

УДК: 524.38—7

ПАРАМЕТРЫ ИЗЛУЧЕНИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ А 0535+26=HDE 245770 ПО ПОЛЯРИЗАЦИОННЫМ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

В. М. ЛАРИОНОВ

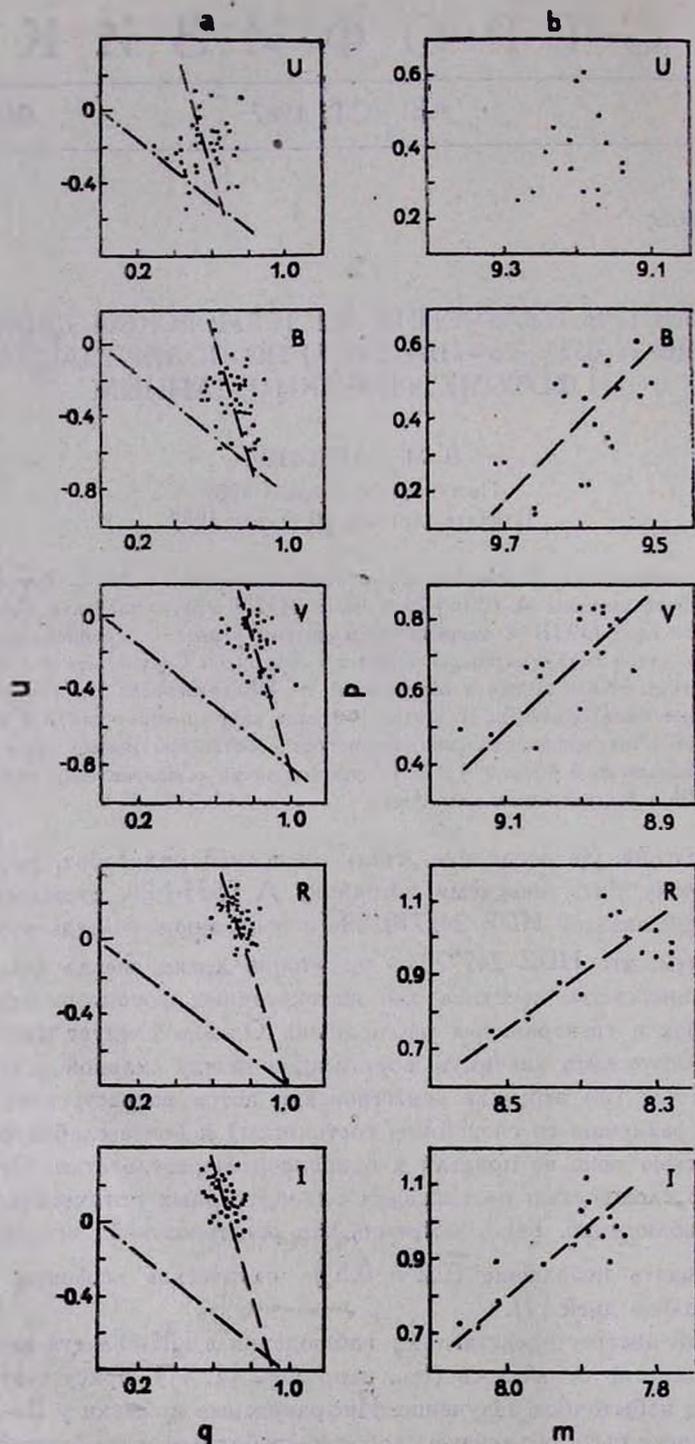
Поступила 26 февраля 1987

Принята к печати 20 апреля 1987

Анализ наблюдений Шаховской и др. позволил выделить в излучении рентгеновской двойной системы А 0535+26 = HDE 245770 два компонента, связанные с оптической звездой О9 III и аккреционным диском вокруг нейтронной звезды. Параметры межзвездной поляризации согласуются с формулой Серковского и наблюдениями окрестных звезд. Наблюдаемая в оптическом и ИК-диапазонах переменность блеска системы может быть объяснена изменением вклада аккреционного диска в общее излучение системы. Полученные значения параметров собственной поляризации позволяют, в рамках предложенной модели, сделать предположения о направлении векторов поляризации в ИК и рентгеновском диапазонах.

