

моделей скалярно-полевой темной энергии с баротропным уравнением состояния. На красных смещениях $0 < z < 0.1$, где чувствительность такого космологического теста является высокой, количество сверхновых, необходимое для отличия модели со средними значениями параметров от модели со значениями параметров на границах 2 σ доверительного диапазона, превышает количество всех сверхновых в самой полной на сегодня компиляции Pantheon не меньше чем в 1.9 раза, если погрешности являются только статистическими, и не менее чем в 2.9 раза при наличии систематических погрешностей. Для практического использования в будущем данных по диполям расстояний по светимости необходимо как увеличивать количество сверхновых в указанном диапазоне красных смещений, так и улучшать точность подгонки кривых блеска сверхновых типа 1a и контроль систематики.

Ключевые слова: темная энергия, сверхновые типа 1a, космологические параметры

УДК 524.1-52, 524.1-65

В. Войцеховський, асп.,
Б. Гнатик, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
Ю. Кудря, канд. фіз.-мат. наук, старш. наук. співроб.,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ПРИСКОРЕННЯ ТА ПОШИРЕННЯ КОСМІЧНИХ ПРОМЕНІВ НАДВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ У ЛОКАЛЬНОМУ ВСЕСВІТІ

Розподіл речовини в Локальному Всесвіті (до ~ 100 Мпк), особливо в районі надскупчення Діви (~ 20 Мпк), дуже неоднорідний і включає всі елементи великомасштабної структури: галактики та їхні скупчення, надскупчення, філаменти, шари та пустоти (войди). Очікується, що розподіл позагалактичного магнітного поля (ПГМП) відповідає розподілу густини баріонної речовини. Космічні промені надвисоких енергій (КПНВЕ) з позагалактичних джерел зазнають суттєвих відхилень у ПГМП, утруднюючи пошук їхніх джерел. Крім того, потік ядерного компонента КПНВЕ послаблюється внаслідок фотодезінтеграції ядер при взаємодії з фоновим мікрохвильовим та інфрачервоним випромінюванням. У роботі оцінено вплив цих факторів на поширення КПНВЕ від джерел у Локальному Всесвіті, зокрема досліджено довжину вільного пробігу та магнітне відхилення ядер Н(р), He, O, Si та Fe. Для потенційних джерел КПНВЕ в Локальному Всесвіті оцінено типи та енергії ядер, які можуть досягти Землі й водночас зберегти зв'язок напрямків прибуття з положенням джерела в межах ~ 1 рад.

Ключові слова: великомасштабна структура, Локальний Всесвіт, міжгалактичні магнітні поля, космічні промені надвисоких енергій, активні ядра галактик, галактики зі спалахом зореутворення.

Вступ. Космічні промені надвисоких енергій (КПНВЕ) – потоки високоенергетичних частинок з енергіями понад 10^{18} еВ, що суттєво перевищують можливості земних прискорювачів, є винятково важливим джерелом інформації про фізику фундаментальних взаємодій за межами стандартної моделі, однак досі невідомі їхні астрофізичні джерела та механізми прискорення [1, 3, 14]. У рамках електромагнітного прискорення заряджених частинок вимоги до розмірів областей прискорення та до величини електромагнітних полів виконуються в ряді галактичних і позагалактичних астрофізичних джерел: у магнітосферах молодих мілісекундних магнетарів (у нашій Галактиці та в галактиках з активним зореутворенням (ГАЗО)), у релятивістських струменях космологічних гамма-спалахів і активних ядер галактик (АЯГ) [4, 14]. Спостережувана ізотропія потоку КПНВЕ свідчить про домінування позагалактичного компонента КПНВЕ та суттєве відхилення траєкторій КПНВЕ в міжгалактичних магнітних полях (МГМП) аж до дифузійного режиму їх поширення, коли відстань до їх джерел значно перевищує пробіг (масштаб розсіяння) КПНВЕ у МГМП [7]. Однак для космічних променів гранично високих енергій (КПГВЕ, $E > 5 \cdot 10^{19}$ еВ), що знаходяться на вершині енергетичного спектра космічних променів (максимальна енергія задетектованих космічних променів дорівнює $3 \cdot 10^{20}$ еВ), і для космологічно близьких – у Локальному Всесвіті (ЛВ, до ~ 100 Мпк) – джерел можна очікувати, що їх рух у МГМП не встигне вийти на дифузійний режим, а відбуватиметься в т. зв. балістичному режимі, коли відхилення траєкторій КПГВЕ у МГМП будуть не надто великими й напрямки їх приходу на небесній сфері будуть корелювати з положеннями джерел у межах ~ 1 рад (~57°). Тому найбільш перспективним напрямом пошуку джерел КПНВЕ є пошук кореляцій напрямків приходу КПГВЕ з потенційними позагалактичними джерелами ЛВ.

