7. *Durrer R., Neronov A.* Cosmological magnetic fields: their generation, evolution and observation // Astron. and Astrophys. Rev. – 2013. – 21.– P. 62.
8. *Eichler D.* Ultrahigh Energy Activity in Giant Magnetar Outbursts // arXiv:astro-ph/0504452. – 2005.
9. *Farrar G.R., Piran T.* Tidal disruption jets as the source of Ultra-High Energy Cosmic Rays // arXiv:1411.0704v1 [astro-ph.HE]. – 2014.
10. *Jansson R., Farrar G.R.* The galactic magnetic field // Astrophys. J. – 2012. – 761, N 1. – P. L11.
11. *Jansson R., Farrar G.R.* A New Model of the Galactic Magnetic Field // Astrophys. J.– 2012. – 757, N 1. – P. 14.
12. *Kotera K., Olinto A. V.* The Astrophysics of Ultrahigh Energy Cosmic Rays // Ann. Rev. of Astron. and Astrophys. – 2011. – 49. – P. 119–153.
13. *Olausen S. A., Kaspi V.M.* The McGill Magnetar Catalog // Astrophys. J. Suppl. Ser. – 2014. – 212, N 1. – P. 6.
14. *Sokolsky P.* Recent Results from TA // Report on workshop "Multimessenger Astronomy in the Era of PeV Neutrinos." – 2014.
15. *Troitsky S.V.* Doublet of cosmic-ray events with primary energies $>10^{20}$ eV // J. of Experiment. and Theor. Phys. Lett. – 2012. – 96, N 1. – P. 13–16.
16. The IceCube, Pierre Auger and Telescope Array Collaborations. Search for correlations between the arrival directions of IceCube neutrino events and ultrahigh-energy cosmic rays detected by the Pierre Auger Observatory and the Telescope Array // arXiv:1511.09408 [astro-ph.HE], – 2015.
17. *Tully R.B., Fisher J.R.* Nearby galaxies Atlas // Cambridge: University Press. – 1987.

Надійшла до редколегії 01.02.16

Р. Гнатык, асп.,
В. Жданов, д-р физ.-мат. наук, проф.
КНУ имени Тараса Шевченко, Киев

ПОИСК ГАЛАКТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТРИПЛЕТА КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С ЭНЕРГИЯМИ СВЫШЕ 10^{20} эВ

Среди зарегистрированных космических лучей предельно высоких энергий (КЛПВЭ, $E > 10^{20}$ эВ) выделяется триплет событий в круге радиуса 4^0 в области Галактического центра. С применением метода обратного рассчета траекторий КЛПВЭ в магнитном поле Галактики показано, что потенциальными Галактическими источниками триплета могут быть микроквазары SS433, GRS1915+105, магнетар SGR1900+14 и шаровое звездное скопление NGC6760.

Ключевые слова: космические лучи, магнитные поля, микроквазары, магнетары, шаровые скопления.

R. Gnatyk, postgrad. stud.,
V. Zhdanov, Dr. Sci., prof.
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

SEARCH OF THE GALACTIC SOURCES OF THE COSMIC RAY TRIPLET WITH ENERGIES ABOVE 10^{20} eV

Among the registered extremely high energy cosmic rays (EHECR, $E > 10^{20}$ eV) there is a triplet of events in a circle with radius of 4^0 in the Galactic center region. With the use of the backtracking method for the calculation of EHECR trajectories in the Galactic magnetic it is shown that potential sources of galactic triplet can be microquasars SS433, GRS1915+105, magnetar SGR1900+14 and globular star cluster NGC6760.

Key words: cosmic rays, magnetic fields, microquasars, magnetars, globular clusters.

УДК 530.12

С. Парновський, д-р фіз.-мат. наук
Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка

МЕТРИКА ОДНОРІДНОЇ КОСМОЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ ТИПУ І ЗА БІАНКІ З ДОВІЛЬНИМ РІВНЯННЯМ СТАНУ МАТЕРІЇ

Знайдена метрика однорідної космологічної моделі типа І за Біанкі з довільним рівнянням стану матерії, що заповнює Всесвіт.

