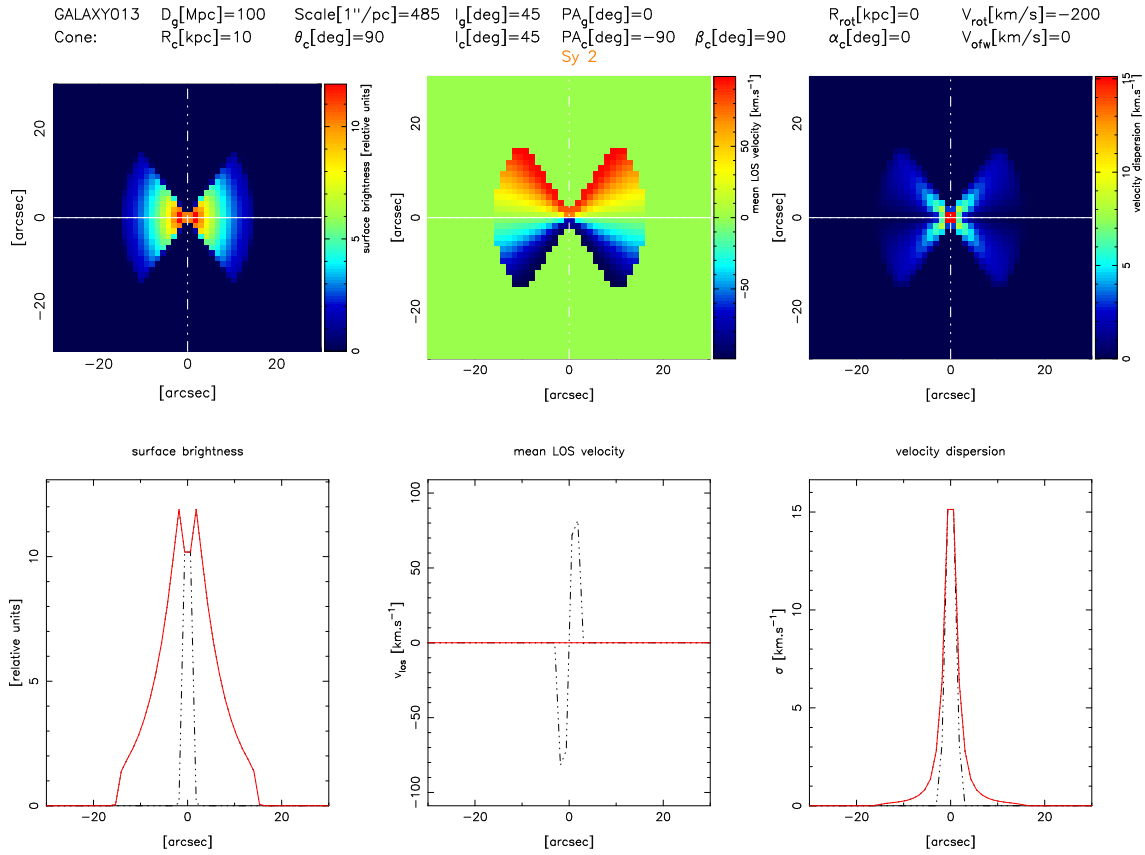


Obrázok 6.15: Výstup programu vfields pre model GALAXY007.

Jedná sa o model rotujúcej galaxie ($v_{\text{rot}} = -200 \text{ km.s}^{-1}$) bez prítomnosti ionizačného kužela. Inklinácia galaxie je $I_g = 90^\circ$ voči pozorovateľovi, galaxiu vidíme z boku. Model rotuje v rovine x, y , v tomto prípade sa časť galaxie približuje a časť vzdďaľuje - dostávame extrémne hodnoty rýchlosti $\langle v_{\text{los}} \rangle$. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Zorné pole je $FOV = 60[\text{arcsec}]$.

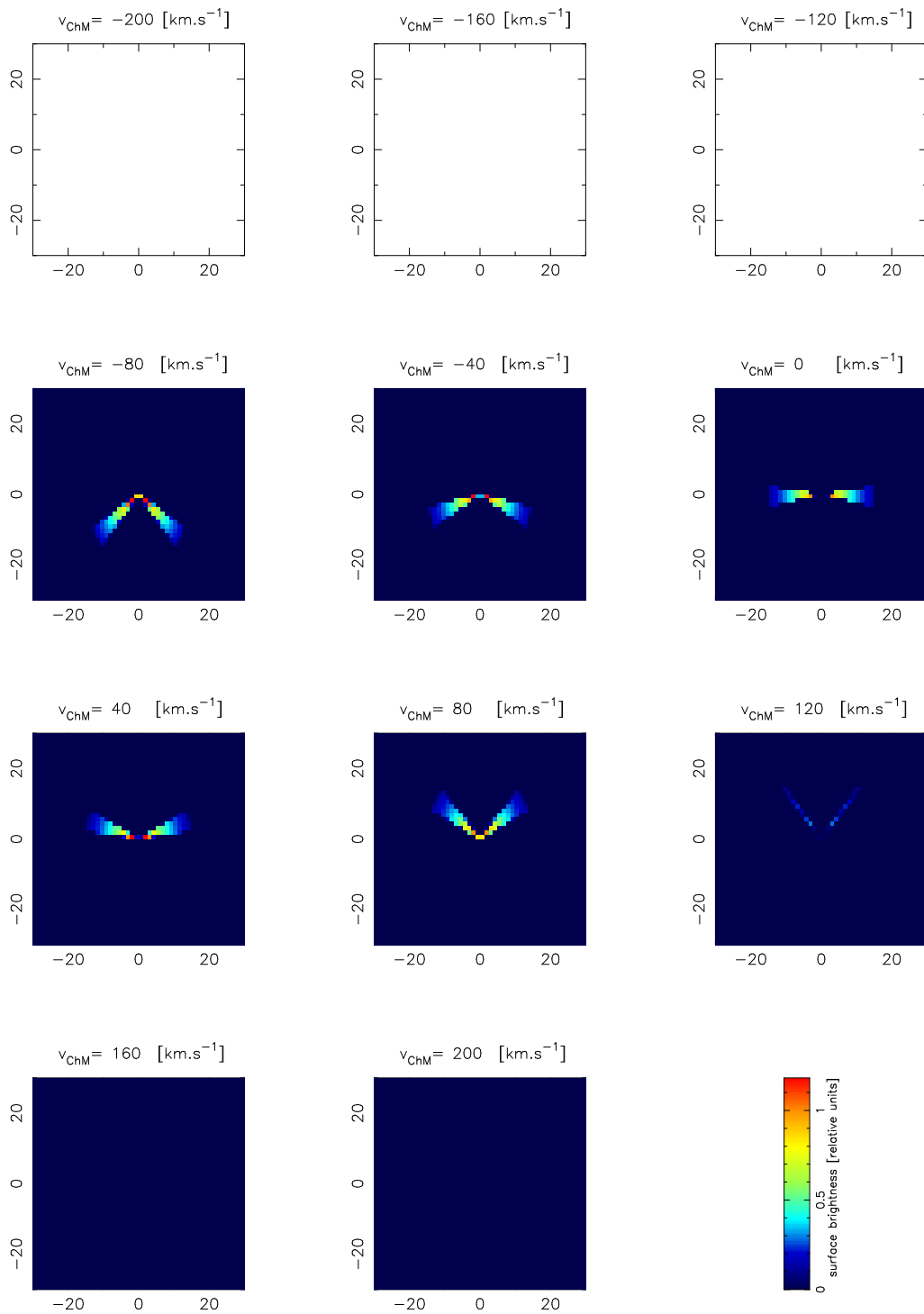


Obrázok 6.16: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY007.



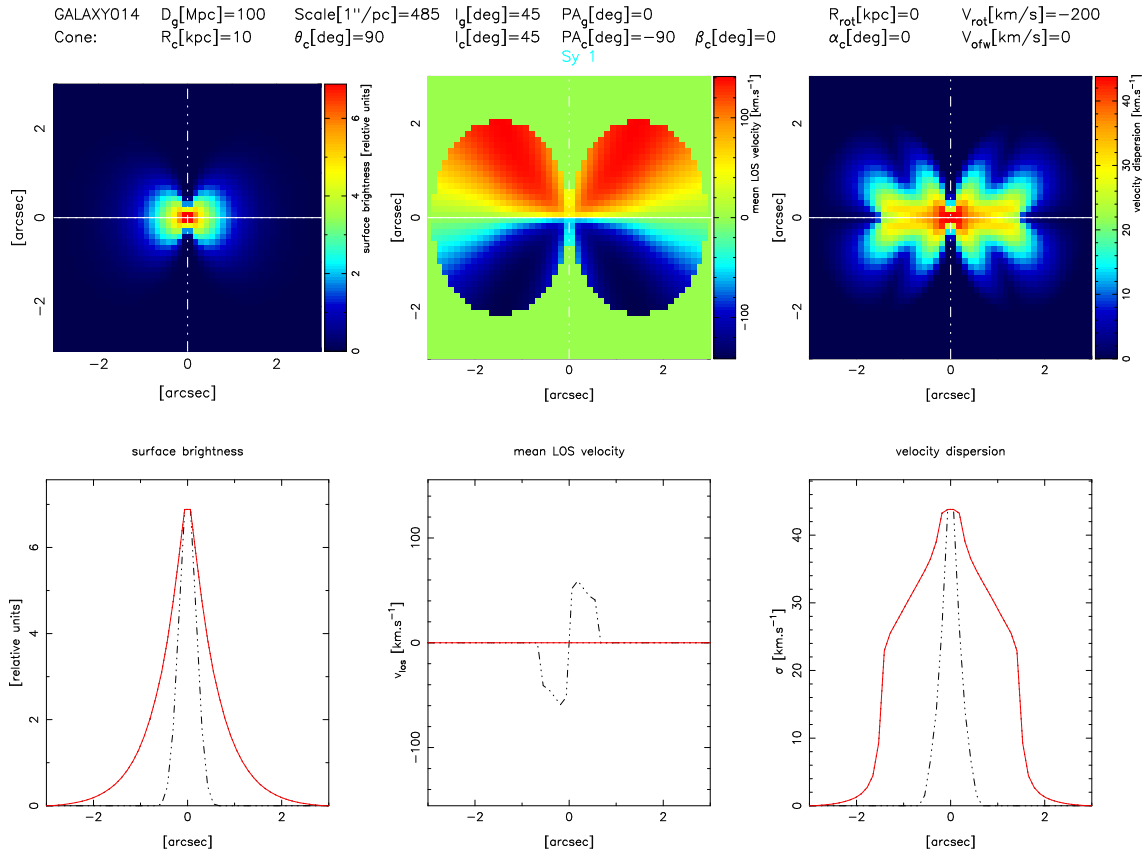
Obrázok 6.17: Výstup programu vfields pre model GALAXY013.

Jedná sa o model rotujúcej galaxie ($v_{\text{rot}} = -200 \text{ km.s}^{-1}$) s ionizačným kuželom s nulovou rýchlosťou ($v_{\text{ofw}} = 0 \text{ km.s}^{-1}$). Inklinácia galaxie je $I_g = 45^\circ$, inklinácia kužela je $I_g = 45^\circ$. Sklon osy kužela voči normále na rovinu galaxie x, y je $\beta = 90^\circ$, natočenie kužela $\alpha = 0^\circ$. Červená krivka priebehu rýchlosti zodpovedá nulovej rýchlosti pozdĺž osy kužela. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 2. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Zorné pole je $FOV = 60[\text{arcsec}]$.



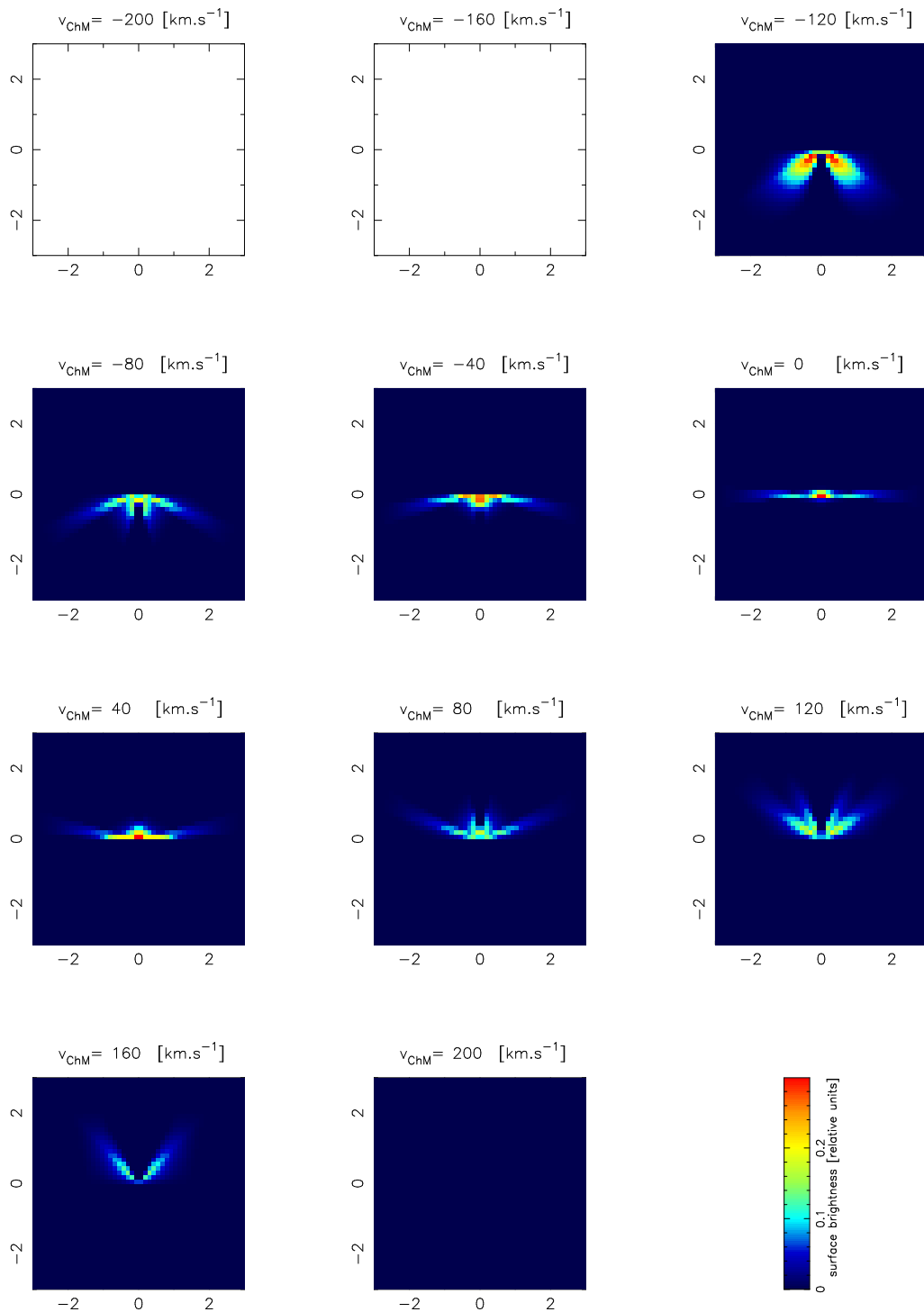
Obrázok 6.18: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY013.

Vzhľadom na orientáciu galaxie a kužela nie je plošná jasnosť viditeľná pri všetkých intervaloch rýchlosti kanálových map. Prejavuje sa pre kanálové mapy s centrálnymi rýchlosťami $v_{ChM} = -80[km.s^{-1}]$ až $v_{ChM} = 120[km.s^{-1}]$.



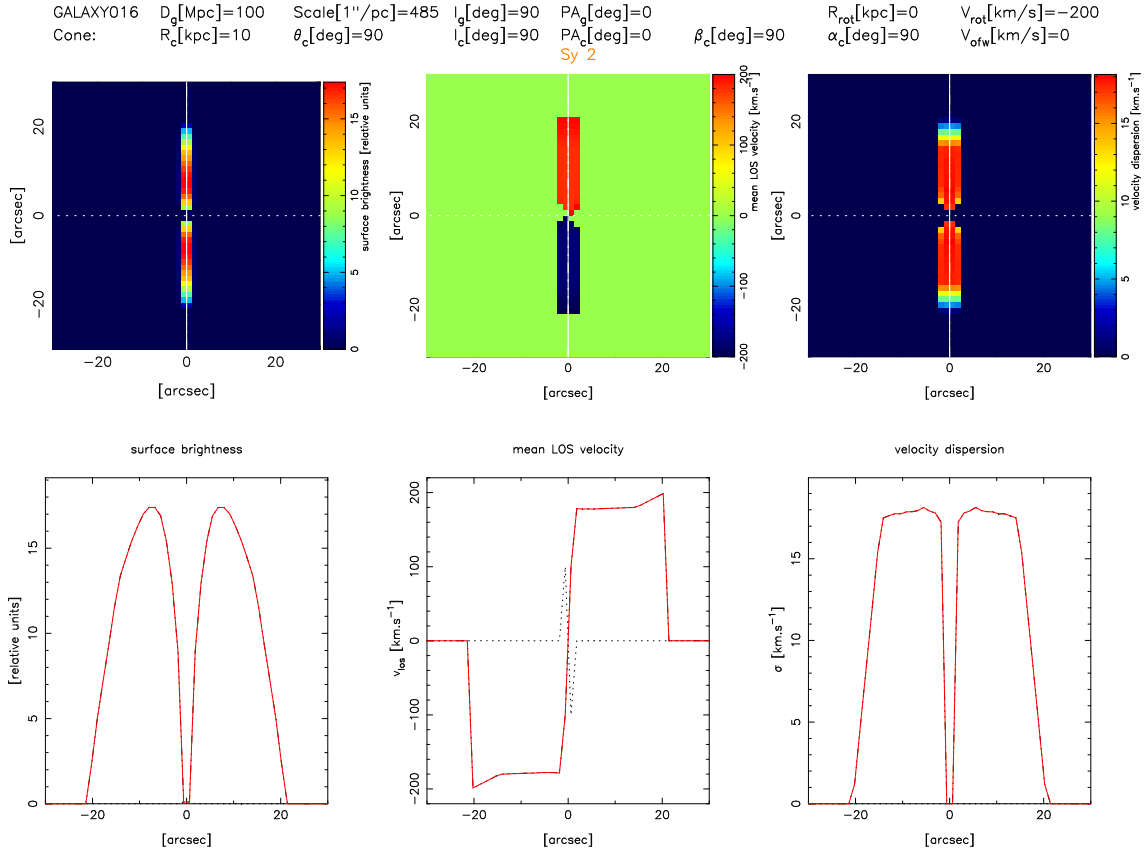
Obrázok 6.19: Výstup programu vfields pre model GALAXY014.

Podobná situácia ako model GALAXY013, zmena je v sklone osy kužela $\beta = 90^\circ$ voči normále na rovinu galaxie x,y (osa kužela je zhodná s osou pozorovateľa). Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 1. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Hodnota zorného poľa bola zmenšená nakoľko mal model malé uhlové rozmery $FOV = 6[\text{arcsec}]$.



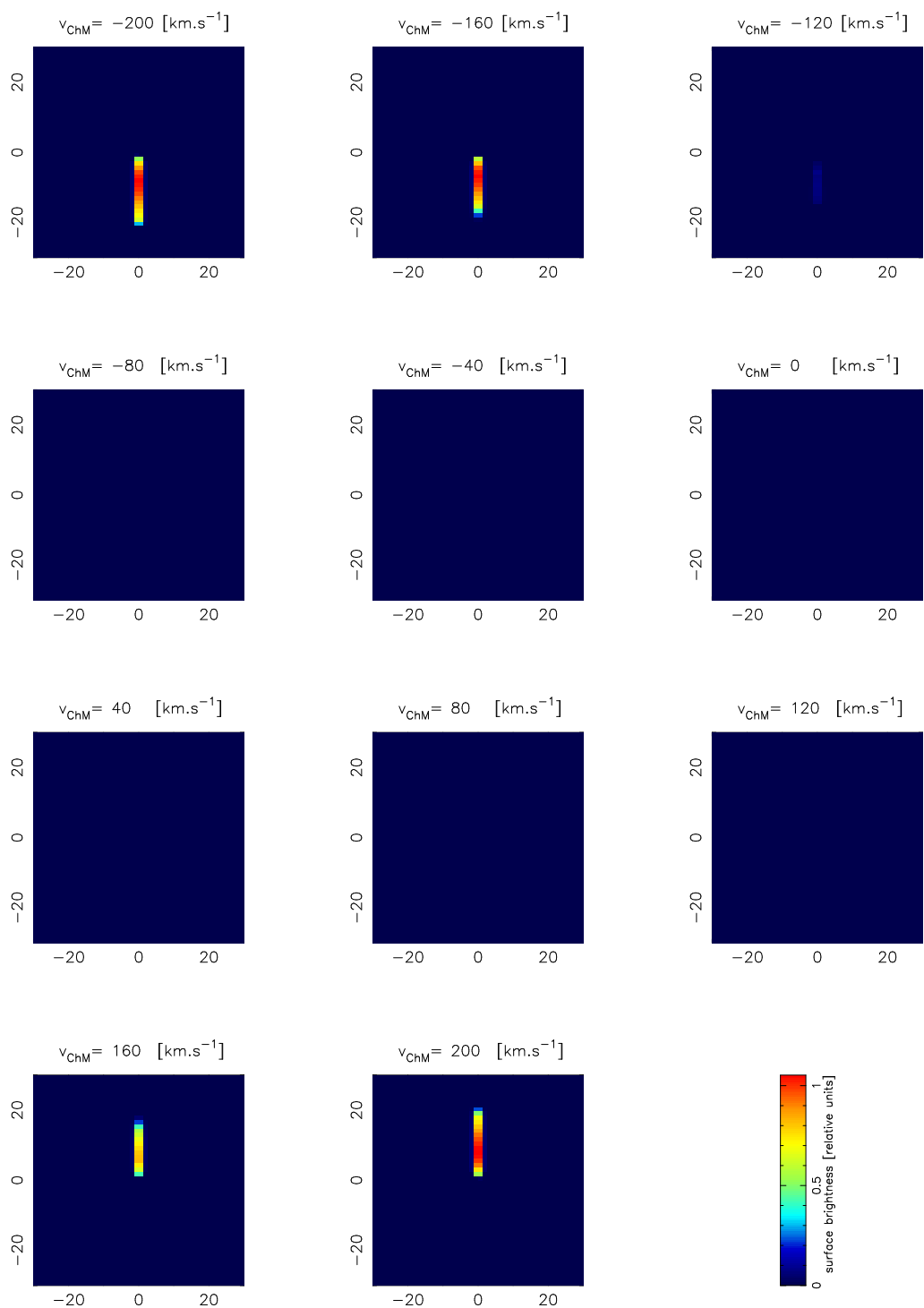
Obrázok 6.20: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY014.

Vzhľadom na orientáciu galaxie a kužela nie je plošná jasnosť viditeľná pri všetkých intervaloch rýchlostí kanálových map. Prejavuje sa pre kanálové mapy s centrálnymi rýchlosťami $v_{ChM} = -120[km.s^{-1}]$ až $v_{ChM} = 160[km.s^{-1}]$.



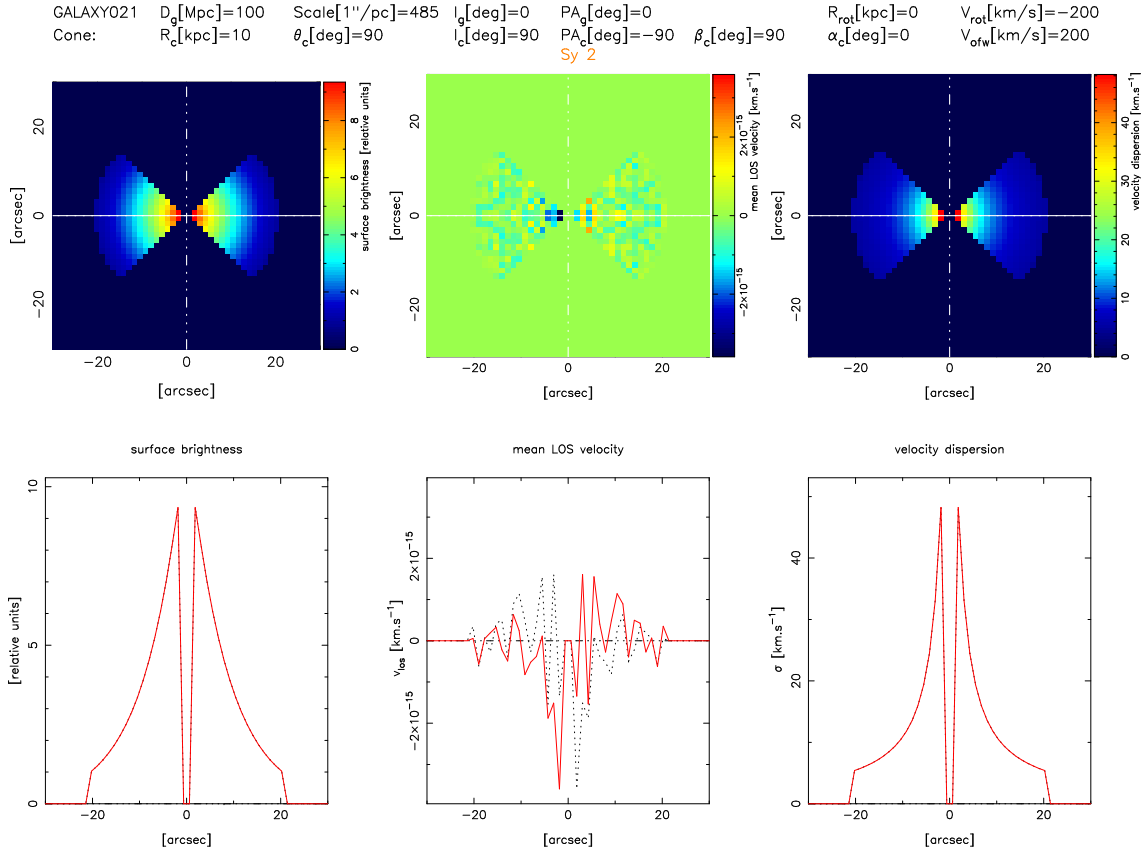
Obrázok 6.21: Výstup programu vfields pre model GALAXY016.

Jedná sa o model rotujúcej galaxie ($v_{\text{rot}} = -200 \text{ km.s}^{-1}$) s ionizačným kuželom s nulovou rýchlosťou ($v_{\text{ofw}} = 0 \text{ km.s}^{-1}$). Inklinácia galaxie je $I_g = 90^\circ$, inklinácia kužela je $I_c = 90^\circ$. Sklon osy kužela voči normále na rovinu galaxie x,y je $\beta = 90^\circ$, natočenie kužela $\alpha = 90^\circ$. Galaxiu vidíme z boku, ionizačný kužel sa nachádza vrámci galaxie. Napriek rozdielnej výške disku (1 kpc) a dĺžke ionizačného kužela (10 kpc) súčasný program zobrazí len orezanú časť kužela zhodnú s výškou disku. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 2. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Zorné pole je $FOV = 60[\text{arcsec}]$.



