

Повертаємося до твердо установлених спостережених результатів. Основна особливість 23-го циклу полягає в тому, що тороїдальна компонента глобального магнітного поля в ньому зросла, тоді як полоїдальна компонента – зменшилася. Саме ця особливість дала підставу деяким дослідникам [10-12], які не розмежували великомасштабних полів плям (породжених потужною тороїдальною компонентою) і слабких полярних полів (породжених слабким полоїдальним полем), а також брали до уваги плями невеликих розмірів і пори, заявляти, що 23-й цикл був магнітно-слабким. Дійсно, якщо орієнтуватися на відносне число сонячних плям (числа Вольфа), яке враховує маленькі плями і навіть пори, то 23-й цикл можна вважати слабким в порівнянні з попередніми двома циклами (див., наприклад, роботу [2]). Але якщо брати до уваги тільки плями великих розмірів, породжені потужним магнітним полем, то все виглядатиме навпаки: перша половина 23-го циклу в магнітному сенсі була дуже потужною. Тому ми не вбачаємо протиріччя між спостереженими даними 23-го циклу і його теоретичною моделлю в рамках механізму $\alpha\Omega$ -динамо. На наш погляд, перша половина 23-го циклу була магніто-сильною, тоді як кінцеву його стадію активності (визначену як за полярними полями, так і за величиною магнітних полів плям), дійсно, можна вважати магніто-слабкою.

Коротко щодо наступного 24-го циклу. Відзначене в огляді [14] зменшення величини полярного магнітного поля в поточному циклі свідчить про те, що в рамках динамо-моделі наступний 24-й цикл, очевидно, буде слабкіший в магнітному сенсі. Водночас кінцева магніто-слабка стадія активності 23-го циклу (зменшення величини магнітних полів великих плям після 2004 року (див. рис. 2), повинна сприяти послабленню магнітного альфа-квенчінга. Тому тривалість динамо-періоду наступного 24-го циклу, очевидно, зменшиться в порівнянні з 23-м циклом і буде відповідати середній тривалості циклів.

Висновки. Таким чином, проведений аналіз дозволяє припустити, що виявлене наземними спостереженнями зростання в першій половині 23-го циклу модуля магнітної індукції полів сонячних плям (на 300 Гс) призвело до зменшення величини параметру α -ефекту приблизно на 30%. І оскільки тривалість динамо-циклу обернено пропорційна величині параметру спіральності ($T \sim \alpha^{-1/2}$), то при зменшенні коефіцієнту α період динамо-циклу мусить збільшуватися. Дійсно, розрахована нами протяжність динамо-циклу з урахуванням магнітного альфа-квенчінгу збільшилася приблизно на 2 роки в порівнянні з середнім значенням тривалості сонячних циклів (11 років) і склала ~ 13 років [17, 18].

Разом з тим, в наземних телескопічних спостереженнях при монотонному зростанні магнітних полів великих плям фіксувалися флуктуації (тимчасові зменшення) величини модуля полів з періодом $\approx 1,3$ року). Причиною цих магнітних флуктуацій можуть служити варіації глибинної кутової швидкості обертання Сонця поблизу тахокліна (також з періодом $\approx 1,3$ року), виявлені в геліосейсмологічних експериментах

Магнітне пригнічення α -ефекту зумовило суттєве зменшення в кінці 23-го циклу – в порівнянні з попередніми циклами – величини полярних полів, які визначаються полоїдальною компонентою глобального поля. Тому першу половину 23-го циклу можна кваліфікувати магніто-сильною фазою циклу, тоді як кінцеву фазу циклу можна віднести до магніто-слабких.

Наступний 24-ий цикл, очевидно, буде відносно слабким в магнітному сенсі, а його тривалість буде близькою до середньої тривалості циклів.

Робота виконана за часткової підтримки гранту Ф25.2/094 Державного фонду фундаментальних досліджень Міністерства освіти і науки України.

