

# **PROJEKTNA NALOGA**

## ASTRONOMIJA

Avtorji: Luka Šantelj, Dimitrije Stankovič, Drejc Kopač  
Mentor: prof. dr. Andrej Čadež

**FMF, Ljubljana, 2006**

# **RADIALNA ODVISNOST SVETLOSTI ZA SPIRALNE GALAKSIJE**

**Avtorji: Luka Šantelj, Dimitrije Stankovič, Drejc Kopač**

Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana

Mentor: prof. dr. Andrej Čadež

Ljubljana, 19.9.2006

## Kazalo

<b>KAZALO</b> .....	<b>3</b>
<b>ZAHVALA</b> .....	<b>4</b>
<b>POVZETEK</b> .....	<b>5</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>5</b>
<b>TEORIJA</b> .....	<b>6</b>
SPLOŠNO O SPIRALNIH GALAKSIJAH.....	6
FUNKCIJE ZA OPIS PORAZDELIVE SVETLOSTI .....	7
GRAF, KI PONAŽARJA FUNKCIJE ZA OPIS PORAZDELITVE SVETLOSTI .....	8
<b>POTEK DELA</b> .....	<b>9</b>
MERJENJE .....	9
OBDELAVA MERITEV .....	10
Skripta za seštevanje slik .....	10
Skripta, ki prebere svetlost določenega piksla na sliki .....	11
Obdelava podatkov in risanje grafov s programom Excel .....	12
<b>REZULTATI</b> .....	<b>13</b>
M61 .....	13
M95 .....	14
M96 .....	15
GRAFI ODVISNOSTI MAGNITUDE NA KVADRATNO KOTNO SEKUNDO OD RADIJA .....	16
<b>KRATICE IN STROKOVNI IZRAZI</b> .....	<b>17</b>
<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>18</b>
<b>UPORABLJENI VIRI IN ORODJA</b> .....	<b>19</b>
VIRI .....	19
Internet strani .....	19
Knjige in ostala literatura .....	19
ORODJA.....	19

## Zahvala

---

Zahvaljujemo se Bojanu Dintinjani, ki nam je pomagal pri delu s teleskopom, pri fotografiranju galaksij in pozneje pri obdelavi podatkov ter pisanju bash skript, ki so bile potrebne za obdelavo fotografij.

Zahvaljujemo se tudi Andražu Rešetiču, ki pa je žal odstopil od projekta po zaključku eksperimentalnega dela na Golovcu. Predsem smo mu hvaležni za pomoč pri fotografiranju galaksij s teleskopom.

Navsezadnje bi se seveda zahvalili mentorju prof. Andreju Čadežu. Ta nam je pomagal razložil kar precej dilem, ki jih je bilo potrebno razumeti za uspešno dokončanje tega projekta. Prav tako bi se mu radi zahvalili, ker je strokovno pregledal to projektno nalogo.

## Povzetek

---

Namen naše projektne naloge je bil izmeriti in analizirati radialno odvisnost svetlosti nekaj spiralnih galaksij in iz analiz poskusiti izluščiti kakšno zakonitost.

Najprej smo fotografirali pet spiralnih galaksij, vendar smo na koncu za obdelavo izbrali tri, ki so se nam zdele najbolj primerne. Seveda bi jih lahko izbrali tudi več, vendar smo menili, da so za dokaj resno analizo dovolj tri galaksije. Upoštevali smo tudi, da smo projekt izvajali samo trije in da je bilo dovolj dela že s tremi galaksijami.

Fotografije smo nato obdelali s pomočjo programa *IRAF*, za katerega lahko po opravljeni nalogi rečemo, da je sicer precej zahtevno, ampak zelo uporabno orodje.

Dobljene podatke smo uredili v preglednice, narisali grafe in jih komentirali. Na koncu smo vse skupaj poskusili povezati še s teorijo, ki opisuje radialno odvisnost svetlosti za spiralne galaksije.

Glavni namen naše projektne naloge pa je seveda bil, da se naučimo skupinskega dela, ki postaja vedno bolj pomembna dejavnost v vsaki panogi, ter da se spoznamo z osnovami astronomskega opazovanja in astronomskega dela nasploh.

## Summary

---

The objective of our project was to measure and analyze the radial function of luminosity in spiral galaxies and then derive a physical model and description of the phenomena from data analysis.

We photographed five different spiral galaxies, but chose only three of them that we agreed are representative and appropriate for our analysis. We could have chosen a wider pattern, but we concluded that three spiral galaxies are enough for a serious study. With only three of us in the group, we had enough work with three of them already. We analyzed the photographs of the galaxies with *IRAF*, a professional program for video data analysis, for which we can say, after working with it, that it is a very complex but also a very useful tool.

We arranged the acquired data in arrays, plotted the graphs and commented them. We then tried to explain and understand our results with the established theoretical model for the radial function of luminosity for spiral galaxies.

The main goal of our project was first of all to learn how to work in a team, which is of crucial importance for any work in any field of physics. We also got our first taste of serious astronomical work and learned the basics of astronomical observation.

## Teorija

Osnovni gradnik vesolja so galaksije. Kljub temu da je nastanek in razvoj posameznih zvezd precej dobro poznan, je oblika galaksij in njihov razvoj v različnih okoljih še vedno velika neznanka sodobne astrofizike. Večino običajnih galaksij lahko razdelimo na dva tipa, eliptične in spiralne. Eliptične galaksije izgledajo gladke, brez strukture in imajo eliptične izofote. Spiralne galaksije pa sestojijo iz tankega diska in centralne "svetlostne zgostitve", ki je podobna eliptični.

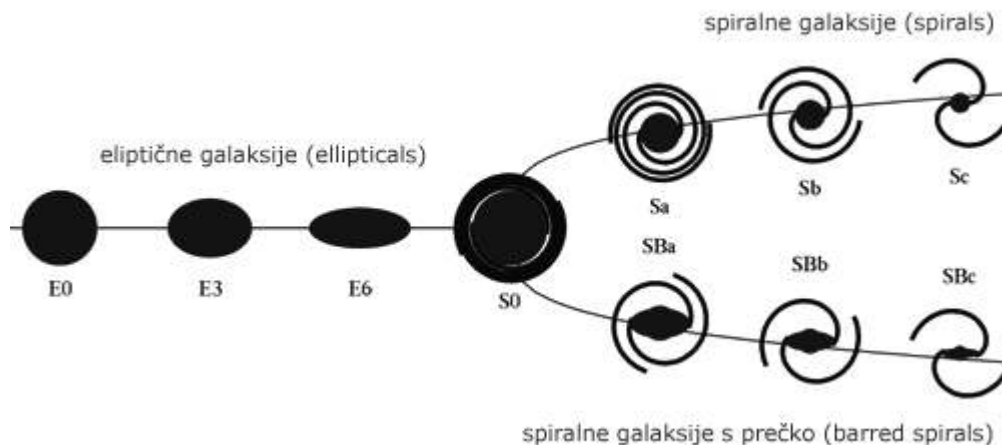
Da bi razvili globlje razumevanje evolucije galaksij je pomembno najprej spoznati njihove strukturne lastnosti, nato pa jih povezati s fiziko njihovega nastanka. Da bi to storili je potrebno strukturo galaksije opisati z manjšim setom parametrov.