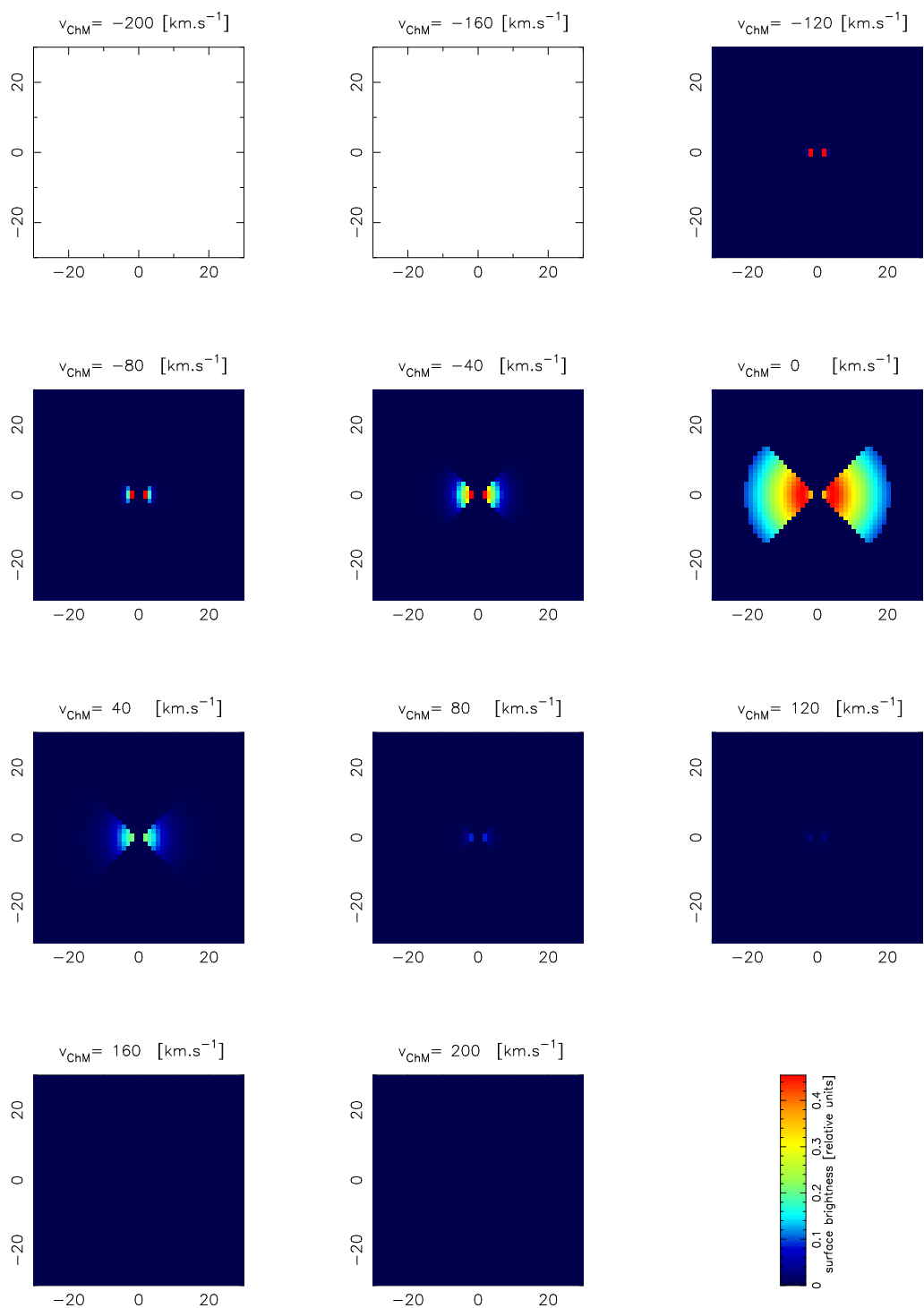
Obrázok 6.22: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY016.

Plošná jasnosť sa prejaví len pre krajné intervaly rýchlosti, pre kanálové mapy s centrálnymi rýchlosťami $v_{ChM} = \pm 200 [km.s^{-1}]$ a $v_{ChM} = \pm 160 [km.s^{-1}]$.



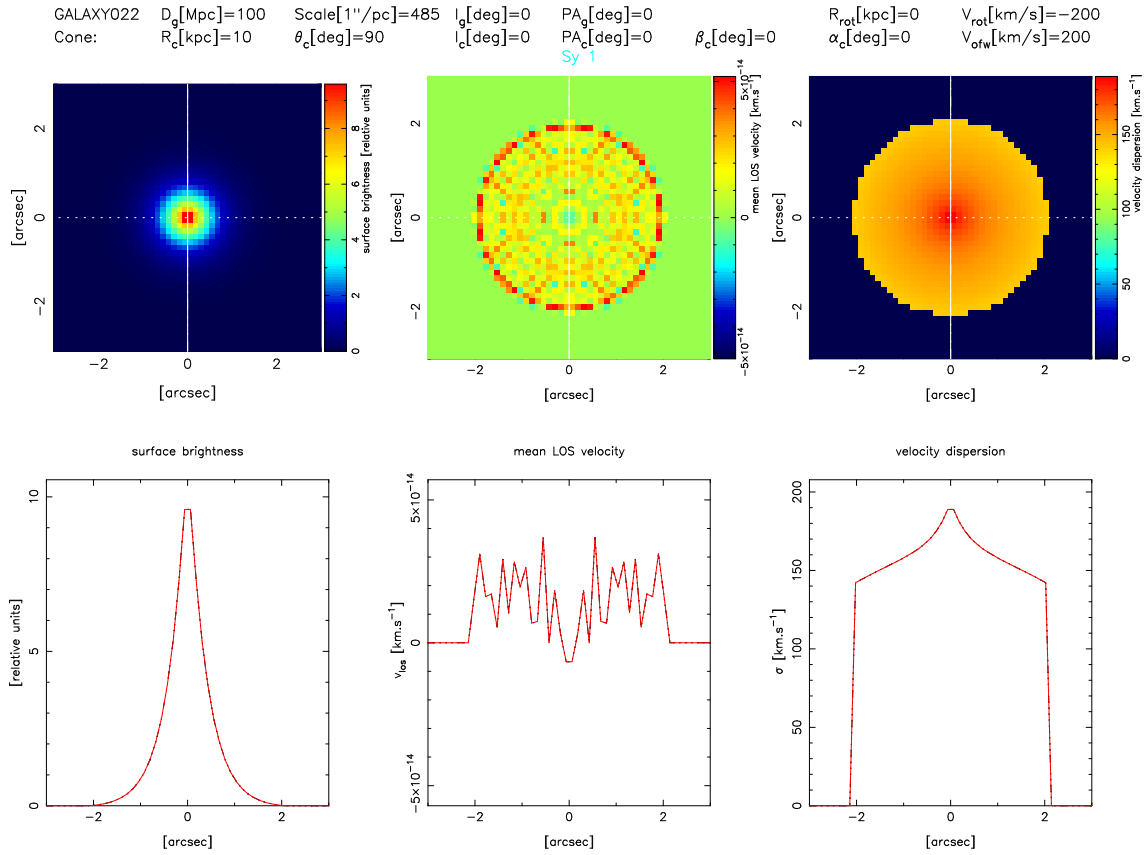
Obrázok 6.23: Výstup programu vfields pre model GALAXY021.

Jedná sa o model rotujúcej galaxie ($v_{\text{rot}} = -200 \text{ km.s}^{-1}$) s ionizačným kuželom ($v_{\text{ofw}} = 200 \text{ km.s}^{-1}$). Inklinácia galaxie je $I_g = 0^\circ$, inklinácia kužela je $I_c = 90^\circ$. Sklon osy kužela voči normále na rovinu galaxie x,y je $\beta = 90^\circ$, natočenie kužela $\alpha = 0^\circ$. Na galaxiu hľadíme zvrchu a ionizačný kužel z boku - kužel leží v rovine galaxie. Z -tová zložka rýchlosti galaxie je nulová, galaxia sa v grafe rýchlostne neprejaví. Hodnota rýchlosti $\langle v_{\text{los}} \rangle$ pre ionizačný kužel je blízka nule a zaznamenávame len rýchlostný šum. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 2. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Zorné pole je $FOV = 60[\text{arcsec}]$.



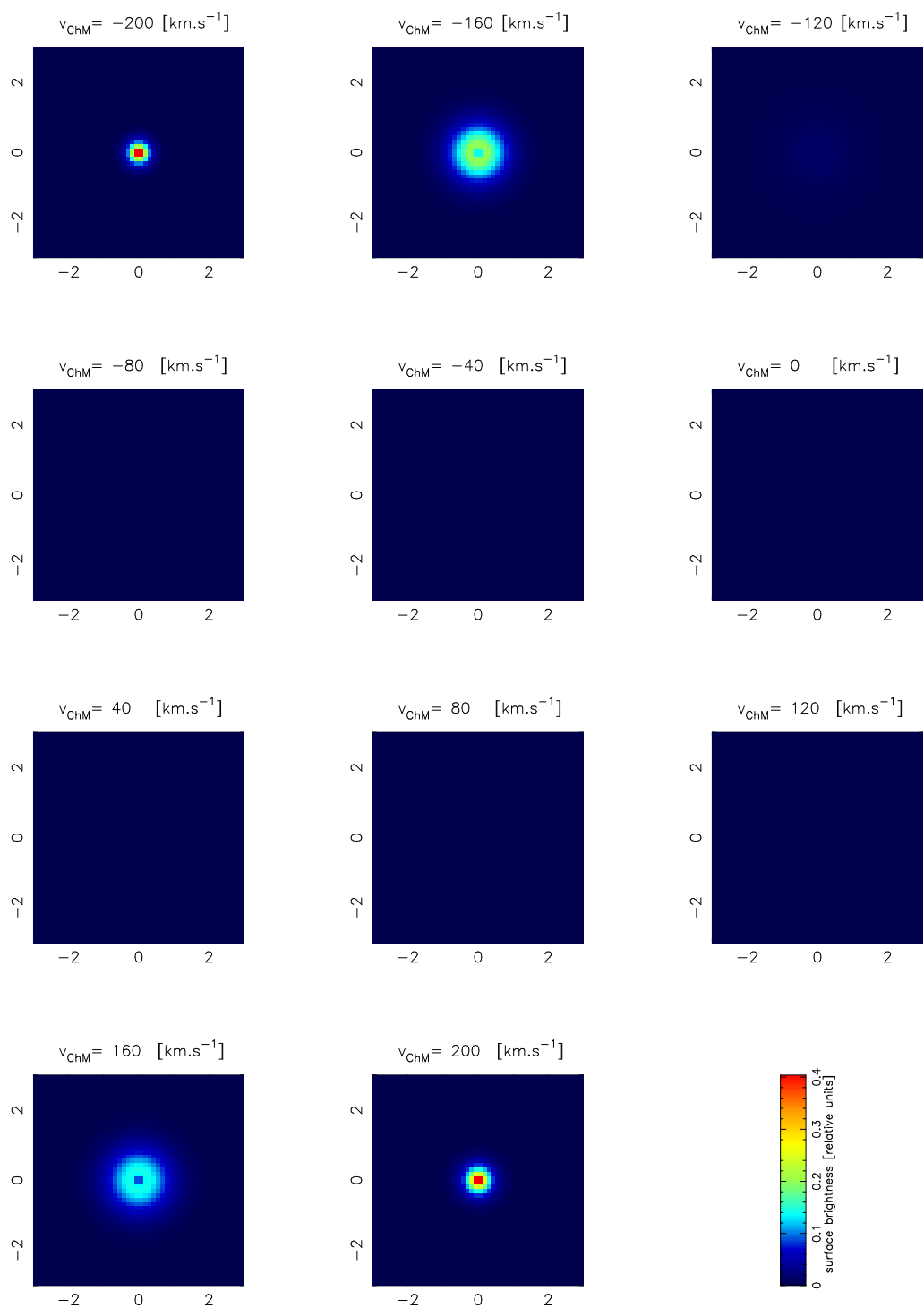
Obrázok 6.24: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY021.

Plošná jasnosť sa prejaví pre kanálové mapy s centrálnymi rýchlosťami $v_{ChM} = -120[km.s^{-1}]$ až $v_{ChM} = \pm 80[km.s^{-1}]$, najväčšie hodnoty relatívnych jednotiek dosahuje pre mapu s nulovou centrálnou rýchlosťou.

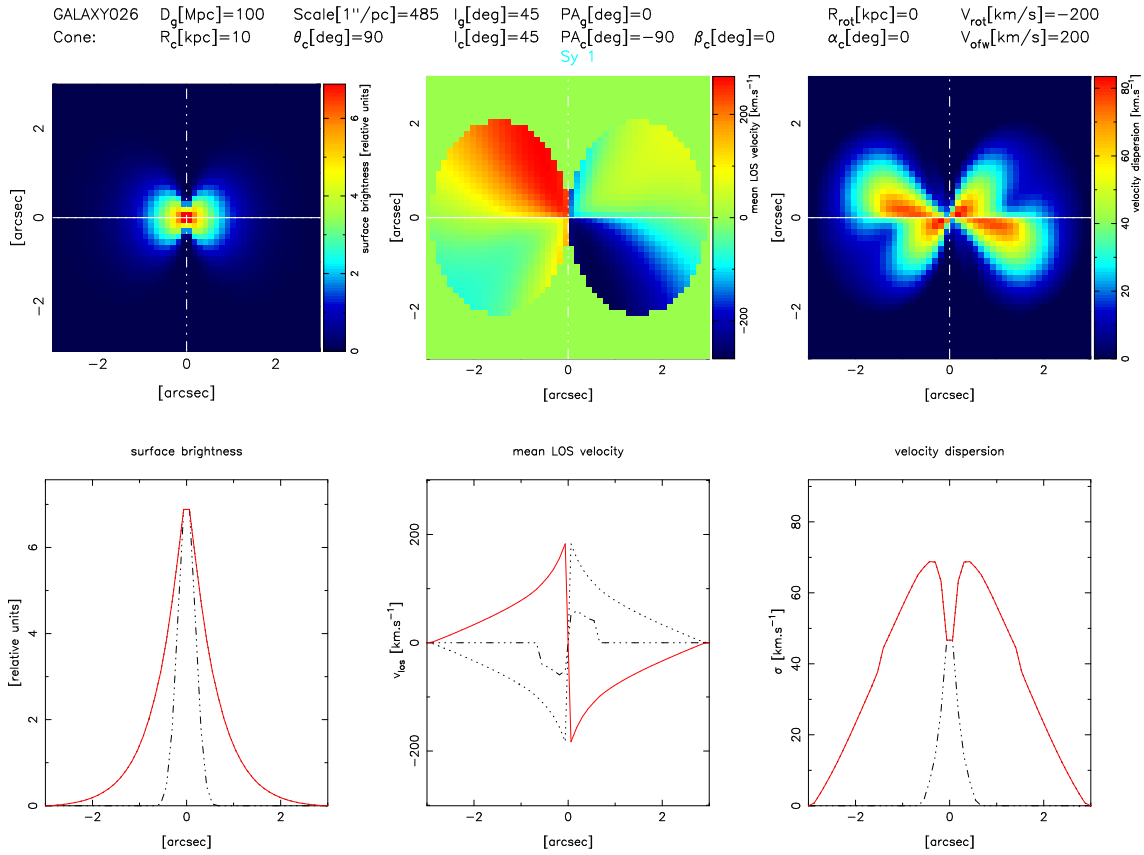


Obrázok 6.25: Výstup programu vfields pre model GALAXY022.

Podobná situácia ako pre model GALAXY022, rozdiel je v sklone $\beta = 0^\circ$ a teda aj inklinácii kužela $I_g = 0^\circ$. V tejto je os kužela zhodná s osou voči pozorovateľovi. Kvôli nulovým z -tovým zložkám rýchlosti galaxie a vzájomného vyrušenia sa rýchlosti kužela, zaznamenávame v grafoch rýchlosti len šum. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 1. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Nakoľko mal model malé uhlové rozmery, bola hodnota zorného pola zmenšená na $FOV = 6[\text{arcsec}]$.

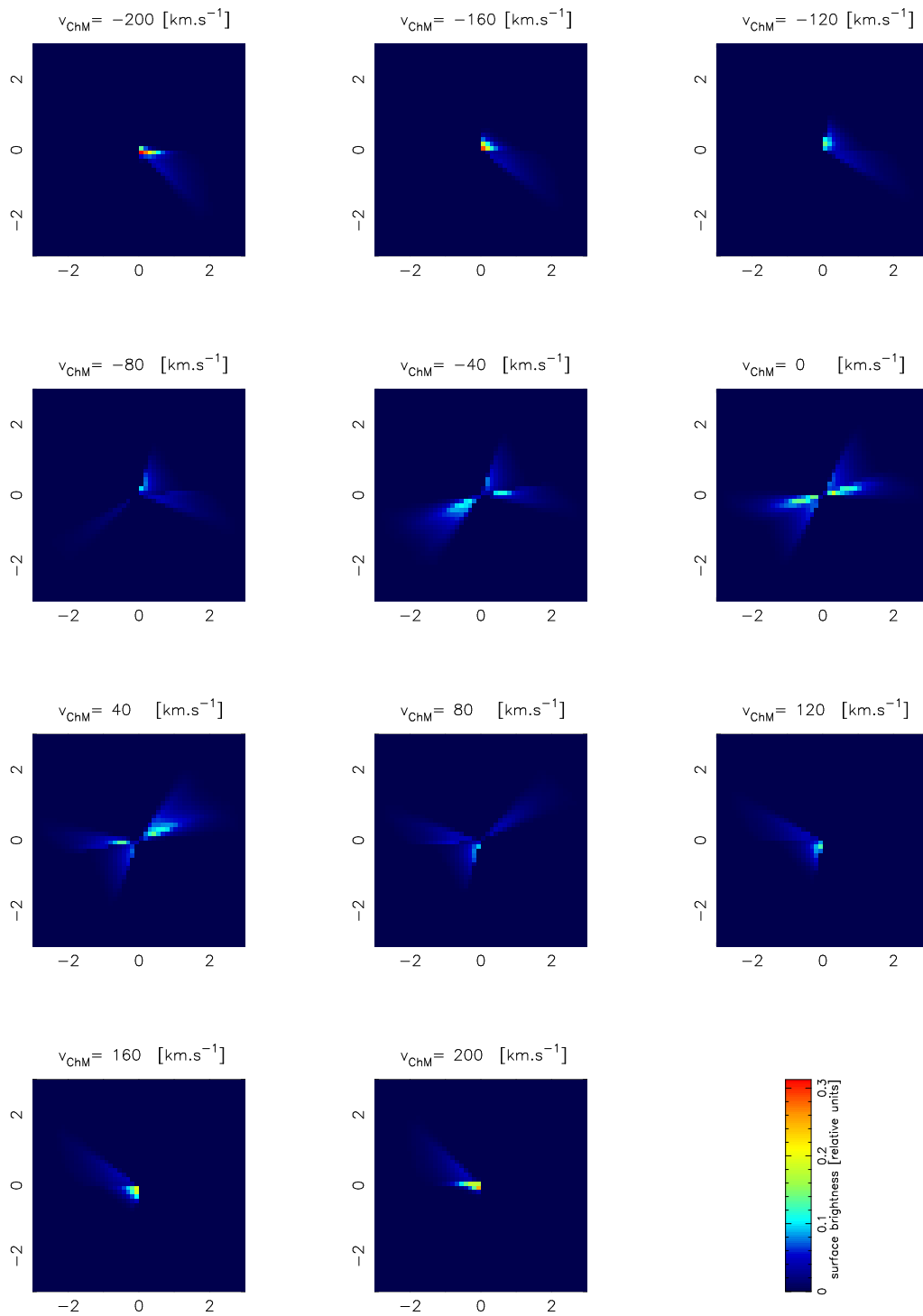


Obrázok 6.26: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY022. Plošná jasnosť sa prejaví len pre kanálové mapy s centrálnymi rýchlosťami $v_{ChM} = \pm 200 [km.s^{-1}]$ a $v_{ChM} = \pm 160 [km.s^{-1}]$.

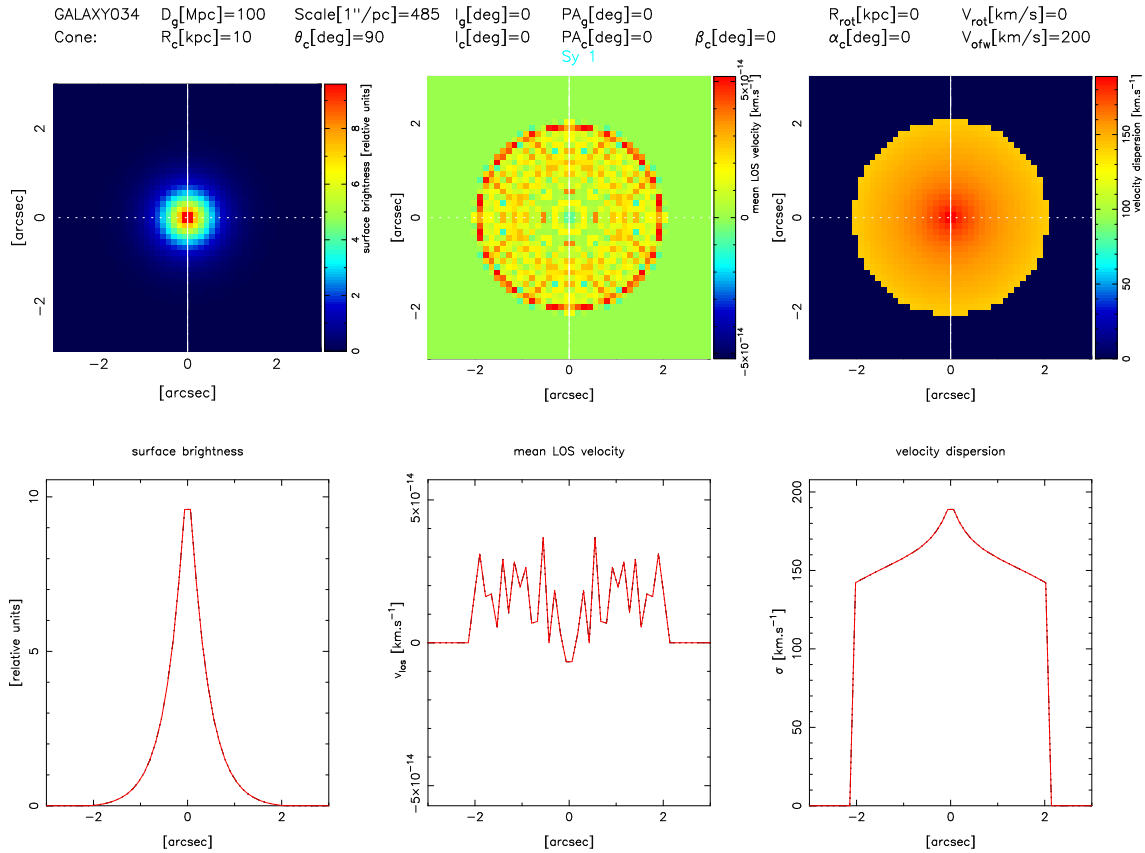


Obrázok 6.27: Výstup programu vfields pre model GALAXY026.

Jedná sa o model rotujúcej galaxie ($v_{rot} = -200 \text{ km.s}^{-1}$) s ionizačným kuželom ($v_{ofw} = 200 \text{ km.s}^{-1}$). Inklinácia galaxie je $I_g = 45^\circ$, inklinácia kužela je $I_g = 45^\circ$. Sklon osy kužela voči normále na rovinu galaxie x,y je $\beta = 0^\circ$, natočenie kužela v rovine galaxie x,y je $\alpha = 0^\circ$. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 1. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Nakoľko mal model malé uhlové rozmery, bola hodnota zorného pola zmenšená na $FOV = 6[\text{arcsec}]$.

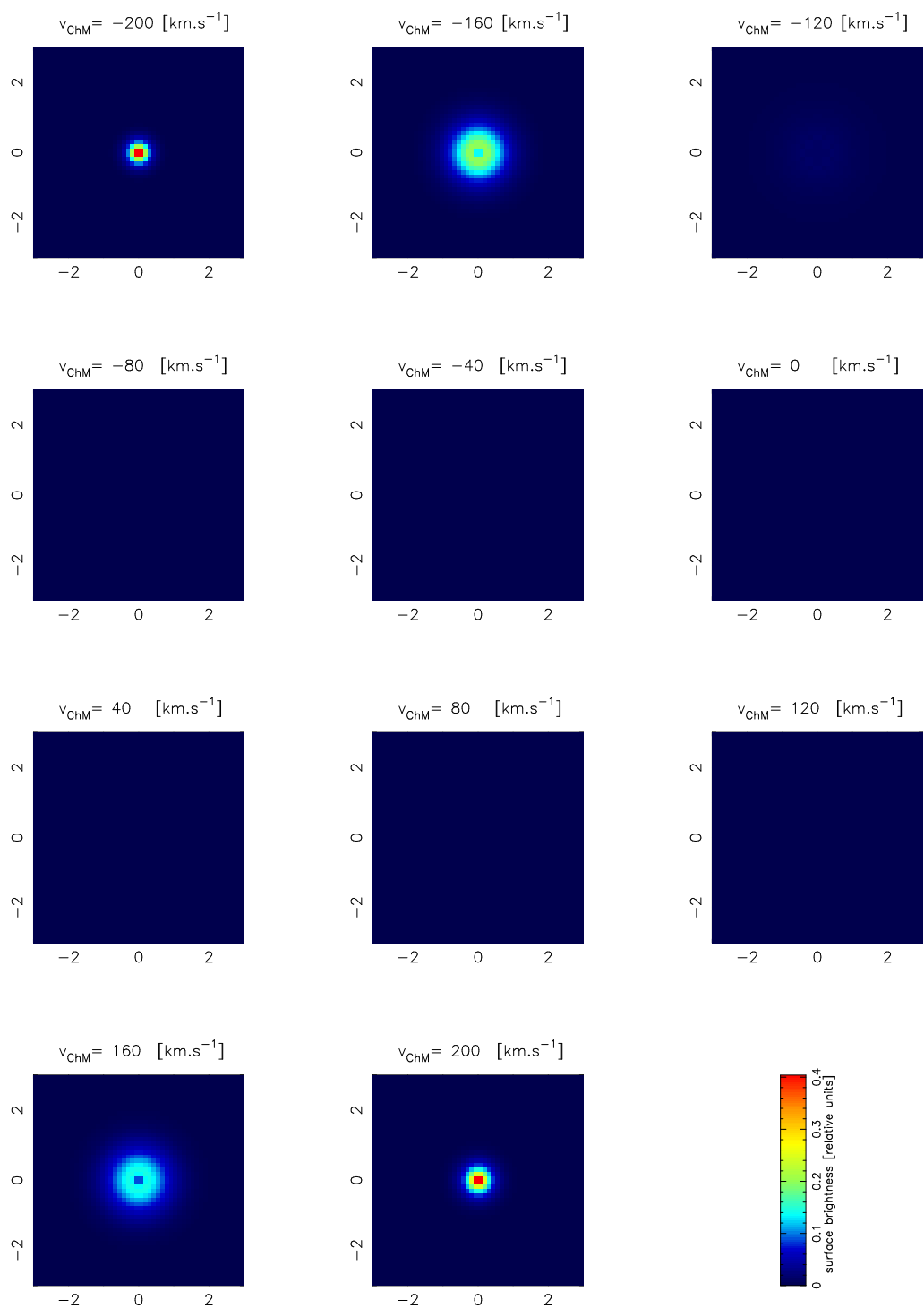


Obrázok 6.28: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY026. Nenulové relatívne jednotky plošnej jasnosti sú vo všetkých vyobrazených kanálových mapách, maximálne hodnoty dosahujú v mape s centrálnou rýchlosťou $v_{ChM} = -200 \text{ km.s}^{-1}$.