1. *Введение.* За последние годы выполнен ряд работ, посвященных транзиентному рентгеновскому источнику А 0535+26, отождествленному с оптической звездой HDE 245770. Не в последнюю очередь этот интерес связан с тем, что HDE 245770 — достаточно яркая звезда ($m_V \sim 9$) и, следовательно, легко доступна для высокоточных фотометрических, поляризационных и спектральных наблюдений. Однако следует признать, что попытки обнаружить значимую корреляцию между сильной рентгеновской переменностью (во вспышке рентгеновский поток возрастает на 1—2 порядка по сравнению со спокойным состоянием) и более слабой оптической переменностью пока не привели к однозначным результатам. Отчасти это связано со сложностью организации одновременных оптических и рентгеновских наблюдений. Было замечено, что рентгеновской вспышке могут предшествовать небольшие (0.2^m — 0.3^m) оптические вспышки, опережая ее на несколько дней [1].

Особый интерес представляют наблюдения в ИК-области спектра, где, как неоднократно отмечалось (см., например, [2, 4]), присутствует сильно переменное избыточное излучение. Инфракрасные избытки у Ве-звезд, как правило, могут быть объяснены свободно-свободным и свободно-связанным



Подпись к рисунку см. на стр. 21.

излучением, возникающим в их оболочках [5]. Однако в случае HDE 245770 этого традиционного механизма оказывается недостаточно: в отдельные моменты своей фотометрической истории звезда демонстрирует излучение в области 2.2 мкм, намного превосходящее то, которое ожидается от оболочки [3].

2. *Поляриметрические наблюдения.* До последнего времени были получены лишь эпизодические оценки поляризации HDE 245770, выполненные в 1—2 цветовых полосах [4, 8]. Небольшая величина степени ($p_V \sim 0.8—1.0\%$) и близость позиционного угла ($\theta_V \sim 170^\circ$) к ожидаемой для данной области Млечного Пути межзвездной поляризации не дали возможности по этим разрозненным и скудным данным выделить возможный вклад собственной поляризации в излучение системы A 0535+26. Следует обратить внимание на то, что величина и позиционный угол вектора межзвездной поляризации в направлении галактического антицентра, куда проецируется A 0535+26, заметно меняются на расстоянии 1.5—2.5 кпк. Поэтому традиционный метод выделения межзвездной составляющей поляризации, основанный на наблюдениях окрестных звезд, в случае A 0535+26 приводит к неуверенным оценкам.

В связи с этим очевидно большое значение выполненных Шаховской и др. [9] наблюдений HDE 245770 в пяти цветовых полосах, сопровождавшихся, как правило, фотометрическими оценками. Этот однородный ряд, перекрывающий значительный диапазон длин волн (от 0.36 до 0.9 мкм), позволил авторам сделать вывод о том, что в излучении системы присутствует компонент с небольшой собственной поляризацией, переменной по величине и направлению. Мы попытались вновь проанализировать наблюдения Шаховской и др. с целью поиска возможных корреляций между поляризацией и блеском системы.

3. *Анализ наблюдений.* Используя данные табл. 1 в работе [9], рассмотрим положение наблюдаемых значений поляризации на плоскости безразмерных параметров Стокса (q, u) (рис. 1а). Оказывается, что во всех цветовых полосах, кроме U , существует преимущественное направление полосы рассеяния наблюдаемых значений, соответствующее позиционному углу $\theta = 53^\circ \pm 1^\circ$.

Логично предположить, что это преимущественное направление и является направлением вектора собственной поляризации системы A 0535+26.

Рис. 1. а) Распределение наблюдаемых значений поляризации в полосах $UBVRI$ (табл. 1 в работе Шаховской и др. [9]) на плоскости параметров Стокса (q, u). Пунктир — линия регрессии, соответствующая $\theta_1 = 53^\circ$; штрих-пунктир — направление вектора межзвездной поляризации ($\theta_0 = 160^\circ$). б) Зависимость между блеском и собственной поляризацией в каждой из цветовых полос.

