

Фотометрические эффекты в тесных двойных звездных системах, включающих рентгеновские источники

Ю.Н.Ефремов, Р.А.Сюняев, А.М.Черепашук

Звезды, входящие в тесные двойные системы с рентгеновскими источниками, позволяют наблюдать в "чистом" виде эффекты близости компонент — эффект отражения и эффект эллипсоидальности, поскольку оптическая светимость рентгеновского источника мала. Оба эти эффекта приводят к периодической переменности блеска системы. В случае эффекта отражения фотометрический период совпадает с орбитальным периодом системы P , в случае эллипсоидальности он в два раза меньше P . Периодичность изменения блеска, вызываемая этими эффектами, способствует идентификации рентгеновских источников с оптическими объектами. При эффекте отражения должны наблюдаться значительные изменения показателя цвета, особенно $U-B$, при эффекте эллипсоидальности, напротив, не должно наблюдаться значительных изменений показателей цвета, а амплитуда изменения блеска не должна превышать $0^m.3-0^m.5$.

В работе проведен поиск звезд типа $NZ\text{ Her}$ (Her X-1), у которых доминирует эффект отражения, точнее, эффект переработки рентгеновского излучения в оптическое в фотосфере видимой звезды. Из всех переменных звезд, входящих в Общий каталог переменных звезд были выбраны звезды по следующим признакам:

1. Период изменений блеска должен совпадать с орбитальным периодом, определяемым по спектральным линиям или по затмениям (если звезда — тесная двойная).

2. Изменения блеска должны сопровождаться изменениями цвета и спектрального класса звезды, а также появлением в некоторых фазах эмиссионных линий водорода, гелия и высокоионизованных элементов.

3. В минимуме блеска звезда должна быть достаточно позднего спектрального класса. В этом случае мала ее собственная светимость, и переизлучение рентгеновского излучения может существенно влиять на оптический блеск системы.

За исключением звезды $V1341\text{ Cyg}$, отождествленной с рентгеновским источником Cyg X-2 , ни одну из рассмотренных звезд нельзя с уверенностью отнести к типу $NZ\text{ Her}$. Список переменных звезд, каждая из которых по некоторым признакам может быть отнесена к типу $NZ\text{ Her}$, приведен в табл. 1. Эффекты типа $NZ\text{ Her}$, по-видимому, наблюдаются у звезды $V1341\text{ Cyg}$, отождествляемой с рентгеновским источ-

ником Cyg X-2. Возможно, что это тесная двойная система с малым наклоном орбиты $i \approx 10^\circ - 20^\circ$. Наблюдатель все время видит значительную часть горячего пятна, прогреваемого рентгеновским источником.

В системе 2U 1700-37 (HD 153919), по-видимому, наблюдается отражение рентгеновского излучения видимой звездой: рентгеновский источник-пульсар, направленное излучение которого не попадает на Землю, освещает видимую звезду.

Совокупность рентгеновских, инфракрасных и радионаблюдений Cyg X-3 можно объяснить предположив, что первичным источником рентгеновского и инфракрасного излучения является молодой пульсар типа пульсара в Крабовидной туманности. Вспышка сверхновой на расстоянии 13 кпс должна была остаться незамеченной из-за сильного межзвездного поглощения. Первичное излучение пульсара не попадает на Землю, наблюдается лишь отраженное рентгеновское и инфракрасное излучение.

Отмечается возможность поиска черных дыр и нейтронных звезд по эллипсоидальным изменениям блеска. В системах FK Com и b Per наблюдаются эллипсоидальные изменения блеска, а спектральные и фотометрические наблюдения не обнаруживают следов второго компонента.

В табл. 2 приведена сводка существующих данных о рентгеновских источниках в составе тесных двойных систем. Большинство рентгеновских источников наблюдается в системах, один из компонентов которых безусловно является ранним сверхгигантом с большой массой. Однако, системы Her X-1 и Cyg X-2 содержат маломассивные оптические звезды и не исключена их принадлежность к сферической составляющей. Весьма любопытно, что промежуточные случаи неизвестны.

The Photometric Effects in Close X-Ray Binary Systems by Yu.N. Efremov, R.A. Sunyaev, A.M. Cherepashchuk

The optical luminosity of X-ray component in close binary system being small, these systems permit to observe in clean form the reflection and ellipticity effects. Both effects lead to optical variability of the system with the period equal to orbital one (the reflection effect — HZ Her) or twice as small (the ellipticity effect — Cyg X-1). The reflection effect leads to considerable colour index variability (especially U-B) while the ellipticity effect does not connect with colour variation and can produce light variation with amplitude smaller than $0^m.3 - 0^m.5$.