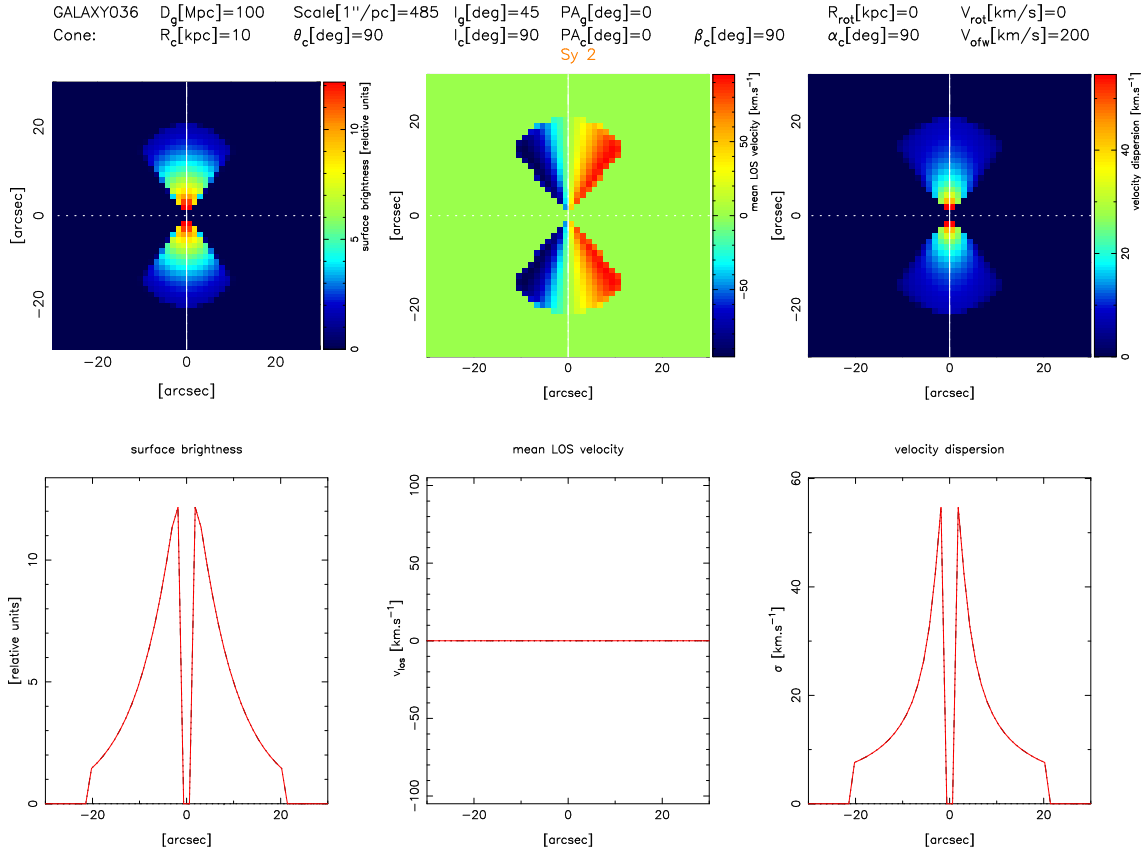
Obrázok 6.29: Výstup programu vfields pre model GALAXY034.

Jedná sa o model nerotujúcej galaxie ($v_{\text{rot}} = 0 \text{ km.s}^{-1}$) s ionizačným kuželom ($v_{\text{ofw}} = 200 \text{ km.s}^{-1}$). Inklinácia galaxie je $I_g = 0^\circ$, inklinácia kužela je $I_c = 0^\circ$. Sklon osy kužela voči normále na rovinu galaxie x,y je $\beta = 0^\circ$, natočenie kužela v rovine galaxie x,y je $\alpha = 0^\circ$. Vyobrazenie modelu s odlišnou hodnotou uhlu α by bolo totožné, nakoľko ide o objekty osovo symetrické voči ose z a táto je zhodná pre disk aj ionizačný kužel. Z -tová zložka rýchlosti galaxie je nulová, rýchlosti pre ionizačný kužel sa navzájom vyrušia a pre $\langle v_{\text{los}} \rangle$ zaznamenávame len šum. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 1. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Nakoľko mal model malé uhlové rozmery, bola hodnota zorného pola zmenšená na $FOV = 6[\text{arcsec}]$.



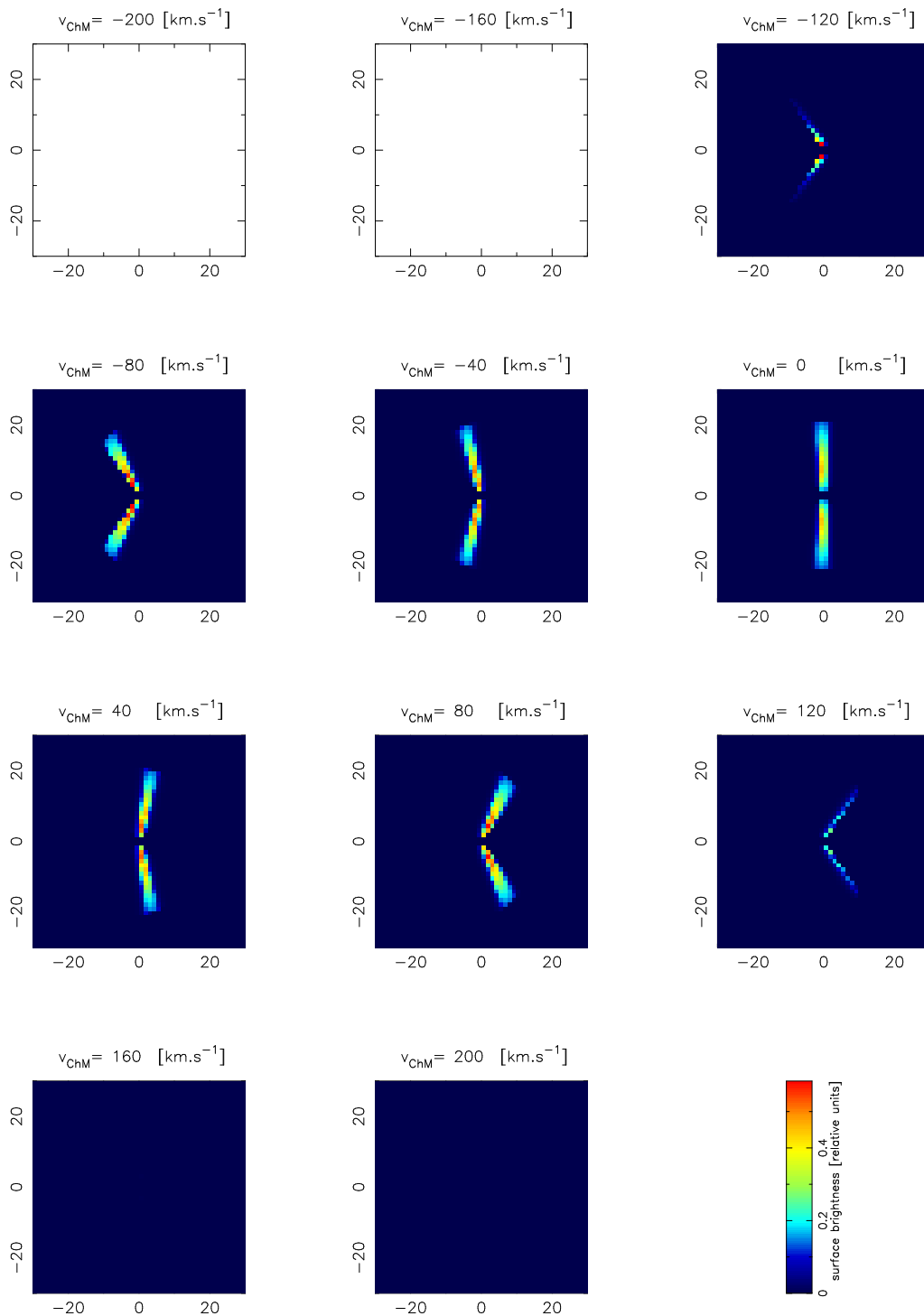
Obrázok 6.30: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY034.

Nenulové hodnoty plošnej jasnosti sú len na kanálových mapách s centrálnymi rýchlosťami $v_{ChM} = \pm 200$ [km.s⁻¹] (na ktorých dosahuje maximálnych relatívnych jednotiek) a $v_{ChM} = \pm 160$ [km.s⁻¹].



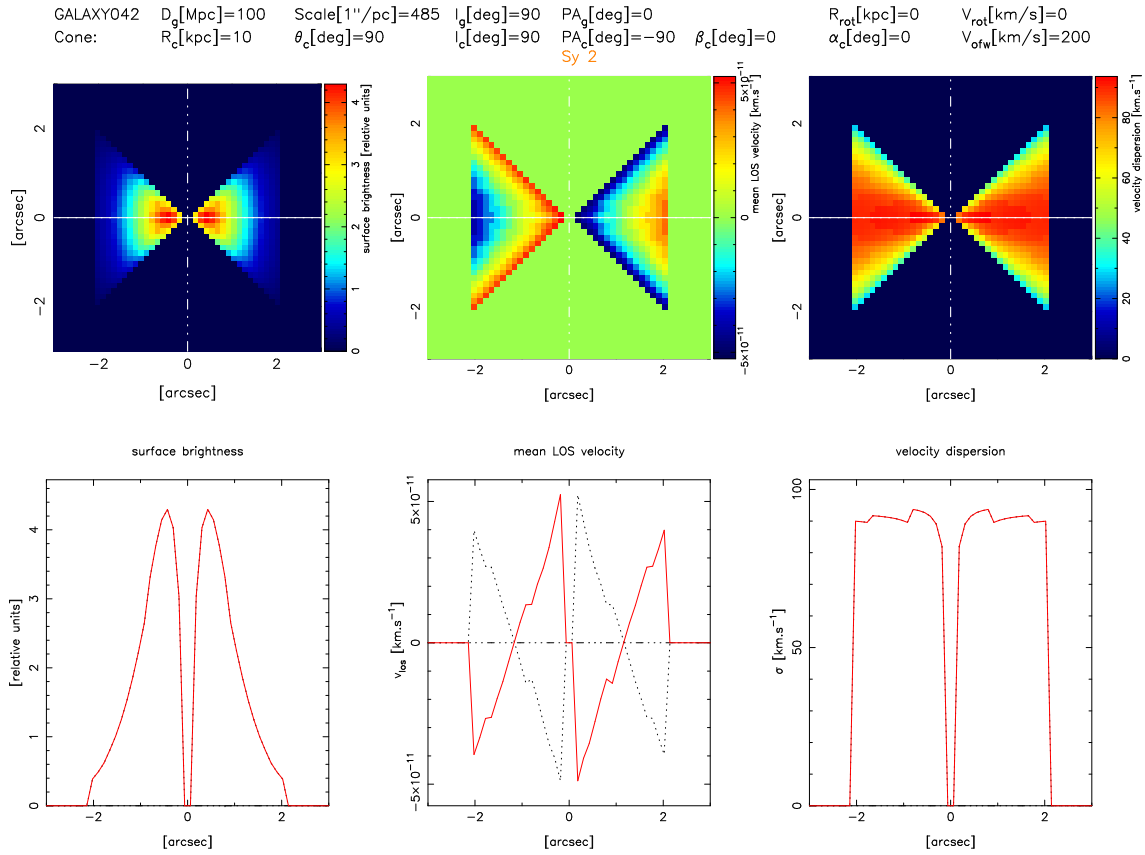
Obrázok 6.31: Výstup programu vfields pre model GALAXY036.

Jedná sa o model nerotujúcej galaxie ($v_{\text{rot}} = 0 \text{ km.s}^{-1}$) s ionizačným kuželom ($v_{\text{ofw}} = 200 \text{ km.s}^{-1}$). Inklinácia galaxie je $I_g = 45^\circ$, inklinácia kužela je $I_g = 90^\circ$. Sklon osy kužela voči normále na rovinu galaxie x,y je $\beta = 90^\circ$, natočenie kužela v rovine galaxie x,y je $\alpha = 90^\circ$. Z -tová zložka rýchlosti galaxie je nulová. Rezy pre ionizačný kužel sú vedené buď osou rotácie alebo kolmicou na túto osu v najužšom mieste kužela. Z týchto dôvodov majú krivky v grafe rýchlosti nulovú hodnotu $\langle v_{\text{los}} \rangle$. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 2. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Hodnota zorného pola zmenšená na $FOV = 60[\text{arcsec}]$.



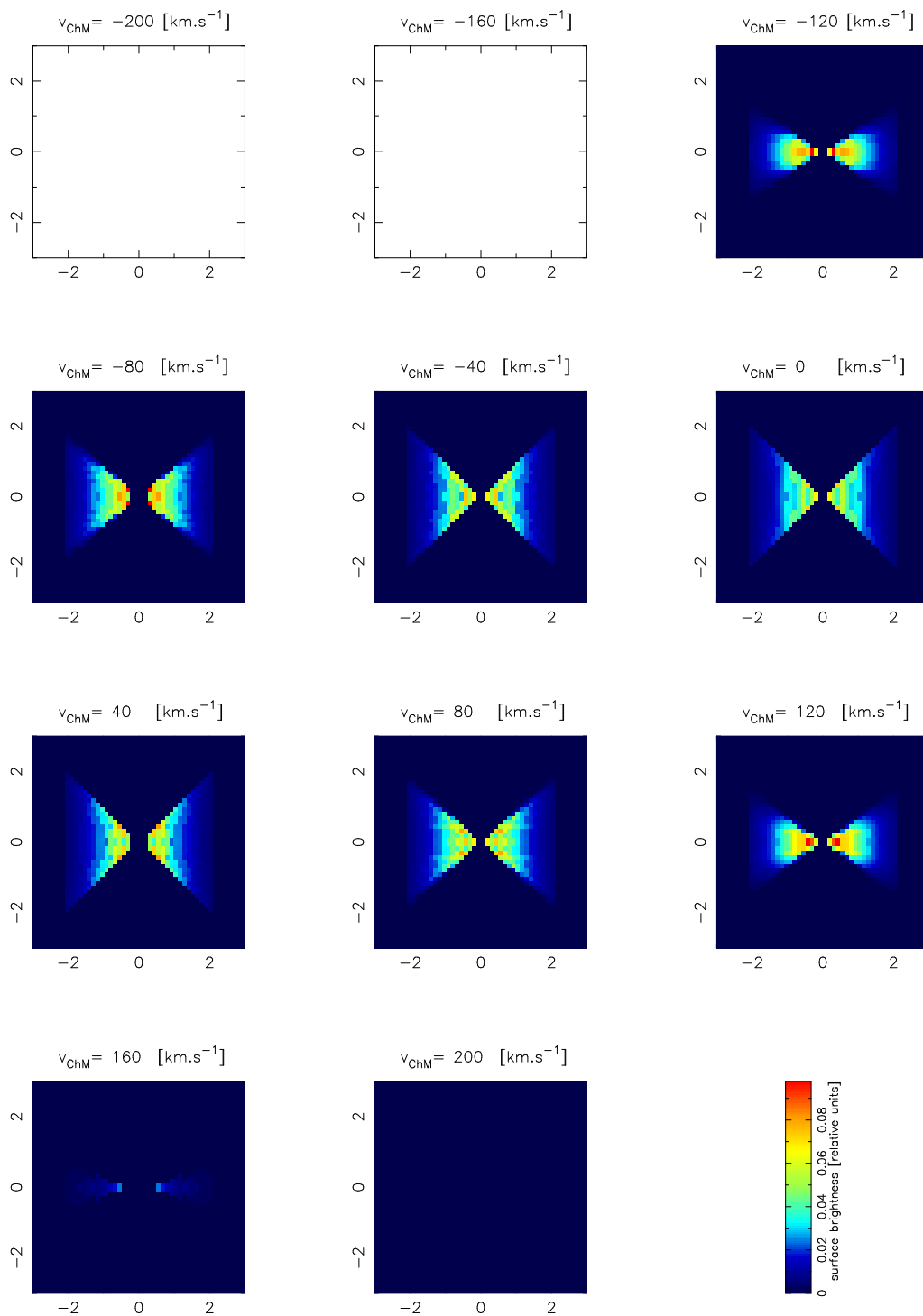
Obrázok 6.32: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY036.

Nenulové hodnoty plošnej jasnosti sa nachádzajú na kanálových mapách s centrálnymi rýchlosťami $v_{ChM} = -120[\text{km.s}^{-1}]$ až $v_{ChM} = 120[\text{km.s}^{-1}]$.



Obrázok 6.33: Výstup programu vfields pre model GALAXY042.

Jedná sa o model nerotujúcej galaxie ($v_{\text{rot}} = 0 \text{ km.s}^{-1}$) s ionizačným kuželom ($v_{\text{ofw}} = 200 \text{ km.s}^{-1}$). Inklinácia galaxie je $I_g = 90^\circ$, inklinácia kužela je $I_c = 90^\circ$. Sklon osy kužela voči normále na rovinu galaxie x,y je $\beta = 0^\circ$, natočenie kužela v rovine galaxie x,y je $\alpha = 0^\circ$. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 2. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Nakoľko mal model malé uhlové rozmery, bola hodnota zorného poľa zmenšená na $FOV = 6[\text{arcsec}]$.



Obrázok 6.34: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY042.

Nenulové relatívne jednotky plošnej jasnosti sú na kanálových mapách s centrálnou rýchlosťou $v_{ChM} = -120\text{km.s}^{-1}$ až $v_{ChM} = 160\text{km.s}^{-1}$.

Kapitola 7

Záver

Jedným z hlavných prínosov práce je doprogramovanie dátovej kocky (3D poľa s dvoma priestorovými a jednou rýchlostnou dimenziou) do už existujúceho programu `vfields.f` a jej následný export do súboru na disku. V rámci vylepšenia grafického výstupu programu `vfields.f` došlo k jeho doplneniu:

bol doplnený text týkajúci sa vlasností modelu. K mapám plošnej jasnosti, strednej radiálnej rýchlosti $\langle v_{los} \rangle$ a disperzie rýchlosti σ pribudol farebný klin, ktorého jednotky vždy zodpovedajú jednotkám danej mapy. Vďaka nemu máme lepšiu predstavu ohľadom veľkosti jednotlivých veličín vynášaných do mapy. Ďalej boli doplnené popisy 2D map a 1D grafu plošnej jasnosti, strednej radiálnej rýchlosti $\langle v_{los} \rangle$ a disperzie rýchlosti σ . Tiež bol doplnený model rotujúceho outflow.

Veľmi dôležité bolo vytvorenie nového programu na výpočet tzv. *kanálových máp* (*ChannelMaps*), tento program sa vytváral v jazyku Fortran 77, keďže sa vychádzalo z programu `vfields.f`. Pri vytváraní programu som sa zoznámila s týmto jazykom a s jeho grafickou knižnicou PGPLOT, ktorá sa využíva na vykresľovanie kanálových máp.

Vznik programu je dôležitý hlavne k lepšiemu pochopeniu kinematiky galaxie. Program bol vytvorený pre projekt CALIFA a využitie spolupracovníkmi tohto projektu s tým, že konzorcium CALIFA síce disponuje nástrojmi pre spracovanie a vyobrazenie dát z pozorovaní, ale nemá žiaden nástroj pre tvorbu kanálových máp z dopredu definovaných modelov.

Model rotujúceho outflow nebol doteraz aplikovaný na problematiku ionizovaného plynu v NLR oblastiach aktívnych jadier. Preskúmanie možnosti tohto modelu cez kanálové mapy by mohlo prispieť k pochopeniu komplexnej kinematiky v jadrach niektorých galaxií.

Vyššie spomínaný program *ChannelMaps* bol v rámci diplomovej práce úspešne vytvorený a odladený. Bolo ním zobrazených niekoľko základných modelov, ktoré dávajú predstavu o možných typoch rýchlostných polí a odpovedajúcimi kanálovým mapám. V ďalšom období sa predpokladá využitie modelu k interpretácii rýchlostných polí galaxií projektu CALIFA a iných 3D spektroskopických projektov zameraných na galaxie. Ďalej

sa predpokladá zrovnávanie kanálových map pre namodelované situácie, s dátami získanými v rámci pozorovaní.

Radi by sme sa ďalej zamerali na problematiku rotujúceho outflow a prispeli k jeho lepšiemu pochopeniu.

Literatúra

- [1] CALIFA.
URL <http://califa.caha.es/>
- [2] Dopplerov posun.
URL <http://planck.caltech.edu/epo/images/redshift.jpg>
- [3] Galaxies.
URL http://hubblesite.org/reference_desk/faq/answer.php.id=39&cat=galaxies
- [4] Groups of Galaxies.
URL <http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/gclusters/groups.html>
- [5] Herschel model of Galaxy.
URL http://www.observadores-cometas.com/Herschel/About%20William%20Herschel/About%20William%20Herschel/Biography/Herschel_MilkyWay.jpg
- [6] Hubble Site.
URL http://hubblesite.org/reference_desk/faq/answer.php.id=39&cat=galaxies
- [7] Integral Field Spectroscopy.
URL <http://ifs.wikidot.com/what-is-ifs>
- [8] Seyfert galaxies.
URL <http://csep10.phys.utk.edu/astr162/lect/active/seyfert.html>
- [9] Seyfert galaxies.
URL http://ned.ipac.caltech.edu/level5/Glossary/Essay_seyfert.html
- [10] Binney, J.; Merrifield, M.: *Galactic Astronomy*. Princeton University Press, 1998, 850 s.
- [11] Binney, J.; Tremaine, S.: *Galactic Dynamics*. Princeton University Press, 1994, 733 s.
- [12] Carroll, B. W.; Ostlie, D. A.: *An Introduction to Modern Astrophysics*. Benjamin Cummings, 2006, 1400 s.

- [13] Crenshaw, D. M.; Schmitt, H. R.; Kraemer, S. B.; aj.: RADIAL VELOCITY OFFSETS DUE TO MASS OUTFLOWS AND EXTINCTION IN ACTIVE GALACTIC NUCLEI. , rok 708, 2010: s. 416–426.
- [14] Štefl a Jiří Krtička, V.: *Historie astronomie*. Masarykova Univerzita, 2008.
- [15] Peterson, B. M.: *An Introduction to Active Galactic Nuclei*. Cambridge University Press, 1997, 254 s.
URL <http://www.isbns.net/isbn/9780521479110>
- [16] Pogge, R. W.: A extended ionizing radiation cone from the nucleus of the Seyfert 2 galaxy NGC 1068. , rok 328, 1988: s. 519–522, doi:10.1086/166309.
- [17] Sánchez, S. F.; Kennicutt, R. C.; Gil de Paz, A.; aj.: CALIFA, the Calar Alto Legacy Integral Field Area survey. I. Survey presentation. , rok 538, 2012: A8, doi:10.1051/0004-6361/201117353, 1111.0962.
- [18] Sparke, L. S.; III, J. S. G.: *Galaxies in the Universe*. Cambridge University Press, 2007, 443 s.

Časť III

Prílohy

Dodatok A

Programy

A.1 Konfiguračné súbory programu vfields

A.1.1 vfields.inp

Sfera #output file name

Observed galaxy:

```
GALAXY001          # galaxy name
100.                # distance [Mpc]
F 0.                # galaxy inclination
F 0.                # galaxy position angle
```

Instrumental configuration:

```
60.                # FOV in arcsec
```

Slits:

```
y y y              # slits along X,Y axes ? (Y/N)
n n n              # slit along galaxy PA ? (Y/N)
y y y              # slit along cone's PA ? (Y/N)
n n n              # other slit(s) ? (Y/N) # No., PA, offset
6 123. 0.    123. 0.15    123. 0.35    123. -0.15    123 -0.35    123 -0.55
```

Ionization cone:

```
y                  # cone presence (Y/N)
F 180.             # cone opening angle
F 90.              # cone tilt
F 90.              # cone turn
10.                # cone length [kpc]
0                  # partial cone obscuration ? (No=0, Yes=1)
```


Rotation curve components:

```
1 # number of rotation curve components
Tp Mass R0 V0
FL 0. 0.0 0. # linearly rising and/or flat (transition at R0)
```

Kinematical components (density & velocity distributions):

```
1 # number of kinematical components
Tp Rin Rout Zout Rho0 n Rsc m Zsc Rot Vofw VDLaw VD0 VDsc
SL 0.0 9.0 0.0 0.3 0. 0.0 0. 0.0 0 200. 0 10. 0. 0. 0.
DE 0.0 16.0 1.0 30.0 1. 4.0 1. 0.2 1 0. 0 0. 0. 0. 0.
DL 0.0 20.0 0.3 30.0 0. 0.0 0. 0.0 1 0. 0 0. 0. 0. 0.
DL 0.2 1.0 0.0 30.0 0. 0.0 0. 0.0 1 0. 0 0. 0. 30. 30.
DL 0.0 16.0 1.0 30.0 0. 4.0 0. 0.2 0 200. 0 0. 0.
SH 0.d0 9.d0 0.0d0 1.d0 5.d0 5.d0 0.d0 0.d0 0 100. 2 50. 1. 0. 0.
```

A.1.2 spaxels.inp

! configuration file for vfields.f

```
!
PARAMETER (ND = 50, ! No. of spaxels along one axis
& NCX = 7, ! max No. of kinematical components
& NC3 = NCX+3,
& IZMAX = 1000, ! No. of points for LOS integration
!
& NslitMax = 10, ! max number of user defined slits
!
& NV = 45, ! No. of velocity bins
& VelMin = -220., !
& VelMax = +220., !
& Vstep = (VelMax-VelMin) / (NV-1),
!
& NL = 201, ! No. of bins in lambda
& XLmb0 = 5007.0d0, ! rest lambda of the line
& Clight = 3.d5,
! & XLmbMin = 5000.,
! & XLmbMax = 5014.,
& XLmbMin = XLmb0 * (1.+VelMin / Clight),
& XLmbMax = XLmb0 * (1.+VelMax / Clight),
& XLstep = (XLmbMax-XLmbMin) / (NL-1),
& SigmaInstr = 150.,! instrumental dispersion in km/s
& SigmaInstrL = SigmaInstr * XLmb0 /Clight, ! in Angst
```

```

&          CCDsamplingL0 = 2.15,
          ! desired spectral sampling on CCD in [A]
&          NVchMax = 20) !max No. of channel maps

```

A.2 Zdrojový kód programu ChannelMaps

```
*program ChannelMaps
```

```

INTEGER ND, NV, NVch, IY, IX, IV, Ich, Ncols, Nrows, NVchMax
REAL*4 PgRmaxNeg, PgRmax, VelMin, VelMax, Vstep

```

```
INCLUDE 'spaxels.inp' !nacita parametre zo suboru
```

```

REAL*4 DVch, Vch(NVchMax), k, TR(6)
REAL*8 FV(ND,ND,NVchMax), Fvel(ND,ND,NV)
REAL*4 FVplot(ND,ND)
REAL*4 FVpmin, FVpmax, FVpminG, FVpmaxG
INTEGER IVmin, IVmax
CHARACTER Display*5, OutputFile*40

