СПЕКТРАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ β ЛІРИ В РЕТРОСПЕКТИВІ І ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ

М. Ю. Скульський[1], **Є. С. Кос**[2]

© 2009

[1] *Національний Університет "Львівська Політехніка"*
м. Львів, вул. С. Бандери, 12
e-mail: mysky@polynet.lviv.ua

[2] *Львівський національний університет ім. Івана Франка*
м. Львів, вул. Кирила і Мефодія, 8
e-mail: kocmock43@gmail.com

Коротко приводяться найбільш значущі результати спостережень і досліджень взаємодіючої системи β Ліри. Акцентовано, що введення в дію потужніших телескопів та задіяння якісно нової апаратури дозволяло вирішувати найважливіші проблемні питання, приймаючи нові виклики цієї загадкової подвійної системи. Зокрема, це стосується даних спектроскопії від вирішення задавненої задачі визначення мас компонентів тісної подвійної до відкриття і дослідження магнітного поля на донорі. Особлива увага приділена новому явищу – вторинним періодам, перш за все 283-денному неорбітальному періоду. Наголошено, що з цим періодом може відбуватися синхронізація між прецесійним обертанням диску акретора, збуреному донором, і біжучою припливною хвилею на поверхні донора, викликаною акретором. Водночас спостережувані вторинні 283- і 340-денні періоди можуть відображати масштабну підструктуру зовнішнього диску акретора. Розглядаються перспективні напрямки у подальшому вивченні взаємодіючої системи β Ліри.

ВСТУП. ФОТОМЕТРІЯ

Ряд наукових публікацій про взаємодіючу подвійну систему β Ліри продовжує залишатись одним із найдовших серед досліджуваних об'єктів зоряного неба, демонструючи невгасимий інтерес до її фізичної природи. Починаючи зі спостережень в 1780-х роках Д. Гудрайка [1], які започаткували відому двогорбу "криву блиску типу β Ліри", орбітальний період системи безперервно зростає, і з тих пір збільшився на 0.05 доби (її ефемериди містять квадратичний член). Це пояснюється активним переносом речовини поміж компонентами системи (приблизно $2\,M_{\odot}$ за 100 000 років) із утворенням спостережуваних навколо них розвинених газових структур, зокрема газових потоків, акреційного диску, загальної оболонки. Завдяки ідеї густого масивного диску, що маскує від спостерігача вторинний за світністю, але масивніший компонент-акретор, врешті ця крива блиску була пояснена рядом численних моделювань як її, так і газових структур. Однак позаатмосферні спостереження [2] показали, що за лайманівською границею крива блиску стає одногорбою, тобто подвійна система є мовби аналогом одиночної зорі-ротатора. Цікавим є результат досліджень відхилень від кривих блиску β Ліри. Із усереднених кривих блиску, отриманих за півтори сотні років, включаючи візуальні та фотоелектричні спостереження, виявлено вторинні неорбітальні періоди [3], найбільш достовірний із яких тривалістю в $283.39^d \pm 0.26^d$ проявляється в кривих блиску за весь час спостережень. Використовуючи лише спостереження останніх 36 років [4], значення цього періоду отримане із ще більшою точністю – $282.425^d \pm 0.070^d$. У зв'язку із виявленням періодів меншої тривалості за орбітальний із спектральних спостережень та свідчень про резонансні ефекти поміж всіма вторинними періодами [5, 6], необхідні подальші систематичні спостереження β Ліри.

СПЕКТР І МАСИ КОМПОНЕНТІВ

Драматична понад сторічна історія спектральних досліджень β Ліри. Перш за все це стосується визначення мас компонентів подвійної системи. Перші параметри орбіти і маси компонентів із спектральних спостережень визначені в 1890-ті роки А. Бєлопольським [7], за якими невидимий у спектральних лініях поглинання компонент було оцінено більш масивним за емісійними лініями газових структур, наявних у системі. Така ситуація тривала майже пів століття. Однак більш популярна модель β Ліри була започаткована роботою О. Струве [8], в якій вже досить детально було вивчено спектр системи.

