

Errores sistemáticos en Mecánica Celeste.

Jose J. Astorkia

Abstract

An eigenexperiment shows systematic byass in celestial mechanics calculations when velocity is greater than escape velocity. Evidences and consequences are presented. In spanish language.

Un análisis de un caso particular muestra la presencia de errores sistemáticos en los cálculos de la mecánica celeste en determinados casos. Se presentan evidencias observacionales y se hace una valoración de sus consecuencias.

Introducción

El cálculo de la trayectoria de los cuerpos celestes por aplicación directa de las leyes de Newton supone el cálculo de la acción gravitatoria (fuerza por tiempo) y es preciso, pero resulta muy exigente en tiempo y recursos informático ahora mismo, y lo era mucho más en tiempo pretéritos, sin disponibilidad de ordenadores. Por lo tanto se utiliza más a menudo los cálculos de la mecánica celeste basados en las leyes de Kepler y en la asunción de la constancia de la energía total del sistema, o de la constancia del momento, que resultan simplificados porque atienden a una situación inicial y otra final evitando el cálculo de la acción gravitatoria newtoniana en muchos pasos intermedios. Hoy en día no se ponen restricciones a esas asunciones y a la validez y precisión de tales cálculos. Pero hay evidencias de que hay errores sistemáticos con esta forma de cálculo en casos donde la órbita no es elíptica y mostrarlo es el propósito de este informe. Lo vamos a hacer analizando un caso particular ilustrativo. Y nos fijaremos luego en las evidencias prácticas que lo señalan. Atendemos finalmente a las consecuencias y reflexiones deducibles de estas evidencias.

Comparación en un caso particular ilustrativo

Vamos a considerar un caso particular en el que un objeto en una órbita elíptica y otro objeto en una órbita "hiperbólica" recorren una misma trayectoria común.

Supongamos un cuerpo en la nube de Oort, a unos 20000 UA por ejemplo, que sufre una colisión con otro cuerpo que le deja "detenido" con una velocidad

prácticamente cero tanto en velocidad tangencial a la órbita como en la velocidad radial. Inicia en ese momento una nueva trayectoria acelerando por la atracción del Sol que resulta en caída libre rectilínea y vertical. Esa es una órbita elíptica de excentricidad igual a 1 (que no supera los 20000 UA en su apogeo) y podemos calcular que a una distancia de, por ejemplo, unos 10000 UA su velocidad será de uno o dos cientos de metros por segundo y estará dirigido exactamente hacia el Sol.

Tomemos para comparar un objeto interestelar que entre en el sistema solar exactamente orientado hacia el Sol con una pequeña velocidad inicial, por ejemplo de 1 kilómetro por segundo. En su caída vertical hacia el Sol sufrirá un pequeño incremento de velocidad por la acción gravitatoria mientras alcanza la distancia 10000 UA que hemos elegido para la comparación. Como la comparación va a ser cualitativa no necesitamos calcular cuanto será ese incremento de velocidad y basta decir que es una velocidad mayor de 1 kilómetro por segundo exactamente en dirección hacia el Sol, como en el caso anterior. Tan sólo señalar que este caso la trayectoria es "hiperbólica", destinada a escapar del sistema solar si imaginamos que pudiera atravesar el Sol o tan sólo evitar un impacto directo con el mismo por alguna perturbación planetaria final en el sistema solar interior.

