4. Выводы. Мягкие повторяющиеся гамма-всплески рассмотрнеы как результат иыхода магнитной энергии, запасенной в барионных степенях свободы коры магнитаров. Предсказанные моделью БПВМ свойства скалирования для интенсивности и распределений времени ожидания всплесков находятся в хорошем согласии с данными наблюдений МПГ, подтверждая, таким образом, достоверность модели БПВМ. Дальнейшие применения развитого магнитного механизма эмиссии при анализе активности МПГ могут обеспечивать лучшее понимание возникновения и эволюции нейтронных звезд, в частности, напряженности магнитных полей.

5. Работа частично поддержана грантом SCOPES IZ73Z0_152485.

Список использованных источников

1. Kondratyev V.N. Statistics of Magnetic Noise in Neutron Star Crusts Phys.Rev.Lett. – 2002. – 88 – 221101;'Magnetization of Neutron Star Matter and Implications in Physics of Soft Gamma Repeaters.'' – JAERI Research-Series 2001-057 (JAERI-Prtss, Japan, 2002).
2. Mazets E.P., Golentskii S.V., Ilinskii V.N., et.al. Observations of a flaring X-ray pulsar in Dorado Nature (London) – 1979. – 282, – P. 587.
3. Kondratyev V.N. Burning the atomic nuclei / Bull.Univ.Kiev,SPM – 2010. – no.3. – P. 31.
4. Кондратьев В.Н. / МАГИЧЕСКИЕ УЛЬТРАНАМАГНИЧЕННЫЕ ЯДРА ВО ВЗРЫВНОМ НУКЛЕОСИНТЕЗЕ ЯФ – 2012. – 75. – С.1442.
5. Kondratyev V.N. // Creation and transmutation of magnetized nuclei at explosively dense matter Eur. Phys. WC. 2012. – 38, 17008. Explosive nucleosynthesis at strong magnetic field Eur. Phys. J. A – 2014. – 50.: P. 7.
6. Kondratyev V.N. Dynamics of magnetic nanoparticle assembly J. Phys. CS – 2010. – 248 – 012027.
7. Gogus Ersin et al./Statistical Properties of SGR 1900+14 Bursts Astrophys. J. Letters – 1999. – 526. – P. L93.
8. Gogus Ersin et al./ Statistical Properties of SGR 1806-20 Bursts Astrophys. J. Letters – 2000. – 532. – P. L121.

Надійшла до редколегії 04.06.14

В. Кондратьєв, канд. фіз.-мат. наук
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ,
Ю. Коровіна, доц.
МІВО, Москва, Росія

МПГ-СПЛЕСКІ ЯК МАГНІТОЕМІССІЯ КОРИ МАГНІТАРІВ ЮНОГО ВІКУ

М'які повторювані гамма (МПГ)-сплески розглянуті як магнітоеміссія кори магнітарів (ультранамагніченних нейтронних зірок). Показано, що всі спостереження подібних сплесків можна описати і систематизувати в моделі безладно перестрибаючих взаємодіючих моментів, що включає квантові флуктуації і межядерную взаємодію в неоднорідному середовищі.

Ключові слова: гамма-сплески, нейтронні зірки, магнитари.

V. Kondratyev, Ph.D. in Phys. and Math. Science
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv,
Iu. Korovina, Associate Prof.
MIOE, Moscow, Russia

SGR BURSTS DUE TO MAGNETAR CRUST MAGNETOEMISSION

Soft repeating gamma-ray (SGR) bursts are considered as magnetoemission of crusts of magnetars (ultranamagnetized neutron stars). It is shown that all the observations of such bursts can be described and systematized within randomly jumping interacting moments model including the quantum fluctuations and the internuclear interaction in an inhomogeneous medium.

Keywords: gamma-ray bursts, neutron stars, magnetars.

УДК 524.7

С. Парновський, д-р фіз.-мат. наук,
І. Ізотова, канд. фіз.-мат. наук
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

ТЕПЛОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ КОМПАКТНИХ ЕМІСІЙНИХ ГАЛАКТИК У РАДІОКОНТИНУУМІ НА ЧАСТОТІ 1.4 ГГЦ

На основі данних FIRST розглянуто випромінювання у радіоконтинуумі на частоті 1.4 ГГц вибірки компактних галактик з активним зореутворенням. Оцінено швидкість зореутворення за даними випромінювання галактик у радіоконтинуумі, вона змінюється у діапазоні 0.85 – 114 $M_{\odot}$рік$^{-1}$ (медіана 10,4 $M_{\odot}$рік$^{-1}$). Показано, що випромінювання галактик вибірки у радіоконтинуумі на 1.4 ГГц є переважно нетепловим і середнє значення частки теплового (вільно-вільного) випромінювання іонізованого газу у загальному випромінюванні становить 17 %.

