

Переменные звезды **21**, № 5, 695–708, 1982
Variable Stars **21**, No 5, 695–708, 1982

Программа синтеза кривых блеска рентгеновских двойных систем
Н.И.Балог, А.В.Гончарский, З.Ю.Метлицкая,
А.М.Черепашук

Представлена программа ЭВМ на фортране синтеза кривой блеска рентгеновской двойной системы. Рассматриваются эллиптичность оптической звезды, эффект отражения и затмения оптически толстым аккреционным диском.

The Computer Program for Light Curve Synthesis
of X-Ray Binary Systems

by N.I. Balog, A.V. Goncharsky, Z.Yu. Metlitskaya,
A.M. Cherepashchuk

The computer program in the Fortran for light curve synthesis of X-ray binary systems is presented. The ellipticity of the optical star, X-ray heating and eclipses connected with the optically thick accretion disk are considered.

ВВЕДЕНИЕ

Оптическая переменность рентгеновских двойных систем связана, в основном, с эффектами отражения, эллипсоидальности, а также с наличием вокруг рентгеновского источника аккреционного диска. В последнее время накопился обширный наблюдательный материал по рентгеновским двойным системам, что позволяет построить детальные и высокоточные средние кривые блеска большинства известных систем в оптическом диапазоне. Кроме того, в связи с запуском специализированных спутников имеются также наблюдения в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах. Поэтому возникает задача создания высокоэффективного алгоритма синтеза кривой блеска с учетом всех перечисленных эффектов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1. В задаче рассматривается тесная двойная система, состоящая из двух звезд на круговых орбитах. Одна из звезд — точечный рентгеновский источник, другая — оптическая звезда, причем ее форма совпадает с эквипотенциальной поверхностью в модели Роша (Копал, 1959; Цесевич, 1971). Осевое вращение оптической звезды синхронно с орбитальным обращением. Компактный объект прогревает своим рентгеновским излучением поверхность приливно-деформированной оптической звезды. Интенсивность выходящего с единичной площадки на поверхности оптической звезды излучения и его угловая зависимость определяются собственной температурой единичной площадки T_0 , потемнением

к краю, прогревом рентгеновским излучением (назовем этот эффект эффектом отражения) (Соболев, 1975), гравитационным потемнением (Шейпель, 1924). Пусть начало O системы (X, Y, Z) находятся в центре масс оптической звезды (см. рис. 1). Расстояние между звездами примем за единицу. Ось OX направлена вдоль линии соединяющей центры компонент, ось OY лежит в плоскости орбиты. Угол между радиусом-вектором $\vec{r}$ и осью OX назовем η угол между проекцией $\vec{r}$ на плоскость YOZ и осью OY — ϕ . Направляющие косинусы $\vec{r}$ легко вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}\lambda &= \cos \eta \\ \mu &= \sin \eta \cos \phi \\ \nu &= \sin \eta \sin \phi\end{aligned}\quad (1)$$

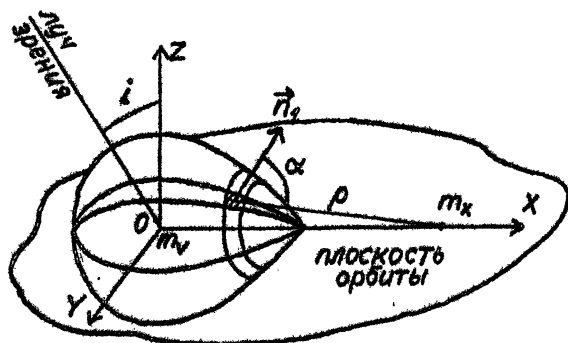


Рис.1.

В указанной системе координат (r, η, ϕ) уравнение для эквипотенциальной поверхности в модели Роша имеет вид:

$$\Omega = \frac{1}{r} + q \left(\frac{1}{\sqrt{1+r^2-2\lambda r}} - \lambda r \right) + \frac{1+q}{2} r^2 (1-\nu^2), \quad (2)$$

где $r = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$, $q = m_x/m_y$ — отношение масс рентгеновской и оптической компонент, $\Omega = \text{const}$ — которое определяет форму эквипотенциальной поверхности.

Однако обычно параметром задачи является не значение потенциала Ω , а параметр μ — коэффициент заполнения полости Роша. Если R_0 и R_0^* — полярные радиусы частично и полностью заполненной полости Роша, то

$$\mu = \frac{R_0}{R_0^*}. \quad (3)$$

Таким образом μ характеризует степень заполнения критической полости Роша. Переход от параметра Ω к параметру μ осуществляется следующим образом (см. например, Цесевич, 1971). Критическая по-

верхность Роша состоит из двух полостей, соприкасающихся в критической точке Лагранжа L_1 с координатами $(0, 0, \xi^*)$, в которой

$$\frac{\partial \Omega}{\partial X} = \frac{1}{\xi^2} - q \left[1 - \frac{1}{(1-\xi)^2} \right] + (1+q)\xi = 0. \quad (4)$$

Решая это уравнение, находим ξ^* , как наименьший вещественный корень. Далее подставляя координаты точки $L_1(0, 0, \xi^*)$ в формулу (2) получаем значение критического потенциала Ω^*

$$\Omega^* = \frac{1}{\xi^*} + q \left(\frac{1}{1-\xi^*} - \xi^* \right) + \frac{1+q}{2} (\xi^*)^2. \quad (5)$$

R_0^* находим из уравнения (2), в котором $\lambda=0$, $\nu=1$, $\Omega=\Omega^*$. Если задан параметр μ , то $R_0 = \mu R_0^*$ и, значение потенциала Ω соответствующее данному μ вычисляется по формуле (2) при $\lambda=0$, $\nu=1$, $r=R_0$. Таким образом задача с параметром μ сведена к предыдущей с параметром Ω . Задание пары q и μ однозначно определяет форму поверхности оптической звезды.

