

[Volver Home Cielo Sur](#)

**PROYECTO DE OBSERVACIÓN DEL ECLIPSE TOTAL DE SOL
QUE OCURRIRÁ EL 22 DE JULIO DE 2006**

Por: Alberto Martos Rubio

INTRODUCCIÓN

Es bien conocido que el fenómeno de precesión que experimenta un péndulo dotado de dos grados de libertad, sirvió al físico francés Léon Foucault para demostrar el movimiento de rotación de la Tierra. Para ello colgó un proyectil de artillería de 27 Kg de peso de un cable de 67 m de longitud, en la bóveda del Panteón de París (figura 1) y lo hizo oscilar libremente, mostrando que el plano de la oscilación rotaba lentamente ($1^{\circ} 20'$ por hora) en el sentido de las manecillas de un reloj. Dado que el péndulo estaba exento de influencias externas, el giro solamente se podía explicar como producido por la rotación de la Tierra en sentido contrario (antihorario).



Figura 1. El Panteón de París en la época de Foucault.

Hoy se denomina a este fenómeno aceleración de Coriolis, o aceleración angular y se explica en virtud del principio de conservación de la cantidad de movimiento (masa x velocidad lineal), o principio de conservación del “momento lineal”.

La condición de que el péndulo goce de dos grados de libertad (por lo menos) es garantía de que el plano de oscilación pueda quedar fijo en el espacio y por ello, un observador situado en la Tierra, crea ver que es el péndulo el que “precesa” en el sentido horario. Esta situación en la que el péndulo oscila independientemente de la rotación terrestre, conservando así su momento lineal, constituye lo que se denomina en física, sistema de referencia inercial.

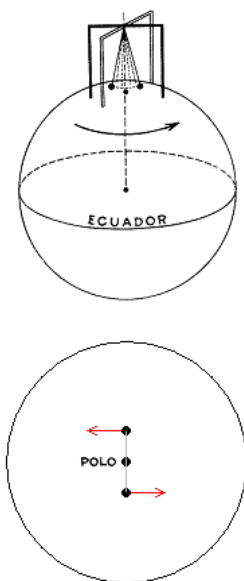


Figura 2

El fenómeno de precesión del péndulo se comprende más fácilmente si se supone al péndulo suspendido exactamente en un polo terrestre (figura 2). Los postes del marco que lo sujetan girarán alrededor del polo en el mismo sentido en que rota la Tierra, antihorario en el hemisferio Norte y horario en el hemisferio Sur.

Como resultado y si el péndulo se encuentra en un sistema de referencia inercial, un observador situado sobre la Tierra verá rotar al plano de precesión en sentido contrario, o sea, en sentido horario en el polo Norte y en sentido antihorario en el polo Sur. La velocidad de precesión sería de 360 grados en 23h 56m, o 15 grados/hora sidérea. Y el período un día sidéreo (23h 56m).

Sin embargo, desde un hipotético satélite geoestacionario se vería girar al marco y al observador con la Tierra y al péndulo oscilar en un plano fijo. Un físico diría que el satélite y el péndulo se hallan en un sistema inercial y el observador y el marco del péndulo en otro sistema inercial distinto.

Uno puede protestar, ¡pero Foucault estaba en París, no en un polo! Bien, para comprender lo que ocurre cuando el péndulo no está situado sobre un polo, veamos antes lo que sucede cuando el péndulo está exactamente sobre el ecuador terrestre.

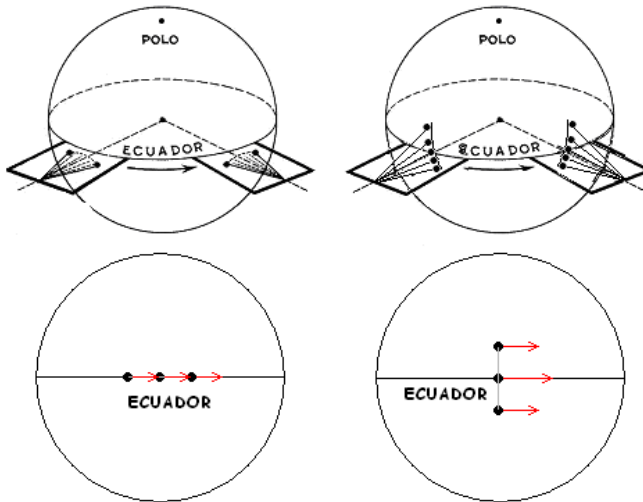


Figura 3

modo, la velocidad angular de los tres puntos es idéntica.

