

# Milijun zvijezda

---

**Pavlovski, Krešimir**

Source / Izvornik: **Matematičko fizički list, 2003, 210, 94 - 96**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:501134>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

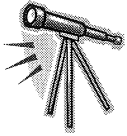
Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb](#)

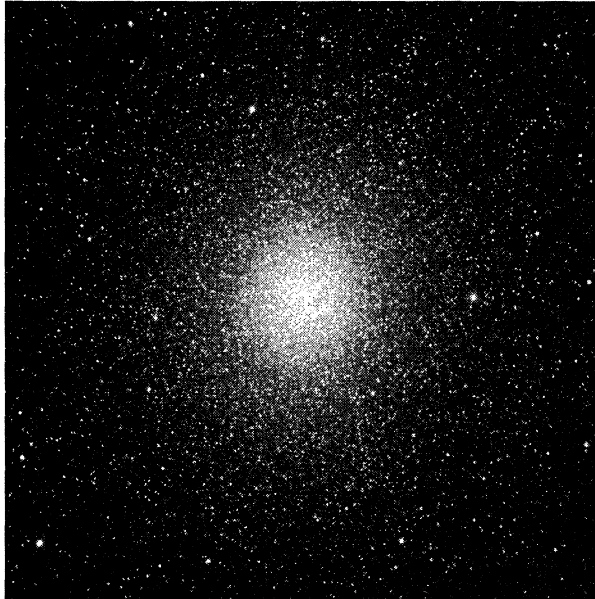




## Milijun zvijezda

*Krešimir Pavlovski<sup>1</sup>, Zagreb*

Pogled na sliku kuglastog skupa – pogled je na milijun zvijezda. Toliko zvijezda sadrže skupovi koje zbog karakterističnog oblika nazivamo kuglasti skupovi (sl. 1). U našoj ih je Galaksiji poznato nešto više od 200. Kuglasti skupovi tvore vrlo važnu komponentu u građi galaksija. Pošto se radi o “izoliranim” objektima, kuglasti skupovi sadrže gotovo najstarije zvijezde galaksije; zvijezde koje su građene od najjednostavnijih elemenata u svemiru. Stoga i istraživanja kuglastih skupova pomažu u razumijevanju nastanka galaksija i određivanju starosti svemira.



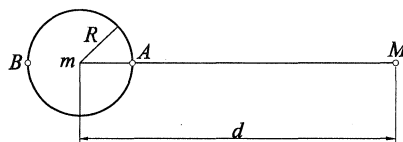
*Slika 1. Kuglasti skup zvijezda  $\omega$  Centauri (NGC 5139). To je najveći kuglasti skup u našoj Galaksiji koja sadrži oko 200 kuglastih skupova. Novija istraživanja ukazuju da se ustvari radi o maloj, patuljastoj galaksiji. Zbog toga su istraživanja kuglastih skupova važna kako bi se razumjela evolucija galaksija.*

Dokažimo tvrdnju iz naslova da ovakva loptasta nakupina sadrži gotovo milijun zvijezda. Jasno, zvijezde nećemo brojati – iako bismo i to mogli učiniti, možda bi bilo malo zamorno ali dovelo bi nas do rezultata. Mi ćemo se poslužiti fizikalnim

<sup>1</sup> Autor je redoviti profesor na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, e-mail: kresimir@phy.hr, <http://www.phy.hr/~kresimir>

razmišljanjem koje će nam dati približan rezultat. Treba “samo” na neki način odrediti masu takvog kuglastog skupa zvijezda. Uz pretpostavku neke prosječne mase zvijezde kuglastog skupa i zadatak je riješen.

Masu kuglastog skupa odredit ćemo razmatrajući djelovanje plimne sile Mliječnog Puta na kuglasti skup. Kuglasti skupovi rotiraju oko središta Galaksije. Veličina kuglastog skupa nije zanemariva, zvijezde u kuglastom skupu imaju različite udaljenosti od središta Galaksije. Znamo da gravitacijska sila opada s kvadratom udaljenosti, tako da će gravitacijska sila na zvijezde bliže središtu Galaksije biti veća nego na zvijezde s vanjske strane kuglastog skupa. Kada zvijezde kuglastog skupa ne bi bile zadržane međusobnim gravitacijskim privlačenjem, razišle bi se. Odredit ćemo “plimnu granicu” ili “plimni polumjer” kuglastog skupa u kojem se ova dva efekta poništavaju.



Slika 2. Kuglasti je skup prikazan kao krug polumjera  $R$  na udaljenosti  $d$  od središta Galaksije, koje je prikazano kao točka na desnoj strani crteža.  $M$  i  $m$  su mase Galaksije odnosno kuglastog skupa.