- Zimmerman R. What's wrong with our Sun?//Sky and Telescope. – 2009, August. – V.118, No.2. – P.26-29. 2 Pishkalo M.I. Prediction of amplitude of solar cycle 24 based on polar magnetic field of the Sun at cycle minimum//Sun and Geosphere. – 2010. – V.5, No.2. – P.7-11. 3. Вайнштейн С.И., Зельдович Я.Б., Рузмайкин А.А. Турбулентное динамо в астрофизике. – М., 1980. 4. Криводубський В.Н. Про динамо-період сонячного циклу // Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. Астрономія. – 2003. – № 39-40. – С.10-13. 5. Krivodubskij V.N. Turbulent dynamo near tachocline and reconstruction of azimuthal magnetic field in the solar convection zone // Astron. Nachr. – 2005. – V. 326, No 1. – P. 61-74. 6 Rüdiger G., Kitchatinov L.L. Alpha-effect and alpha-queenching // Astron. Astrophys. – 1993. – V. 269. – P. 581-588. 7. Howe R., Christensen-Dalsgaard J., Hill F. et al. Dynamic variations at the base of the solar convection zone // Science. – 2000. – V. 287. – P. 2456-2461. 8. Stix M. The Sun. – Berlin-Heidelberg-New York, 1989. 9. Лозицкая Н.И., Лямова Г.В., Малащук В.М. Сравнение результатов визуальных измерений магнитных полей крупных солнечных пятен, выполненных в разных обсерваториях в 23 цикле солнечной активности // Изв. КрАО. – 2007. – Т.103, № 4. – С.59-67. 10. Витинский Ю.И. Цикличность и прогнозы солнечной активности. – Ленинград, 1973. 11. Livingston W. Sunspots observed to physically weaken in 2000-2001// Solar Phys. – 2002 – V.207. – P.41-45. 12. Ataç T., Özgüç A. Overview of the solar activity during solar cycle 23 // Solar Phys. – 2006 – V.233. – P.139-153. 13. Livingston W., Penn M. Are sunspots different during this solar minimum? // EOS, Transactions American Geophysical Union. – 2009. – V.90. – No.30. – P.257. 14. Обридко В.Н. Введение. Циклы активности на Солнце и некоторые особенности 23 цикла // В кн.: Циклы активности на Солнце и звездах. – М., 2009. – С.9-18. 15. Моффат Г. 1980. Возбуждение магнитного поля в проводящей среде. – М., 1980. 16. Howe R. Seismic results on temporal variation of the solar rotation// Proceedings of SOHO 18/GONG 2006/HELAS I, Beyond the spherical Sun (ESA SP-624). 7-11 August 2006, Sheffield, UK. Editor: Karen Fletcher. Scientific Editor: Michael Thompson, Published on CDROM, p.6.1. 17. Krivodubskij V. On the apparent mystery of 23rd solar cycle period // IAU Symp. 273 "Physics of Sun and Star Spots", Ventura, California, USA, 23-26 August, 2010. Poster Abstracts – 0046. P.44-45. 18. Krivodubskij V.N. On the mystery of the 23rd solar cycle period // 10th Ukrainian conference on space research. Yevpatoria, Crimea, Ukraine. August 30 – September 4. Abstracts, Kyiv 2010. P.100.

Надійшла до редколегії 18.06.10

УДК 524.1+524.7

Т. Богдан, Б. Гнатик, О. Кобзар, В. Марченко, О. Суцов

ЦЕНТАВР А ЯК ДЖЕРЕЛО КОСМІЧНИХ ПРОМЕНІВ НАДВИСОКИХ ЕНЕРГІЙ

Розглянуто поширення космічних променів надвисоких енергій різного хімічного складу в галактичному та позагалактичному магнітних полях. Було досліджено можливість кореляції деяких подій, зареєстрованих обсерваторією AUGER, з радіогалактикою Центавр А. Показано, що деякі з цих космічних променів дійсно можуть походити з області Центавр А.

Propagation of different chemical composition of UHECR in galactic and extragalactic magnetic fields was simulated. The simulation for the ultra high energy events, registered by the AUGER observatory in the sky region near Centaurus A was performed. It is shown that some of these events actually could originate from Centaurus A.

1. Вступ. Проблема прискорення космічних променів надвисоких енергій (КПНВЕ) є однією з найактуальніших в астрофізиці високих енергій. Найбільш популярними кандидатами на роль прискорювачів КПНВЕ є достатньо близькі (до 75 Мпк) активні ядра галактик, які виявляють кореляцію із зареєстрованими обсерваторією AUGER подіями з енергією понад 60 EeV [1] (рис. 1). Більше того, останні дані спостережень обсерваторії AUGER свідчать про певну

© Богдан Т., Гнатик Б., Кобзар О., Марченко В., Суцов О., 2011

кореляцію між напрямками приходу космічних променів та радіогалактикою типу FRI Центавр А [2]. В роботі [3] показано, що фізичні умови в Центаврі А можуть забезпечити прискорення КПНВЕ до спостережуваних енергій. Завданням нашої роботи є дослідження впливу галактичного та позагалактичного магнітних полів на траєкторію руху КПНВЕ та на кореляцію вибраних подій з радіогалактикою Центавр А.

