

# Jata galaksija, virijalni teorem i nevidljiva tvar

---

**Pavlovski, Krešimir**

Source / Izvornik: **Matematičko fizički list, 2001, 203, 152 - 154**

**Journal article, Published version**

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:217:539050>

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](#)



## Jata galaksija, virijalni teorem i nevidljiva tvar

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

Galaksije se u svemiru nalaze u skupinama ili jatima. To mogu biti male skupine kao što je Lokalna grupa galaksija koju čini naša galaksija Mliječni put i Andromedina galaksija (M31) kao dominantne, te još tridesetak, uglavnom manjih, nepravilnih ili patuljastih eliptičnih galaksija. Lokalna grupa galaksija, koja obuhvaća promjer oko 1 Mpc (1 pc = 3.26 svjet. god. =  $3.086 \cdot 10^{16}$  m), dio je pak lokalnog superjata koje obuhvaća i vrlo bogato Virgo jato galaksija što se nalazi na udaljenosti od oko 15 Mpc od naše Galaksije. Virgo jato galaksija na nebu se rasprostire na gotovo  $7^\circ$ , što znači da ima promjer od nekih 2 Mpc.

Jata galaksija uočio je još William Herschel u 18. stoljeću kao velike nakupine maglica. Pravi smisao dao im je Edwin Hubble dvadesetih i tridesetih godina 20. stoljeća svojim istraživanjima dalekog svemira. Pregledom fotografskih ploča snimljenih za "palomarski pregled neba" američki je astronom George Abell otkrio 2712 jata. Njegov se katalog najčešće koristi u istraživanju dalekog svemira.

Za stabilni sustav, tj. sustav koji se niti skuplja niti širi, vrijedi Clausiusov virijalni teorem koji povezuje kinetičku energiju ( $E_k$ ) sustava s gravitacijskom potencijalnom energijom ( $E_p$ ). U stabilnom sustavu, gravitacijska potencijalna energija numerički je jednaka dvostrukoj kinetičkoj energiji. (Ne smijemo zaboraviti da je po definiciji gravitacijska potencijalna energija negativna veličina.) Zapisan simbolički virijalni teorem glasi:

$$2E_k + E_p = 0. \quad (1)$$

Virijalni teorem ne smijemo poistovjetiti sa zakonom očuvanja energije ( $E_{tot} = E_k + E_p$ ). Kinetička energija dolazi od kretanja individualnih komponenata u sustavu koje na okupu drži gravitacijska sila. Ako je kinetička energija prevelika, gravitacijska sila neće moći održati komponente na okupu i one će početi bježati iz sustava. Ili, u suprotnom slučaju, komponente će padati prema središtu sustava te će se sustav sažimati.

Primijenit ćemo virijalni teorem na jato galaksija. Pretpostavit ćemo da jato sadrži  $N$  galaksija i da je prosječna masa galaksije  $m$ . Kinetička energija galaksije koja se u jatu kreće brzinom  $v$  iznosi  $\frac{1}{2}mv^2$ . Pojedine galaksije imaju različite brzine dok ćemo mi u razmatranju uzeti srednju kinetičku energiju. Prema tome će ukupna kinetička energija  $N$  galaksija u jatu biti:

$$E_k = \frac{mNv^2}{2}. \quad (2)$$

Iz pomaka spektralnih linija u spektru galaksije možemo pomoću Dopplerovog efekta (MFL 2/186, 1996. – 97.) odrediti komponentu brzine galaksije u smjeru poglednice, tzv. radialnu brzinu. Ostale komponente prostorne brzine galaksije zbog velike udaljenosti galaksija ne možemo odrediti. Neka su  $U$ ,  $V$  i  $W$  komponente brzine  $v$ . Tada je  $v = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$ . Za skup galaksija koje se kreću potpuno nasumično (znači nema nekog posebnog preferiranog smjera kretanja u skupu) srednje vrijednosti  $U^2$ ,  $V^2$  i  $W^2$

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

su iste i jednake  $\frac{1}{3}v^2$ . Prema tome ukupnu kinetičku energiju (2) napisat ćemo uvrstivši radijalnu brzinu  $\dot{V}$ :

$$E_k = \frac{3NmV^2}{2}. \quad (3)$$

Sada još moramo izračunati ukupnu gravitacijsku potencijalnu energiju. Potencijalna energija dviju galaksija mase  $m$  koje su međusobno udaljene za  $r$  je  $Gm^2/r$  gdje je  $G$  konstanta gravitacije. Međutim, u jatu imamo  $N$  galaksija tako da moramo pribrojiti potencijalnu energiju svakog mogućeg para galaksija u jatu. Ukupno može biti  $N(N-1)$  parova tako da je ukupna gravitacijska potencijalna energija jata galaksija:

