

EVIDENCIAS DE RESONANCIA SPIN-ÓRBITA EN LAS ESTRELLAS BINARIAS ESPECTROSCÓPICAS

EVIDENCES OF SPIN ORBIT RESONANCE AMONG SPECTROSCOPIC BINARY STARS

A.E. Troche Boggino

Universidad Nacional de Asunción
Club de Astrofísica del Paraguay

RESUMEN: Una resonancia spin-órbita ocurre cuando los períodos de rotación y de revolución orbital de un astro poseen un cociente conmensurable y es estable. Observaciones de sincronismo rotacional en las estrellas binarias de períodos de revolución de pocos días y de órbitas circulares, confirman la presencia de la resonancia spin-órbita 1/1. Además, las observaciones del sincronismo rotacional en el periastro en binarias de órbitas excéntricas, cuyas excentricidades satisfacen un criterio para la resonancia spin-órbita, indican valores mayores al de 1/1. Por otra parte, los histogramas preparados en este trabajo con datos del Séptimo Catálogo de Elementos Orbitales de Sistemas Binarios Espectroscópicos, para las excentricidades de binarias de períodos de revolución de 10 a 30 días, muestran exceso de casos en torno a la excentricidad $e = 0,19$, la cual corresponde a la resonancia spin-órbita 3/2, lo que presumimos como confirmación de dicha resonancia. Los histogramas indican también cierta acumulación de casos en torno a la excentricidad $e = 0,39$, la cual corresponde a la resonancia spin-órbita 5/2.

ABSTRACT: A spin-orbit resonance occurs when the periods of rotation and orbital revolution of a celestial body have a ratio which commensurate and this is stable. Observations of the rotational synchronism in binary stars of few days periods and circular orbits confirm 1/1 spin-orbit resonance. Also, observations of the rotational synchronism at periastron in eccentric binaries whose eccentricities satisfy a criterion for spin-orbit resonance, indicate resonance values larger than 1/1. On the other hand, the histograms made by the present author with data from the Seventh Catalogue of the Orbital Elements of Spectroscopic Binary System, for the eccentricities of binaries whose revolution periods are between 10 to 30 days, show an unusual accumulation of stars near the eccentricity $e = 0,19$, which belongs to 3/2 spin-orbit resonance. We presume this confirms such resonance. Furthermore, our histograms suggest some accumulation of stars near the eccentricity, $e = 0,39$, which belongs to 5/2 spin-orbit resonance.

1. CARACTERISTICAS RELEVANTES DE LA RESONANCIA SPIN ORBITA

Con el descubrimiento de la rotación axial del planeta Mercurio, la cual es directa y con un período sideral de 59 ± 3 días (Pettengill y Dyce, 1965; Dyce y otros, 1967) y del hecho que dicho período es conmensurable con el de revolución orbital en la razón 2/3 (Colombo, 1965), numerosas investigaciones han sido realizadas respecto de la estabilidad y la evolución de la rotación de un satélite (o planeta) hacia valores conmensurables con sus períodos de revolución orbital. Tal condición de conmensurabilidad y estabilidad es

conocida generalmente como Resonancia Spin-Órbita, Resonancia Rotacional, o Acoplamiento Spin-Órbita, para distinguirla de otros tipos de resonancias observadas en el sistema solar.

Presentamos a continuación características sobresalientes de la resonancia spin-órbita, teniendo presente su aplicación a casos que ocurren en las estrellas binarias.

En lo que sigue utilizaremos las velocidades angulares en vez de sus períodos correspondientes y llamaremos satélite, al astro en órbita considerado. Denotaremos con ω_r a la velocidad angular de rotación, ω a la velocidad angular media de revolución orbital y ω_p a la velocidad angular de revolución orbital en el periastro.

1 - La relación de conmensurabilidad entre las velocidades angulares de rotación y la de revolución orbital media para el satélite considerado en resonancia spin-órbita, es

$$(1) \quad \frac{\omega_r}{\omega} = \frac{n}{2},$$

en la cual n , es un número entero pequeño, como 1, 2, 3, ... También se incluyen números enteros negativos pequeños para las rotaciones retrógradas, las que no consideraremos en el presente trabajo. Por ejemplo, para el caso de la Luna y demás satélites con sincronismo rotacional, $n = 2$, mientras que para el planeta Mercurio, $n = 3$ (Ver Figura 1).

