

польний та оккупольний) чутливі до таких варіацій. Зокрема зауважимо, що оккупольне наближення поля пекулярних швидкостей містить інформацію про космологічний параметр уповільнення [4]. Його коректне визначення за пекулярними швидкостями галактик можливе лише для однорідних "чистих" глибоких вибірок. Як підтвердження цього, у [28] показано, що зашумленість спостережних ТФ-даних для RFGC-галактик призводить до суттєвої відмінності оцінки параметра уповільнення від того значення, що визначене за вимірюваннями відстаней до наднових та за анізотропією мікрохвильового фону. Те ж саме стосується і використання вибірок 2MFGC-галактик: отримання космологічної інформації на основі галактик цього каталогу вимагає чистоту вибірки та ретельного обґрунтування особливостей опрацювання ТФ-даних. Деякі з рекомендацій щодо цього виведені в даній роботі.

1. Караченцев И.Д. Двойные галактики. М. – 1987. 2. Караченцев И.Д., Караченцева В.Е., Кудря Ю.Н., Парновский С.Л. Коллективные движения галактик из каталога FGC на масштабах 100 Мпк. // Астрон. журн. – 2000. – Т.77, №3. – С. 175–187. 3. Караченцев И.Д., Кудря Ю.Н., Караченцева В.Е., Митронова С.Н. Пекулярные скорости 3000 спиральных галактик из каталога 2MFGC // Астрофизика – 2006. – Т.49, №4. – С.527–540. 4. Кудря Ю.М., Александров О.М. Релятивистская полиномиальная модель великомасштабного ruchu галактик // Вісник Київського університету. Астрономія. – 2003. – Вип. 39–40. – С.116–120. 5. Кудря Ю.Н., Караченцева В.Е., Караченцев И.Д. и др. Коллективные движения спиральных галактик в объеме  $z = 0.03$  // Письма в Астрон. журн. – 2006. – 32, № 2. – С. 83–94. 6. Парновский С.Л., Кудря Ю.Н., Караченцева В.Е., Караченцев И.Д. Коллективное движение плоских галактик на масштабах 100 Мпк в квадрульном и оккупольном приближениях // Письма в Астрон. журн. – 2001. – Т.27, №12. – С.890–900. 7. Aaronson M., Huchra J. P., Mould J.R. The Infrared luminosity // HI velocity-width relation and its application to the distance scale // Astrophys. J. – 1979. – V. 229. – P. 1–13. 8. Aaronson M., Huchra J. P., Mould J. R. et al. The velocity field in the Local Supercluster // Astrophys. J. – 1982. – V. 258. – P. 64–76. 9. Aaronson M., Mould J. R., Huchra J.P. A distance scale from the infrared magnitude / HI velocity-width relation. I. The calibration // Astrophys. J. – 1980. – V. 237. – P. 655–665. 10. Arnaboldi M., Iodice E., Boumaud F. et al. Polar Ring Galaxies and the Tully-Fisher relation: implications for the dark halo shape // IAU Symposium. – 2004. – N.220. – P.405–410. 11. Coziol R., Consideri S., Davoust E., Contini T. The formation of bars and disks in Markarian starburst galaxies // Astron. Astrophys. – 2000. – V.356. – P.102–107. 12. Davoust E., Contini T. Starbursts in barred spiral galaxies VI. HI observations and the K-band Tully-Fisher relation // Astron. Astrophys. – 2004. – V.416. – P. 515–527. 13. Doyle M.T., Drinkwater M.J., Rohde D.J. et al. The HIPASS catalogue. III. Optical counterparts and isolated dark galaxies // MNRAS. – 2005. – V. 361. – P.34–44. 14. Jarrett, T.H., Chester, H., Cutri, R. et al. 2MASS Extended Source Catalog: Overview and Algorithms // Astron. J. – 2000. – V.119. – P. 2498–2531. 15. Hauschildt M. The Perseus supercluster at low galactic latitudes // Astron. Astroph. – 1987. – V.184. – P. 43–56. 16. Karachentsev I.D. Thin edge-on galaxies as a tool for the investigation of large-scale streaming motions in the Universe // Astron. J. – 1989. – Vol. 97. – P.1566–1575. 17. Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Kudrya Yu.N. et al. A list of peculiar velocities of galaxies from the RFGC catalogue. // Bull. Spec. Astrophys. Obs. – 2000. – V.50. – P.5–38. 18. Karachentsev I.D., Karachentseva, V.E., Kudrya, Yu.N. et al. The Revised Flat Galaxy Catalogue // Bull. Spec. Astrophys. Obs. – 1999. – V. 47. – P. 5–185. 19. Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Kudrya Yu.N. et al. A list of peculiar velocities of RFGC galaxies // Bull. Spec. Astrophys. Observ. – 2000. – V. 50. – P. 5–38. 20. Karachentsev I.D., Karachentseva V.E., Parnovsky S.L. Flat Galaxy Catalogue // Astronom. Nachrichten – 1993. – V. 314, №3. – P.97–222. 21. Kudrya Yu. N., Karachentseva V. E., Karachentsev I. D., Mitronova S. N., Jarrett T. H., Huchtmeier W. K. The bulk motion of flat edge-on galaxies based on 2MASS photometry // Astron. Astroph. – 2003. – V.407, N 3. – P.889–898. 22. Kudrya Yu.N., Karachentseva V.E., Karachentsev I.D., Mitronova S.N., Huchtmeier W.K. Distances and peculiar velocities of spiral galaxies in the 2MFGC and SFI++ samples // Астрофизика. – 2009. – Т.52, Вып.3. – С.367–382. 23. Mathewson D.S., Ford V.L. Parameters of 2447 southern spiral galaxies for use in the Tully-Fisher relation // Astroph. J. – 1996. – V.107. – P.97–102. 24. McGaugh S., de Blok E. The Baryon Fraction Distribution and the Tully-Fisher Relation // astro-ph/9711119. 25. McGaugh S.S., Schombert J.M., Bothum G.D., de Blok W.J.G. The Baryonic Tully-Fisher Relation // Astroph. J. – 2000. – V.533. – P.L99–L102. 26. Mitronova, S.N., Karachentsev, I.D., Karachentseva, V.E. et al. The 2MASS-selected Flat Galaxy Catalog // Bull. Spec. Astrophys. Obs. – 2003. – V. 57. – P.5–163. 27. Neistein E., Maoz D., Rix H.-W., Tonry J. A. Tully-Fisher relation for S0-galaxies // Astron. J. – 1999. – V.117. – P.2666–2675. 28. Parnovsky S. L., Parnowski A. S. Large-scale collective motion of RFGC galaxies in curved space-time // Astrophysics and Space Science. – 2011. – V. 331. – P. 429–440. 29. Pfenniger D., Revaz Y. The Baryonic Tully-Fisher relation revisited // Astron. Astroph. – 2005. – V.431. – P.511–516. 30. Shang Z., Zheng Z., Brinks E. et al. Ring structure and warp structure of NGC5907: interaction with dwarf galaxies // Astroph. J. – 1998. – V.504. – L23–L26. 31. Skrutskie M.F., Cutri R.M., Stiening R. et al. The Two Micron All Sky Survey (2MASS) // Astron. J. – 2006. – V. 131. – P. 1163–1183. 32. Springob C. M., Masters K. L., Haynes M. P., Giovanelli R., Marinoni C. Erratum: "SFI++ II: A New I-Band Tully-Fisher Catalog, Derivation of Peculiar Velocities and Data Set Properties" (2007, ApJ, 172, 599) // Astroph. J. Suppl. – 2009. – V. 182. – P. 474–475. 33. Tully R.B., Fisher R. A new method of determining distances to galaxies // Astron. Astroph. – 1977. – V.54. – P.661–673. 34. Tully R. B., Rizzi L., Shaya E. J. et al. The Extragalactic Database // Astroph. J. – 2009. – V.138. – P.323–331. 35. Van den Bergh, S. What are S0 galaxies? // Astroph. J. – 2009. – V.694. – P. L120–L122. 36. Whitmore B., Ray A.L., McElroy D.B. et al. New observations and a photographic atlas of polar-ring galaxies // Astron. J. – 1990. – V.100. – P.1489–1522, 1721–1755. 36. Willick J.A., Courteau S., Faber S. et al. Measurement of Galaxy Distances // In "Formation of Structure in the Universe". Ed. A. Dekel and J. P. Ostriker. Cambridge, 1999. – P. 213–217 [arXiv:astro-ph/9610200].

