

Wyznaczenie masy gromady gwiazd z wykorzystaniem twierdzenia o wiriale

Kamil Kalinowski

Maj 2022

1 Wstęp

1.1 Tw. o wiriale

Twierdzenie o wiriale w postaci znajdującej szerokie zastosowanie w astronomii wiąże energię kinetyczną samograwitujących układów z ich grawitacyjną energią potencjalną. Przy założeniach, że

1. masy cząstek w układzie są równe,
2. prędkości cząstek w układzie są równe

można wyprowadzić wzór

$$m = \frac{rv^2}{G}, \quad (1)$$

gdzie r jest promieniem efektywnym układu, m jest jego masą układu, v^2 jest średnim kwadratem prędkości cząstek i G jest stałą grawitacji.

Twierdzenie można wykorzystać do oszacowania masy samograwitujących ciał, jak gromady gwiazd i galaktyki.

1.2 Astrometria

Z wykorzystaniem paralaksy heliocentrycznej π można obliczyć odległość d do obiektu z wykorzystaniem wzoru

$$d = \pi^{-1}. \quad (2)$$

Jeśli do powyższego wzoru zostanie podstawiony kąt o wymiarze sekund łuku, wymiarem wyznaczonej odległości będzie parsek.

Przeliczyć mały ruch własny μ obiektu na jego prędkość liniową v można z wykorzystaniem wzoru

$$v = d\mu. \quad (3)$$

Ruch własny jest często podawany w składowych rektascencji μ_α i deklinacji μ_δ . Linia współrzędnej rektascencji w ogólności nie jest kołem wielkim na sferze.

Z tego powodu, chcąc obliczyć kąt β o jaki przemieścił się obiekt na niebie po tej linii współrzędnych, należy zastosować poprawkę ze względu na jego deklinację

$$\beta = \mu_\alpha \cos \delta. \quad (4)$$

2 Przebieg analizy

1. Wyszukano w programie Aladin katalog [3]. Zawiera on dane dot. gwiazd z gromady otwartej Plejady. Ich pozycje na zdjęciu asteryzmu Plejady przedstawiono na rys. 1.
2. Przesłano katalog do programu topcat i zapoznano się z metadanymi dotyczącymi katalogu.
3. Stworzono kolumnę zawierającą odległości wyrażone w parsekach policzone przy użyciu kolumny zawierającej paralaksy. Wykorzystano wzór (2). Wartość średnia wynosi

$$\bar{d} = 134.65 \pm 0.22 \text{ Pc},$$

gdzie podana niepewność to odchylenie standardowe średniej.

4. Przeliczono ruchy własne gwiazd w rektascensji i deklinacji na prędkości liniowe wyrażone w pc/yr dodając kolejne dwie kolumny. Wykorzystano wzór (3). Założono, że do wartości ruchów własnych w rektascensji została zastosowana poprawka ze względu na deklinację. Wartości średnie wynoszą

$$\Delta v_\alpha = 1.25 * 10^{-5} \frac{\text{pc}}{\text{yr}}, \quad \Delta v_\delta = -2.90 * 10^{-5} \frac{\text{pc}}{\text{yr}}.$$

Te wartości oznaczają ruch własny gromady na niebie ziemskiego obserwatora.

5. Oddzielono ruchy własne poszczególnych gwiazd w rektascensji i deklinacji, od ruchu całej gromady, odejmując od nich wartości średnie. Wartości średnie wynoszą

$$\overline{\Delta v_\alpha^*} = 1.32 * 10^{-21} \frac{\text{pc}}{\text{yr}}, \quad \overline{\Delta v_\delta^*} = -2.19 * 10^{-22} \frac{\text{pc}}{\text{yr}}.$$

Są zatem niemal równe 0.

6. Stworzono kolumnę zawierającą kwadrat prędkości z uwzględnieniem dwóch składowych prędkości – w deklinacji i rektascensji. Wartość średnia wynosi

$$\overline{v^2} = 1.11 * 10^6 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2.$$

7. Oszacowano składową radialną średniego kwadratu prędkości ze wzoru $\frac{v_{rad}^2}{v^2} = \overline{v^2}/2$



Rysunek 1: Zdjęcie asteryzmu Plejady pochodzące z ESO Online Digitized Sky Survey. Nałożono na nie pozycje gwiazd z analizowanego katalogu (czerwone markery).

8. Dodano składową radialną do wartości średniej kwadratu prędkości. Ostatecznie

$$\overline{v^2} = 1.67 * 10^6 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2.$$

9. Obliczono rozmiar kątowny gromady odejmując od maksymalnej, minimalną wartość deklinacji. Po przeliczeniu na parseki wynosi on

$$d_g = 24.50 \text{ pc}.$$

10. Oszacowano masę gromady. Wykorzystano wzór (1). Otrzymano wartość

$$m = 9.47 * 10^{33} \text{ kg}.$$

3 Dyskusja

Odległość do Plejad podawana w literaturze różni się w zależności od źródła, natomiast w jednym z nowszych opracowań wynosi ona $136.2 \pm 5.0 \text{ pc}$ [1]. Jest to wartość zgodna z wyznaczoną.

Masa Plejad podawana w literaturze wynosi około $1.6 * 10^{33} \text{ kg}$ [2]. Wartość ta jest zgodna co do rzędu wielkości z wyznaczoną, lecz zauważalnie mniejsza.

Możliwe przyczyny to

1. Zawyżone oszacowanie składowej radialnej prędkości. Ta składowa może być nawet bliska 0, jeśli oś obrotu gromady jest skierowana w stronę obserwatora.
2. Mogą występować błędy grube dla pomiarów mas i prędkości gwiazd w katalogu.

References

- [1] Guillermo Abramson. “The Distance to the Pleiades According to iGaia/iDR2”. In: *Research Notes of the AAS* 2.3 (Aug. 2018), p. 150. DOI: 10.3847/2515-5172/aada8b. URL: <https://doi.org/10.3847/2515-5172/aada8b>.
- [2] Joseph D. Adams et al. “The Mass and Structure of the Pleiades Star Cluster from 2MASS”. In: *The Astronomical Journal* 121.4 (Apr. 2001), pp. 2053–2064. DOI: 10.1086/319965. URL: <https://doi.org/10.1086/319965>.
- [3] P. A. B. Galli et al. “VizieR Online Data Catalog: Parallaxes for 1146 Pleiades stars (Galli+, 2017)”. In: *VizieR Online Data Catalog*, J/A+A/598/A48 (Oct. 2016), J/A+A/598/A48.