The search for the stars of HZ Her type in GCVS-III and its 1-st Supplement gave no definit result. The reflection effect (or, more exactly, the transformation of X-rays into visual light in the photosphere of a star) is dominated in stars of that type. They must show the light, colour and spectral variation with a period equal to orbital one, the emission lines of H, He and highly ionized elements appearing at certain phases. The stars of this

type must have rather low luminosity and late spectral class so the reemission of X-ray into visible spectrum region may add considerably to the light of a system.

The stars whose variability may be connected to some degree with such an effect are listed in Table I. Most surely the HZ Her effect is observed in the case of Cyg X-2 = V1341 Cyg. Probably this is close binary system with small orbital inclination ($i \approx 10-20^\circ$). The hot spot heated by the X-ray source is turned to the observer all the time.

The reflection of the X-ray emission by the optical star is probably observed in system 2U 1700-37 = HD 153919. The beam of the X-rays pulsar is directed to the optical star but not to the observer.

The X-rays, infrared and radio variable emission of Cyg X-3 can be explained by suggestion that the primary source of X-ray and infrared emission is a young pulsar similar to that one in the Crab Nebula. The Supernova outburst at the distance of Cyg X-3 (about 13 kpc) was probably unobservable. The strongly beamed initial emission of the pulsar does not attain the observer and only reflected X-ray and infrared emission is observed.

The possibility of searching for black holes and neutron stars on the basis of the light variability connected with ellipsoidality is pointed out. Such variability without signs of secondary component is known for FK Com and *b* Per.

The majority of X-source in binary systems is connected with massive blue supergiants of extreme population I. Her X-1 and Cyg X-2 are old systems and probably relate to the Population II. The absence of systems of intermediate masses and ages is remarkable.

Some data on the X-ray source in binary systems are given in Table 2.

1. Введение. Наблюдения со спутника "Ухуру" привели к обнаружению 8 рентгеновских источников, достоверно входящих в состав тесных двойных звездных систем. Двойственность большинства из них доказывается наличием рентгеновских затмений. В то же время очевидно, что действительное число двойных рентгеновских источников намного больше восьми: лишь малая часть двойных систем имеет угол наклона орбиты, достаточный для появления рентгеновских затмений.

Звезды, входящие в тесные двойные системы с рентгеновскими источниками, наиболее благоприятны для наблюдения двух важнейших фотометрических эффектов — отражения и эллипсоидальности. Действительно, оптическое излучение самого рентгеновского источника должно быть экстремально мало, поэтому фотометрические эффекты близости компонент связаны лишь с одной компонентой и должны проявляться в чистом виде.

В первых же тесных двойных системах HZ Her и V1357 Cyg, идентифицированных с рентгеновскими источниками Her X-1 и Cyg X-1, была обнаружена переменность блеска. В случае HZ Her = Her X-1 эта переменность была интерпретирована как эффект отражения, в случае Cyg X-1 = V1357 Cyg — как результат эллипсоидальности видимой

компоненты. Позднее эллипсоидальность видимых компонент была обнаружена и у других идентифицированных с рентгеновскими источниками систем: SMC X-1 = Sanduleak 160, 2U 0900-40 = HD 77581, 2U 1700-37 = HD 153919, Cen X-3. В отличие от HZ Her = Her X-1, во всех этих системах светимость оптических компонент — звезд ранних спектральных классов В и О — намного превышает рентгеновскую светимость, поэтому эффекты отражения слабы.

Оба обсуждаемых эффекта периодические, но в случае эффекта отражения фотометрический период совпадает с орбитальным периодом системы Р, а в случае эллипсоидальности он в два раза меньше Р (см. рис. 1). При эффекте отражения должны наблюдаться значительные изменения показателя цвета, особенно U—В, при эффекте эллипсоидальности, напротив, не должно наблюдаться значительных изменений показателей цвета, а амплитуда изменений блеска не должна превышать $0.^m3-0.^m5$ (в видимой области спектра). Периодичность изменения блеска, вызываемая этими эффектами, способствует идентификации рентгеновских источников: в этом случае согласование периодов и фаз оптических и рентгеновских колебаний блеска доказывает правильность отождествления, даже если точность координат рентгеновского источника невысока.

Теория звездной эволюции предсказывает наличие в Галактике громадного числа (до 10^8-10^9) релятивистских объектов — нейтронных звезд и черных дыр, являющихся конечными продуктами эволюции звезд. Значительная часть этих объектов может входить в двойные звездные системы. Данные "Ухуру" доказали, что двойные системы вовсе не обязаны разрушаться при образовании релятивистских объектов.