Далее рассмотрим вопрос об излучении элементарной площадки dS на поверхности оптической звезды, имеющей координаты (r, η, ϕ) . Используя общепринятое предположение о планковском характере излучения единицы поверхности звезды в рамках стандартной модели (Авни и Бакал, 1974, 1975, 1975а, Викрамасинг и Велан, 1975, Бочкарев и др., 1975, 1979, Хатчингс, 1978, Вильсон, 1975), интенсивность излучения dI_λ испускаемого этой площадкой в данной длине волны λ под углом γ к нормали к ней выразим в виде:

$$dI_\lambda = B_\lambda(T) [1 - u(\lambda, T)(1 - \cos \gamma)] \cos \gamma dS, \quad (6)$$

где $u(\lambda, T)$ — коэффициент потемнения диска к краю,^{*)} для вычисления которого можно использовать результаты расчетов моделей тонких звездных атмосфер в широком диапазоне изменения λ , T (Григар и др., 1972, Клиггесмит и Собески, 1970; $B_\lambda(T)$ — функция Планка; T — температура площадки dS . Для площадок, на которые падает рентгеновское излучение T есть функция координат на поверхности оптической звезды и коэффициента $k^{**})$ — отношения L_x и L_v — болометрических светимостей рентгеновского источника и оптической звезды. $T = T(\vec{r}; k)$, где $k = L_x/L_v$ вычисляется по формуле

$$T(\vec{r}; k) = \sqrt[4]{T_0^4(\vec{r}) + \frac{\kappa \cos \alpha}{4\pi r^2} k L_v^*} \quad (7)$$

$$L_v^* = \iint_S T_0^4(\vec{r}) ds,$$

где интегрирование производится по поверхности оптической звезды, здесь $\kappa^{***})$ — коэффициент переработки рентгеновского излучения, α —

*) — Численные расчеты показали, что при малых k $u(\lambda, T)$ можно считать постоянным вдоль поверхности оптической звезды, где k — отношение болометрических светимостей рентгеновской и оптической звезды.

**) — Величина k определяется из данных оптических и рентгеновских наблюдений.

***)) — Значение κ можно оценить из теории прогрева оптической звезды рентгеновским излучением (Баско и Сюняев, 1973) и для горячих звезд можно положить равным 0.5, для холодных 1.

угол между нормалью к dS и направлением на рентгеновский источник, ρ — расстояние между dS и рентгеновским источником. $T_0(\vec{r}) =$

$= T_0 \left[\frac{g(\vec{r})}{g_0} \right]^\beta$, где T_0 — среднее значение эффективной температуры оптической звезды, определяемое по ее спектральному классу, g_0 — среднее по поверхности оптической звезды ускорение силы тяжести $g(\vec{r})$, $\beta = 0.25$ для оболочки звезды, находящейся в лучистом равновесии (Шейпель, 1924), $\beta = 0.08$ для конвективной оболочки (Люси, 1967). Отметим, что вблизи точки L_1 формула для $T_0(\vec{r})$ неверна, однако вклад этих областей поверхности в полную светимость мал и влиянием этого фактора можно пренебречь. $g(\vec{r}) = |\text{grad } \Omega(\vec{r})|$. По формуле (7) вычисляется температура тех площадок, на которые попадает рентгеновское излучение, для остальных площадок $T_0(\vec{r}) = T_0 [g(\vec{r})/g_0]^\beta$. Формула (7) учитывает эффект отражения, связанный с прогревом поверхности оптической звезды излучением компактного объекта и получена в предположении, что рентгеновское излучение, падающее на оптическую звезду термализуется на больших оптических глубинах. Таким образом, распределение температуры по поверхности оптической звезды имеет вид:

$$T(\vec{r}) = \begin{cases} T(\vec{r}; k), & \vec{r} \in M \\ T_0(\vec{r}), & \vec{r} \notin M, \end{cases} \quad (8)$$

где M — множество состоящее из площадок, возмущенных рентгеновским излучением спутника.

Полную постановку задачи завершает введение параметра i — угла наклона орбиты, т.е. угла между линией зрения и нормалью к плоскости орбиты. Для вычисления направляющих косинусов единичного вектора $\vec{a}_0$, лежащего вдоль линии зрения введем неподвижную систему координат (X, Y, Z) с началом в центре масс оптической звезды. Оси OX и OY лежат в плоскости орбиты, ось OZ совпадает с линией центров звезд в момент их соединения, ось OZ составляет угол i с лучом зрения. Если θ — угол относительного поворота компонент (угол между OX и OX'), то в подвижной системе координат

$$\vec{a}_0 = (\sin i \cdot \cos \theta, \sin i \cdot \sin \theta, \cos i).$$

Координаты $\vec{n}_1$ — единичного вектора перпендикулярного к элементарной площадке находятся по формуле:

$$\vec{n}_1 = - \frac{\text{grad } \Omega}{|\text{grad } \Omega|} = (l, m, n).$$

Тогда $\cos \gamma = (\vec{a}_0, \vec{n}_1)$, а

$$dS = \frac{r^2(n, \phi) \sin \eta \, d\eta \, d\phi}{\lambda l + \mu m + \nu n}, \quad (9)$$

где $r(\eta, \phi)$ есть решение уравнения (2) при фиксированных η и ϕ , а λ, μ, ν вычисляются согласно (1).

