

7. А. С. Гулиев. Кривые блеска 50 комет, построенные с учетом условий их видимости и апертур телескопов / А. С. Гулиев, У. Д. Поладова // Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan. Series of physics-mathematical and technical sciences, physics and astronomy. – 2017. – XXXVII, № 2. – С. 175–180.

8. Гулиев А. С. Значения физических параметров ряда периодических комет, наблюдавшихся в период 1989–2002 гг. / А. С. Гулиев, К. И. Чурюмов, А. Ш. Байрамов // Азербайджанский астрономический журнал. – 2006. – Т. 1, № 1-2. – С. 10-17.

9. Guliyev A. S. The new formula for the determination of the visual magnitudes of comet / A. S. Guliyev, U. D. Poladova // Azerbaijani Astronomical Journal. – 2010. – Т. 4. – Р. 5–10.

Надійшла до редколегії 11.08.18

A. Guliev, Sr. Sci., Prof.,
U. Poladova, Dr. Sci.,
Nasir al-Din al-Tusi Shamakhi Astrophysical Observatory

ABSOLUTE BRIGHTNESS OF THE SET OF LONG-PERIODICAL COMETS 1990–2015

The values of the photometric parameter H_{10} for 69 long-period comets, observed in the period of 1990–2005 on the Vsekhsviatsky scale are calculated. The values of the parameters H_y and y from the Orlov equation for 56 of them are determined also. The intervals of heliocentric and geocentric distances corresponding to the observations of such comets are relatively longer. Calculations prove that the parameter H_{10} , entered by Vsekhsviatsky, still remains relevant for the predicting of the observed brightness of the comets and comparing various of cometary groups according to their average brightness. A total 6391 visual estimates from different sources were used in the calculating.

А. Гулієв, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
У. Поладова, д-р фіз.-мат. наук,
Шамахіньська астрофізична обсерваторія імені Насреддіна Тусі НАН Азербайджана

АБСОЛЮТНИЙ БЛИСК РЯДУ ДОВГОПЕРІОДИЧНИХ КОМЕТ 1990–2015 рр.

Обчислено фотометричні параметри 69 довгоперіодичних комет, що спостерігалися протягом 1990–2005 рр. за шкалою Всесвітського (H_{10}). Для 56 із них визначено значення параметрів H_y та y з рівняння Орлова. Інтервали геліоцентричної та геоцентричної відстаней, що відповідають спостереженням таких комет, виявилися порівняно великими. Розрахунки вказують на те, що параметр H_{10} , уведений Всесвітським, при прогнозуванні спостережного блиску й порівнянні різних кометних груп за середнім блиском досі не втрачає актуальності. Загалом використано 6391 оцінку блиску з різних джерел.

УДК 524.1-52, 524.1-656

Р. Гнатик, інж.,
К. Винокурова, студ.,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ ТЕВНОГО ДІАПАЗОНУ ВІД ЗАЛИШКУ НАДНОВОЇ ВІТРИЛА

Залишки наднових вважаються одними із основних джерел галактичних космічних променів (КП) з енергіями до 10^{17} еВ. Експериментальним підтвердженням присутності ядерного компонента КП у залишках є їхнє гамма-випромінювання дуже високих енергій (понад 100 Гев) як результат непружних зіткнень КП із мішенями-атомами міжзоряного середовища всередині та в околі залишків. У роботі розраховано очікувані потоки такого гамма-випромінювання від одного з найближчих до Землі залишків наднової Вітрила. Проаналізовано можливість реєстрації локалізованих джерел гамма-випромінювання всередині залишку, зумовлених присутністю областей підвищеної густини газу внаслідок випаровування міжзоряних хмарок за фронтом ударної хвилі залишку.

Ключові слова: космічні промені, гамма-випромінювання, залишки спалаху наднових, залишок Вітрила.