Situacija i oznake koje ćemo koristiti u izvodu prikazane su na sl. 2. Polumjer i masa kuglastog skupa označeni su s  $R$  i  $m$ . Za masu Galaksije  $M$  smatrat ćemo da je koncentrirana u središtu Galaksije. Kuglasti se skup nalazi na udaljenosti  $d$  od središta Galaksije. Gravitacijska sila između jedinične mase skupa u točki  $A$  na unutrašnjoj strani kuglastog skupa prema Galaksiji je

$$F_A = \frac{GM}{(d - R)^2}. \quad (1)$$

U točki  $B$  na suprotnoj, vanjskoj strani kuglastog skupa, gravitacijska sila između jedinične mase i mase Galaksije je

$$F_B = \frac{GM}{(d + R)^2}. \quad (2)$$

Razlika je tih dviju sila  $\Delta F = F_A - F_B$  plimna sila koja razdvaja mase u točkama  $A$  i  $B$ . Razlika  $\Delta F$  iznosi

$$\Delta F = \frac{GM(4dR)}{[(d - R)^2(d + R)^2]} \sim 4GM \frac{R}{d^3}, \quad (3)$$

gdje smo iskoristili činjenicu da je udaljenost skupa od središta Galaksije mnogo puta veća od njegove veličine,  $d \ll R$ . Uočimo da plimna sila za razliku od gravitacijske sile, opada s trećom potencijom udaljenosti. Plimna sila,  $\Delta F$ , nastoji razdvojiti mase koje se nalaze u točkama  $A$  i  $B$ . Međutim, na jedinične mase u točkama  $A$  i  $B$  djeluje i gravitacijska sila kuglastog skupa mase  $m$  koji privlači jedinične mase u točkama  $A$  i  $B$ , koje su na udaljenosti  $R$  od njegovog središta, silom koja je jednaka  $Gm/R^2$ . Izjednačimo plimnu silu Galaksije i gravitacijsku silu kuglastog skupa:

$$4GM \frac{R}{d^3} = Gm \frac{1}{R^2}, \quad (4)$$

odnosno, ponešto preuređeno

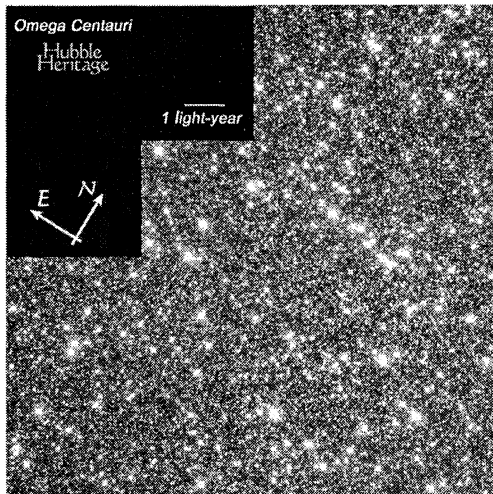
$$\frac{m}{M} = 4 \left( \frac{R}{d} \right)^3. \quad (5)$$

U jednadžbi (5) je masa kuglastog skupa  $m$  izražena preko mase Galaksije  $M$ , tj. omjera plimnog polumjera kuglastog skupa  $R$  i njegove udaljenosti od središta Galaksije  $d$ .

Poslužit ćemo se podacima koje su za kuglasti skup  $\omega$  Centauri odredili astrofizičari. Skup se nalazi na udaljenosti  $d = 6.4$  kpc od središta Mliječnog Puta (udaljenost od Sunca iznosi 5.3 kpc). Plimni polumjer  $R = 70$  pc što na nebeskoj sferi čini oko 70 lučnih minuta (za usporedbu, promjer Mjeseca na nebu iznosi oko 30 lučnih minuta!). Uz poznatu masu naše galaksije  $M = 2 \cdot 10^{11} M_{\odot}$ , gdje je  $M_{\odot}$  masa Sunca, prema jednadžbi (5), nakon uvrštavanja poznatih vrijednosti za masu zvjezdanog skupa proizlazi

$$m = 1 \cdot 10^6 M_{\odot}.$$

Uzmimo da je prosječna masa zvijezde kuglastog skupa  $1 M_{\odot}$ , dakle, skup zvijezda  $\omega$  Centauri sadrži 1 milijun zvijezda! Kada bi zvijezde bile jednoliko raspodijeljene u volumenu skupa imali bismo gustoću skupa u iznosu od  $0.6 M_{\odot} \text{ pc}^{-3}$ . Ranije smo pretpostavili da je masa prosječne zvijezde u skupu 1 Sunčeva masa. To znači, da u volumenu 1 kubičnog parseka imamo 0.6 zvijezda, odnosno, u prosjeku, svaka zvijezda u skupu zauzima volumen  $(1/0.6)$  ili  $1.7 \text{ pc}^3$ . U prosjeku, znači, zvijezde su na međusobnoj udaljenosti od 1.2 pc, što je gotovo 3 puta manje od prosječne udaljenosti zvijezda u Sunčevoj okolini.



Slika 3. U središtu kuglastog skupa  $\omega$  Centauri. Snimak je dobiven pomoću Hubble Space Telescope i obuhvaća područje od  $13 \times 13$  svjetlosnih godina i sadrži oko 50 000 zvijezda.

Gustoća zvijezda u središtu kuglastog skupa mnogo je puta veća od prosječne gustoće koju smo izračunali u ovom primjeru. Sl. 3 prikazuje središnji dio kuglastog skupa  $\omega$  Centauri koji je snimljen pomoću Hubble Space Telescope. Snimak obuhvaća promjer od 13 svjetlosnih godina (1 pc = 3.26 svj. god.). Smatra se da je na slici oko 50 000 zvijezda. Izračunajte kolika je prosječna gustoća središnjeg dijela  $\omega$  Centauri i koliki je prosječni razmak zvijezda u tom dijelu skupa.

Koliko se zvijezda u istom volumenu kao na sl. 2 nalazi u Sunčevoj okolini?