2 - La conmensurabilidad representada por la ecuación (1) es estable merced a una asimetría axial permanente del elipsoide de momentos de inercia del satélite. Dicha asimetría axial, si yace en el plano de la órbita, produce un torque que contrarresta al producido por el abultamiento debido a la acción de las mareas en el satélite, cuando la velocidad angular rotacional difiere de la velocidad

angular instantánea de revolución en el periastro. Consecuentemente, el eje de mínimo momento de inercia coincide aproximadamente en dirección con el radio vector astro-satélite en el periastro, salvo pequeñas elongaciones periódicas o libraciones físicas. Supondremos que en la resonancia spin-órbita se satisface la siguiente condición, salvo contribuciones de las mencionadas libraciones,

$$(2) \quad \omega_r = \omega_p$$

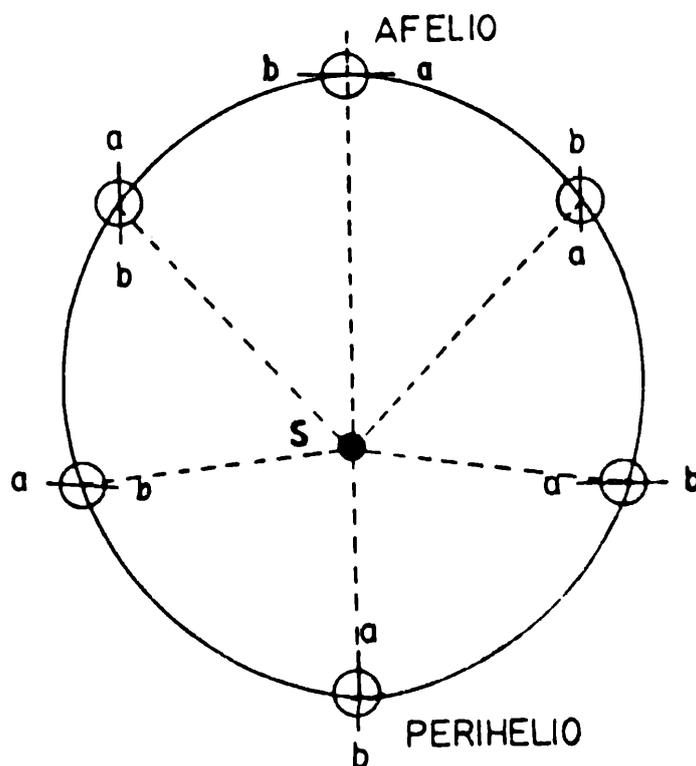


Figura 1: Rotación axial del planeta Mercurio. El segmento ab representa el eje del mínimo momento de inercia, el cual coincide aproximadamente con el eje mayor de la órbita en cada paso del planeta por el perihelio. El punto "a" volverá a apuntar hacia el Sol al cabo de 2 revoluciones orbitales, de manera que los períodos de rotación y de revolución poseen la conmensurabilidad $3/2$.

3 - La relación entre la velocidad angular en el periastro y la velocidad angular media de revolución en función de la excentricidad, denotada por e , es

$$(3) \quad \frac{\omega_p}{\omega} = \sqrt{\frac{1+e}{(1-e)^3}}$$

Para la resonancia spin-órbita consideramos las ecuaciones (1) y (2) de modo que la ecuación (3) nos dá la excentricidad que corresponde a un estado dado de resonancia spin-órbita, denotado por $n/2$, obtenemos

$$(4) \quad \frac{n}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{(1-e)^3}} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Así se tiene para los estados de resonancia spin-órbita, las correspondientes excentricidades:

1/1	.....	$e = 0$
3/2	.....	$e = 0,19$
4/2	.....	$e = 0,31$
5/2	.....	$e = 0,39$
6/2	.....	$e = 0,46$
7/2	.....	$e = 0,50$
		etc.