Ключові слова: теплове випромінювання, галактика.

Вступ. З 2009 року проводиться активне дослідження галактик, які у роботі [9] через їх точкову структуру та зелений колір на оглядових картах цифрового огляду неба SDSS [3] отримали назву "green peas" (далі GP). Автори [9], досліджуючи вибірку з 251 галактики, визначили основні особливості "green peas": низький вміст важких елементів, маса зір $M_* \sim 10^{8.5} – 10^{10}$ $M_{\odot}$; висока швидкість зореутворення та питома шидкість зореутворення – SFR ~ 10 $M_{\odot}$ рік$^{-1}$ та SSFR ~ 10^{-8} рік$^{-1}$, відповідно.

В роботі [17] проведено детальне дослідження 803 компактних галактик (z = 0.02 – 0.63) високої світності (luminous compact galaxies, далі *LCG*) з активним зореутворенням, відібраних з SDSS Data Release 7 (DR7) [3] на основі не лише їх фотометричних, але й як спектральних даних. До вибірки увійшли компактні галактики з високою світністю і еквівалентною шириною емісійної лінії Hβ, які свідчать про "молодий" спалах зореутворення у галактиці. В [17] було показано, что вибірка *LCG* галактик має ті ж самі властивості, що і вибірка "green peas" галактик [9], але спостерігається у значно ширшому діапазоні червоних зміщень. На діагностичній діаграмі [20] *LCG* галактики займають область, яка притаманна зонам HII високої іонізації. У *LCG* галактик виявлено низький вміст важких елементів і висока SSFR.У вибірку *LCG* галактик не входять галактики Sy2 з активними ядрами.

Низький вміст важких елементів (~ 20 % від сонячного) у GP галактик також було виявлено у роботі [4].

Автори [10] проаналізували перші прямі спостереження радіовипромінювання на 0.6 ГГц, які були проведені на Giant Metrewave Radio Telescope телескопі, у трьох *GP* галактиках.

За своїми характеристиками *LCG* галактики та GP галактики, як їх підвибірка на певних червоних зміщеннях z, позиціонуються між близькими блакитними компактними карликовими галактиками (в літературі *BCDGs*) та віддаленими (червоні зміщенні z ≥ 2 – 3) Ly-break (*LBG*) галактиками великої світності в ультрафіолетовому діапазоні. Характеристики галактик цього типу не є типовими для ближнього Всесвіту, і, ймовірно, зореутворення у *LCG* та *GP* галактиках має властивості, які були притаманні молодому Всесвіту[4, 9].

В [28] для *LCG* галактик проведено статистичне дослідження швидкості зореутворення (*SFR*) галактик, визначеної за трьома індексами (індикаторами) – випромінюванням в лінії Hα в областях іонізованого водню, далекому (*FUV*) та близькому (*NUV*) ультрафіолетовому (УФ) діапазонах, та її зв'язок з фізичними параметрами галактик, які були визначені у [17]: масою *m* молодого зоряного населення, вмістом важких елементів та віком *T* спалаху зореутворення. Для всіх трьох індексів зореутворення визначено функції *f*(T), які оптимально описують варіації *SFR/m* в залежності від віку *T* спалаху зореутворення. Показано, що світності *L* (або *SFR*) в Hα та УФ діапазоні змінюються однаково, при цьому *L*(Hα) та *L(FUV*) стрімко падають при *T* ≥ 3.2 млн років. Зроблено висновок, що в *LCG* галактиках випромінювання одного і того ж зоряного населення, а саме молодого, відповідає за випромінювання як у лінії Hα так і в далекому УФ діапазоні.

Для *LCG* галактик в роботі [27] на основі результатів [17, 28] було запропоновано метод оцінки маси *m* молодого зоряного населення галактик і віку *T* спалаху зореутворення без вивчення та врахування розподілу енергії в їх спектрах (SED). Для 550 *LCG* було оцінено *m* та *T* і проведено їх порівняння з відповідними величинами, визначеними з урахуванням SED. Отримано, що середні розбіжності log *m* і *T*, оцінених цими методами, складають 0.27 і 0.87×10^6 років, відповідно.