Полное наблюдаемое излучение звезды получается суммированием потоков в направлении земного наблюдателя от каждой видимой им элементарной площадки. Условием "видимости" является выполнение неравенства:

$$\cos \gamma > 0 \quad (10)$$

Таким образом задание трех параметров q, μ и i однозначно определяет блеск системы.*)

Следовательно, теоретическую монохроматическую кривую блеска в интенсивностях рассматриваемой системы можно представить следующей функциональной зависимостью:

$$f_{\nu}^T(\theta) = f_{\nu}^T(\theta, q, \mu, i).$$

Однако обычно от кривой блеска в шкале интенсивностей переходят к кривой в шкале разностей звездных величин по формуле

$$l_{\nu}^T(\theta) = -2.5 \lg \frac{f_{\nu}^T(\theta)}{f_{\nu}^T(90^\circ)}.$$

Таким образом будем считать, что в разностях звездных величин

$$l_{\nu}^T(\theta) = l_{\nu}^T(\theta; q, \mu, i). \quad (11)$$

II. Усложним теперь рассматриваемую модель. А именно: будем предполагать, что в системе вокруг рентгеновского источника имеется плоский, круглый, оптически непрозрачный, светящийся аккреционный диск, расположенный в плоскости орбиты.

В рамках такой модели в системе при определенных углах i будут иметь место затмения аккреционного диска оптической звездой и наоборот.

Пусть r_d радиус аккреционного диска в долях расстояния между компонентами, f_d — его монохроматическая светимость, которая обычно выражается в долях монохроматической светимости оптической звезды, т.е. $f_d = k_1 f_{\nu}^T(90^\circ)$, где k_1 — параметр задачи. Тогда теоретическую монохроматическую кривую блеска можно представить в виде следующей функциональной зависимости:

$$f^T(\theta) = f^T(\theta; q, \mu, i, r_d, k_1) \quad (12)$$

Согласно Пачинскому (1977), можно положить $r_d = \frac{1-\xi^*}{2}$. В этом случае можно считать, что

$$f^T(\theta) = f^T(\theta; q, \mu, i, k_1). \quad (13)$$

*) Величины $T_0, U(\lambda, T), \beta, k, \lambda$ считаем фиксированными.

В связи с тем, что диск непрозрачен, изменится условие "видимости" элементарной площадки dS на поверхности Роша (10). Из всех "видимых" площадок нужно оставить лишь те, которые не затмеваются диском. Если центр площадки dS имеет координаты (r, η, ϕ) , то координаты точки пересечения (x_0, y_0) прямой, проходящей через этот центр и параллельной линии зрения с плоскостью $Z=0$ вычисляются по следующим формулам:

$$\begin{aligned} x_0 &= r \cos \eta - r \sin \eta \sin \phi \cos \theta \operatorname{tg} i \\ y_0 &= r \sin \eta \cos \phi - r \sin \eta \sin \phi \sin \theta \operatorname{tg} i. \end{aligned} \quad (14)$$

И площадки, которые не затмеваются диском должны удовлетворять условию:

$$(x_0 - 1)^2 + y_0^2 > r_d^2.$$

Итак, условиями, которыми надо руководствоваться при отборе "видимых" площадок dS будут:

$$\begin{cases} \cos \gamma > 0, & (x_0 - 1)^2 + y_0^2 > r_d^2, & 90^\circ < \theta < 270^\circ \\ \cos \gamma > 0, & & 270^\circ < \theta < 90^\circ \end{cases} \quad (*) \quad (15)$$

Отметим, что

$$f^T(\theta) = f_v^T(\theta) + f_d^T(\theta), \quad (16)$$

причем

$$f_d^T(\theta) = f_d^T(\theta; k_1). \quad (17)$$

Остановимся теперь на суммировании потока от диска, т.е. на вычислении $f_d^T(\theta)$. Для этого разбиваем плоскость диска на площадки dS с равной площадью. Пусть (x_1, y_1, z_1) — координаты центра этой площадки. Они легко вычисляются в системе координат (X, Y, Z) . Тогда уравнение в параметрическом виде прямой, проходящей через центр dS и параллельной лучу зрения будет иметь вид:

$$\begin{cases} X = x_1 + t \sin i \cos \theta \\ Y = y_1 + t \sin i \sin \theta \\ Z = t \cos i \end{cases} \quad (18)$$

т.к. $z_1 = 0$.

Условием "видимости" площадки dS на аккреционном диске является условие не пересечения прямой (18) с поверхностью Роша, уравнение которой в декартовой системе (X, Y, Z) имеет вид:

$$\Omega = \frac{1}{\sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}} + q \left[\frac{1}{\sqrt{(X-1)^2 + Y^2 + Z^2}} - X \right] + \frac{q+1}{2} (X^2 + Y^2). \quad (19)$$

*) Считаем, что в фазе $0:0$ спереди находится оптическая звезда.

Таким образом

$$f_d^T(\theta) = \begin{cases} f_d \cos \gamma, & 90^\circ < \theta < 270^\circ \\ \left[\frac{f_d}{\pi r_d^2} \sum dS \right] \cos \gamma, & 270^\circ < \theta < 90^\circ. \end{cases} \quad (20)$$

При суммировании учитываются только те площадки dS , которые не затмеваются оптической звездой.