Розподіл речовини в Локальному Всесвіті, зокрема в районі надскупчення Діви (НСД, ~ 20 Мпк), сильно неоднорідний і включає всі елементи великомасштабної структури: галактики та їхні скупчення, надскупчення, філаменти й шари (зокрема Локальний філамент, що включає Локальний шар, до якого належить Місцева група), порожнини – войди [6, 8, 13, 15, 16]. Розподіл потенційних джерел КПНВЕ – АЯГ, ГАЗО та розподіл магнітних полів у Локальному Всесвіті мають відстежувати розподіл баріонної матерії, у якому домінують Великий Атрактор (ВА, ~ 80 Мпк), надскупчення Персея – Риб (НСПР, ~ 70 Мпк) та надскупчення Діви [16, 20, 21]. Для визначення перспектив детектування КПГВЕ від потенційних джерел у ЛВ у нашій роботі ми оцінюємо характеристики ядер (енергія, заряд), які можуть досягти Землі і водночас зберегти зв'язок напрямків прибуття з позицією джерела в межах ~ 1 рад.

Великомасштабна структура Локального Всесвіту. Локальний Всесвіт – область ~100 Мпк навколо нашої Галактики – приблизно вдвічі перевищує за розміром середню відстань між скупченнями галактик – найбільшими гравітаційно пов'язаними структурами у Всесвіті, тому містить усі типові елементи великомасштабної структури Всесвіту. На його найменших масштабах наша Галактика й подібна до неї галактика М31 (Туманність Андромеди) на відстані 770 кпк разом з кількома десятками карликових галактик утворюють Місцеву групу галактик. Разом з подібними групами галактик Центавр А/М83 (~4Мпк) і М81 (~3.6 Мпк, включає галактики М81 і М82) і деякими іншими Місцева група входить у Локальний шар – млинцеподібну концентрацію галактик радіусом ~ 5 Мпк завтовшки ~ 1.5 Мпк [6, 13, 15, 19]. Локальний шар є частиною (потовщенням) Локального філаменту – циліндричної області (радіус ~ 2 Мпк) підвищеної концентрації галактик, що тягнеться від скупчення Піч до скупчення Діви (на відстані ~ 16.5 Мпк від МГ) і вливається (уздовж Локального філаменту існує реальний потік плазми міжгалактичного середовища) у більш потужний філамент, який включає скупчення Діви й поєднує дві найбільші концентрації матерії в Локальному Всесвіті – надскупчення Великий Атрактор (на відстані 80 Мпк від МГ) та надскупчення Персея – Риб (70 Мпк від МГ). Скупчення галактик Діви складає при цьому центральну частину надскупчення Діви (радіус 20 Мпк), на периферії якого знаходиться МГ (рис. 1) [8, 16, 20, 21].