Однак, за пануючою на той час теорією еволюції подвійних систем яскравіший компонент вважався і більш масивним, тому при великій функції мас, загальна маса подвійної системи оцінювалась в межах 100 $M_\odot$. Лінії-супутники, спостережувані у спектрі подвійної зорі тільки поблизу фаз головного мінімуму кривої блиску, інтерпретувались в цій моделі як такі, що формуються у газовому потоці. Він спрямовується від яскравішого компонента через внутрішню точку Лагранжа і, обійшовши навкруги невидимого компаньйона, повертається назад до яскравого компонента. Невирішеним залишалось пряме визначення мас компонентів безпосередньо із спектру (лінії поглинання вторинного за світністю компонента не були ідентифіковані ще у 1960-ті [9]), хоч у зв'язку із зміною уявлень про еволюцію подвійних систем [10], стало ясно, що вторинний компонент мав би бути більш масивним, і тому були вкрай необхідні ретельні пошуки його ознак у спектрі системи. Не виключалося, наприклад, що замаскований диском і газовими потоками акретор може існувати як чорна діра. В 1975 році на основі спектрограм з високою дисперсією вперше були виявлені [11] неглибокі і широкі лінії кальцію, магнію і червоного дублету кремнію, які відображають орбітальний рух невидимого вторинного компонента. Однак більш надійно відношення мас у 0.222 та маси в 2.9 і 13 $M_\odot$ відповідно для яскравого донора класу B8 III і закамуфльованого диском акретора було визначено лише із кількарічних ПЗЗ-спостережень на 2.6-м телескопі Кримської астрофізичної обсерваторії [12]. Перші незалежні за методом недавні прямі позиційні спостереження β Ліри [13] дали такі значення мас компонентів: 2.83 ± 0.18 та 12.76 ± 0.27 $M_\odot$. Із визначення мас компонентів стало ясно, що взаємодіюча подвійна система β Ліри знаходиться на еволюційній стадії закінчення первинного переносу речовини поміж компонентами.

СТРУКТУРА АКРЕЦІЙНОГО ДИСКУ

ПЗЗ-спостереження β Ліри в Кримській астрофізичній обсерваторії дозволили також більш грунтовно вивчити лінії-супутники, які проявляються у спектрі системи лише у фазах біля головного мінімуму кривої блиску, тобто коли акретор разом з його диском проектується на яскравіший донор [12, 14]. Дослідження змін променевих швидкостей та інтенсивностей спектральних ліній та їх ліній-супутників з орбітальними фазами показало, що газові утворення навколо акретора можна розділити на дві складові: масивний та густий балдж, який камуфлює акретор, відображаючи його орбітальний рух у спектральних лініях поглинання, і зовнішній акреційний диск, який простягається від балджа майже до границь порожнини Роша і проявляться в лініях-супутниках. Променеві швидкості у балджі у 5–6 разів менші за такі у зовнішньому диску. Саме зовнішній акреційний диск чітко демонструє ротаційний ефект у променевих швидкостях ліній-супутників. Змінюючи свої параметри від сезону до сезону, зовнішній диск показує явні ознаки еліпсоїдальності і прецесійного обертання навкруги акретора. Температура збудження і швидкість обертання речовини в диску у напрямку до центра збільшуються, а променеві швидкості на зовнішньому і внутрішньому краях акреційного диску такі, що відповідні їм періоди обертання речовини на цих краях в одиницях орбітального періоду відносяться як $0.5P : 0.25P = 2:1$ (октава). Зовнішній і внутрішній радіуси цього диску рівні відповідно $0.45A$ і $0.29A$, де A – відстань між центрами зір-компонентів (радіус порожнини Роша для акретора становить $0.51A$). Виявилось, що в межах цього акреційного диску можливі підструктури, дослідження яких, у зв'язку із складними умовами спостережень в околицях головного мінімуму кривої блиску, коли відбуваються швидкі зміни всіх фотометричних і фізичних параметрів, потребують детальних кооперативних спостережень на телескопах, рознесених по широті Землі. Це тим більш важливо, оскільки сучасне газодинамічне моделювання навколозоряних газових структур для β Ліри не дає однозначних результатів [15].

