

УДК 524.8

В. Кондратьев, канд. физ.-мат. наук
КНУ имени Тараса Шевченко, Киев,
Ю. Коровина, доц.
МИОО, Москва, Россия

МПГ-ВСПЛЕСКИ КАК МАГНИТОЭМИССИЯ КОРЫ МАГНИТАРОВ ЮНОГО ВОЗРАСТА

Мягкие повторяющиеся гамма(МПГ)-всплески рассмотрены как магнитоэмиссия коры магнитаров (ультранамагнитных нейтронных звезд). Показано, что все наблюдения подобных всплесков можно описать и систематизировать в модели беспорядочно перескакивающих взаимодействующих моментов, включающей квантовые флуктуации и межядерное взаимодействие в неоднородной среде.

Ключевые слова: гамма-всплески, нейтронные звезды, магнитары.

1. Введение. Ультранамагнитные компактные астрофизические объекты (магнитары) позволяют достоверно интерпретировать активность источников мягких повторяющихся гамма-всплесков (МПГ или soft-gamma repeaters – SGR) и аномальных рентгеновских пульсаров (АП или anomalous X-ray pulsars – AXP), см. [1]. Одно из первых указаний на существование подобных объектов (магнитаров) связано с открытием 5 марта 1979 суперинтенсивного выброса гамма-лучей (гигантская вспышка) от SGR 0526-66 [2]. Продолжительный мониторинг подобных астрономических явлений в значительной степени подтверждает реалистичность концепции магнитаров например, МПГ квазипериодически, с интервалом в несколько лет, переживают активную фазу, излучая десятки гамма-всплесков продолжительностью 0,1 сек и интенсивностью $10^{38} - 10^{42}$ эрг, значительно превышающей предел Эдингтона, см., например, [1] и ссылки к ней. Наблюдаемые свойства мягких гамма-всплесков указывают [1,3,4] на значительный вклад высших мультипольностей магнитного поля, существенно превышающих соответствующие дипольные компоненты $H_{\text{dip}} \approx (4 - 8) \cdot 10^{14}$ Гс, определенные по замедлению периода вращения пульсаров. Существенное превышение напряженности поля по сравнению с типичными величинами для большинства пульсаров, т.е. *терагаусс* (ТГс), подтверждается недавними теоретическими исследованиями [3,4], указывающими на возможность появления значительно более намагнитенной астрофизической плазмы, возникающей, например, в результате динамо процессов и/или магниторотационной неустойчивости при взрывах сверхновых. Предполагая заметным вклад магнитного давления в баланс сил для коры сферически симметричной нейтронной звезды (НЗ), запишем

$$dB_n^2/dR \sim 8 \pi G M n(R)/R^2, \quad (1)$$

где константа гравитационного взаимодействия G , а масса звезды M внутри радиуса R соотносится с плотностью вещества $n(R)$ как $4 \pi R^2 n(R) = dM/dR$. Подставляя это соотношение в Ур. (1) и интегрируя по области коры НЗ, получаем для напряженности поля $B \sim 10^{15}$ TeraTesla $(M/M_\odot)(10 \text{ km}/R)^2$, где $M_\odot$ – масса Солнца. Таким образом, сила торроидальной компоненты поля может достигать десятков *терагесла* (ТТл), величин $H \sim 10^{13}$ Т. Заметим, что полученная величина напряженности поля согласуется с оценкой [3-5], исходя из энергии взрыва сверхновой. Такие поля (т.е. превышающие 10^{15} Гс) могут изменять структуру и свойства атомных ядер (см. [3-5] и ссылки к ней), что приводит к необходимости рассмотрения возможного влияния магнетизма на структуру, преобразование и трансмутацию нуклидов.

В настоящей работе рассмотрены особенности формирования магнитного отклика и магнитодинамики коры НЗ с применением термодинамического формализма в приближении метода среднего самосогласованного поля. Учет квантования пространственного движения приводит к значительным изменениям магнитной восприимчивости, вызывая скачкообразные разрывы в зависимости магнитных моментов ядер от напряженности поля. Такое ступенчатое поведение магнитного отклика в совокупности с ферромагнитным меж-ядерным взаимодействием вызывает резкое аномальное изменение намагнитенности в коре НЗ. Эти аномалии вызваны распространением лавин перескоков ядерных моментов с изменением магнитной индукции вызывают резкие выбросы энергии в магнитосферу и приводят к взрывной активности МПГ всплесков. Для описания таких шумов в магнитодинамике коры магнитаров развита модель беспорядочно перескакивающих взаимодействующих моментов (БПВМ), включающая квантовые флуктуации дискретных уровней, межядерное взаимодействие, беспорядок и энергию размагничивания [1]. В разд.1 описаны основные положения модели БПВМ, применительно к коре НЗ. Систематика наблюдений МПГ с использованием БПВМ представлена в разд. 2. Выводы в разд. 3.