Надійшла до редколегії 30.03.11

УДК 524.8

S. Khmil, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.

## A MOVING GRAVITATIONAL LENS IN AN EXPANDING UNIVERSE

*Подано вираз для додаткового зсуву в спектрі зображення за рахунок руху гравітаційної лінзи, що узагальнює результати, знайдені для плоского простору-часу. Показано, що фонова кривина Всесвіту підсилює ефект. Величина підсилення чутлива до вмісту Всесвіту і до того, як окремі матеріальні складові розподілені вздовж променя зору. Для дискретних джерел (галактик, квазарів) підсилення мале, але у випадку космічного мікрохвильового фону воно може досягати кількох сотень, що варто враховувати при пошуках спостережних прояв екзотичних об'єктів, наприклад, космічних струн.*

*An expression for the additional shift in the image spectrum due to gravitational lens motion is given, which generalizes earlier results found for flat space. It is shown that the background curvature enhances the effect. This enhancement is sensitive to the content of the Universe and to how its constituents are distributed along the line of sight. For discrete sources (galaxies, quasars) the enhancement is small but for the microwave background it can reach some hundreds, which should be taken into account when looking for observational evidence of exotic objects, e.g., cosmic strings.*

It is known that gravitational lens motion induces a difference of shifts in image spectra. In particular, this causes brightness perturbations of the cosmic microwave background (hereafter CMB). The effect was firstly discussed by several authors for usual gravitational lenses (see, for example, [1, 3, 5]) and for cosmic strings [6, 9, 10]. In all the papers mentioned above, the universe was treated as Minkowskian and, therefore, possible effects of background curvature were not taken into account. Moreover, this approach is often used in investigations of the effect up to now. Avoiding this limitation, here we give an expression for the relative shift variation in an image spectrum due to lens motion and discuss some applications.

Let  $\alpha$  be a bending angle of the light ray in the gravitational-lens rest frame. If we assume, as usual, that  $\alpha$  is small, then we may consider the effect in a linear approximation. Let  $\mathbf{n}$  denote a unit tangent vector to the light ray in the absence of lensing. After passing the lens, the light ray becomes rotated about an axis whose unit vector is  $\mathbf{s}$  in the lens rest frame. Now let us assume that the lens has a peculiar velocity  $\mathbf{v}$ , then in any other frame of reference the mentioned spatial rotation induces appearance of an additional shift in the source spectrum  $\Delta z_S$ . It turns out that a general expression for this spectral shift, which also takes into consideration peculiar velocities of the source and the observer, can be obtained using rather

elementary geometrical grounds. The only limitation is that the background space-time curvature introduces no shear into a light bundle. This condition is valid in all homogeneous and isotropic cosmological models and therefore is not a problem. Detailed preliminary analysis with necessary justifications and computations can be found in [2]. For purposes of clarity, here we restrict our consideration to the case when the source and the observer have no peculiar velocities. The corresponding expression for a relative change of the source redshift  $z_S$  is then

$$\frac{\Delta z_S}{1+z_S} = A\alpha \frac{\mathbf{n} \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{s})}{c\sqrt{1-v^2/c^2}}. \quad (1)$$

with

$$A = \frac{D_{OL} + (a_L/a_O)D_{LS}}{D_{OS}}. \quad (2)$$

Here  $D_{OS}$ ,  $D_{OL}$ , and  $D_{LS}$  are the angular diameter distances from the observer to the source, to the lens, and from the lens to the source, respectively;  $a_L$  and  $a_O$  are the cosmological scale factors at the corresponding instants of time;  $c$  is the speed of light. Note that  $D_{LS}$  is calculated using only the cosmological redshift of the lens  $z_L$ , as if it rested in the cosmological frame of reference.