При розгляді космологічних моделей значну уваги привертають однорідні космологічні моделі. Вони простіші, бо замість часткових похідних в рівняннях Ейнштейна залишаються звичайні. Крім того Всесвіт на великих масштабах є досить однорідним, тому доцільно описувати його саме однорідними моделями. Частіше за все застосовують однорідні та ізотропні моделі, але інтерес мають також анізотропні моделі, що описуються класифікацією за типами Біанкі [3]. Простіша з них це модель типу І за Біанкі, що має нульовий тензор просторової кривини. Знайдемо метрику такого простору-часу, що є заповнений однорідною матерією з довільним рівнянням стану *P(ρ)*, де *P* – тиск, а *ρ* – густина матерії. Цей випадок є цікавим не тільки тому, що він є найбільш загальним, але і тому, що нам невідоме рівняння стану темної енергії, тому при дослідженнях сингулярностей ми маємо розглядати саме загальний випадок. Наприкінці ми покажемо, що отримана метрика переходить в деякі відомі точні розв'язки рівнянь Ейнштейна.

Метрику шукаємо у вигляді

$$ds^2 = dt^2 - e^{2\alpha(t)}dx^2 - e^{2\beta(t)}dy^2 - e^{2\gamma(t)}dz^2 . \tag{1}$$

Сигнатура простору-часу, знаки та позначення такі самі, як у відомому курсі Ландау та Ліфшица [3]. Використовуємо систему одиниць, в яких гравітаційна стала та швидкість світла дорівнюють одиниці. Тому густина матерії *ρ* співпадатиме з густино. енергії. Рівняння Ейнштейна набувають вигляду:

$$-R_1^1 = \ddot\alpha + \dot\alpha(\dot\alpha + \dot\beta + \dot\gamma) = 4\pi(\rho - P) , \tag{2}$$

$$-R_2^2 = \ddot\beta + \dot\beta(\dot\alpha + \dot\beta + \dot\gamma) = 4\pi(\rho - P) , \tag{3}$$

$$-R_3^3 = \ddot\gamma + \dot\gamma(\dot\alpha + \dot\beta + \dot\gamma) = 4\pi(\rho - P) , \tag{4}$$

$$-R_0^0 = \ddot\alpha + \ddot\beta + \ddot\gamma + \dot\alpha^2 + \dot\beta^2 + \dot\gamma^2 = -4\pi(\rho + 3P) , \tag{5}$$

де крапка зверху позначає похідну за космологічним часом *t*. Введемо позначення

$$3f = \alpha + \beta + \gamma . \tag{6}$$

Величина $3\dot{f}$ має простий фізичний сенс, це похідна за часом від логарифма об'єму частини простору-часу з фіксованими x,y,z-координатами границі. Тому $\dot{f}$ еквівалентна сталій Хаббла, а f - логарифму масштабного фактора для ізотропної моделі. Якщо рівняння (2-4) попарно віднімати одне від одного, то після інтегрування маємо

$$\dot{\alpha}+\dot{\beta}+\dot{\gamma}=\mathrm{const}+\ln(\dot{\alpha}-\dot{\beta})=\mathrm{const}+\ln(\dot{\alpha}-\dot{\gamma})=\mathrm{const}+\ln(\dot{\beta}-\dot{\gamma})\,, \tag{7}$$

або

$$\dot{\alpha}=\dot{f}+q_1e^{-3f},\quad \dot{\beta}=\dot{f}+q_2e^{-3f},\quad \dot{\gamma}=\dot{f}+q_3e^{-3f}\,, \tag{8}$$

де літерами q_i позначено сталі, що задовольняють умові

$$q_1+q_2+q_3=0\,. \tag{9}$$

Підставимо (8) в (2-5) і отримаємо два рівняння, комбінуючи які можна отримати два співвідношення:

$$\dot{\rho}=-3(\rho+P)\dot{f}\,, \tag{10}$$

що є також наслідком зі закону збереження енергії та

$$8\pi\rho=3\dot{f}^2-Q\exp(-6f)/2,\quad Q=q_1^{\,2}+q_2^{\,2}+q_3^{\,2}\ge 0\,. \tag{11}$$

Якщо знати рівняння стану *P(ρ)*, то можна з (10) знайти залежність

$$f(\rho)=-\frac{1}{3}\int\frac{d\rho}{\rho+P(\rho)} \tag{12}$$

та обернену залежність *ρ(f)*. Рівняння (11) дозволяє знайти $\dot{f}$ та залежність

$$t=\int\left(\frac{8\pi}{3}\rho+\frac{Q}{6}e^{-6f}\right)^{-1/2}df\,. \tag{13}$$