II. Эффект отражения в системах, включающих рентгеновские источники.

1). Переменность типа HZ Her = Her X-1. Переменная звезда HZ Her входит в тесную пару с рентгеновским источником Her X-1 (Лиллер, 1972; Курочкин, 1972; Бакал и Бакал, 1972). Наблюдения показали, что главной причиной оптической переменности HZ Her является рентгеновский источник: сторона оптической звезды, обращенная к рентгеновскому источнику, в три раза ярче противоположной (Черепашук и др., 1972, Лютый и др., 1973). Падающий на поверхность звезды поток энергии (рентгеновское излучение) F_x намного (в 10–15 раз) превышает поток энергии, поступающий из недр звезды F_0 . Рентгеновский поток перерабатывается в атмосфере нормальной звезды в оптическое излучение; температура поверхности звезды, обращенной к рентгеновскому источнику, при этом повышается:

$$\frac{T_1}{T_0} \sim \left(\frac{F_x + F_0}{F_0} \right)^{1/4},$$

следовательно, меняется и спектральный класс звезды. Вращение системы приводит к периодической переменности блеска и спектрального класса звезды с периодом, равным периоду обращения системы. Теория

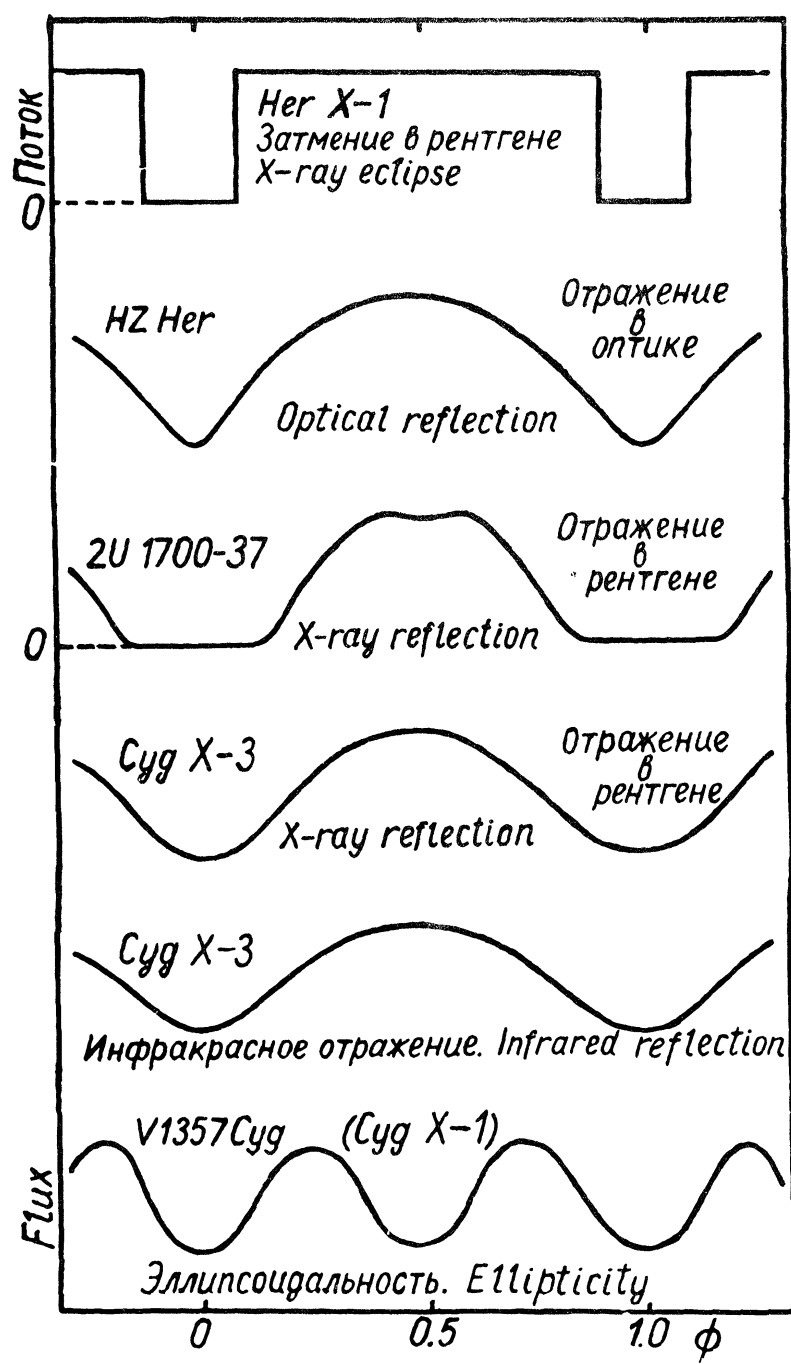


Рис.1. Схематическое изображение рентгеновских, оптических и инфракрасных кривых блеска различных двойных рентгеновских систем.