Eden izmed možnih načinov je opazovanje profila radialne svetlosti, t.j. kako je svetlost površine galaksije odvisna od razdalje od centra.

### Splošno o spiralnih galaksijah

Spiralna galaksija je tip galaksije, za katero je značilno, da ima zelo veliko skupno vrtilno količino in da ima tipično strukturo, ki jo v grobem razdelimo na tri dele: jedro, izboklino (bulge) in disk.

Relativne vloge teh delov se načeloma spreminjajo z Hubblovim tipom galaksije. Glede na obliko galaksije jih je Hubble klasificiral tako, kot je narisano v spodnjem diagramu:



Od teh treh delov sta najpomembnejša disk in izboklina (jedro je le del izbokline, natančneje njen center). Disk je raven in rotirajoč se skupek medzvezdnega materiala, mladih zvezd prve populacije in odprtih zvezdnih kopic. Izboklina pa ima obliko eliptičnih galaksij in vsebuje veliko starih zvezd druge populacije ter pogosto tudi zelo masivno črno luknjo v njenem jedru.

Spiralne galaksije so dobile ime po svetlih rokah v notranjosti diska, v katerih so tvorbe zvezd in ki se širijo iz izbokline približno logaritemsko. Čeprav je včasih zelo težko opaziti (naprimer v »kosmičastih« galaksijah), prav te spiralne roke ločijo spiralne galaksije od njihovih bikonveksnih dvojnic, ki posedujejo strukturo diska, vendar nimajo nobenih spiral.

Disk spiralnih galaksij naj bi bil obkrožen z velikim sferoidnim halojem zvezd druge populacije, ki se združujejo v globularne kopice in krožijo okrog centra galaksije.

Razmerje svetlosti diska in izbokline (D/B) se giblje od 0,7 za galaksije tipa S0, do 3 za Sb pa vse do 50 za Sd.

Disk je precej tanek (razmerje med premerom in debelino diska je 10:1 in več), izboklina pa ima skoraj sferično obliko. Radialni profil svetlosti spiralne galaksije tako sestavimo iz dveh različnih funkcijskih odvisnosti.

## Funkcije za opis porazdelive svetlosti

Porazdelitev svetlosti centralne izbokline opišemo z eno izmed naslednjih funkcij:

$I(r) = \frac{I_c}{\left(1 + \frac{r}{r_c}\right)^2}$	Hubble – Reynoldsov zakon
$I(r) = I_e * \exp\left(-7,67 * \left(\left(\frac{r}{r_e}\right)^{\frac{1}{4}} - 1\right)\right)$	De Vaucouleurs ali $r^{1/4}$ zakon
$I(r) = \frac{I_c}{\left(1 + \left(\frac{r}{r_c}\right)^2\right)}$	Kingov model
$I_c$ = centralna površinska svetlost	
$r_c$ = radij jedra	
$I_e$ = svetlost na efektivnem radiu	
$r_e$ = efektivni radij, t.j. radij, do katerega je izsevana polovica svetlosti	

Hubblor in de Vaucouleurs-jev zakon sta dobljena empirično, Kingov zakon pa ima tudi teoretično osnovo.

Porazdelitev svetlosti diska pa dobro opiše eksponentna funkcija

$$I(r) = I_c * \exp\left(-\frac{r}{r_d}\right), \quad (1)$$

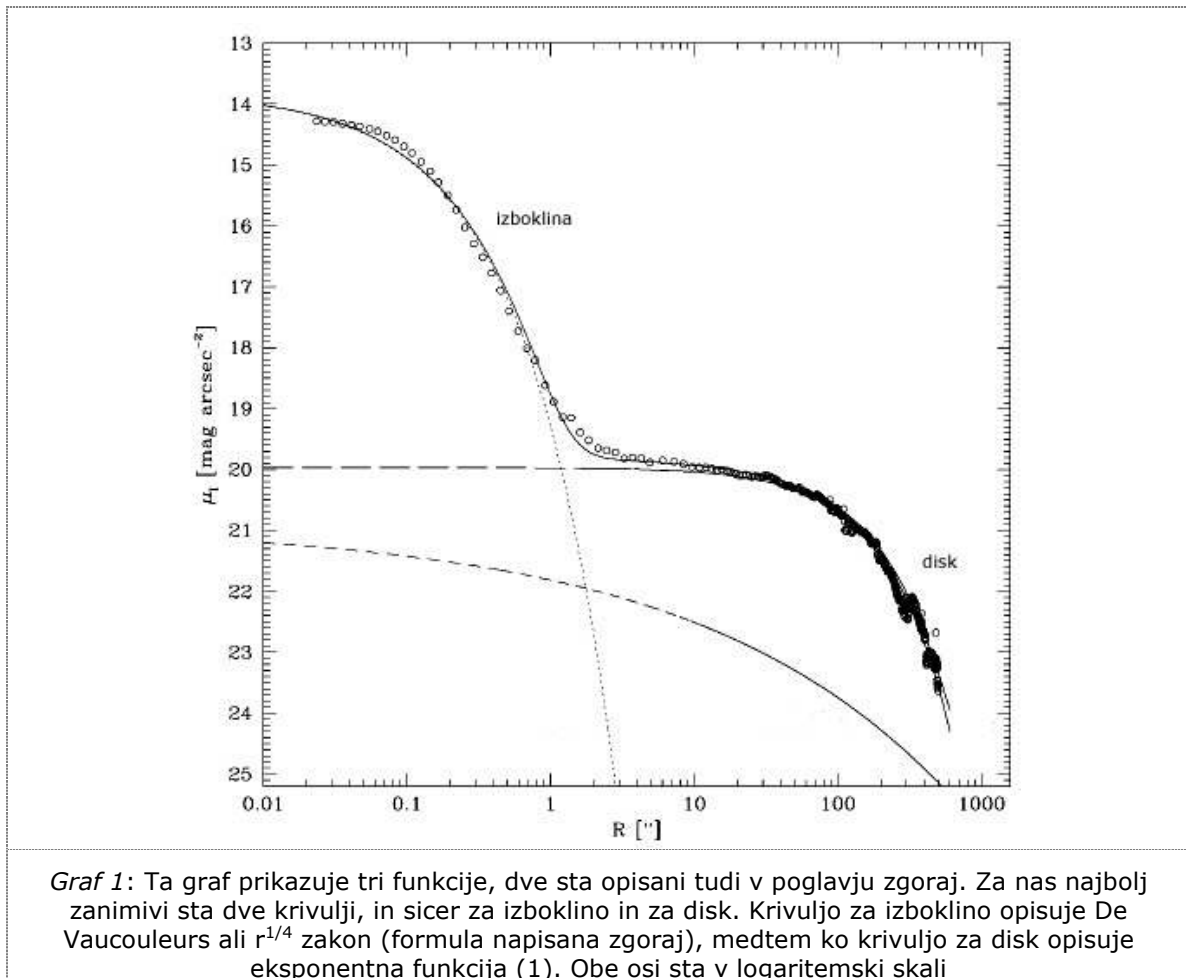
kjer je  $r_d$  polmer galaksije, ki ima konstantno svetlost  $I_c$  (svetlost jedra) in enak skupni izsev  $L_{tot}$ ,