Якщо перейти до часової змінної *f*, то отримаємо метрику, яку ми шукали

$$ds^2=\frac{6df^2}{16\pi\rho+Qe^{-6f}}-e^{2f}\left(e^{2q_1S}dx^2+e^{2q_2S}dy^2+e^{2q_3S}dz^2\right),,S=\int\left(\frac{8\pi}{3}\rho e^{6f}+\frac{Q}{6}\right)^{-1/2}df\,. \tag{14}$$

За відсутності матерії вона переходить у відому метрику Казнера [2]

$$ds^2=dt^2-t^{2p_1}dx^2-t^{2p_2}dy^2-t^{2p_3}dz^2\,, \tag{15}$$

де показники p_i (i=1,2,3) пов'язані з набором сталих q_i співвідношенням

$$p_i=\frac{1}{3}+\sqrt{\frac{2}{3Q}}q_i \tag{16}$$

та задовольняють умовам

$$p_1+p_2+p_3=1,\qquad p_1^{\,2}+p_2^{\,2}+p_3^{\,2}=1\,. \tag{17}$$

Зазначимо, що при $P=0$, $\rho\ne 0$ ми отримаємо розв'язок Хекмана-Шукінга [1], а при $P=-\rho$ ми маємо розв'язок з космологічною сталою $\Lambda=8\pi\rho=const$. При $\Lambda>0$ (14) перейде у метрику

$$ds^2=dt^2-ch^{4/3}(\lambda t)\left[\left(\frac{th(\lambda t)}{\lambda}\right)^{2p_1}dx^2+\left(\frac{th(\lambda t)}{\lambda}\right)^{2p_2}dy^2+\left(\frac{th(\lambda t)}{\lambda}\right)^{2p_3}dz^2\right],\quad \lambda=\frac{\sqrt{3\Lambda}}{2}\,. \tag{18}$$

Вона має сингулярність казнерівського типу (15) при $t=0$ та при великих t переходить у метрику де Сітера. При $\Lambda<0$ (14) перейде у метрику

$$ds^2=dt^2-\cos^{4/3}(\lambda t)\left[u^{2p_1}dx^2+u^{2p_2}dy^2+u^{2p_3}dz^2\right],\ u=\frac{tg(\lambda t)}{\lambda},\ \lambda=\frac{\sqrt{-3\Lambda}}{2}\,. \tag{19}$$

Вона крім казнерівської особливості при $t=0$ має другу казнерівську сингулярність при $t\to T=\pi/\sqrt{-3\Lambda}$ з набором казнерівських показників $\tilde{p}_i=2/3-p_i$.

Таким чином, ми знайшли метрику однорідної космологічної моделі типу I за Біанкі з довільним рівнянням стану матерії та дослідили її окремі часткові розв'язки.

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Держаного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф64/42-2015.

Список використаних джерел

1. Heckmann O., Schucking E. Newtonsche und Einsteinsche Kosmologie // Handbuch der Physik, – 1959. – V. 53. – P. 489–519.
2. Kasner E. Geometrical theorems on Einstein's cosmological equations // *Amer. J. Math.* – 1921. – V. 48. – P. 217-221.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1973.

Надійшла до редколегії 01.02.16

С. Л. Парновский, д-р физ.-мат. наук,
Астрономическая обсерватория Киевского университета имени Тараса Шевченко

МЕТРИКА ОДНОРОДНОЙ КОСМОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТИПА I ПО БИАНКИ С ПРОИЗВОЛЬНЫМ УРАВНЕНИЕМ МАТЕРИИ

Найдена метрика однородной космологической модели типа II по Бианки с произвольным уравнением материи, заполняющей Вселенную.

S. L. Parnovsky, Dr. Sci,
Astronomical observatory of National Taras Shevchenko University of Kyiv

METRIC OF THE HOMOGENEOUS ANISOTROPIC MODEL OF BIANCHI TYPE I WITH AN ARBITRARY EQUATION OF STATE

We find the metric of the homogeneous anisotropic model of Bianchi type II with an arbitrary equation of state. Its particular cases are the Kasner metric, the Heckmann-Schücking one and the metric with the cosmological constant.