МАГНІТНЕ ПОЛЕ В СИСТЕМІ β ЛІРИ

Відкриття і вивчення магнітного поля донора у цій взаємодіючій системі проведено на основі сотень спектрограм, отриманих в 1980–1988 рр. на 6-м телескопі Спеціальної астрофізичної обсерваторії [16, 17]. Магнітне поле із середнім значенням напруженості в 1.2 кГс представлено кривою з амплітудою в 475 Гс і з максимумами поля у фазах $0.355P$ і $0.855P$ орбітального періоду. Локалізуючи у цих фазах полюси магнітного поля на поверхні донора, поле можна вважати дипольним. Незвичність в тому, що в якості магнітного ротатора вперше виявлений компонент-донор подвійної системи, при цьому він є гігантом B-типу. Виявилось також, що магнітне поле донора відслідковується в навколозоряних газових структурах як в областях, близьких до поверхні донора, так і в оболонці, яка розширюється [17, 18]. В 1991–1995 і 2000–2005 рр. були виконані спостереження магнітного поля β Ліри і вивчення його змінності на 2.6-м телескопі Кримської астрофізичної обсерваторії з використанням стоксметра і ПЗЗ-детектора як у лініях червоного дублету кремнію, так і в синій ділянці спектру [19]. Поле виявилось значно меншої амплітуди і більш складного характеру змінності як впродовж певного орбітального періоду, так і в більш тривалому часі. Не можна однозначно було сказати, чи магнітне поле міняється синхронно до фаз орбітального періоду. Спостереження 1999 року в Катанській астрофізичній обсерваторії (Італія) [20] виявили поле додатної полярності з середнім значенням за орбітальний період в 1.3 кГс. Масштаб довготривалої складової зміни поля за півтора десятка років сягнув 2.5 кГс. Це може свідчити про динамо-механізм виникнення і підтримки поля. Більше того, не виключено, що значно потужніше магнітне поле генерується в диску акретора та індукується на донорі. Не дивлячись на наявність значного спостережного матеріалу, закономірності і фізична природа добової чи короткотривалої та вікової чи довготривалої змінності магнітного поля не встановлена. Потрібні систематичні моніторингові спостереження магнітного поля, включаючи кооперативні, на рознесених по широті Землі телескопах із відповідною апаратурою.

ВТОРИННА ПЕРІОДИЧНІСТЬ І РИТМИ В СИСТЕМІ β ЛІРИ

Дані про запідозрені вікові періодичності від декількох до десятка років публікувались неодноразово. Діапазони явно встановлених змін фізичних параметрів в подвійній системі різні: від десятка секунд [21], 1.85 доби [22] і 4.74 доби [4] за потоком випромінювання в лінії H_α аж до 283 діб на підставі досліджень кривих блиску [3, 4]. Було показано можливість резонансного підсилення 1.85-денних коливань на донорі при взаємодії нерадіальних коливань донора з його припливною хвилею [23]. Звернено увагу [4] на те, що періоди орбітальний $P = 12.9355^d$, довготривалий $T = 282.425^d$ та короткий, тривалістю в 4.7466^d, утворюють між собою просте резонансне співвідношення. Було помічено [5, 7], що найкоротший із цих періодів співпадає за фазою орбітального періоду і одним із полюсів магнітного поля донора, що врешті привело до виявлення осьового обертання донора тривалістю 13.2387^d, тобто на 2.3 відсотки більшого за орбітальний. Через такий асинхронізм період $T = 282.425^d$ може проявлятися як припливна хвиля на поверхні донора, тобто як перша гармоніка фундаментального періоду тривалістю в 564.85^d. Останній виникає в результаті биття орбітального періоду з періодом осьового обертання донора. Більше того, є деяке сімейство періодів тривалістю як меншою, так і більшою за орбітальний період, які пов'язані поміж собою в резонансних співвідношеннях. Було показано також [6], що спостережуваний період $T = 282.425^d$ рівний за величиною до періоду прецесійного обертання зовнішнього акреційного диску, який охоплює акретор. Отже, період прецесійного обертання диску акретора, збуреного донором, засинхронізований із періодом біжучої припливної хвилі по поверхні донора, що викликана гравітаційною дією акретора. Важливо, що в деякі десятиліття спостережень β Ліри, крім завжди видимого 283-денного періоду, в її кривих блиску одночасно проявляється 340-денний вторинний період, причому останній на частотному спектрі потужніший за перший [24]. Було показано [6], що спостережувані вторинні 283- і 340-денні періоди можуть відображати масштабну підструктуру диску акретора. Це вказує на те, що всередині зовнішнього акреційного диску можливі підструктурні складові (проявлення яких в кривих блиску залежить від темпу переносу речовини) з періодами прецесійного обертання у відношеннях $(564.8 : 423.6 : 339.0 : 282.4)^d$, тобто простих чисел $6 : 5 : 4 : 3$. Отже, цей диск не є суцільним і час від часу переструктуровується. Але це теж потребує підтвердження на основі подальших більш детальних спостережень.

