

# Galactic Astronomy: Homework 3

21010475 신승우

November 5, 2024

## 1 Introduction

은하의 light curve는 다음과 같은 de Vaucouleurs profile을 따르는 것으로 알려져 있다.

$$\mu(r) = \mu_e + 8.3268 \left[ \left( \frac{r}{r_e} \right)^{1/4} - 1 \right] \quad (1)$$

그리고 de Vaucouleurs profile의 일반화된 형태인 Sérsic profile은 다음과 같이 주어진다.

$$\mu(r) = \mu_e + 8.3268 \left[ \left( \frac{r}{r_e} \right)^{1/n} - 1 \right] \quad (2)$$

타원은하가 이러한 profile을 따르는지 실제 은하의 Photometry 관측 결과와 비교해보기 위해 직접 은하 관측을 할 수는 없기 때문에, SkyView Virtual Observatory의 DSS Survey data로부터 .fits file을 받아와서 Mopex 프로그램으로 은하 중심으로부터의 거리에 따른 pixel value data를 구했다. 노이즈를 무시하면 pixel value는 물리적으로 그 pixel에 도달한 photon의 flux에 비례한다.

Flux density와 magnitude 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$m_1 - m_2 = -2.5 \log_{10} \frac{F_1}{F_2} \quad (3)$$

$\mu$ 는 magnitude가 아닌 surface brightness이기 때문에,

$$\begin{aligned} \mu(r) - \mu_e &= m(r) - m_e + 2.5 \log_{10} A - 2.5 \log_{10} A \\ &= -2.5 \log_{10} \frac{F(r)}{F_e} + 2.5 \log_{10} \frac{A}{A} \\ &= -2.5 \log_{10} \frac{F(r)}{F_e} \end{aligned} \quad (4)$$

정확한 flux density와 pixel value 사이의 관계를 알 수 없기 때문에  $\mu$  값을 알아내지는 못했지만, 위 식을 이용해서  $\mu(r) - \mu_e$  을 계산하여 light curve fitting을 진행했다.

## 2 Code

```
1 import pandas as pd
2 import numpy as np
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 from scipy.optimize import curve_fit
5
6 galaxy_name = 'your_galaxy_name'
7 galaxy = pd.read_csv(
8     filepath_or_buffer=f'data/{galaxy_name}.tbl',
9     skiprows=11,
10    sep=r'\s+',
11    names=['Index', 'Lon_LeftReadout', 'Lat_LeftReadout', '
12           Lon_RightReadout', 'Lat_RightReadout', 'Distance', '
13           Flux'],
14    index_col=0
15 )
16 distance = galaxy['Distance'].to_numpy()
17 flux = galaxy['Flux'].to_numpy()
18 flux = np.flip(flux) # if data is flipped
19
20 # Masking
21 mask = distance>50
22 distance_sorted= distance[mask]
23 flux_sorted = flux[mask]
24
25 r_inner = distance[:-1] # Inner radii of annuli
26 r_outer = distance[1:] # Outer radii of annuli
27
28 areas = np.pi * (r_outer**2 - r_inner**2) # Areas of annuli
29
30 d_flux = flux[-1]*areas
31
32 # Compute cumulative flux
33 cumulative_flux = np.cumsum(d_flux)
34
35 total_flux = cumulative_flux[-1]
36
37 # Find the radius where cumulative flux is half of the total
38 # flux
39 half_flux = total_flux / 2
40 r_e_index = np.searchsorted(cumulative_flux, half_flux)
41 r_e = distance[r_e_index]
42
43 # Compute surface brightness  $\mu(r) = -2.5 * \log_{10}(\text{Flux})$ 
44 # Since Flux_sorted is proportional to surface brightness
45 mu_r = -2.5 * np.log10(flux/flux[r_e_index-5:r_e_index+5]).
46     mean()
```

```

44 mu_r_sorted = mu_r[mask]
45
46 # Define the generalized de Vaucouleurs profile function
47 def deVaucouleurs_profile(r, n):
48     return 8.3268 * ((r / r_e) ** (1 / n) - 1)
49
50 params, _ = curve_fit(
51     f=deVaucouleurs_profile,
52     xdata= distance_sorted,
53     ydata= mu_r_sorted,
54     p0= 4,
55     bounds=((1), (np.inf))
56 )
57 n = params[0]
58 distance_sample = np.linspace(distance[0], distance[-1],
59     1000)
59 mu_fit = deVaucouleurs_profile(distance_sample, n)
60 mu_4 = deVaucouleurs_profile(distance_sample, 4)
61
62 print(r_e)
63
64 # Plot
65 fig = plt.figure(figsize=(8, 6))
66 ax = fig.add_subplot()
67
68 ax.scatter(distance, mu_r, s=10)
69 ax.plot(distance_sample, mu_fit, c='gray', label=f'n={n:.1f}
70     ')
70 ax.plot(distance_sample, mu_4, c='gray', ls='--', label='n=4
71     ')
72
73 # Details
74 ax.set_xlim((0, distance.max())); ax.set_ylim((-1.5,0.5))
75 ax.legend(edgecolor='none')
76 ax.tick_params(direction='in')
77 ax.invert_yaxis() # Invert y-axis because lower magnitudes
78     are brighter
79 ax.grid(True)
80
81 ax.set_title(galaxy_name)
82 ax.set_xlabel('Distance [arcsec]')
83 ax.set_ylabel(r'$\mu_{r}-\mu_{e}$ [mag/arcsec$^2$]')
84
85 # Save
86 fig.savefig(f'figures/{galaxy_name}_mu.png')