В якості одного з індексів (індикаторів) зореутворення, окрім тих, що розглянуто у [28], часто використовують радіо- випромінювання галактик, в т.ч. і у радіоконтинуумі на частоті 1.4 ГГц [6, 7, 12, 15–16, 22, 24–26, 29–30]. Це випромінювання може бути пов'язаним як з активними галактичними ядрами (AGN) так і з областями зореутворення [11]. Випромінювання у радіоконтинуумі, яке пов'язане з областями зореутворення, складається з двох компонент: теплового (free-free) випромінювання в областях HII іонізованого водню і нетеплового випромінювання, яке створюють релятивістські електрони залишків наднових зір типів SN II та SN Ib [11]. Наднові зорі цих типів є результатом еволюції масивних зір з масами M ~ 8 $M_{\odot}$, час життя яких менше 3×10^7 років. У цьому контексті нетеплове випромінювання у радіоконтинуумі на 1.4 ГГц теж пов'язане з процесами зореутворення, але на більшій шкалі часу у порівнянні з тепловим. Для випромінювання в радіоконтинуумі на 1.4 ГГц виявлено тісний кореляційний зв'язок з випромінюванням у далекому інфрачервоному діапазоні [6, 12], яке є хорошим індикатором зореутворення. Крім того, при вивченні процесів зореутворення перевагою використання цього індекса є те, що, на відміну від індексів зореутворення, які базуються, скажімо, на випромінюванні в Hα і FUV, випромінювання в радіоконтинуумі на 1.4 ГГц не потерпає від міжзоряної екстинкції, коректне врахування якої не завжди є можливим.

Робота має на меті визначення швидкості зореутворення та частки теплового випромінювання у загальному радіо- випромінюванні на частоті 1.4 ГГц у галактиках з активним зореутворенням.

При обчисленнях світності в роботі прийнято, що постійна Хаббла рівна H_0 = 75 км $сек^{-1} \cdot Мпк^{-1}$.

Вибірка галактик. *Дані спостережень в радіоконтинуумі на 1.4 ГГц.* У роботі продовжено дослідження вибірки *LCGs* галактик, яку отримано та детально описано у [17]. Підкреслимо ще раз, що це – вибірка виключно галактик з активним зореутворенням, і вона не включає об'єкти з активними галактичними ядрами. Характерними особливостями галактик вибірки є: компактність (розмір ≤ 10″); низький вміст важких елементів (12 + logO/H ~ 7.6 – 8.4); висока світність та еквівалентна ширина емісійної лінії Hβ в областях іонізованого водню (*L*(Hβ) ≥ 3×10^{40} ерг $сек^{-1}$ та EW(Hβ) ≥ 50 Å, EW(Hβ) ≥ 100 Å, відповідно), що свідчить про наявність молодого спалаху зореутворення; висока питома швидкість зореутворення SSFR – 10^{-7} – 10^{-9} $рік^{-1}$ [17].

У каталозі огляду неба FIRST /http://sundog.stsci.edu/first/description.html/ для вибірки *LCGs* галактик було проведено пошук (з граничною кутовою відстанню ≤ 30") джерел випромінювання у радіодіапазоні.

Проект FIRST (Faint Images of the Radio Sky at Twenty Centimeters) [5] – це Very Large Array (VLA) огляд неба в радіоконтинуумі на довжині хвилі ~20 см (1.4 ГГц). Огляд охоплює понад 10,635 квадратних градусів в районі Північного (8444 $град^2$) та Південного (2191 $град^2$) полюсів Галактики. Поріг чутливості для джерел випромінювання в огляді FIRST становить 1 мЯн. Точність визначення положення джерела радіовипромінювання змінюється від 0.5" (зареєстрований потік ~ 3 мЯн) до ~ 1" для більш слабких джерел. Області оглядів FIRST та SDSS досить близькі: зареєстровано, що ~40 % джерел каталога FIRST мають оптичних партнерів в SDSS при глибині огляду m_v ~ 23.

В каталозі радіо джерел FIRST для близько 10 % галактик з вибірки *LCG* було виявлено позиційного партнера на відстані менше 30". Додатково 2 джерела були ототожнені лише в каталозі NVSS [13]. Для значної кількості галактик є дані одночасно як у FIRST, так і NVSS.

Під час візуального контролю з оглядовими картами SDSS було виключено сумнівні позиційні ототожнення *LCG* галактик з радіоджерелами. Для остаточно відібраних 52 галактик кутова відстань між оптичними та радіо- джерелами становить ≤ 10". Використання уніфікованого каталогу радіоджерел, презентованого у [23], в подальшому, можливо, суттєво розширить вибірку.

Під час перегляду галактик вибірки на пошукових картах SDSS було відмічено, що практично всі *LCG* галактики, які ототожнено з радіо джерелами, не є абсолютно точковими, а мають ознаки деякої асиметрії, іррегулярності у вигляді невеликого "хвоста", його ознак тощо (у роботі [28] їх віднесено до підвибірки "іррегулярних" галактик). Деякі з відібраних галактик – це вузли зореутворення, які складають основну чи значну частину невеликої галактики.