Таким образом, собственная поляризация этого источника заметно меняется по величине и (в пределах ошибок наблюдений) постоянна по направлению. Попытаемся теперь определить наиболее вероятные параметры межзвездной поляризации, пользуясь наблюдательными данными по самому исследуемому объекту (с учетом того, что определенное таким образом направление вектора межзвездной поляризации не должно сильно отличаться от полученного по окрестным звездам). Как уже сказано, позиционный угол собственной поляризации один и тот же во всех цветовых полосах от B до I . Это дает возможность указать область допустимых значений для позиционного угла межзвездной поляризации θ_0 . Из рис. 1а видно, что этому соответствуют либо $\theta_0 \geq 17^\circ$, либо $\theta_0 \leq 170^\circ$. Величины θ_0 , заключенные между двумя этими значениями, весьма мало вероятны, т. к. в этом случае мы наблюдали бы в исследуемом диапазоне длин волн, во-первых, поворот позиционного угла плоскости поляризации на 90° , а во-вторых, в некоторых длинах волн за время наблюдений позиционный угол вращался бы на 180° , оставаясь в других длинах волн постоянным. Значения же $\theta_0 \geq 17^\circ$ также можно исключить, поскольку в этом случае мы приходим к противоречию большой величины собственной поляризации с наблюдаемым отсутствием выделенного направления в полосе U . Поэтому в дальнейшем анализе мы будем использовать, как наиболее правдоподобное, значение $\theta_0 = 160^\circ$. Отметим, что анализ данных каталога Хильтнера [8] в области $5^\circ \times 5^\circ$ вокруг HDE 245770 (для звезд, находящихся на расстоянии от 1 до 3 кпк) приводит к тому же значению $\theta_0 = 160^\circ$. Величина вектора межзвездной поляризации в каждой из цветовых полос определяется однозначно, поскольку известно направление вектора собственной поляризации источника ($\theta_1 = 53^\circ$). Эта величина равна расстоянию от начала координат до точки пересечения векторов собственной и межзвездной поляризации.

Полученные таким образом значения $p_0(\lambda)$ согласуются с эмпирической зависимостью Серковского [6]:

$$p_0(\lambda) = p_0(\lambda_{\max}) \cdot \exp(k \cdot \ln^2(\lambda/\lambda_{\max}))$$

при $\lambda_{\max} = 0.66$ мкм, $p_0(\lambda_{\max}) = 1.28\%$ и $k = -1.15$ (рис. 2). Это подтверждает справедливость исходных предпосылок. Отметим, впрочем, что зависимость $p_0(\lambda)$ не критична к выбору θ_0 (с точностью до постоянного множителя).

Учтя таким образом межзвездную поляризацию, мы получаем, для каждой даты наблюдений и в каждой длине волны, собственную поляризацию излучения системы, которую в дальнейшем будем обозначать

$$p_1 \left(p_1 = \sqrt{(q - q_0)^2 + (u - u_0)^2}, \quad \theta_1 = \frac{1}{2} \arctg \frac{u - u_0}{q - q_0} \right).$$

В дальнейшем ограничимся анализом p_1 , т. к. позиционный угол не обнаруживает, в пределах ошибок наблюдений, заметной переменности в рассматриваемый период.

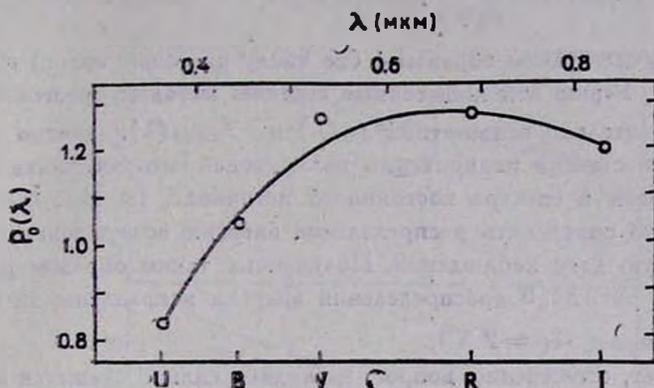


Рис. 2. Волновая зависимость межзвездной поляризации. Сплошная линия получена по формуле Серковского при $\lambda_{\max} = 0.65$ мкм и $p(\lambda_{\max}) = 1.28\%$, кружки — результаты данной работы.