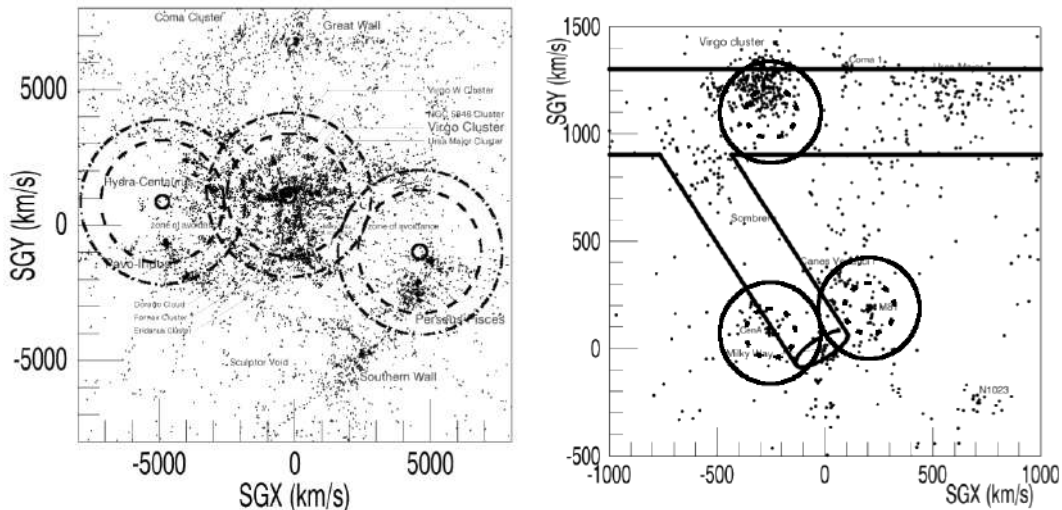


Рис. 1. Великомасштабна структура Локального Всесвіту (ліворуч) та надскупчення Діви з Локальним філаментом (праворуч). Середні пробіги КПГВЕ в міжгалактичному середовищі для ядер O (суцільна лінія), Si (штрихована), Fe (штрих-пунктир, ліворуч) та O (суцільна лінія), Ne (штрихована, праворуч). Відстані дано в одиницях 1 Мпк = 100h⁻¹ км/с

Як уже зазначалось вище, потенційні джерела КПНВЕ – АЯГ та ГАЗО – частіше зустрічатимуться в областях підвищеної баріонної концентрації. У нашому випадку ми очікуємо наявність потенційних джерел КПНВЕ у скупченні Діви (найближча концентрація маси) та надскупчення Великий Атрактор і Персея – Риб (найбільші концентрації маси).

Вплив позагалактичного магнітного поля Локального Всесвіту на поширення КПНВЕ. Розподіл позагалактичного магнітного поля (ПГМП) унаслідок вмороженості має відповідати розподілу густини, баріонної речовини, при цьому найнижчі значення магнітного поля у войдах визначаються або значенням первісного поля $B_{0, \text{войд}} \leq 10^{-9}$ Гс, генерованого в ранні епохи існування Всесвіту, або внеском галактичних вітрів, що виносять магнітне поле в міжгалактичний простір $B_{0, \text{войд}} \sim 10^{-12}$ Гс, тоді як типові значення поля $B_{\text{ср}} \sim 10^{-6}$ Гс спостерігаються в центральних областях скупчень галактик, а оцінки верхньої межі на поля у філаментах і войдах становлять відповідно $B_{\text{ф}} \sim 10^{-8}$ Гс та $B_{\text{войд}} \sim 10^{-9}$ Гс [7, 9, 10, 22].

