

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za matematiko in fiziko

Jure Hribar, Rok Capuder

Radialna odvisnost površinske svetlosti za eliptične galaksije

Projektna naloga pri predmetu astronomija

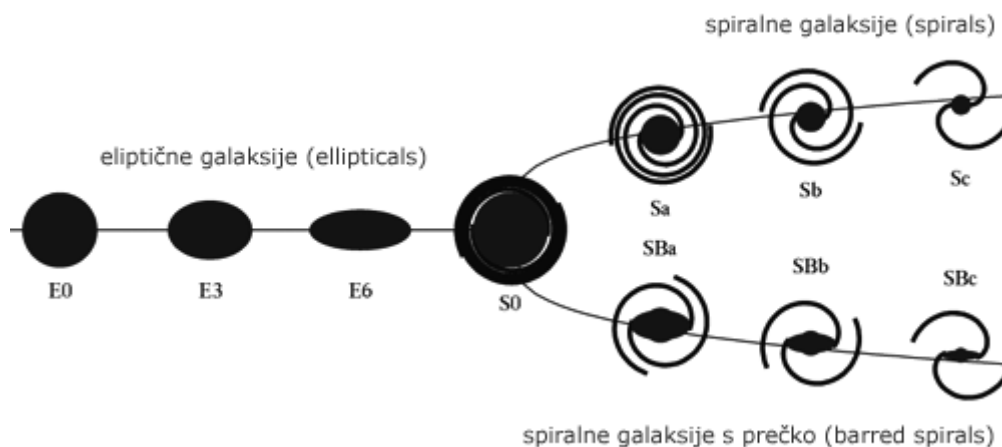
Ljubljana, april 2010

Povzetek

Namen našega opazovalnega projekta je bil posneti (poslikati) nekaj eliptičnih galaksij in določiti radialno odvisnost njihove površinske svetlosti. Tako smo slikali pet različnih eliptičnih galaksij (med katerimi smo izbrali dve), katerih fotografije smo obdelali v programu IRAF. Dobljene podatke smo uredili in narisali grafe radialne odvisnosti površinske svetlosti galaksij.

1 Uvod

Galaksije, osnovni gradniki vesolja, so velikanska, gravitacijsko vezana nebesna telesa, sestavljena iz zvezd, plinov, medzvezdne snovi in temne snovi. Število zvezd v galaksijah je različno, pri pritlikavih galaksijah jih je do deset milijonov, pri velikanskih pa jih je lahko tudi bilijon. Galaksije delimo v tri skupine: eliptične, spiralne in nepravilne galaksije, ki nimajo razločne ali pravilne oblike in se ne vklapljujejo v preprosto Hubblovo razvrstitev (slika 1). Pri tem je treba poudariti, da Hubblova razvrstitev temelji na vizualnem izgledu, in ne upošteva drugih lastnosti kot sta na primer stopnja nastanka zvezd in dejavnosti v jedru. V našem projektu nas bodo seveda zanimale eliptične galaksije.



Slika 1: Eliptične in spiralne galaksije v Hubblovi razvrstitvi galaksij.

2. Potek dela

Slike smo posneli na observatoriju na Golovcu, 8. maja 2008. Odločili smo se za sledeče eliptične galaksije: M105; M110 - satelitna galaksija Andromede. Podatke o posameznih objektih smo pridobili tudi s programom ALADIN in podatkovnimi bazami, ki jih vsebuje.

Podatke o površinski svetlosti smo dobili oz. razbrali iz slik s pomočjo programa IRAF. Vsako galaksijo smo prerezali kot je to prikazano na slikah galaksij. Prereza vseh galaksij sta potekala eden pravokotno na drugega. Pri galaksijah, katerih eliptičnost je dobro vidna, smo zajeli večjo in manjšo polos (M110).

Preseki so potekali skozi središče galaksije, ki smo ga določili s pomočjo grafičnega programa v IRAF-u (ds9). Preiskali smo osrednji del galaksije in izbrali najsvetlejšo točko za središče. Grafi radialne površinske svetlosti so prikazani v nadaljevanju. Matlab-ove kode ne prilagamo, saj je trivialna.

Zaradi boljšega razumevanja galaksij, je pametno izraziti njihove strukturne značilnosti. In eden od načinov, kako izraziti strukturne značilnosti galaksije je ta, da pridobimo radialno odvisnost površinske svetlosti galaksije oz. kako se površinska svetlost spreminja kot funkcija radialne oddaljenosti od centra. V smeri iskanja boljše analitične funkcije za radialno odvisnost površinske svetlosti galaksije je bilo do sedaj narejenega veliko dela. Velja omeniti predvsem prispevek Hubbla (1930), de Vaucouleursa (1948), Kinga (1962), Sericsa (1968) in Kormendya (1977).

Torej radialno odvisnost svetlosti eliptičnih galaksij dobro opišejo nekateri modeli oz. jo lahko dobro aproksimiramo na različne načine. Najpogosteje radialno odvisnost površinske svetlosti eliptične galaksije (dobro) aproksimiramo z Hubblovim zakonom in de Vaucouleurs-jevim zakonom, pri katerih naj bo R razdalja od centra projekcije (2D) eliptične galaksije in $I(R)$ opazovana površinska svetlost na določeni razdalji od centra.

Hubbllov zakon

Površinska svetlost eliptične galaksije je na določeni razdalji od centra galaksije pri Hubblovem zakonu podana kot

$$I(R) = \frac{I_0}{(R/a + 1)^2}, \quad (1)$$

kjer sta a karakteristični radij elipse in I_0 centralna površinska svetlost.