```

```
k = 0
```

```
!NACITANIE HODNOT
```

```
open(123,FILE='values.txt')
```

```
!pozn. -PgRmax = PgRmaxNeg
```

```
read(123,*) PgRmaxNeg, PgRmax
```

```
close(123)
```

```
!NACITANIE POLA
```

```
open(125,FILE='field.txt')
```

```
do 100 IY=1,ND !cez y-nove
```

```
do 200 IX=1,ND !cez x-ove
```

```
do 300 IV=1,NV !cez biny
```

```
read(125,*) Fvel(IX,IY,IV)
```

```
300 continue
```

```
200 continue
```

```
100 continue
```

```
close(125)
```

```
!NACITANIE MATICE
```

```
open(127,FILE='matrix.txt')
```

```

do 400 I = 1,6
read(127,*) TR(I)
400  continue
close(127)

!NACITANIE SIRKY KANALOVEJ MAPY
open(129,FILE='DVch.txt') !nacita hodnotu DVch zo suboru
read(129,*) DVch
close(129)

!NACITANIE NAZVU
open(133,FILE='vfields08a.inp')
read(133,*) OutputFile !nazov prislusneho modelu
close(133)

CALL NoGraphs(k, DVch, NVch)      !pocet kannalovych map

CALL GraphsWin(NVch, Ncols, Nrows)  !rozlozenie map na okne

Display = '/xwin'
CALL InitPg(Display, Ncols, Nrows, TR, OutputFile)  !vykreslenie

CALL CompFvel(k, DVch, IVmin, IVmax, Fvel, NVch,
&          FV, Vch, FVplot, FVpmin, FVpmax)
!spocita Fvel

FVpminG = 1.10e10
FVpmaxG = -1.10e10

DO 131 Ich = 1, NVch
DO 150 IY = 1, ND
DO 250 IX = 1, ND
FVplot(IX,IY)=SNGL(FV(IX,IY,Ich))
250  CONTINUE
150  CONTINUE

CALL FINDMAX(FVplot, ND, FVpmin, FVpmax)
FVpminG = AMIN1(FVpminG,FVpmin) !najde globalne FVpmin
FVpmaxG = AMAX1(FVpmaxG,FVpmax) !najde globalne FVpmax

CALL Ploting(FVplot,FVpminG,FVpmaxG,PgRmax,PgRmaxNeg,TR,Vch,Ich)
!vykresli grafy

```

131 CONTINUE

```
CALL PGSCH(1.5) !velkost pisma
CALL PGWEDG('RI', 15.5, 5.0, FVpminG, FVpmaxG,
& 'surface brightness [relative units]')
```

```
write(*,*) 'OK'
```

```
CALL PGEND
END !koniec hlavnej casti
```

```
*****
```

```
      SUBROUTINE NoGraphs(k, DVch, NVch)
```

```
*****
```

```
!podla DVch a celkovej sirky mapy urci vysledny pocet kanalovych map
```

```
      REAL*4 Vstep, DVch, VelMax, VelMin, k
      INTEGER NV, NVch
```

```
      INCLUDE 'spaxels.inp'
```

```
      k = NINT (DVch / Vstep)
      ! k = počet Vstep je v jednej kanalovej mape
```

```
      NVch = NINT (NV / k)
      !NV pocet binov, zadane v spaxels.inp
      !NVch - pocet kanalovych map
```

```
      END
```

```
*****
```

```
      SUBROUTINE CompFvel(k, DVch, IVmin, IVmax, Fvel, NVch,
&                          FV, Vch, FVplot, FVpmin, FVpmax)
```

```
*****
```

```
! Computation Fvel
```

```
! vypocet intenzity v zavislosti na rychlosti pre kanalove mapy
```

```
      REAL*4 VelMin, Velmax
      INTEGER ND, NV, NVchMax
```

```
      INCLUDE 'spaxels.inp'
```

```

REAL*4 DVch, k, Vch(NVchMax)
REAL*8 FV(ND,ND,NVchMax), Fvel(ND,ND,NV)
REAL*4 FVplot(ND,ND)
REAL*4 FVpmin, FVpmax
INTEGER IY, IX, Ich, NVch, IVmin, IVmax, IVvel

IVmin = NINT(VelMin) !min.velocity danej kanalovej mapy
IVmax = 0
DO 300 Ich = 1, NVch !Ich - index kanalovej mapy
  IVmax = IVmin + DVch !max.velocity danej kanalovej mapy
  DO 100 IY = 1, ND
    DO 200 IX = 1, ND
      FV(IX,IY,Ich) = 0.d0
      DO 400 IVvel = k*(Ich-1)+1, k*Ich !cez rychlost.biny
        FV(IX,IY,Ich)=FV(IX,IY,Ich) + Fvel(IX,IY,IVvel)
400      CONTINUE
200    CONTINUE
100  CONTINUE

  Vch (Ich) = NINT ((IVmin + IVmax)/2.0) !central.rychlost kan.map
  IVmin = IVmin + DVch

300 CONTINUE

END

*****
SUBROUTINE FINDMAX(ARRAY, ND, ARRMIN, ARRMAX)
*****
!vypocet minimalnej a maximalnej hodnoty

IMPLICIT REAL*4 (A-H,O-Z) !must be real*4 since array used in pgplot

DIMENSION ARRAY(ND,ND)

ARRMAX = -1.d+10;   ARRMIN = 1.d+10
DO 10 IY=1, ND
  DO 10 IX=1, ND
    ARR      = ARRAY(IX,IY)
    ARRMAX   = AMAX1 (ARRMAX, ARR)
    ARRMIN   = AMIN1 (ARRMIN, ARR)
10 CONTINUE

```

END

SUBROUTINE GraphsWin(NVch, Ncols, Nrows)

!rozloznie grafov na strane, max pre 12 grafov

REAL*4 a
INTEGER Ncols, Nrows, NVch
CHARACTER Display*5

Ncols = 0
Nrows = 0
a = 0
a = NVch * 1.0

IF (NVch.eq.12) THEN

Ncols = 3

Nrows = 4

ELSE IF (NVch.eq.1) THEN

Ncols = 1

Nrows = 1

ELSE IF (NVch.eq.2) THEN

Ncols = 1

Nrows = 2

ELSE IF (NVch.eq.3) THEN

Ncols = 2

Nrows = 2

ELSE IF (NVch.eq.4) THEN

Ncols = 2

Nrows = 2

ELSE IF (NVch.gt.4 .and. NVch.lt.12) THEN

Ncols = 3

Nrows = CEILING (a / Ncols)

ELSE IF (NVch.gt.12) THEN

write(*,*) 'map viac ako 12'

END IF

return

END

```

*****
      SUBROUTINE InitPg(Display, Ncols, Nrows, TR, OutputFile)
*****
* initializes Pgplot

      CHARACTER Display*5, OutputFile*40
      REAL*4 TR(6)

      Display = '/xwin'
!      Display = 'gif'

!      CALL PGBEGIN(0, '/Xserve', Ncols, Nrows) !zobrazenie v okne
      CALL PGBEGIN(0, '//trim(OutputFile)//'ChM.ps/vcps', Ncols, Nrows)
!ulozi vystup pre A4
      CALL PGASK (.FALSE.)
      CALL PGSCH (1.9)
      CALL PALETT(2, 1.0, 0.5)

      END

*****
      SUBROUTINE Ploting(FVplot, FVpmin, FVpmax, Pgrmax, PgrmaxNeg,
&          TR, Vch, Ich)
*****
!vykreslenie grafov

      INCLUDE 'spaxels.inp'

      REAL*4 PgrmaxNeg, Pgrmax
      REAL*4 FVplot(ND,ND), FVpmin, FVpmax
      REAL*4 TR(6), Vch(100)
      INTEGER Ich
      CHARACTER vChM*5
      REAL*4 Vshift, H
      PARAMETER (Vshift = +1.2)
      PARAMETER (H=0.12)

      CALL PGENV(PgrmaxNeg, Pgrmax, PgrmaxNeg, Pgrmax, 1, 0);

      !v nazve grafu vypise prislusnu centralnu rychlost
      CALL PGNUMB(NINT(Vch(Ich)), 0,0,vChM,NC); CALL PGSCI(1);
      CALL PGMTXT ('T', Vshift, H, 0.0,
& 'v\dChM\u= '//vChM//[km.s\u-1\d]');

```

```
CALL PGIMAG(FVplot, ND, ND, 1, ND, 1, ND, FVpmin, FVpmax, TR)
```

```
CALL PGSCH (1.9)
```

```
END
```

```
*****
```

```
      SUBROUTINE PALETT(TYPE, CONTRA, BRIGHT)
```

```
*****
```

```
C Set a "palette" of colors in the range of color indices used by  
C PGIMAG.
```

```
C-----
```

```
      INTEGER TYPE
```

```
      REAL CONTRA, BRIGHT
```

```
C
```

```
      REAL GL(2), GR(2), GG(2), GB(2)
```

```
      REAL RL(9), RR(9), RG(9), RB(9)
```

```
      REAL HL(5), HR(5), HG(5), HB(5)
```

```
      REAL WL(10), WR(10), WG(10), WB(10)
```

```
      REAL AL(20), AR(20), AG(20), AB(20)
```

```
C
```

```
      DATA GL /0.0, 1.0/
```

```
      DATA GR /0.0, 1.0/
```

```
      DATA GG /0.0, 1.0/
```

```
      DATA GB /0.0, 1.0/
```

```
C
```

```
      DATA RL /-0.5, 0.0, 0.17, 0.33, 0.50, 0.67, 0.83, 1.0, 1.7/
```

```
      DATA RR / 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.6, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0/
```

```
      DATA RG / 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 1.0, 1.0, 0.6, 0.0, 1.0/
```

```
      DATA RB / 0.0, 0.3, 0.8, 1.0, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0/
```

```
C
```

```
      DATA HL /0.0, 0.2, 0.4, 0.6, 1.0/
```

```
      DATA HR /0.0, 0.5, 1.0, 1.0, 1.0/
```

```
      DATA HG /0.0, 0.0, 0.5, 1.0, 1.0/
```

```
      DATA HB /0.0, 0.0, 0.0, 0.3, 1.0/
```

```
C
```

```
      DATA WL /0.0, 0.5, 0.5, 0.7, 0.7, 0.85, 0.85, 0.95, 0.95, 1.0/
```

```
      DATA WR /0.0, 1.0, 0.0, 0.0, 0.3, 0.8, 0.3, 1.0, 1.0, 1.0/
```

```
      DATA WG /0.0, 0.5, 0.4, 1.0, 0.0, 0.0, 0.2, 0.7, 1.0, 1.0/
```

```
      DATA WB /0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.4, 1.0, 0.0, 0.0, 0.95, 1.0/
```

```
C
```

```
      DATA AL /0.0, 0.1, 0.1, 0.2, 0.2, 0.3, 0.3, 0.4, 0.4, 0.5,
```



```

:          0.5, 0.6, 0.6, 0.7, 0.7, 0.8, 0.8, 0.9, 0.9, 1.0/
DATA AR /0.0, 0.0, 0.3, 0.3, 0.5, 0.5, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
:          0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0/
DATA AG /0.0, 0.0, 0.3, 0.3, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.8, 0.8,
:          0.6, 0.6, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 0.8, 0.8, 0.0, 0.0/
DATA AB /0.0, 0.0, 0.3, 0.3, 0.7, 0.7, 0.7, 0.7, 0.9, 0.9,
:          0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0, 0.0/
C
IF (TYPE.EQ.1) THEN
C
  -- gray scale
  CALL PGCTAB(GL, GR, GG, GB, 2, CONTRA, BRIGHT)
ELSE IF (TYPE.EQ.2) THEN
C
  -- rainbow
  CALL PGCTAB(RL, RR, RG, RB, 9, CONTRA, BRIGHT)
ELSE IF (TYPE.EQ.3) THEN
C
  -- heat
  CALL PGCTAB(HL, HR, HG, HB, 5, CONTRA, BRIGHT)
ELSE IF (TYPE.EQ.4) THEN
C
  -- weird IRAF
  CALL PGCTAB(WL, WR, WG, WB, 10, CONTRA, BRIGHT)
ELSE IF (TYPE.EQ.5) THEN
C
  -- AIPS
  CALL PGCTAB(AL, AR, AG, AB, 20, CONTRA, BRIGHT)
END IF
END

```

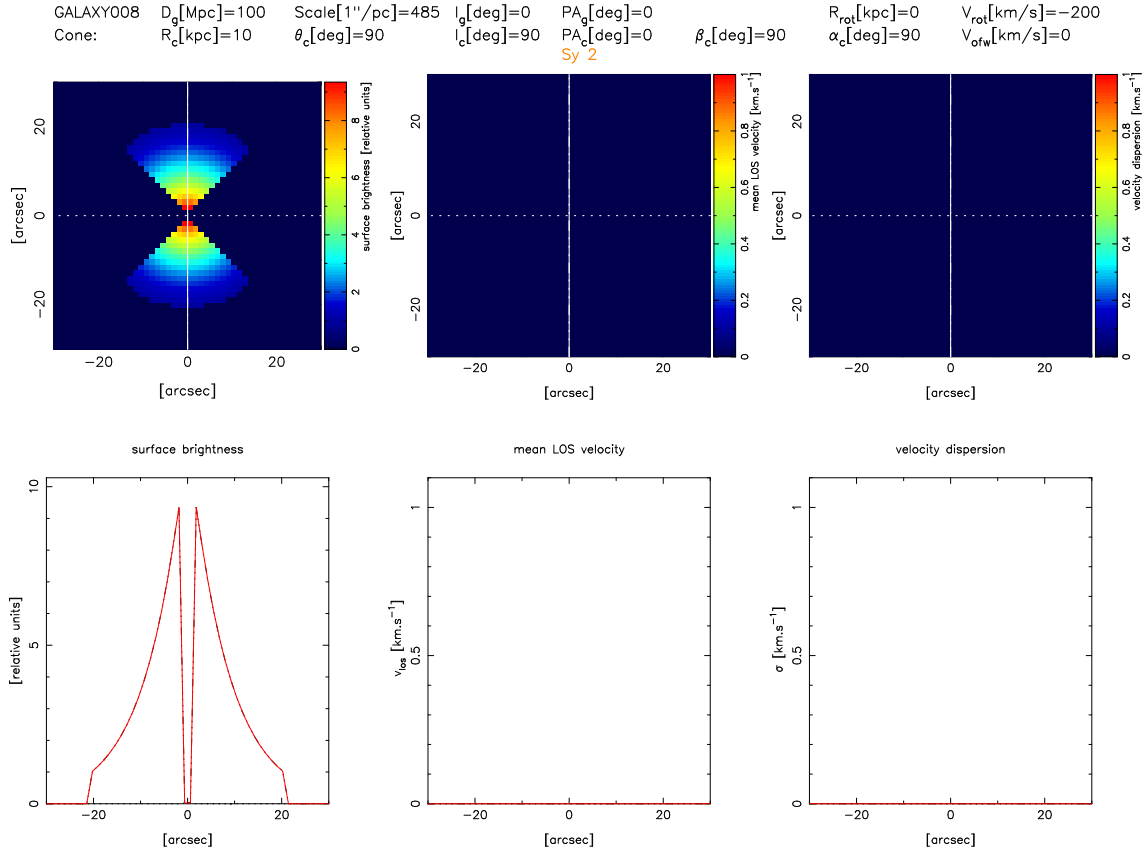
Dodatok B

Výstupy programov vfields a ChannelMaps

Legenda k prehľadu členenia	
opis modelu	stručný opis vytváraného modelu
SL/DE	lineárna sféra / exponenciálny disk - používané pri modelovaní
$FOV[arcsec]$	veľkosť zorného pola modelu
$I_g[^\circ]$	inklinácia galaxie (nulová pri pohľade zvrchu)
$v_{rot}[km.s^{-1}]$	rotácia galaxie (znamienko udáva smer, záporne pre kladný matematický zmysel)
IC	ionizačný kužeľ
$v_{ofw}[km.s^{-1}]$	rýchlosť pozdĺž osy ionizačného kužela
$\theta[^\circ]$	uhol otvorenia ionizačného kužela
$\beta[^\circ]$	uhol medzi normálou na rovinu galaxie a osou kužela
$\alpha[^\circ]$	natočenie ionizačného kužela v rovine galaxie x, y
model	názov modelu
sféra*	nerotujúca sféra s IC s rýchlosťou

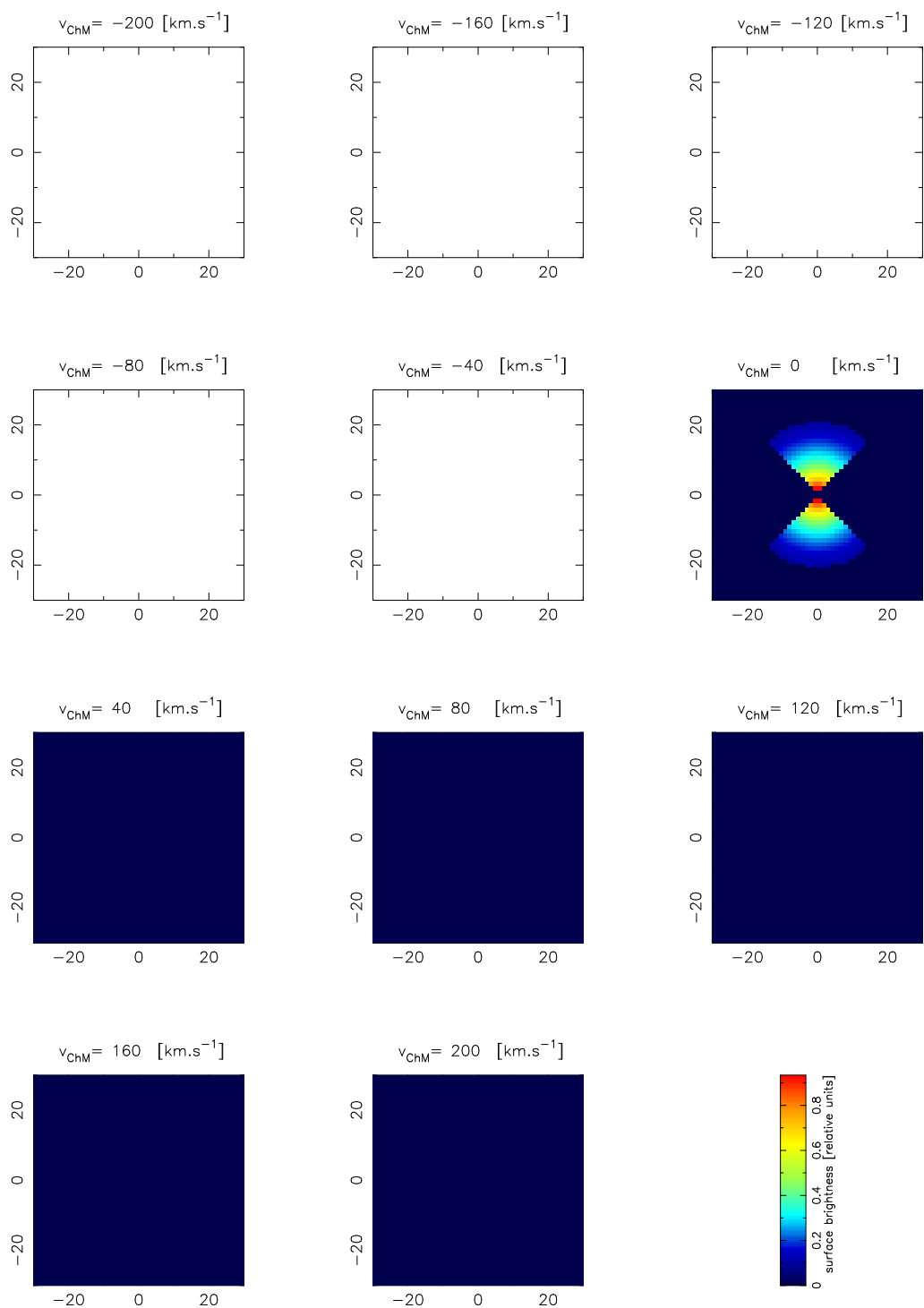
Tabuľka B.1: Prehľad členenia jednotlivých modelov

	opis modelu	SL/DE	FOV[arcsec]	I_g [°]	$v_{rot}[km.s^{-1}]$	IC	$v_{ofw}[km.s^{-1}]$	θ [°]	β [°]	α [°]	model	strana		
1	sféra*	SL	60	0	0	y	200	180	90	90	GALAXY001	58-59		
2	nerotujúca sféra s IC rýchlosťou	SL	60	0	0	y	200	90	90	90	GALAXY002	60-61		
		SL	60	45	0	y	200	90	90	90	GALAXY003	62-63		
		SL	60	90	0	y	200	90	90	90	GALAXY004	64-65		
		DE	60	0	-200	n	-	-	-	-	-	GALAXY005	66-67	
3	disk bez IC	DE	60	45	-200	n	-	-	-	-	GALAXY006	50,56		
		DE	60	90	-200	n	-	-	-	-	-	GALAXY007	68-69	
		DE	60	0	-200	y	0	90	90	90	90	GALAXY008	106-107	
4	rotujúci disk s IC bez rýchlosti	DE	60	0	-200	y	0	90	90	90	90	GALAXY009	108-109	
		DE	6	0	-200	y	0	90	90	0	0	GALAXY010	110-111	
		DE	60	45	-200	y	0	90	90	90	90	GALAXY012	112-113	
		DE	60	45	-200	y	0	90	90	90	0	GALAXY013	70-71	
		DE	6	45	-200	y	0	90	90	0	0	GALAXY014	72-73	
		DE	60	90	-200	y	0	90	90	90	90	GALAXY016	74-75	
		DE	60	90	-200	y	0	90	90	90	0	GALAXY017	114-115	
		DE	6	90	-200	y	0	90	90	0	0	GALAXY018	116-117	
5	rotujúci disk s IC s rýchlosťou	DE	60	0	-200	y	200	90	90	90	GALAXY020	118-119		
		DE	60	0	-200	y	200	90	90	0	0	GALAXY021	76-77	
		DE	6	0	-200	y	200	90	90	0	0	GALAXY022	78-79	
		DE	60	45	-200	y	200	90	90	90	90	GALAXY024	120-121	
		DE	60	45	-200	y	200	90	90	90	0	GALAXY025	122-123	
		DE	6	45	-200	y	200	90	90	0	0	GALAXY026	80-81	
		DE	60	90	-200	y	200	90	90	90	90	GALAXY028	124-125	
		DE	60	90	-200	y	200	90	90	90	0	0	GALAXY029	126-127
		DE	6	90	-200	y	200	90	90	0	0	GALAXY030	128-129	
		DE	60	0	0	y	200	90	90	90	90	GALAXY032	130-131	
		DE	60	0	0	y	200	90	90	90	0	GALAXY033	132-133	
		DE	6	0	0	y	200	90	90	0	0	GALAXY034	82-83	
6	nerotujúci disk s IC s rýchlosťou	DE	60	45	0	y	200	90	90	90	GALAXY036	84-85		
		DE	60	45	0	y	200	90	90	90	0	GALAXY037	134-135	
		DE	6	45	0	y	200	90	90	0	0	GALAXY038	51,57	
		DE	60	90	0	y	200	90	90	90	90	GALAXY040	136-137	
		DE	60	90	0	y	200	90	90	90	0	GALAXY041	138-139	
		DE	6	90	0	y	200	90	90	0	0	GALAXY042	86-87	

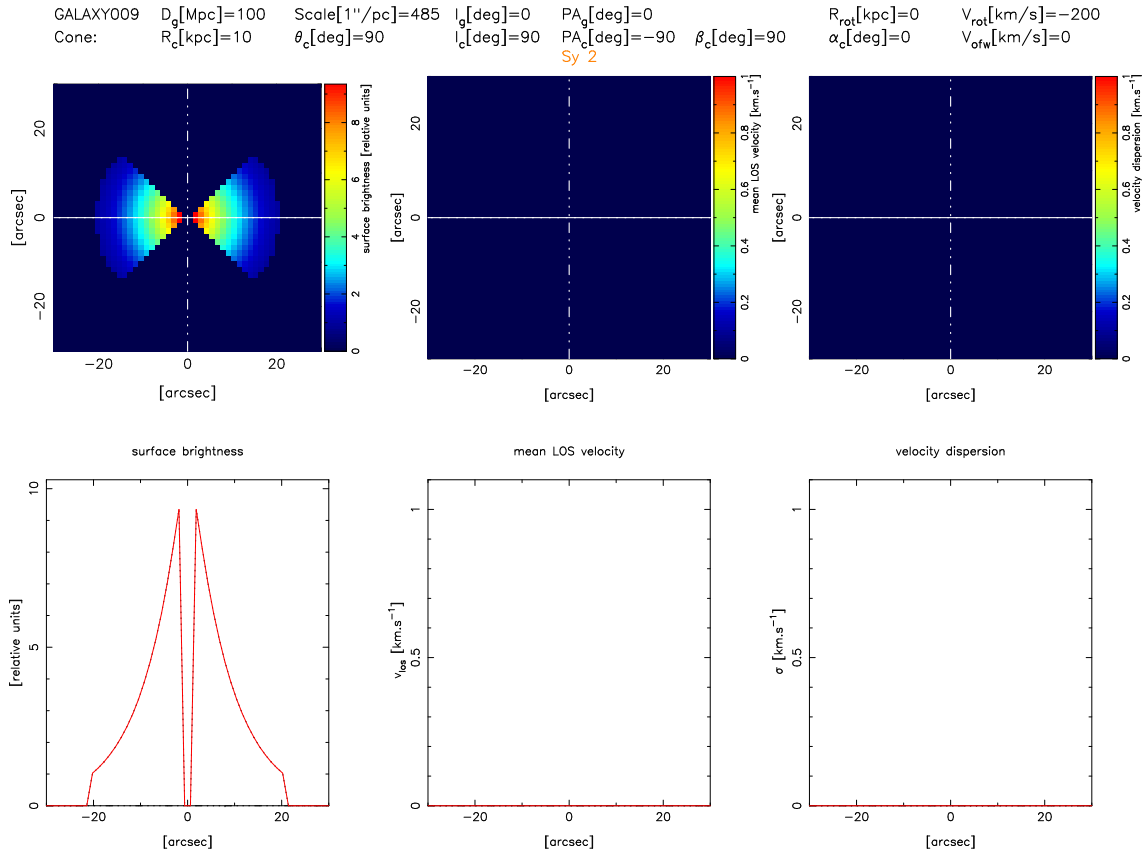


Obrázok B.1: Výstup programu vfields pre model GALAXY008.

Jedná sa o model rotujúcej galaxie s ($v_{\text{rot}} = -200 \text{ km.s}^{-1}$), v ktorej je prítomný outflow s nulovou rýchlosťou ($v_{\text{ofw}} = 0 \text{ km.s}^{-1}$). Inklinácia galaxie je nulová, inklinácia outflowu má hodnotu $I_c = 90^\circ$. Na galaxiu hľadíme kolmo, z -tová zložka rýchlosti je nulová a teda neprejaví sa v rýchlostných grafoch. Rýchlosť ionizačného kužela je tiež nulová a neprejaví sa v rýchlostných grafoch. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 2. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Zorné pole je $FOV = 60[\text{arcsec}]$.