Ці МГМП суттєво впливають на траєкторії навіть КПГВЕ – релятивістських частинок із найвищими енергіями – унаслідок космологічних відстаней (~ 10–100 Мпк), які проходять ці частинки в міжгалактичному середовищі [1, 4, 5, 7]. МГМП у войдах моделюється середнім значенням поля $B_{\text{rms}} = 10^{-12} \pm 10^{-9}$ Гс, орієнтація якого міняється на масштабі (довжині когерентності) $l_B = 0.1 \pm 1$ Мпк [7, 17]. У такому випадковому полі КПГВЕ з енергією E і зарядом Z, пройшовши відстань від джерела D, відхиляється на кут θ_{rms} [17]:

$$\theta_{\text{rms}}(E, D) = 0,8^0 \cdot Z \left(\frac{E}{10^{20} \text{ eV}} \right)^{-1} \left(\frac{D}{10 \text{ Мпк}} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{l}{1 \text{ Мпк}} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{B_{\text{rms}}}{10^{-9} \text{ Гс}} \right). \quad (1)$$

Значення очікуваних кутів відхилення КПГВЕ, прискорених у джерелах ЛВ, наведені в табл. 1. Вважатимемо, що сукупність КПГВЕ ще зберігає зв'язок із джерелом їх прискорення, якщо їх відхилення не перевищують 1 рад, тобто умову виходу на дифузійний режим.

Взаємодія КПНВЕ з фоновим випромінюванням. МГМП послаблюють чи взагалі пригнічують потоки КПГВЕ від віддалених джерел унаслідок суттєвого відхилення їх траєкторій, не міняючи енергію самих КПНВЕ. Водночас КПГВЕ втрачають енергію при взаємодії з фотонами міжгалактичного фонового випромінювання, переважно мікрохвильового (реліктового) та інфрачервоного. Цей процес суттєвий для протонів (ядер водню), для яких основними втратами є народження електрон-позитронних пар (для $E_p > 10^{18}$ eV) і фото-піонні реакції народження піонів (для $E_p > 5 \cdot 10^{19}$ eV – т. зв. порогу ГЗК-обрізання) [1-3, 5]. Для багатонуклонних ядер суттєвим є процес фоторозщеплення зі зміною хімічного складу (атомного числа та заряду) основного ядра [2-4, 17, 23]. На характерній довжині Λ втрати енергії протонами чи фоторозщеплення ядер інтенсивність потоку КПГВЕ падає в e разів, так що для джерела на відстані D оптична товщина міжгалактичного середовища буде рівною $\tau = D/\Lambda$, а початкова інтенсивність потоку зменшиться в $\exp(-\tau)$ разів. Вважатимемо, що КПГВЕ від джерел у ЛВ можуть бути зареєстровані (можуть досягнути Землі), коли інтенсивність потоку зменшується не більше ніж на $\exp(-2)$ (коли $\tau < 2,0$), та ототожені з джерелом, коли їх відхилення у МГМП не перевищують 1 рад (див. табл. 1).

Очікувані характеристики КПНВЕ від потенційних джерел у Локальному Всесвіті. Два основні процеси, що супроводжують поширення КПГВЕ в міжгалактичному середовищі, – відхилення траєкторій КПГВЕ аж до дифузійного режиму поширення та енергетичні втрати/фотодезінтеграція внаслідок взаємодії з фоновим електромагнітним випромінюванням – приховують астрофізичні джерела спостережуваних КПГВЕ в ЛВ. Якщо ввести критерій, що перспективними джерелами для спостережуваних КПНВЕ будуть такі, від яких КПНВЕ відхиляться у МГМП не більше ніж на 1 рад і оптична товщина міжгалактичного середовища для яких не перевищує 2, то Ікз представницьких груп легких (H (Z=1), He(Z=2)), проміжних (O(Z=8), Si(Z=14)) і важких (Fe(Z=26)) ядер з даних табл. 1 можемо зробити такі висновки:

1. Від АЯГ Діва А серед КПГВЕ з $E=5 \cdot 10^{19}$ еВ, що поширюються у void'і з типовими характеристиками МГМП $V_{\text{void}} \sim 10^{-9}$ Гс, $l_{\text{void}} \sim 1$ Мпк, перспективними є детектування ядер Н (протонів), О, Si, Fe. Для енергії $E=10^{20}$ еВ із цієї групи випадають ядра О. Для випадку поширення КПГВЕ від Діви А до Землі переважно в Локальному філаменті з $V_{\text{ф}} \sim 10^{-8}$ Гс, $l_{\text{ф}} \sim 0.5$ Мпк тільки протони з $E=5 \cdot 10^{19}$ еВ та з $E=10^{20}$ еВ задовольняють умови детектування.