Cabe notar que consideramos la ecuación (4) como un criterio o condición necesaria para que un satélite se encuentre en el estado correspondiente de resonancia spin-órbita y lo tendremos en cuenta posteriormente al presentar las evidencias a favor de la ocurrencia de las resonancias en las estrellas binarias. Según otros autores (ver por ejemplo, Goldreich y Peale, 1966), tales excentricidades representan un límite inferior para la ocupación del estado correspondiente, como también la posible

existencia de estados de conmensurabilidad menor. Por ejemplo, cuando e es menor que 0,31, el estado 4/2 no podrá ser ocupado, pero sí los de 3/2 y 1/1.

- 4 - Los estados de resonancia spin-órbita representan mínimos locales de la energía rotacional de un satélite y la accesibilidad a tales estados requiere una evolución considerable del satélite merced al efecto de las mareas o fuerza gravitacional diferencial que altera su velocidad angular de rotación, como también su órbita. En circunstancias generales el astro en cuestión evoluciona hacia el sincronismo rotacional y la circularidad de su órbita. En circunstancias especiales puede frustrarse esa tendencia, ocupando estados estables de mayor conmensurabilidad, en órbitas excéntricas.

La ocupación de un estado de resonancia spin-órbita es dependiente de la excentricidad de la órbita, la presencia de una determinada simetría axial y de los efectos de fricción de las mareas que permite la captura del satélite cuya velocidad rotacional se aproxima a la que corresponde a la conmensurabilidad que corresponde a tal estado. En torno a los valores de resonancia suceden libraciones físicas, así en cada paso por el periastro el eje de menor momento de inercia del satélite oscila, según las características de los torques producidos por el abultamiento del satélite producido por las mareas, tales libraciones podrían ser amortiguadas o aumentadas en uno de los dos sentidos de rotación axial, produciéndose un escape o pasaje a través de la resonancia, pudiendo darse posteriormente a otras circunstancias análogas en las que el satélite quede capturado rotacionalmente. La distancia del satélite al astro en torno al cual gravita, es decisiva para la resonancia spin-órbita, ya

que el torque sobre el abultamiento debido a las mareas es inversamente proporcional a la sexta potencia de tal distancia. Esto explica el porqué en planetas superiores como Júpiter, su rotación es prácticamente no afectada por las mareas solares. Por otra parte, para distancias relativamente pequeñas, los efectos de marea serían muy intensos, desapareciendo la posibilidad de estados diferentes al de sincronismo rotacional.

Situaciones análogas al sistema solar, en cuanto a distancias relativas, ocurren en las estrellas binarias cerradas. Elegimos las estrellas binarias espectroscópicas con períodos menores que 300 días, que corresponden a distancias del orden de las encontradas en el sistema solar.

2. EVIDENCIAS DE CARACTER ESTADÍSTICO EN LAS BINARIAS ESPECTROSCÓPICAS.

Las Figuras 2, 3 y 4 muestran histogramas que hemos construido haciendo uso de datos del Séptimo Catálogo de Elementos Orbitales de Sistemas Binarios Espectroscópicos de Batten y otros (1978). De dicho Catálogo seleccionamos 544 binarias de calidad c (media) y de mayor excelencia. Dichos histogramas de excentricidades fueron preparados para diversos intervalos de períodos de estrellas binarias, desde 1 día hasta 300 días. En cada histograma ubicamos en el eje de las ordenadas el número de binarias contra las excentricidades en intervalos de 0,06 sobre el eje de las abscisas. Tal selección de intervalo de excentricidades nos pareció la más conveniente para mostrar la presencia de resonancias spin-órbita. En las dos primeras figuras, los histogramas comienzan

con la excentricidad 0 y terminan con 0,66, mientras que en la Figura 4, extendemos hasta la excentricidad 0,72. Los intervalos de excentricidades mayores prácticamente están desocupados. Notamos además que los valores indicados de la excentricidad para cada histograma corresponden a los intervalos contiguos a la derecha.