$$L_{tot} = 2 * \pi * I_c * r_d^2. \quad (2)$$

Tipične vrednosti za  $r_d$  so  $\sim 2-5$  kpc.

## Graf, ki ponazarja funkcije za opis porazdelitve svetlosti

Spodaj si lahko ogledamo tipičen graf, ki ponazarja zgornje funkcije.



Zgornji graf je bil objavljen v Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, vol. 4 (2004). Za majhne  $r$  ( $0.02'' < r < 5''$ ) je meritve opravila skupina Boker et al. in sicer z opazovanji Hubblevega vesoljskega teleskopa, za večje  $r$  ( $5'' < r < 500''$ ) pa ekipa korejskih znanstvenikov s teleskopom premera 1 metra.

Točke, ki so narisane na grafu kot majhni krožci, so dejanski izmerki, na katere se prilega narisana krivulja.

Astronomi običajno podajajo površinsko svetlost v enotah magnitude na kvadratno kotno sekundo (arcsec), ki jo označijo s črko  $\mu$  in ki predstavlja navidezno magnitudo enake celotne jakosti svetlobe, opazovane v kvadratni kotni sekundi v različnih točkah porazdelitve. Če imamo torej svetlost  $I$  podano v enotah  $W/(m^2 \text{ steradian})$ , tako kot smo jo podajali tudi mi pri naših meritvah, lahko to svetlost s pomočjo naslednje formule pretvorimo v enote magnitude na kvadratno kotno sekundo:

$$\mu = -2.5 * \text{Log}(I_1) + 5 * \text{Log}(206265) - 5 + M_0, \quad (3)$$

kjer je  $I_1 = I * 4,25 * 10^{10}$  in predstavlja vso svetlobo, ki je vsebovana v 1 kvadratni kotni sekundi,  $1'' = 1/206265$  radiana,  $M_0$  = absolutna magnituda Sonca, ki je  $\sim 4,8$ .

Tudi razdaljo  $R$  lahko podamo v ločnih sekundah, kot je to podano v zgornjem grafu. En piksel ustreza kotu  $\Delta\phi = (l/f) * 206265$ , kjer je  $l$  velikost piksla,  $f$  goriščna razdalja,  $1''$  pa je  $1/206265$  radiana. Tako dobimo kot v ločnih sekundah.



## Potek dela

Delo je potekalo, tako kot smo seveda v fiziki že navajeni, v dveh delih, torej merjenje in obdelava meritev.

### Merjenje

Najprej smo premislili o različnih aspektih našega projekta v skupini in poskušali predvideti nekatere probleme, ki bi jih morda srečali. Po nekaj raziskovanja na internetu in brskanja po raznih katalogih galaksij kot npr. Messierjev katalog (Charles Messier je bil francoski astronom, ki je leta 1774 izdal katalog 45ih nelokalnih in oddaljenih objektov), smo se odločili za pet spiralnih galaksij z dotičnega kataloga: M61, M65, M95, M96 in M104 (ki pa je galaksija z vzdevkom Sombrero in tako ne pride v poštev).

Te konkretne galaksije smo izbrali ker so dovolj blizu za opazovanje z našim teleskopom in posebno, ker nam kažejo »obraz« frontalno (face-on). Normala ravnine, v kateri ležijo, je vzporedna s smerjo gledanja. Naša naloga je bila namreč, da izmerimo radialno odvisnost svetlosti spiralne galaksije in to je najlažje storiti na galaksijah, ki nam kažejo »obraz« frontalno. Če bi izbrali naključno spiralno galaksijo, bi morali najprej analizirati njen kotni položaj glede na nas in potem ekstrapolirati radialno odvisnost svetlosti, kar bi bila nepotrebna komplikacija.

Merjenje je potekalo na observatoriju na Golovcu, kjer je postavljen teleskop Vega. Z njim smo se nekako le privadili na delo s teleskopom, fotografije, ki smo jih kasneje uporabili za obdelavo, pa smo posneli s teleskopom Cichocki na Črnem vrhu, ker je bil teleskop Vega ravno tisti dan, ko smo fotografirali galaksije, v manjši okvari (avtomatsko sledenje ni funkcioniralo).

Za vsak obisk observatorija na Golovcu se je treba vnaprej najaviti in navesti datum, čas in namen opazovanja, kajti na vsakem teleskopu obstaja urnik opazovanj, da se teleskop čimbolje in čimbolj resno izkoristi.

Prvič smo observatorij prvič obiskalo 20. aprila. Bojan Dintinjana, ki skrbi in dela na teleskopu, nam je najprej malo razkazal observatorij in razložil, kako se teleskop upravlja in kako ravnati s teleskopom. Teleskop je seveda povezan na računalnik, s katerim se ga upravlja. Upravljamo ga z mnogo programi. Med njimi so najpomembnejši programi za navigacijo teleskopa in za upravljanje CCD kamere ter za analizo fotografij, posnetih s CCD kamero (to je program *IRAF*).

Ko smo se z vsemi temi programi spoznali, smo se lotili resnega dela. Najprej smo fokusirali teleskop, to pomeni, da smo nastavili najbolj idealno gorišče teleskopa. To smo naredili tako, da smo zagnali program za fokusiranje. Program premakne fokuser v začetno lego in posname majhno sliko neke zvezde. Nato program premika fokuser za dx in posname isto sliko. To ponavlja toliko časa, da fokuser pride v končno pozicijo. Na koncu pogleda vse rezultate in vzame za fokus vrednost, ko je širina zvezde najmanjša in vrh najvišje. Potem smo izmerili flat, kar je strokovni izraz za skupen flux, ki prihaja iz okolice (torej vsa svetloba, ki se odbija od objektov v okolici observatorija in od atmosfere). Ta flat smo na koncu morali odšteti od vsake slike, da dobimo čimbolj čisto in natančno sliko (teleskop Cichocki je to seveda naredil avtomatsko). Izmerili smo tudi dark, ki pa je šum elementov na CCD kameri.

