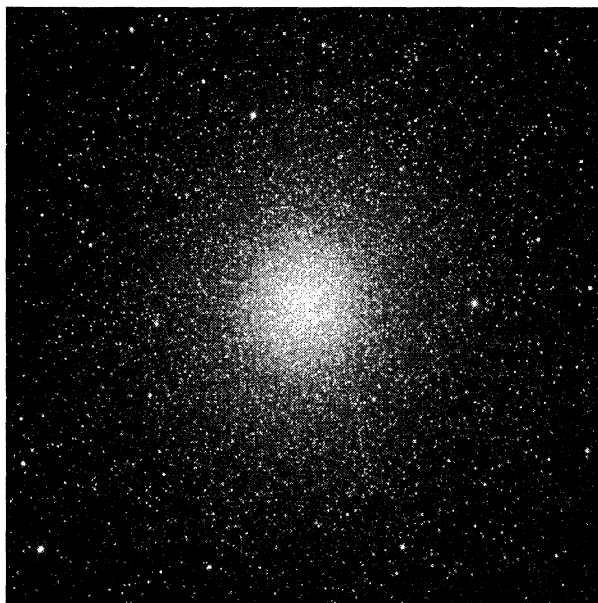


Milijun zvijezda

Krešimir Pavlovski¹, 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.



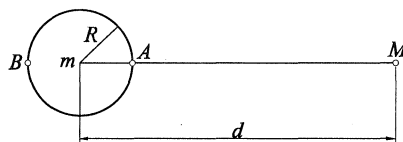
Slika 1. Kuglasti skup zvijezda ω Centauri (NGC 5139). To je najveći kuglasti skup u našoj Galaksiji koja sadrži oko 200 kuglastih skupova. Novija istraživanja ukazuju da se ustvari radi o maloj, patuljastoj galaksiji. Zbog toga su istraživanja kuglastih skupova važna kako bi se razumjela evolucija galaksija.

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

¹ 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 ΔF 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, ΔF , 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

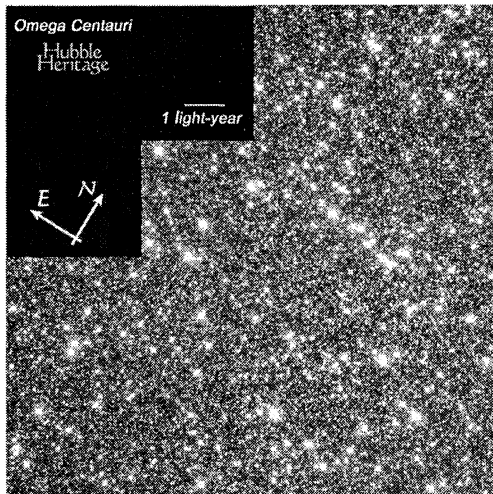
$$\frac{m}{M} = 4 \left(\frac{R}{d} \right)^3. \quad (5)$$

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 ω 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 ω 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 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 ω Centauri. Snimak je dobiven pomoću Hubble Space Telescope i obuhvaća područje od 13×13 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 ω Centauri koji je snimljen pomoću Hubble Space Telescope. Snimak obuhvaća promjer od 13 svjetlosnih godina ($1 \text{ pc} = 3.26 \text{ svj. god.}$). Smatra se da je na slici oko 50 000 zvijezda. Izračunajte kolika je prosječna gustoća središnjeg dijela ω 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?