Вступ. Джерела та механізми прискорення космічних променів (КП) – потоку ядер, електронів та, у меншій кількості, античастинок з нетепловим степеневим енергетичним спектром, що простягається до енергій понад 10^{20} еВ, досі залишаються невідомими [9]. Теоретичні розрахунки [10] та експериментальні дані [11] свідчать про те, що дифузійне прискорення КП на фронтах ударних хвиль (механізм Фермі I роду) у галактичних джерелах, перш за все в залишках наднових (ЗН) зір, може бути відповідальним за спостережуваний потік КП з енергіями до $E \leq 10^{18}$ еВ. При цьому лептонний компонент КП (електрони, позитрони) упевнено маніфестується в ЗН завдяки синхротронному випромінюванню в турбулентному магнітному полі всередині ЗН. Водночас протонний та ядерний компоненти не є ефективними в синхротронному випромінюванні за типових параметрів КП і магнітних полів у ЗН, їхню присутність у ЗН можна виявити завдяки адронному механізму генерування гамма-випромінювання – розпаду нейтральних піонів, породжених при непружних зіткненнях КП із мішенями – атомами міжзоряного середовища всередині та в околі ЗН. Зараз відомо лише кілька ЗН із задетектованим гамма-потокм адронного походження, у яких спостерігається взаємодія ЗН із молекулярними хмарами, що забезпечує необхідну концентрацію частинок – мішеней для КП [13]. У нашій роботі розраховано очікувані потоки такого гамма-випромінювання від залишку наднової Вітрила – одного з найближчих до Землі – який еволюціонує в захмареному міжзоряному середовищі [2, 4] і є потенційним кандидатом в адронні гамма-джерела.

Адронне гамма-випромінювання залишків наднових. Залишки наднових належать до потенційних джерел галактичних КП, у складі яких очікуються протони до енергій $E_p = 10^{12} - 10^{15}$ еВ та ядра заряду Z до енергій $E_z = ZE_p$ [3, 7, 9-11]. Розрахунок потоків гамма-випромінювання від ЗН проведемо з використанням алгоритму та формул із

[7]. Прискорені в залишку космічні промені мають степеневий енергетичний спектр із експоненціальним обрізанням на енергії $E_{\max}$ і з плином часу t втрачають енергію на ядерні зіткнення [7]:

$$n(E, t) = N_0 E^{-\gamma} \exp\left(-\frac{(\gamma-1)t}{\tau_{pp}} - \frac{E}{E_{\max}}\right), \quad (1)$$

де $\tau_{pp} \approx 5.3 \times 10^7 \left(n_H / 1 \text{ см}^{-3}\right)^{-1}$ років – характерний час втрати енергії при р-р зіткненнях у МЗС із концентрацією атомів водню n_H .

Непружні нуклон-нуклонні (переважно протон-протонні) зіткнення всередині ЗН є основним механізмом втрати енергії протонів та ядер КП, у результаті яких народжуються заряджені та нейтральні піони. Розпад останніх на пари гамма-квантів генерує гамма-випромінювання (так званий адронний механізм генерування гамма-випромінювання). У середовищі з концентрацією частинок-мішеней n_H , спектром космічних променів $n_p(E_p)$, де $E_p = m_p c^2 + E_{\text{кін}}$ – енергія спокою протона $m_p c^2$ та його кінетична енергія $E_{\text{кін}}$, E_π – повна енергія новонародженого нейтрального піона (з енергією спокою $m_\pi c^2$), $k_\pi = 0.17$ – частка кінетичної енергії протона, що передається піону, спектр генерації піонів у одиниці об'єму в дельта-наближенні матиме вигляд:

$$\begin{aligned} q_\pi(E_\pi) &= c n_H \int \delta(E_\pi - k_\pi E_{\text{кін}}) \sigma_{pp}(E_p) n_p(E_p) dE_p = \\ &= \frac{c n_H}{k_\pi} \sigma_{pp} \left(m_p c^2 + \frac{E_\pi}{k_\pi} \right) n_p \left(m_p c^2 + \frac{E_\pi}{k_\pi} \right), \end{aligned}$$