En este supuesto se puede considerar dos casos: que el péndulo oscile en dirección Este-Oeste, o que lo haga en dirección Norte Sur. La figura 3 muestra que en ambos casos los postes se mueven en el mismo sentido que el péndulo y, por tanto, no giran a su alrededor.

Advirtamos que en el caso de oscilación Norte-Sur, el péndulo se mueve con velocidad lineal ligeramente mayor que los postes, porque la longitud del ecuador es mayor que la de los paralelos correspondientes. De este

En resumen, con el péndulo sobre el ecuador no existe precesión. O lo que es lo mismo, el período de precesión es infinito.

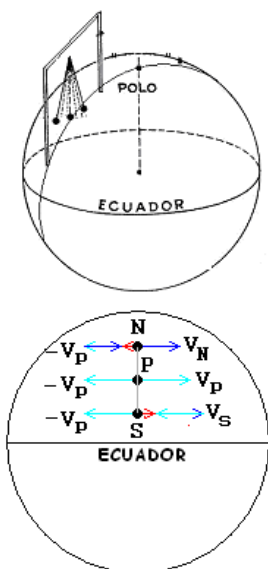


Figura 4

Finalmente, en el caso de el péndulo se encuentre situado en un punto de latitud intermedia entre el polo y el ecuador, existe precesión cuando el sentido de oscilación del péndulo es Norte-Sur. En la figura 4 vemos que el poste de latitud más baja (S) se mueve linealmente más deprisa que el péndulo (P), mientras que el poste de latitud mayor (N) lo hace más despacio que los otros dos.

En mecánica, este tipo de problemas se resuelve restando la velocidad media V_P (la del péndulo) de las velocidades extremas V_N y V_S (las de los postes). O sea:

$$\text{Para le péndulo: } V_P - V_P = 0$$

$$\text{Para el poste N: } V_N - V_P < 0$$

$$\text{Para el poste S: } V_S - V_P > 0$$

El resultado con respecto al punto P, que ahora consideramos fijo, es que:

El poste N gira muy despacio (flecha roja) a su alrededor y en sentido contrario a la rotación terrestre.

El poste S gira alrededor del péndulo a la misma velocidad (flecha roja) que el poste N, pero en el mismo sentido de rotación de la Tierra.

En consecuencia, la situación es la misma que en el caso del péndulo sobre el polo, aunque la velocidad de precesión relativa de los postes es mucho menor que dicho caso. Esta velocidad es inversamente proporcional a la latitud (λ).

El valor del período de precesión es:
$$P = \frac{23,9}{\text{sen } \lambda}$$

Para París ($\lambda = 48^\circ 50'$), el período de precesión resulta ser de 31h 45m, que corresponde a una velocidad algo menor que 11,3°/h. La siguiente tabla expone los valores del período y la velocidad de precesión de un péndulo, para diferentes latitudes sobre la Tierra.

| LATITUD (°) | PERÍODO (h) | VELOCIDAD (°/h) |
|-------------|-------------|-----------------|
| 90 | 23,93 | 15,04 |
| 80 | 24,30 | 14,81 |
| 70 | 25,47 | 14,13 |
| 60 | 27,64 | 13,03 |
| 50 | 31,24 | 11,52 |
| 40 | 37,24 | 9,67 |
| 30 | 47,87 | 7,52 |
| 20 | 69,98 | 5,14 |
| 10 | 137,8 | 2,61 |
| 0 | ∞ | 0 |

* * *

No obstante la teoría y los cálculos anteriores, diferentes experimentadores que han utilizado péndulos, han detectado ciertas anomalías a largo plazo tanto en el movimiento de precesión, como en el período de los mismos. Anomalías que parecen relacionadas con la posición relativa del observador, la Luna y el Sol y que vienen a decirnos que nuestra teoría del péndulo es incompleta, aunque cierta.

Las ocasiones en que se han registrado dichas anomalías más claramente han sido durante eclipses totales de Sol. Son varios los experimentadores que las han anunciado a lo largo del pasado siglo XX, destacando entre ellos, por su meticulosidad y extensión, las llevadas a cabo por el físico francés Maurice Allais.