Обратимся теперь к зависимости собственной поляризации излучения системы от видимого блеска m_V (рис. 1b), ограничивая анализ периодом JD 2445630—5990, когда наблюдались значительные (до 0.3^m в V) изменения блеска. Положительная корреляция между яркостью объекта и величиной поляризации очевидна во всех цветовых полосах, кроме U. Такая корреляция может наблюдаться, если приходящее от объекта излучение состоит из двух компонентов: неполяризованного источника постоянного во времени излучения и переменного поляризованного источника.

Введем следующие дополнительные обозначения:

$F_{\text{tot}}(\lambda)$ — полный поток излучения, приходящий от объекта в некоторой длине волны λ ($F_{\text{tot}}(\lambda) = F_0(\lambda) \cdot 10^{-0.4m_V}$), где $F_0(\lambda)$ — спектральная плотность потока от звезды нулевой величины; $F_{\text{var}}(\lambda)$ — поток от переменного источника; $F_{\text{const}}(\lambda) = F_{\text{tot}}(\lambda) - F_{\text{var}}(\lambda)$ — поток от постоянного источника; $p_2(\lambda)$ — степень поляризации переменного источника.

В дальнейшем будем исходить из того, что величина $p_2(\lambda)$ в каждой из длин волн постоянна или переменность ее весьма невелика, как и следует ожидать, если поляризация обусловлена геометрией системы.

Исходя из определения поляризации, можно написать следующее соотношение:

$$p_{1(i)}(\lambda) = p_2(\lambda) \cdot F_{\text{var}(i)}(\lambda) / F_{\text{tot}(i)}(\lambda), \tag{1}$$

где $i = 1 \dots N$ — порядковый номер наблюдения.

Поскольку $F_{\text{var}}(\lambda) = F_{\text{tot}}(\lambda) - F_{\text{const}}(\lambda)$, после очевидных преобразований имеем:

$$F_{\text{tot}(i)}(\lambda) - \frac{1}{p_2(\lambda)} F_{\text{tot}(i)}(\lambda) p_{1(i)}(\lambda) - F_{\text{const}}(\lambda) = 0. \quad (1a)$$

Мы получили таким образом 4 (по числу цветовых полос) системы из N уравнений. Решив эти избыточные системы методом ортогональной регрессии относительно неизвестных $p_2(\lambda)$ и $F_{\text{const}}(\lambda)$, можно получить λ -зависимость степени поляризации поляризованного источника и распределение энергии в спектре постоянного источника, по которому, в свою очередь, легко определить распределение энергии поляризованного источника в каждую дату наблюдений. Полученные таким образом результаты показаны на рис. 3а, б (распределения энергии исправлены за межзвездное покраснение с $A_V = 2.5^m$).

Возникает, естественно, вопрос, насколько сильно скажется на окончательных результатах возможная ошибка в определении позиционного угла межзвездной поляризации $\Delta\theta_0$. Из геометрических соображений легко показать, что ошибка определения собственной поляризации Δp_1 связана с $\Delta\theta_0$ соотношением

$$\Delta p_1 = -p_0 \sin 2\Delta\theta_0 / \sin 2(\theta_1 - \theta_0 + \Delta\theta_0). \quad (2)$$

При тех значениях позиционных углов собственной и межзвездной поляризации, которые получены для HDE 245770 (53° и 160° , соответственно), ошибка $\Delta\theta_0 = \pm 3^\circ$ может изменить определяемые параметры p_2 и F_{const} не более чем на 10%, что не повлияет на качественную сторону наших оценок.

