

L. Belyaeva, stud. phys. fac., Taras Shevchenko National University of Kyiv  
 S. Parnovsky, Dr. Sci., Astronomical observatory of the  
 Taras Shevchenko National University of Kyiv

**CORRECTION OF THE ORBITAL MASS OF DOUBLE GALAXIES ESTIMATION**

*We obtain a more accurate statistical estimation of the mass of double galaxies moving in circular orbits, including confidence intervals for different confidence levels.*

**Key words:** *extragalactic astronomy, mass of galaxies, double galaxies.*

**Introduction.** Determination of the mass of galaxies is one of the most difficult problems in extragalactic astronomy. One of the methods of estimating the mass of double galaxies is associated with the assumption of the motion of galaxies in a closed Keplerian orbit. The method of determining the mass of double galaxies was developed by Page [8–11]. Later this approach was improved in the works of Holmberg [2], Karachentsev and Shcherbanovsky [6], Noreldinger [7], Karachentsev [3–5].

**Determination of the orbital mass.** Karachentsev I. D. [3] considers the physical pair of galaxies that carry orbital motion around a common center of mass. In the simplest case, we are dealing with a circular orbit for which according to Kepler's third law the total mass of galaxies is determined by the formula:

$$M = \frac{R_p (\Delta V_r)^2}{G \eta} \tag{1}$$

$$M = K \frac{R_p (\Delta V_r)^2}{G}, K = \eta^{-1} \tag{2}$$

where  $R_p$  – projection of the distance between galaxies on the picture plane,  $\Delta V_r$  – relative radial velocity,  $\eta$  – a geometrical projection factor that has the form:

$$\eta = \sin^2 i \cos^2 \Omega (1 - \sin^2 i \sin^2 \Omega)^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

$R_p$  та  $\Delta V_r$  are determined from observation but for an individual galaxy the geometric factor  $\eta$  cannot be determined, therefore, statistical method of evaluation is used. An assumption is made about the random position of galaxies in relation to the line of sight. Then, the simultaneous distribution of the random quantities  $i$  and  $\Omega$  in this case has the form:

$$p_k(i, \Omega) = \frac{2}{\pi} \sin i \quad [0 < i < \frac{\pi}{2}; 0 < \Omega < \frac{\pi}{2}] \tag{4}$$

Further in the work [3] Karachentsev proposed to use the expected value of a geometrical projection factor  $\langle \eta \rangle = \frac{3\pi}{32}$ .

Therefore, we get an estimate of the coefficient that is being used at the moment:

$$K_0 = \frac{32}{3\pi} \tag{5}$$

$$M = \frac{32}{3\pi G} R_p (\Delta V_r)^2 \tag{6}$$

**Changing the existing estimation of the orbital mass.** Generally speaking,  $\langle \frac{1}{\eta} \rangle \neq \frac{1}{\langle \eta \rangle}$ , so it is interesting to

investigate the distribution of  $K$ . If we try to calculate the expected value of  $K$ , we can see that the integral diverges and therefore no expected value exists. In such cases, the median is used as an estimate of the central distribution tendency [1]. The median is considered a robust estimate [1] and can be quantified numerically.

Using computer simulation, a median of the distribution was calculated, which is proposed to be used to estimate the total mass of galaxies. Then the new estimation is 1.54 times more than (4) and looks like (2) with

$$K = 1.54 K_0 \tag{7}$$

Of course, estimation is still quite rough. For some orbits, we can get a mass much less than the real one. In view of this, other quantiles of distribution were also calculated (results are shown in Table 1). Table 1 contains confidence intervals for different confidence probabilities and clearly illustrates in what limits the mass of double galaxies can vary.

Table 1

Values of quantiles of the ratio  $K/K_0$  distribution

Probability $q, \%$	50	84.13	15.87	97.72	2.28	95	5	97.5	2.5
Quantile $\alpha_q$	1.54	20.26	0.45	1227	0.31	238	0.33	1015	0.31

So, the lower and upper limits of the  $1\sigma$  confidence interval are 0.45 and 20.26 respectively and we propose to use the factor  $K = 1.5^{+18.7}_{-1.1} K_0$  in the equation (2). This confidence interval is very asymmetrical, so an estimation of its boundary based on the statistical distribution of  $K$  is very useful. Estimation of the confidence intervals limits for some popular confidence levels one can find in Tab. 1.

**Conclusion.** The method of measuring the mass of double galaxies was considered. The use of the mass distribution median is proposed instead of the inversed expected value of a geometrical projection factor. As a result, we propose some corrections to the formula that was used for years. In addition, the confidence intervals for different confidence probabilities were calculated to estimate its accuracy.

