

PRESENTACION MURAL

Relación entre distribuciones de colisiones de baja energía y trayectorias de escape

F.A. Zoppetti¹, A.M. Leiva¹, C.B. Briozzo²

(1) *Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba*

(2) *Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba*

Abstract. In the restricted three-body problem, the impact distributions on the secondary mass originated by low-energy trajectories exhibit peculiar properties concerning the positions and directions of the impacts. In particular, for low energies there are regions on the surface of the secondary mass where no collisions happen. On the other hand, similar surface distributions can be obtained when only considering those test particles whose low-energy trajectories satisfy the escape condition. In this work, taking into account the Earth-Moon problem, we analyze the relations between these two distributions and discuss their possible applications.

Resumen. En el problema circular de tres cuerpos restringido, las distribuciones de colisiones sobre la masa secundaria que originan trayectorias de baja energía presentan características peculiares respecto de las posiciones y direcciones en las que ocurren los impactos. En particular, para bajas energías existen regiones sobre la superficie de la masa secundaria donde no ocurren colisiones. Por otro lado, se pueden obtener distribuciones superficiales similares cuando solamente se consideran partículas de prueba que se corresponden con trayectorias de baja energía que satisfacen la condición de escape. En este trabajo, considerando el problema Tierra-Luna, se analizan las relaciones que existen entre estas dos distribuciones y se discuten sus posibles aplicaciones.

1. Introducción

Las trayectorias de baja energía en el problema circular de tres cuerpos restringido (PC3CR) y las distribuciones de colisiones que ellas originan sobre la masa secundaria, han cobrado interés reciente por las posibilidades de aplicación en problemas actuales. En particular, relacionado con distribuciones de impactos de baja energía producidos por trayectorias que proceden desde el exterior del sistema y que ingresan a través del punto Lagrangeano L_2 , Leiva y Briozzo (2013) proponen una nueva explicación para las semillas iniciales de polvo que deberían haberse depositado sobre la superficie de Iapetus, satélite natural de Saturno, para que actúen efectivamente mecanismos complejos conocidos (segregación térmica, evaporación del hielo superficial, etc.), los cuales permiten

modelar la dicotomía de albedo que se observa en este satélite. El gran inconveniente que se presenta es que a estas energías tan bajas resulta difícil justificar la existencia de una población originaria de este polvo, la cual debería provenir de regiones relativamente próximas al sistema Saturno-Iapetus. Por otro lado, Alvarellos et al. (2005), analizando numéricamente las trayectorias que origina el material superficial eyectado desde la superficie de un satélite después de sufrir una colisión y asumiendo ciertas cotas para las velocidades de escape, concluyen que una colisión genera una población secundaria de material de baja energía que sería en un principio prácticamente coorbital con la masa secundaria y luego se depositaría en su superficie. Este análisis fue aplicado a tres satélites de Saturno. Las distribuciones de impactos de baja energía presentan características peculiares respecto de las distribuciones obtenidas mediante abordajes clásicos que focalizan el problema como un problema típico de dispersión de partículas (alta energía). En general se observan asimetrías que presentan valores máximos en las distribuciones en la dirección contraria del ápex de movimiento y en algunos rangos de energía, existen regiones sobre la superficie de la masa secundaria donde no se registran colisiones. Esto fue analizado en trabajos anteriores para los modelos de tres cuerpos Tierra-Luna (Leiva & Briozzo 2007) y Saturno-Iapetus (Leiva & Briozzo 2013). Con el fin de completar la caracterización de este tipo de distribuciones peculiares, en este trabajo analizamos las distribuciones de condiciones iniciales sobre la superficie de la masa secundaria y las posibles direcciones de la velocidad superficial con la vertical local que se corresponden con trayectorias que *escapan* del sistema Tierra-Luna cuando se integran numéricamente hacia atrás en el tiempo.