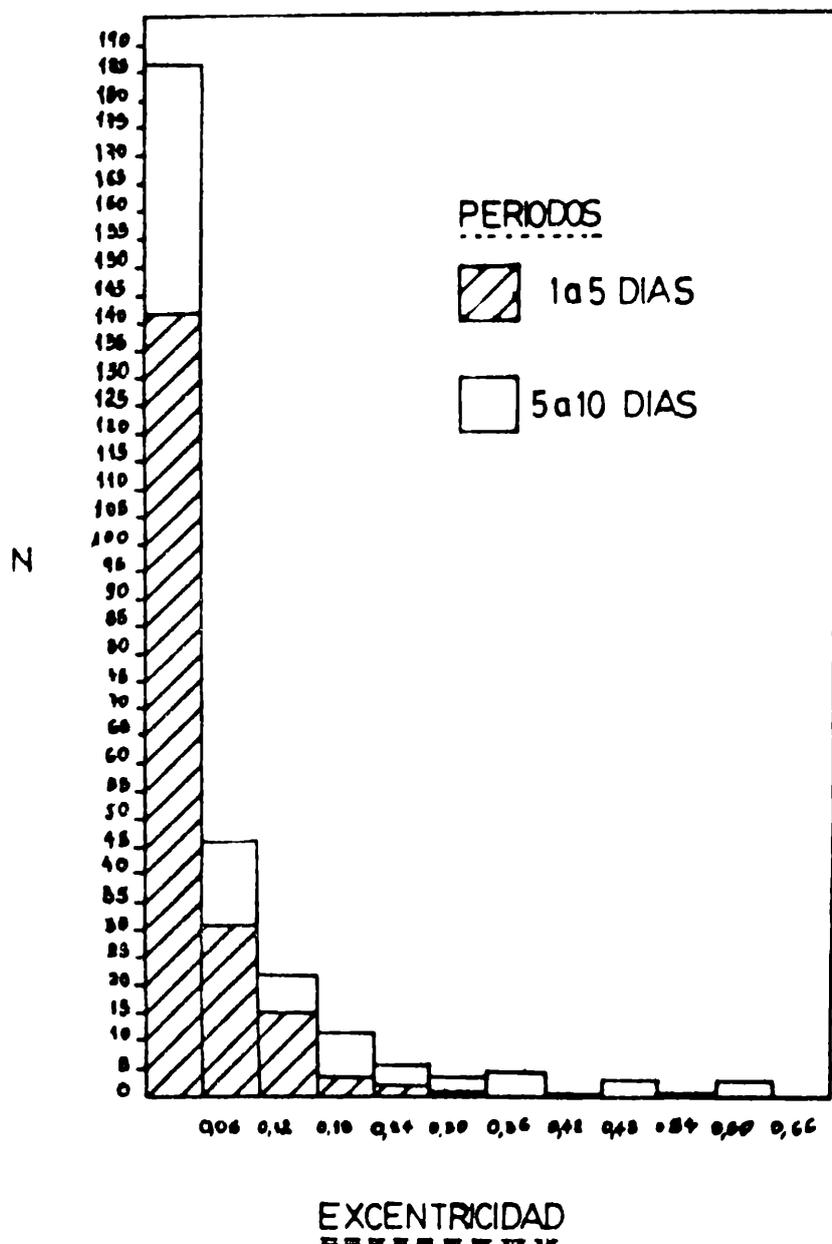


Figura 2: Distribución de las excentricidades de las órbitas de las estrellas binarias en los intervalos de periodos señalados. Los valores iniciales de cada intervalo de excentricidad se dan en abscisas. En ordenadas el número de casos tal que el final de los sombreados es el inicio de los rectángulos claros.