#### References

1. Demidenko E. Linear and nonlinear regressions (in rus.: Демиденко Е. З. Линейная и нелинейная регрессии) // Finance and Statistics, 1981.
2. Holmberg E. On the masses of double galaxies // Lund Medd. Astron. – 1954. – Vol. 186. – P. 1.
3. Karachentsev I. Double galaxies (in rus.: Караченцев И. Д. Двойные галактики) // Science, 1987.
4. Karachentsev I. Homogeneous sampling of double galaxies. II. Orbital masses (in rus.: Караченцев И. Д. Однородная выборка двойных галактик. II. Орбитальные массы) // Astrophysics. – 1981. – Vol. 17. – P. 429–444.
5. Karachentsev I. The nature of the motion of binary galactic systems (in rus.: Караченцев И. Д. Характер движения двойных галактических систем) // Astronomical Journal. – 1970. – Vol. 47. – P. 509.
6. Karachentsev I. The Distribution of Masses and Types of Motion of Double Galaxies / I. Karachentsev, A. Shcherbanovskiy // Acta Astronomica. – 1970. – Vol. 20. – P. 373.
7. Noerdlinger P. D. Binary galaxy orbit statistics. I – Fixed mass and major axis / P. D. Noerdlinger // Astrophysical Journal. – 1975. – Vol. 197. – P. 545–550.
8. Page T. Average Masses and Mass-Luminosity Ratios of the Double Galaxies / T. Page // Astrophysical Journal. – 1960. – Vol. 132. – P. 910–912.
9. Page T. M/L for Double Galaxies, a Correction / T. Page // Astrophysical Journal. – 1962. – Vol. 136. – P. 685–686.
10. Page T. Radial Velocities and Masses of Double Galaxies / T. Page // Astrophysical Journal. – 1952. – Vol. 116. – P. 63.
11. Page T. Statistics of the double galaxies, and their formation / T. Page // Astrophysical Journal. – 1961. – Vol. 66. – P. 614.

Надійшла до редколегії 20.09.17

Е. Беяева, студ. фіз. ф-та  
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко  
С. Парновский, д-р физ.-мат. наук,  
Астрономическая обсерватория  
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

## ИЗМЕНЕНИЕ ОЦЕНКИ ОРБИТАЛЬНОЙ МАССЫ ДВОЙНЫХ ГАЛАКТИК

Получено более точную с точки зрения статистики оценку массы двойных галактик, которые движутся по круговым орбитам, расчитано границы доверительных интервалов.

Ключевые слова: внегалактическая астрономия, масса галактик, двойные галактики.

О. Біляєва, студ. фіз. ф-ту  
Київський національний університет імені Тараса Шевченка  
С. Парновський, д-р фіз.-мат. наук,  
Астрономічна обсерваторія  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

## ЗМІНА ОЦІНКИ ОРБИТАЛЬНОЇ МАСИ ПОДВІЙНИХ ГАЛАКТИК

Отримано більш точну з погляду статистики оцінку маси подвійних галактик, що рухаються коловими орбітами, обчислено межі довірчих інтервалів.

Ключові слова: позагалактична астрономія, маса галактик, подвійні галактики.

УДК 524.8

О. Сташко, студ.,  
В. Жданов, д-р фіз.-мат. наук, проф.  
Астрономічна обсерваторія  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка

## КОЛОВІ ОРБИТИ НАВКОЛО СФЕРИЧНО-СИМЕТРИЧНОЇ РЕЛЯТИВІСТСЬКОЇ КОНФІГУРАЦІЇ У ПРИСУТНОСТІ ФАНТОМНОГО СКАЛЯРНОГО ПОЛЯ

Розглянуто часткові точні розв'язки спільної системи рівнянь Ейнштейна й рівнянь фантомного скалярного поля з ненульовим потенціалом самодії. Проаналізовано розподіл кругових орбіт пробних тіл, що взаємодіють лише гравітаційно. Знайдено умови, за яких існують незв'язні області стійких колових орбіт, існування яких може проявити себе через форму релятивістських рентгенівських ліній в активних ядрах галактик.

Ключові слова: скалярне поле, орбіти пробних тіл

**1. Вступ і базові співвідношення.** Скалярно-польові моделі посідають важливе місце у гравітаційній фізиці, зокрема, у моделях інфляції раннього Всесвіту та в моделях динамічної темної енергії (див., напр., [1–3]). Серед них розглядають моделі динамічної темної енергії на основі фантомних скалярних полів. Для останніх, як відомо, порушуються слабка енергетична вимога, завдяки чому фантомне скалярне поле має іншу поведінку під час еволюції Всесвіту і т. п. [4]. Якщо такі поля справді існують, вони можуть проявити себе в розподілі колових орбіт пробних тіл, що, у першому наближенні, моделюють рух речовини в акреційних дисках навколо компактних астрофізичних об'єктів. Зазначимо, що наявність як загодно малого класичного чи фантомного скалярного поля може призводити до суттєвої зміни топологічної структури простору-часу гравітуючої конфігурації [3, 5–9], що, у свою чергу, може призводити до змін у русі речовини. Наприклад у випадку розв'язків [5,6,9] із безмасовим скалярним полем виникають області стійких колових орбіт, що не перетинаються [9–11].

Функціонал дії за наявності фантомного скалярного поля  $\phi$  із самодією