Итак, задав q, i, μ, k_1 , мы можем теоретически синтезировать кривую блеска $I^T(\theta; q, \mu, i, k_1)$, пронормировав (16) на фазу 90° , т.е. на величину $f^T(90^\circ)$.

Имея программу синтеза кривой блеска $I^T(\theta; q, \mu, i, k_1)$ можно решать задачу определения доверительных интервалов параметров q, μ, i, k_1 (Балог и др., 1980, 1981).

ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА

Программа синтеза теоретической монохроматической кривой блеска $I^T(\theta; q, \mu, i, k_1)$ была составлена на языке ФОРТРАН для БЭСМ-6 (см. приложение 1). В предполагаемом варианте сетка по фазовому углу θ равномерная и задается числом M , которое характеризует число ее узлов. Однако не трудно модифицировать программу для неравномерной сетки по θ . Для теоретического синтеза кривой необходимо задать следующие параметры: $q, \mu, i, k_1; \beta, \kappa, T_0, \lambda, U(\lambda, T_0)^*) k$. К числу входных параметров следует также отнести: K, J — число точек разбиения поверхности Роша равномерными сетками по ϕ и η ; J_d и d_0 — число точек разбиения диска по углу и начальный полярный радиус в разбиении диска площадками dS равной площади, dt — шаг по параметру t в (18). В программе предусмотрен переключатель таким образом, что задавая параметр N можно синтезировать либо кривую эллипсоидальности ($N=1$), либо кривую блеска с учетом только затмения диском ($N=0$), либо кривую с учетом как затмения диском, так и затмения диска ($N=-1$).

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Оператором DATA вводятся следующие параметры системы:

Q — отношение масс компонент $q = m_x/m_y$,

$ROCHE$ — коэффициент заполнения полости Роша μ ,

$UGOL$ — угол наклона орбиты i ,

T — температура оптической звезды $T_0 \approx T_{эфф}$,

$VAVEL$ — длина волны λ ,

U — коэффициент потемнения $U(\lambda, T_0)$,

FK — отношение светимостей $k = L_x/L_y$,

$CONSTJ$ — коэффициент переработки рентгена κ ,

$BETA$ — показатель гравитационного потемнения β .

*) В программе $U(\lambda, T_0) = const$. При больших k это последнее условие заведомо неверно, но программу легко изменить, так чтобы $U(\lambda, T) = \phi(dS)$.

К числу входных параметров следует отнести также:

IPSI — число точек по фазовому углу θ M,

KFI, JET — число точек разбиения поверхности Роша по ϕ и η K и J,

JTET — число точек разбиения диска по углу J_d ,

DED 1 — начальный полярный радиус d_0 в разбиении диска площадками dS равной площади,

PAR — значение k_1 ,

DT — шаг dt по параметру t в (18),

Цикл DO 3 I=1, IPSI

3 PSI(I) = ((I-1)/18.+1.)*PI вводит равномерную сетку по фазовому углу θ в радианах с шагом 10° . Отметим, что все трансцендентные уравнения в данной программе решаются при помощи стандартной программы NEWTON, имеющейся на библиотечной ленте I НИВЦ МГУ. Первое такое обращение к NEWTONу вычисляет корень уравнения (4) — ξ^* . Далее в циклах

DO 718 K=1, KFI

DO 788 J=1, JET

:

:

788 ETNEW=ETNEW+DET

718 FI8=FI8+DFI

вычисляется массив RR, который состоит из значений $r(\eta, \phi)$, а также массивы G, EL, EM, EN, DS, CALF, в которых содержатся следующие величины $g(\vec{r})$, l , m , n , dS , $\cos \alpha$.

Цикл DO 758 K=1, KFI

DO 758 J=1, JET

:

:

758 FLB=FLB+DS(K, J) * (T*(G(K, J)/GMEAN)**BETA)**4

вычисляет общий болометрический поток от оптической звезды. Распределение температуры $T(\vec{r})$ по поверхности оптической звезды вычисляется в цикле

DO 1 K=1, KFI

DO 1 J=1, JET

:

:

1 C2(K, J)=H*C/(VAVEL*B*TE)

Цикл DO 6 K=1, KFI

DO 6 J=1, JET

:

:

6 CONTINUE

находит блеск оптической звезды в фазе $\pi/2$.

*) Чтобы отличать букву O от цифры ноль будем цифру ноль перечеркивать — 0.

Циклы

```

DO 73 K=1, KFI
DO 72 J=1, JET
.
.
72 ETNEW=ETNEW+DET
73 FI8=FI8+DFI

```

служат для суммирования потоков от элементарных площадок dS на поверхности Роша, причем блок, начинающийся оператором с меткой 282 служит для учета затмения диском. Далее идет блок операторов (начиная с оператора с меткой 284), который вычисляет блеск аккреционного диска.

В цикле

```

DO 81 I=1, IPSI
.
.
81 FLUXC(I)=-2.5*ALOG18(FLUXC(I)/FLUX)

```

происходит нормировка кривой блеска на фазу 90° и по окончании работы этого цикла имеем массив FLUXC—монохроматический блеск системы в разностях звездных величин для различных фазовых углов. По ходу работы программы выводятся на печать параметры системы, а в конце работы программы—синтезированная кривая блеска.

Программы функций и их производных VF2, SYSTEM, VDF2R, DERIVE, а также подпрограмма—функция LIMITE нужны для работы NEWTONa. Подпрограмма ECLDIS учитывает затмение диска для точек на кривой блеска, начиная с K1 и кончая K2.*)

РАСЧЕТ МОДЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ

Для проверки работы составленной программы был произведен синтез кривой блеска модельной задачи.