As we see from Eqn. (1), for given bending angle  $\alpha$  and lens velocity  $\mathbf{v}$ , the effect depends mainly on the relative orientation of the vectors  $\mathbf{v}$ ,  $\mathbf{n}$ , and  $\mathbf{s}$ . An influence of space-time geometry is described by a so-called geometric factor  $A$  defined by Eqn. (2). It is easy to see that Eqn. (1) gives also the temperature discontinuity of the CMB in view of the equality (see any book on cosmology, for example, [11])

$$\frac{\Delta T_S}{T_S} = -\frac{\Delta z_S}{1+z_S}. \quad (3)$$

In the flat space-time, we have  $a_L = a_O$  and  $D_{OL} + D_{LS} = D_{OS}$ , implying that  $A \equiv 1$ . Thus, we come to known results. For example, if  $v \ll c$  then we can obtain a particular expression for the CMB brightness perturbations due to lens motion [5]. In the case of a straight cosmic string (for a review see [12] and references therein) with the angle deficit  $\delta = \alpha$  and the unit vector along the string  $\mathbf{s}$ , we find the formula derived independently in [10, 9].

Since we have assumed  $z_L$  to be the cosmological redshift of the lens, obviously  $z_L \leq z_S$ . According to (2), in an expanding universe  $A = 1$  only if the lens is near the source ( $z_L = z_S$ ) or the observer ( $z_L = z_O = 0$ ). In a general case, when  $0 < z_L < z_S$ , the geometric factor  $A$  is greater than unity, so the background curvature of the expanding universe enhances the effect. Evidently, for any fixed source redshift  $z_S$  there exist such  $z_L$  at which  $A$  has a maximum.

As an illustration, in Fig. 1 we have plotted the geometric factor against the lens redshift  $z_L$  for several values of the source redshift  $z_S$  in the standard  $\Lambda$ CDM cosmology ( $\Omega = 1$ ,  $\Omega_\Lambda = 0.73$ ). It is clear that for discrete sources, such as galaxies and quasars, the geometric factor correction is rather small. Namely, for  $z_S \leq 10$  we have  $1 < A(z_L) \leq 2.2$ . However, for the CMB ( $z_S \sim 10^3$ ) the geometric factor reaches about  $10^2$  at its maximum. For example, at  $z_S = 1000$  and  $z_L = 1.64$  we get  $A = 126$ . Note that for  $z_S \gg 1$ , the geometric factor has a maximum  $A_{\max} \sim 0.12 z_S$  at  $z_L \approx 1.6$ .

As to cosmic strings, the study of CMB temperature fluctuations could put an upper limit on the value of an angle deficit  $\delta = 4G\mu/c^2$  (here  $G$  is the gravitational constant,  $\mu c^2$  is the string tension). According to Eqns. (1) – (3), this upper limit should then be lowered by  $A^{-1}$ , i.e. by one or even two orders, depending on the localisation of the string. Unfortunately, now there is no direct observational evidence of existing such objects [11]. Current estimates of the upper limit on the unitless parameter  $G\mu/c^2$  derived from various investigations vary from  $\sim 2 \times 10^{-6}$  to  $\sim 2 \times 10^{-7}$  (see, e.g., [8, 4, 7]).