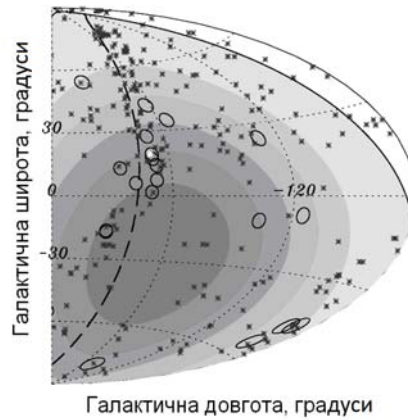


Рис. 1. Карта подій з енергією понад 60 EeV, зареєстрованих обсерваторією AUGER (кільця) та активні ядра галактик з каталогу VCV на відстані до 75 Мпк (зірочки) [1]. Центавр А позначено білою зірочкою

2. Галактичне та позагалактичне магнітні поля. В роботі для опису галактичного магнітного поля використовується модель Проуза – Шміда [4], модифікована Кахелерізом [5]. В цій моделі дискова компонента поля описується формулами (в полярних координатах):

$$B_r = B(r, \theta) \sin(p), \quad B_\theta = B(r, \theta) \cos(p),$$

де p (пітч-кут) – кут між вектором індукції поля в даній точці та перпендикуляром до радіус-вектора r в цій точці. Для функції $B(r, \theta)$ використовують наступну форму запису:

$$B(r, \theta) = B(r) \cos\left(\theta - \frac{1}{\text{tg}(p)} \ln\left(\frac{r}{\xi_0}\right)\right) \exp\left(-\frac{|z|}{h}\right).$$

В моделі [5] прийнято такі значення параметрів: $p = -8^\circ$, $h = 0,2$ кпк, – напівтовщина галактичного диску, $R = 8,5$ кпк – відстань від центра Галактики до Сонця, $d = -0,5$ кпк – відстань від Сонячної системи до найближчої точки інверсії напрямку поля. Параметр $\xi_0 = (R + d) \exp\left(-\frac{\pi}{2} p\right)$ враховує орієнтацію спіральних рукавів Галактики у вибраній системі координат.

$$B(r) = B_0 \frac{R}{r} \quad \text{для } r > 4 \text{ кпк}, \quad B(r) = B_0 \frac{R}{4 \text{ кпк}} = \text{const} \quad \text{для } r < 4 \text{ кпк},$$

причому поле нормувалось таким чином, щоб отримати значення локального магнітного поля 2 мкГс [5].

Для позагалактичного магнітного поля було використано найпростішу модель, яка передбачає розбиття позагалактичного простору на кубічні комірки. У межах кожної комірки магнітне поле задається однорідним, проте його напрям змінюється від однієї комірки до іншої випадковим чином. Для обмеження величини магнітного поля використовувався критерій [6]

$$B\sqrt{l_0} \leq 10^{-9} \text{ Гс} \cdot \text{Мпк}^{1/2},$$

де B – максимальна індукція магнітного поля в комірці, l_0 – розмір комірки.

3. Вплив магнітних полів на рух космічних променів. Рух зарядженої частинки в магнітному полі здійснюється під дією сили Лоренца. Розрахунок траєкторії частинки з енергією E в галактичному магнітному полі проводився численним розв'язанням рівнянь руху

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{qc^2}{E} [\vec{v} \times \vec{B}], \quad \frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}$$

методом Рунге – Кутта.

Рух космічних променів в позагалактичному полі подібний до дифузії, оскільки відхилення мають випадковий характер. За цієї умови результуюче відхилення променя від початкового напрямку пропорційне квадратному кореню з пройденого шляху:

$$\theta = \theta_0 \sqrt{N},$$

де N – кількість пройдених комірок, $\theta_0 = l_0 / R_L$ – відхилення на одній комірці (R_L – ларморівський радіус).

4. Результати розрахунків. На рис. 2 представлено положення подій, зареєстрованих обсерваторією AUGER в області радіогалактики Центавр А (кільця радіусом $\sim 1^\circ$). Розраховані положення відповідних джерел без урахування міжгалактичного поля показано заповненими кружками ($\sim 1^\circ$) з позначенням типу частинки. Врахування міжгалактичного поля вносить невизначеність в отримані положення джерел (концентричні кола).

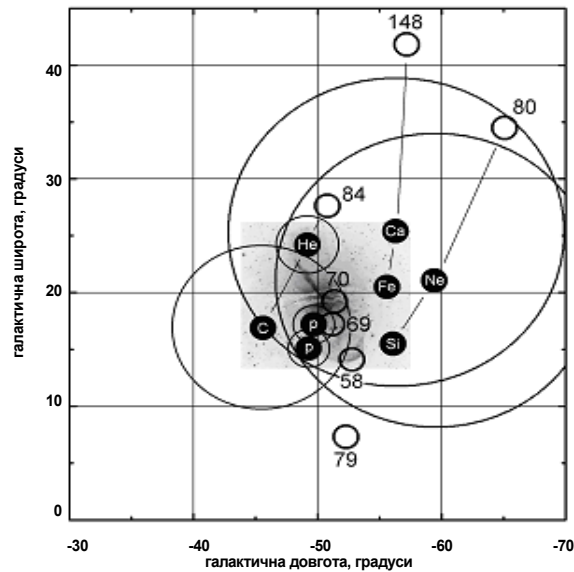


Рис. 2. Положення подій, зареєстрованих обсерваторією AUGER в області радіогалактики Центавр А (кільця, числа біля них вказують енергію зареєстрованого космічного променя в EeВ), та розраховані положення відповідних джерел з урахуванням галактичного поля (заповнені кружки) та міжгалактичного поля (концентричні кола)