Comparemos las variaciones en velocidad, energía cinética, energía potencial y energía total de ambos casos en una distancia cualquiera recorrida por una trayectoria que es común. Elegimos un recorrido de solo 1 UA a una distancia de 10000 UA lo que nos permite considerar la aceleración gravitatoria prácticamente constante en ese tramo. La energía potencial inicial es mayor que la energía potencial final y ambas son exactamente iguales para ambos cuerpos. En el primer caso sabemos por una extensa experiencia previa con las órbitas del sistema solar interior que la energía cinética ganada es igual a la energía potencial perdida, con lo que su energía total permanece constante. Pero esto no es a causa de ninguna cualidad mágico-matemática de la naturaleza, es una consecuencia del incremento de velocidad por la acción gravitatoria, que podemos cuantificar como el producto de la aceleración gravitatoria que provoca el Sol (igual para ambos cuerpos que podemos considerar puntuales) por el tiempo al que está sometida (el tiempo que tarda en recorrer esa distancia). La acción gravitatoria (la fuerza por el tiempo) es la causa y la variación de velocidad (aceleración por ese mismo tiempo) es el resultado pero ambos se comportan exactamente igual. Y es ese mismo mecanismo el que acelera al cuerpo interestelar. Pero en este último caso, aunque la aceleración de la gravedad es la misma en el mismo recorrido, el tiempo de tránsito es más de cinco veces menor, dado que su velocidad (más de 1 kilómetro por segundo) es más de cinco veces superior a la del primer caso (menos de 200 metros por segundo), por lo que el incremento de velocidad es menos de una quinta parte. Lo que implica que el incremento de la energía cinética, que depende del cuadrado del incremento de la velocidad, es más de 25 veces menor y por tanto más de 25 veces menor que la variación de su energía potencial, dado que en el mismo recorrido es igual en ambos casos. En cuanto a la energía total (que en el primer caso hemos visto es constante) que es la suma de la energía cinética más la energía potencial sigue siendo mayor que en el primer caso (y según la convención habitual es positiva cuando en el primer caso era negativa) pero vemos que disminuye en su valor

total por mayor pérdida de energía potencial que ganancia de energía cinética. En resumen, la energía total no se conserva. Toda formulación y cálculo que parte de asumir la constancia de la energía total, como hace por principio la mecánica celestial actual incluso para órbitas no keplerianas (que no cumplen su primera ley, ser elípticas) es incorrecta.

La mecánica celeste introduce errores sistemáticos en los cálculos de órbitas no keplerianas.

Evidencias

Y en este momento que tenemos datos observacionales de este tipo de órbitas encontramos evidencias de estos errores sistemáticos.

Con la observación de la trayectoria de 1I Oumuamua (1I a partir de ahora) se informó de una importante aceleración anómala "no gravitatoria" inexplicable. Destaquemos que la discrepancia es con los cálculos que asumen un descenso de la velocidad que compense exactamente la ganancia de energía potencial, con una energía total constante. Visto el caso particular analizado antes y teniendo en cuenta que la velocidad de 1I que es muy superior a la velocidad de escape del sistema solar debemos suponer que el cálculo es incorrecto. En este caso se dirige hacia fuera y se aleja del Sol y su velocidad disminuye debido a la acción gravitatoria debida a este. La aceleración gravitatoria es la misma que para un cuerpo en trayectoria elíptica situado en el mismo punto pero el tiempo que necesita para alejarse un distancia cualquiera es mucho menor, y la acción gravitatoria (y la variación de velocidad resultante) es por tanto mucho menor de lo estimado. En lenguaje coloquial, no hay ninguna aceleración extra, pero el frenado (aceleración sufrida por el tiempo considerado) que sufre es menor de lo que esperamos, que resulta en una velocidad remanente mayor de lo calculado, como muestran las observaciones.

En el caso del descubrimiento y seguimiento del cometa interestelar 2I Borisov no se ha informado en la literatura de ninguna anomalía. De hecho se ha repetido como un mantra su similitud con los cometas del sistema solar. Pero, a pesar de haberse silenciado por causa para mí desconocida (¿tal vez un sentimiento corporativo de vergüenza?), hay una grave evidencia que señala directamente a errores sistemáticos de cálculo. Y es que hemos "perdido" este cometa. Es fácil de deducir en cuento comprobamos en la base de datos del JPL que la última posición observada de 2I Borisov es a poco más de 3 UA. Casi la misma a la que dejamos de observar a 1I siendo este mucho menos luminoso. Y casi a la misma distancia a la que se descubrió, en condiciones difíciles por su cercanía aparente al Sol, con un telescopio de aficionado, muy mejorado por el propio descubridor Borisov (lo que habla muy bien de sus habilidades y mérito), pero de aficionado al fin y al cabo. Con todas las capacidades de los telescopios profesionales esta circunstancia es inexplicable. A menos que no sepan donde mirar. A menos que los errores sistemáticos del cálculo de su