Параметры системы вводились следующим оператором:**)

```

DATA(Q=2.), (ROCHE=1.), (UGOL=7.), (T=3500.),
(VAVEL=12500.),
*(U=.5), (BETA=.08), (CONSTJ=1.), (FK=.1),
(IPSI=37), (PAR=.5),
*(JET=18), (KEI=36), (JTET=36), (DED1=.1),
(DT=.1).

```

В приложении 2 приведены синтезированные кривые блеска соответственно для заданного оператором присваивания параметра $N=1, 0, -1$. На каждой распечатке указаны параметры системы. При выбранной нами конечно-разностной аппроксимации (см. последнюю строку оператора DATA) точность синтезированной кривой блеска будет не хуже, чем 0.0001 .

*) K1 и K2 выбираются согласно (20).

**) $q=2, \mu=1, i=70^\circ, T_0=3500^\circ, \lambda=12500 \text{ \AA}, U=0.5, \beta=0.08, \kappa=1., k=0.1, M=37, k_1=0.5, J=18, K=36, J_d=36, d_0=0.1, dt=0.1$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанная выше программа позволяет за 30–50 секунд машинного времени синтезировать монохроматическую кривую блеска двойной системы, содержащей рентгеновскую компоненту. Причем она содержит переключатель, что позволяет вести синтез как с учетом аккреционного диска, так и без него. Вычисление невязки теоретической и экспериментальной кривых позволяет делать выводы о параметрах q , μ , i , k_1 реальных звездных систем.

Литература

- Авни и Бакалл, 1974 – Avni Y., Bahcall J.N., ApJ 192, L 139.
 Авни и Бакалл, 1975 – Avni Y., Bahcall J.N., ApJ 197, 675.
 Авни и Бакалл, 1975a – Avni Y., Bahcall J.N., ApJ 202, L 131.
 Балог Н.И., Гончарский А.В., Черепашук А.М., 1980, АЦ № 1095.
 Балог Н.И., Гончарский А.В., Черепашук А.М., 1981, АЖ 58, в печати.
 Баско М.М., Сюняев Р.А., 1973, Ap.Sp.Sci. 23, 71.
 Бочкарев Н.Г., Карицкая Е.А., Шакура Н.И., 1975, ПАЖ 1, № 6, 12.
 Бочкарев Н.Г., Карицкая Е.А., Шакура Н.И., 1979, АЖ 56, 16.
 Викрамасинг и Велан, 1975 – Wicramasinghe D.T., Whelan J., MN 172, 175.
 Вильсон, 1975 – Wildon R.E., ApJ 181, L 75.
 Григар и др., 1972 – Grygar J., Cooper M.L., Jurkevich I., BAC 23, 147.
 Клингесмит и Собески, 1970 – Klinglesmith D.A., Sobieski S., AJ 75, 175.
 Копал, 1959 – Kopal Z., "Close Binary Systems", London, Chapman and Hall.
 Люси, 1967 – Lucy L.B., Z.f. Aph. 65, 89.
 Пачинский, 1977 – Paczynski B., ApJ 216, 822.
 Соболев В.В., 1975, "Курс теоретической астрофизики", "Наука", М.
 Хатчингс, 1978 – Hutchings J.B., ApJ 226, 264.
 Цейпель, 1924 – Zeipel Von H., MN 84, 665, 684.
 Цесевич В.П. (ред.), 1971, "Затменные переменные звезды", "Наука", М.
 Московский государственный университет
 Гос. астрономический ин-т им. П.К. Штернберга