```

### 3 Results

Virgo cluster에 속하는 타원 은하들, M49, M60, M87 은하에 대해서 Sérsic profile fitting을 진행하였다. 아래 그림을 보면 은하의 중심에서 매우 가까운 영역은 flat light curve를 가진다. 그래서 그 영역은 적절히 제외하고 fitting을 진행한 결과이다.  $x$ 축은 지구에서 관측한 angular distance이고,  $y$ 축은  $\mu(r) - \mu_e$  값이다.

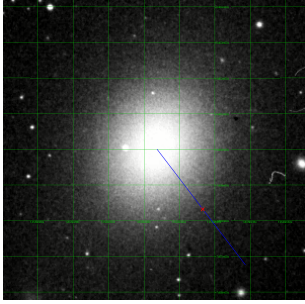


Figure 1: M49 image

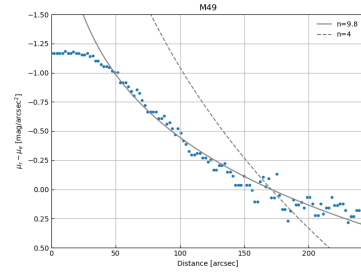


Figure 2: M49 data

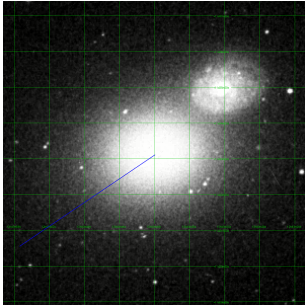


Figure 3: M60 image

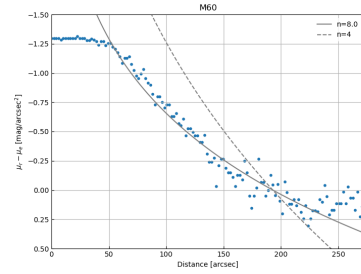


Figure 4: M60 data



Figure 5: M87 image

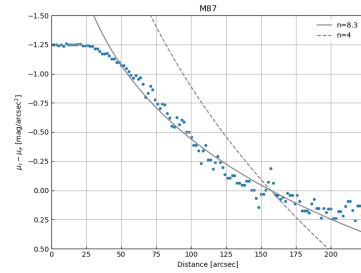


Figure 6: M87 data

## 4 Conclusion

그래프를 그려본 결과, 각 타원은하의 light curve는 de Vaucouleurs profile( $r^{1/4}$  법칙)을 따르지 않는다. 하지만 Sérsic profile( $r^{1/n}$  법칙)을 따른다고 가정하고 curve fitting을 했을 때는 light curve가 잘 fitting이 된다. 따라서 M49, M60, M87 은하의 light curve는 Sérsic profile을 따르는 것으로 보인다.