TRANSFERENCIA DE MATERIA Y PERDIDA DE MOMENTO ANGULAR EN SISTEMAS BINARIOS CERRADOS

TRANSFER OF MATTER AND LOSS OF ANGULAR MOMENT IN CLOSE BINARY SYSTEMS

R.F. Sisteró y S.L. Lipari

OAC - IMAF

RESUMEN: Se presentan fórmulas explícitas para la variación relativa de período como consecuencia de la transferencia de materia y/o pérdida isotrópica desde cada una de las componentes. Se incluye además el caso de radiación gravitacional. Se estudian los efectos fotométricos originados por transferencia de materia en sistemas próximos al contacto.

ABSTRACT: Explicit formulae for the relative variation of the period for binaries systems are given for isotropic loss of matter from the components, as well as for mass transference between the components (gravitational radiation is also considered). The photometric effects due to transfer-of-matter in near contact systems are studied.

I. INTRODUCCION

Kruszewski (1966) y otros estudiaron la transferencia y pérdida de materia en sistemas estelares binarios. Dichos estudios supusieron condiciones "conservativas" para el sistema, o describieron situaciones caracterizadas por condiciones iniciales "localizadas". En este trabajo se desarrollan fórmulas simples para el caso de transferencia de materia entre las componentes y pérdida isotrópica llevando momento angular del sistema; asimismo se incluye el caso de radiación gravitacional. Por otra parte, se estudia el efecto fotométrico que produce un haz de materia eyectado desde una componente hacia la otra, obteniéndose además las relaciones que permiten estimar los parámetros físicos de la zona caliente que resulta de la "termalización" de la energía cinética del haz.

II. DESARROLLO DE LAS ECUACIONES

Sea un sistema binario de masas M1 y M2. Supongamos que $\dot{M}1$ y $\dot{M}2$ expresan la pérdida isotrópica (viento estelar, p. ej.) de materia de las componentes, y que $\dot{M}$ representa la transferencia de masa entre las componentes. Si $\dot{M} < 0$, la transferencia es de la componente 1 hacia 2, y viceversa; además, $\dot{M}1$ y $\dot{M}2$ son negativas si se pierde masa.

La conservación del momento angular del sistema binario (Jb) más la materia perdida (Jl) se escribe:

$$\boxed{\dot{J}_b + \dot{J}_\ell = 0} \qquad (1)$$

donde

$$J_b = M_1 a^2{}_1 \frac{(1+q)}{q} \cdot \frac{2\pi}{p} \qquad (2)$$

es el momento angular del sistema binario, y las expresiones

$$\dot{J}_\ell = \dot{J}_{\ell_1} + \dot{J}_{\ell_2} \qquad (3)$$

$$\dot{J}_{\ell 1} = a^2{}_1 \, \dot{M}_1 \, . \, \frac{2\pi}{p} \tag{4}$$

$$\dot{J}_{\ell 2} = a^2{}_2 \, \dot{M}_2 \, . \, \frac{2\pi}{p} \tag{5}$$

describen el momento angular perdido del sistema, por eyección isotrópica de las componentes. En dichas expresiones a1 y a2 son los radios baricéntricos de las órbitas, P el periodo orbital y q = M1/M2,

Teniendo en cuenta (2) y las relaciones elementales del problema de dos cuerpos entre a1, a2 y q, se puede expresar:

$$\frac{J_\ell}{J_b} = \frac{q^2 M_1 + M_2}{(1+q)\; q\; M_1} \tag{6}$$

Partiendo de la tercera Ley de Kepler, resulta:

$$a^3{}_1 \left(\frac{1+q}{q}\right)^3 = (M_1 + M_2) . p^2 . G/4\pi \tag{7}$$

y de:

$$\dot{q}/q = \dot{M}_2/M_2 - \dot{M}_1/M_1 \tag{8}$$

se halla, luego de algunos cálculos extensos, la siguiente relación:

$$\boxed{\dot{J}_b/J_b = \frac{q-1}{q} \cdot \frac{\dot{M}_1}{M_1} + \frac{2+3q}{3(1+q)} . \frac{\dot{M}_1}{M_1} + \frac{3+2q}{3(1+q)q} . \frac{\dot{M}_2}{M_1} + \frac{1}{3}\frac{\dot{p}}{p}} \tag{9}$$

Reemplazando (6) y (9) en (1), y despejando P/P, resulta:

$$\boxed{\dot{P}/P = 3\,\frac{1-q}{q}\,\dot{M}/M_1 - 2\,\frac{1+3q}{1+q}\,\dot{M}_1/M_1 - 2\,\frac{3+q}{(1+q)q}\,.\,\dot{M}_2/M_1} \qquad (10)$$

La expresión (10) nos da la variación relativa de período del sistema binario cuyas componentes pierden masa en forma isotrópica $\dot{M}1$ y $\dot{M}2$ y transfiere un flujo $\dot{M}$. Nótese que cuando $\dot{M}1$ y $\dot{M}2$ son nulas, la fórmula se reduce al caso clásico, es decir, a transferencia conservativa.