переработки рентгеновского излучения в атмосфере звезды, примененная к системе HZ Her = Her X-1, дает в основном хорошее согласие с наблюдениями (Баско и Сюняев, 1973).

Выявление нового типа переменности звезд, связанной с наличием рентгеновских источников в тесных звездных парах, открывает новые возможности перед астрономией переменных звезд. Появляется принципиальная возможность поиска рентгеновских источников методами оптической астрономии. Теория и наблюдения приводят к следующим критериям выделения объектов, переменность которых вызвана переизлучением рентгеновского потока:

а) Период изменения блеска должен совпадать с периодом орбитального обращения компонент, определяемым по доплеровским смещениям спектральных линий или по затмениям.

б) Изменения блеска должны сопровождаться изменениями цвета и спектрального класса звезды, а также появлением в некоторых фазах эмиссионных линий — водорода, гелия и высокоионизованных элементов.

в) В минимуме блеска звезда должна быть достаточно позднего спектрального класса. В этом случае мала ее собственная светимость, и переизлучение рентгеновского потока может существенно влиять на оптический блеск системы.

Угол наклона орбиты i у системы HZ Her близок к 90° . При уменьшении i амплитуда колебаний блеска должна уменьшаться. Уменьшаются и вариации цвета. В спектре звезды могут одновременно наблюдаться линии поглощения и излучения, соответствующие различным спектральным классам. При сильной направленности рентгеновского излучения (когда второй компонент является рентгеновским пульсаром) и при малых i эти эффекты ведут к появлению горячих пятен и полос на поверхности звезды.

Высокая энергия рентгеновских квантов позволяет им проникать на большую глубину в атмосферу нормальной звезды. Оптическая толща этих слоев для оптического излучения очень велика, в результате наружу выходит планковский спектр излучения, и возможно появление линий поглощения, соответствующих раннему спектральному классу.

Совершенно иная ситуация возникает при более мягком спектре рентгеновского излучения $kT_x < 1-5$ кэВ. В этом случае основная часть рентгеновского потока поглощается в оттекающем от звезды веществе и в зоне, оптическая толща которой мала для оптического излучения в непрерывном спектре. В результате падающая энергия должна переизлучаться в основном в виде ультрафиолетовых и оптических линий гелия и высокоионизованных тяжелых элементов. Лишь малая часть поглощаемой энергии попадает при этом в оптический диапазон, приводя к незначительному увеличению блеска и малому изменению спектрального класса. Главный эффект заключается в появлении эмиссионных линий (в частности, соответствующих в обычных условиях высоким температурам плазмы), а также мощного эмиссионного балмеровского скачка.

В этой ситуации при малых i звезда может представляться как нормальная с горячим пятном, излучающим в основном в эмиссионных линиях. Линии поглощения при этом соответствуют низким температурам и рождаются в зоне, не облучаемой рентгеновским излучением.

К обсуждаемым явлениям может приводить наличие в тесной паре черной дыры, нейтронной звезды или белого карлика, излучающих за счет аккреции. Проявление этих эффектов зависит от соотношения светимости нормальной звезды и рентгеновского объекта, отношения размеров системы и видимой звезды, спектра рентгеновского излучения. Таким образом, у тесных двойных звезд, подобных HZ Her или обладающих аномальной переменной эмиссией в линиях гелия и высокоионизованных элементов, можно ожидать наличия рентгеновского излучения, хотя оно может быть слабо у поверхности Земли и недоступно для обнаружения с помощью современной рентгеновской аппаратуры. Эти особенности могут способствовать идентификации известных рентгеновских источников с их оптическими партнерами.

2). Поиски звезд с переменностью типа HZ Her. Поиск звезд, удовлетворяющих критериям а)–в) (см. пункт 1) проводился среди звезд, включенных в Общий каталог переменных звезд (Кукаркин и др., 1969–1971), обладающих периодическими изменениями блеска и не поддающихся надежной классификации. Отобранные кандидаты проверялись на совпадение координат с рентгеновскими источниками, включенными в 3-й каталог "Ухуру". За исключением звезды V1341 Cyg, отождествленной с рентгеновским источником Cyg X–2 (см. пункт 3), ни одну из рассмотренных звезд нельзя с уверенностью отнести к типу HZ Her *).