Potem smo začeli fotografirati galaksije. Poskušali smo z različnimi časi ekspozicije in ugotovili, da časovni interval 300 sekund da primerno število fotonov na piksel za nadaljno analizo (s tako ekspozituro fotografija ni ne presvetla, ne pretemna). Med opazovanjem smo seveda pisali tudi dnevnik stvari, ki smo jih počeli, tako da smo potem imeli zapiske za izdelavo poročila. Nekaj grafov smo narisali oziroma skicirali kar tam iz neobdelanih podatkov in bili dokaj zadovoljni z rezultati, saj so pokazali karakteristike, ki smo jih pričakovali iz teorije. To je bilo seveda še prezgodaj za slavlje, saj smo imeli še ogromno dela, ampak to dejstvo nas je vsekakor spodbudilo k še bolj zagnanemu delu.

Tako smo že takoj pri drugem obisku na Golovcu vse galaksije poslikali ponovno, vsako smo poslikali trikrat s tremi različnimi filtri. Ker je bil teleskop Vega v manjši okvari, smo se tega dela lotili s teleskopom Cichocki na Črnem vrhu, s katerim je delo veliko lažje, saj je precej bolj avtomatiziran. Delo z njim poteka tako, da mu v posebni datoteki napišemo, katere objekte hočemo fotografirati in s kakšnimi parametri (čas ekspozicije, filter, ipd.).

Na koncu smo vseh devet slik neke galaksije s posebno skripto sešteli v eno, ki je tudi povprečila podatke iz teh slik. Rezultat je bila veliko bolj natančna in čista slika, kar smo seveda potrebovali za čimbolj natančno analizo. Več o tem si priberite v naslednjem poglavju.

## Obdelava meritev

Ko smo poslikali vse galaksije, smo jih najprej sešteli s skripto, nato smo iz slike s še eno skripto prebrali svetlost vseh pikslov, ki nas zanimajo. Na koncu smo vse podatke zbrali v *Excelu* in narisali grafe. Tukaj so malo širše opisani vsije trije postopki, rezultati oziroma grafi pa so razloženi in komentirani v poglavju Rezultati.

### Skripta za seštevanje slik

S skripto za seštevanje slik smo sešteli vse fotografije določene galaksije. Vsako galaksijo smo namreč fotografirali večkrat in z več filtri (Blue, Red, Visible), saj smo tako pridobili na kvaliteti fotografije, ki je bila potrebna pri naši nalogi.

Skripta najprej prebere vse slike, ki jih hočemo sešteti, iz neke datoteke, v katero vpišemo imena slik. Skripta nato kreira neko svojo datoteko, v katero vpiše imena slik, ki so popravljene, saj jih skripta mora naravnati in obdelati na tak način, da bo pri seštevanju vse v isti poziciji ter da bo po seštevanju slika tudi povprečena, da dobimo povprečno svetlost določenega piksla (in ne seštevka vseh svetlosti). Ko to naredi, skripta pokliče program IRAF in mu v njegovem jeziku sporoča, kako mora seštevati slike. Ko so vsi ukazi izvršeni, dobimo ven sešteto in povprečeno sliko. To sliko smo potem analizirali.

```
#!/bin/sh
#
# Ta program sesteeje serijo slik
# dec 2003, B. Dintinjana
ARGS=2
E WRONGARGS=65
export TERM=xterm
if [ $# -lt "$ARGS" ]
then
  echo "Usage: `basename $0` <out-image> <input images list>"
  exit $E WRONGARGS
fi
# najprej pocisti
if [ -e $1 ]
then
  rm -f $1
fi
# pripravi parametre
outimage=$1
refimage=$2      # prva slika na spisku za sestet
datapath=$(pwd)
shift
# pripravi spisek slik v datoteki
rm -f imlist
rm -f outlist
until [ -z "$1" ]
do
  lastimage=$1
  echo "$1 " >> imlist
  echo `basename $1 | sed -e 's/.fts/-wcs.fts/'` >> outlist
  shift
done
cd $HOME
cl <<Iraf-Process
# zacetek iraf programa
real jdlast
real jdfirst
real expo
real evalue
cd $datapath
# slike najprej poravnam po wcs
unlearn wregister
wregister.function = "legendre"
wregister.xxorder = 6
wregister.xyorder = 6
wregister.xterms = "half"
wregister.yxorder = 6
```

```

wregister.yyorder = 6
wregister.yxterms = "half"
wregister.reject = INDEF
wregister.calctype = "real"
wregister.geometry = "geometric"
wregister.xsample = 1.
wregister.ysample = 1.
wregister.interpolant = "nearest"
wregister.boundary = "constant"
wregister.constant = 1.
wregister.fluxconserve = yes
wregister @imlist $refimage @outlist
# poravnane slike zlozim skupaj
unlearn imcombine
imcombine.outtype = "ushort"
imcombine.lthreshold = 2
imcombine.combine = "average"
imcombine @outlist $outimage
# popravim vrednost EXPOSURE v glavi, je cas od prve do konca zadnje slike
imgets $lastimage "JD"
jdlast=real(imgets.value)
imgets $refimage "JD"
jdfirst=real(imgets.value)
imgets $outimage "EXPOSURE"
expo=real(imgets.value)
evalue=expo+(jdlast-jdfirst)*86400.0
hedit $outimage "EXPOSURE" value=real(evalue) verify=no
hedit $outimage "EXPTIME" value=real(evalue) verify=no
logout
# konec iraf programa
Iraf-Process
cd $datapath
# pocisti za seboj
for i in $(cat outlist)
do
    rm -f $i
done
exit

```

### **Skripta, ki prebere svetlost določenega piksla na sliki**

IRAF je program, za katerega smo že zgoraj napisali, da je zelo uporaben in da zna zelo veliko stvari. Tako nam je pri problemu, kako prebrati iz slike neke galaksije svetlost nekega piksla, zelo pomagal modul *pvector*, ki je le eden od mnogih modulov IRAF-a za obdelovanje slik.

Ta modul naredi točno to, kar smo hoteli. Vse, kar mu moramo podati, je ime slike in za kateri piksel hočemo zvedeti svetlost. Ker smo v našem primeru iskali radialno odvisnost svetlosti, smo seveda morali izmeriti vse piksele na intervalu od jedra galaksije do roba in mogoče še malenkost čez.