Поступила в редакцию
9 декабря 1981 г.

```

NHPP 043118 3CM-
LHCT 0-37-
NOPTOP-
BPM 240-
EEL1A3
*NAME
*ASSIGN LIBRARY 1
PROGRAM TEST1
EXTERNAL LIMIT,VF2,VDF2R,SYSTEM,DERIVE
COMMON/PI/PI/DED/DED/UG/UG/X0/X0/Y0/Y0/Z0/Z0
*/ETNEW/ETNEW/FIO/FIO/G/G/OM/OM
DIMENSION R(1),F2(1),FLUXC(37),G(36,18),DS(36,18),Z(1),F3(1),
*EL(36,18),EM(36,18),EN(36,18),RR(36,18),PSI(37),
*CALF(36,18),C2(36,18)
DATA(R=2.),(ROCHE=1.),(UGOL=70.),(T=3500.),(VAVE=12500.),(
*(U=.5),(BETA=.08),(CONST=1.),(FK=.1),(PSI=37),(PAR=.7),
*(JET=18),(KFI=36),(JTET=36),(DED1=.1),(DT=.1)
N=-1
108 PRINT 96,G,ROCHE,FK,T,U,JET,KFI
PRINT 111,PSI
PRINT 242,BETA
PRINT 103,CONSTJ
PRINT 104,VAVE
PRINT 95,UGOL
IF(N.EQ.-1)PRINT 333,DED1,JTET,DT
IF(N.EQ.-1)PRINT 102,PAR
101 FORMAT(2X,'ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ',I2)
PRINT 101,N
102 FORMAT(2X,'ОТНОШЕНИЕ СВЕТИМОСТЕЙ ДИСКА И ОПТИЧЕСКОЙ',
*ЗВЕЗДЫ',F5.2)
220 IF(N) 205,206,207
205 PRINT 208
208 FORMAT(2X,'КРИВАЯ ЗАТНЕНИЯ ДИСКА И ДИСКОН',
*В РАЗНОСТЯХ ЗВЕЗДАНЫХ ВЕЛИЧИН:')
GO TO 203
206 PRINT 210
210 FORMAT(2X,'КРИВАЯ ЗАТНЕНИЯ ДИСКОН В РАЗНОСТЯХ',
*ЗВЕЗДАНЫХ ВЕЛИЧИН:')
GO TO 203
207 PRINT 211
211 FORMAT(2X,'КРИВАЯ ЭЛЛИПСОИДАЛЬНОСТИ В РАЗНОСТЯХ',
*ЗВЕЗДАНЫХ ВЕЛИЧИН:')
209 VAVE=VAVE/10000.
212 FORMAT(2X,'ПОКАЗАТЕЛЬ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА БЕТА=',F5.2)
PI=3.14159265359
103 FORMAT(2X,'КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕРАБОТКИ РЕНТГЕНА',F5.2)
H=6.6261760E-2.979245808=1.380662
DO 3 I=1,IPSI
3 PSI(I)=((I-1)/18.+1.)*PI
102 FORMAT(2X,'ДЛИНА ВОЛНЫ=',F8.1,1X,'А')
95 FORMAT(2X,'УГОЛ НАКЛОНА ОРБИТЫ В ГРАДУСАХ=',F5.1)
96 FORMAT(2X,'ВХОДЯЩИЕ ПАРАМЕТРЫ:',/,
*2X,'Q=MX/MV=',F6.3,/,2X,'КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПОЛНЕНИЯ ПОЛОСТИ РОМА=',
*F5.2,/,2X,'K=',F6.3,/,2X,'T=',F8.1,/,2X,'U=',F5.2,
*/,2X,'ОПТИЧЕСКАЯ ЗВЕЗДА РАЗБИТА НА',I2,'=',I2,'ПЛОЩАДОК')
UG=UGOL*PI/180.
334 Z=0.
NEW=NEWTON(1,0,5,10,50,50,Z,F3,LIMIT,SYSTEM,DERIVE)
IF(NEW.LT.0)PRINT 98
99 FORMAT(10X,'МЕТОД НЬЮТОНА РАССХОДИТСЯ')
AD=.25*(1.-Z)+.2
OM=1./Z+Q*(1./((1.-Z)-Z)+0.5*(1.+Q)=Z+.2*FIO=0.5*PI*ETNEW=FIO
R=1./(OM-Q)
NEW=NEWTON(1,0,5,10,50,50,R,F2,LIMIT,VF2,VDF2R)
IF(NEW.LT.0)PRINT 98
98 FORMAT(10X,'МЕТОД РАССХОДИТСЯ')
RP=ROCHE=ROHM=1./RP+Q/SQRT(1.+RP+.2)
DFI=PI/JET
FIO=DFI*0.5
DET=DFI
SUM=0.
RB=1./(OM-Q)
DO 7 I0 K=1,KFI
ETNEW=DET+.5*DD07003=L,JET*F2(1)=RB
NEW=NEWTON(1,0,5,10,50,50,R,F2,LIMIT,VF2,VDF2R)
IF(NEW.LT.0)PRINT 97,K,J
97 FORMAT(10X,'K=',I3,10X,'J=',I3)
VLA=COS(ETNEW)*VNU=SIN(ETNEW)*SIN(FIO)*VNU=SIN(ETNEW)*COS(FIO)
RO=1./SQRT(1.-2.*VLA*R+R+.2)