Звезды типа HZ Her могут скрываться и среди малоизученных периодических переменных (нет данных о спектре и показателе цвета) с более или менее симметричной кривой блеска: звезды типа EW и E11 (например, FK Com), некоторые цефеиды (например, AL CrA) и звезды типа RRc. Напомним, что сама HZ Her значилась до недавних пор неправильной переменной. Хотя ни одна из обследованных переменных звезд не может быть уверенно отнесена к типу HZ Her, мы приводим список переменных звезд, в которых по некоторым признакам можно подозревать наличие компактного рентгеновского спутника (табл. 1). Следует подчеркнуть, что каждая из этих звезд по ряду признаков может быть отнесена к тому или иному "обычному" типу переменности.

Таблица 1.

Название звезды	Спектр	Период	Блеск в максимуме
EG And	gM2pe	40 ^d .5	7. ^m 4V
AM CVn	Вpec	0. ^d 01	13. ^m 9B
EX Hya	Рec	0. ^d 07	14. ^m 1B

*) После окончания этой работы появились данные, указывающие на двойственность объекта Sco X–1=V818 Sco (Лютый и Ефремов, 1974, Черепашук и др., 1974, Лютый и др., 1974), и свидетельствующие о принадлежности системы Sco X–1 к типу HZ Her (Лютый и др., 1974).

Таблица 1
(продолжение)

EW Lac	ВЗре	0. ^d 74?	5. ^m 0В
EZ Peg	В-G5	—	9. ^m 5В
VV Pup	Рес	0. ^d 07	14. ^m 6

Ни один из этих объектов, кроме, возможно, EX Hya (3U 1252-28), не идентифицируется с рентгеновскими источниками из 3-го каталога "Уху-ру". Детальное фотометрическое и спектроскопическое изучение пересчитанных объектов представляет значительный интерес.

Не исключено, что эффекты, связанные с облучением поверхности одного из компонентов двойной системы жестким излучением другого, могут играть известную роль у переменных типа Z And и BY Dra (и сходных с ними звезд, вроде HK Lac и V39 в IC 1613), некоторых звезд типа U Gem и повторных новых.

3). Система Cyg X-2 = V1341 Cyg. Эффекты типа NZ Her, по-видимому, наблюдаются у звезды V1341 Cyg, отождествляемой с рентгеновским источником Cyg X-2 (Джиаconi и др., 1967; Кристиан и др., 1967). Как и в случае Her X-2, оптический компаньон Cyg X-2 является звездой позднего спектрального класса (sdG) с пекулярностями, говорящими о присутствии горячего компонента. Блеск системы меняется за часы с амплитудой до $\sim 1^m$, показатели цвета U-V изменяются при этом от $-0.^m04$ до $-0.^m40$ (Кристиан и др., 1967) и распределение энергии в спектре можно описать как O9V+dG (Граттон, 1970). Это невозможно в нормальной двойной системе, включающей звезду O9V главной последовательности и субкарлик класса G, так как светимость первой звезды намного превышает светимость второй. В то же время, линии HeII и CaI изменяются в фазе друг с другом (Крафт и Демулен, 1967), значит скорее всего эти линии возникают на одном и том же объекте.

По-видимому, V1341 Cyg = Cyg X-2 является тесной двойной системой типа NZ Her с малым наклоном орбиты ($i \approx 10 \pm 20^\circ$). Поэтому здесь не наблюдаются рентгеновские затмения, относительно малы полуамплитуды лучевых скоростей и, главное, малы регулярные колебания блеска и спектрального класса системы. Наблюдатель все время видит значительную часть горячего пятна, прогреваемого рентгеновскими лучами. Спектральный класс dG соответствует большей части поверхности звезды и определяется ее внутренними свойствами. Так как $i=0$, вращение системы приводит к изменению площади доступной для наблюдений части горячего пятна и к периодическим вариациям спектрального класса. Подтверждение периодических изменений лучевых скоростей и их корреляция с изменениями блеска явилась бы важным аргументом в пользу этой гипотезы. Изменение интенсивности эмиссионных линий, соответствующих высокоионизованным элементам (Бопп, 1974), может быть связано с переменностью рентгеновского источника. Большая лучевая скорость (~ 250 км/сек, согласно Кристиану и др., 1967), а также спектральные характеристики субкарлика (Крафт и Демулен, 1967) свидетельствуют о принадлеж-

ности V1341 Cyg к населению сферической составляющей, несмотря на ее сравнительно низкую галактическую широту.