Кількісні значення відхилень залежать від типу частинки, її енергії та положення відповідної події на небесній сфері. Наприклад, для протонів з енергією ~ 80 EeВ відхилення становлять ~ 2° в галактичному полі та менше 1° в міжгалактичному. Результируючі відхилення, спричинені міжгалактичним магнітним полем, для всіх типів частинок, які розглядалися в роботі, приведено в табл. 1. Числові значення приведено в градусах з урахуванням похибки детекторів AUGER (~ 1°).

Таблиця 1. Максимальні відхилення космічних променів в міжгалактичному магнітному полі

Енергія, EeВ	Кутові відхилення для космічних променів різних типів (градуси)						
	p	He	C	O	Si	Ca	Fe
58	2,0	3,6	10,4	13,9	24,3	34,7	45,1
69	1,8	3,1	8,8	11,7	20,4	29,2	37,9
70	1,8	3,0	8,7	11,5	20,1	28,7	37,3
79	1,6	2,7	7,7	10,2	17,8	25,5	33,1
80	1,6	2,7	7,6	10,1	17,6	25,1	32,7
84	1,6	2,6	7,3	9,6	16,8	24,0	31,1
148	1,2	1,7	4,2	5,5	9,6	13,6	17,7

5. Висновки. Згідно з застосованими моделями галактичного та позагалактичного магнітних полів радіогалактика Центавр А може бути джерелом щонайменше п'яти подій, зареєстрованих обсерваторією AUGER. Два космічні промені могли б походити з області Центавр А, якщо б вони були протонами, один – якщо б це було ядро елементів від гелію до вуглецю та дві події корелюють з радіогалактикою Центавр А у випадку більш важких ядер (Ca – Fe).

1. The Pierre Auger Collaboration. Abraham, J. et al. Correlation of the Highest-Energy Cosmic Rays with Nearby Extragalactic Objects // Science. – 2007. – Volume 318, Issue 5852 – P. 938-943. 2. The Pierre Auger Collaboration. Abraham, J. et al. Update on the correlation of the highest energy cosmic rays with nearby extragalactic matter // Astroparticle Physics. – 2010. – Volume 34, Issue 5. – P. 314 – 326. 3. Kachelrieß, M.; Ostapchenko, S.; Tomás, R. High energy radiation from Centaurus A // New Journal of Physics. – 2009. – Volume 11, Issue 6. – P. 065017. 4. Prouza M., Smida R. The Galactic magnetic field and propagation of ultra-high energy cosmic rays // Astron.Astrophys. – 2003. – 410. – P. 1-10. 5. Kachelrieß, M.; Serpico, P. D.; Teshima, M. The Galactic magnetic field as spectrograph for ultra-high energy cosmic rays // Astroparticle Physics. – 2007. – Volume 26, Issue 6. – P. 378-386. 6. Globus N.; Allard D.; Parizot E. Propagation of high-energy cosmic rays in extragalactic turbulent magnetic fields: resulting energy spectrum and composition // Astronomy and Astrophysics. – 2008. – Volume 479, Issue 1. – P. 97-110.

Надійшла до редколегії 12.07.10

УДК 523.735

В. Єфіменко, В. Токий

ПРО ВПЛИВ ІНДУКЦІЙНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТРУМІВ НА ПЛАЗМОВІ ШАРИ АТМОСФЕРИ СОНЦЯ

Виконана оцінка внеску індукційних електричних струмів, зумовлених неоднорідністю обертання Сонця, у нагрівання нижньої корони Сонця. Показано, що температура нижньої корони під дією індукційних струмів підвищується від 500 K° до 1.6·10⁶ K°. Таким чином, індукційні струми можуть вносити істотний внесок у нагрівання сонячної корони.

The estimation of the contribution of the induction electric currents caused by heterogeneity of rotation of the Sun, in heating of a solar corona is executed. It is shown that the temperature of the bottom corona under the influence of induction currents raises 500 K° to 1.6·10⁶ K°. Thus, induction currents can bring the essential contribution to heating of a solar corona.

Вступ. В роботі [1] розглянуто зміни параметрів ізотермічного плазмового шару з відстанню від поверхні Сонця без урахування загального магнітного поля Сонця. Індукційні явища, які виникають навколо однорідно намагніченої зірки що обертається, вперше розглядалися Девісом [2] при розрахунках радіальних і меридіональних електричних

© Єфіменко В., Токий В., 2011