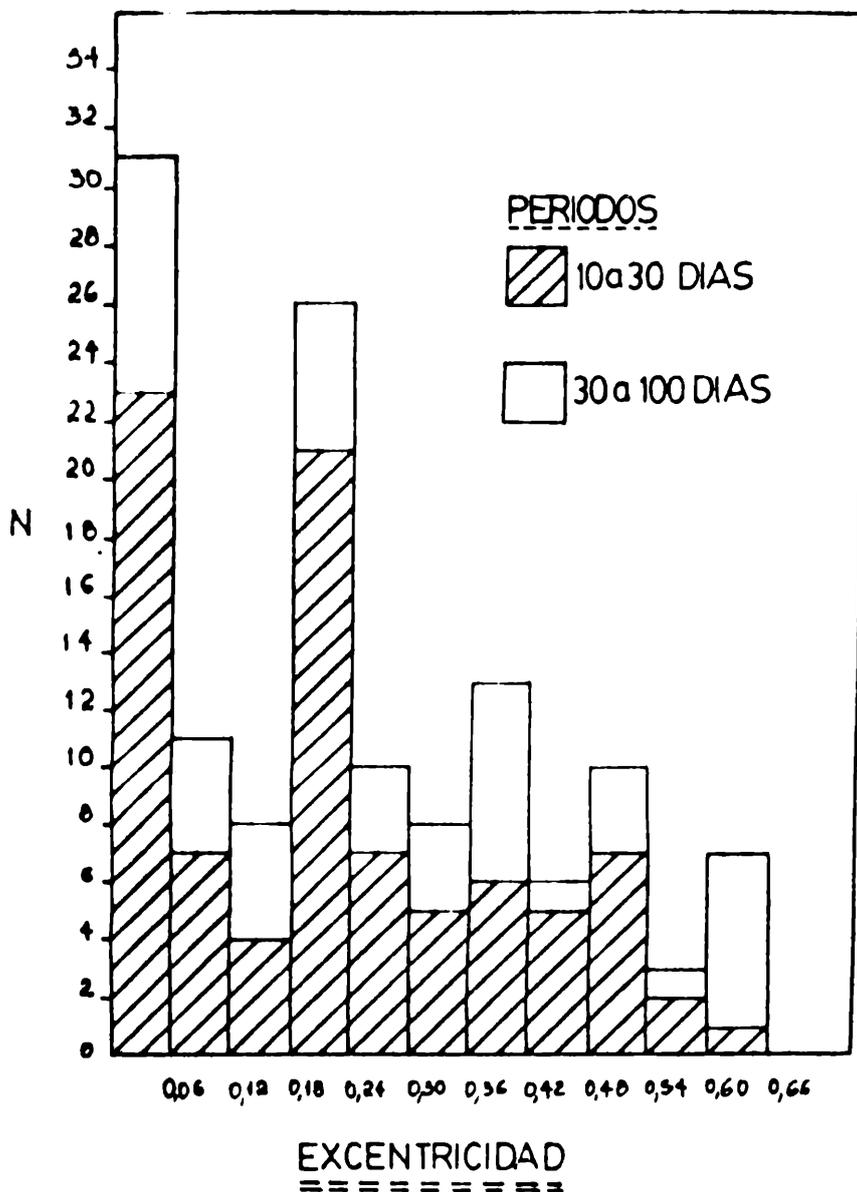


Figura 3: Distribución de las excentricidades de las órbitas de binarias cuyos periodos se indican dentro del recuadro. Los valores iniciales de cada excentricidad se dan en abscisas, mientras que en ordenadas se presenta el número de casos, tal que al final de los rectángulos sombreados corresponde el inicio de los claros. Nótese la presencia de excesos de población en los intervalos primero y cuarto.

Hemos tenido en cuenta en la elección de los periodos y las excentricidades, los efectos de selección que afectan los valores mayores de tales parámetros donde son más difíciles y menos frecuentes las determinaciones de las velocidades radiales. Por otra parte, hay efectos de selección para periodos próximos a un día, los que se encuentran en el

lapso de la noche al día. Una gran parte de estrellas binarias de período menor a un día corresponden a las binarias en contacto (Rucinski, 1986) y poseen rotaciones sincrónicas en cada par. Además, presumimos que en las estrellas normales de tales períodos los efectos de la marea e intercambio de materia serían dominantes, por lo que excluimos tales binarias en nuestros histogramas.