4. *Обсуждение.* Возвращаясь к рис. 3, отметим, что распределение энергии в спектре неполяризованного источника хорошо соответствует ожидаемому от звезды O9 III с $M_V = -4.7$, находящейся на расстоянии ~ 2 кпк. Спектральные наблюдения показывают, что именно такая звезда и является оптическим компонентом системы A 0535+26. Сопоставляя распределения энергии в спектрах двух выделенных нами компонентов излучения A 0535+26, легко понять некоторые особенности ее фотометрического поведения, в частности, рост амплитуды переменности с длиной волны. На рис. 3а приведены распределения энергии в спектре переменного источника для нескольких характерных моментов: вблизи минимума, максимума и в промежуточной стадии. Хорошо заметно, что в максимуме спектр приближается к плоскому, тогда как с ослаблением блеска начинается все более крутой спад, прежде всего в коротковолновой части. Такого рода изменений можно ожидать, если предположить, что рассматри-

ваемый дополнительный источник — это аккреционный диск (или, точнее, тор) вокруг нейтронной звезды — второго компонента системы А 0535+26. В этом случае коротковолновый спад спектра соответствует внутреннему радиусу тора, а длинноволновый — внешнему. Можно отметить, что за все

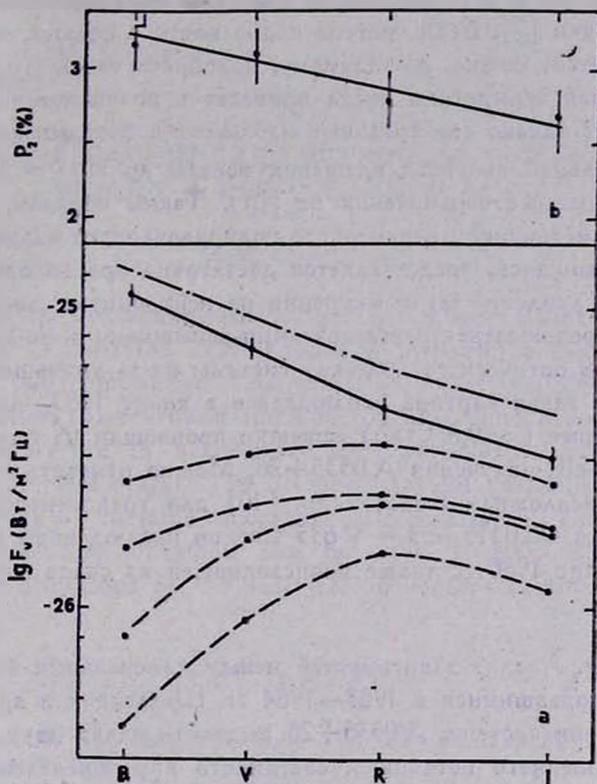


Рис. 3. а) Штрих-пунктирная линия — распределение энергии в спектре звезды О9 III с $M_V = -4.7$ (смещено на 0.25^m вверх); сплошная линия — то же для «постоянного компонента» (см. текст); штриховая линия — то же для «переменного источника» для 4-х дат наблюдений (сверху вниз): JD 2446127, JD 2446118, JD 2445636, JD 2445712. б) Зависимость степени поляризации «переменного источника» от длины волны.

время наблюдений диск ни разу не исчезал полностью, хотя вблизи минимума его излучение составляло лишь малую долю излучения системы в целом.

Отсутствие корреляции между блеском и поляризацией в полосе U, по-видимому, означает, что эта длина волны соответствует неустойчивой внутренней границе диска; более того, геометрия диска здесь может уже и не сохраняться.

Можно было бы предположить, что наблюдаемая поляризация возникает при рассеянии света в дискообразной оболочке вокруг оптического компонента системы; однако в этом случае рост степени собственной поляризации системы должен сопровождаться падением ее интегрального излучения с одновременным покраснением его из-за экранирования звезды веществом оболочки [7]. Если система видна почти с полюса, то это противоречие снимается; можно, по-видимому, подобрать такой угол ее наклона, что наблюдаемая асимметрия диска приведет к возникновению поляризации излучения; однако спектральные наблюдения показывают, что проекция экваториальной скорости вращения звезды $v_e \sin i \sim 230$ км/с, что накладывает сильные ограничения на $\sin i$. Таким образом, предположение о том, что источником переменного поляризованного излучения является аккреционный диск, представляется достаточно правдоподобным.