Los informes publicados por este científico, aunque desoídos por la comunidad científica por razones que apuntaremos más adelante, han motivado a varios investigadores a repetir los experimentos pendulares durante algunos eclipses totales de Sol, en los que han obtenido resultados que favorecen y contradicen la hipótesis de Allais, en proporciones equilibradas. Esta incertidumbre sobre la realidad del fenómeno perturbador es el mejor acicate que un experimentador inquieto puede hallar para tratar de repetir la prueba en la ocasión del próximo eclipse y contribuir en lo posible a esclarecer la explicación. Y es la razón que nos impulsa a nosotros a efectuar un ensayo en China, durante el próximo eclipse total de Sol del 22 de Julio.

[\[Enlace a la Guía para la Observación\]](#)

Con intención de hacer más comprensible el desarrollo de los acontecimientos que avalan la oportunidad presente para repetir el experimento de Allais, ofrecemos seguidamente al lector un resumen de las evidencias existentes sobre las perturbaciones que registra un péndulo, asociadas a la posición relativa del observador, la Luna y el Sol.

ANTECEDENTES

Observaciones de George Darwin.

El primer informe que hemos sido capaces de encontrar sobre las perturbaciones que experimenta un péndulo, inducidas por la posición relativa de la Luna, corresponde al astrónomo *Sir* George Darwin (F.R.S.)¹, segundo hijo del celeberrimo naturalista. Las descubrió durante su estudio de las dos mareas diarias (marea y antimarea) que levanta la Luna sobre la Tierra, trabajo que le llevó finalmente a formular la hipótesis de la fisión, para el origen de la Luna, en un libro titulado *Tides and Ages* (“Mareas y Edades”)².

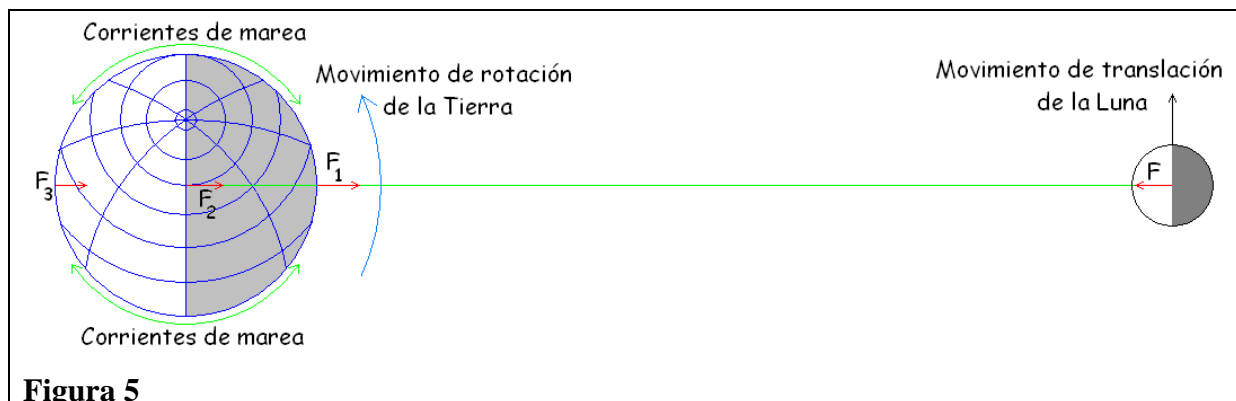


Figura 5

El mecanismo de las mareas obedece a la diferencia de atracciones gravitatorias que ejerce la Luna sobre los distintos puntos de la superficie terrestre ocupados por el mar y se debe a la desigualdad de sus distancias respectivas a este satélite. En la figura 5 hemos representado el caso extremo, o sea el que afecta a los puntos sublunar y antislunar de la superficie terrestre, que se hallan a las distancias mínima y máxima, respectivamente, de la Luna. Para comparar el esfuerzo elevador de la fuerza gravitatoria lunar en estos puntos resulta conveniente compararla con la que ejerce la Luna sobre el centro de la Tierra.

La fuerza F_1 que experimenta el punto sublunar (el más cercano) es ligeramente mayor que la fuerza F_2 que ejerce la Luna sobre el centro de masas de la Tierra, por lo que tiende a acercarse a la Luna más que el centro de masas. Y, a su vez, la fuerza F_3 que experimenta el punto antislunar (el más lejano) es ligeramente inferior a esta fuerza F_2 , por lo que el centro de masas de la Tierra tiende a acercarse a la Luna más que el punto antislunar. En consecuencia, en la Tierra las aguas oceánicas tienden a concentrarse en ambos puntos sublunar y antislunar, fluyendo desde las regiones intermedias, donde la fuerza de atracción gravitatoria es horizontal, para formar dos abultamientos, sublunar y antípoda, que pueden alcanzar hasta 14 m de elevación sobre la superficie media del océano.