En la Figura 2, el histograma sombreado corresponde a las binarias de períodos de 1 a 5 días. Hemos superpuesto a través de rectángulos claros las binarias de período de 5 a 10 días. La característica más notable es la abundancia de casos en torno a la excentricidad cero y la escasez creciente para las excentricidades mayores, aunque para períodos de 5 a 10 días se aprecia un aumento de binarias cuyas excentricidades son próximas a las del primer intervalo. Interpretamos esto en términos de efectos de marea que afectan la rotación de dichas binarias, por lo que dichas estrellas se encontrarían en el estado de resonancia spin-órbita 1/1 o en sus proximidades (rotaciones en sincronismo con su revolución orbital y órbitas circulares). Por otra parte, recordamos que en dichos intervalos de períodos son frecuentes transferencias de materia entre tales binarias cerradas y, consecuentemente, intercambios en los momentos angulares rotacionales, por lo que podría escapar del sincronismo algunas de tales binarias.

En la Figura 3, el histograma de rectángulos sombreados corresponde a las binarias con períodos de 10 a 30 días y el de los claros extiende hasta los 100 días. Se observa un decrecimiento en los casos de binarias con excentricidades vecinas a cero y, en contraposición, aparece otro agrupamiento notable de casos en torno al intervalo que incluye la excentricidad $e = 0,19$. El número de casos en esta agrupación es de dos veces la desviación standard por sobre

el valor medio, suponiendo que las estrellas del histograma fuesen distribuidas al azar en cuanto a las excentricidades consideradas. Aunque en el presente conocemos la existencia de la conmensurabilidad $3/2$ de pocas estrellas en dicho intervalo (ver Figura 5), la notable abundancia en torno a la excentricidad señalada, hace presumible la interpretación de que una parte significativa de dichas binarias se encuentran en la resonancia spin-órbita $3/2$ o en su vecindad.

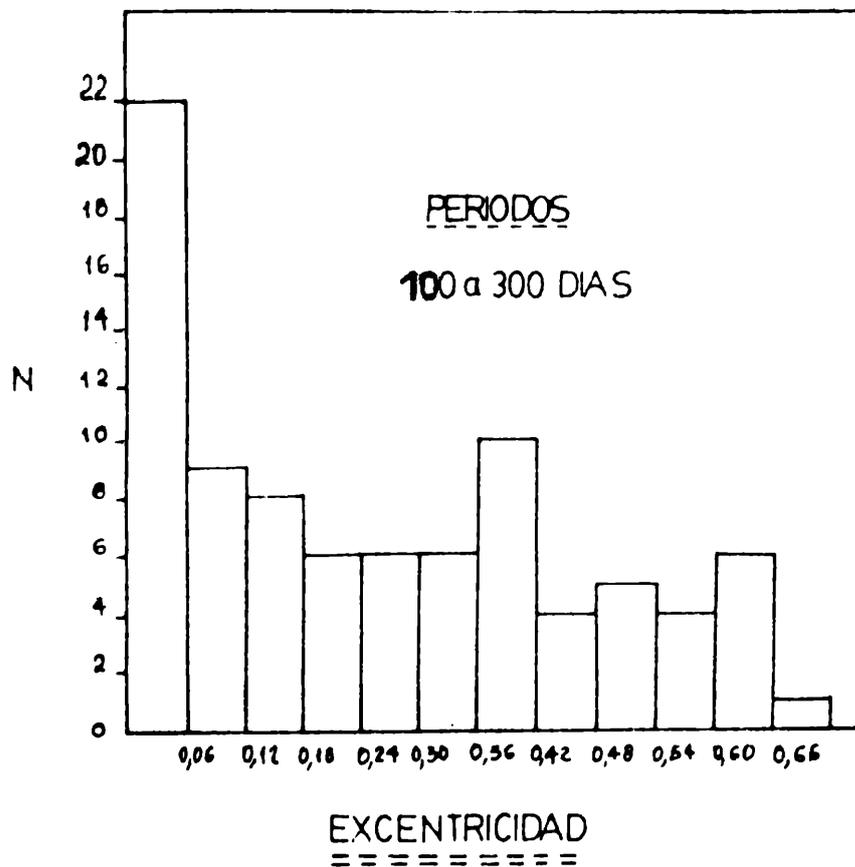


Figura 4: Distribución de las excentricidades de las órbitas de binarias en el intervalo de períodos de 100 a 300 días.