Prednost Hubblovega zakona je preprostost. Vendar za celotni izsev galaksije, ki je definiran kot $L = \int_0^{\infty} 2\pi R I(R) dR$, po Hubblovem zakonu dobimo neskončen izsev.

De Vaucouleurs-jev zakon

Najpogosteje se za aproksimacijo površinske svetlosti eliptične galaksije uporabi de Vaucouleurs-jev ali imenovan tudi $R^{1/4}$ zakon. Pri de Vaucouleurs-jev zakonu površinsko svetlost v enotah magnitude aproksimiramo kot

$$m(R) = a + bR^{1/4}, \quad (2)$$

kjer sta a in b določeni konstanti, oz. površinsko svetlost v enotah $W / (m^2 \text{ steradian})$ aproksimiramo kot

$$I(R) = I_e \exp \left[-7.66924 \cdot \left(\left(\frac{R}{R_e} \right)^{1/4} - 1 \right) \right]. \quad (3)$$

Kjer je R_e efektivni radij, to je radij osrednjega dela galaksije, ki prispeva polovico celotne svetlosti galaksije (polovico celotnega izseva). I_e pa predstavlja svetlost na razdalji efektivnega radija.

Prednost de Vaucouleurs-jevega zakona je, da je preprost in da je rezultat za celotni izsev galaksije končen in razumen. Poudariti še velja, da sta tako de Vaucouleurs-jev zakon in Hubblov zakon empirična, saj sta bila definirana prek opazovanj.

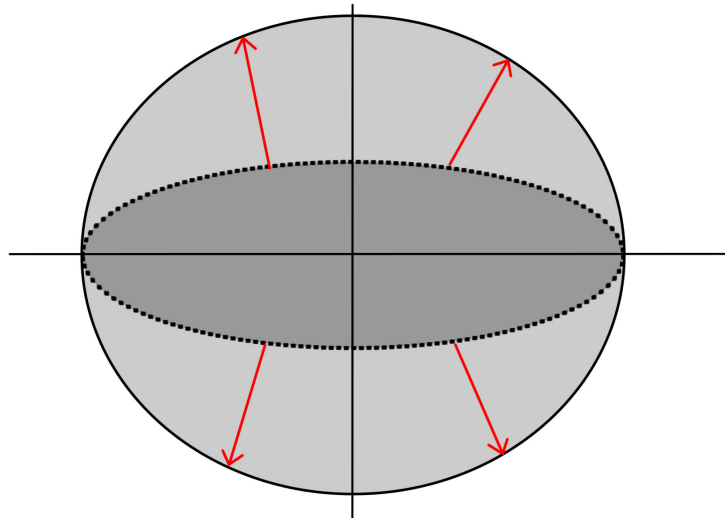
3. Rezultati

Naloga je od nas zahtevala, da podamo radialno odvisnost površinske svetlosti eliptične galaksije v enotah $W / (m^2 \text{ steradian})$. Če smo hoteli te enote, smo morali pretvoriti številke, ki nam jih vrne program in ki predstavljajo število fotonov na piksel CCD kamere v času ekspoziture. Svetlost za določen piksel CCD kamere je tako enaka

$$I = \frac{dP}{d\Omega \cdot dS} = (\text{št. fotonov}) \cdot \frac{4 \cdot h \cdot c \cdot f^2}{\pi \cdot \eta \cdot \lambda \cdot S \cdot D^2 \cdot t}. \quad (4)$$

Kjer je h Planckova konstanta, c hitrost svetlobe, f gorišče teleskopa ($f = 2 \text{ m}$ in $D = 0,36 \text{ m}$), η kvantni izkoristek kamere (80%), λ je valovna dolžina fotonov (vzeli smo kar 550 nm), S površina oziroma velikost piksla na CCD kameri ($S = a^2$, kjer je $a = 23 \mu\text{m}$) in t čas ekspoziture (300 sekund).

Pri eliptičnih galaksijah so črte z enako svetlostjo elipse. Za ustrezno primerjavo radialnih odvisnosti svetlobe je bilo podatke potrebno najprej preurediti. Razskalirali smo preseke, tako da smo njihovo velikost raztegnili na velikost velike polosi elipse. Še prej pa smo grafično določili veliko in malo polos, ter rob galaksije. Iz elipse smo tako naredili krog, pri katerem pa lahko primerjamo svetlost posameznega preseka v odvisnosti od radija.



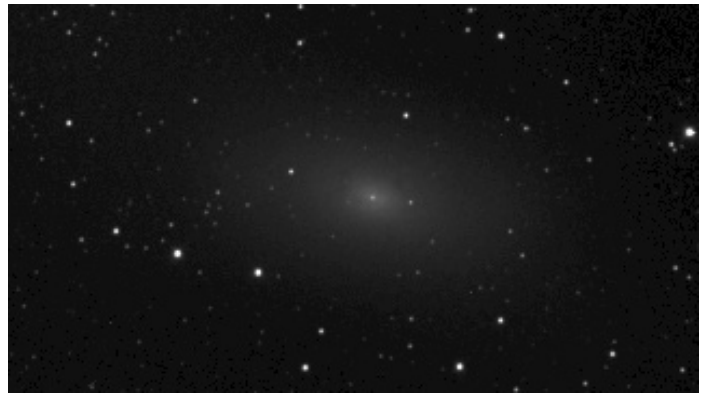
Slika 2: shema razskaliranja eliptične galaksije.