2. Integraciones numéricas

Se utilizó el formalismo estándar del PC3CR (Szebehely 1967) normalizando las unidades de masa y de distancia entre las masas primarias ($m_1 + m_2 = 1$; $d_{12} = 1$), adoptando un valor unitario para la constante de gravitación universal G , e introduciendo el parámetro de masa $\mu = m_2/(m_1 + m_2)$ respecto del cual, los valores de las masas primarias resultan $m_1 = 1 - \mu$, $m_2 = \mu$. Para el caso Tierra-Luna se asume $\mu = 0.0121505$, radio de masa secundaria $R = 0.004527$ (~ 1740 km) y los valores unitarios de distancia, velocidad y tiempo resultan equivalentes a 384400 km, 1024 m/s y 104 h, respectivamente.

Para ocho valores equiespaciados de la constante de Jacobi comprendidos entre $-1.5860 \leq h \leq -1.5790$ (Leiva & Briozzo 2007), se construyó un conjunto de 259920 condiciones iniciales sobre la superficie lunar a partir de una grilla uniforme en el espacio de parámetros (θ, γ) con incrementos $\Delta\theta = \Delta\gamma = \pi/360$ en los rangos $0 \leq \theta < 2\pi$ y $\pi/2 \leq \gamma \leq 3\pi/2$ (ver Fig 1). Cada condición inicial se integró numéricamente hacia atrás en el tiempo, utilizando una rutina en lenguaje Fortran90 y un algoritmo Bulirsch-Stoer de paso variable de precisión 10^{-12} (Press et al. 1992) y hasta registrar una condición de escape o un retorno a la superficie de la masa secundaria. La condición de escape se estableció cuando la trayectoria abandona la región de influencia de la masa secundaria a través de alguno de los puntos Lagrangeanos $L1$ y $L2$ ($x < X_{L1} = 0, 836915547$ o $x > X_{L2} = 1.155681836$). Las trayectorias que no escapan y que retornan nuevamente a la superficie fueron descartadas.

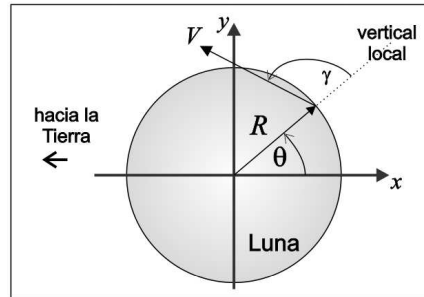


Figura 1. Sistema de coordenadas sinódico centrado en la masa secundaria. θ es la posición angular de la partícula sobre la superficie y γ es el ángulo que forma la velocidad con la dirección de la vertical local.

3. Resultados y discusión

En todos los casos analizados, los resultados obtenidos son consistentes con las distribuciones identificadas por Leiva y Briozzo (2007). A modo de ejemplo, en la Figura 2 se comparan para dos valores de h las distribuciones de colisiones de baja energía con los mapas dinámicos obtenidos en este trabajo.

Mediante la consideración de condiciones iniciales superficiales que proceden de trayectorias de escape del sistema se logran reproducir las direcciones de impacto y las regiones de colisión que se observan cuando se consideran directamente trayectorias externas que ingresan al sistema Tierra-Luna a través de la vecindad del punto Lagrangeano L_2 . El acuerdo es muy bueno, pero a diferencia de este último caso, no observamos las subestructuras fractales observadas por Leiva y Briozzo (2007). Esto permite deducir que:

- Existen condiciones iniciales sobre la superficie lunar que se corresponden con escapes de la vecindad de la masa secundaria pero que no tienen correspondencia con la dinámica de trayectorias que ingresan al sistema a través de L_2 .
- Las regiones obtenidas son *completas* y representan una envoltura de las distribuciones de las colisiones originadas por trayectorias de baja energía. En todos los casos analizados, para valores angulares $0 < \theta/\pi < 1$ se obtienen pequeñas diferencias que no resultan significativas respecto al comportamiento global de las direcciones de impacto.