2. Моделирование магнитодинамики коры НЗ. Модель беспорядочно перескакивающих взаимодействующих моментов (БПВМ) для численных моделирований магнитодинамики в коре НЗ уже описывалась в [1,6] и цитированной там литературе. Напомним, что при моделировании динамики размагничивания рядов ядер для магнитного момента атомных ядер используем очень общую формулу $m = \mu \sum_n v_n \theta(b - b_n) = I g m$ с нуклонным магнетонном μ для ядерной материи, спином I и g -фактором g ядер решетки, и ступенчатой функции $\theta(x)$, зависящей от локального магнитного поля b . Расположенные в ряд атомные ядра дают вклад в намагничивание $P = m/V_D$, определяемое также объемом V_D на одно ядро. Принимая $g=3$, для ядерной компоненты магнитной индукции получаем

$$P = 1.5 \text{ ТГс} / n / (10^{13} \text{ г/см}^3), \quad (2)$$

где плотность коры НЗ n .

Для случая сопоставимых размеров ядра V_n и занятого объема V_D ($n \sim 10^{13,5}$ г/см³) межядерное взаимодействие в системе проявляет, обычно, ферромагнитные свойства [1,6]. Учитывая магнитную связь силы J между ближайши-

ми соседними (пп) элементами, полный Гамильтониан H ряда атомных ядер в поле H может быть выражен следующим образом

$$H = -\sum_i m_i b_i \quad (3)$$

через взаимодействие магнитного момента m_i ядра с локальным полем $b_i = H(t) + J \sum_{j \in nn} P_j + h_i$. Здесь сумма пробегает по соседним элементам, и случайные поля h_i позволяют учесть неоднородность и беспорядок в форме дефектов, границ зерен, примесей, ведущих к случайной кристаллической анизотропии и меняющимся силам взаимодействия в суперкристаллической гетероструктуре. Укажем также на динамические компоненты h_i из-за неточности приближенного описания с пп взаимодействием. Центральная предельная теорема предлагает, таким образом, гауссово распределение для случайных полей, $W(h) = \exp\{-h^2/R^2\}/R\sqrt{\pi}$ с шириной R , называемой беспорядком [1,6].

3. Систематика наблюдений. Рассмотрим адиабатическое изменение во времени внешнего магнитного поля H . Когда локальное поле некоторого домена коры H3, т.е., элемента решетки, переходит величину *пересечения* b_n , момент изменяется ступенеобразно. Из-за ферромагнитного взаимодействия перескакивающий момент может вызвать перескок у некоторых из ближайших соседей, которые в свою очередь могут включить скачок момента некоторых из их соседей, и так далее, производя, таким образом, лавины размагничивания. Такие лавины приводят к разрывам на соответствующих кривых петли гистерезиса. При этом резкое изменение магнитной индукции приводит к эмиссии магнитной энергии, процесс аналогичный эффекту Баркхаузена (см., например, [1] и ссылки к ней). Выделенная магнитная энергия определяется объемом лавины $V_n \sim S$, где S обозначает число перескочивших спин-доменов. Учитывая Ур.(1), соответствующий выход энергии

$$E = H \square P V_n = 10^{41} \text{ эрг } (H / \text{ТТл}) (\square I n / 10^{13} \text{ г/см}^3) (V_n / 10^6 \text{ м}^3). \quad (4)$$

Для напряженности поля $H \sim 3 \text{ ТТл}$, типичной для коры магнетаров, плотности $n \sim 10^{13.5} \text{ г/см}^3$, и линейному размеру лавины порядка толщины внешней коры H3, 100 м, ($V_n \sim 10^6 \text{ м}^3$) полученная величина энергии согласуется с энергией мягких гамма-всплесков, см. выше.

В дальнейшем, ограничимся случаем единственного скачка в изменении момента ядер, учитывая значительный интервал поля между сингулярными аномалиями в отклике. Для уменьшения статистической ошибки рассмотрим кумулятивные распределения размеров $D(S)$, пропорциональные числу лавин с числом перескочивших элементов системы, превышающих S . Кумулятивное распределение размеров лавин для окрестности критической точки сравнивается на Рис. 1 с кумулятивным распределением энергии всплесков, т.е. всплеск числа всплесков с интенсивностью, превышающей определенное значение. Приведенные данные наблюдений различными миссиями хорошо согласуются с расчетами, при учете масштабного фактора высвобожденной энергии Ур. (4), различной удаленности и изотропных выбросов из источников, см. [1]. Полученная зависимость числа событий достоверно описывается степенным законом с показателем 0,67, соответствующим значению 1,67 для дифференциального распределения. Такое свойство обеспечивает сигнал самоорганизации критичности в статистике всплесков.