Тут доречно зазначити, що FIRST, як і інші огляди, що виконані з радіоінтерферометричними телескопами, має певні обмеження з чутливості. Так, при розмірі об'єктів, які перевищують 10" чутливість FIRST до випромінювання на 1.4 ГГц зменшується. Згідно зауваження [15], FIRST у галактиках з розмірами ~ 12" фіксує близько 84 % випромінювання, і ця величина падає зі збільшенням розміру об'єкта. Цю обставину варто враховувати при порівнянні швидкостей зореутворення, визначених за випромінюванням у радіоконтинуумі у різних оглядах для галактик різного типу.

Швидкість зореутворення. Частка теплового випромінювання у загальному випромінювання в радіоконтинуумі на 1.4 ГГц. Для 52 *LCG* галактик, ототожнених з радіоджерелами на 1.4 ГГц, було розраховано швидкості зореутворення *SFR*(Hα) та $SFR_{1.4}$ за двома індексами – випромінювання у лінії Hα в областях іонізованого водню та в радіоконтинуумі на частоті 1.4 ГГц, відповідно.

При розрахунках *SFR*(Hα) прийнято калібрування [22]:

$$SFR(\mathrm{H}\alpha) = 7.9\ 10^{-42}\ L(\mathrm{H}\alpha)\ \ (\mathrm{M}_{\odot}\ \text{рік}^{-1}), \tag{1}$$

де *SFR* в одиницях $\mathrm{M}_{\odot}$ рік^{-1}, *L*(Hα) – світність галактики в лінії Hα в ерг сек^{-1}, скорегована за екстинкцію та апертуру (деталі корекцій див. в [28]).

В модельних розрахунках при отриманні калібрування (1) були прийняті сонячний вміст важких елементів, початкова функція мас Солпітера з показником ступеню 2.35, і граничними масами зір, що утворюються, рівними 0.1 і 100 $\mathrm{M}_{\odot}$. Вираз (1) було отримано для постійної (квазі-постійної) у часі моди зореутворення [22], яка притаманна великим галактикам з частими спалахами зореутворення. Спалахи зореутворення, які відбуваються у *LCG*, є сильними, але не частими. В таких системах інтервал часу усереднення для отримання швидкості зореутворення є невизначеним, а світність *L*(Hα) швидко спадає на шкалі часу в декілька млн років (див., зокрема, [28, 31]). Все ж, ми приймаємо що калібрування (1) може бути використаним для визначення швидкості зореутворення *SFR*(Hα) у *LCG* галактиках.

С врахуванням калібрування (1), прийнятого для *SFR*(Hα), швидкість зореутворення $SFR_{1.4}$ визначається згідно [1, 2] зі співвідношення:

$$SFR_{1.4} = 2.8\ 10^{6}\ \mathrm{A}\ L_{1.4}/L_{\odot}\ (\mathrm{M}_{\odot}\ \text{рік}^{-1}), \tag{2}$$

де A = $L_{1.4}$(thermal)/$L_{1.4}$ – частка теплового (free-free або вільно-вільного) випромінювання іонізованого газу в загальному випромінюванні у радіоконтинуумі; $L_{1.4}/L_{\odot} = 3.07\times10^{-7}\times D^{2}\times f_{1.4}$ – монохроматична світність галактики в радіоконтинуумі на частоті 1.4 ГГц, де $f_{1.4}$ – інтегральний потік випромінювання у радіоконтинуумі на 1.4 ГГц в Ян, а *D* – відстань до галактики в Мпк.

Оскільки рекомбінаційне випромінювання зон HII в лініях водню в оптичному діапазоні (наприклад, Hα та Hβ) мають теплову природу, то теплове радіовипромінювання однозначно пов'язано з тепловим випромінюванням в оптичному діапазоні і його світність можна визначити зі світності в лінії Hβ, скорегованої за екстинкцію (див. [8], співвідношення (A8) та (A9)). Це вірно за припущення, що в галактиці немає областей зореутворення, які б спостерігались в радіодіапазоні, але були б невидимими в оптичному діапазоні за причини сильної міжзоряної екстинкції. На нашу думку, це припущення є справедливим для галактик з низьким вмістом важких елементів. Наприклад, в [18] показано, що потоки випромінювання, які спостерігаються у галактиках з активним зореутворенням у ближньому та середньому інфрачервоному діапазонах, добре узгоджуються з потоками випромінювання на тих же довжинах хвиль, але обраховані за потоками у лінії Hβ. Крім того, VLA спостереження в см діапазоні не виявляють джерел випромінювання у доповнення до тих, які спостерігаються і в оптичному діапазоні (див., наприклад, [19]).