де перетин р-р взаємодії σ_{pp} апроксимується виразом

$$\sigma_{pp}(E_p) \approx 30 \left[0.95 + 0.06 \ln(E_{\text{кін}} / 1 \text{ Гев}) \right] \text{ мб}.$$

Спектр генерації гамма-фотонів у одиниці об'єму внаслідок розпаду піонів має вигляд

$$q_\gamma(E_\gamma) = 2 \int_{E_{\min}}^{\infty} \frac{q_\pi(E_\pi)}{\sqrt{E_\pi^2 - m_\pi^2 c^4}} dE_\pi,$$

де мінімальна енергія піона, необхідна для народження гамма-фотона з енергією E_γ , становить $E_{\min} = E_\gamma + m_\pi^2 c^4 / 4E_\gamma$.

ЗН із повною масою газу всередині M_{snr} та об'ємом $V_{\text{snr}} = M_{\text{snr}} / (n_H m_p)$ буде джерелом гамма-випромінювання зі спектральною світністю

$$L_\gamma(E_\gamma) = q_\gamma(E_\gamma) V_{\text{snr}}$$

та спектральною густиною потоку від ЗН на відстані d

$$F_\gamma(E_\gamma) = \frac{L_\gamma}{4\pi d^2}.$$

ТеВ гамма-випромінювання від залишку наднової Вітрила. Залишок наднової Вітрила – один з найкраще вивчених і найближчих до Землі залишків з відстанню всього 287 пк та віком 11 тис. років (за віком його пульсара Vela pulsar PSR B0833-45) [2]. Відповідно до моделі залишку Вітрила, розробленої в [2, 4], спалах наднової-попередника ЗН Вітрила на границі бульбашки, видутої зоряним вітром зорі γ^2 Vel, зумовив виникнення ЗН у формі двох півсфер різного радіуса внаслідок різних густин попереду й усередині бульбашки. Характеристики двох півкуль – ПнСх (NE) та ПдЗх (SW) – наведені в табл. 1. Вибух наднової вважається сферично симетричним, тобто передана протонам енергія однакова у двох півсферах і дорівнює половині повної енергії протонів, маса газу всередині півкуль відноситься як $M_{\text{NE}}/M_{\text{SW}} = (R_{\text{NE}}/R_{\text{SW}})^{(2)}$. Параметри ЗН Вітрила наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри ЗН Вітрила

Параметри	NE	SW
Радіус (пк)	18	23
Маса газу (M_0)	17.3	10.5
Енергія (ерг)	$0.7 \cdot 10^{50}$	$0.7 \cdot 10^{50}$
Об'єм (см^3)	$3.6 \cdot 10^{59}$	$7.5 \cdot 10^{59}$

Досі ТеВне гамма-випромінювання задетектоване тільки від пульсарно-вітрової туманності навколо пульсара [1, 14]. Розрахунок спектра ЗН для параметрів, наведених у табл. 1, показано на рис. 1.

