FÍSICA DE TODOS LOS DÍAS: TERREMOTOS SELENITAS

Posted on 20 julio, 2015 by Franco Bagnoli

El primer episodio de la saga "Storia e gloria della dinastia dei paperi" (Historia y gloria de la dinastía de los patos) de 1970 se titula "Zio Paperone e il rimbombo lunare"...

Category: Ciencia

Tags: Ciencias Exactas, Física

El primer episodio de la saga "Storia e gloria della dinastia dei paperi" (Historia y gloria de la dinastía de los patos) de 1970 se titula "Zio Paperone e il rimbombo lunare" ("Pato McDonald y el retumbo lunar"). Escrito por Guido Martina y diseñado por Romano Scarpa (entintado por Giorgio Cavazzano), es un prólogo "espacial" a una serie de cuentos históricos.

En este episodio se ve a los patitos interesadísimos en el experimento de la medida de los sismos lunares de la misión "Apolo 12". Tras abandonar la Luna, los astronautas hicieron chocar el módulo de servicio (la parte superior del "lander", el módulo de aterrizaje) sobre la superficie de nuestro satélite, causando un retumbo muy prolongado.

La Luna se comporta de forma muy diferente a la Tierra en lo que se refiere a los terremotos. Dado que nuestro satélite es un cuerpo frío y seco casi por completo, reacciona al estrés más como un

cuerpo rígido (una campana) que como un cuerpo que tiene un gran núcleo fluido y una superficie plástica como la Tierra. Esto hace que los terremotos lunares superficiales duren un tiempo "infinito", hasta 10 minutos, mientras que en la Tierra una duración de medio minuto representa mucho tiempo. Los terremotos que se originan a mayor profundidad se extinguen antes; indicio de que el interior de la Luna está probablemente fundido .

Así como la luna causa la marea en la Tierra, la Tierra causa las mareas en la luna

Los terremotos lunares se originan, parcialmente al menos, por los efectos mareales que la Tierra produce sobre el satélite. Éste es un fenómeno de interacción mutua: del mismo modo que la Luna origina las mareas en la Tierra, la Tierra causa las mareas en la Luna, y dado el mayor tamaño del planeta, éstas son de mucha mayor amplitud.

En la Luna no hay superficie líquida, pero la atracción de la Tierra (como la que se ejerce en general entre cualesquiera otros cuerpos), también se efectúa sobre la parte sólida que, en el pasado remoto, cuando la Luna no presentaba siempre la misma cara a nuestro planeta, tuvo que producir elevaciones significativas de la superficie.

Esta variación en el nivel del suelo actuó en la época de la formación del sistema planetario Tierra-Luna como una especie de freno o ralentización de la rotación de la Luna, en cierta manera, de modo similar al efecto de ralentización que un neumático parcialmente desinflado ejerce en el movimiento de una bicicleta. Poco a poco, esta especie de freno ha ido sincronizando la rotación de la Luna con su órbita alrededor de la Tierra, produciendo lo que se conoce como un acoplamiento spin-órbita (1:1), resonancia mareal síncrona.

> *Un cuerpo rígido puesto a girar tiende a permanecer en ese estado, a menos que la fricción, o el freno la vayan deteniendo.*

Para entender los efectos de este acoplamiento, es preciso recordar someramente algunos elementos relativos a la mecánica del giro de los cuerpos rígidos. Un cuerpo rígido puesto a girar, por ejemplo, una rueda de bicicleta, tiende a permanecer en ese estado, a menos que la fricción, o el freno la vayan deteniendo, o por el contrario que el ciclista acelere con el pedaleo. Es una situación similar a la de los movimientos de traslación: para estos últimos se puede definir la cantidad de movimiento (o momento lineal), que es el producto de la masa por la velocidad. Si un cuerpo tiene una masa inercial grande es difícil variar su cantidad de movimiento, porque la masa inercial se opone a la variación del movimiento, así es que cuanto más elevada, más resistencia

presenta.

Para comprender este fenómeno, pensemos lo que ocurre si notamos que una mosca se nos acerca. Independientemente de su velocidad, no nos preocupamos demasiado. Sin embargo, si vemos un camión aproximarse con la misma velocidad de la mosca …, posiblemente es mejor huir.

En las rotaciones, el equivalente de la velocidad lineal del movimiento de traslación es la velocidad angular (que se suele medir o contabilizar en revoluciones por segundo), mientras que el correspondiente a la cantidad de movimiento es el momento angular. Antes de definir esta magnitud, hay que considerar que en la rotación de un cuerpo rígido todos los puntos del cuerpo recorren círculos en torno a una línea denominada “eje de rotación”. Para las rotaciones planas se puede también hablar de un centro de rotación (la intersección del eje de rotación con el plano). Para un punto material (una masa concentrada en un pequeñísimo espacio, como la piedra de una honda del tipo que usó, según la tradición, David contra Goliat) el momento angular viene dado por el producto entre su velocidad, su masa y la distancia entre el proyectil (la piedra) y el eje de rotación (la tira de cuerda).