Для визначення частки A теплового випромінювання у загальному випромінювання у радіоконтинуумі на 1.4 ГГц ми скористаємось співвідношенням між світністю в лінії Hβ і монохроматичною світністю в радіодіапазоні [8]. Для випромінювання на частоті 1.4 ГГц, за припущення, що електронна густина складає 100 см^{-3}, а густина He^{+} становить 8.1 % від густини протонів, з [8] отримаємо:

$$\frac{L(1.4\ GHz, thermal)}{L(H\alpha)} = 1.22\times10^{-14}\left(\frac{\Theta}{10^{4}K}\right)^{0.59}, \tag{3}$$

де *L*(1.4 GHz, thermal) – це світність теплового компоненту у загальному випромінюваннs у радіоконтинуумі на 1.4 ГГц у ерг·Гц^{-1}·сек^{-1}, *L*(Hα) – світність в лінії Hα у ерг·сек^{-1}, Θ – електронна температура у кельвінах, які визначено у роботі [17] з дослідження спектрального розподілу енергії окремих *LCGs* галактик.

За даним про повне випромінювання у радіоконтинуумміна 1.4 ГГц та з врахуванням (3), отримано, що для *LCGs* галактик варіації частки A теплового випромінювання у загальному лежать в діапазоні від 2% до 47% з медіаною 15% та середнім значенням 17%, середнє значення logA –0.874, що відповідає $10^{\log A}$ = 0.13.

Розподіл величини A приведено на Рис.1. Таким чином, випромінювання *LCG* галактик в радіоконтинуумі на 1.4 ГГц є переважно нетепловим випромінюванням. Зазначимо, що роботі [2] для вибірки ізольованих галактик з порівняння випромінювання у радіоконтинуумі на 1.4 ГГц та далекому інфрачервоному діапазоні нижню межу величини A оцінено в 13 %, а у [11] для нормальних галактик отримано оцінку A ~ 11 %.

У роботі [21] для нормальних спіральних галактик отримано тісний кореляційний зв'язок повного потоку нетеплового компонента в радіоконтинуумі на 1.415 ГГц з інтегральним потоком випромінювання в лінії Hα+[N II]. На основі детального дослідження автор приходить до висновку, що релятивістські електрони, які відповідають за нетеплове випромінювання, пов'язані з масивними молодими зорями, а не зі старим зоряним населенням галактик.

У випадку *LCGs* галактик ми маємо домінування у радіодіапазоні нетеплового компоненту випромінювання, пов'язаного ймовірно, не з наймолодшим спалахом зореутворення, а з попередніми, більш старими спалахами зореутворення, масивні зорі яких уже проеволюціонували до стадії наднових зір.

Для 52 *LCGs* галактик з даними випромінювання у радіоконтинуумі швидкості зореутворення *SFR*(Hα) та $SFR_{1.4}$, були визначені згідно калібрувань (1) та (2). Отримано, що діапазон варіацій $SFR_{1.4}$ та *SFR*(Hα) складає від 0.85 до 114 $\mathrm{M}_{\odot}$ рік^{-1} (медіана 10,4 $\mathrm{M}_{\odot}$·рік^{-1}) та від 1.9 до 77 $\mathrm{M}_{\odot}$·рік^{-1} (медіана 14 $\mathrm{M}_{\odot}$·рік^{-1}), відповідно. На Рис.2 приведено інтегральний розподіл швидкостей зореутворення *SFR*(Hα) (близько 800 галактик) [28] та $SFR_{1.4}$ (52 галактики). На осі X приведено значення граничної швидкості зореутворення $SFR_{\max}$, на осі Y – відносне число галактик, у яких $SFR < SFR_{\max}$. Суцільна чорна лінія відповідає *SFR*(Hα), отриманих для вибірки близько 800 *LCG* галактик [17, 28]. Для вибірки 52 *LCG* галактик з зареєстрованим випромінюванням у радіоконтинуумі на 1.4 ГГц приведено інтегральний розподіл *SFR*(Hα) (суцільна сіра лінія) та $SFR_{1.4}$ (штрихована лінія). Видно, що вибірка 52 *LCGs* галактик з радіоданими включає галактики з більш потужним зореутворенням, у порівнянні з повною вибіркою 800 *LCGs* галактик. Без сумніву це пояснюється селекцією, пов'язаною з відбором галактик, у яких з певним порогом чутливості зареєстровано радіовипромінювання. Обмеження, пов'язані з порогом чутливості, приводять до того, що галактики, у яких є дані спостережень у радіоконтинуумі не тільки мають більшу світність, але й розташовані ближче, чим галактики з повної вибірки. Значення червоного зміщення z повної вибірки 800 *LCGs* галактик лежать в діапазоні від 0.015 до 0.630 (медіана z = 0.12, $\langle z \rangle$ = 0.15) [17, 28], а у вибірки 52 галактик з радіоданими – від 0.015 до 0.22 (медіана z = 0.06, $\langle z \rangle$ = 0.074). Порівнюючи вибірку 52 *LCGs* галактик з радіо даними та повну ми отримали, що медіани їх швидкостей зореутворення становлять *SFR*(Hα) =14 $M_\odot$ рік$^{-1}$ та *SFR*(Hα) = 6.7 $M_\odot$ рік$^{-1}$ [28], відповідно.