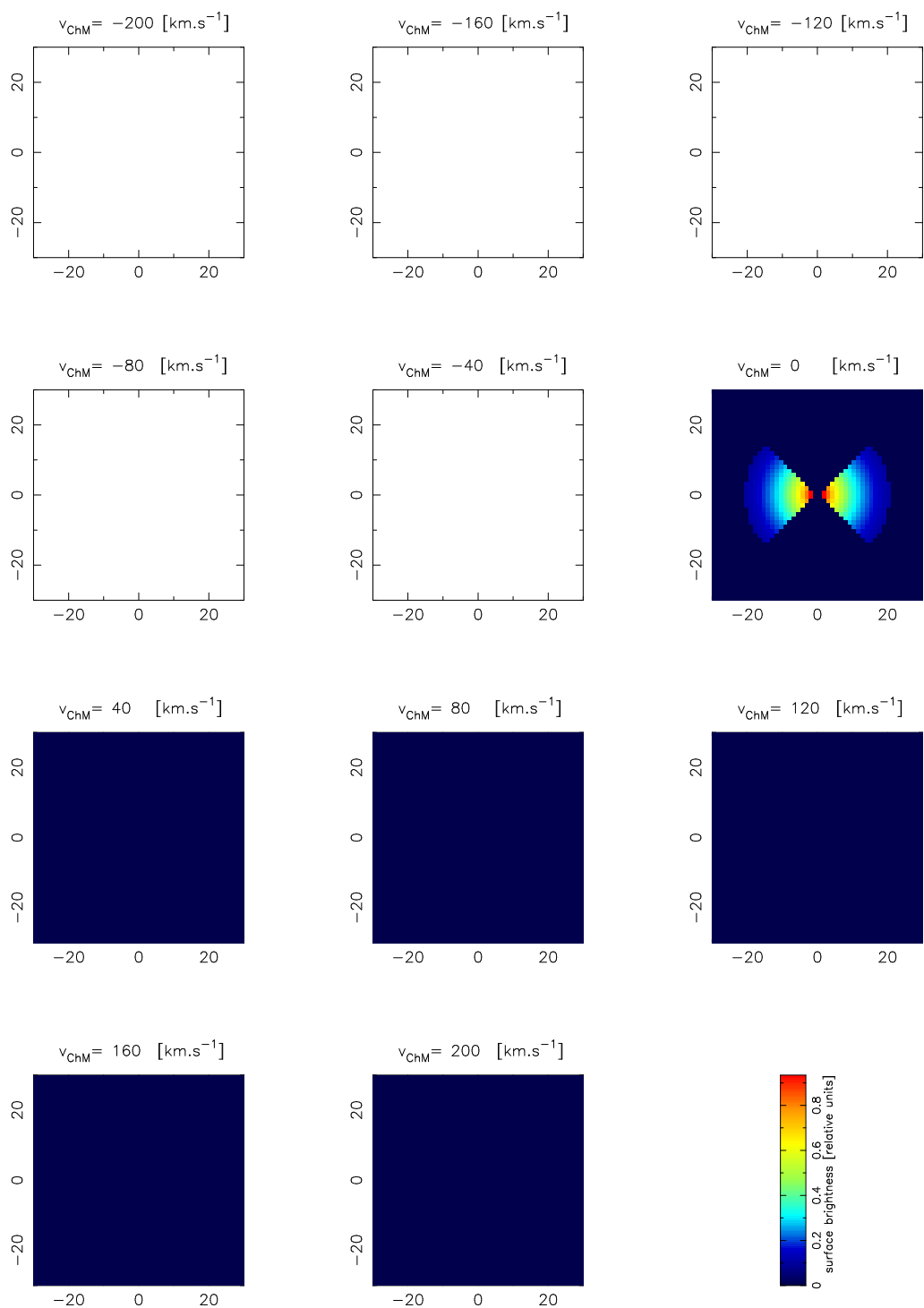


Obrázok B.2: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY008. Plošná intezita sa prejavuje len pri nulových hodnotách centrálnej rýchlosti kanálovej mapy v_{ChM} .



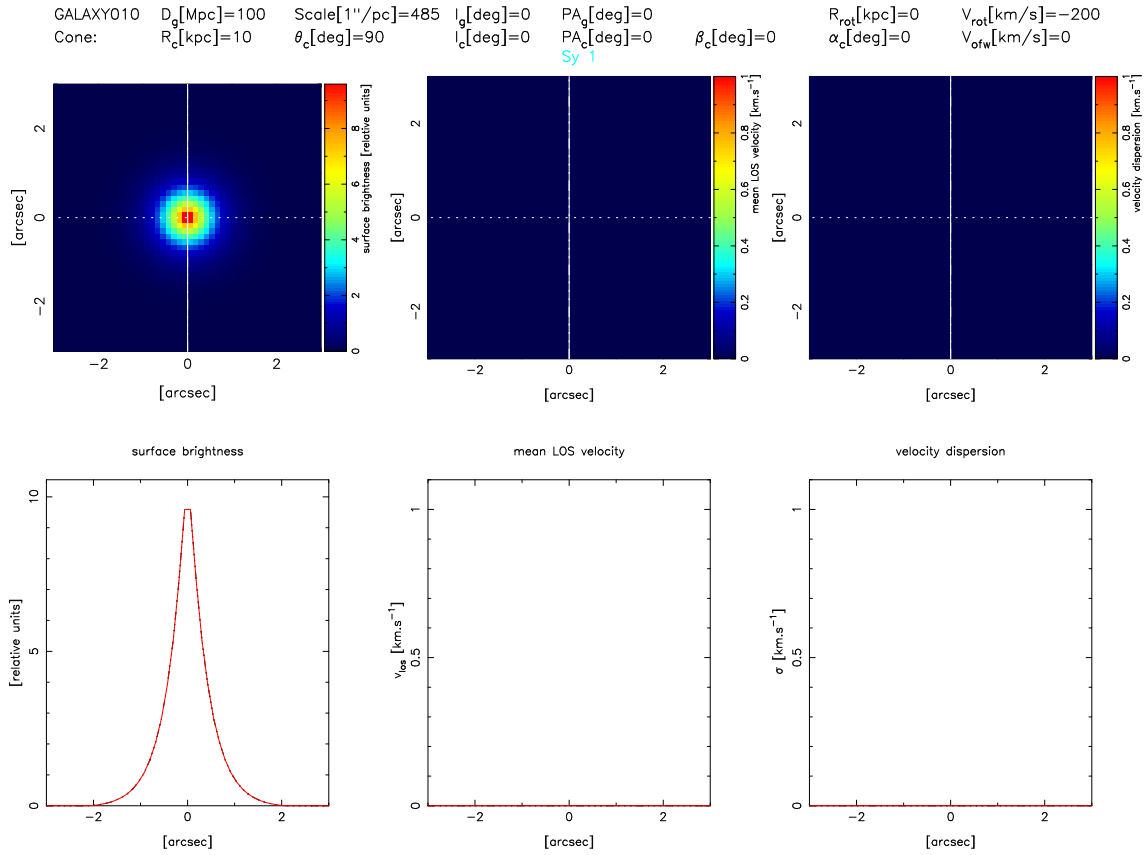
Obrázok B.3: Výstup programu vfields pre model GALAXY009.

Podobný model ako GALAXY008, rozdielne je natočenie osy kužela voči galaxii, $\alpha = 0^\circ$, sklon osy kužela voči normále k rovine galaxie x,y je nezmenený $\beta = 90^\circ$. Rozdielny je aj pozičný uhol kužela $PA_c = -90^\circ$. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 2. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Zorné pole je $FOV = 60[\text{arcsec}]$.



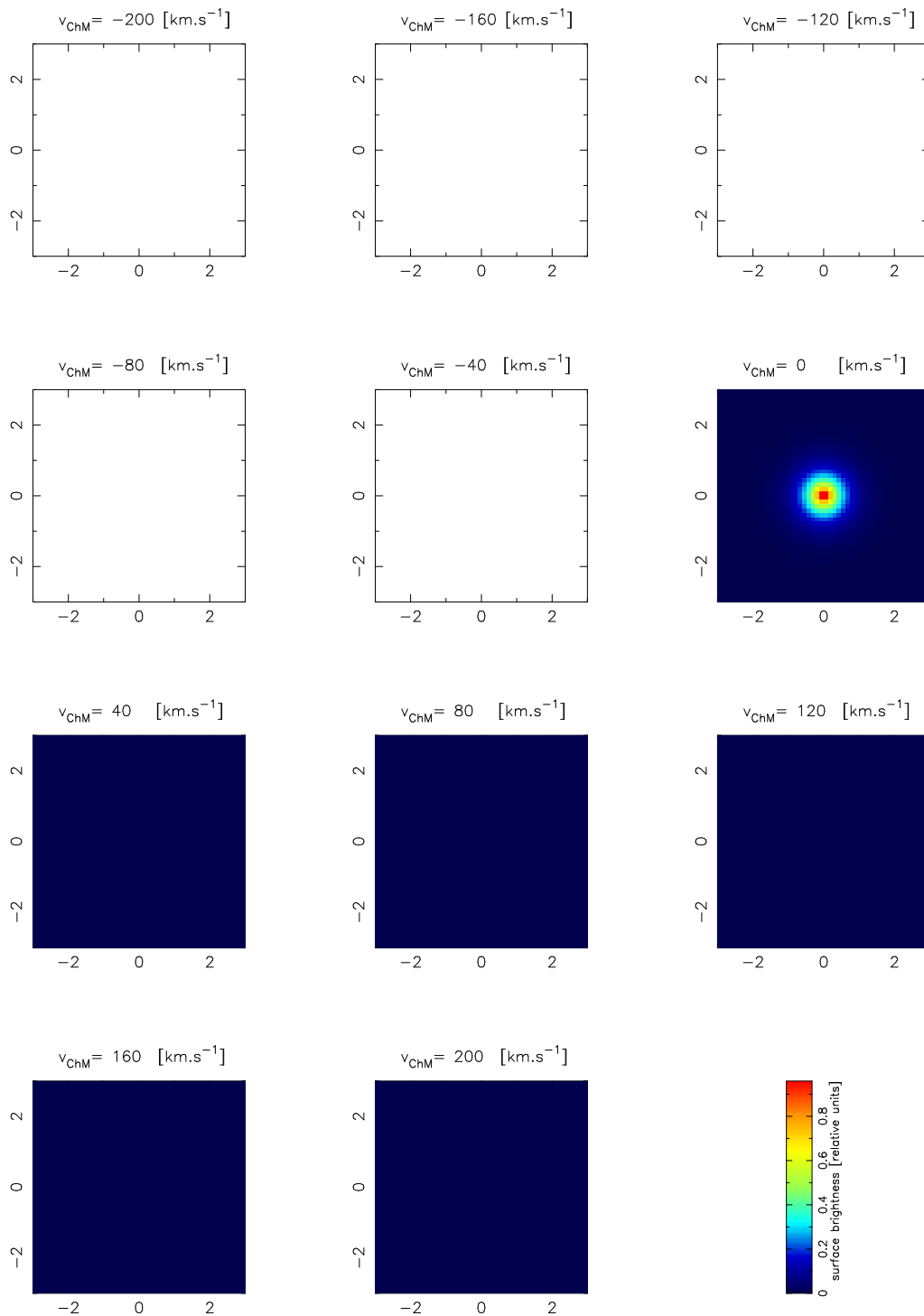
Obrázok B.4: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY009.

Rovnaká situácia ako pri kanálových mapách modelu GALAXY008. Zmena je len v uhle natočenia osy kužela voči osám galaxie x, y .

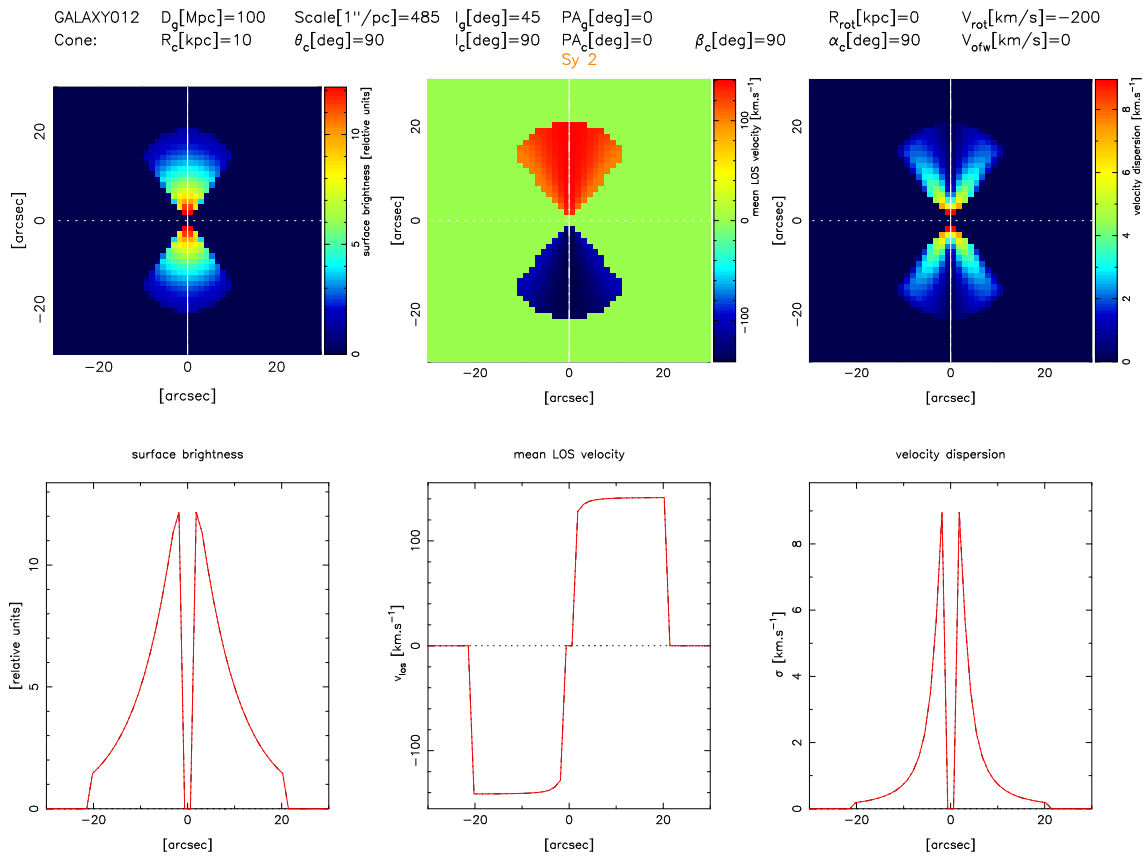


Obrázok B.5: Výstup programu vfields pre model GALAXY010.

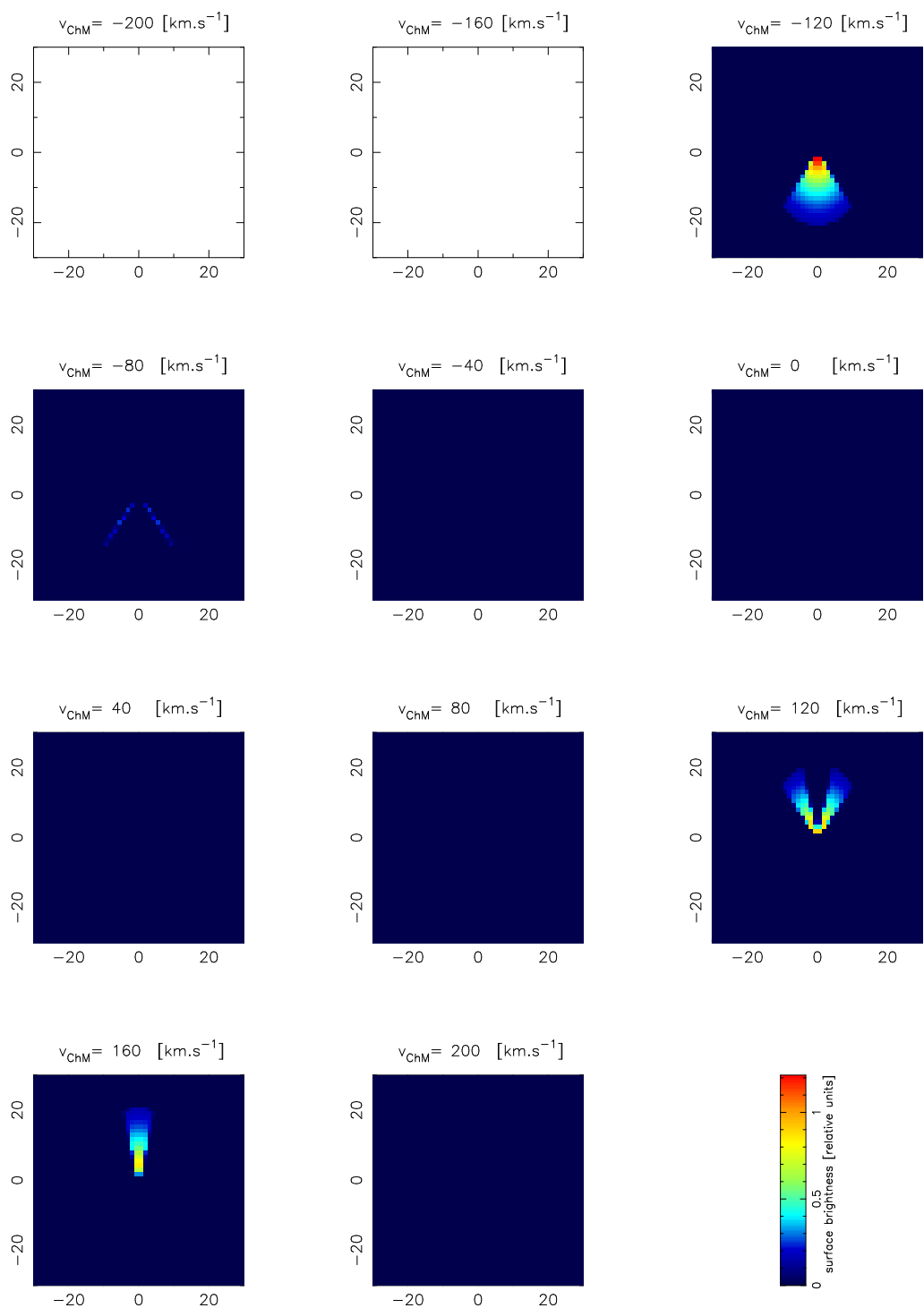
Podobná situácia ako pri modeli GALAXY009, pričom došlo k zmene uhlu náklonu kužela - uhlu medzi osou kužela a normálou na rovinu galaxie $\alpha = 0^\circ$. Natočenie osy $\beta = 90^\circ$ kužela voči osám galaxie x, y sa nemenilo, ale keďže sa pozeráme v smere osy kužela, nebola by zmena viditeľná. Model zodpovedá galaxii typu Seyfert 2. Pri modelovaní sa využil exponenciálny disk. Hodnota zorného pola bola zmenšená nakoľko mal model malé uhlové rozmery $FOV = 6[\text{arcsec}]$.



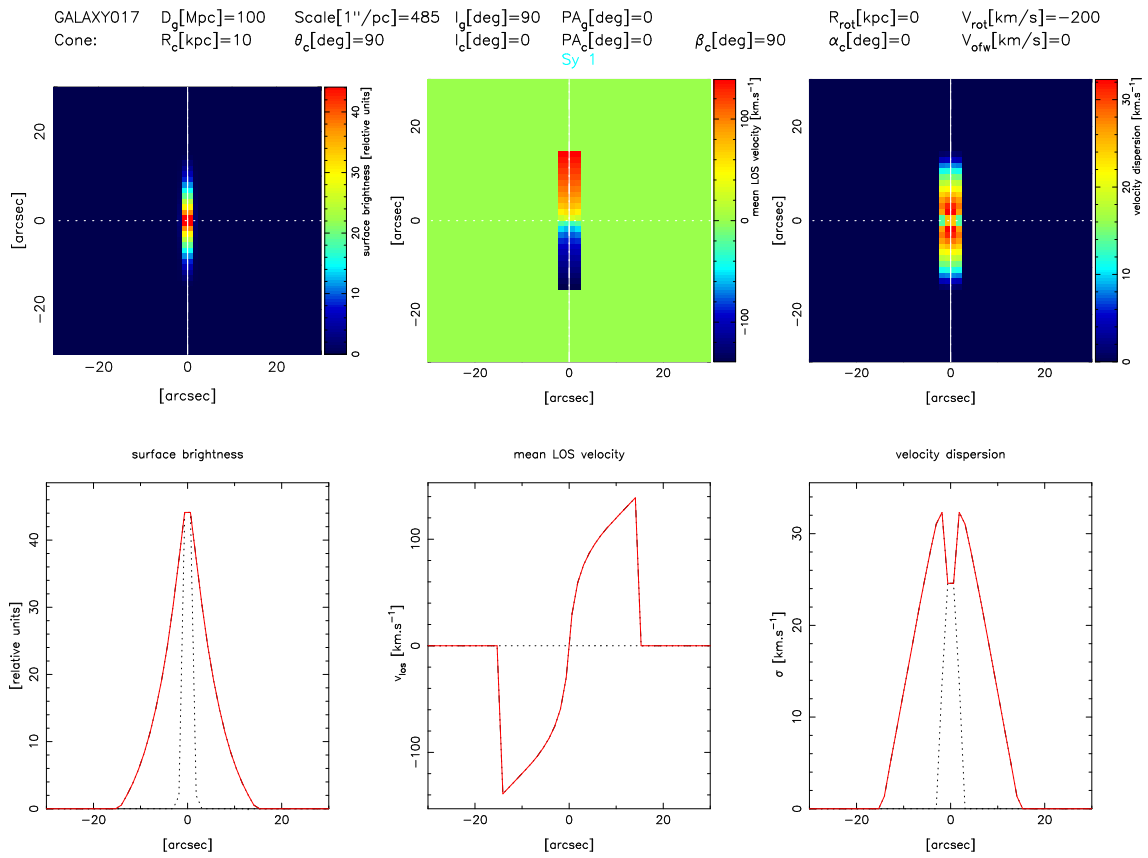
Obrázok B.6: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY010. Rovnaká situácia ako pri kanálových mapách modelu GALAXY008. Zmena je len v uhle náklonu osy kužela voči normále na rovinu galaxie x,y .



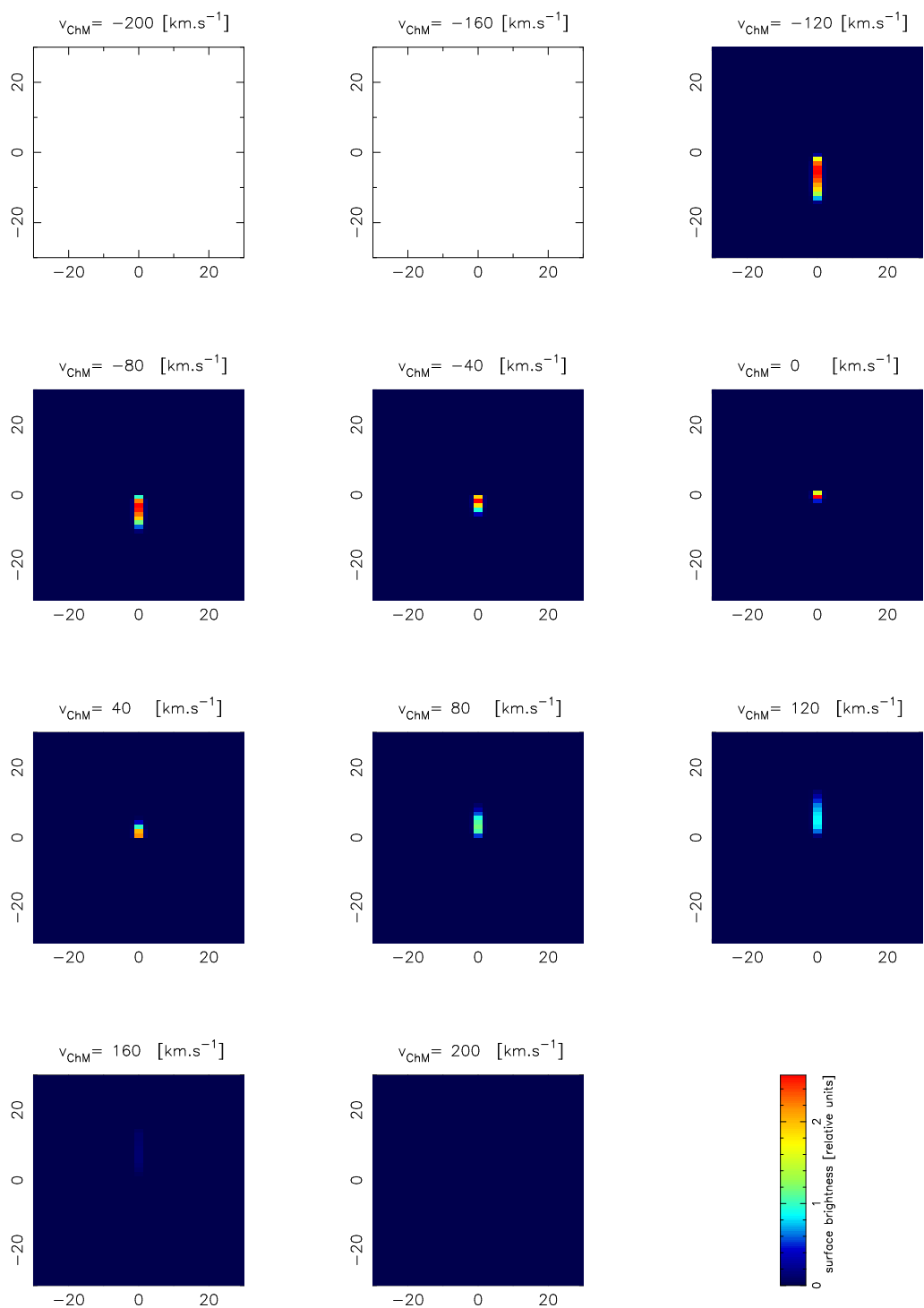
Obrázok B.7: Výstup programu vfields pre model GALAXY012.



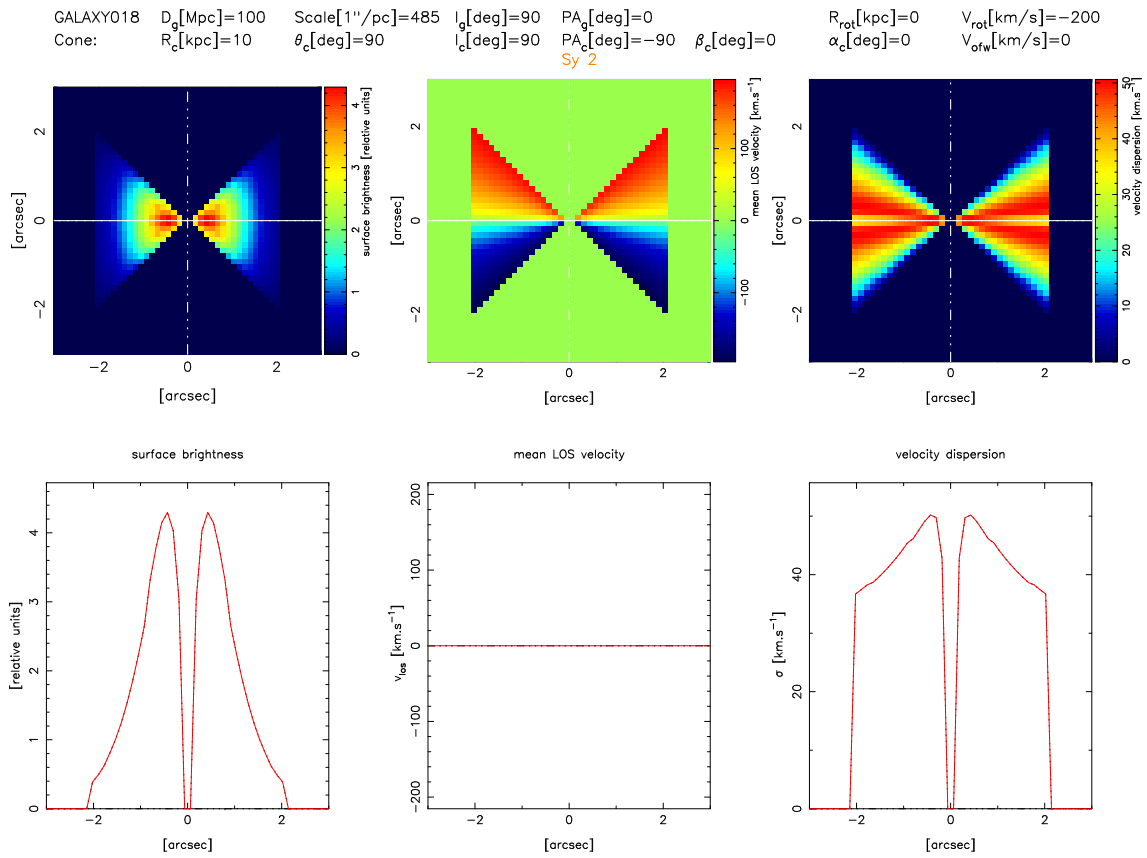
Obrázok B.8: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY012.