Zato smo napisali preprosto skripto, ki je dolžino premera galaksije na sliki (torej od 200 do 240 pikslov, odvisno od galaksije) premerilo na vsakih 5°. Torej kot bi imeli neko palico konstantne dolžine, ki jo držimo na sredini v centru galaksije in jo zavrtimo okrog za 180°, na vsakih 5° pa izmerimo svetlost vseh pikslov na tej palici. Center galaksije pa smo določili z neki drugim ukazom, ki pogleda, kje na sliki je najbolj svetlo v dani okolici, ki jo sami izberemo.

Tako smo za vsako galaksijo dobili 36 datotek, v katerih je bilo od 200 do 240 izmerkov. Vse te datoteke smo potem združili v eno samo preglednico in narisali grafe.

```

#!/bin/sh
#
# Skripta za analiziranje svetlosti določene galaksije
# sept 2006, L. Santelj, D. Stankovic, D. Kopac
pot=`pwd`
slika=$1          #prvi parameter je ime slike
centerx=$2       #drugi paramtere je center galaksije v x smeri
centery=$3       #tretji parameter je center galaksije v y smeri
premer=$4        #cetrti paramter je premer galaksije

for i in `seq 0 35`          # i gre od 0 do 35, torej 36*5°=180°

```

```
do
  kot=$(echo "$i*5" | bc)      # zmnoži i s številom 5, da dobimo kot theta
  cd $HOME
  cl <<Iraf-Process          # pokliče IRAf
    # zacetek iraf programa
    cd $spot
    pvector $slika yc=$centery xc=$centerx theta=$kot length=$premer
  out_type="text" vec_output="graf$slika_$kot"
  logout
  # konec iraf programa
Iraf-Process
done
```

### Obdelava podatkov in risanje grafov s programom Excel

Mislím, da je obdelava podatkov v Excelu trivialen postopek in ga tu ne mislim opisovati. Iz IRAF-a smo dobili za vsako galaksijo 36 datotek, v katerih so bili napisani podatki, koliko je piksel na določeni razdalji od centra svetel, v obe smeri od centra. Tako smo dobili za svetlost vsakega piksel na določeni razdalji (na določenem radiju) pri različnih kotih ( $0^\circ$ ,  $5^\circ$ , ...,  $355^\circ$ ) 72 različnih števil. Da ne bi bilo preveč podatkov, smo vsako drugo meritev izbrisali in tako na koncu pristali na 36-ih številkah (za kote  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ , ...,  $350^\circ$ ), ki smo jih povprečili in seveda izračunali absolutno napako.

Iz tega povprečja smo potem narisali graf za vsako galaksijo, vsije grafi pa so komentirani v nadaljevanju.

Absolutna napaka je seveda bila v tem projektu zelo pomembna, saj povprečenje svetlosti pikselov na krožnici s konstantnim radijem pokvari tisto bistvo grafa, to je, da lahko iz grafa dejansko vidimo, da gre za spiralno galaksijo. Zato smo šele, ko smo na graf narisali absolutno napako, videli, kje je bilo odstopanje največje in tam (na tistih razdaljah od centra galaksije) se pojavijo spiralne roke.

Tako lahko potem graf primerjamo tudi recimo z grafom št. 1 pri teoriji, ki opisuje Vaucouleurs-ov ali  $r^{1/4}$  zakon za izboklino in eksponenten zakon za disk galaksije. Tudi naši grafi so potem z napakami prišli podobni. Če bi narisali graf brez napak, bi videli, da je graf podoben grafu, ki opisuje Vaucouleurs-ov ali  $r^{1/4}$  zakon. Napake na grafu pa približno opisujejo eksponenten zakon za disk galaksije.

Povsem na koncu smo, predvsem zaradi primerjave naših rezultatov z grafom št. 1, narisali vse grafe še v enotah magnitude na kvadratno kotno sekundo (arcsec), ki jo označimo s črko  $\mu$  in ki predstavlja navidezno magnitudo enake celotne jakosti svetlobe, opazovane v kvadratni kotni sekundi v različnih točkah porazdelitve. Grafi so tudi tokrat primerljivi s teoretičnimi napovedmi, kar nam daje potrditev v pravilnost opravljenih meritev.

## Rezultati


Spodaj so narisani grafi, za vsako galaksijo pa smo poleg njene fotografije napisali še nekaj najbolj splošnih podatkov.

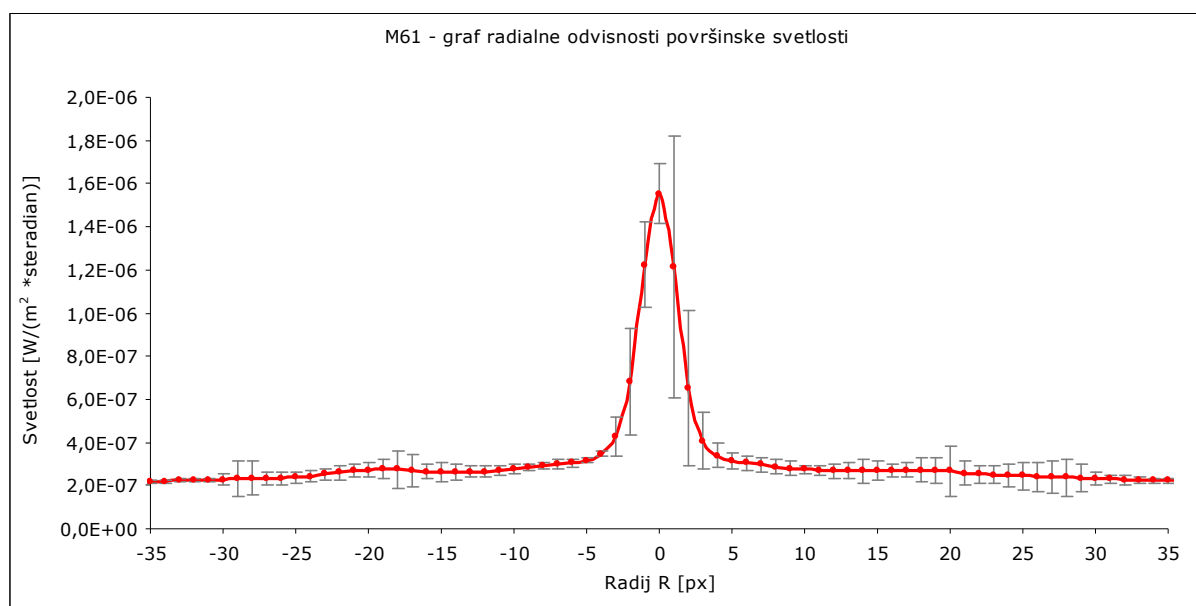
Naloga od nas zahteva, da podamo radialno odvisnost svetlosti v enotah  $W/(m^2 \cdot \text{steradian})$ . Da bi dobili te enote, smo seveda morali pretvoriti številke, ki jih dobimo neposredno iz programa in ki predstavljajo število fotonov na piksel CCD kamere v času ekspozituro (to je bilo v našem primeru 300 sekund). Iz te številke smo dobili zahtevano preko formule