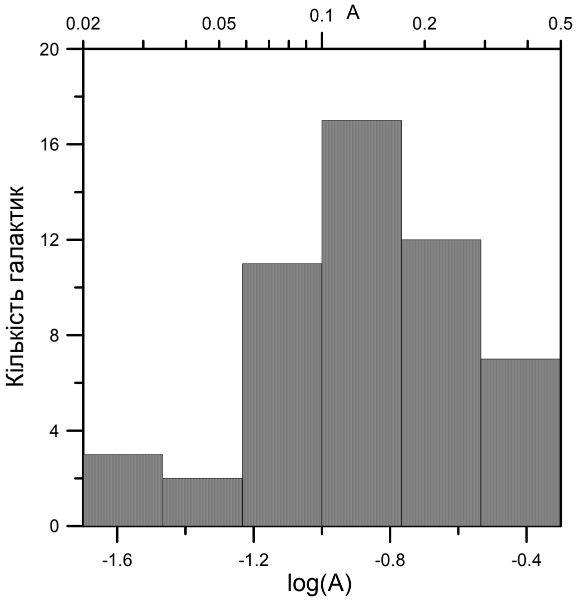

Рис.1. Розподіл частки A теплового випромінювання у загальному випромінюванні у радіоконтинуумі на частоті 1.4 ГГц для вибірки 52 *LCG* галактик. На нижній та верхній осях X приведено значення log A та A, відповідно

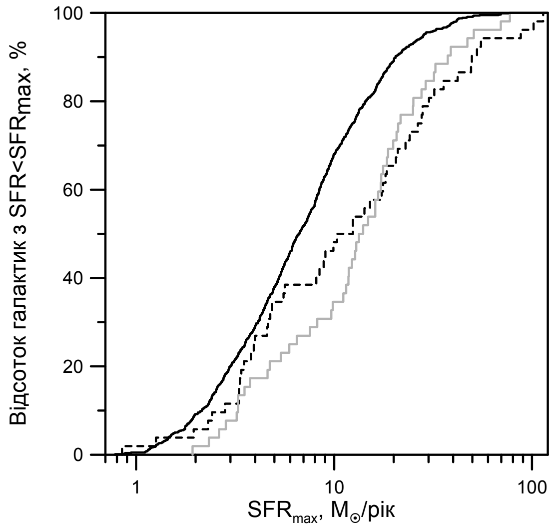

Рис.2. Інтегральний розподіл швидкостей зореутворення *SFR*. На осях приведено:
X – значення граничної швидкості зореутворення SFR_{max}, Y – відносне число галактик, у яких *SFR* < SFR_{max}.
Суцільна темна лінія відповідає *SFR*(Hα) для близько 800 *LCGs* [17, 28]. Для 52 LCGs з даними випромінювання у радіоконтинуумі на частоті 1.4 ГГц показано інтегральний розподіл *SFR*(Hα) (суцільна сіра лінія) та $SFR_{1.4}$ (пунктирна лінія)

Висновки. Проведено перехрестне ототожнення вибірки близько 800 *LCGs* галактик [17, 28] з джерелами випромінювання у радіоконтинуумі на частоті 1.4 ГГц бази даних FIRST. Виявлено 52 позиційних партнера на відстані ≤ 10". Для вибірки 52 *LCG* галактик визначено швидкості зореутворення $SFR_{1.4}$ та *SFR*(Hα) за випромінюванням у радіоконтинуумі на 1.4 ГГц та у рекомбінаційній лінії Hα, відповідно. Отримано, що діапазон варіацій $SFR_{1.4}$ та *SFR*(Hα) складає від 0.85 до 114 $M_\odot$·рік$^{-1}$ (медіана 10,4 $M_\odot$·рік$^{-1}$) та від 1.9 до 77 $M_\odot$·рік$^{-1}$ (медіана 14 $M_\odot$·рік$^{-1}$), відповідно.

З порівняння потоків випромінювання в рекомбінаційній лінії Hα та радіоконтинуумі встановлено, що у *LCG* галактик на частоті 1.4 ГГц переважає нетеплове випромінювання від залишків наднових, вибух яких, ймовірно, пов'язаний не з наймолодшим, а з попередніми більш старими спалахами зореутворення, по причині затримки внаслідок еволюції масивних зір до стадії наднових. Оцінено, що варіації A та середнє A частки теплового випромінювання у загальному випромінюванні у радіоконтинуумі становлять 2 %–47 % та 17 %, відповідно.