4). Отражение рентгеновского излучения. Система 2U 1700-37 = HD 153919. Кривая блеска системы 2U 1700-37 = HD 153919 в рентгеновских лучах похожа на оптическую кривую блеска HZ Her. Ее трудно объяснить затмением рентгеновского источника видимой звездой. В то же время, расчеты показывают (Баско и др., 1974), что поверхность нормальной звезды эффективно отражает рентгеновские лучи. Возможна следующая модель: первичный рентгеновский источник является пульсаром, направленное излучение которого никогда не попадает на Землю, но из-за больших угловых размеров нормальной звезды часть ее поверхности освещается рентгеновским потоком. В этих предположениях нет ничего необычного; рентгеновские пульсары Her X-1 и Cen X-3 входят в тесные двойные системы и имеют достаточно узкие диаграммы направленности. Должны существовать направления, в которых они не излучают.

Таким образом, рентгеновскую кривую блеска источника 2U 1700-37 можно объяснить эффектом отражения рентгеновских лучей в системе с $i \sim 90^\circ$.

5). Система Cyg X-3. Рентгеновская кривая блеска этой тесной ($P = 4.8$ часа) двойной системы, удаленной от нас на 13 кпс, также может быть объяснена эффектом отражения, если угол $i = 15 \div 30^\circ$ (Баско и др., 1974). Однако инфракрасная кривая блеска этой системы подобна рентгеновской. Кроме того, инфракрасное излучение системы имеет аномально высокую яркостную температуру $T_b > 10^6$ К° (Беклин и др., 1973), если размеры инфракрасного источника порядка размеров двойной системы $A \sim 10^{11}$ см.

Совокупность рентгеновских, инфракрасных и радионаблюдений Cyg X-3 можно объяснить, предположив, что первичным источником рентгеновского и инфракрасного излучения является молодой пульсар типа пульсара в крабовидной туманности. Вспышка сверхновой на расстоянии 13 кпс должна была остаться незамеченной из-за сильного межзвездного поглощения. Первичное излучение пульсара не попадает на Землю, наблюдается лишь отраженное рентгеновское и инфракрасное излучение. Радиоизлучение пульсара поглощается звездным ветром, испаряемым рентгеновским излучением с поверхности нормальной звезды. Радиовспышки Cyg X-3 можно объяснить выбросом облаков релятивистских частиц при звездотрясениях пульсара и их синхротронным излучением в межзвездных магнитных полях. Соображения, изложенные в п.п. 4)–5) иллюстрируются на рисунке 1.

III. Эффект эллипсоидальности в системах, включающих рентгеновские источники.

Эллипсоидальность видимой компоненты двойной системы, включающей рентгеновский источник, была впервые обнаружена и интерпретирована в системе Cyg X-1 = V 1357 Cyg (Лютый и др., 1973). Сейчас этот эффект обнаружен у всех достоверно идентифицированных двойных рентгеновских систем (кроме Her X-1) и служит одним из

важнейших признаков при идентификации рентгеновских источников с нормальными звездами.

Допплеровские изменения периода рентгеновских пульсаров Her X-1 и Cen X-3, связанные с их движением в двойной системе, позволили найти функцию масс

$$f_x(m) = \frac{m_v^3 \sin^3 i}{(m_v + m_x)^2}.$$

В тех случаях, когда рентгеновский источник не является пульсаром, информация о параметрах двойной системы, получаемая из рентгеновских наблюдений, ограничена данными о наличии и продолжительности рентгеновских затмений. В случае круговой орбиты имеем:

$$\frac{R_v^2}{(a_x + a_v)^2} = \cos^2 i + \sin^2 i \sin^2 b, \quad (1)$$

где R_v — радиус видимой звезды, a_x и a_v — радиус орбит компонент. Главное в этом случае — это возможность установления некоторых пределов на угол наклона орбиты i — затмение возможно лишь при $\sin i \sim 1$. Основная информация о системе должна быть получена из оптических наблюдений. Это функция масс

$$f_v(m) = \frac{m_x^3 \sin^3 i}{(m_x + m_v)^2}, \quad (2)$$

а также эллипсоидальность видимой компоненты

$$B = N \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \sin^2 i. \quad (3)$$

Здесь B — удвоенная амплитуда эллипсоидальных вариаций блеска, $N = 1.5-2$ (для звезд классов OB) — фактор, характеризующий роль эффектов гравитационного потемнения и потемнения к краю, b и a — малая и большая полуоси деформированной звезды.