Dibujo que representa una huaraca u honda (siglo XIV)

Si expresamos la velocidad del punto material como el producto de su velocidad angular por la distancia entre el punto y el eje de rotación, obtenemos que el momento angular está dado por el producto entre la velocidad angular y una nueva magnitud: el momento de inercia. De esta manera, el momento angular tiene una expresión muy parecida a la que usamos para la cantidad de movimiento reemplazando la velocidad lineal por la velocidad angular, y la masa por el momento de inercia.

El momento angular y la velocidad angular son magnitudes vectoriales , si invertimos el sentido de rotación, el momento angular y la velocidad angular cambian de signo.

El momento de inercia de un punto material viene dado por el producto de su masa (la masa de la piedra en la honda, por ejemplo) por el cuadrado de su distancia desde el eje de rotación (para la honda, ésta es simplemente la longitud de la tira). Para un cuerpo rígido tal como una rueda de bicicleta o una esfera, sólo hay que añadir la contribución de cada pequeña porción de masa . Así, una rueda de bicicleta de montaña (muy pesada) es más difícil de poner a rodar o frenarla que la rueda de carbono de una bicicleta de carreras (muy ligera).

Desafortunadamente los nombres establecidos por la tradición orientan muy poco para comprender el concepto que encierran: en general todo lo que se refiere a las rotaciones se llama "momento", pero no tiene nada que ver con el tiempo ("un momentito" en este contexto significaría un cuerpo cuya rotación es fácil de detener...).

Volante de inercia de una motocicleta Guzzi

Un volante de inercia es un cuerpo que tiene un elevado momento de inercia, y se utiliza por ejemplo para estabilizar la rotación de un motor de combustión interna, con el fin de "mediar" en las fases de propulsión (combustión de combustible) y las de descarga y carga de la mezcla (especialmente importante para los motores de un solo cilindro). La motocicleta Guzzi en los años 60 tenía el volante externo y muy a la vista.

Antes de poner fin a esta digresión mecánica, hay que asimilar dos cosas:

La primera es que con el fin de calcular el momento angular de un cuerpo rígido (tal como un planeta), que efectúa su órbita según una trayectoria curva y además gira entorno a su centro de masa, hay que añadir pues al momento angular “orbital” (rotación del planeta alrededor del Sol) su momento angular "intrínseco", llamado “spin”, calculado respecto a su centro de masa.

Se suele aproximar un planeta a un punto material (pero teniendo en cuenta su spin), dado el tamaño de su órbita en comparación con su propio tamaño. De este modo tenemos que su

momento angular orbital está dado por el producto de la masa del planeta por el cuadrado de su distancia al Sol (es decir, su momento de inercia como si fuera un punto material) por su velocidad angular orbital.

Tratemos de hacer este cálculo para la Tierra. La Tierra es más o menos una esfera cuya masa $M = 6\ 10^{24}$ kg con un radio $r = 6\ 10^{6}$ m (6.000 km). Si fuera homogénea (y no lo es, pero no nos importa en este caso), su momento de inercia sería $I = 2/5Mr^2\ 8{,}7\ 10^{37}$ kg m^2. Por otra parte, la Tierra gira sobre sí misma con una velocidad angular $\omega = 2\pi/24$ h $= 2\pi/(24\ 3600$ s) ($2\pi = 6{,}28$ ángulo de giro), o $\omega \cong 7{,}3 \cdot 10^{-5}$ s^{-1}. Su momento angular intrínseco es $L_I = I\omega$ luego, $L_I = 6{,}3\ 10^{33}$ kg m^2 s^{-1}.

Su momento angular orbital, L_O, viene dado por $M\ \Omega\ R^2$, donde $M = 6\ 10^{24}$ kg es siempre la masa de tierra, R es el radio de la órbita de la Tierra alrededor del Sol (la órbita es casi circular, R se llama también "unidad astronómica"), R = 150 millones de kilómetros (150 millones de millas) $= 1.5\ 10^{11}$ m, Ω es la velocidad angular a lo largo de la órbita. Dado que la Tierra da una vuelta alrededor del Sol en un año, $\Omega = 2\pi/(365\ 24\ 3600$ s) $2\ 10^{-7}$ s^{-1}.

De aquí obtenemos que $L_O = 2{,}7\ 10^{40}$ kg m^2 s^{-1}, que es muchísimo mayor que su momento angular intrínseco.

¿Y todo esto para qué sirve? El hecho es que las fuerzas internas a un sistema no pueden cambiar el momento angular total de dicho sistema. Esto quiere decir que el momento angular total es una cantidad que se conserva. Y ¿por qué es interesante que se conserve? Es interesante porque es útil para resolver problemas, sin entrar en los detalles de las interacciones gravitacionales, simplemente considerando la situación inicial y la final.