Під час виконання роботи було використано інформацію з бази база даних позагалактичних джерел NED (NASA/IPAC Extragalactic Database), яка функціонує під керівництвом Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, в контакті з National Aeronautics and Space Administration; огляди Sloan Digital Sky Survey (SDSS) та SDSS-II, які виконано та функціонують завдяки Alfred P. Sloan Foundation, the Participating Institutions, the National Science Foundation, the U.S. Department of Energy, the National Aeronautics and Space Administration, the Japanese Monbukagakusho, the Max Planck Society та the Higher Education Funding Council for England; огляди NVSS (National Radio Astronomy Observatory Very Large Array Sky Survey) та FIRST.

Список використаних джерел

1. Изотова И.Ю., Изотов Ю.И. Темп звездообразования в голубых компактных галактиках из Второго Бюраканского обзора // Кинематика и физика небес. тел. – 1999. – Т. 15, № 3. – С. 195 – 205.
2. Изотова И.Ю., Парновский С.Л., Тютюнник А.А. Изолированные галактики: излучение в дальнем инфракрасном диапазоне, скорость и эффективность текущего звездообразования // Кинематика и физика небес. тел. – 2006. – Т. 22, № 3. – С. 187 – 203.
3. Abazajian, K.N., Adelman-McCarthy J. K. , Agüeros M. A. et al. The Seventh Data Release of the Sloan Digital Sky Survey // Astrophys. J. Suppl. Ser. – 2009. – V.182. – P. 543–558.
4. Amorín R., Pérez-Montero E., Vílchez J.M., Papaderos P. The Star Formation History and Metal Content of the Green Peas. New Detailed GTC-OSIRIS Spectrophotometry of Three Galaxies // Astrophys. J. – 2012. – V.749. – P. 185–202.
5. Becker R.H., White R.L., Helfand D.J. The FIRST Survey: Faint Images of the Radio Sky at Twenty Centimeters // Astrophys. J. – 1995. – V.450. – P. 559.
6. Bell E. Estimating star formation rates from infrared and radio luminosities: the origin of radio-infrared correlation// Astrophys. J. – 2003. – V. 586. – P.794.
7. Calzetti D. Star formation rate indicators // preprint arXiv:1208.2997v1
8. Caplan J., Deharveng L. Extinction and reddening of HII regions in the Large Magellanic Cloud // Astron. Astrophys. – 1986. – V. 155. – P.297–313.
9. Cardamone C., Schawinski K., Sarzi M. et al. Galaxy Zoo Green Peas: discovery of a class of compact extremely star-forming galaxies // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. – 2009. – V. 399. – P. 1191–1205.
10. Chakraborti S., Yadav N., Cardamone C., Ray A. Radio detection of green peas: implication for magnetic fields in young galaxies // arXiv: 1110.3312v1. [astro-ph.CO] 14 Oct 2011.
11. Condon J.J. Radio emission from normal galaxies // Ann. Rev. Astron. Astrophys. – 1992. – V. 30. – P. 575 – 611.
12. Condon J.J., Anderson M.L., Helou G. Correlations between far-infrared, radio and blue luminosities of spiral galaxies // Astrophys. J. – 1991. – V.376. – P. 95 – 103.
13. Condon J.J., Cotton W.D., Greisen E.W. et al. The NRAO VLA sky survey // Astron. J. –1998. – V. 115, No 5. – P. 1693 – 1716.
14. Fisher R.A. Statistical methods for research workers / R. A. Fisher R.A– London: Oliver and Boyd, 1950. – 80 P.
15. Hopkins A.M., Miller C.J., Nichol R.C., et al. Star formation rate indicators in the Sloan Digital Sky Survey // Astrophys. J. – 2003. – V. 599. – P. 971 – 991.
16. Hopkins A.M., Schulte-Ladbeck R.E., Drozdovsky I.O. Star formation rates of local blue compact dwarf galaxies. I. 1.4 GHz and 60 micron luminosities // Astron. J. – 2002. –V.124. – P. 862–876.
17. Izotov Y. I., Guseva N.G., Thuan T.X. Green Pea Galaxies and Cohorts: Luminous Compact Emission-line Galaxies in the Sloan Digital Sky Survey // Astrophys. J. – 2011. – V.728 – P. 161 – 177.
18. Izotov, Y. I.; Thuan, T. X. Near-infrared Spectroscopy of Five Blue Compact Dwarf Galaxies: II Zw 40, Mrk 71, Mrk 930, Mrk 996, and SBS 0335-052E // Astrophys.J.– 2011. – V.734, N 2. – ID 82, 17 pp.
19. Johnson, K. E.; Hunt, L. K.; Reines, A. E. Probing Star Formation at Low Metallicity: The Radio Emission of Super Star Clusters in SBS 0335-052 // Astron.J. – 2009. – V.137, N 4. – P.3788–3799.
20. Kauffmann G., Heckman T. M., Tremonti C. et al. The host galaxies of active galactic nuclei // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. – 2003. – V.346. – P. 1055 – 1077.
21. Kennicutt, R. The origin of the nonthermal radio emission in normal disk galaxies // Astron.Astrophys. – 1983. – V.120, N 2. – P.219–222.
22. Kennicutt R. C., Jr. Star Formation in Galaxies along the Hubble Sequence // Ann. Rev. Astron. Astrophys. – 1998. – V. 36. – P. 189 – 232.
23. Kimball A.E., Ivezic Z. A unified Catalog of Radio Objects Detected by NVSS, FIRST, WENSS, GB6 and SDSS // arXiv: 0806.0650v2. [astro-ph.CO] 16 Jan 2009.
24. Klein U., Weiland H., Brinks E. A radio-optical study of blue compact dwarf galaxies // Astron. Astrophys. – 1991. – V. 246. – P. 323 – 340.
25. Klein U., Wielebinski R., Thuan T.X. Radio continuum observations in blue compact dwarf galaxies // Astron. Astrophys. – 1984. – V. 141. – P.241–247.
26. Mobasher B., Cram L., Georgakakis A., Hopkins A. The 1.4-GHz and Hα luminosities functions and star formation rates from faint radio galaxies // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1999. – V. 308. – P. 45 – 53. #21
27. Parnovsky S.L., Izotova I.Yu. A technique for estimation of starburst masses and ages in luminous compact galaxies // Astrophysics and Space Science. – 2013. – V. 348. – P. 199–209.
28. Parnovsky S.L., Izotova I.Yu., Izotov Y.I. Hα and UV luminosities and star formation rates of large sample of luminous compact galaxies // Astrophysics and Space Science. – 2013. – N 343. – P. 361 – 376.
29. Sargsyan L.A., Weedman D.W. Star formation rates for starburst galaxies from ultraviolet, infrared and radio luminosities // Astrophys. J. – 2009. – V. 701. – P. 1398 – 1414.
30. Schmitt H.R., Calzetti D., Armus M., Giavalisco M. et al. Multiwavelength star formation indicators: observations // Astrophys. J. Suppl. Ser. – 2006. – V. 164. – P. 52 – 80.
31. Stasinska G., Leitherer C. HII galaxies versus photoionisation models for evolving starbursts // Astrophys. J. Suppl. – 1996. – V. 107, N 2. – P. 661– 692.