Величина $1 - b^2/a^2 = 2(a-b)/a$ может быть найдена из расчетов Чандрасекара (1933). Она сильно зависит от степени заполнения звездой критической полости Роша и слабо — от отношения масс компонент m_x/m_v . Таким образом, эллипсоидальность несет информацию о степени заполнения полости Роша, а при отсутствии рентгеновских затмений и о наклоне орбиты i . Описанная приближенная теория эффекта эллипсоидальности позволяет извлечь основную информацию, содержащуюся в кривой блеска приливно деформированной звезды. Более тонкий анализ эффекта эллипсоидальности должен проводиться путем синтеза соответствующей кривой блеска на основе современной теории гравитационного потемнения и отражения (Хатчингс, 1974, Вильсон и Девиннэй, 1971, Вуд, 1971).

IV. Возможность поиска черных дыр и нейтронных звезд по эллипсоидальности видимых компонент. Зельдович и Гусейнов (1966) указали, что релятивистские объекты следует искать в спектрально-двойных системах, с ненаблюдаемыми ("темными") вторыми компонентами. Рентгеновская астрономия предоставила астрофизикам новые и весьма результативные методы поиска релятивистских объектов. По-видимому, большинство компактных рентгеновских источников является аккрецирующими релятивистскими объектами. Но в нашей Галактике, согласно данным "Ухуру", не больше 100 рентгеновских источников. Скорее всего, число нейтронных звезд и черных дыр, входящих в тесные двойные системы, намного превышает это число, и в этом нет ничего странного: механизм аккреции является очень тонким механизмом, Илларионов и Сюняев (1974) показали, что релятивистский объект в двойной системе становится рентгеновским источником лишь в случае, если размеры нормальной звезды близки к размерам ее критической полости Роша. По-видимому, многие черные дыры и нейтронные звезды в двойных системах не проявляют себя как рентгеновские источники, искать их нужно методами оптической астрономии.

Фотометрические исследования гораздо проще спектральных. Обнаружение периодических изменений блеска с амплитудой $0^m.05-0^m.30$ при отсутствии затмений, изменений в цвете и, главное, при отсутствии в спектре следов второй компоненты, должно привлекать внимание к системе: возможно, что она содержит релятивистский объект. Спектральное определение орбитального периода будет служить проверкой наличия эффекта эллипсоидальности: истинное значение периода должно вдвое превышать период изменений блеска.

В системах FK Com и b Per *) наблюдаются эллипсоидальные изменения блеска, а спектральные и фотометрические наблюдения не обнаруживают следов второй компоненты. Возможно, что таким системам родственны звезды типа λ And (Хербст, 1973).

V. Свойства тесных двойных систем с рентгеновскими источниками. В табл. 2 приведена сводка существующих данных о рентгеновских источниках в составе тесных двойных систем. Большинство оптических компонент здесь являются сверхгигантами классов O—B и принадлежат к крайнему населению I. Их размеры сравнимы с размерами полости Роша, они бурно истекают, поддерживая темп аккреции и энергетику рентгеновского источника. Но время жизни этих звезд сравнительно невелико, число их мало, соответственно мало и абсолютное число рентгеновских источников, входящих в такие двойные системы. О том, что оптические компоненты таких систем действительно являются сверхгигантами (а не звездами малой светимости с оболочкой, имитирующей спектральные особенности сверхгиганта) говорит хотя бы принадлежность Sanduleak 160 к Малому Магеллановому Облаку, что однозначно дает светимость около -6^m , (см. также аргументы, которые приводят Викрамасингх и др., 1974).

*) На эту звезду обратил внимание Мартынов (1973).

Однако, как уже говорилось, система Cyg X-2 должна относиться к сферической составляющей Галактики. Большое собственное движение (Крэмптон, 1974) и высокая галактическая широта позволяют считать вероятным принадлежность к населению II и системы Her X-1. Заметим, однако, что оценки массы оптической компоненты в системе HZ Her дают значения, несколько превосходящие значения, принимаемые обычно для проэволюционировавших звезд населения II.

Оставляя открытым вопрос о принадлежности систем Her X-1 и Cyg X-2 к населению II, можно, тем не менее, заключить, что рентгеновские источники встречаются лишь в двух резко различающихся типах двойных систем — системах, оптическими компонентами которых являются либо массивные O-B звезды с массой, превышающей $20M_{\odot}$, либо маломассивные звезды с массой в 1-2 солнечной. Феномен рентгеновского источника в двойной системе, очевидно, появляется лишь на определенных этапах эволюции двойных звезд в двух дискретных диапазонах масс.