La fórmula (10) puede ser utilizada para interpretar las variaciones de periodo observables. Generalmente se lo hace en el caso conservativo, pero si se tienen datos de pérdida de masa del sistema ($\dot{M}1$ y $\dot{M}2$) -por ejemplo por observaciones del IUE- puede hallarse la transferencia entre las componentes. A su vez, puede estimarse el viento solar de acuerdo con las características de las componenetes, etc. Otro hecho importante es que la expresión (10) puede tenerse en cuenta en los cálculos explícitos de evolución y estructura de sistemas de contacto, cuando se invoca pérdida de momento angular como alternativa o complemento de la Teoría de Relajaciones Térmicas, u otras.

Para el caso de muy cortos períodos la radiación gravitacional extrae energía del sistema. Según Landau y Lifchitz (1970):

$$\frac{dE}{dt} = -\frac{32G}{5C^5}\left(\frac{M_1M_2}{M_1+M_2}\right)^2 a^4\,\omega^6 \qquad (11)$$

donde: $\omega = 2\pi/p$; $E = -GM_1M_2/2q$; $q = q_1+q_2$

Teniendo en cuenta la 3a. Ley de Kepler y la definición de E, se puede obtener:

$$\boxed{\dot{P}/P = -\frac{96}{5}\,\frac{G^{5/3}}{c^5}\,M_1^{5/3}\,\frac{q}{(1+q)^{1/3}}\cdot P^{-8/3}} \qquad (12)$$

Fácilmente puede demostrarse que los efectos combinados de pérdida de materia, transferencia y radiación gravitacional se expresan mediante la adición de (10) y (12).

III. EFECTOS FOTOMETRICOS DE LA TRANSFERENCIA DE MATERIA

En los casos en que ocurre transferencia de materia conservativa, se puede determinar observacionalmente $\dot{M}$ con la variación de período (Lípari y Sisteró, 1987). Cuando $\dot{M} < 0$ -transferencia de la primaria hacia la secundaria- la componente primaria llena su lóbulo de Roche, y la componente secundaria está por debajo del mismo. La situación resulta inversa cuando $\dot{M} > 0$.

El flujo de masa que cae sobre una de las componentes forma una zona caliente sobre su superficie. La energía cinética del haz se termaliza originando un exceso de luminosidad:

$$L_k = \Delta\,\psi\,|\dot{m}| \quad , \qquad (13)$$

donde $\Delta\psi$ es la diferencia de potencial de Roche entre el lóbulo crítico y el potencial de la componente de menor tamaño. El potencial modificado (Ω) en la notación empleada por Kopal (1959) y Mauder (1972), viene dado por:

$$\psi = G\,\frac{m_1}{r} - G\,\frac{m_2}{r'} + \frac{\omega_2}{2}\left\{\left(X - \frac{m_2}{m_1 + m_2}\right)^2 + y^2\right\} \quad ,$$

$$\Omega = \frac{\psi}{Gm_1} - \frac{m_2^2}{2m_1(m_1 - m_2)} \quad , \qquad (14)$$

y permite expresar,

$$L_k = \frac{GM_1}{a} |\dot{M}| \Delta\Omega \tag{15}$$

Esta contribución (en luminosidad) hará, en el caso M < 0, que el máximo de la curva de luz en la fase ~0.25, sea más brillante que el de fase 0.75 en la cantidad:

$$\Delta m_\lambda = 2.5 \log (1+X_\lambda) \tag{16}$$

con:

$$X_\lambda = \frac{4}{\beta} \frac{T_2}{T_k}^4 \frac{L_k}{L_2} \frac{B(\lambda,T_k)}{\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 B(\lambda,T_1)+B(\lambda,T_2)} , \tag{17}$$

donde se ha aproximado a la zona caliente (en la componente secundaria) con un cuerpo negro. La ecuación (17) en la aproximación de Raleigh-Jeans, se expresa:

$$X = \frac{4}{\beta} \left(\frac{T_2}{T_k}\right)^3 \frac{L_k}{L_2} \frac{1}{\left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \frac{T_1}{T_2} + 1} \tag{18}$$

que es independiente de la longitud de onda. En las fórmulas (17) y (18) R1 y R2 son los radios de volumen de las componentes y T1 y T2 sus temperaturas.

Resumiendo, con la variación de período se determina $\dot{M}$, y con la configuración del sistema Lk usando (15); mediante (17) ó (18) en (16) se calculan los valores Δm_λ, para diferentes temperaturas de la mancha, hasta que ésta reproduce los valores observados de las curvas de luz. Estas relaciones fueron aplicadas por primera vez para FT Lupi (Lipari y Sisteró, 1986), obteniéndose un excelente acuerdo con las observaciones y lográndose determinar la temperatura de la mancha y su superficie ($Sk = Lk/Tk^4\sigma$).

REFERENCIAS

Kruszewski, A. 1966, en "Advances in Astronomy and Astrophysics", **4**, Ed. Z. Kopal, Academic Press, New York, p. 233.

Kopal, Z. 1959, en "Close Binary Systems", Ed. Chapman & Hall.

Landau, L. y Lifchitz, E. 1970, en "Theorie des Champ", Ed. MIR, p. 431.

Lípari, S. y Sisteró, R. 1986, Mon. Not. R. Astr. Soc. **220**, 883.

Lípari, S. y Sisteró, R. 1987, Astron. J. (en prensa).

Mauder, H. 1972, Astron. and Astrophys. **17**, 1.