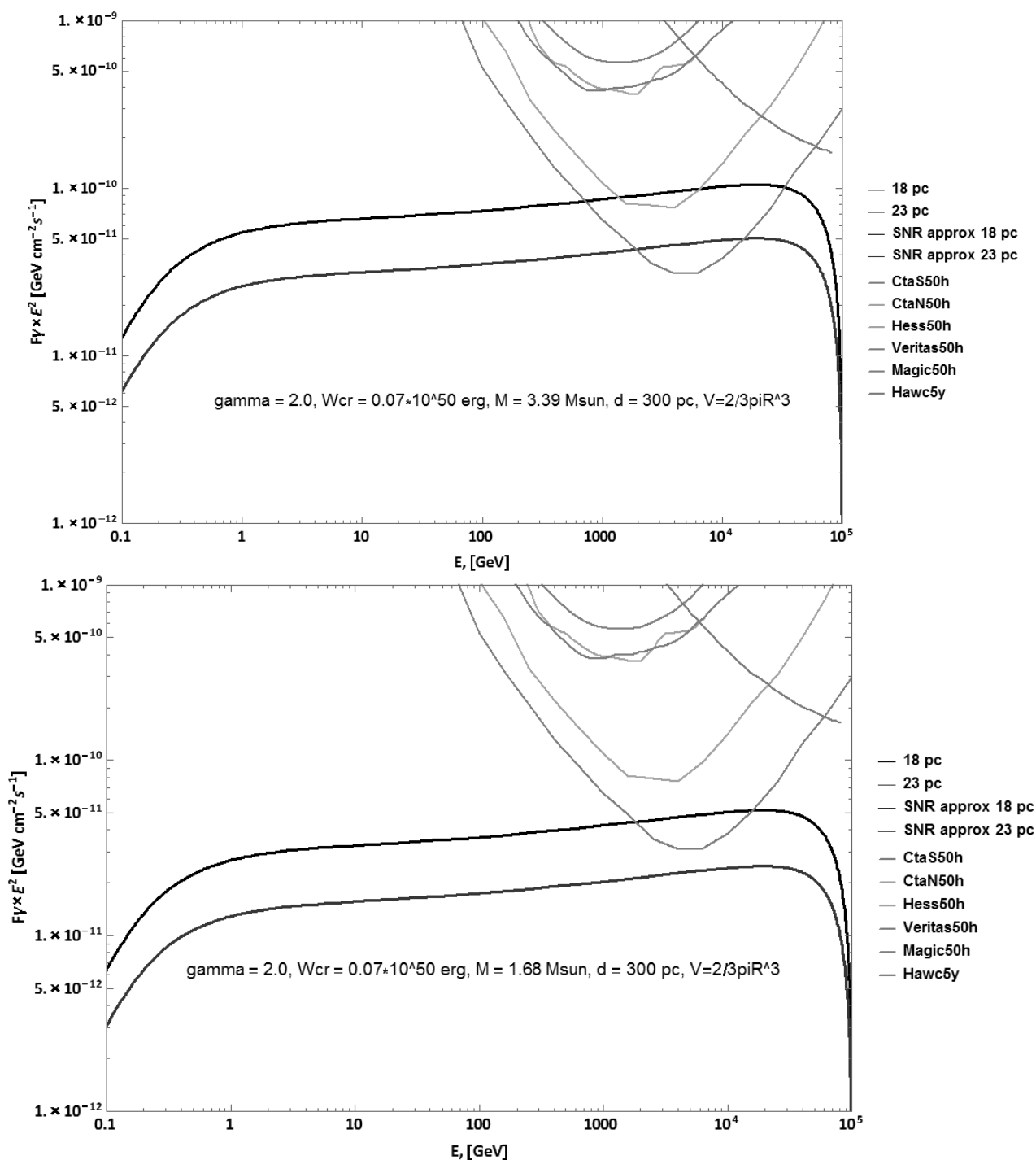


Рис. 1. Спектри NW та SW

(згори – спектр для всієї ПЗ півкулі з масою 17.3 М Сонця, знизу – для ПД3Ах із M=10.5 М Сонця)

Коментар – зіставлення з кривими чутливості. Слід урахувати, що великі розміри ЗН Вітрила переводять його в клас протяжних джерел, для яких чутливість гамма-телескопів суттєво знижується. Тому ми також розглянули перспективи детектування локалізованих областей підвищеної густини у ЗН Вітрила, які утворюються при випаровуванні міжзоряних хмарок за фронтом ударної хвилі ЗН. За даними карт рентгенівського випромінювання можна зробити оцінювання мас таких хмарок. Зокрема, дві з них мають маси 3.39 та 1.68 Мс. Їхні гамма-спектри та перспективи детектування діючими (перелік) і майбутніми (СТА) телескопами наведені на рис. 2.