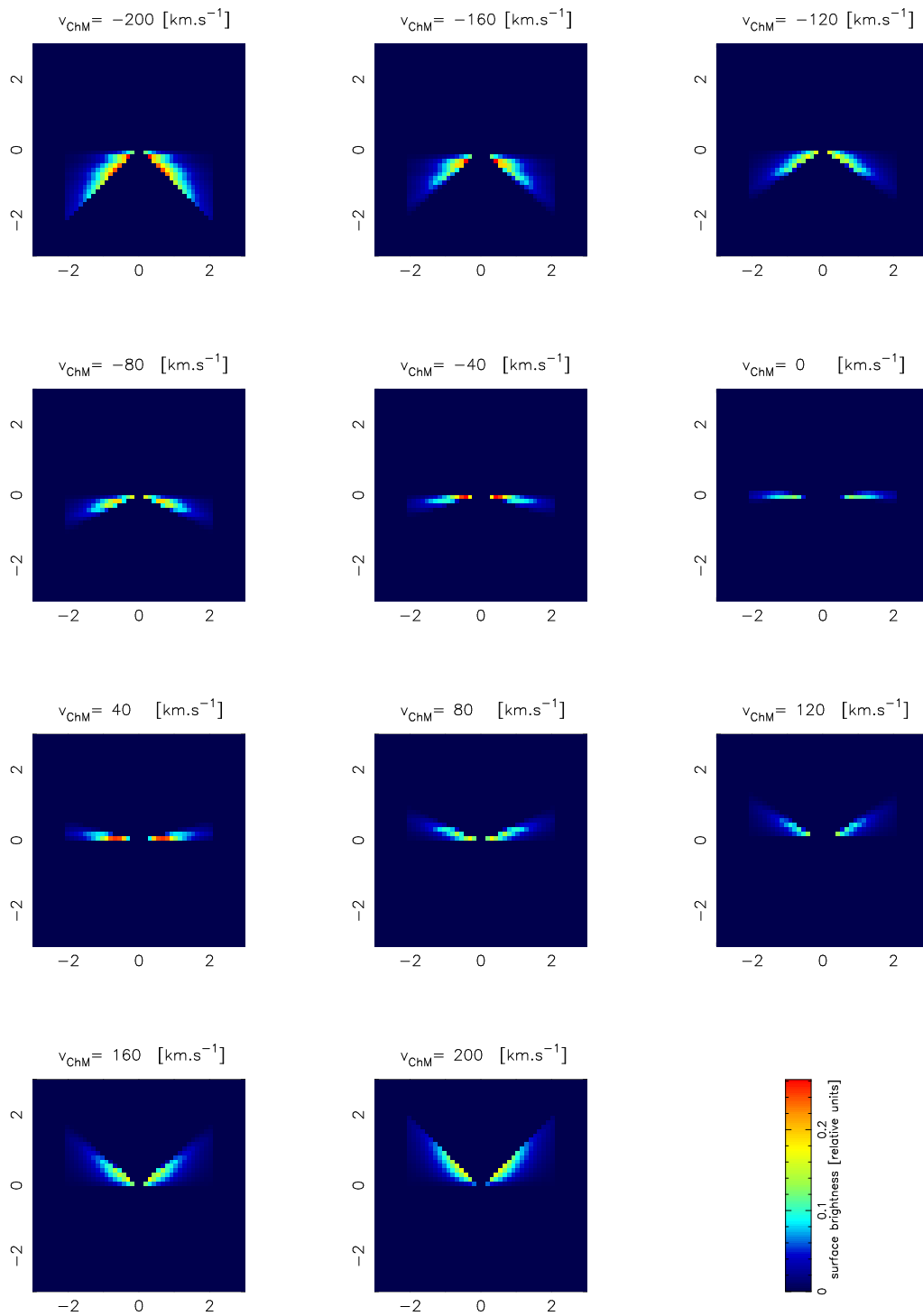
Obrázok B.9: Výstup programu vfields pre model GALAXY017.



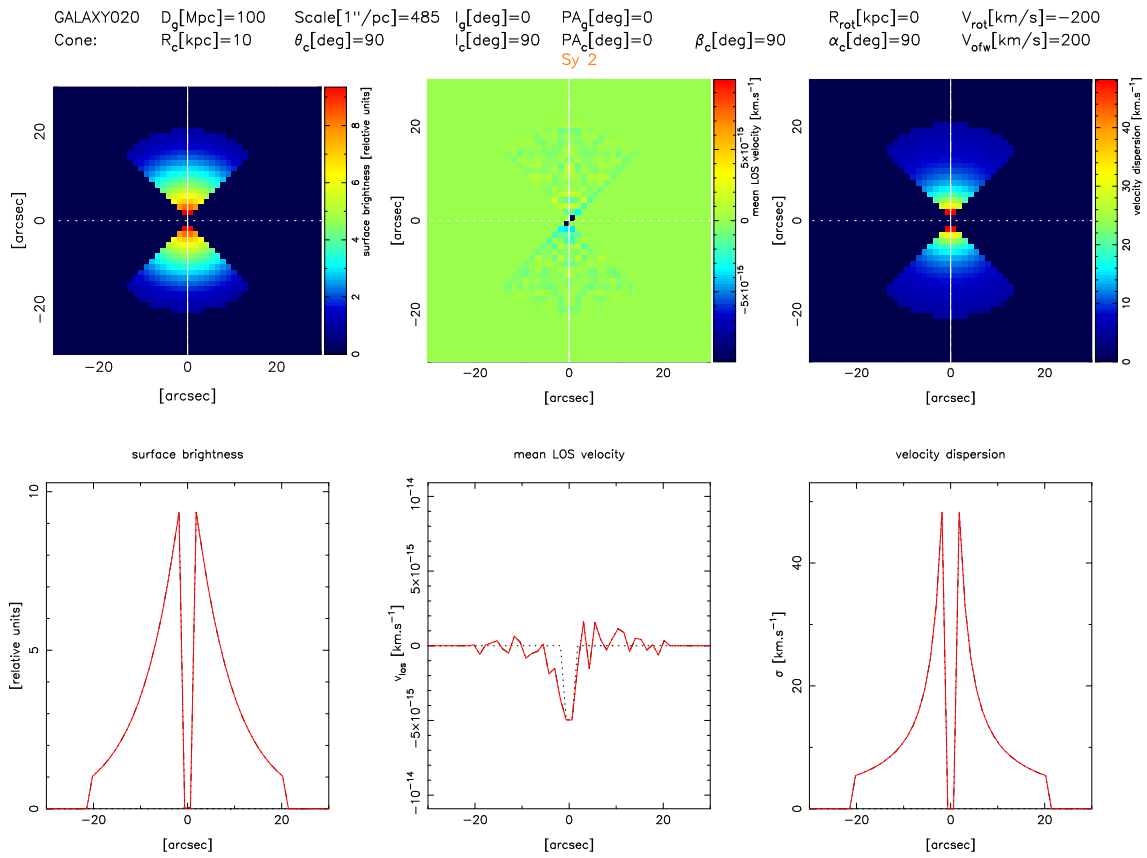
Obrázok B.10: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY017.



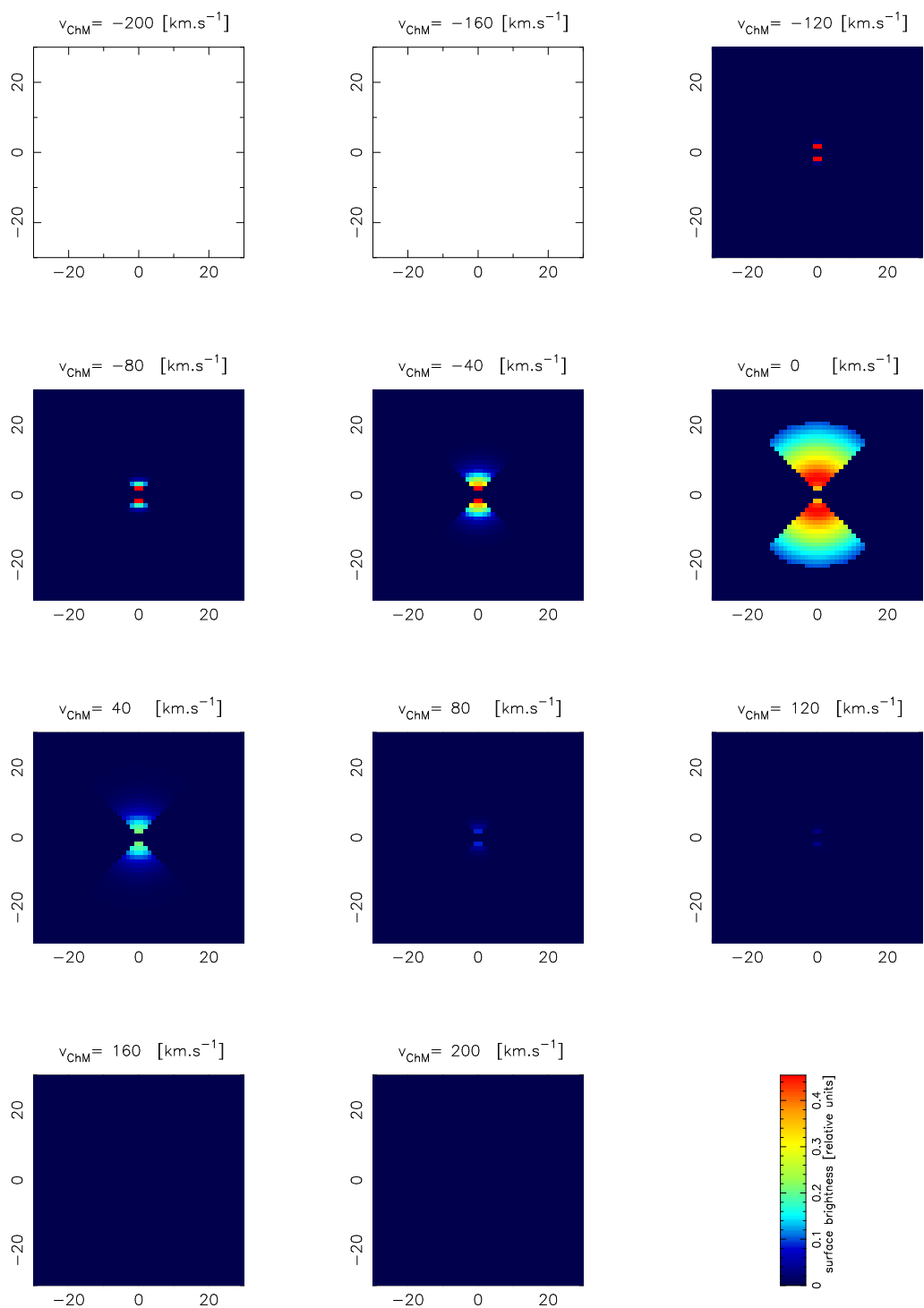
Obrázok B.11: Výstup programu `vfields` pre model `GALAXY018`.



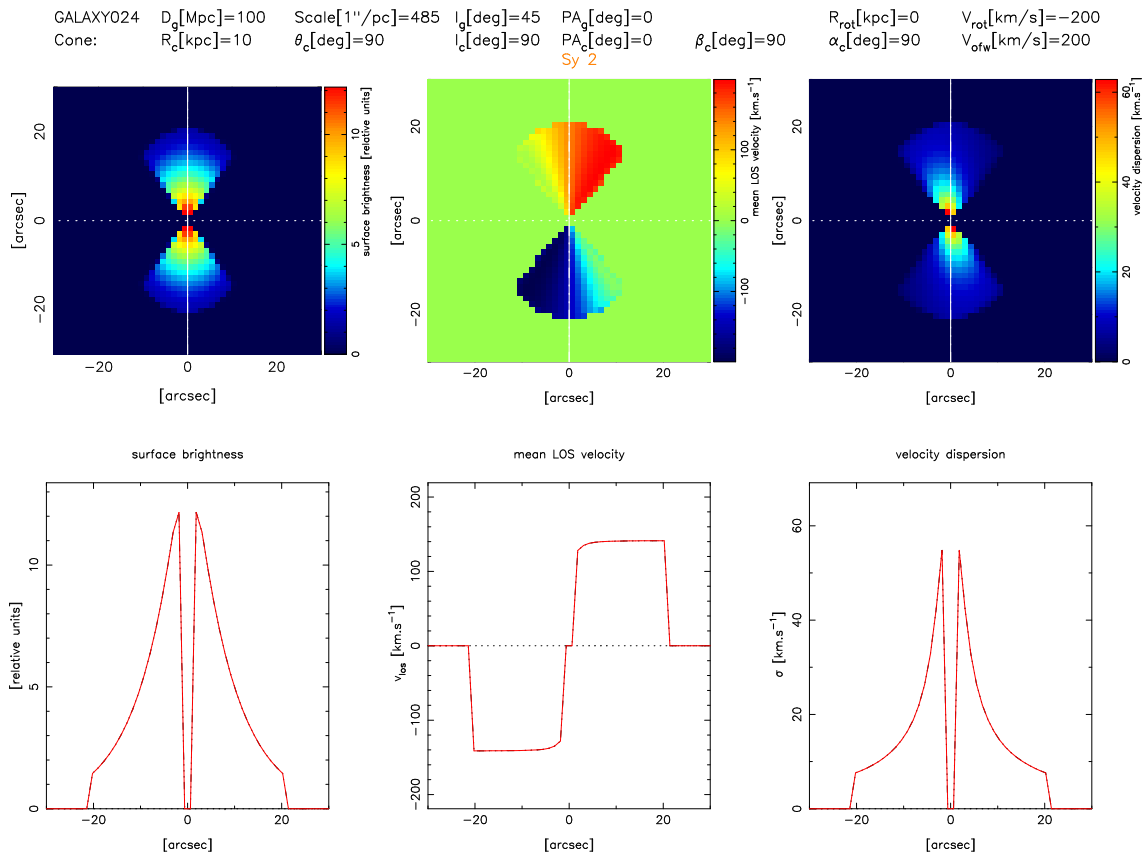
Obrázok B.12: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY018.



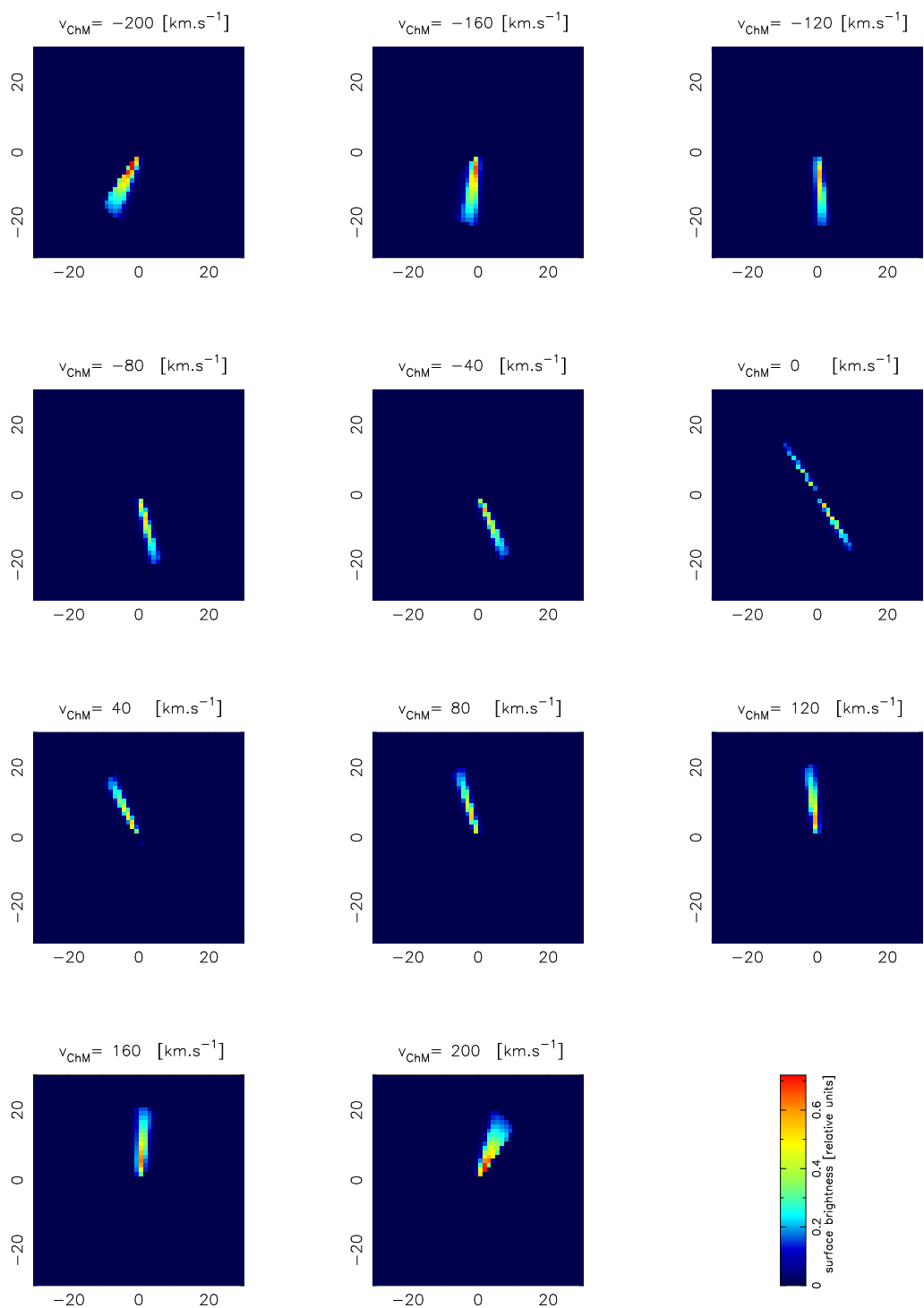
Obrázok B.13: Výstup programu `vfields` pre model `GALAXY020`.



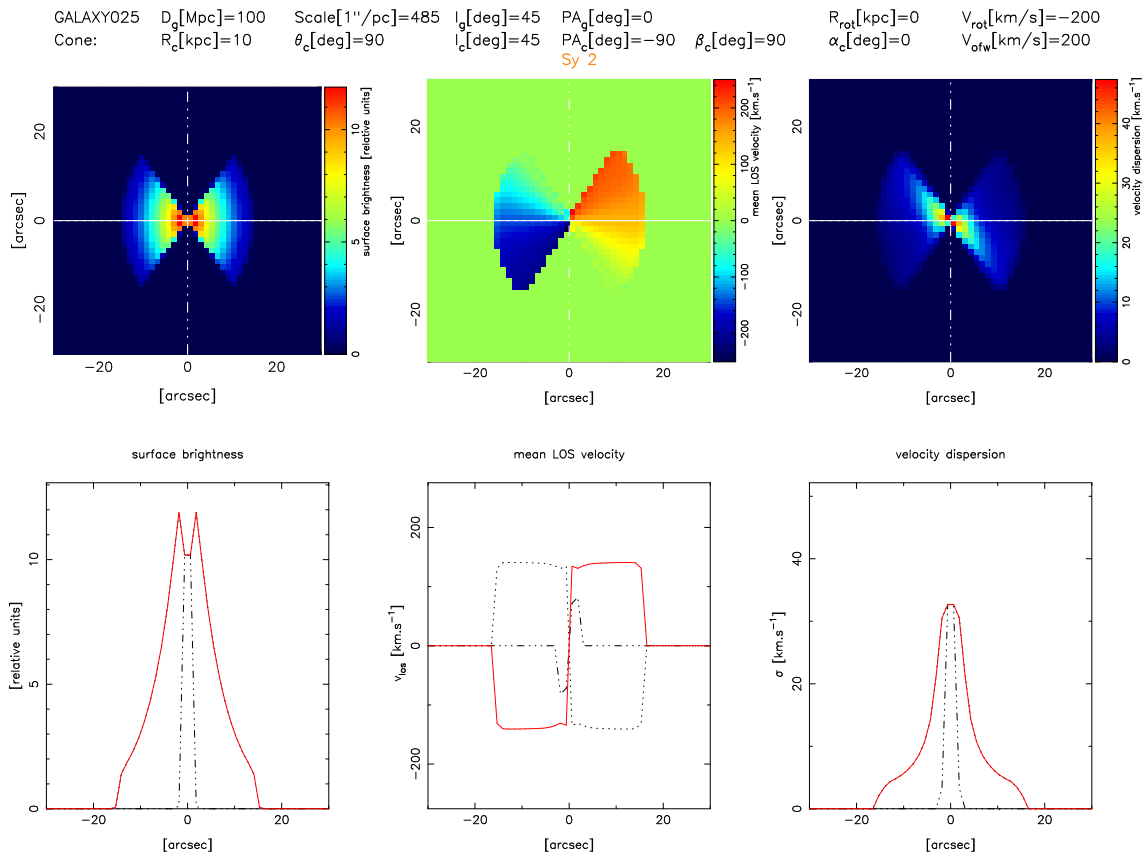
Obrázok B.14: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY020.



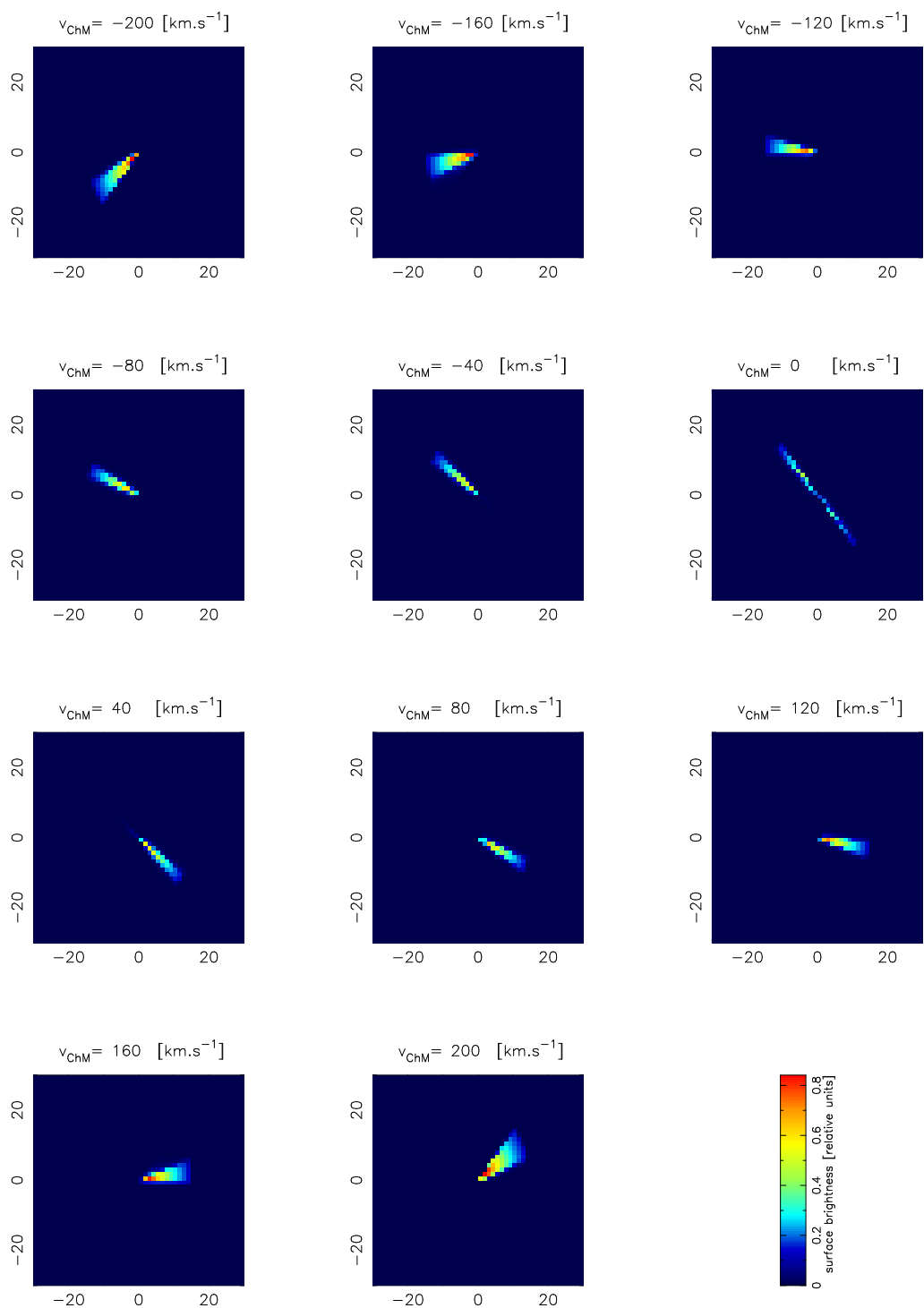
Obrázok B.15: Výstup programu vfields pre model GALAXY024.