2. Від Великого Атрактора серед КПГВЕ з $E=5 \cdot 10^{19}$ еВ та з $E=10^{20}$ еВ, що поширюються у void'і з типовими характеристиками МГМП $V_{\text{void}} \sim 10^{-9}$ Гс, $l_{\text{void}} \sim 1$ Мпк, перспективними є детектування тільки ядер Н.

3. Від надскупчення Персея – Риб серед КПГВЕ з $E=5 \cdot 10^{19}$ еВ перспективними є детектування ядер Н та Si. Для енергії $E=10^{20}$ еВ із цієї групи залишаються тільки ядра Н.

Таблиця 1

Характеристики КПГВЕ від потенційних джерел у Локальному Всесвіті

Потенційні джерела КПГВЕ	Характеристики КПГВЕ	H(p)	He	O	Si	Fe
Діва А + void	Кут відхилення (град)	2.1	4.1	16.4	28.8	53.4
	Оптична товщина T=D/l	0.01	5.5	0.8	0.4	0.3
Діва А + Локальний філамент	Кут відхилення (град)	14.5	29	116.2	>180	>180
	Оптична товщина T=D/l	0.01	5.5	0.8	0.4	0.3
Великий Атрактор	Кут відхилення (град)	4.2	8.5	33.9	59.3	110.1
	Оптична товщина T=D/l	0.07	>10	3.5	1.5	1.3
Надскупчення Персея – Риб	Кут відхилення (град)	3.9	7.8	31.3	54.9	101.9
	Оптична товщина T=D/l	0.06	>10	3	1.3	1.1
E=10 ²⁰ еВ						
Діва А + void	Кут відхилення (град)	1.1	2.1	8.2	14.4	26.7
	Оптична товщина T=D/l	0.1	>10	>10	1.2	0.8
Діва А + Локальний філамент	Кут відхилення (град)	7.2	14.5	58.1	101.7	>180
	Оптична товщина T=D/l	0.1	>10	>10	1.2	0.8
Великий Атрактор	Кут відхилення (град)	2.1	4.2	16.9	29.6	55
	Оптична товщина T=D/l	0.4	>10	>10	5.4	3.7
Надскупчення Персея – Риб	Кут відхилення (град)	1.9	3.9	15.7	27.4	50.9
	Оптична товщина T=D/l	0.4	>10	>10	4.6	3.1

Обговорення та висновки. У роботі проведені розрахунки впливу позагалактичних магнітних полів у Локальному Всесвіті та міжгалактичного фонового електромагнітного випромінювання на поширення КПГВЕ ($E>5 \cdot 10^{19}$ еВ) від потенційних джерел у Локальному Всесвіті, зокрема від АЯГ і галактик з активним зореутворенням у надскупченнях Діви, Персея – Риб та у Великому Атракторі. Позагалактичні магнітні поля суттєво відхиляють траєкторії КПГВЕ аж до повного їх заплутування й виходу на дифузійний режим, тоді як взаємодія КПГВЕ з фоновим випромінюванням призводить до енергетичних втрат і фоторозщеплення ядер. Обидва процеси нищать ознаки зв'язку детектованих КПГВЕ з їхніми астрофізичними джерелами. У роботі досліджено величини відхилень траєкторій КПГВЕ та оптичні товщини, що характеризують послаблення потоку КПГВЕ від їх потенційних джерел, і виділено групи ядер, детектування яких може служити підтвердженням їх зв'язку з потенційними джерелами в Локальному Всесвіті. Показано, що в більшості випадків тільки протони зберігають зв'язок зі своїми джерелами.