Обговорення та висновки. У роботі розраховано очікувані потоки гамма-випромінювання від одного з найближчих до Землі залишків наднової Вітрила. Проаналізована можливість реєстрації локалізованих джерел гамма-випромінювання всередині залишку, зумовлених присутністю областей підвищеної густини газу внаслідок випаровування міжзоряних хмарок за фронтом ударної хвилі залишку.

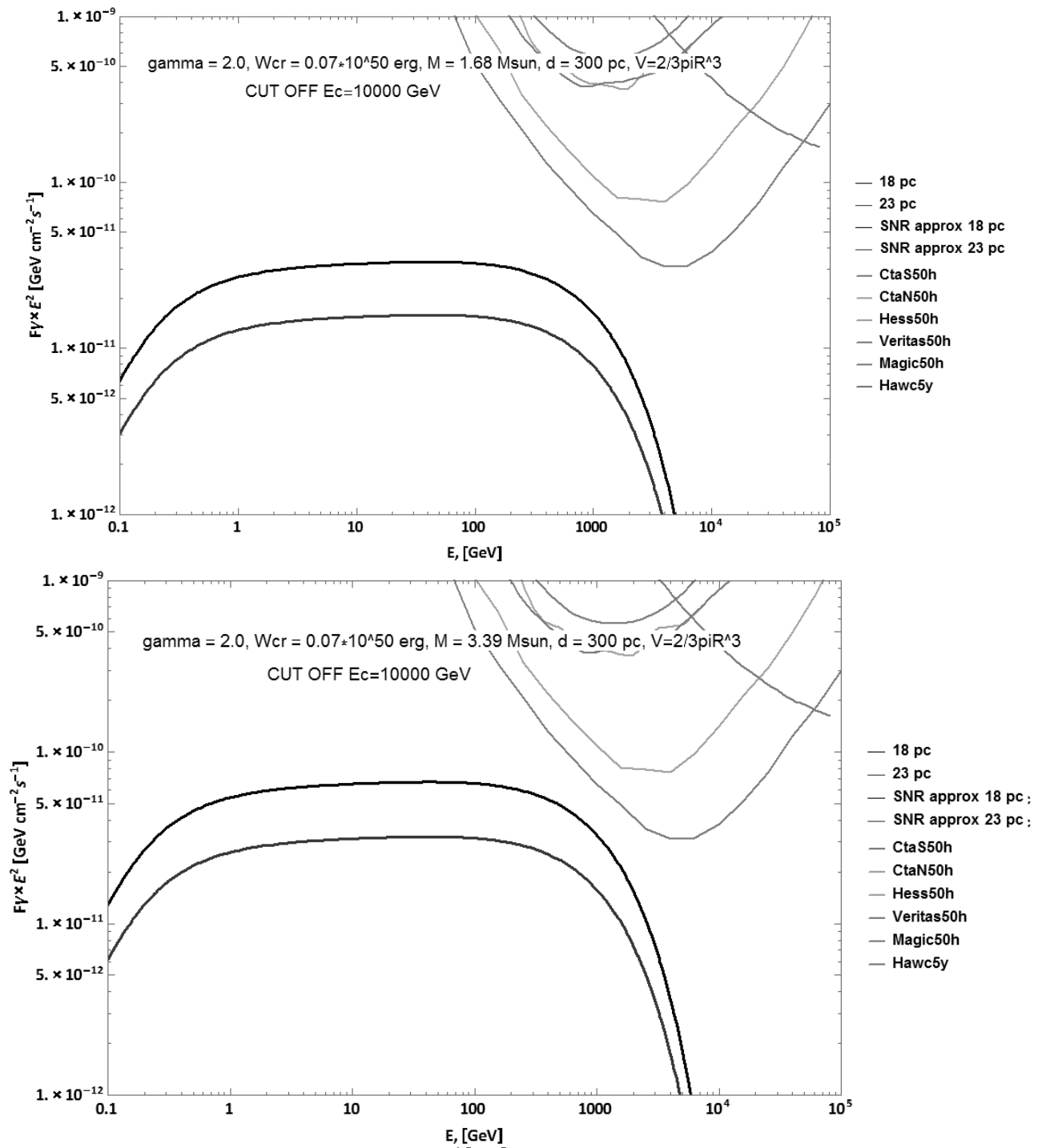


Рис. 2. Триплет подій

Список використаних джерел

1. Grondin M.-H. The Vela-X Pulsar Wind Nebula revisited with 4 years of Fermi-Large Area Telescope observations / M.-H. Grondin, R. W. Romani // The Astrophysical Journal. – 2013. – Vol. 774.
2. Sushch I. Modeling of the Radio Emission from the Vela Supernova Remnant / I. Sushch, B. Hnatyk // Astronomy and Astrophysics. – 2013. – V. 561.
3. Березинский В. С. Астрофизика космических лучей / В. С. Березинский // Наука. – 1990.
4. Sushch I. Modeling of the Vela complex including the Vela supernova remnant, the binary system $\gamma 2$ Velorum, and the Gum nebula / I. Sushch, B. Hnatyk, A. Neronov // Astronomy and Astrophysics. – Vol. 525, id.A154.
5. Disentangling multiple high-energy emission components in the Vela X pulsar wind nebula with the Fermi Large Area Telescope. arXiv:1806.11499 / L. Tibaldo et al.
6. Probing the extent of the non-thermal emission from the Vela X region at TeV energies with H.E.S.S. 2012, A&A, 548, A38 / A. Abramowski, F. Acero, F. Aharonian et al.
7. Aharonian F. A. Very High Energy Cosmic Gamma Radiation: A Crucial Window on the Extreme Universe / F. A. Aharonian // World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore, 2004. – P. 495.
8. The CTA Collaboration Science with CTA // eprint arXiv:1709.07997. –2017.