Sedaj smo podatke lahko primerjali z De Vaucouleurs-jevim zakonom. Pri vseh meritvah smo ugotovili, da so izmerjene vrednosti znotraj napovedi zakona, če upoštevamo še napake. Rezultate prikazujeta sliki 12 in 17.

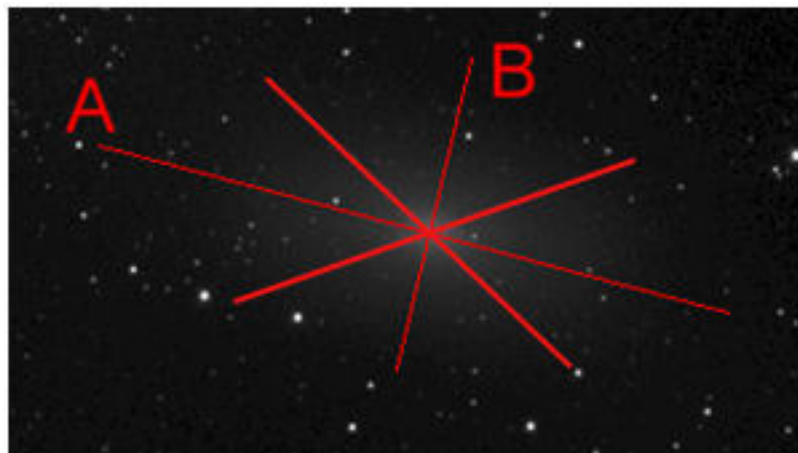
Na koncu smo se lotili še računanja posameznih magnitud galaksij, kar pa je opisano na koncu seminarja.

1. Galaksija M110 (NGC 205) satelitna galaksija Andromede

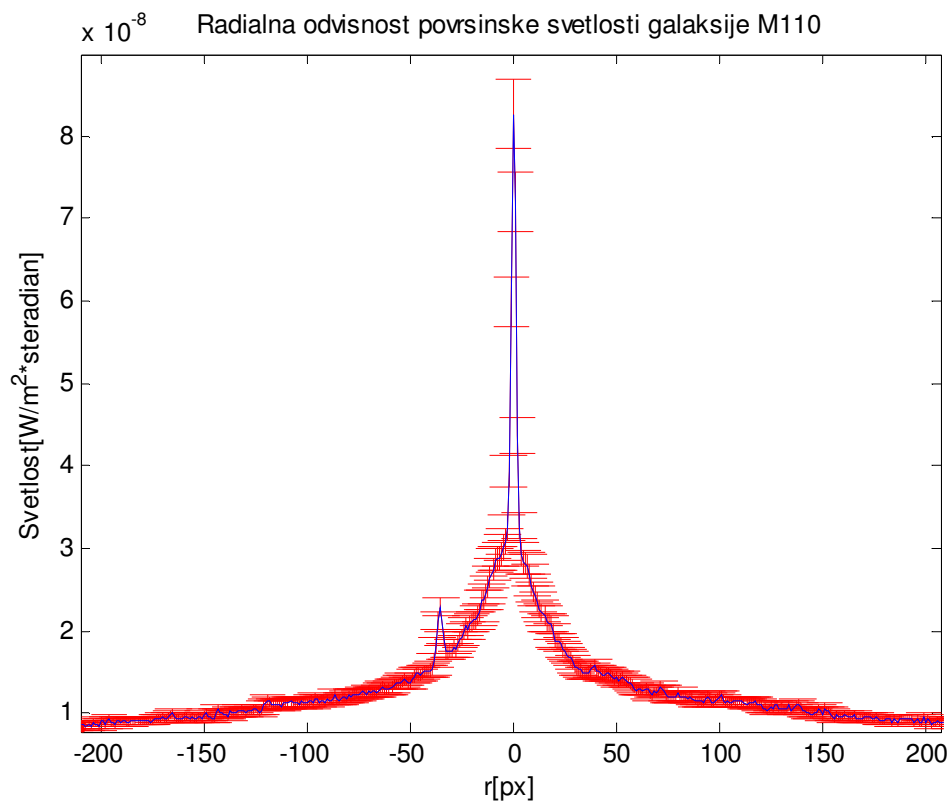
Tip galaksije	E5
Rektascenzija	0 ^h 40,4 ^m
Deklinacija	+41° 41'
Oddaljenost	2,7*10 ⁶ sv.let
Rel. magnituda	8,9
Rel. velikost	21,9' x 11,0'