Список використаних джерел

1. Астрофизика космических лучей / В. С. Березинский, С. В. Буланов, В. Л. Гинзбург и др. // Наука. – 1990. – 523 с.
2. Allard D. Extragalactic propagation of ultrahigh energy cosmic-rays / D. Allard // *Astroparticle Physics*. – 2012. – Vol. 39. – P. 33–43.
3. Aloisio R. Acceleration and propagation of ultra high energy cosmic rays / R. Aloisio. – 2017. – arXiv:1707.08471.
4. Aloisio R. Ultra high energy cosmic rays: implications of Auger data for source spectra and chemical composition / R. Aloisio, V. Berezhinsky, P. Blasi // *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*. – 2014. – Issue 10. – Article id. 020.
5. Anchordoqui L. Cosmic Mass Spectrometer Journal of High Energy / L. A. Anchordoqui, V. Barger, T. J. Weiler // *Journal of High Energy Astrophysics*. – 2018. – Vol. 17. – P. 38–49.
6. Constrained Local UniversE Simulations: a Local Group factory / E. Carlesi, J. Sorce, Y. Hoffman et al. // *MNRAS*. – 2016. – Vol. 458. – Issue 1. – P. 900–911.
7. Durrer R. Cosmological magnetic fields: their generation, evolution and observation / R. Durrer, A. Neronov // *The Astronomy and Astrophysics Review*. – 2013. – Vol. 21. – Article id.62.
8. The richest superclusters. I. Morphology / M. Einasto, E. Saar, L. J. Liivamagi et al. // *Astronomy and Astrophysics*. – 2007. – Vol. 476. – Issue 2. – P. 697–711.
9. Propagation of ultrahigh energy cosmic rays in extragalactic magnetic fields: a view from cosmological simulations / S. Hackstein, F. Vazza, M. Bruggen et al. // *MNRAS*. – 2016. – Vol. 462. – Issue 4. – P. 3660–3671.
10. Simulations of ultra-high energy cosmic rays in the local Universe and the origin of cosmic magnetic fields / S. Hackstein, F. Vazza, M. Bruggen et al. // *MNRAS*. – 2018. – Vol. 475. – Issue 2. – P. 2519–2529.
11. Jansson R. The Galactic Magnetic Field / R. Jansson, Farrar, R. Glennys // *The Astrophysical Journal Letters*. – 2012. – Vol. 761. – Issue 1. – Article id. L11.
12. Jansson R. A New Model of the Galactic Magnetic Field / R. Jansson, Farrar, R. Glennys // *The Astrophysical Journal Letters*. – 2012. – Vol. 757. – Issue 1. – Article id. 14.
13. Local galaxy flows within 5 Mpc / I. Karachentsev, D. Makarov, M. Sharina et al. // *Astronomy and Astrophysics*. – 2003. – V. 398. – P. 479–491.
14. Kotera K. The Astrophysics of Ultrahigh-Energy Cosmic Rays / K. Kotera, A. Olinto // *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*. – 2011. – Vol. 49. – Issue 1. – P. 119–153.
15. Planes of satellite galaxies and the cosmic web / N. Libeskind, Y. Hoffman, R. Tully Brent et al. // *MNRAS*. – 2015. – Vol. 452. – Issue 1. – P. 1052–1059.
16. The Cosmic V-Web / D. Pomaredo, Y. Hoffman, M. Courtois et al. // *The Astrophysical Journal*. – 2017. – Vol. 845. – Issue 1. – Article id. 55. – 10 pp.
17. Takami H. Isotropy constraints on powerful sources of ultrahigh-energy cosmic rays at 10^{19} eV / H. Takami, K. Murase, C. D. Dermer // arXiv:1412.4716v2 [astro-ph.HE]. – 2014.
18. The CTA Collaboration Science with CTA. – 2017. – arXiv:1709.07997.