$$E_p = -\frac{GN(N-1)m^2}{2R}. \quad (4)$$

U (3) smo za prosječnu udaljenost među galaksijama  $r$  uzeli 'efektivni polumjer'  $R$  jata. Sada možemo u izraz za virijalni teorem (1) uvrstiti ukupnu kinetičku (3) i ukupnu potencijalnu energiju (4):

$$3NmV^2 = \frac{GN(N-1)m^2}{R}. \quad (5)$$

Preuredit ćemo (5) tako da, prvo, pojednostavnimo izraz jer za veliki broj galaksija  $N \simeq N-1$ , te da ga ispišemo izrazivši ukupnu masu jata galaksija  $M = Nm$ :

$$M = \frac{3V^2R}{G}. \quad (6)$$



*Slika 1. Jato galaksija A1060 koje se nalazi na udaljenosti od 220 milijuna svjetlosnih godina od Mliječnog puta. U vidnom polju su i dvije sjajnije zvijezde koje su na fotoploči ostavile karakteristični refleksi. Galaksije se vide kao mutne eliptične i spiralne mrlje. (Snimak Anglo–Australian Observatory).*

Jato galaksija A1060 (Hydra I) koje prikazuje sl. 1, na nebu obuhvaća područje s polumjerom 100 lučnih minuta. Udaljenost jata određena Tully–Fisherovom metodom

iz širine vodikove linije na 21 cm iznosi 68 Mpc. Iz podataka o radijalnim brzinama pojedinih galaksija u jatu (tablica 1) izračunat ćemo najprije srednju brzinu galaksija koja ustvari predstavlja 'crveni pomak' cijelog jata. Srednja vrijednost kvadrata razlika brzina predstavlja srednju brzinu kojom se galaksije gibaju unutar jata.

| galaksija | RV<br>[10 <sup>4</sup> m/s] |
|-----------|-----------------------------|
| NGC 3305  | 369                         |
| NGC 3307  | 362                         |
| NGC 3308  | 335                         |
| IC 629    | 246                         |
| NGC 3309  | 380                         |
| NGC 3311  | 357                         |
| NGC 3312  | 251                         |
| NGC 3314  | 264                         |
| NGC 3315  | 456                         |
| IC 2597   | 369                         |
| NGC 3336  | 369                         |

Tablica 1. Radijalne brzine  $RV$  pojedinih galaksija u jatu galaksija A1060 prema mjerenjima crvenog pomaka spektralnih linija.

Srednja je brzina 11 galaksija iz tablice 1,  $RV = 3416$  km/s, dok je srednja vrijednost standardna devijacija,  $V = 61$  km/s. Iz udaljenosti i prividne veličine jata na nebu slijedi da je polumjer jata  $R = 6.110^{22}$  m. Uvrstimo poznate veličine u izraz (6) za ukupnu masu jata galaksija ( $G = 6.67 \cdot 10^{-11}$  Nm<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup>). Dobili smo:

$$M = 3.2 \cdot 10^{46} \text{ kg} = 1.610^{16} M_{\odot}.$$

Smatra se da u jatu galaksija A1060 ima oko 200 galaksija. To bi značilo da je prosječna masa galaksije u jatu oko  $8 \cdot 10^{13} M_{\odot}$ . Međutim, masa Andromedine galaksije, koja ima veću masu od Mliječnog puta, iznosi oko  $3 \cdot 10^{11} M_{\odot}$  što bi značilo da je u prosjeku masa galaksija iz jata A1060 oko 250 puta veća od mase Andromedine galaksije! Zbog činjenice da je virijalna masa galaksija u pravilu veća od masa koje slijede iz sjaja galaksija još tridesetih godina 20. stoljeća američki astrofizičar Fritz Zwicky pretpostavio je postojanje nevidljive tvari u svemiru. Njegovu su pretpostavku potvrdila mjerenja rotacijskih brzina galaksija koja također potvrđuju da u svemiru vidimo samo 1% tvari dok je ostala skrivena kao tamna tvar. Potraga za tamnom tvari jedan je od velikih izazova današnje astrofizike.

**Zadatak.** Udaljenost do jata galaksija A1060 možemo izračunati iz Hubbleovog zakona  $v = Hd$  gdje je  $v$  crveni pomak odnosno radijalna brzina jata, a  $d$  udaljenost jata.  $H$  je Hubbleova konstanta. Uzmi da je  $H = 74$  km/s  $\times$  Mpc. Radijalnu brzinu jata izračunali smo prema podacima iz tablice 1. Usporedi rezultat s udaljenošću koja je određena Tully–Fisherovom metodom.