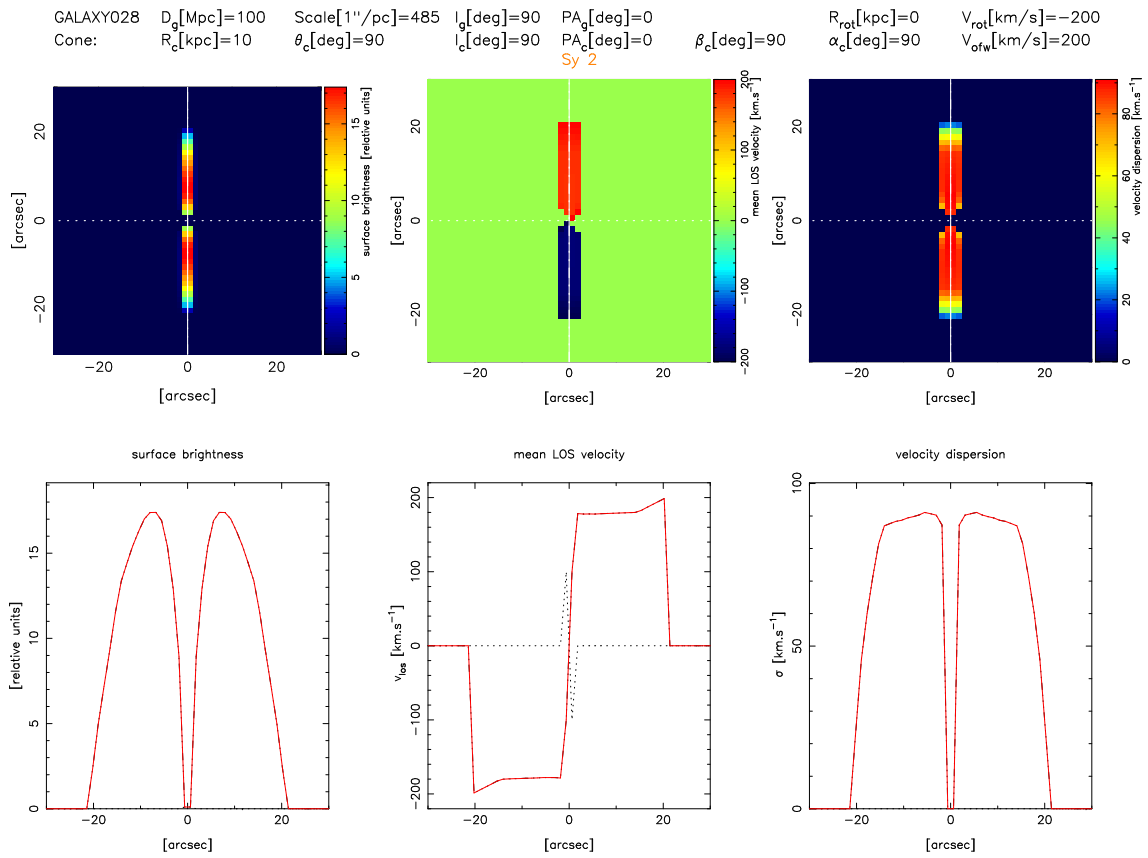
Obrázok B.16: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY024.



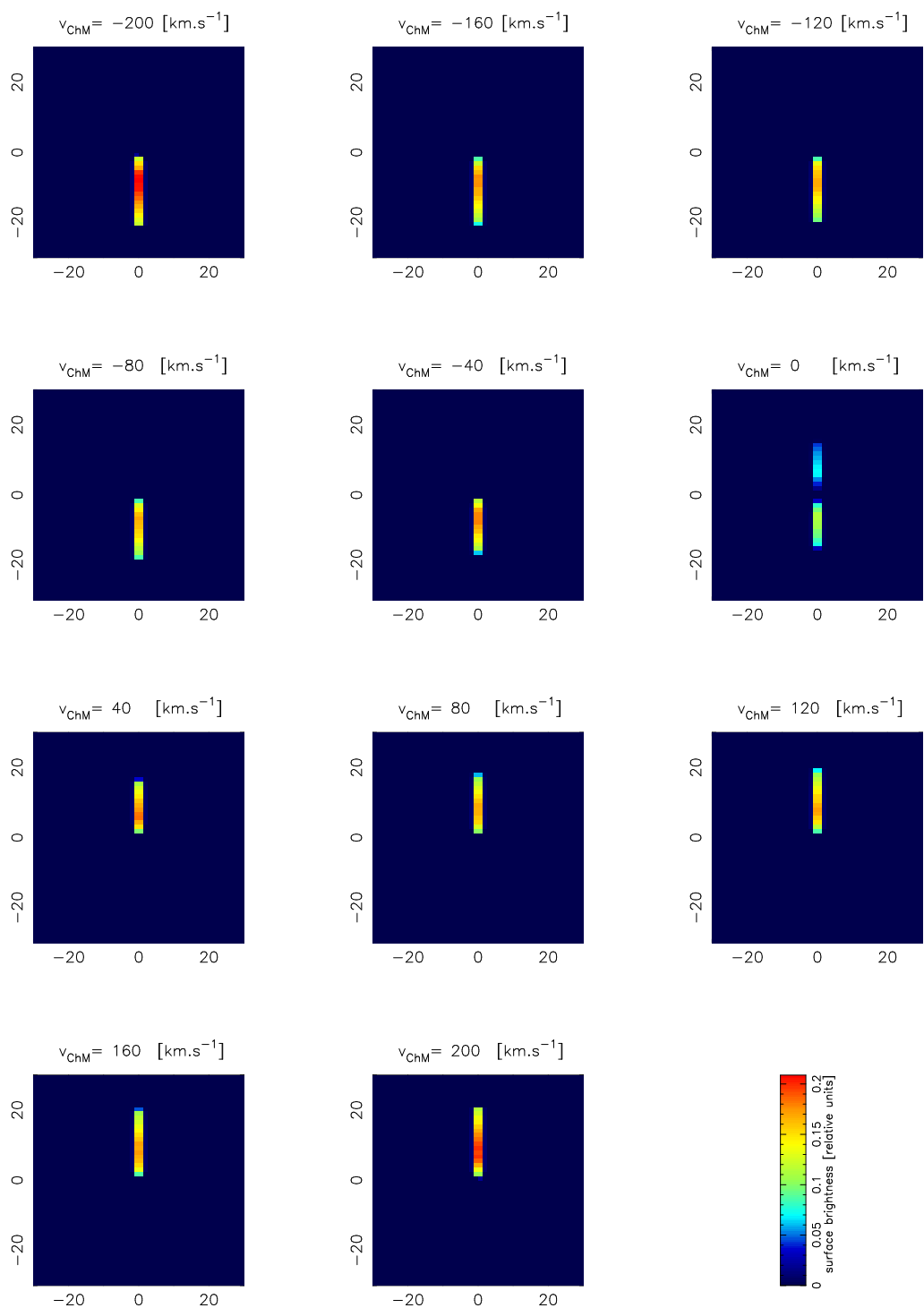
Obrázok B.17: Výstup programu `vfields` pre model `GALAXY025`.



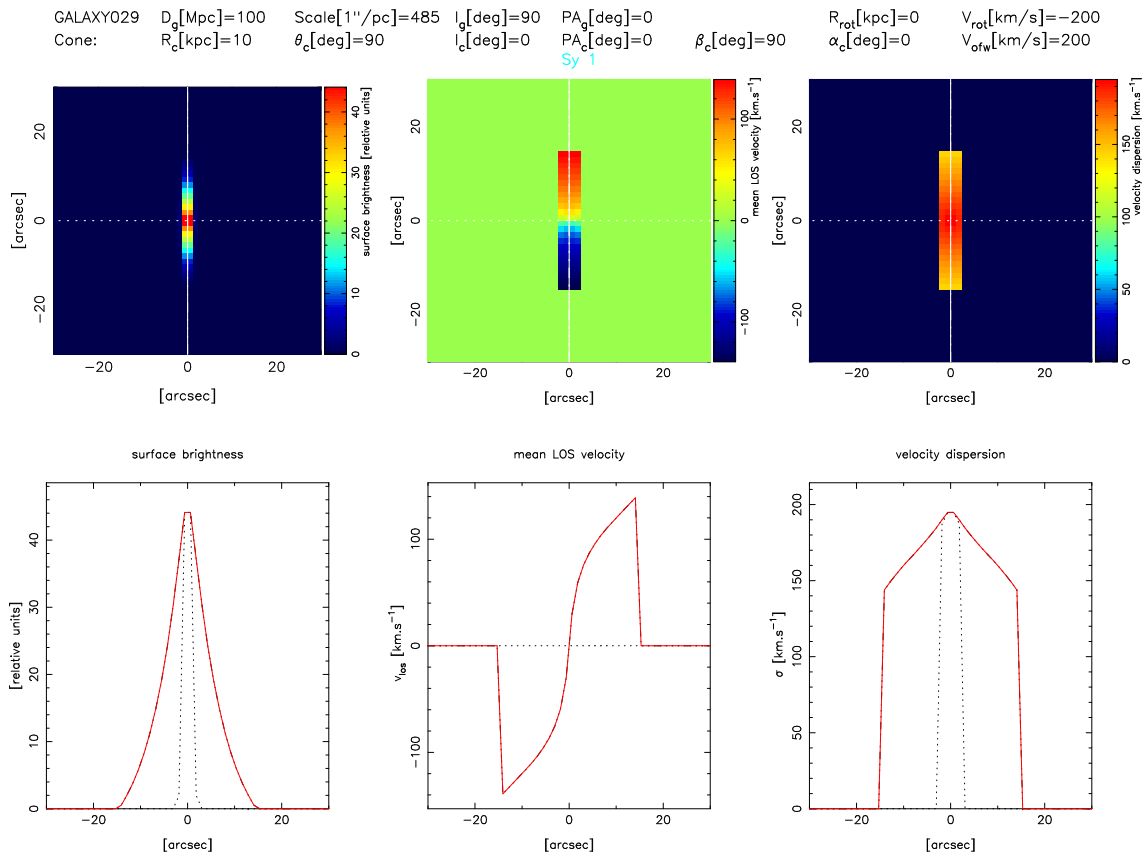
Obrázok B.18: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY025.



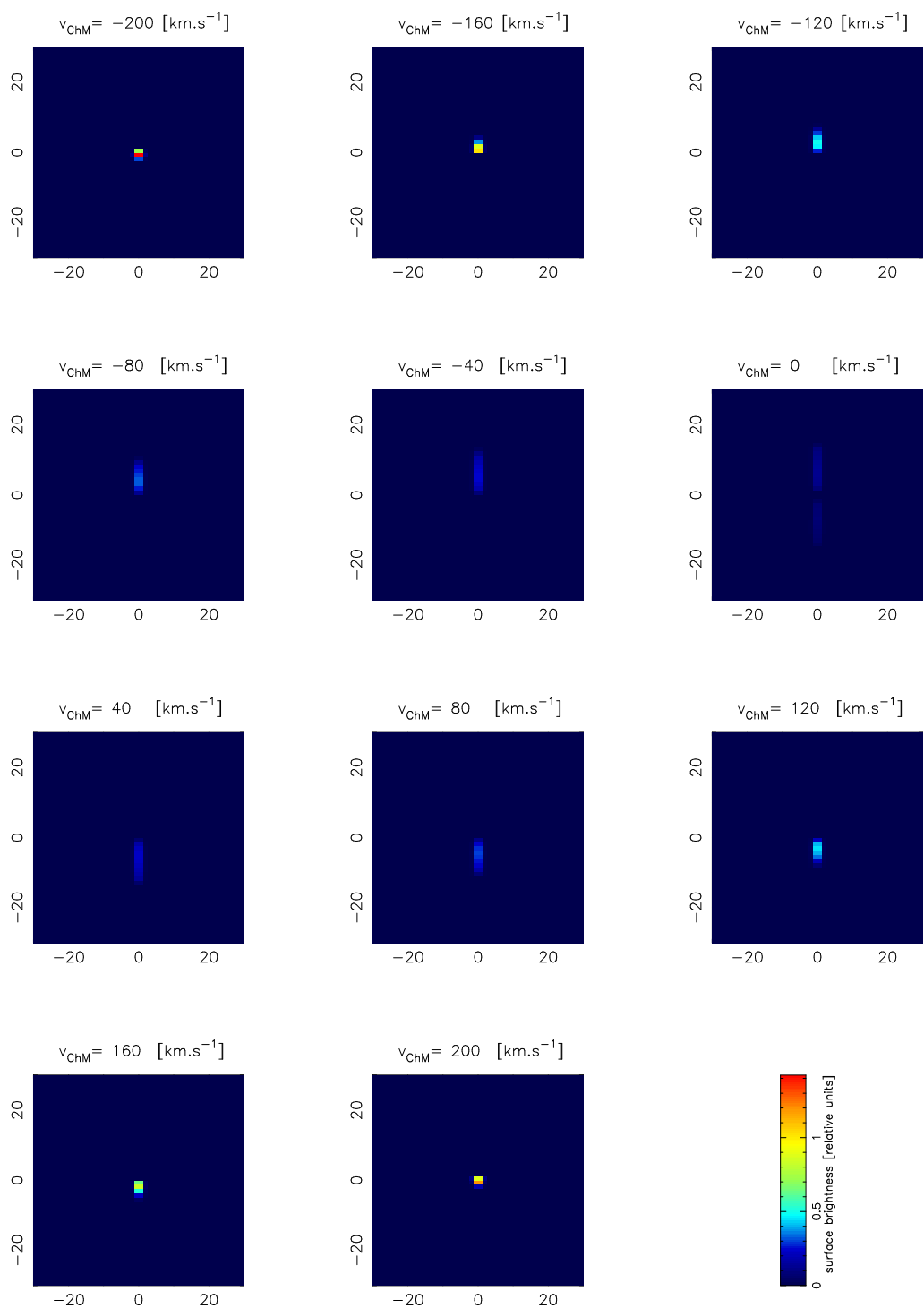
Obrázok B.19: Výstup programu vfields pre model GALAXY028.



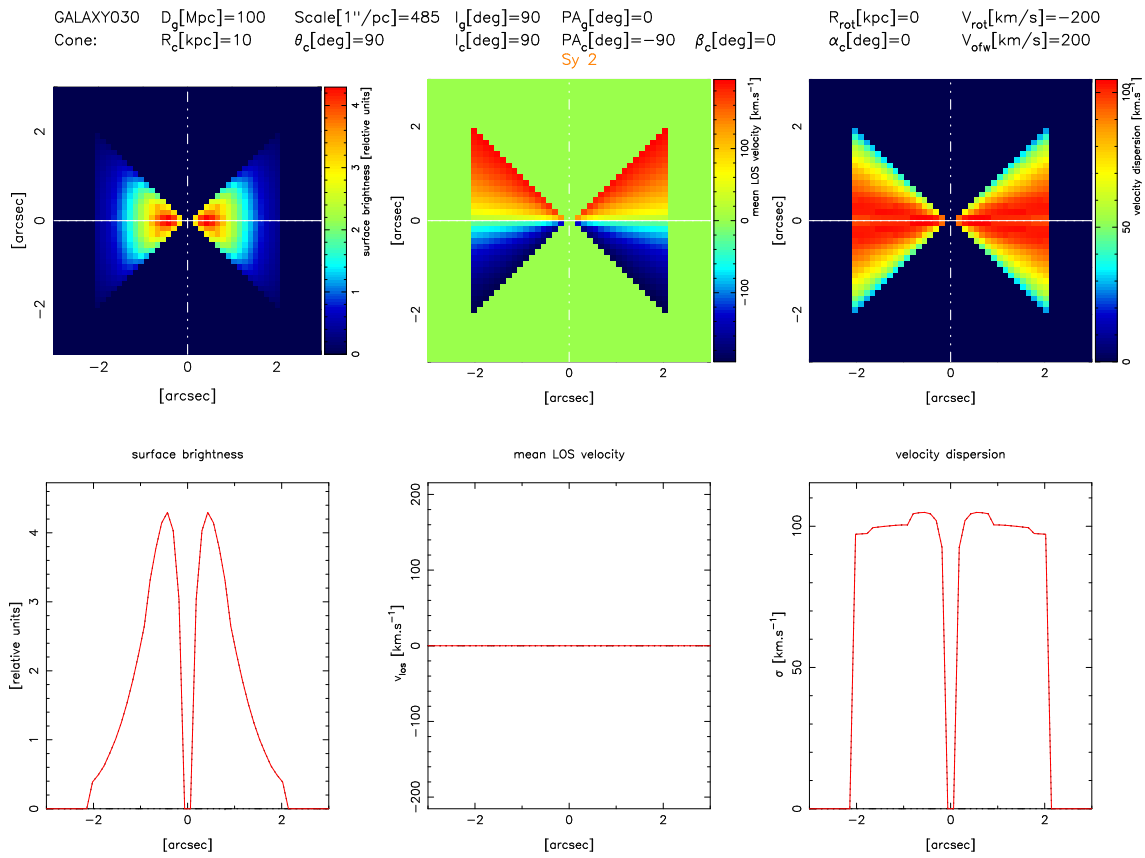
Obrázok B.20: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY028.



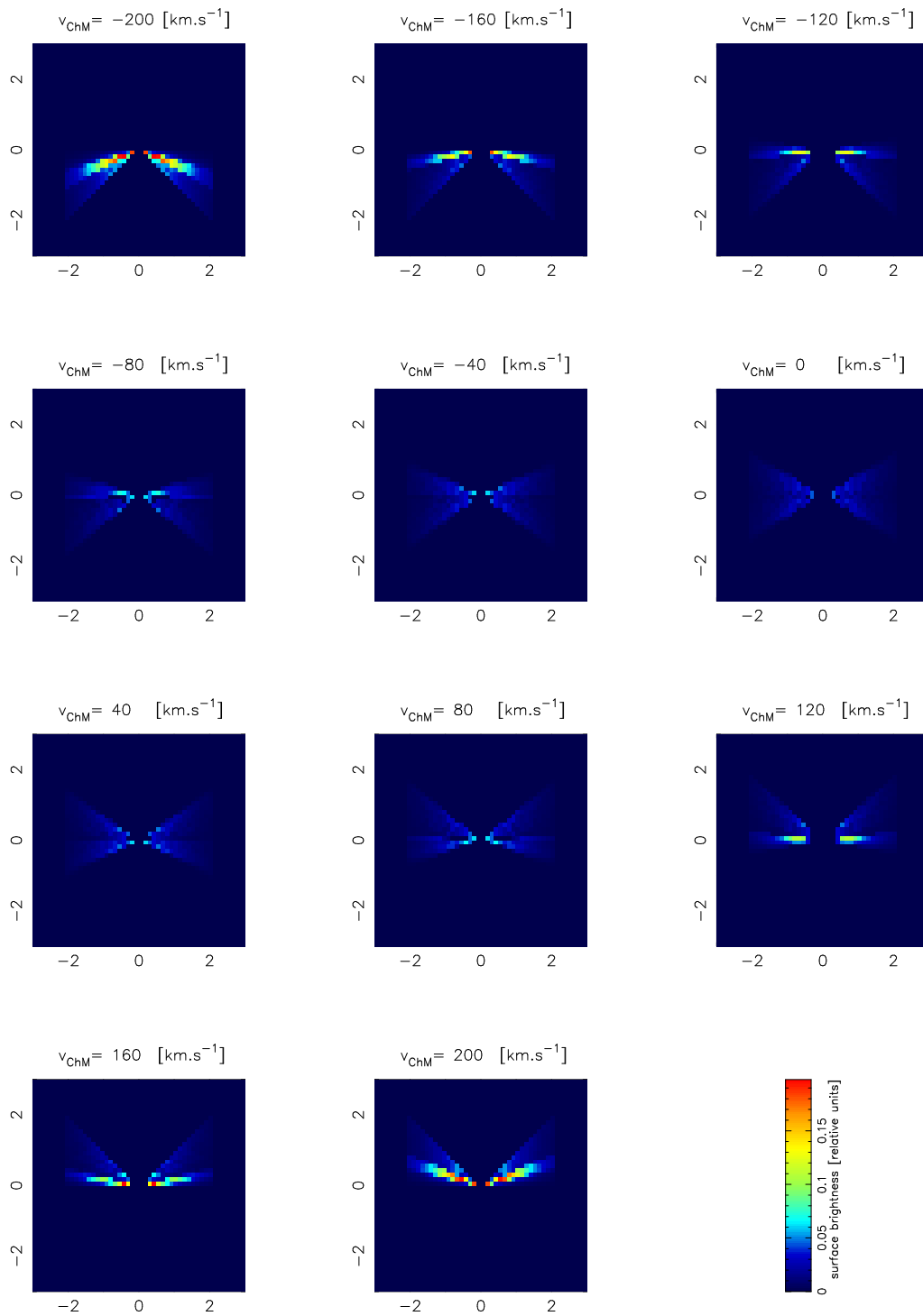
Obrázok B.21: Výstup programu vfields pre model GALAXY029.



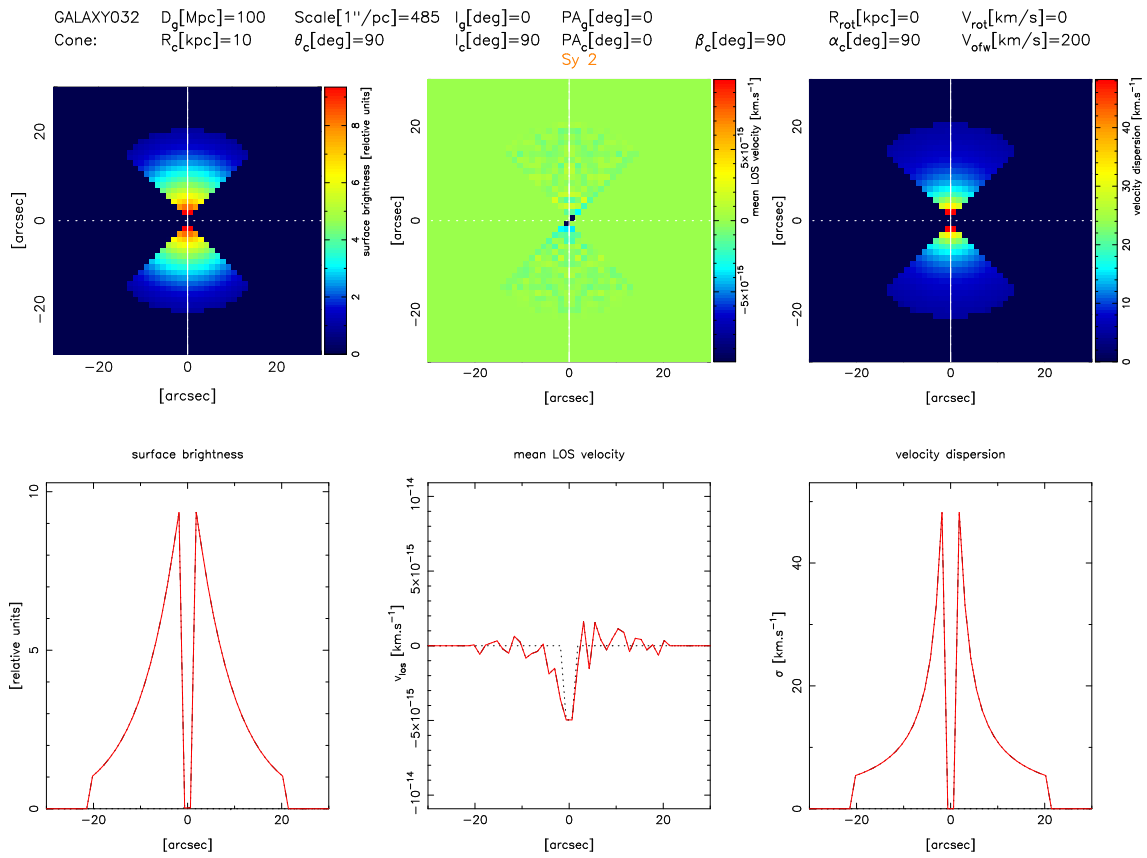
Obrázok B.22: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY029.



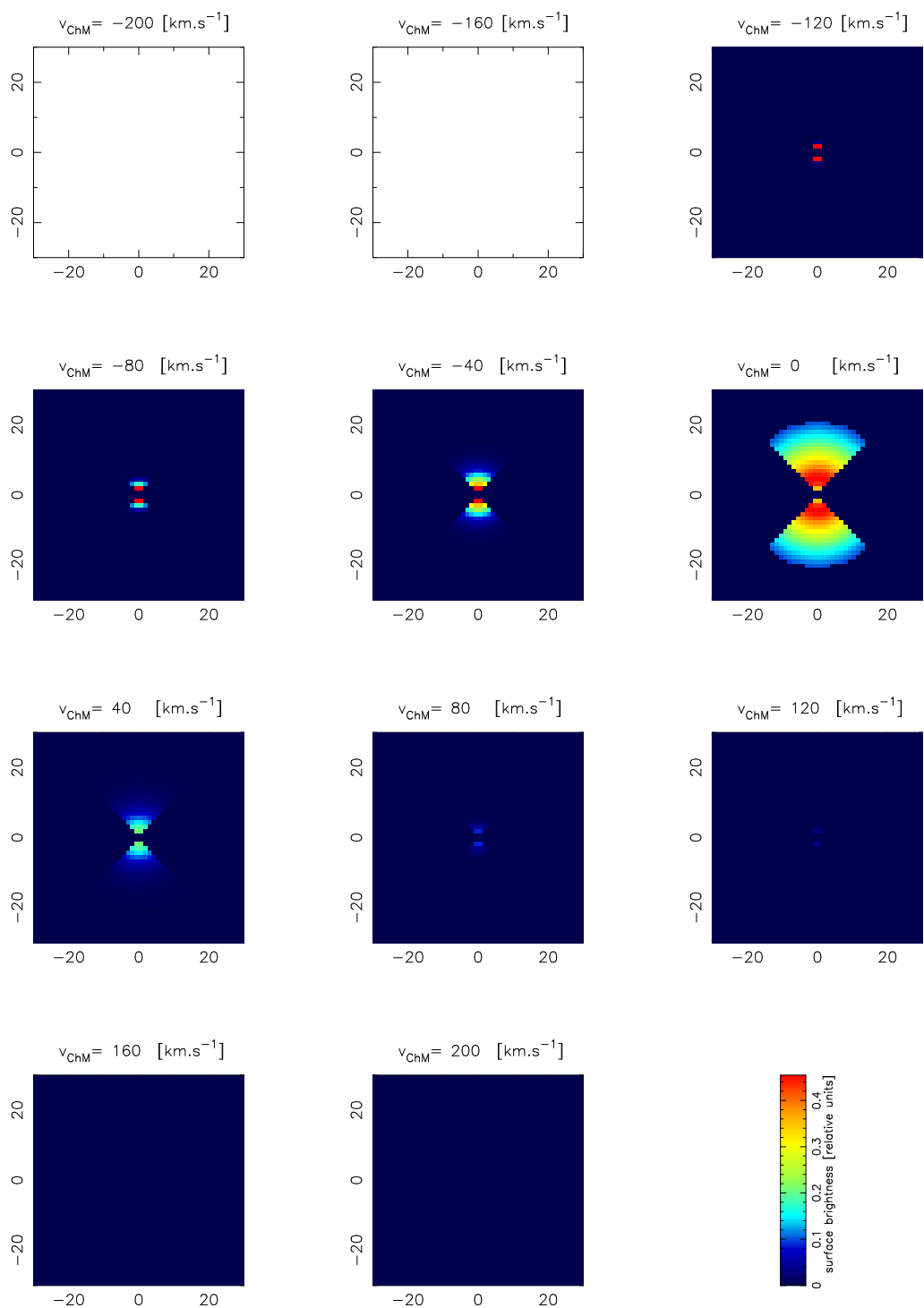
Obrázok B.23: Výstup programu `vfields` pre model `GALAXY030`.



