



УДК 524.7

Динаміка системи подвійних чорних дір в квазарі OJ287

А.В. Богдан, Б.І. Гнатик

Астрономічна обсерваторія Київського національного університету імені Тараса Шевченка

В роботі проведено моделювання кривої блиску квазара OJ287 в рамках моделі еволюції подвійної системи чорних дір, в якій проходження легшої чорної діри через акреційний диск більш масивної чорної діри викликає спалах випромінювання в оптичному діапазоні. Співставлення розрахованих та спостережуваних моментів спалахів дозволило встановити параметри системи, розрахувати її подальшу еволюцію та, зокрема, оцінити характеристики гравітаційного випромінювання.

ДИНАМИКА СИСТЕМЫ ДВОЙНЫХ ЧЕРНЫХ ДЫР В КВАЗАРЕ OJ287, Богдан А.В., Гнатик Б.И. — В работе проведено моделирование кривой блеска квазара OJ287 в рамках модели эволюции двойной системы черных дыр, в которой прохождение более легкой черной дыры сквозь аккреционный диск более массивной черной дыры вызывает вспышку излучения в оптическом диапазоне. Сопоставление рассчитанных и наблюдаемых моментов вспышек позволили установить параметры системы, рассчитать ее дальнейшую эволюцию и, в частности, оценить характеристики гравитационного излучения.

DYNAMICS OF THE BINARY BLACK HOLE SYSTEM IN QUASAR OJ287, by Bogdan A.V., Hnatyk B.I. — In our paper a simulation of light curve of quasar OJ287 is carried out. We consider the evolution of a binary black hole system, in which the passage of a less massive component through the accretion disk of a more massive component creates a flash of radiation in the optical range. The comparison of calculated and observed moments of outbursts allows to estimate the parameters of the system, calculate its further evolution, and in particular to predict the characteristics of gravitational radiation.

Ключевые слова: эволюция двойных систем черных дыр; вспышки излучения в двойных системах.

Key words: evolution of binary black hole systems; burst of radiation in double systems.

1. ВСТУП

У наш час дуже актуальною проблемою залишається тестування різних теорій гравітації. Основними об'єктами для подібних тестів є позагалактичні об'єкти, такі як подвійні пульсари, квазари або чорні діри. Квазар OJ287 є гарним кандидатом на цю роль, так як імовірно він є подвійний чорною дірою з періодом обертання 12 років. Як і для випадку з подвійними, пульсарами гравітаційні ефекти в подібних системах значно сильніші, ніж в Сонячній системі. Гравітаційне випромінювання від такої подвійної системи можна порівняти з її ж електромагнітним випромінюванням і воно більш ніж на 10 порядків перевищує гравітаційне випромінювання відомих на даний момент подвійних пульсарів. Наявні довгі ряди оптичних спостережень квазара OJ287 із різко вираженими квазіперіодичними спалахами дозволяють відновити параметри системи подвійних чорних дір та оцінити гравітаційне випромінювання квазара.

2. ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ КВАЗАРА OJ287 ЯК СИСТЕМИ ДВОХ ЧОРНИХ ДІР

OJ287 — це квазар з червоним зміщенням $z=0.306$ [7] і з періодичним сильними подвійними спалахами з періодом приблизно 12 років (рис. 1). Подібні регулярні спалахи досі не спостерігалися в жодного квазара.

Криву блиску OJ287 прийнято інтерпретувати в рамках моделі подвійної чорної діри, в якій маломасивний компонент періодично проходить через акреційний диск масивнішого компонента, викликаючи спалахи випромінювання в оптичному діапазоні. При цьому важливо використати результати дослідження динаміки подвійних систем в ЗТО з максимально можливою точністю. Досі ця задача розв'язувалась за допомогою пост-ньютонівської апроксимації другого порядку [5], ще приймався до уваги один член, який відповідає гравітаційному випромінюванню, та спін-орбітальна взаємодія. Ми використаємо краще наближення, отримане нещодавно в [7], яке враховує пост-ньютонівську апроксимацію до третього порядку з додаванням двох членів, які відповідають за гравітаційне випромінювання, та приймається до уваги спін-орбітальна взаємодія:

$$\ddot{x} = a_N + a_{1PN} + a_{2PN} + a_{2.5PN} + a_{3PN} + a_{3.5PN} + a_{SO}.$$

Для визначення оптимальних параметрів системи використовується найбільш повний набір даних спостереження [1–5].

Таблиця 1. Порівняння даних спостереження з розрахунковими датами спалахів

Розрахований час спалахів, рік	Спостережуваний час спалахів, рік	Різниця, доба
1913.039	1912.970	25.2
1922.408	–	–
1923.702	–	–
1934.253	–	–
1935.324	–	–
1945.724	–	–
1947.204	1947.282	28.4
1955.857	–	–
1959.150	1959.190	14.6
1963.698	–	–
1971.098	1971.070	10.4
1972.962	1972.940	8.0
1982.996	1982.964	11.8
1984.126	1984.130	1.4
1994.779	1994.863	25.8
1995.863	1995.841	8.0
2005.812	2005.740	29.8
2007.753	2007.692	22.4
2014.939	–	–
2019.678	–	–

Була розрахована орбіта малого компонента подвійної системи, при якій різниця між розрахунковими датами спалахів, які виникають при проходженні малого компонента системи через акреційний диск центральної чорної діри, із спостережуваними датами спалахів не перевищує 30 діб (див. табл. 1). Похибку в 30 днів можна пояснити складністю визначення максимуму спалаху, так як спалах часто не має яскраво вираженого максимуму. Так само на даний момент не проводилось врахування ефекту затримки сигналу в гравітаційному полі чорної діри, який може досягати величини в кілька десятків днів.