Надійшла до редколегії 25.06.14

С. Парновский, д-р физ.-мат. наук,
И. Изотова, канд. физ.-мат. наук
КНУ имени Тараса Шевченко, Киев

ТЕПЛОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КОМПАКТНЫХ ЭМИССИОННЫХ ГАЛАКТИК В РАДИОКОНТИНУУМЕ НА ЧАСТОТЕ 1.4 ГГЦ

На основе базы данных FIRST рассмотрено излучение в радиоконтинууме на частоте 1.4 ГГц выборки компактных галактик с активным звездообразованием. Показано, что скорости звездообразования галактик, оцененные по излучению в радиоконтинууме, варьируют в диапазоне 0.85 – 114 $M_{\odot}$ год$^{-1}$ (медиана 10,4 $M_{\odot}$ год$^{-1}$). Получено, что излучение галактик выборки в радиоконтинууме на частоте 1.4 ГГц является преимущественно нетепловым и среднее значение доли теплового (свободно-свободного) излучения ионизованного газа в общем радиоизлучении составляет 17 %.

Ключевые слова: тепловое излучение, галактика.

S. Parnovsky, Dr. Phys. and Math. Sciences, Prof.,
I. Izotova, Ph.D. in Phys. and Math. Sciences
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

EMISSION OF COMPACT STARBURST GALAXIES IN RADIO CONTINUUM AT 1.4 GHz

For the sample of compact starburst galaxies the emission in radio continuum at 1.4 GHz is considered based on the FIRST data. Star formation rates are derived from emission at 1.4 GHz in the range 0.85 – 114 $M_{\odot}$ yr^{-1} (with median 10.4 $M_{\odot}$ yr^{-1}). Relative fraction of galaxy thermal (free-free) emission in the total radio emission at 1.4 GHz is shown to have average 17 %.

Keywords: thermal radiation, galaxy.