19. Tully R. Brent. Nearby Galaxies Atlas / Brent R. Tully, Richard J. Fisher // Cambridge University Press. – 1987.
 20. The Laniakea supercluster of galaxies / Brent R. Tully, H. Courtois, Y. Hoffman et al. // Nature. – 2014. – Vol. 513. – Issue 7516. – P. 71–73.
 21. Cosmicflows-2 : The Data / Brent R. Tully, H. Courtois, A. Dolphin et al. // The Astronomical Journal. – 2013. – Vol. 146. – Issue 4. – Article id. 86. – 25 pp.
 22. On the amplification of magnetic fields in cosmic filaments and galaxy cluster / F. Vazza, M. Bruggen, C. Gheller et al. // MNRAS. – 2014. – Vol. 445. – Issue 4. – P. 3706-3722. 23. Wykes S., Taylor A. M., Bray J. D., Hardcastle M. J., Hillas M., 2017; preprint (arXiv:1706.08229).

Надійшла до редколегії 30.10.18

В. Войцеховский, асп.,
 Б. Гнатык, д-р физ.-мат. наук, проф.,
 Ю. Кудря, канд. физ.-мат. наук, старш. науч. сотр.,
 Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

УСКОРЕНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ В ЛОКАЛЬНОЙ ВСЕЛЕННОЙ

Распределение вещества в Локальной Вселенной (до ~ 100 Мпк), особенно в районе Сверхскопления Девы (~ 20 Мпк), сильно неоднородно и включает в себя все элементы крупномасштабной структуры: галактики и их скопления, сверхскопления, филаменты, слою и пустоты (войды). Ожидается, что распределение внегалактического магнитного поля (ВГМП) соответствует распределению плотности барионного вещества. Космические лучи сверхвысоких энергий (КЛСВЭ) от внегалактических источников испытывают существенные отклонения в ВГМП, затрудняя поиск их источников. Кроме того, поток ядерного компонента КЛСВЭ ослабляется вследствие фото-дизинтеграции ядер при взаимодействии с фоновым микроволновым и инфракрасным излучением. В работе оценено влияние этих факторов на распространение КЛСВЭ от источников в Локальной Вселенной, в частности исследованы длина свободного пробега и магнитное отклонение ядер H (p), He, O, Si и Fe. Для потенциальных источников КЛСВЭ в Локальной Вселенной мы оценили типы и энергии ядер, которые могут достичь Земли и, в то же время, сохранить связь направлений прибытия с положением источника в пределах 30°.

Ключевые слова: крупномасштабная структура, Локальная Вселенная, межгалактические магнитные поля, космические лучи сверхвысоких энергий, активные ядра галактик, галактики со вспышкой звездообразования.

V. Voytsekhovsky, PhD stud.,
 B. Hnatyk, Dr. Sci., Prof.,
 Yu. Kudrya, Kand. Sci., Sen. Sci.,
 Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