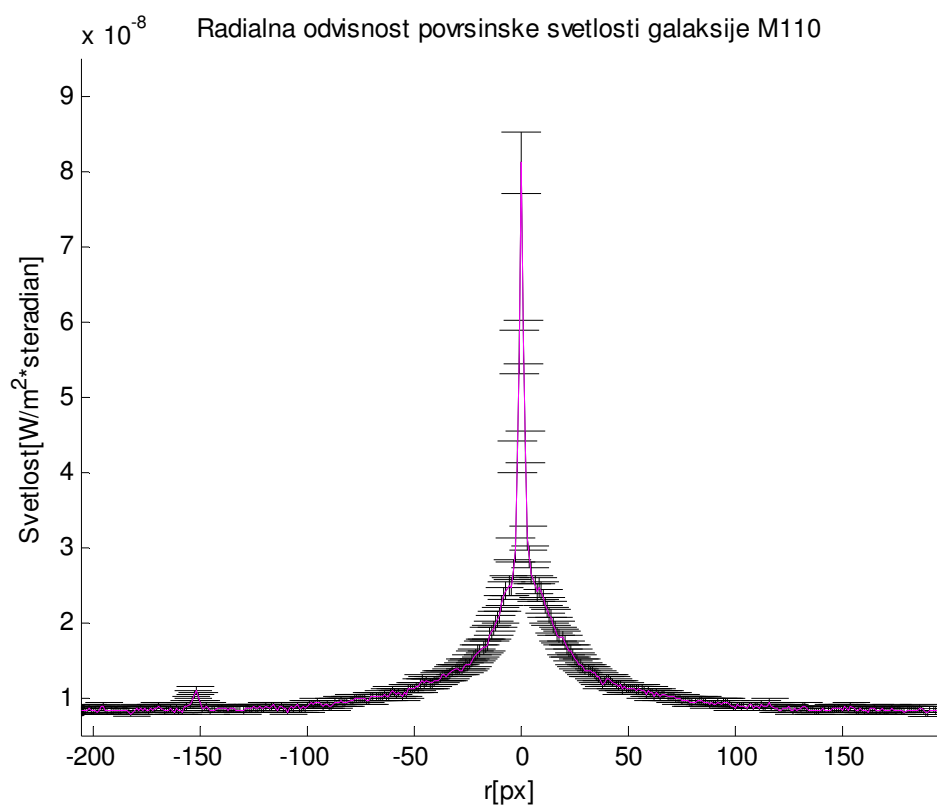
Slika 3: Podatki o galaksiji (vir: www.wikipedia.org) (levo), slika galaksije posneta na observatoriju Golovec (desno).



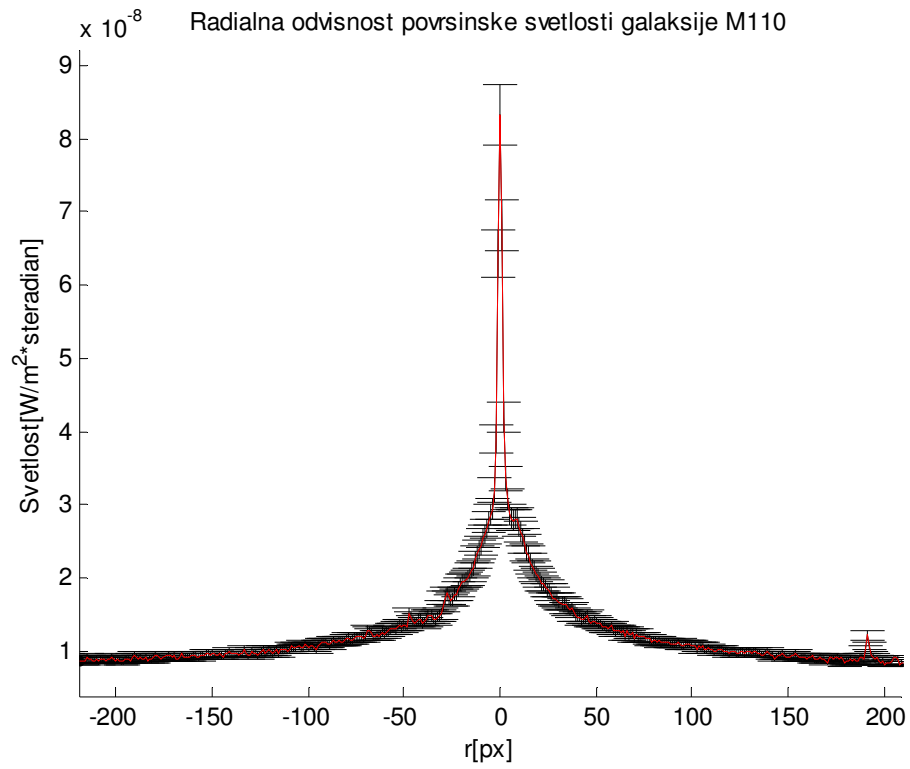
Slika 4: Opazovani prerezi galaksije M110.



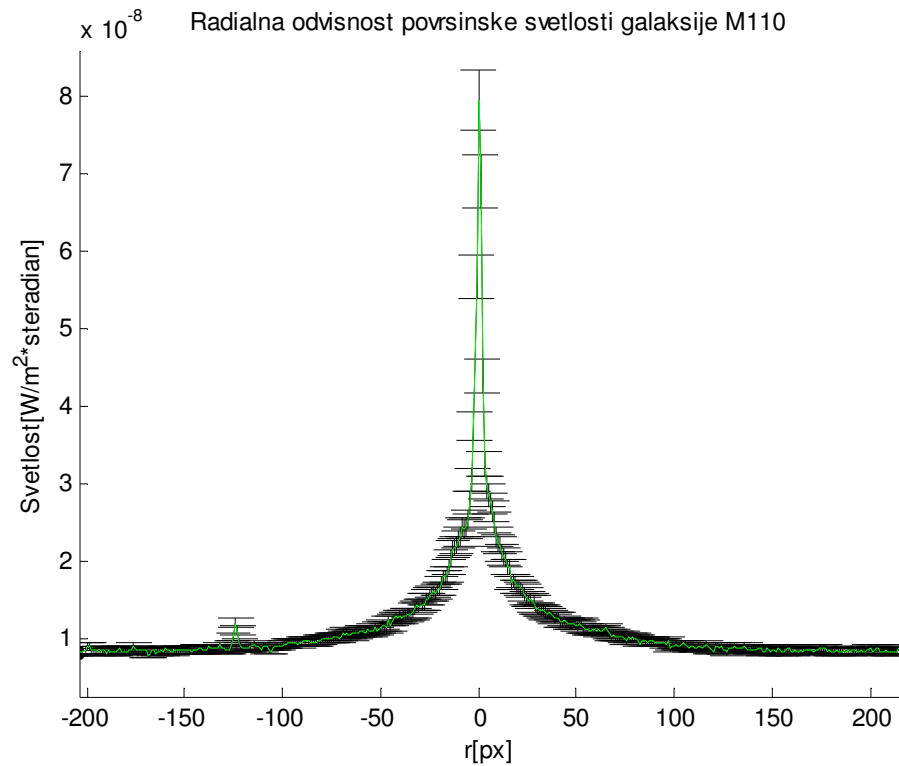
Slika 5: Radialna odvisnost površinske svetlosti galaksije M110, po prerezu B.