trayectoria sean tan grandes que todos los posibles intentos han sido incapaces de apuntar en la dirección correcta. Todo esto nos lleva a una consideración interesante. Los cálculos se han hecho de la asunción errónea de la conservación de la energía total, que en geometría supone que la trayectoria es una curva cónica, en este caso hiperbólica. Pero en el caso de una energía total en continuo (que no constante) incremento como es este caso resulta en una curva espiral. Esto puede explicar la falta de efectividad en la observación y brinda la esperanza de encontrar imágenes de archivo posteriores con un cálculo adecuado de la trayectorias, con simulaciones numéricas exclusivamente newtonianas y sin asunciones keplerianas de por medio. La conclusión importante a la que podemos llegar es que las trayectorias de cuerpos interestelares en su tránsito en el sistema solar no es hiperbólica, es una doble espiral simétrica (una espiral muy abierta en su aproximación con otra simétrica durante su alejamiento).

Encontramos otra evidencia más antigua y repetida en el poco estudiado pero bien comprobado efecto denominado "anomalía de sobrevuelo". Se ha dado en el caso de satélites que han usado un paso cercano a la tierra para acelerar y superar la velocidad de escape de forma que logren salir del campo gravitatorio de la Tierra. Y se define formalmente como un incremento de la energía total del satélite de causa desconocida refiriéndose a una diferencia en la energía total teóricamente estimada y la observada finalmente (siempre mayor). Está claramente asociada a esta maniobra concreta porque no se ha encontrado tal discrepancia en ninguno de los numerosos satélites que permanecen dentro del sistema gravitatorio de la Tierra (en órbitas elípticas keplerianas). Y resulta aún más revelador en el caso de un satélite que repite dos veces esa maniobra como forma de incrementar aún más su velocidad. En este caso no se aprecia incremento de energía anómalo en el primer sobrevuelo (aún no alcanza la velocidad de escape) pero si en el segundo (que supera la velocidad de escape). Lo que señala claramente a que el efecto se produce en la trayectoria de salida, pero sólo si la velocidad es superior a la velocidad de escape de la gravedad terrestre a esa distancia. Y no se da ninguna inyección de origen desconocido de energía. En su lugar muestra que hay un error sistemático en los cálculos semejante al del caso con 11, que subestima la energía total final.

Orbitas no Keplerianas

Conviene destacar que todos esos errores mostrados no señalan ningún problema con la leyes de Kepler. Lo que hacen es destacar y poner en valor la formulación original de su primera ley. Donde afirmó que todas las órbitas son elípticas, con toda lógica con las observaciones y datos de los que disponía, nosotros debemos leer que sus leyes son aplicables a las órbitas elípticas, sólo a las órbitas elípticas. Aplican muy bien, como demuestra la experiencia, en la relación del Sol con cada uno de sus planetas, en la relación de un planeta con

cada uno de sus satélites, o en la relación del Sol y un planeta con uno de sus satélites. En resumen, una órbita es kepleriana solo si es elíptica en el campo gravitatorio considerado. Y su determinación no es tan complicado como definir toda la forma de la órbita. Es mucho más sencillo comparar la velocidad de un cuerpo con la velocidad de escape del campo gravitatorio en ese punto. Si la velocidad es menor a la de escape la órbita es siempre kepleriana, si es mayor la órbita es no kepleriana siempre. Y como hemos visto, en estas últimas, la mecánica celestial actual introduce errores sistemáticos.