En el intervalo de período de 30 a 100 días aparece otro grupo relativamente numeroso en el intervalo de excentricidades que incluye a $e = 0,39$ y aún es notable en el histograma dado en la Figura 4, para binarias de período de 100 a 300 días. Presumimos que esto se debe a la presencia de la resonancia spin-órbita 5/2.

En el histograma de la Figura 4, aún se observa en torno a la excentricidad cero aunque cada vez menos un agrupamiento de binarias, lo que indicaría que se trata de estrellas evolucionadas que aún interaccionan gracias a las mareas sobre estrellas no evolucionadas. Se destaca en este último histograma una distribución prácticamente uniforme en los demás intervalos de excentricidades, lo que indica que los efectos de las mareas, salvo excepciones, ya son débiles para producir estados de resonancia spin-órbita.

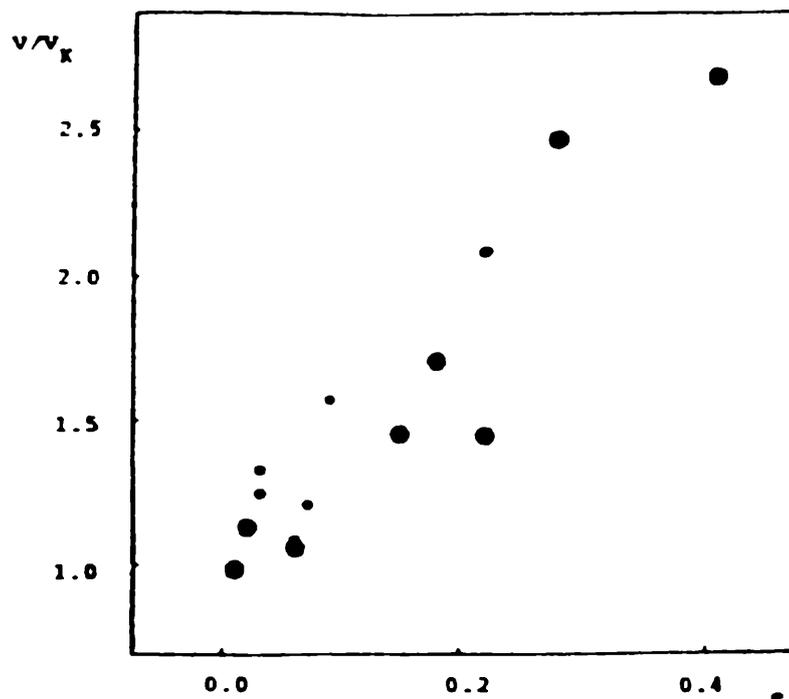


Figura 5: (gracias a A. Gimenez y J. Andersen). El cociente de la velocidad de V y la velocidad media de revolución V_k , versus la excentricidad orbital es dado para la componente primaria del par binario. La correlación que muestra esta figura está condicionada por la existencia de sincronismo en el periastro de las estrellas estudiadas y cada caso es indicado por un círculo. El de mayor período es de 17,36 días.

3. EVIDENCIAS EN LAS OBSERVACIONES DE VELOCIDADES DE ROTACION

Flavec (1970) realizó un estudio acerca de las velocidades de rotación en un grupo de binarias eclipsantes. En esa ocasión, señaló que en general las binarias con períodos menores que 4 días presentan sincronismo rotacional y que el período de revolución orbital por sí solo no podría determinar el grado de interacción entre las componentes (esto es, por ejemplo, la presencia de sincronismo). Desviaciones del sincronismo podrían deberse a transferencias de materia acompañadas de transferencia de momento angular y, en consecuencia, un crecimiento de la velocidad rotacional en la estrella receptora en determinados casos. En otros, la excentricidad orbital sería la responsable de la desviación del sincronismo en la rotación en las estrellas binarias separadas.