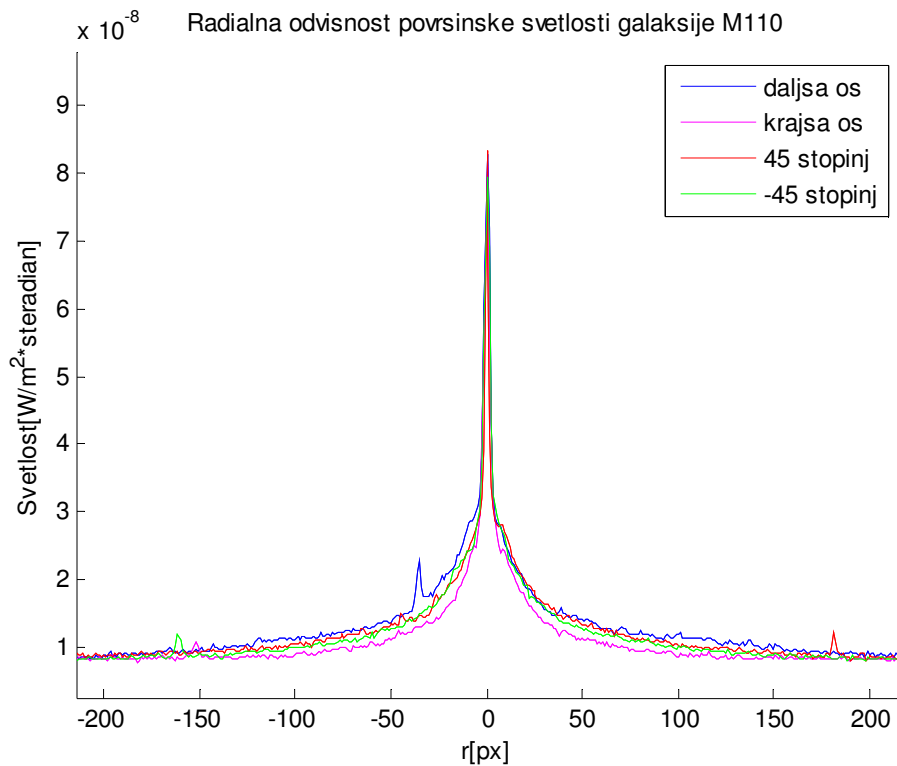
Slika 6: Radialna odvisnost površinske svetlosti galaksije M110, po prerezu A.



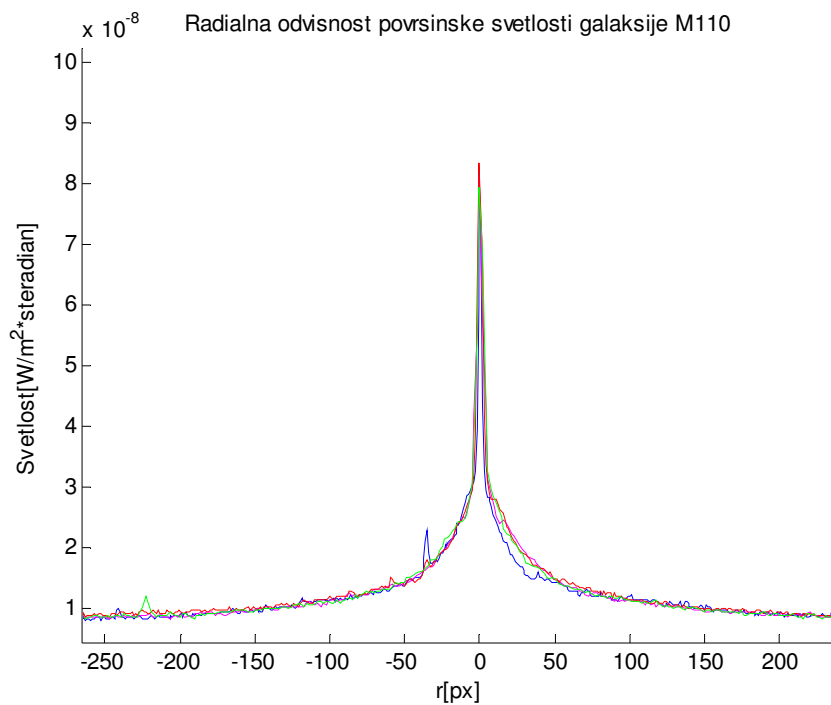
Slika 7: Radialna odvisnost površinske svetlosti galaksije M110, po 45° prerezu.



Slika 8: Radialna odvisnost površinske svetlosti galaksije M110, po -45° prerezu.