El procedimiento implementado en este trabajo permite identificar las regiones de interés con menos esfuerzo de cómputo respecto de las exploraciones numéricas realizadas por Leiva y Briozzo (2007), en las cuales consideraron grillas uniformes de condiciones iniciales sobre una superficie de sección fija en L_2 ($x = x_{L_2}$). Para cubrir todas las posibles trayectorias que pueden ingresar al sistema Tierra-Luna, el número de condiciones iniciales crece significativamente a medida que la constante de Jacobi aumenta. Así, nuestros resultados abren la posibilidad de acotar y modelar rápidamente las distribuciones de impactos de baja energía y las direcciones en las que ocurren las colisiones, sólo a través de considerar condiciones iniciales sobre la superficie de la masa secundaria que se

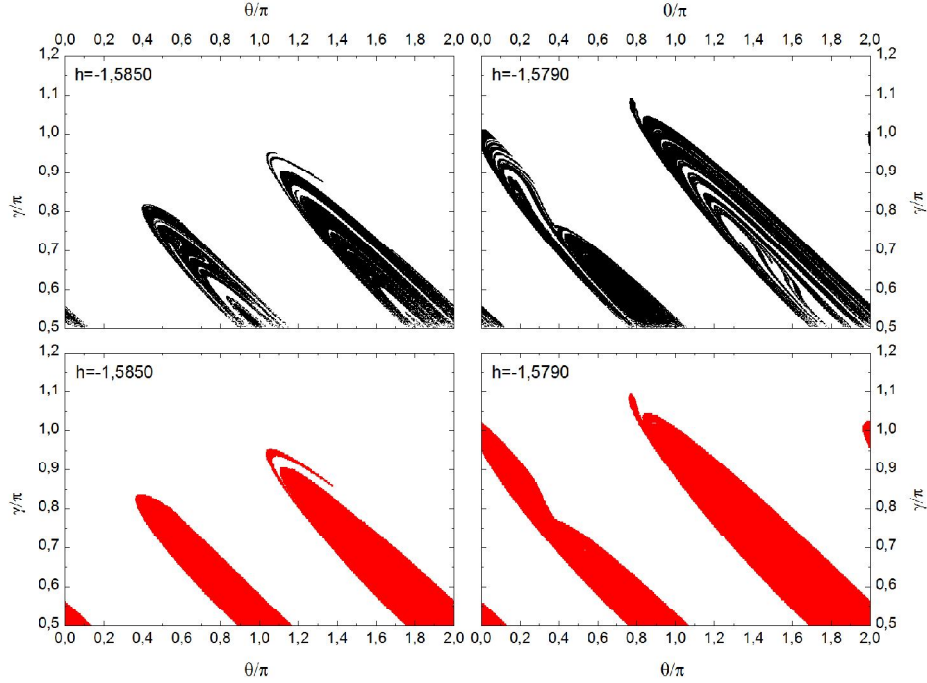


Figura 2. Comparación de resultados en el plano (θ, γ) . *Sup.*: distribuciones de colisiones de baja energía obtenidas por Leiva y Briozzo (2007). *Inf.*: distribuciones obtenidas en este trabajo.

corresponden con trayectorias que *escapan* cuando se integran numéricamente hacia atrás en el tiempo. En trabajos futuros aplicaremos este análisis al caso tridimensional.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido financiado parcialmente por la Secretaría de Ciencia y Tecnología (SeCyT) de la Universidad Nacional de Córdoba junto con el Consejo Interuniversitario Nacional (CIN) mediante el programa de Becas de Estímulo a la Vocaciones Científicas por resolución P. N° 230/13.

Referencias

- Alvarellos J. L., Zahnle K. J., Dobrovolskis A. R. and Hamill P., 2005, *Icarus* 178, 104-123.
- Leiva A. M. & Briozzo C. B., 2013, *MNRAS*, 430(2), 858-868.
- Leiva A. M. & Briozzo C. B., 2007, *BAAA* 50, 31-34.
- Press W. H., Teukolsky S. A., Vetterling W. T., Flannery B. P., 1992, Cambridge Univ. Press, New York.
- Szebehely, V.: 1967, Academic Press, Nueva York.