9. Kotera K. The Astrophysics of Ultrahigh Energy Cosmic Rays / K. Kotera, A. V. Olinto // Ann. Rev. of Astron. and Astrophys. – 2011. – 49. – P. 119–153.
10. Blasi P. The origin of galactic cosmic rays / P. Blasi // Astron. & Astroph. Rev. – 2013. – Vol. 21, id.70.
11. Neronov A. Supernova Origin of Cosmic Rays from a γ -Ray Signal in the Constellation III Region of the Large Magellanic Cloud / A. Neronov // Phys. Rev. Lett. – 2017. – Vol. 119, id.191102.
12. Caprioli D. Understanding hadronic emission from supernova remnants / D. Caprioli // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. – 2011. – Issue 05, id. 026.
13. Gabici S. Gamma-ray emission from supernova remnants and surrounding molecular clouds: AIP Conference Proceedings / S. Gabici. – Vol. 1792, Issue 1, id.020002.
14. Investigating the Structure of Vela X eprint arXiv:1808.03878 / P. Slane et. al.

Надійшла до редколегії 15.11.18

Р. Гнатык, инж.,
К. Винокурова, студ.,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ ТЭВНОГО ДИАПАЗОНА ОТ ОСТАТКА ВСПЫШКИ СВЕРХНОВОЙ ПАРУСА

Остатки сверхновых считаются одними из основных источников галактических космических лучей (КЛ) с энергиями до 10^{17} эВ. Экспериментальным подтверждением присутствия ядерного компонента КЛ в остатках является их гамма-излучение очень высоких энергий (более 100 ГэВ) как результат неупругих столкновений КЛ с мишенями-атомами межзвездной среды внутри и в окрестности остатков. В работе рассчитаны ожидаемые потоки такого гамма-излучения от одного из ближайших к Земле остатка сверхновой Паруса. Проанализирована возможность регистрации локализованных источников гамма-излучения внутри остатка, обусловленных присутствием областей повышенной плотности газа в результате испарения межзвездных облаков за фронтом ударной волны остатка.