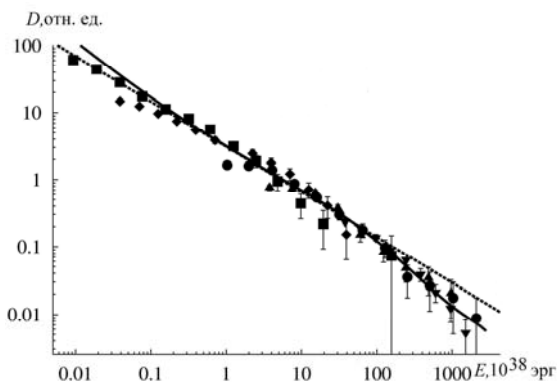


Рис.1. Нормированные кумулятивные распределения интенсивности МПГ всплесков в произвольных (отн) единицах. Результаты наблюдений RXTE и BATSE для SGR 1900 14 из [7] показаны квадратами и кружками, соответственно. RXTE (ромбы), BATSE (обратные-треугольники) и ICE (прямые-треугольники) представляют данные для SGR 1806-20 взяты из [8]. Сплошная линия представляет распределение размеров лавин из БПВМ модели для кубической решетки размером 1503. Пунктирная линия обозначает распределение по степенному закону

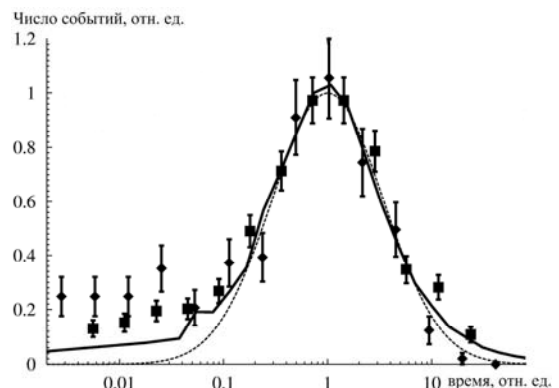


Рис.2. Распределения приведенного времени ожидания между последовательными МПГ всплесками для RXTE_PCA данных для SGR 1900 14 (квадраты) [7] и SGR 1806-20 (ромбы) [8] показаны в сравнении с распределением времени ожидания между лавинами (сплошная кривая). Пунктирная линия изображает лог-нормальное распределение

Как видно на Рис.2 для различных МПГ распределение приведенного времени ожидания, т.е. времени, деленного на соответствующую величину максимума, отображается универсальной функцией. Данные наблюдений хорошо воспроизводятся моделированием БПВМ и описываются в непосредственной близости от максимума лог-нормальной функцией распределения. Такое свойство указывает на единую шкалу времени для процессов включения МПГ-всплесков. В модели БПВМ такой масштаб времени определяется соотношением параметра беспорядка R и скорости изменения поля. Таким образом, масштабирование с соответствующим временем приводит к универсальной функции.

4. Выводы. Мягкие повторяющиеся гамма-всплески рассмотрены как результат их выхода магнитной энергии, запасающей 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-Prts, 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. / МАГНИЧЕСКИЕ 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. Кондратьев, канд. фіз.-мат. наук
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ,
Ю. Коровіна, доц.
МІОЕ, Москва, Росія

МПГ-СПЛЕСКИ ЯК МАГНІТОЕМІСІЯ КОРИ МАГНІТАРІВ ЮНОГО ВІКУ

М'які повторювані гамма (МПГ)-сплески розглянуті як магнітоемісія кори магнітарів (ультранамagnetизованих нейтронних зірок). Показано, що всі спостереження подібних сплесків можна описати і систематизувати в моделі безладно перестрибаючих взаємодіючих моментів, що включає квантові флуктуації і межядерну 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,
Yu. 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 даних 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 $0.85 - 114 M_{\odot} \text{ рік}^{-1}$ (медіана $10.4 M_{\odot} \text{ рік}^{-1}$). 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 $M_{\star} \sim 10^{8.5} - 10^{10} M_{\odot}$; висока швидкість зореутворення та питома швидкість зореутворення – $SFR \sim 10 M_{\odot} \text{ рік}^{-1}$ та $SSFR \sim 10^{-8} \text{ рік}^{-1}$, 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 H β , які свідчать про "молодий" спалах зореутворення у галактиці. В [17] було показано, що 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 III 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].