Таблица 2

X-источник	Var	Sp	P	V	ΔV	b
Cen X-3	—	B0Ib	2. ^d 08	13. ^m 4	0. ^m 12	+00. ^o 2
Cyg X-1	V1357 Cyg	O9.7 Iab	5.6	8.9	0.06	+03.1
Cyg X-2	V1341 Cyg	O9V+sdG	0.24?	14.3	~1	-11.3
Cyg X-3	—	—	0.20	(19	—	+01.0
Her X-1	HZ Her	B+Fpec	1.70	13.2	1.5	+37.5
Sco X-1	V818 Sco	Opec	3.93?	12.5	1.5	+23.8
Sco X-2	V861 Sco?	B0Iac	7.84	6.1	0.27	+01.5
2U 0900-40	HD 77581	B0.5Ib	8.95	6.8	0.14	+03.9
2U 1700-37	HD 153919	O7f	3.41	6.7	0.07	+02.2
SMC X-1	Sanduleak 160	B0I	3.89	13.4	0.25	—

Авторы признательны Д.Я. Мартынову и Б.В. Кукаркину за ценные замечания.

Литература:

- Бакал и Бакал, 1972 — Bahcall J.N., Bahcall N.A., IAU Circ. № 2427.
 Баско и Сюняев, 1973 — Basko M.M., Sunyaev R.A., Ap.Sp.Sci.23, 117.
 Баско и др., 1974 — Basko M.M., Sunyaev R.A., Titarchuk L.G., AsAp 31, 249.
 Беклин и др., 1973 — Beclin E.E. et al., Nature 245, 302.
 Бопп, 1974 — Bopp B.W., Nature 247, 139.
 Викрамасингх и др., 1974 — Wickramasinghe D.T., Vidal N.V., Bessell M.S., Peterson B.A., Perry M.E., ApJ 188, 167.
 Вильсон и Девиннэй, 1971 — Wilson R.E., Devinney E.J., ApJ 166, 605.
 Вуд, 1971 — Wood D.B., ApJ 76, 701.
 Граттон, 1970 — Gratton L., IAU Symposium № 37, 162.
 Джаакони и др., 1967 — R. Giacconi, Gorenstein P., Gursky H., Usher P.D., Waters J.R., Sandage A., Osmer P., Peach J.V., ApJ 148, L 129.

- Зельдович и Гусейнов, 1966—Zeldovich Ya.B., Guseinov O.H.,
ApJ 144, 841.
- Илларионов и Сюняев, 1974—Illarionov A.F., Sunyaev R.A.,
AsAp, (in press).
- Крафт и Демулен, 1967—Kraft R.P., Demoulin M.H., ApJ 150,
L183.
- Кристиан и др., 1974—Kristian J., Sandage A., Westphal J.,
ApJ 150, L 99.
- Крэмpton, 1974—Crampton D., ApJ 187, 345.
- Кукаркин Б.В. и др., 1969—1971, Общий каталог переменных звезд,
изд. 3.
- Курочкин Н.Е., 1972, АЦ №717, IAU Circ №2436.
- Лиллер, 1972—Liller W., IAU Circ №2415.
- Лютый М.В., Сюняев Р.А., Черепашук А.М., 1973, АЖ 50, 3.
- Лютый и Ефремов, 1974—Lyutyi V.M., Efremov Yu.N., IAU
Circ №2675.
- Лютый В.М., Сюняев Р.А., Шакура Н.И., 1974, АЖ 51, №5.
- Мартынов Д.Я., 1973, частное сообщение.
- Хатчингс, 1974—Hutchings J.B., ApJ 188, 341.
- Хербст, 1973—Herbst W., AsAp 26, 137.
- Чандрасекар, 1933—Chandrasekhar S., MN 93, 539.
- Черепашук и др., 1972—Cherepashchuk A.M., Efremov Yu. N.,
Kurochkin N.E., Shakura N.I., Sunyaev R.A., IBVS №720.
- Черепашук и др., 1974—Cherepashchuk A.M., Lyutyi V.M., Sha-
kura N.I., IAU Circ. № 2679.

Москва, Гос. астрон. ин-т
им. П.К. Штернберга,
Институт космических
исследований АН СССР

*Поступила в редакцию
25 мая 1974 г.*

*Дополненный текст поступил
5 августа 1974 г.*