```

```

OMR=(Q+1.)*R*(1.-VNU**2)-1./R**2+Q*(VLA*(R0**3-1.)-R*R0**3)
OMET=SIN(ETNEW)*(Q*(1.-R0**3)-(Q+1.)*R*VLA*SIN(FIO)*R2)
OMFI=-(Q+1.)*R*VNU*COS(FIO)
Q(K,J)=SQRT(OMR**2+OMET**2+OMFI**2)
OMX=OMR*VLA-OMET*SIN(ETNEW)
OMY=OMR*VNU+OMET*COS(FIO)*VLA-OMFI*SIN(FIO)
OMZ=OMR*VNU+OMET*VLA*SIN(FIO)+OMFI*COS(FIO)
EL(K,J)=-OMX/Q(K,J)
EM(K,J)=-OMY/Q(K,J)
EN(K,J)=-OMZ/Q(K,J)
CALF(K,J)=R0**3*(EL(K,J)*(1.-R*VLA)-R*(EM(K,J)*VNU+EN(K,J)
*VNU))
DS(K,J)=R**2*SIN(ETNEW)/(VLA*EL(K,J)+VNU*EM(K,J)+VNU*EN(K,J))
*DET=DFI
SUMG=SUMG+G(K,J)
RR(K,J)=R
700 ETNEW=ETNEW+DET
710 FIO=FIO+DFI
QMEAN=SUMG/(KFI*JET)
KFI=9
FLB=0
DO 750 K=1,KFI
DO 750 J=1,JET
750 FLB=FLB+DS(K,J)*(T*(Q(K,J)/QMEAN)**BETA)**4
FLB=FLB/PI
KFI=36
DO 1 K=1,KFI
DO 1 J=1,JET
TE=T*(Q(K,J)/QMEAN)**BETA
IF(CALF(K,J).GT.0.)TE=SQRT(SQRT(TE**4+CONSTJ)*CALF(K,J)*FK*FLB)
TE=TE/1000.
1 C2(K,J)=H*G/(VAVE*B*TE)
FLUX=0.
DO 6 K=1,KFI
DO 6 J=1,JET
COG=3IN(UG)*EM(K,J)+COS(UG)*EN(K,J)
IF(COG.GT.0.)FLUX=FLUX+(1.-UG*(1.-COG))*DS(K,J)*COG/
*(EXP(C2(K,J))-1.)
6 CONTINUE
4 DO 60 I=1,IPSI+FLUXC(I)=0.
FIO=DFIO.5
DO 73 K=1,KFI
ETNEW=DET*0.5
DO 72 J=1,JET
COGA=SIN(UG)*(EL(K,J)*COS(PSI(I))+EM(K,J)*SIN(PSI(I))
*)
*+COS(UG)*EN(K,J)
IF(COGA.LE.0.)GO TO 72
IF(N)202,202,2
202 IF(UG.EQ..5*PI)GO TO 2
IF(PSI(I).LE.1.5*PI.OR.PSI(I).GE.2.5*PI)GO TO 2
XD=RR(K,J)*(COS(ETNEW)-SIN(ETNEW)*COS(PSI(I))*SIN(FIO)
*+SIN(UG)/COS(UG))
YD=RR(K,J)*SIN(ETNEW)*(COS(FIO)-SIN(FIO)*SIN(PSI(I))
*+SIN(UG)/COS(UG))
RD=(XD-1.)*0.2+YD**2
IF(RD.LT.AD)GO TO 72
2 FLUXC(I)=FLUXC(I)+(1.-UG*(1.-COGA))*DS(K,J)*COGA/(EXP(C2(K,J))-1.)
72 ETNEW=ETNEW+DET
73 FZO=FZO+DFI
60 CONTINUE
IF(N)204,200,200
204 FIO=0.
ETNEW=0.
R=RB
NEW=NEWTON(1,0,5,10,50,50,R,F2,LIMIT,VF2,VDF2R)
X0=R
R=RB
FIO=.5*PI
ETNEW=FIO
NEW=NEWTON(1,0,5,10,50,50,R,F2,LIMIT,VF2,VDF2R)
Z0=R
R=RB
FIO=0.
NEW=NEWTON(1,0,5,10,50,50,R,F2,LIMIT,VF2,VDF2R)
XB=R
AD=SQRT(AB)
XD1=(AD/DED1)**2
XD=XD1**3
DED=AD/SQRT(XD)

```

```

      PFLUX=PAR*FLUX/(AD**2*PI)
333 FORMAT(2X,'PA3EHENHE AKCKA=',FS.2,' ',I2,/,2X,
      *'MAF NO PARAMETPY=',FS.2)
      CALL ECLDIS(1,3,37,ND,JTET,FLUXC,PFLUX,.1,PSI)
      CALL ECLDIS(27,37,37,ND,JTET,FLUXC,PFLUX,.1,PSI)
      FLUXD=PAR*FLUX
      FLUX=FLUX+FLUXD*COS(UG)
      DO 301 I=10,26
301 FLUXC(I)=FLUXC(I)+FLUXD*COS(UG)
200 DO 81 I=1,IP3I
      FLUXC(I)=-2.5*ALOG10(FLUXC(I)/FLUX)
      PRINT 100,FLUXC
100 FORMAT(10(F7.4,2X))
111 FORMAT(2X,'CETKA NO PA3E OT 0 AO 360=',I2)
      STOP*END
      SUBROUTINE DERIVE(N,Z,D)
      DIMENSION Z(1),D(1,2)
      COMMON/Q/Q
      D(1,1)=5.*(1.+Q)*Z**4-4.*(2.+3.*Q)*Z**3+3.*(1.+3.*Q)*Z**2-2.*
      *Z+2.*RETURN*END
      SUBROUTINE SYSTEM(N,Z,F3)
      DIMENSION Z(1),F3(1)
      COMMON/Q/Q
      F3(1)=(1.+Q)*Z**5-(2.+3.*Q)*Z**4+(1.+3.*Q)*Z**3-Z**2+2.*Z-1.
      RETURN*END
      FUNCTION LIMIT(N,R)
      DIMENSION R(1)
      LIMIT=1
      IF(R.LE.0.)LIMIT=-1
      RETURN
      END
      SUBROUTINE VF2(N,R,F2)
      COMMON/ETNEW/ETNEW/FI0/FI0/OM/OM/Q/Q
      DIMENSION R(1)
      F2=1./R+Q*(1./SQRT(1.-2.*R*COS(ETNEW)+R**2))-R*COS(ETNEW))+
      *.5*(Q+1.)*R*R*(1.-(SIN(FI0)*SIN(ETNEW))**2)-OM
      RETURN
      END
      SUBROUTINE VDF2R(N,R,D)
      DIMENSION R(1),D(1,2)
      COMMON/ETNEW/ETNEW/FI0/FI0/Q/Q
      D=(Q+1.)*R*(1.-(SIN(ETNEW)*SIN(FI0))**2)-1./R**2-Q*(1./
      *-2.*R*COS(ETNEW)+R**2)**1.5*(R-COS(ETNEW))+COS(ETNEW))
      RETURN
      END
      SUBROUTINE ECLDIS(K1,K2,IP,ND,JTET,F,PFLUX,DT,PSI)
      REAL F(IP),PSI(IP)
      COMMON/PI/PI/DED/DED/UG/UG/Q/Q/X0/X0/Y0/Y0/Z0/Z0/OM/OM
      DO 1 I=K1,K2
      SD=0.
      DO 3 N=1,ND
      DO 3 J=1,JTET
      X1=1.-(SQRT(N-1.))+SQRT(N)*.5*COS(PI/(.5*JTET)*(J-1.))+PI/JTET)*DED
      Y1=(SQRT(N-1.))+SQRT(N)*.5*SIN(PI/(.5*JTET)*(J-1.))+PI/JTET)*DED
      COSX=SIN(UG)*COS(PSI(I))
      COSY=SIN(UG)*SIN(PSI(I))
      COSZ=COS(UG)
      DO 2 M=1,20
      X=X1+DT*M*COSX,Y=Y1+DT*M*COSY,Z=Z0+DT*M*COSZ
      IF(X.GE.X0) GOTO20IF(Y.GE.Y0) GOTO20IF(Z.GE.Z0) GOTO2
      OMEGA=1./SQRT(X**2+Y**2+Z**2)+Q*(1./SQRT((X-1.)**2+Y**2+Z**2)
      *-X)+(1.+Q)*.5*(X**2+Y**2)
      IF(OMEGA.LE.OM) GOTO 2,GOTO 3
2 CONTINUE
      SD=SD+(DED**2*PI/JTET)*PFLUX
3 CONTINUE
      F(I)=F(I)+SD*COS(UG)
1 CONTINUE*RETURN*END
*CALL FICMEMORY
*EXECUTE
*END FILE