Hace unos 50 años que P. Swings realizó un estudio estadístico en las binarias excéntricas, indicando que los valores observados de la velocidad angular rotacional se aproximan a la máxima velocidad angular de revolución orbital alcanzada en el periastro. Este resultado fue propuesto también por Kopal y concuerda con la ecuación (3) del presente trabajo. Este resultado fue verificado a su vez por otros investigadores. Así, Gimenez y Andersen (1983) estudiaron un grupo de binarias eclipsantes en búsqueda de correlación entre la excentricidad y el cociente entre la velocidad rotacional observada respecto a la que le corresponde como velocidad media orbital. Estos autores encontraron que la desviación del sincronismo rotacional ocurre en las binarias excéntricas, aún de corto período, y no observaron evidencias entre casos sin sincronismo rotacional de correlación con el

período orbital. Las componentes de una binaria se comportan de manera similar en la rotación en general. La Figura 5, adaptada de este interesante trabajo, muestra indicaciones de una correlación entre la excentricidad y el cociente de las velocidades V/V_k (explicada más arriba) que sugiere una sincronización en el perihelio, a la que llaman pseudo-sincronización. Encontraron además que las velocidades rotacionales y orbitales se encuentran sincronizadas o pseudo-sincronizadas para períodos menores próximos a 4 días y próximos a ello para períodos por debajo de 10 días. Para períodos mayores las velocidades rotacionales parecen acercarse a estrellas únicas de su clase espectral.

Las circunstancias en que ocurre sincronismo rotacional según autores mencionados hasta aquí, están restringidos a períodos orbitales de pocos días, tratándose de binarias eclipsantes selectas. Recordemos que estamos en época de auge respecto a la determinación de velocidades rotacionales y se consideran otros métodos (Sletteback, 1985). Así es que trabajos de precisión como el de Huisong y Xuefu (1978) en los sistemas RS CVn encuentran sincronismo rotacional en estrellas de períodos hasta de 138 días y excentricidades $e = 0,11$ y menores. Otros como Middelkoop (1981) consideran la existencia de sincronismo en binarias de períodos de días y excentricidades menores a 0,1, tratándose de estrellas enanas, o menores que 120 días para las gigantes (Middelkoop y Zwaan, 1981).

Consecuentemente, creemos en la existencia del estado de resonancia spin-órbita 1/1 en base a las evidencias señaladas. Para estados como el de 3/2 y tal vez otros, el futuro aparece alentador.

REFERENCIAS

- Batten, A.H.; Fletcher, J.M. y Mann, P.J. 1978, Seventh Catalogue of the Orbital Elements of Spectroscopic Binary Systems, Publ. Dominion Astrophys. Obs. Vol. XV, N^o 5.
- Colombo, G. 1965, Nature 208, 575.
- Dyce, R.B.; Pettengill, G.H. y Shapiro, I.I. 1967, Astron. J. 72, 351.
- Gimenez, A. y Andersen, J. 1983, "Observational Evidence of Pseudo-Synchronization in Eccentric Eclipsing Binaries". Les Etoiles Binaries dans le Diagramme H.R. (p. 155-163). Obs. Strasbourg.
- Goldreich, P. y Peale, S.J. 1966, Astron. J. 71, 425.
- Huisong, T. y Xuefu, L. 1987, Astron. Astrophys. 172, 74.
- Kopal Z. 1978, Dynamics of close binary systems. D. Reidel Pub. Co., p. 244.
- Middelkoop, F. 1981, Astron. Astrophys. 101, 295.
- Middelkoop, F. y Zwaan C. 1981, Astron. Astrophys. 101, 26.
- Pettengill, G.H. y Dyce, R.B. 1965, Nature 206, 1240.
- Flavec, M. 1970, IAU Colloq. N^o 4, "Stellar Rotation", A. Slettebak (Edit.), D. Reidel Pub. Co., p. 133.
- Selttebak, A. 1985, IAU Symp. N^o 111, "Calibration of Fundamental Quantities", D. Reidel Publ. Co.
- Swings, P. 1936, Z. Astrophys. 12, 40.
- Troche Boggino, A.E. 1974, Tesis para el M.A. Department of Physics and Astronomy. S.U.N.Y. at Buffalo.