ACCELERATION AND PROPAGATION OF ULTRA HIGH ENERGY COSMIC RAYS IN THE LOCAL UNIVERSE

Distribution of matter in the Local Universe (up to ~ 100 Mpc), especially in a Virgo Supercluster region (~20 Mpc) is strongly nonuniform and includes all elements of large scale structure: galaxies and their clusters, superclusters, filaments, sheets and voids. On its smallest scale, our Galaxy and its similar galaxy M31 (Andromeda Nebula) at a distance 770 kpc, together with dozens of dwarf galaxies, form the Local Group of Galaxies. Local group contained in Local Sheet – suchlike pancake concentration of galaxies with radius about 5 Mpc and thickness 1.5 Mpc. This structure is a part of Local Filament – cylindrical region with higher density of matter, that join us to more powerful filament, that concludes Virgo Supercluster and connects two highest matter concentrations in Local Universe – supercluster Great Attractor (70 Mpc) and Perseus-Pisces supercluster (60 Mpc). Extragalactic magnetic field (EGMF) distribution is expected to follow the baryonic matter density distribution. Ultra high energy cosmic rays (UHECRs, $E > 10^{18}$ eV) from extragalactic sources will undergo significant deviations in EGMF, which makes it difficult to search their sources. But for extremely high energy cosmic rays (EHCRs, $E > 5 \cdot 10^{19}$ eV), that are on the top of cosmic rays energy spectrum (the biggest detected energy of cosmic rays is above 10^{20} eV), influence of EGMF can be negligible, and their arrival direction can correlate with source position. They carry an important information, about the physics of fundamental interactions beyond the standard model, but still unknown to their origins and mechanisms of acceleration. In addition, a flux of nuclear component of UHECRs decreases in result of nuclear photo-disintegration due to interaction with microwave and infrared background. These processes are significant for protons (hydrogen nuclei), for which the major losses are born of electron-positron pairs and photo-pions reactions. For multi nucleon nuclei significant process of weakening is photo-disintegration with chemical composition change of main nuclei. In our work we estimate the influence of these factors on the propagation of the UHECRs from sources in the Local Universe, in particular we have investigated the mean free path and magnetic deflection of H(p), He, O, Si and Fe nuclei. For potential sources of UHECRs in the Local Universe, such as Virgo supercluster, Great Attractor and Perseus-Pisces supercluster, we have estimated types and energies of nuclei that can reach the Earth, and, in the same time, can save a connection of arrival directions with source position within 1 rad.

Key words: large scale structure, Local Universe, intergalactic magnetic fields, ultra high energy cosmic rays, active galactic nuclei, star-burst galaxies

УДК 524.1-52, 524.1-65

П. Плотко, студ.,
 Б. Гнатык, д-р физ.-мат. наук, проф.,
 Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ЗАЛИШОК НАДНОВОЇ ВІТРИЛА ТА ЇЇ ПУЛЬСАРНО-ВІТРОВА ТУМАННІСТЬ: ФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА РАДІОВИПРОМІНЮВАННЯ

Залишок наднової Вітрила (Vela SNR – один з найближчих до Землі) служить космічною лабораторією релятивістської та пульсарної астрофізики. Зокрема, його синхротронне радіовипромінювання визначається фізичними процесами як у самому залишку, так і в пульсарно-вітровій туманності (ПВТ), що заповнює центральну частину залишку. У роботі загальний радіопотік від залишку Вітрила розділений на потоки від залишку та від ПВТ. Показано, що потік від залишку реєструється в МГц-діапазоні і генерується в усьому об'ємі з постійною випромінювальною здатністю, тоді як потік від ПВТ реєструється в МГц- та ГГц-діапазонах і генерується у сферично-симетричному об'ємі ПВТ (МГц-гало компонент) та у двох додаткових джерелах: північному і південному "крилах" пульсара (МГц- та ГГц-крила).

Ключові слова: залишки наднових, залишок наднової Вітрила, пульсари, пульсарно-вітрові туманності, синхротронне випромінювання.

Вступ. Область залишку Вітрила (Vela SNR) – туманність Гама (Gum nebula) – включає ряд об'єктів, які в комплексі становлять яскравий приклад взаємодії в системі зорі – зоряно-вітрові бульбашки – залишки наднових – пульсари – пульсарно-вітрові туманності (ПВТ). У [11] обґрунтована фізична модель цього комплексу, у якій залишок наднової Vela SNR є результатом спалаху наднової 11 тис. років тому на границі оболонки радіусом близько 40 пк, видутій зоряним вітром подвійної зорі γ^2 Velorum у розрідженому міжзоряному середовищі зі значною концентрацією молекулярних хмарок, так що середня густина газу хмарок суттєво перевищує середню густина міжхмарного сере-