$$I = \frac{dP}{dS \cdot d\Omega} = (\text{št. fotonov}) \cdot \frac{h \cdot c}{\lambda} \cdot \frac{1}{\text{izk}} \cdot \frac{1}{t} \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{4 \cdot f^2}{\pi \cdot D^2}, \quad (4)$$


kjer je  $S = a^2$  površina oziroma velikost piksla na CCD kameri (za teleskop Cichocki je  $a = 23 \mu\text{m}$ ),  $t$  je čas ekspozituro (300 sekund),  $h$  je Planckova konstanta,  $\lambda$  je valovna dolžina fotonov (mi smo vzeli kar 550 nm),  $\text{izk}$  je kvantni izkoristek kamere (80%),  $D$  je premer zrcala na teleskopu,  $f$  pa gorišče teleskopa (za teleskop Cichocki je  $D = 0,36\text{m}$  in  $f = 2\text{m}$ ).

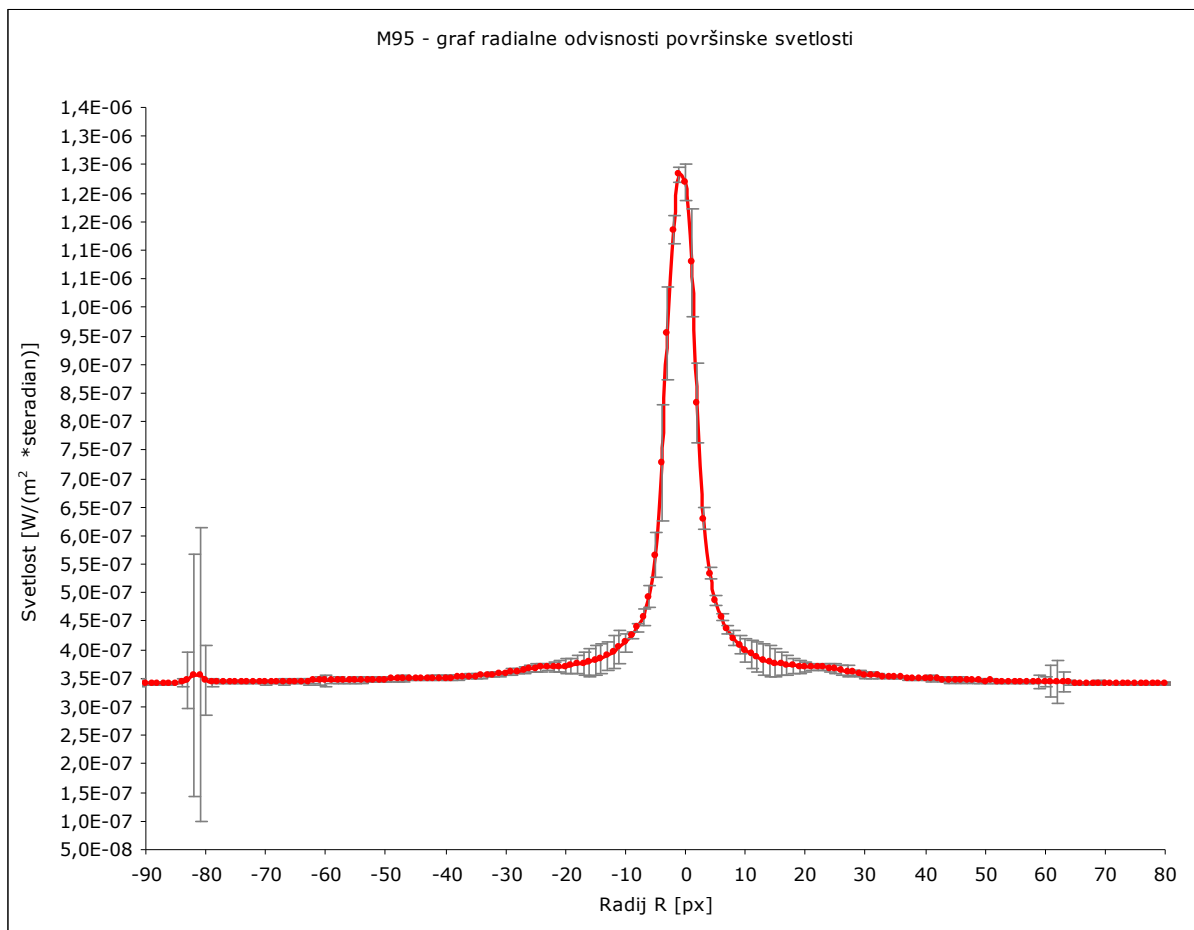
### M61

Nekaj podatkov	Fotografija galaksije, posneta s teleskopom Cichocki												
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Tip galaksije</td> <td>SABbc</td> </tr> <tr> <td>Rektascenzija</td> <td>12<sup>h</sup> 21.9<sup>m</sup></td> </tr> <tr> <td>Deklinacija</td> <td>+4° 28'</td> </tr> <tr> <td>Oddaljenost</td> <td>60 * 10<sup>6</sup> ly</td> </tr> <tr> <td>Relativna magnituda</td> <td>+9,7</td> </tr> <tr> <td>Absolutna magnituda</td> <td>-21,2</td> </tr> </table>	Tip galaksije	SABbc	Rektascenzija	12 <sup>h</sup> 21.9 <sup>m</sup>	Deklinacija	+4° 28'	Oddaljenost	60 * 10 <sup>6</sup> ly	Relativna magnituda	+9,7	Absolutna magnituda	-21,2	
Tip galaksije	SABbc												
Rektascenzija	12 <sup>h</sup> 21.9 <sup>m</sup>												
Deklinacija	+4° 28'												
Oddaljenost	60 * 10 <sup>6</sup> ly												
Relativna magnituda	+9,7												
Absolutna magnituda	-21,2												