Очевидно, усиление темпа аккреции на нейтронную звезду должно, во-первых, сопровождаться рентгеновскими вспышками и, во-вторых, приводить к падению оптического блеска системы из-за уменьшения размеров диска. Именно такая картина наблюдалась в конце 1983—начале 1984 г., когда две мощные (~ 0.8 Crab) вспышки произошли на фоне ослабления оптического и ИК-излучения A 0535+26. Можно отметить, что аналогичную модель предложили Крисс и др. [10] для транзиентного рентгеновского источника 4U 0115+63 = V 635 Cas по наблюдениям рентгеновской вспышки в конце 1980 г., также происходившей на спаде оптической кривой блеска.

5. Выводы. Анализ зависимостей между изменениями блеска и поляризации, наблюдавшимися в 1983—1984 гг. Шаховской и др., позволил в общем излучении системы A 0535+26 выделить вклад двух компонентов: 1) неполяризованного источника, светимость и распределение энергии в спектре которого соответствуют ожидаемым от звезды O9 III, являющейся оптическим компонентом двойной системы, и 2) поляризованного источника, переменность блеска и спектра которого объясняет наблюдаемые характеристики оптической переменности HDE 245770. Наиболее вероятно, что этот второй источник является аккреционным диском вокруг нейтронной звезды, входящей в двойную систему.

Экстраполируя полученные данные в область больших длин волн, можно ожидать, что наблюдения в полосе K (2,2 мкм) позволят обнаружить поляризацию $\sim 1\%$ при позиционном угле $\sim 45^\circ$. Зная позиционный угол собственной поляризации системы ($\theta_s = 53^\circ$), можно определить и позиционный угол большой оси аккреционного диска ($\sim 143^\circ$). Если ось вращения нейтронной звезды нормальна к плоскости диска, то и рентгеновское излучение, приходящее от нее, должно иметь плоскость преимущественной поляризации (среднюю за период осевого вращения, т. е.

104 с) вблизи одного из этих значений, в зависимости от того, веерной или карандашной является диаграмма направленности этого излучения.

Автор благодарен Н. И. Шаховской и Н. М. Шаховскому за предоставление результатов наблюдений до их выхода из печати и за полезное обсуждение полученных результатов.

Ленинградский государственный
университет

THE RADIATION PARAMETERS OF THE X-RAY BINARY A 0535 + 26 = HDE 245770

V. M. LARIONOV

An analysis of Shakhovskaya et al's observations of the X-ray binary A 0535 + 26 = HDE 245770 made it possible to distinguish in its radiation the two components connected with the visible star (O9 III) and the accretion disc around the neutron star. The interstellar polarization parameters are in accordance with Serkowski's formula and the observations of field stars. The IR and optical variability can be explained in terms of variable accretion disc radiation. The intrinsic polarization parameters obtained can be used to predict, in the model proposed, the directions of the polarization vectors in the IR and X-ray bands.

ЛИТЕРАТУРА

1. C. Bartolini, A. Guarneri, A. Piccioni, A. Giangrande, F. Giovannelli, IAU Circ. No. 3167, 1978.
2. Ю. Н. Гнедин, Г. В. Хозов, В. М. Ларионов, Письма в Астрон. ж., 7, № 8, 466, 1981.
3. Ю. Н. Гнедин, Г. В. Хозов, В. М. Ларионов, Письма в Астрон. ж., 8, № 12, 689, 1982.
4. Ю. Н. Гнедин, Г. В. Хозов, В. М. Ларионов, Astrophys. and Space Sci., 93, 207, 1983.
5. R. Poeschert, J. M. Marlborough, Astrophys. J., 220, 940, 1978.
6. K. Serkowski, D. S. Mathewson, V. L. Ford, Astrophys. J., 196, 261, 1975.
7. P. Harmanec, Hvar Observ. Bull., 7, No. 1, 55, 1983.
8. W. A. Hilborn, Astrophys. J. Suppl. Ser., 2, 389, 1956.
9. Н. И. Шаховская, Н. М. Шаховской, Н. Г. Бескровная, Изв. Крым. астрофиз. обсерв., 76, 120, 1986.
10. G. A. Kriss, L. R. Cominsky, R. A. Remillard, G. Williams, J. R. Thorstensen, Astrophys. J., 266, 806, 1983.