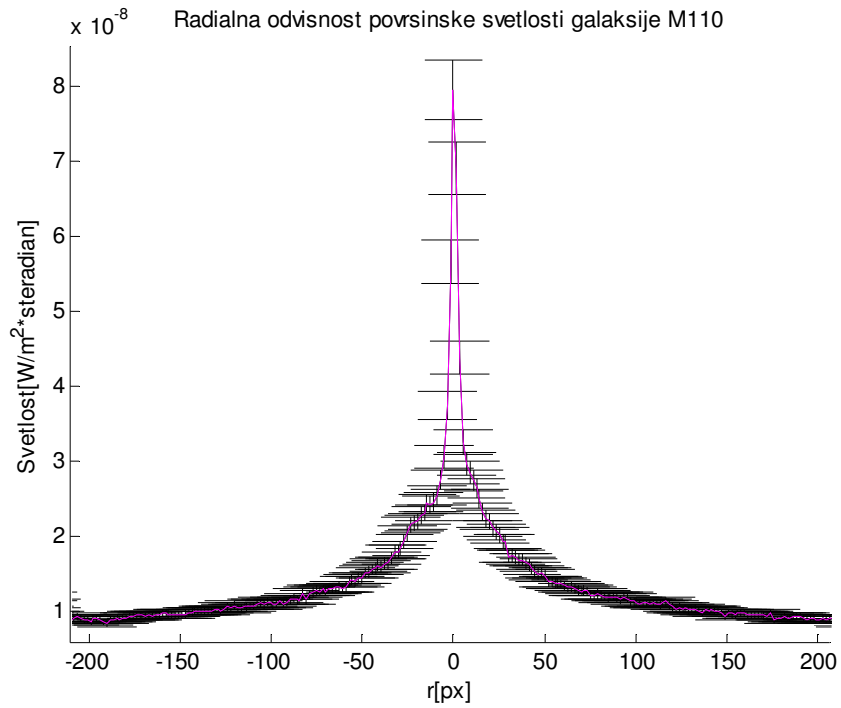


Slika 9: Radialna odvisnost površinske svetlosti galaksije M110, po vseh štirih prerezih. Napake meritev so zaradi boljše preglednosti odstranjene.

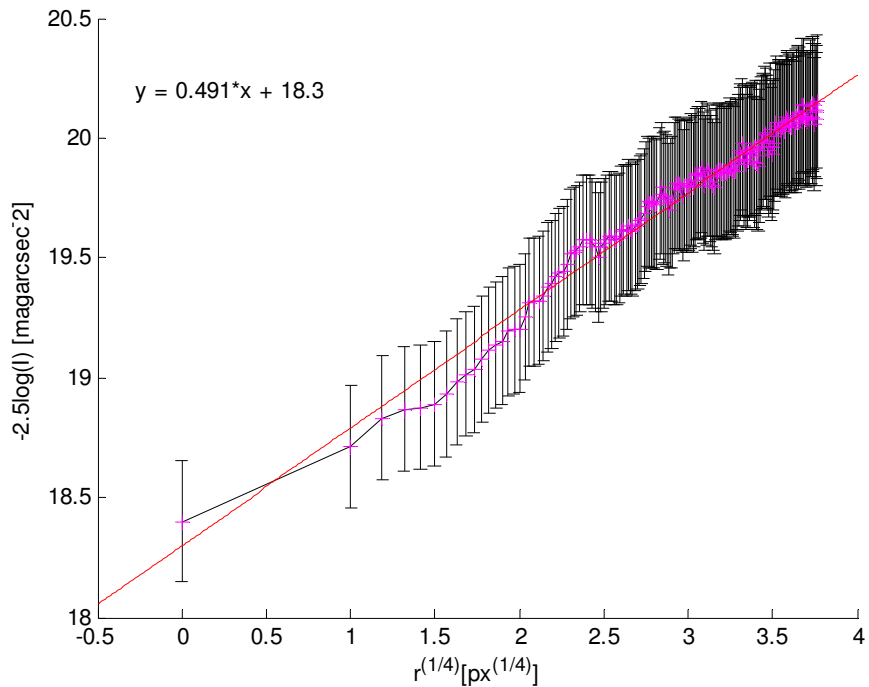


Slika 10: Radialna odvisnost površinske svetlosti galaksije M110, po vseh štirih prerezih, po razskaliranju. Napake meritev so zaradi boljše preglednosti odstranjene.

Vse prereze (razskalirane) seštejemo in povprečimo in dobimo sledeče radialno odvisnost površinske svetlosti (slika 10).



Slika 11: Sešteta in povprečena vsota svetlosti vseh prerezov galaksije.



Slika 12: Prileganje podatkov De Vaucouleurs-jevemu zakonu.

Izračun magnitude galaksije M110:

Kot smo že povedali pri de Vaucouleurs-jev zakonu površinsko svetlost v enotah magnitude aproksimiramo kot $m(R) = a + bR^{1/4}$ oz. v enotah $W / (m^2 \text{ steradian})$ kot

$$I(R) = I_e \exp \left[-7.66924 \cdot \left(\left(\frac{R}{R_e} \right)^{1/4} - 1 \right) \right].$$

Če hočemo izračunati njeno magnitudo moramo poznati njeno oddaljenost, ki je $2.6 \cdot 10^6$ svetlobnih let, in celotni izsev galaksije. Celotni izsev dobimo s spodnjim integralom (kjer je C referenčna konstanta za magnitudni sistem, v našem primeru za referenčno točko uporabiva Sonce)

$$L = \int_0^{\infty} 2\pi R I(R) dR = \int_0^{\infty} 2\pi R \cdot 10^{0.4(C-a-bR^{1/4})} dR = 10^{-(C-a)} \cdot \frac{\pi 8!}{(0.4 \ln(10) b)^8}$$