## M95

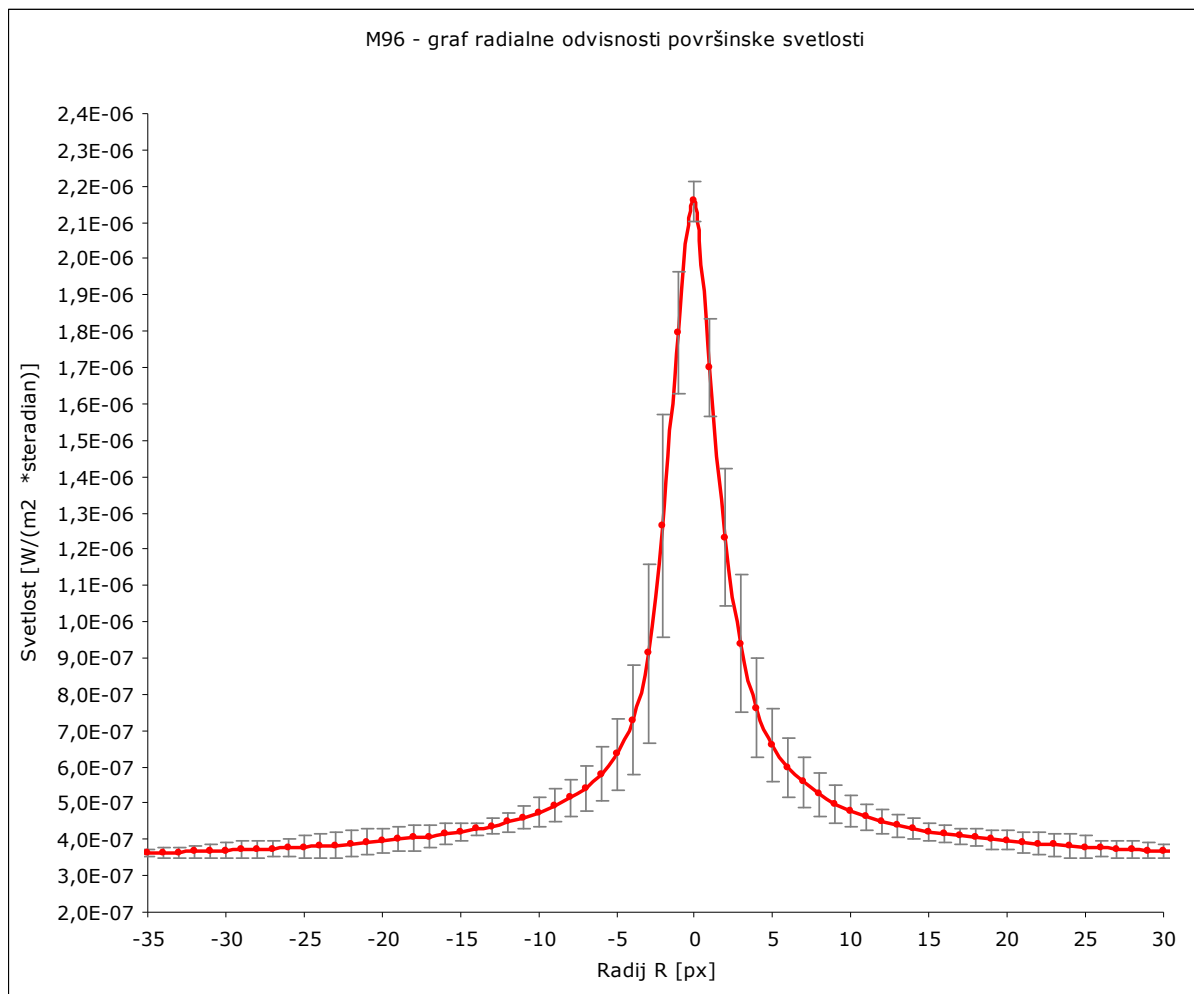
Nekaj podatkov		Fotografija galaksije, posneta s teleskopom Cichocki
Tip galaksije	SB(r)b	
Rektascenzija	10 <sup>h</sup> 43 <sup>m</sup> 57 <sup>s</sup>	
Deklinacija	+11° 42'	
Oddaljenost	38*10 <sup>6</sup> ly	
Relativna magnituda	+9,8	
Absolutna magnituda	13,6	



Zanimivo pri tem grafu je, da je na položaju okrog -80px od centra videti neka anomalija. Iz slike je vidno, da je tam bil nek zelo svetel objekt, zato smo ta graf pustili tako raztegnjen le zaradi te zanimivosti.