Отримано параметри системи:

$$\begin{aligned}
 m_1 &= (1.84 \pm 0.01) \cdot 10^{10} M_{\odot} & R_{1Sh} &= 352.5 \text{ a.o.} & \chi_1 &= 0.3 \pm 0.2 \\
 m_2 &= (1.5 \pm 0.1) \cdot 10^8 M_{\odot} & R_{2Sh} &= 2.9 \text{ a.o.} & \chi_2 &= 0 \\
 a &= (30.4 \pm 0.2) R_{Sh} & e &= 0.7 \pm 0.01 & \Delta\phi &= 39.1^\circ \pm 0.2^\circ
 \end{aligned}$$

З наших розрахунків ми отримали, що наступні спалахи інтенсивності квазара OJ287 варто очікувати в 2014.939 і 2019.678 роках.

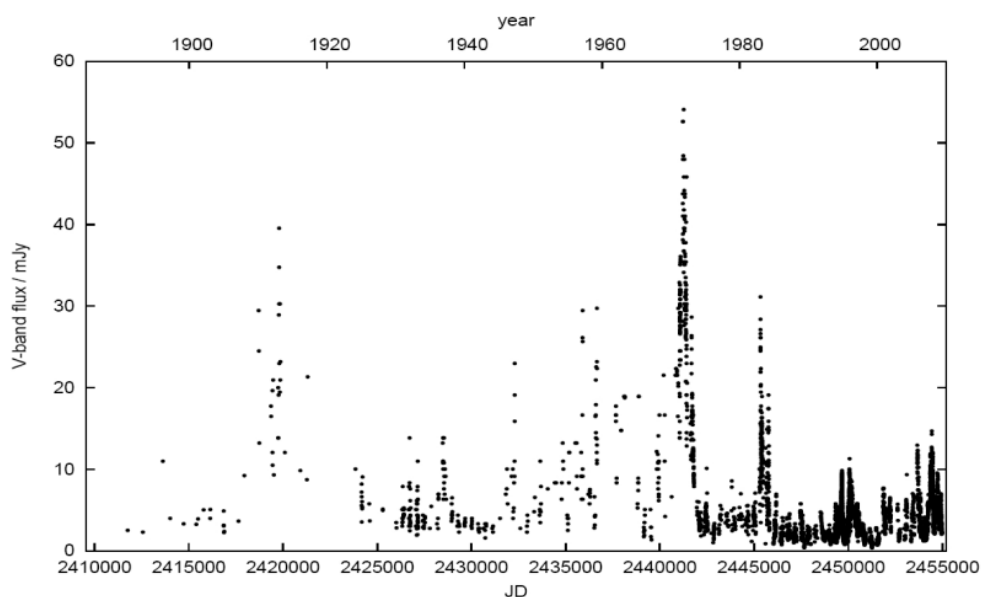


Рис. 1. Зміна потоку від квазара OJ287 з кінця 19-го століття до наших днів

3. ПОТУЖНІСТЬ ГРАВІТАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПОДВІЙНОЇ СИСТЕМИ ЧОРНИХ ДІР

Порівнюємо потужність гравітаційного випромінювання для трьох різних способів розрахунку: розрахунок за формулою, отриманою з теорії Ейнштейна [6], для пост-ньютонівського наближення, що враховує тільки один дисипативний член $a^{(2.5PN)}$, та для пост-ньютонівського наближення, що враховує обидва дисипативних члени $a^{(2.5PN)}$ та $a^{(3.5PN)}$.

Einstein theory	$4.75 \cdot 10^{41}$ Вт
$a^{(2.5PN)}$	$5.82 \cdot 10^{41}$ Вт
$a^{(2.5PN)} + a^{(3.5PN)}$	$2.46 \cdot 10^{41}$ Вт

Другий дисипативний член $a^{(3.5PN)}$ впливає сильний чином на гравітаційне випромінювання в нашій системі: потужність гравітаційного випромінювання при використанні тільки члена $a^{(2.5PN)}$ виявляється більш ніж в 2 рази більше ніж потужність гравітаційного випромінювання при використанні обох членів $a^{(2.5PN)}$ і $a^{(3.5PN)}$ відповідальних за дисипацію в подвійній системі. Це говорить про те, що в нашій задачі необхідно використовувати обидва дисипативних члени $a^{(2.5PN)}$ і $a^{(3.5PN)}$ для розрахунку орбітального руху.

1. Sillanpaa A., Haarala S., Valtonen M.J., Sundelius B., Byrd G.G. // *Astrophysical Journal*. — 1998. — **325**. — P.628.
2. Lehto H. J., Valtonen M. J. // *Astrophysical Journal*. — 1996. — **460**. — P.207.
3. Valtonen M.J., Lehto H.J., Sillanpaa A., Nilsson K., Mikkola S., Hudec R., Basta M., Terasranta H., Haque S., Rampadarath H. // *Astrophysical Journal*. — 2006. — **646**. — P.36.
4. Valtonen M.J. // *Astrophysical Journal*. — 2007. — **659**. — P.1074.
5. Valtonen M.J., Nilsson K., Villforth C., Lehto H.J., Takalo L.O., Lindfors E., Sillanpaa A., Hentunen V., Mikkola S., Zola S., Drozd M., Koziel D. // *Astrophysical Journal*. — 2009. — **698**. — P.781.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: Учеб. пособ.: Для вузов. В 10 т. Т.II. Теория поля. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
7. Inspiral of Generic Black Hole Binaries: Spin, Precession, and Eccentricity. Janna Levin and Hugo Contreras // arXiv:1009.2533v1[gr-qc]

Надійшла до редакції 1.08.2011