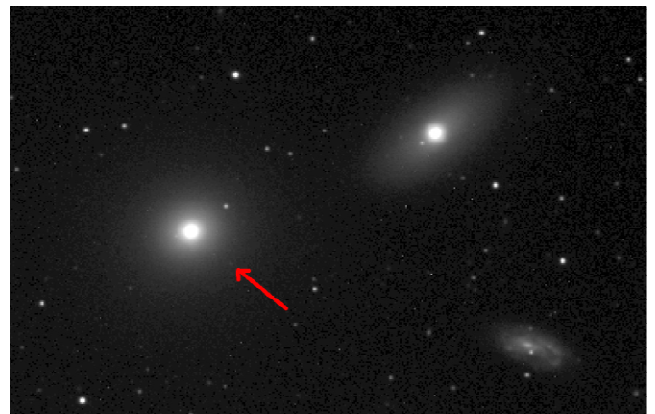
(integral je rešljiv analitično). Iz koeficientov, ki smo jih dobili iz fitov, lahko torej določimo izsev galaksije. Za celoten izsev v primeru galaksije M110 dobimo $L_{gal} = 2.33 \cdot 10^{25} W$. Njeno magnitudo lahko določimo po formuli:

$$m_{gal} = m_{son} - 2.5 \log_{10} \left(\frac{L_{gal}}{L_{son}} \cdot \left(\frac{r_{son}}{r_{gal}} \right)^2 \right). \quad (5)$$

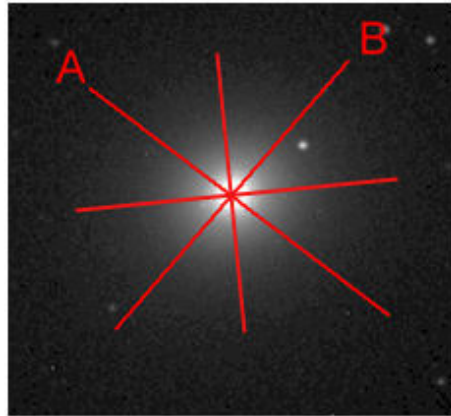
Kjer so L_{son} izsev sonca ($L_{son} = 3.84 \cdot 10^{26} W$), r_{son} oddaljenost Sonca (1 svetlobno leto), r_{gal} oddaljenost galaksije (ki jo poznamo) in $m_{son} = -26.7$ magnituda sonca. Po enačbi 5 za magnitudo galaksije dobimo $m_{gal} = 8.5$.

2. Galaksija M105 – eliptična galaksija v levu (NGC 3379)

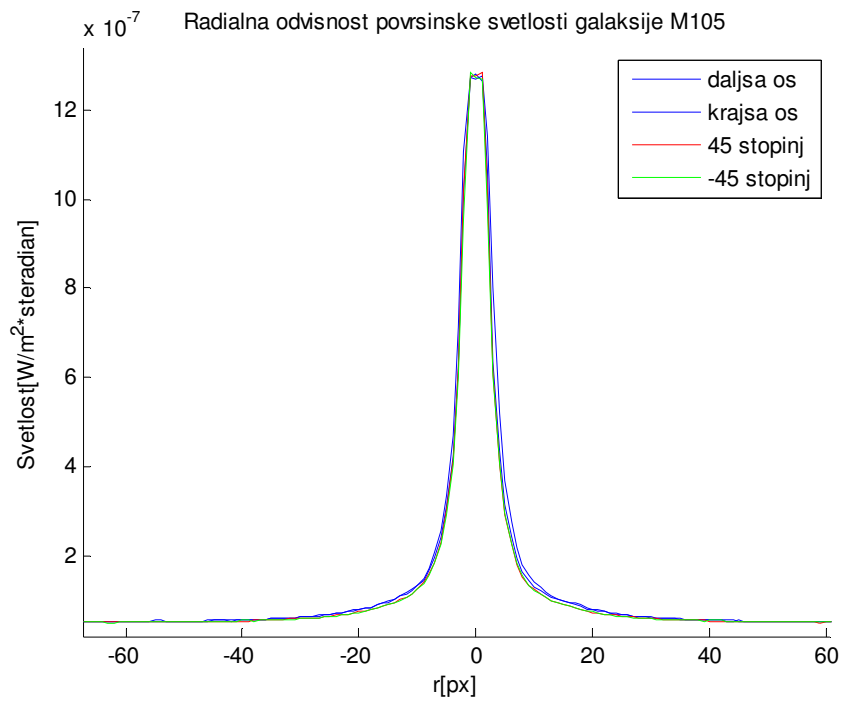
Tip galaksije	E1
Rektascenzija	$10^h 47,8^m$
Deklinacija	$+12^\circ 35'$
Oddaljenost	$38 \cdot 10^6$ sv.let
Rel. magnituda	10,4
Rel. velikost	$5,4' \times 4,8'$