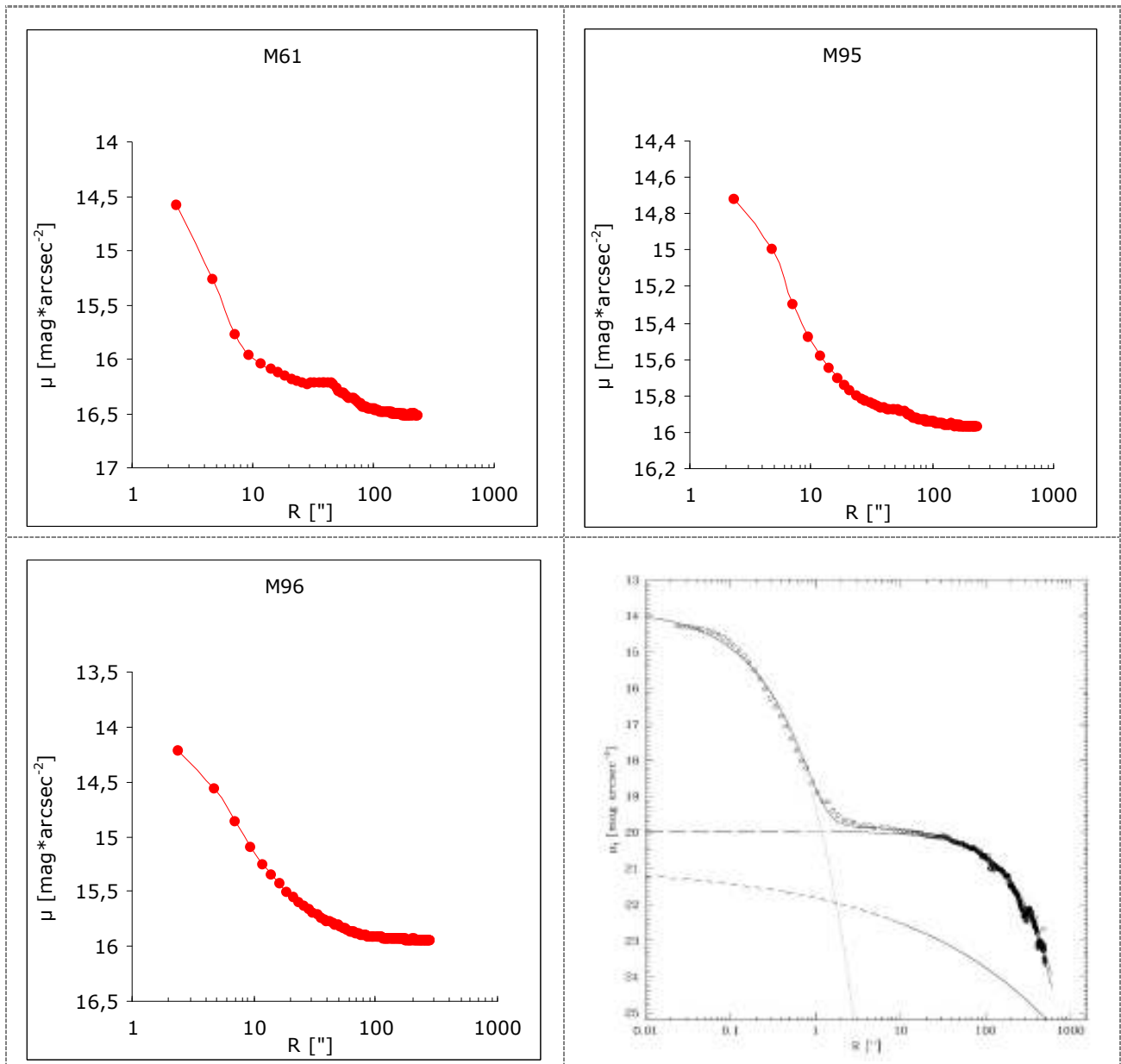
M96

Nekaj podatkov		Fotografija galaksije, posneta s teleskopom Cichocki
Tip galaksije	SB(s)ab	
Rektascenzija	10 <sup>h</sup> 46 <sup>m</sup> 45 <sup>s</sup>	
Deklinacija	+11° 49'	
Oddaljenost	38*10 <sup>6</sup> ly	
Relativna magnituda	+9,3	
Absolutna magnituda	13,2	



## Grafi odvisnosti magnitude na kvadratno kotno sekundo od radija

Na abscisni osi imamo nanešen radij v ločnih sekundah in sicer v logaritemski skali. Na orginatni osi pa je nanešena magnituda na kvadratno kotnost sekundo (torej logaritem površinske svetlosti). Vidimo, da magnituda raste, ko površinska svetlost pada, kar je seveda teoretično pravilno. Ti grafi so primerljivi z grafom št. 1 (viden v zadnjem okvirčku). Še najlepše je vidna podobnost z grafom galaksije M61.





## Kratice in strokovni izrazi

---

**IRAF** – je kratica za Image Reduction and Analysis Facility. To je velika zbirka skript, ki so jih napisali astronomi in programerji v National Optical Astronomy Observatory (NOAO). Te skripte omogočajo razne obdelave fotografij oziroma podatkov, dobljenih iz CCD kamer na teleskopih.

**pvector** – modul v IRAF-u, ki prebere svetlost določenega piksla na fotografiji in ki ga lahko seveda kličemo z mnogo parametri.

**Excel** – Microsoftov program za urejanje in obdelavo preglednic in risanje grafov.

## Zaključek

---

S stališča resnega znanstvenega dela in zahtev, ki jim morajo meritve in obdelava zadostiti, da bi bili rezultati relevantni v strokovnem smislu, je bil naš projekt izpeljan bolj amatersko. Da bi dobili boljše in bolj zanesljive rezultate, bi seveda morali opraviti meritve na veliko večjem številu galaksij. Pri slikanju z različnimi filtri bi morali upoštevati filterske funkcije (spektralno prepustnost filtrov), da bi bolj natančno izračunali energijo vpadlih fotonov. Za bolj podroben vpogled v naš problem bi lahko ločili galaksijo na jedro, izboklino in disk, saj ima vsak izmed teh delov različno funkcijsko odvisnost svetlosti od radija. Naši rezultati za posamezno galaksijo so vsota teh treh funkcij.

Naša naloga je bila izmeriti radialno odvisnost svetlosti, kar je makroskopska lastnost galaksij, ki pa je rezultat mikro porazdelitve mase oziroma zvezd v galaksiji in nudi le malo vpogleda vanjo. Analiza in izpeljava prostorske porazdelitve sistema  $N$  teles v nehomogenem gravitacijskem potencialu iz osnovnih zakonov je prezahtevna, da bi jo lahko korektno izpeljali in z njo preverili naše rezultate. Tudi na splošno je razlaga te lastnosti galaksij slabo teoretično podprta, saj je večina enačb, ki jo opisujejo, empiričnih, ekstrapoliranih in povprečenih po meritvah več tisoč galaksij. Te enačbe sicer potrjujejo tudi računalniške simulacije, ki pa vsaj z našim razumevanjem nudijo le malo teoretične razlage.

Na koncu lahko zaključimo, da smo kljub številnim zgoraj opisanim poenostavitvam in omejeni natančnosti naših meritev dobili dokaj dobre rezultate. Torej radialna odvisnost svetlosti za izboklino se kar dobro ujema z Vaucouleurs-ovim ali  $r^{1/4}$  zakonom, medtem ko je tudi radialna odvisnost svetlosti za disk galaksije v naših grafih primerljiva z eksponentnim zakonom (1).

Namen tega projekta je bil predvsem, da se spoznamo z osnovami astronomskega dela in dobimo prave izkušnje pri delu s teleskopom, in ta je bil vsekakor dosežen.

## Uporabljeni viri in orodja

---

### Viri

#### Internet strani

Podoben projekt, kot smo si ga zadali mi, z podobnimi rezultati, kot so naši - [http://www.faulkes-telescope.com/uploads/downloads/GP\\_using\\_ds9\\_profiles.pdf](http://www.faulkes-telescope.com/uploads/downloads/GP_using_ds9_profiles.pdf)

Na splošno o radialni odvisnosti svetlosti spiralnih galaksij - <http://www.astro.utoronto.ca/~ast222/lectures/SB.pdf>

Meritev površinske fotometrije za spiralno galaksijo NGC 300 - [http://chjaa.bao.ac.cn/2004/2004\\_4\\_4p299.pdf](http://chjaa.bao.ac.cn/2004/2004_4_4p299.pdf)

Wikipedia - <http://www.wikipedia.org>

Internet iskalnik - <http://www.google.com>

Kratka navodila za študentska opazovanja - <http://astro.ago.uni-lj.si/navodila/navodila.html>

#### Knjige in ostala literatura

Pot skozi vesolje – Tomaž Zwitter; Ljubljana : Modrijan, 2002

Zapiski iz predmeta Astronomija, 2. letnik univerzitetnega študija fizike

### Orodja

Microsoft Office 2003

Adobe Photoshop CS 2.0

Odprikodni programi v okolju Linux na delovnih postajah observatorija na Golovcu