УДК 521.9

П. Лазоренко, канд. фіз.-мат. наук,
В. Карбовський, наук. співроб.,
Л. Свачій, канд. фіз.-мат. наук,
ГАО НАН України,
М. Буромський, інж.,
С. Кас'ян, інж.
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

АСТРОМЕТРИЧНИЙ ОГЛЯД НЕБА В ЗОНІ +2°– +5.5° ОТРИМАНИЙ НА ТЕЛЕСКОПІ МАК

Приводиться опис попередніх результатів астрометричного огляду неба на комплексі МАК в період 2010–2014 рр., який проводився спільно Головною астрономічною обсерваторією НАН України та Астрономічною обсерваторією Київського національного університету імені Тараса Шевченка. За 118 ночей спостережень отримано біля 6 млн. зображень небесних об'єктів до 17^m в фільтрі V для екваторіальної зони δ =+2.0°÷ +5.5°. Отримано попередній каталог положень KMAC2.0. За оцінками внутрішня точність положень зір становить 50–90 мілісекунд дуги для зір V < 14^m та 80–250 мілісекунд дуги для зір 14^m < V < 16^m.

Ключові слова: ПЗЗ спостереження, астрометричний каталог зір, фотометрія зір.

Вступ. В 2010 році була продовжена довготермінова програма спостережень зірок на астрометричному комплексі МАК з новою ПЗЗ-камерою Apogee Alta U47 в екваторіальній зоні неба (δ = 2.0° +5.5°) з 4-кратним перекриття [1, 3] (рис. 1). Вона була розпочата в 2002 році з метою створення опорного астрометричного каталогу. Програма має на меті поширення опорної системи Hipparcos-Tycho на зорі до $V = 17^m$, та отримання їх фотометричних характеристик. Створення вказаного каталогу є важливою проблемою, актуальність якої зберігається і надалі до отримання нових каталогів за допомогою космічних місій, таких, наприклад, як GAIA [2].

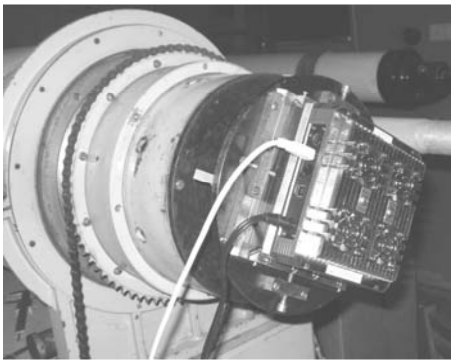

Рис. 1. ПЗЗ-камера Apogee Alta U47 встановлена на МАК в 2010 р.

За період роботи комплексу з 2010 по 2014 рр. було проведено 118 ночей спостережень, отримано біля 35000 знімків неба розміром 19.3'x19.3' в екваторіальній зоні (δ = +2.0° + 5.5°) та створений архів спостережень, що має об'єм близько 72 Гб, та містить біля 6 млн. зображень об'єктів.

Обробка ПЗЗ-зображень зоряних полів на МАК. Проведена обробка спостережуваних даних, включала в себе підготовку великого комплексу комп'ютерних програм для здійснення цілого ряду операцій, таких як фільтрація шумів знімків неба, врахування плоского поля (flat-fielding), виявлення зображень зір на ПЗЗ-кадрах, ототожнення опорних зір, обчислення інструментальних координат та зоряних величин, внесення інструментальних редукцій, контроль наявності систематичних похибок, залежних від зоряної величини, редукція до екваторіальних координат.

Етапи обробки даних, та створення каталогу положень KMAC2.0 показані на рис. 2.

Для підвищення ймовірності виявлення гранично слабких зірок $16{-}17^m$, відліки інтенсивності пікселів згладжувались фільтром 3×3 і як критерій виявлення зірки було прийнято величину перевищення усередненого відліку над фоном на 1.1σ', де σ' – середньоквадратична величина флуктуацій фона у не згладженому зображенні. Проте деякі флуктуації фону помилково реєструвались як дійсні зірки. Кількість таких фіктивних зірок різко зростала при гранично слабких зображеннях зірок.

Також суттєвий вклад в кількість фіктивних зірок вносили різного роду артефакти на знімках неба (рис. 3а, б, в, г).

В ПЗЗ-камері Apogee Alta U47 відсутній антиблумінг, тому зображення зірок яскравіших 8.5^m "розтікалось" по стовпцям і строкам ПЗЗ-матриці із-за переповнення зарядових пакетів, даючи велику кількість фіктивних зірок (рис. 3а). Також різного роду бліки (рис. 3б,в) та сліди від мікрометеоритів (рис. 3г) поповнювали список фіктивних зірок.

На останньому етапі створення каталогу виконувалась крос-ідентифікация з каталогом NOMAD [4] з метою вилучення фіктивних зірок від цих артефактів, можливих у випадку одиничної регістрації зображення.