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ У ВИВЧЕННІ ПОДВІЙНОЇ СИСТЕМИ β ЛІРИ

На даний момент основними завданнями вивчення системи β Ліри є:

1. Систематичні виміри магнітного поля у цій системі, а саме, в лініях атмосфери яскравого донора на предмет детального вивчення поля і його змінності, пошуків періодів різної тривалості. Зокрема, тривалий моніторинг магнітного поля з метою вивчення питання про реальність довготривалих змін знаку полярності магнітного поля, його зв'язок, наприклад, з прецесійним обертанням диску акретора і т. п.
2. Детальне вивчення спектральних ліній з високим розділенням у видимому діапазоні спектру з метою вивчення різних фізичних процесів як на донорі , які корелюють, зокрема, із змінністю магнітного поля, так і відображають прецесійне обертання акреційного диску.
3. Проведення позаатмосферних фотометричних і спектральних спостережень з високою роздільною здатністю у далекій ультрафіолетовій області, за і перед лайманівською границею як з метою вивчення змінності фізичних параметрів подвійної системи, так і в зв'язку із вивченням структури магнітного поля і його впливу на магнітосферу донора і подвійної системи в цілому.
4. Систематичний моніторинг блиску системи β Ліри від ультрафіолетової до інфрачервоної областей її спектру з метою детальнішого вивчення феномену вторинної мультиперіодичності як на часах менших, так і більших від орбітального періоду.

Такі і близькі до них задачі можуть бути вирішені в основному при організації кооперативних спостережень на кількох обсерваторіях, розташованих вздовж земної широти, з достатньою кількістю зацікавлених дослідників. Це вимога специфіки спостережень β Ліри (велика яскравість, довгий і практично кратний добі орбітальний період). Вивчення системи β Ліри, що за публікаціями є одним із найбільш досліджуваних об'єктів у астрофізиці, і є тепер прикладом того, як її детальне дослідження може привести до кращого розуміння як її природи, так і природи масивних взаємодіючих систем, які знаходяться на фінальній стадії первинного переносу маси, тобто до моменту можливого колапсу одного із компонентів.

[1] *Goodricke J.* Observation of a new variable star // Phil. Trans. Roy Soc. of London. – 1785. – 75. –P. 153–164.

[2] *Polidan R. S.* 500–3200 Å observations of the interacting binary stars V336 Sgr and β Lyr // Space Sci. Rev. – 1989. – **26**. – P. 85–94.

[3] *van Hamme W., Wilson R. E., Guinan E. F.* Periodic light curve changes for Beta Lyrae // Astron. J. – 1995. – **110**. – P. 1350–1363.

[4] *Harmanec P., Morand F., Bonneau D., et al.* Jet-lake structures in β Lyrae. Results of optical interferometry, spectroscopy and photometry // Astron. and Astrophys. – 1996. – **312**. – P. 879–896.