```

ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ:
Q=Mx/Mv= 2.000
КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПОЛНЕНИЯ ПОЛОСТИ РОША= 1.00
K= 0.100
T= 3500.0
U= 0.50
ОПТИЧЕСКАЯ ЗВЕЗДА РАЗВИТА НА18*36ПЛОЩАДОК
СЕТКА ПО ФАЗЕ ОТ 0 ДО 360=37
ПОКАЗАТЕЛЬ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕМНЕНИЯ БЕТА= 0.08
КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕРАБОТКИ РЕНТГЕНА= 1.00
ДЛИНА ВОЛНЫ= 12500.0 А
УГОЛ НАКЛОНА ОРБИТЫ В ГРАДУСАХ= 70.0
ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ= 1
Кривая эллипсoidalности в разностях звездных величин:
0.1859 0.1816 0.1686 0.1502 0.1248 0.0944 0.0617
0.0028 0.0193 0.0491 0.0893 0.1334 0.1754 0.2106
0.2406 0.1754 0.1334 0.0893 0.0491 0.0193 0.0028
0.0617 0.0944 0.1248 0.1502 0.1686 0.1816 0.1859

0.0323 0.0108 -0.0000
0.2340 0.2423 0.2340
0.0000 0.0108 0.0323

ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ:
Q=Mx/Mv= 2.000
КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПОЛНЕНИЯ ПОЛОСТИ РОША= 1.00
K= 0.100
T= 3500.0
U= 0.50
ОПТИЧЕСКАЯ ЗВЕЗДА РАЗВИТА НА18*36ПЛОЩАДОК
СЕТКА ПО ФАЗЕ ОТ 0 ДО 360=37
ПОКАЗАТЕЛЬ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕМНЕНИЯ БЕТА= 0.08
КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕРАБОТКИ РЕНТГЕНА= 1.00
ДЛИНА ВОЛНЫ= 12500.0 А
УГОЛ НАКЛОНА ОРБИТЫ В ГРАДУСАХ= 70.0
ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ= 0
Кривая затмения диском в разностях звездных величин:
0.1859 0.1816 0.1686 0.1502 0.1248 0.0944 0.0617
0.0028 0.0193 0.0491 0.0893 0.1334 0.1754 0.2106
0.2406 0.1754 0.1334 0.0893 0.0491 0.0193 0.0028
0.0617 0.0944 0.1248 0.1502 0.1686 0.1816 0.1859

0.0323 0.0108 -0.0000
0.2593 0.2786 0.2593
0.0000 0.0108 0.0323

ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ:
Q=Mx/Mv= 2.000
КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПОЛНЕНИЯ ПОЛОСТИ РОША= 1.00
K= 0.100
T= 3500.0
U= 0.50
ОПТИЧЕСКАЯ ЗВЕЗДА РАЗВИТА НА18*36ПЛОЩАДОК
СЕТКА ПО ФАЗЕ ОТ 0 ДО 360=37
ПОКАЗАТЕЛЬ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОТЕМНЕНИЯ БЕТА= 0.08
КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕРАБОТКИ РЕНТГЕНА= 1.00
ДЛИНА ВОЛНЫ= 12500.0 А
УГОЛ НАКЛОНА ОРБИТЫ В ГРАДУСАХ= 70.0
РАЗЪЕМ ДИСКА= 0.10*36
ШАГ ПО ПАРАМЕТРУ= 0.10
ОТНОШЕНИЕ СВЕТИМОСТЕЙ ДИСКА И ОПТИЧЕСКОЙ ЗВЕЗДЫ= 0.50
ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ=-1
Кривая затмения диска и диском в разностях звездных величин:
0.1807 0.1713 0.1465 0.1269 0.1057 0.0801 0.0524
0.0024 0.0164 0.0418 0.0758 0.1128 0.1479 0.1818
0.1818 0.1479 0.1128 0.0758 0.0418 0.0164 0.0024
0.0524 0.0801 0.1057 0.1269 0.1465 0.1713 0.1807

0.0275 0.0092 -0.0000
0.2174 0.2332 0.2174
0.0000 0.0092 0.0275