The geometric factor is almost insensitive to the Hubble constant because, according to (2), it depends on ratios of the angular diameter distances. However it is sensitive to the matter distribution in the universe through the density parameters  $\Omega$ ,  $\Omega_m$ ,  $\Omega_\Lambda$ . If the universe is homogeneous on average, then it can be shown that the geometric factor is systematically less than its corresponding values in the homogeneous case. The dark energy described by the cosmological constant  $\Lambda$  also reduces the effect under consideration.

In conclusion, we discuss briefly a spectral shift due to time delay between images. This effect occurs even if the source, the lens, and the observer have no peculiar velocities. But its value is quadratically dependent on the bending angle  $\alpha$  while the effect due to relative motion is linearly dependent on it. Because  $\alpha \ll 1$ , it can be shown that even in view of relativistic factors, either both the effects are negligible or the effect due to relative motion is much greater than the one due to time delay in all the cases of practical interest.

Thus, the value of the geometric factor  $A$  depends sufficiently on the large-scale structure of the universe, in particular, on how cosmological constituents are distributed along the line of sight. We suppose that high-sensitive observations of the CMB perturbations near gravitational lenses on a scale of the order of bending angle would allow us to receive, in principle, some information about matter distribution parameters. Indeed, although peculiar velocities of galaxies are not greater than

a few hundred kilometers per second, and a typical bending angle for known lensing systems is about 10 arcsec, at the maximum of the geometric factor  $\sim 10^2$  the effect has the value  $\sim 10^{-5}$ , which is comparable with contemporary accuracy of measurements of the small-scale CMB fluctuations. Cosmic strings, whose peculiar velocities are expected to be relativistic, would be the most suitable objects for such observations, but, at present, we have no unambiguous observational arguments of their existence. In any case, however, we may argue that results obtained here will be useful in the near future for analysis and interpretation of observations of gravitational lenses and CMB fluctuations.

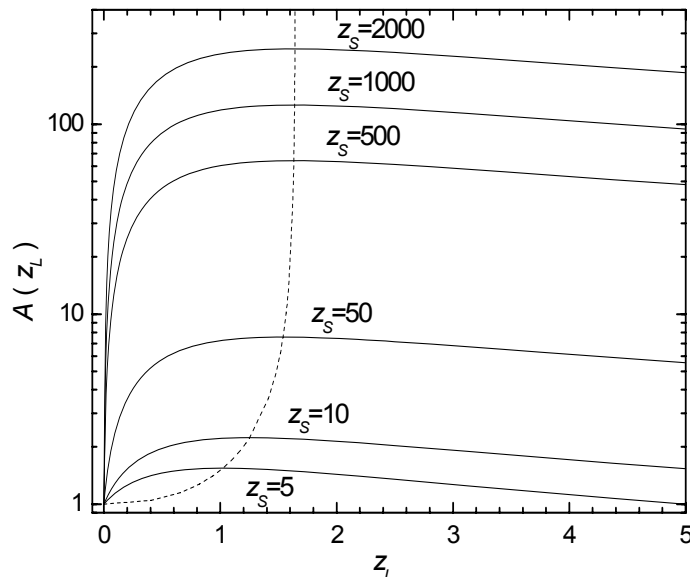


Fig. 1. Geometric factor  $A$  as a function of the lens redshift  $z_L$  for several fixed values of the source redshift  $z_S$ . Dashed curve with a vertical asymptote is a locus of maxima of  $A(z_L)$ .