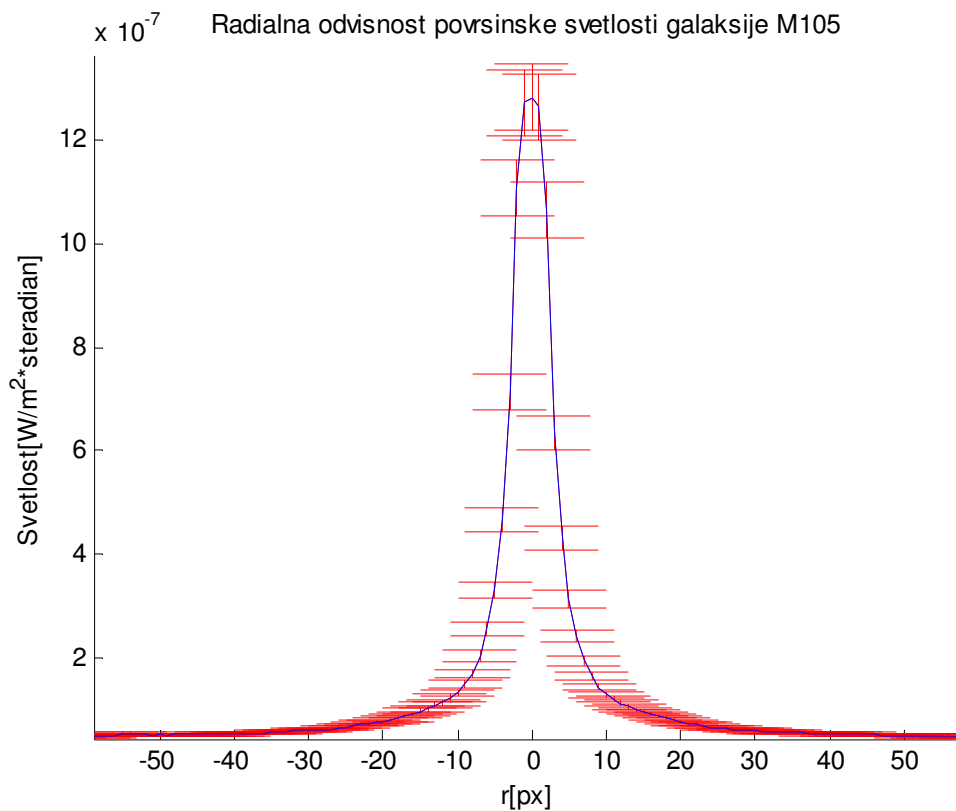
Slika 13: Podatki o galaksiji (vir: www.wikipedia.org) (levo), slika galaksije posneta na observatoriju Golovec (desno).



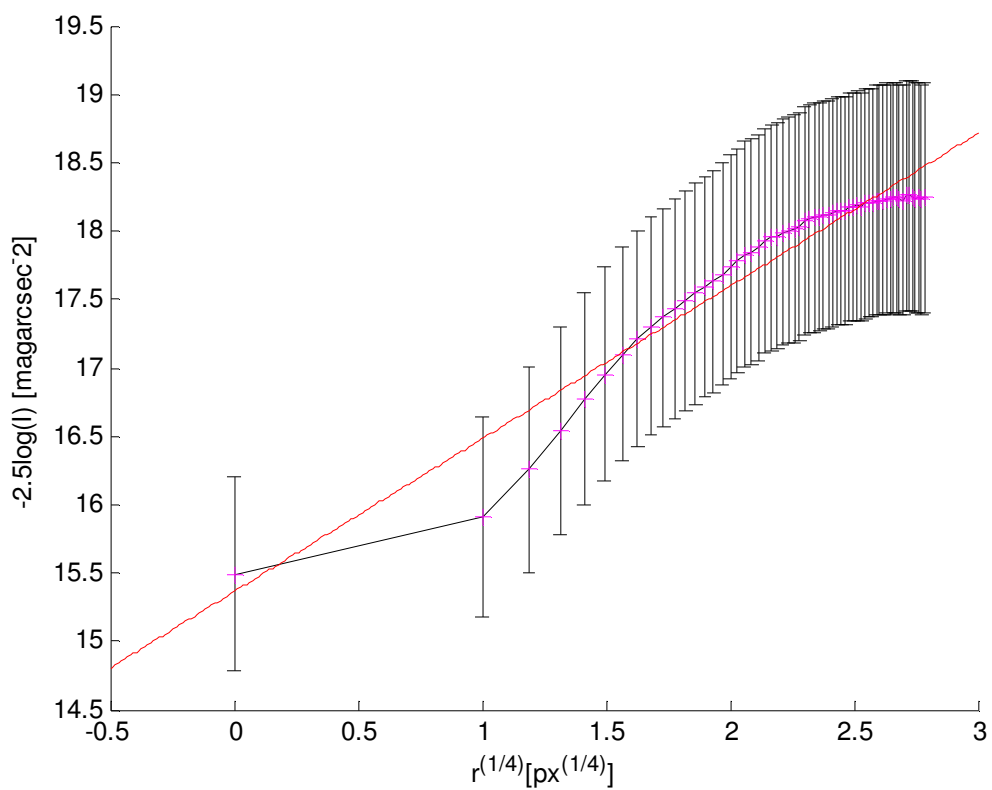
Slika 14: Opazovani prerezi galaksije M105.



Slika 15: Radialna odvisnost površinske svetlosti galaksije M105, po vseh štirih prerezih. Prerezi so že razskalirani, zaradi boljše preglednosti pa na grafu ni označenih napak.



Slika 16: Sešteta in povprečna vsota svetlosti vseh prerezov galaksije M105.



Slika 17: Prileganje podatkov De Vaucouleurs-jevemu zakonu.

Magnituda galaksije M105

Izračun magnitude poteka enako kot pri galaksiji M110 (enačba 5). Pri galaksiji M105 za celoten izsev dobimo $L_{gal} = 4.6 \cdot 10^{26} W$, pri katerem iz enačbe 5 za magnitudo galaksije dobimo $m_{gal} = 11$.