[5] *Skulsky M. Yu.* The system of secondary periodicities and resonances based on β Lyrae magnetic field // Odessa Astron. Publ. – 2001. – **14**. – P. 227–231.

[6] *Skulsky M. Yu.* Magnetic field and secondary rhythms in the Beta Lyrae system // Physics of magnetic stars: Proc. Intern. Conf. / Eds D. O. Kudryavtsev and I. I. Romanyuk. – Nirgnij Arkhyz, 2007. – P. 223–229.

[7] *Belopolsky A.* New investigations of the spectrum of Beta Lyrae // Astrophys. J. – 1897. – **6**. – P. 328–337.

[8] *Struve O.* The spectrum of β Lyrae // Astrophys. J. – 1941. – **93**. – P. 104–117.

[9] *Sahade J.* On the system of β Lyrae // Trans. Inter. Astron. Union. – 1964. – **12B**. – P. 494–501.

[10] *Crawford J. A.* On the subgiant components of eclipsing binary systems // Astrophys. J. – 1955. – 121. – P. 71–76.

[11] *Скульский М. Ю.* Количественный анализ спектра β Лиры. IV. Отождествление линий слабого компонента и массы звезд тесной двойной // Астрон. журн. – 1975. – **52**. – С. 510–521.

[12] *Скульский М. Ю.* Изучение спектров β Lyr. Линии поглощения, параметры орбиты и дисковая структура gainer'a // Письма в Астрон. журн. – 1992. – **18**. – С. 711–726.

[13] *Zhao M., Dies D., Monnier J. D., et al.* First resolved images of the eclipsing and interacting binary β Lyrae // Astrophys. J. – 2008. – **684**, N 2. – P. L95–L98.

[14] *Скульский М. Ю.* Изучение спектров β Lyr. Характеристики дублета Si II 6347, 6371 в 1992 г. и их переменность от сезона к сезону // Письма в Астрон. журн. – 1993. – **19**. – С. 417–435.

[15] *Bisikalo D. V., Harmanec P., Boyarchuk A. A., et al.* Circumstellar structures in the eclipsing binary β Lyr A. Gasdynamical modelling confronted with observations // Astron. and Astrophys. – 2000. – **353**. – P. 1009–1015.

[16] *Скульский М. Ю.* β Лиры – магнитная двойная звезда // Письма в Астрон. журн. – 1982. – **8**. – С. 238–241.

[17] *Бурнашев В. И., Скульский М. Ю.* H-фотометрия и магнитное поле β Лиры // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. – 1991. – **83**. – С. 108–118.

[18] *Скульский М. Ю.* Изучение спектров β Lyr. Перенос вещества и околозвездные структуры в присутствии магнитного поля loser'a // Письма в Астрон. журн. – 1993. – **19**. – С. 116–133.

[19] *Скульский М. Ю., Плачинда С. И.* Изучение магнитного поля яркого компонента β Lyr в линиях Si II 6347, 6371 по зеемановским спектрограммам // Письма в Астрон. журн. – 1993. – **19**. – С. 517–527.

[20] *Leone F., Plachinda S. I., Umaha G., et al.* The magnetic field of β Lyrae system: orbital or long time-scale variability // Astron. and Astrophys. – 2003. – **405**. – P. 223–226.

[21] *Алексеев Г. Н., Скульский М. Ю.* О быстрой переменности спектра β Лиры в области H_α // Астрофиз. исследования. – 1989. – **28**. – С. 21–43.

[22] *Бурнашев В. И., Скульский М. Ю.* Квазипериодические изменения эмиссии H_α в системе β Лиры // Письма в Астрон. журн. – 1980. – **6**. – С. 587–591.

[23] *Косовичев А. Г., Скульский М. Ю.* Осцилляции и приливные резонансные явления в системе β Лиры // Письма в Астрон. журн. – 1990. – **16**. – С. 240–246.

[24] *Peel M.* The 340-d period in β Lyrae // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 1997. – **284**. – P. 148–150.