Ключевые слова: космические лучи, гамма-излучение, остатки вспышек сверхновых, остаток Паруса.

R. Gnatyk, ing.,
K. Vynokurova, stud.,
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

TeV GAMMA-RAY RADIATION FROM VELA SUPERNOVA REMNANT

Sources and mechanisms of acceleration of the cosmic rays (CR) – a stream of nuclei, electrons and, to a lesser extent, antiparticles with a nonthermal power law energy spectrum extending to energies above 10^{20} eV, are still unknown. Theoretical calculations and experimental data show that the diffusive acceleration of the CR at the shock wave fronts (first order Fermi mechanism) in Galactic sources, first of all in the Supernova remnants (SNR), may be responsible for the observed CR flux with energies up to $E \leq 10^{18}$ eV. In this case, the lepton component of the CR (electrons, positrons) is confidently manifested in the SNR due to synchrotron radiation in a turbulent magnetic field inside the SNR. At the same time, the proton and nuclear component is not effective in synchrotron emission under typical CR parameters and magnetic fields in the SNR. Its presence in the SNR can be revealed due to the hadron mechanism of gamma-ray generation – the decay of neutral pions generated by inelastic collisions of the CR with particles-targets – atoms of interstellar medium inside and in the vicinity of SNR. Now only a few SNRs with a detectable gamma-ray flux of a hadron origin are known, in which the interaction of SNR with molecular clouds is observed, which provides the necessary concentration of particles-targets for CR.

In our work we calculate the expected fluxes of such gamma-radiation from the Vela SNR, one of the closest SNR to the Earth, which evolves in a cloudy interstellar medium and is a potential candidate for the hadron mechanism gamma-ray source. The possibility of detecting Vela SNR with modern (Magic, HAWC, H.E.S.S.) and future (CTA) gamma-ray detectors is analyzed. It is shown that the sensitivity of CTA will be sufficient to detect the gamma-radiation generated by the hadron mechanism.

Also we analyzed the possibility of registration of localized sources of gamma-radiation within the Vela SNR due to the presence of high gas density clouds. The fluxes from the two most massive clouds within the Vela SNR are calculated and compared with the sensitivity of the modern and future gamma-ray detectors. It is shown that sufficient sensitivity to detect the most massive clouds within the SNR will have the CTA facility if the spectrum of the gamma-rays generated by the hadron mechanism is without cut-off on the energy 10 TeV.

Key words: cosmic rays, gamma-ray radiation, Supernova remnants, Vela Supernova remnant

УДК 520.82; 523.6; 523.68

П. Козак, канд. фіз.-мат. наук,
Астрономічна обсерваторія
Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ

МЕТЕОРИ З МУЛЬТИМОДАЛЬНИМИ КРИВИМИ БЛИСКУ: СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ЯКІСНІ МОДЕЛІ

Розглянуто проблему телевізійної реєстрації метеорів з аномальними кривими блиску, зокрема з мультимодальними та бімодальними їх типами. Наведено результати спостережень двох метеорів з потоку Персеїди, отримані за допомогою телевізійних систем типу суперізокон. Одна з кривих блиску має мультимодальний характер і може бути пояснена дробленням тіла, інша належить до явно вираженого бімодального типу, який не можна на сьогодні остаточно пояснити. Запропоновано якісні моделі для інтерпретації метеора з бімодальною кривою блиску. Одна з них передбачає двокомпонентний склад метеороїда, коли тіло, по суті, складається із двох частинок. Інший варіант – однорідний монолітний метеороїд зі специфічною геометричною формою та параметрами можливого обертання тіла. Запропоновані моделі є найпростішими за кількістю варіативних параметрів і можуть претендувати на дос-