1. Митрофанов И.Г. Влияние искривления лучей в гравитационном поле на фоновое излучение // Письма в Астрон. журн. – 1981. – Т. 7, № 2. – С. 73–75. 2. Хмиль С.В. Движущаяся гравитационная линза во Вселенной Фридмана // Письма в Астрон. журн. – 1988. – Т. 14, № 12. – С. 1086–1092. 3. Birkinshaw M., Gull S.F. A test for transverse motions of clusters of galaxies // Nature. – 1983. – Vol. 302, No. 5906. – P. 315–317. 4. Fraisse A.A., Ringeval C., Sperge D.N. et al. Small-angle CMB temperature anisotropies induced by cosmic strings // Phys.Rev. – 2008. – Vol. D78. – DOI 043535 (arXiv:astro-ph/0708.1162). 5. Gurvits L.I., Mitrofanov I.G. Perturbation of the background radiation by a moving gravitational lens // Nature. – 1986. – Vol. 324, No. 6095. – P. 349–350. 6. Kaiser N., Stebbins A. Microwave anisotropy due to cosmic strings // Nature. – 1984. – Vol. 310, No. 5976. – P. 391–393. 7. Morganson E., Marshall P., Treu T. et al. Direct observation of cosmic strings via their strong gravitational lens effect: II. Results from the HST/ACS Image Archive // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. – 2010. – Vol. 406, No. 4. – P. 2452–2472. 8. Pogosian L., Tye S.-H., Wasserman I. et al. Observational constraints on cosmic string production during brane inflation // Phys. Rev. – 2003. – Vol. D68. – DOI 023506 (arXiv:hep-th/0304188v3). 9. Vachaspati T. Gravitational effects of cosmic strings // Nucl. Phys. – 1986. – Vol. B277. – P. 593–604. 10. Vilenkin A. Looking for cosmic strings // Nature. – 1986. – Vol. 322, No. 6080. – P. 613–614. 11. Weinberg S. Cosmology. – N.Y.: Oxford Univ. Press, 2008. – XVII+593 p. 12. Zakharov A. Lensing by exotic objects // Gen. Relativ. Gravit. – 2010. – Vol. 42, No. 9. – P. 2301–2322.

Надійшла до редколегії 29.06.11

УДК 521.96

В. Андрук, інж., Г. Іванов, канд. фіз.-мат. наук, А. Яценко, д-р фіз.-мат. наук, В. Головня, інж., О. Їжакевич, інж., Л. Пакуляк, канд. фіз.-мат. наук, С. Шатохіна, асп.

### АСТРОМЕТРІЯ ПЛАТІВОК ПША, ОЦИФРОВАНИХ ДВОМА ТИПАМИ СКАНЕРІВ. РОЗДІЛЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЗІР ДВОХ ЕКСПОЗИЦІЙ

В даній роботі коротко розглянуто питання поділу на дві експозиції за астрометричними та фотометричними критеріями зареєстрованих на астронегативах зір. Також демонструються фотометричні зв'язки двох експозицій для двох типів сканерів (Epson Expression 10000XL та Microtek ScanMaker 9800XL TMA) в режимах сканування з просторовим розрізненням: 300, 600, 900, 1200, 1600 та 2400 dpi.

In this paper we briefly discuss the problem of selection of stellar images with different photographic expositions. The photometric connections between two photographic expositions are demonstrated for two different scanners are present (Epson Expression 10000XL and Microtek ScanMaker 9800XL TMA) for scan resolution of: 300, 600, 900, 1200, 1600 and 2400 dpi.

**Вступ.** Станом на 2011 р. в ГАО НАНУ є два типи сканерів, які дозволяють оцифровувати платівки розміром до 30x30 см, що свого часу були експоновані за програмою фотографічного огляду північного неба ФОН. На сканері Microtek ScanMaker 9800XL TMA за період 2008–2009 рр. оцифровано понад 900 платівок (з 2010 р. оцифровка астронегативів виконується на сканері Epson Expression 10000XL) для двох положень платівок – 0 та 90 градусів. Всього за програмою планується відсканувати і обробити понад 2000 астронегативів (або понад 4000 сканів). Обробка сканів з метою отримання прямокутних координат X, Y, інструментальних зоряних величин, діаметрів зареєстрованих об'єктів тощо виконується в програмному середовищі LINUX/MIDAS/ROMAFOT [3] на основі програми, створеної в відділі астрометрії ГАО НАНУ. В роботі [1] викладені основні етапи процесу обробки оцифрованих платівок з автоматичним виключенням фотометрич-