> *la rotación de la Luna va ralentizándose por el efecto de las "mareas terrestres"*

Aplicamos este principio al sistema Tierra-Luna ancestral y suponemos, por ahora, que la Tierra continúa girando siempre con la misma velocidad angular, mientras que la rotación de la Luna va ralentizándose por el efecto de las "mareas terrestres". Esta ralentización disminuye el momento angular intrínseco de la Luna, que por tanto debe aumentar su momento angular orbital para "compensar" (las fuerzas Tierra-Luna son fuerzas internas a este sistema).

Suponemos que las dos rotaciones originariamente tuvieron el mismo sentido . El efecto de acoplamiento consiste en acelerar la rotación orbital de la Luna, alejándola de la Tierra por efecto de la fuerza centrífuga.

¡En este enlace hay pruebas testimoniales! . El nautilus es un organismo muy "conservador" porque no ha cambiado prácticamente desde el paleozoico (hace 500 millones de años).

Nautilus

El nautilus construye su concha a un ritmo muy regular, añadiendo cada día una capa que se marca con una especie de canalito. No obstante, el cefalópodo no ocupa todo el interior de la concha, sino solo su parte más exterior. Cada Luna llena (plenilunio) el nautilus produce un nuevo tabique.

El nautilus parece ser de este modo una especie de "reloj lunar". Si se cuentan los canales tras los tabiques es posible determinar la duración de un mes lunar. Tenemos fósiles de nautilus que se remontan al ordovícico (hace 450 millones de años)… y para cada tabique hay solo ¡8-9 canales! La idea del nautilus como reloj se basa en una serie de hipótesis no completamente probadas

Un video de YouTube sobre el nautilus y la Luna

Pero también la rotación de la Tierra se ralentiza debido a las mareas. Antes o después se sincronizará con la Luna en un estado estacionario similar al de ciertos satélites artificiales, los llamados geoestacionarios (esto quiere decir que estará siempre sobre la vertical del mismo lugar de la Tierra), pero su órbita será más externa, y al mismo tiempo el día terrestre será más largo .

Sin embargo, a pesar de que la Luna está sincronizada con la Tierra (muestra siempre la misma cara), fenómeno que ya hemos visto en párrafos anteriores, las cosas no son tan simples. La órbita de la Luna no es un círculo, sino una elipse, y por tanto la Luna oscila durante la órbita, fenómeno llamado libración . Las fuerzas mareales durante la libración calientan la Luna (y son quizá el origen de su pequeño núcleo blando), pero también son la causa de terremotos superficiales .

¿Debemos preocuparnos de los terremotos lunares? Bueno desde la Tierra, nosotros no, pero los

astronautas tal vez sí. En caso de que quisieran construir bases lunares permanentes (y para explorar los planetas, la Luna quizá es el primer paso y el banco de pruebas más fácil), debemos procurar construir edificios mucho más resistentes de los que construimos habitualmente.

En la Luna no existe únicamente el peligro de que el edificio se derrumbe, sino que también es peligroso simplemente que se produzcan grietas, por las cuales se pierda todo el aire ...

En nuestro satélite, se observan también terremotos causados por impactos de meteoritos, pero generalmente no conllevan gran cantidad de energía. C^2

Referencias

La masa inercial es la cantidad que expresa cuantitativamente lo difícil que es cambiar el estado de movimiento (frenar o acelerar) un cuerpo, mientras que la masa gravitatoria es la fuente de la atracción gravitacional entre cuerpos (de modo análogo a la carga, que es fuente de atracción o repulsión en la interacción electrostática). Ambas cantidades siempre son proporcionales, por tanto escogiendo adecuadamente la escala se pueden hacer coincidir. Por eso se habla simplemente de masa.

Se usa la regla del tornillo: el vector asociado a una rotación corresponde a la dirección de avance de un tornillo sujeto a la misma rotación.

El momento de inercia de un disco o cilindro de masa M y radio R es 1/2 M R^2, el de una esfera de la misma masa y radio es 2/5 M R^2

Se supone que la Luna tuvo origen de una colisión entre la Tierra y un otro cuerpo . El material desplazado de la Tierra se fusionó para formar la Luna. En este modelo, la velocidad de rotación original de la Luna tiene que ser acorde al de la Tierra.

La libración en general es la oscilación de un parámetro orbital en torno a su posición de equilibrio.

Enlaces recomendados

http://coa.inducks.org/story.php?c=I+TL++749-A

http://www.nasa.gov/mission_pages/apollo/missions/apollo12.html

http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2006/15mar_moonquakes/

http://en.wikipedia.org/wiki/Internal_structure_of_the_Moon

http://it.wikipedia.org/wiki/Nautilus_%28mollusco%29

http://it.wikipedia.org/wiki/Nautiloidea

https://youtu.be/SyPKoJY23xU

http://burro.astr.cwru.edu/Academics/Astr221/SolarSys/earthmoon.html

http://it.wikipedia.org/wiki/Librazione

http://www.astronomytoday.com/astronomy/earthmoon.html