Aplicabilidad de la mecánica celestial en el cálculo de perturbaciones

Por el hecho de que las evidencias claras encontradas no son muy numerosas y las encontramos en situaciones atípicas podemos pensar a primera vista que aunque la revisión y mejora de la mecánica celeste es conveniente y, tal vez hasta necesaria, no es urgente porque en la mayoría de las situaciones los cálculos son exactos porque trabajamos con cuerpos que están claramente inmersos en el campo gravitatorio del Sol. Pero las últimas reflexiones sobre la relación entre la velocidad y los errores sistemáticos detectados dibujan un panorama distinto y muy preocupante que vuelven la mejora de la mecánica celeste imprescindible y muy urgente que debe movilizar a astro-físicos y matemáticos en un esfuerzo sin duda hercúleo. Porque si la Luna tiene una órbita muy aproximadamente elíptica respecto tanto del Sol como de la Tierra, con las pequeñas variaciones por perturbaciones de uno o del otro, y por eso podemos confiar en calcularlas exactamente en base a las leyes de Kepler, eso no se cumple para ninguna otra perturbación por ningún otro cuerpo, por ejemplo Jupiter. Si en todo momento la velocidad de la Luna respecto del Sol es menor que la velocidad de escape de su campo gravitatorio (a 1 UA en este caso) y también la velocidad respecto a la Tierra es menor que la velocidad de escape de su campo gravitatorio, la velocidad relativa respecto de Jupiter, además de extraordinariamente variable, es siempre mayor que la velocidad de escape de su campo gravitatorio, incluso a su distancia mínima de unos 4 UA. De hecho la trayectoria de la Luna vista desde Jupiter no tiene nada que ver con una órbita elíptica y es imposible reconocer en su influencia el carácter de Jupiter como alguna forma de fuerza central. Y como ya podemos deducir, su perturbación calculada está sobrestimada respecto a la perturbación real y efectiva. Siendo esta la situación común para todos los cuerpos. En la práctica actual el cálculo de las perturbaciones introduce errores y nos aleja del objetivo que es el cálculo de una órbita lo más aproximada posible de la real. Y es más grave cuantos más cuerpos se incluyan en los cálculos porque todos esos resultados están sobrestimados, siendo, como es, la costumbre de moda. En este tema menos es más y ahora vamos en la dirección equivocada. El lado positivo es que vemos que todas las perturbaciones se dan en condiciones de órbita no kepleriana y, por tanto, son menores, mucho menores, de lo que

consideramos habitual. Podemos sin mucho error renunciar a su cálculo excepto en los casos de masas muy considerables y tránsitos muy cercanos, con lo que, con un fácil análisis previo, podemos reducir muchísimo la carga exigida a los simuladores numéricos puramente newtonianos (no comparten estos errores sistemáticos por su cálculo continuo e iterativo de la acción gravitatoria), facilitando así su uso incluso con medios modestos. Parece increíble que una situación tan grave no se haya hecho evidente. Hasta que tenemos presente que las discrepancias entre cálculos y observación son abundantes y ubicuos afectando a más y más objetos cuanto más precisas son las observaciones, lo que ha dado lugar a la propuesta de aceleraciones no gravitatorias hipotéticas y de difícil explicación, a pesar de los numerosos mecanismos propuestos (que adolecen todos de clara falta de evidencias). Sospecho que son tan sólo el reflejo de los errores del cálculo, lo que explicaría su falta de homogeneidad entre distintos objetos y su habitual variabilidad entre una órbita y otra. No parece que sea una evidencia muy clara, pero creo que está reforzada por el hecho de que se dan tanto en cuerpos activos como inactivos, sin dependencia clara de su tamaño, lo que dificulta mucho las explicaciones alternativas y exige su multiplicidad, mientras de los errores sistemáticos debemos esperar su presencia en todos los objetos sin importar su tamaño o comportamiento, que tengan un carácter muy variable y estocástico.

Como reflexión final decir que el uso del baricentro del sistema en los cálculos, tan de moda, no resuelve los problemas, y sí los sistematiza y los camufla, por lo que hay que evitarlo. El baricentro merece la consideración de un epiciclo moderno, resultado de conveniencias matemáticas y sin base física alguna, y actuar en consecuencia.