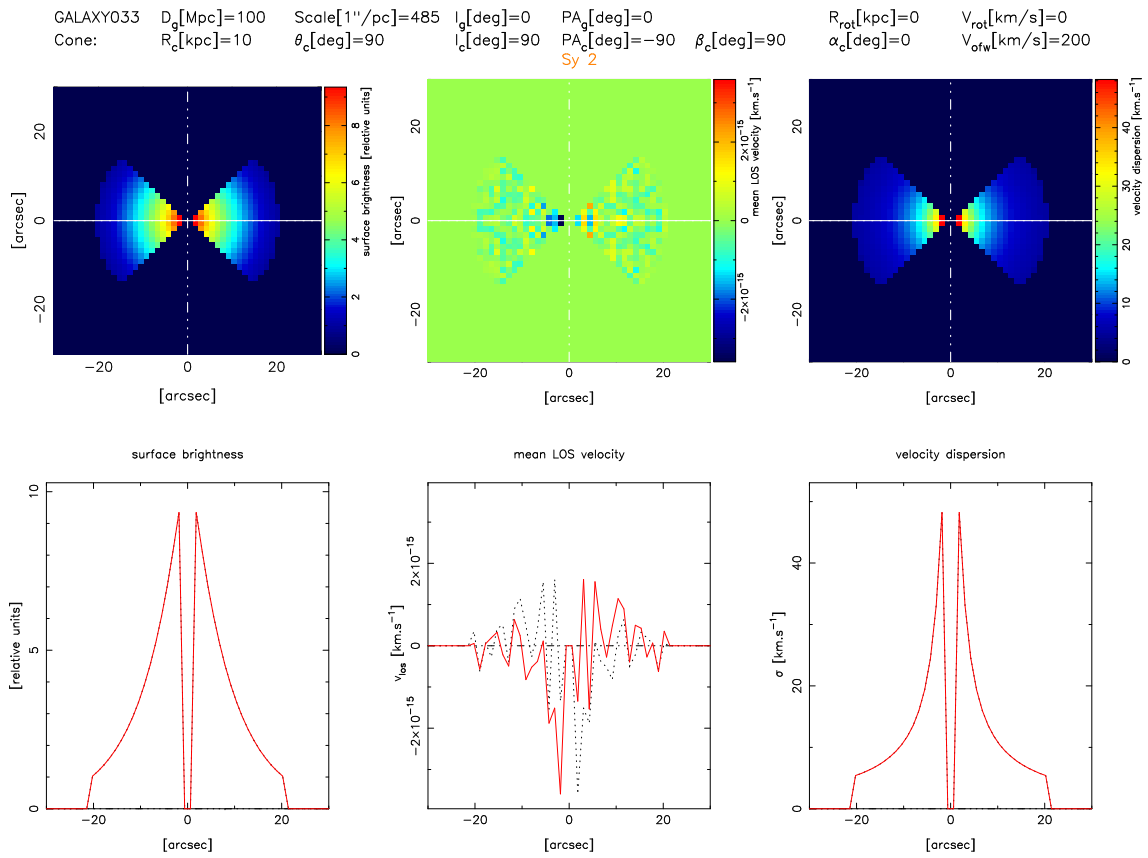
Obrázok B.24: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY030.



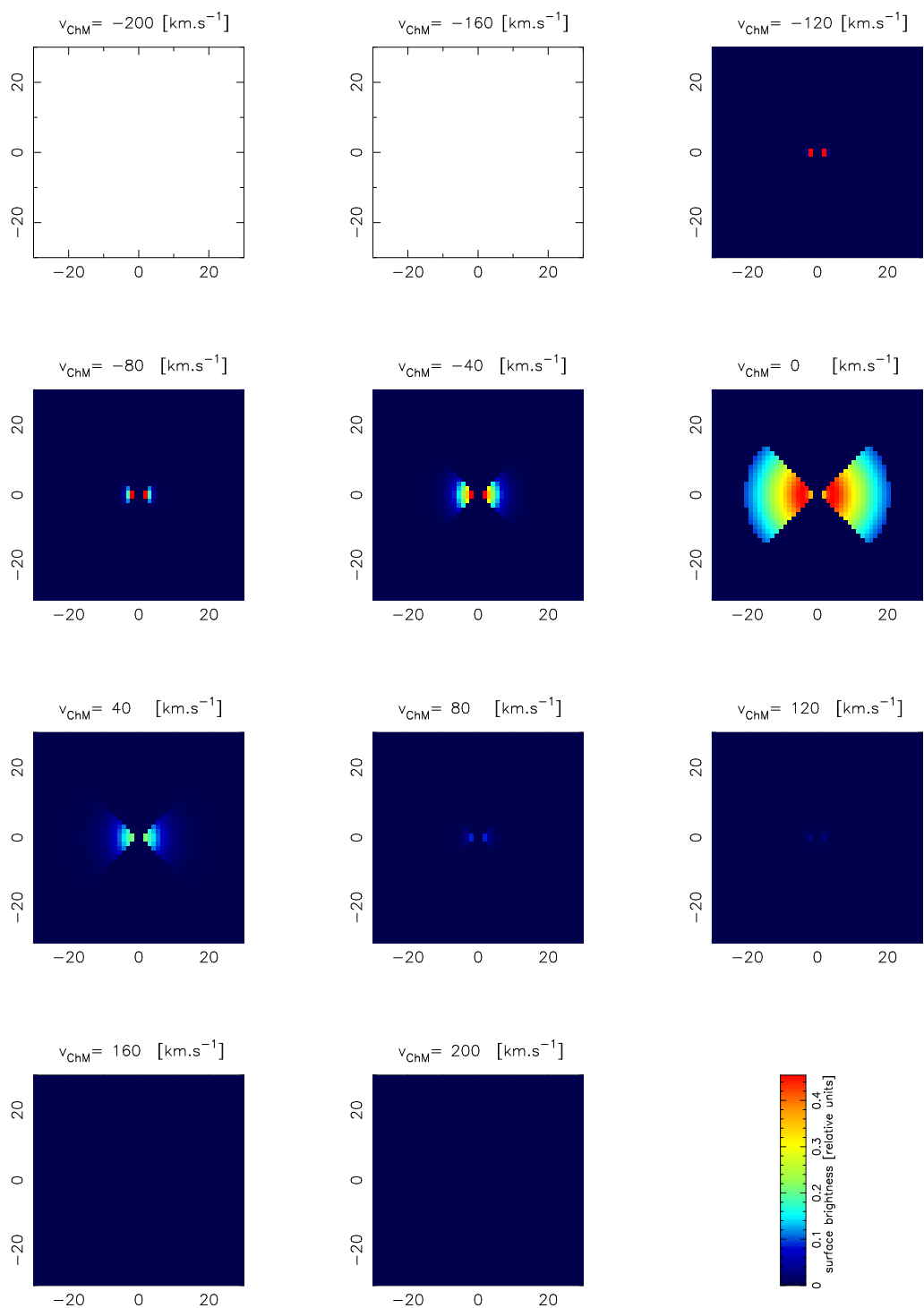
Obrázok B.25: Výstup programu `vfields` pre model `GALAXY032`.



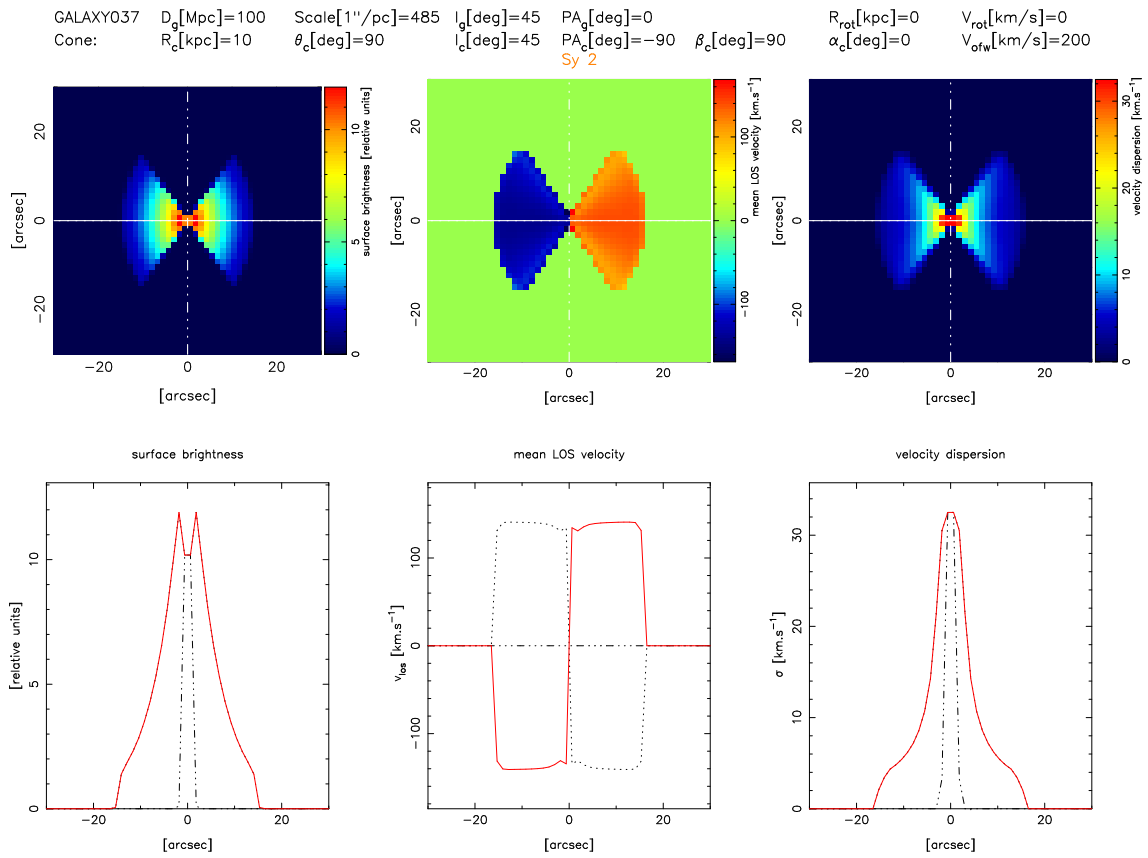
Obrázok B.26: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY032.



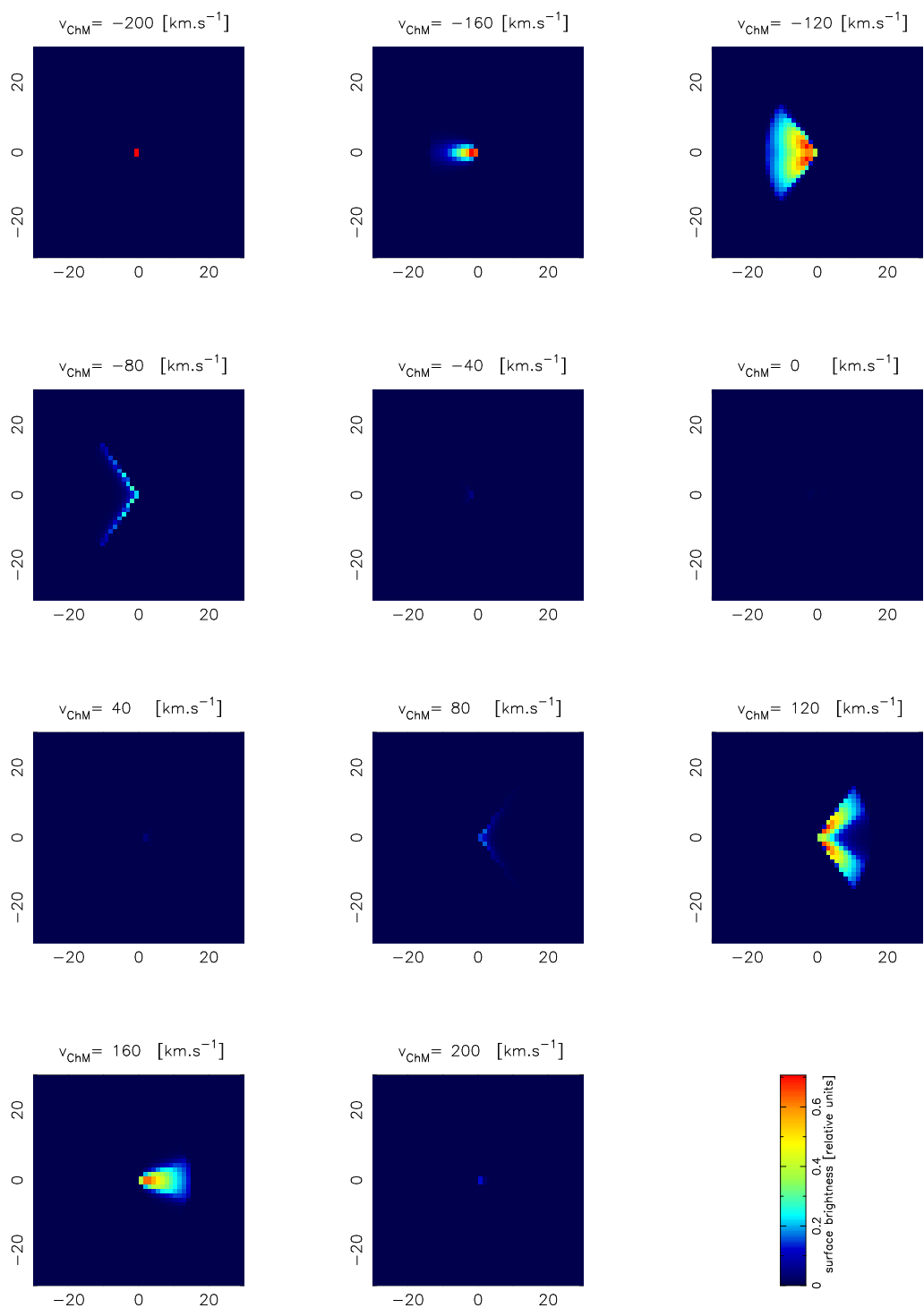
Obrázok B.27: Výstup programu `vfields` pre model `GALAXY033`.



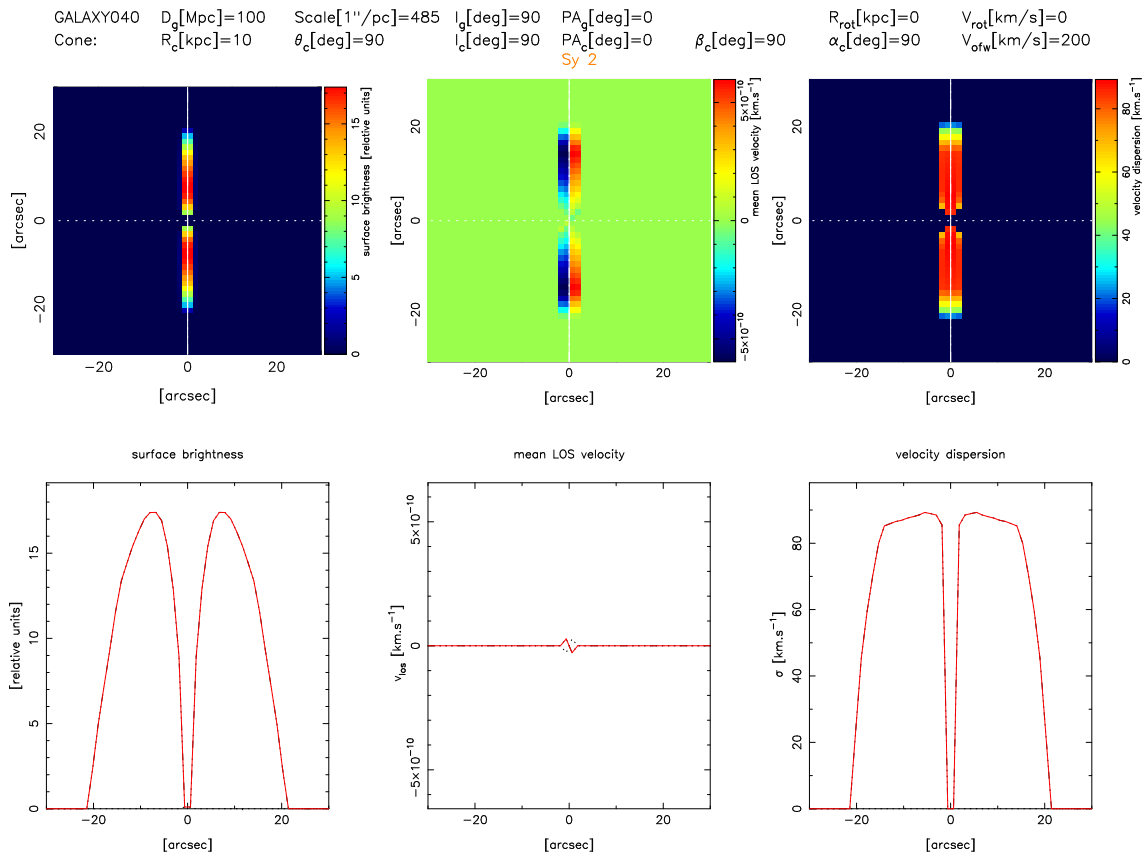
Obrázok B.28: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY033.



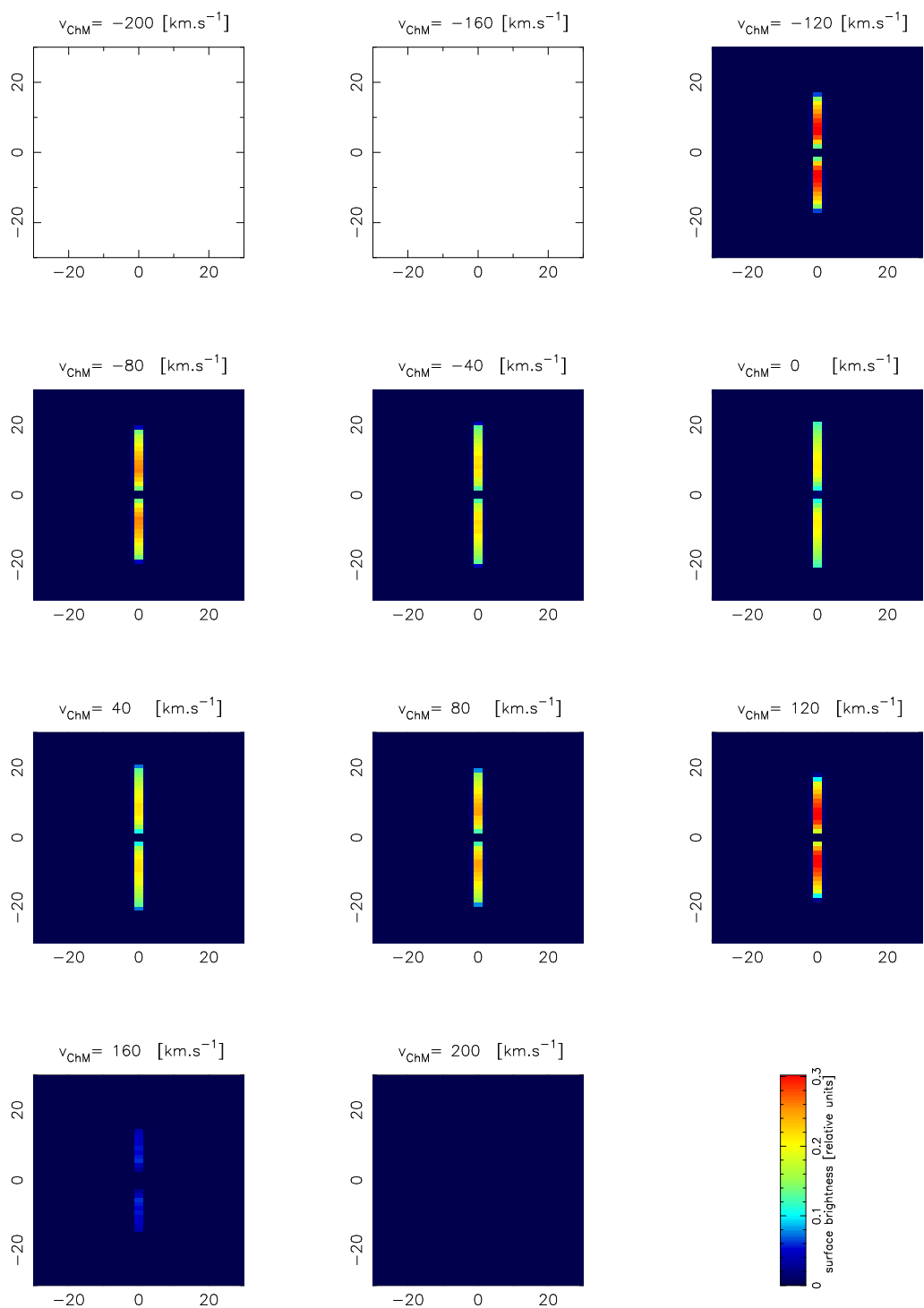
Obrázok B.29: Výstup programu vfields pre model GALAXY037.



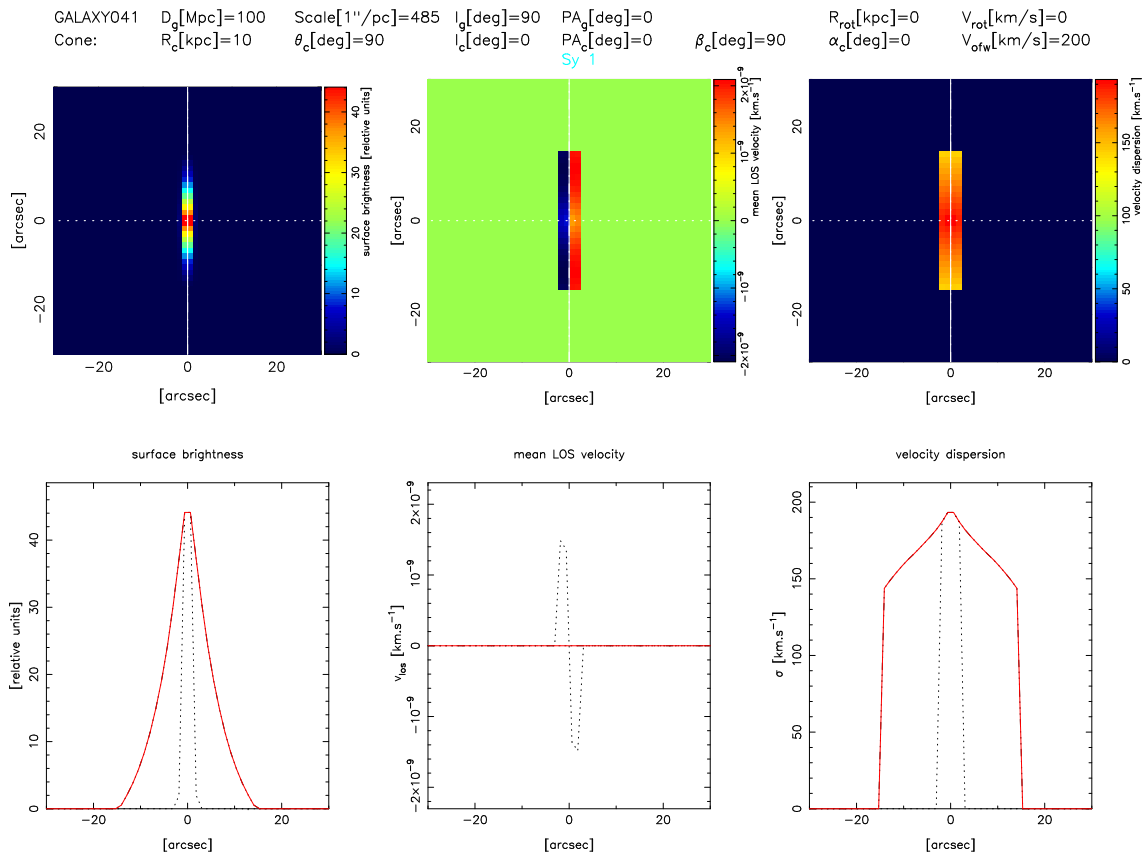
Obrázok B.30: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY037.



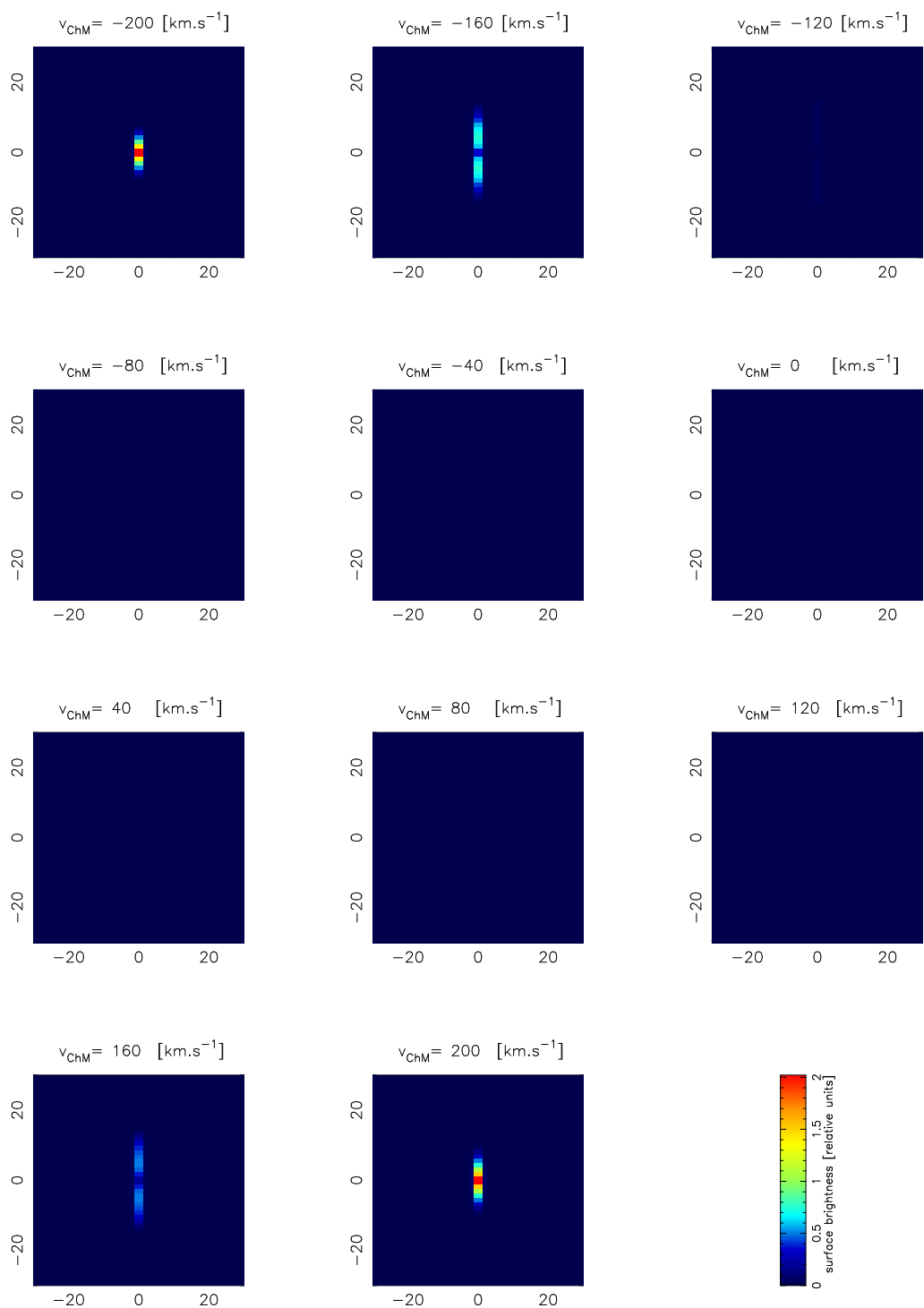
Obrázok B.31: Výstup programu vfields pre model GALAXY040.



Obrázok B.32: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY040.



Obrázok B.33: Výstup programu vfields pre model GALAXY041.



Obrázok B.34: Výstup programu ChannelMaps pre model GALAXY041.