Ahora bien, como la Luna sale cada día 50 minutos más tarde, de promedio, en un puerto cualquiera se reciben diariamente dos mareas separadas unas 12h 25m, una (la marea) cuando la Luna se halla en el meridiano del lugar y otra (la antimarea) cuando la Luna se encuentra en el meridiano opuesto, o antimeridiano. El fenómeno marino es pues equiparable a una oscilación forzada de las aguas oceánicas de período igual a 24h 50m 238s (de promedio).

¹ *Fellow of the Royal Society.*

² Este trabajo ha sido incorporado a la 9ª edición de la *Encyclopaedia Britannica* (1875-1889), bajo el título simple de *Tides*: <http://www.1902encyclopedia.com/T/TID/tides-50.html>

En su observación de las mareas, Darwin había descubierto que las pleamares no ocurren exactamente cuando la Luna se halla sobre el meridiano o en el antimeridiano del lugar en cuestión, sino que debido a las pérdidas por fricción (2000 millones de Kw) con los fondos marinos en los lugares someros, tardan en elevarse unos 12 minutos. El análisis armónico de esta situación le mostró que tal retraso tenía consecuencias insospechadas para el Sistema Tierra-Luna.

En efecto, comoquiera que la Tierra rota con velocidad angular de 15,04 grados/hora (29,5 veces más deprisa que la Luna alrededor de la Tierra), el retraso de 12 minutos equivale a unos 3 grados en el giro terrestre, lo que supone que cada pleamar alcanza su elevación máxima cuando la Luna se halla ya 3° al Oeste de su meridiano, o sea sobre un punto situado 3° al Este del punto sublunar. En la figura 6 hemos representado este fenómeno exagerando los abultamientos debidos a la marea y a la antimarea.

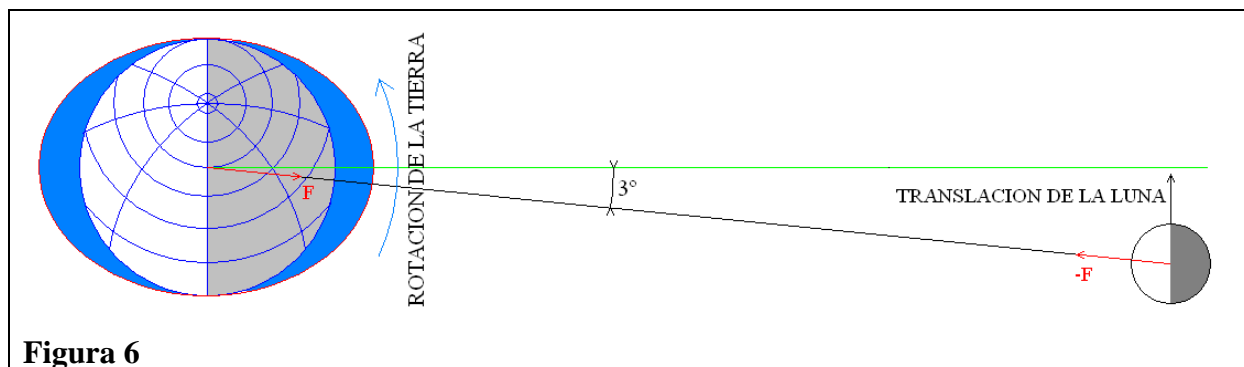


Figura 6

Como resultado de este desfase, bajo la atracción de la Luna ambos abultamientos se comportan como las zapatas de un freno que se opone a la rotación de la Tierra y dan lugar a que la duración del día se esté alargando 1,7 milésimas de segundo por siglo. Y este frenado de la Tierra se compensa (por la misma ley de la conservación del momento de la cantidad de movimiento) con una aceleración de la Luna que la lleva a alejarse de la Tierra al ritmo de 3 m por siglo.

De estas evidencias dedujo George Darwin que hace miles de millones de años la Tierra y la Luna debieron estar juntas, formando un único planeta que rotaba demasiado deprisa (en unas 5 horas) y que se escindió probablemente por inestabilidades debidas a esta gran velocidad de rotación. Este es el razonamiento que le llevó a postular la hipótesis de la fisión para explicar el origen de la Luna. Sin embargo, esta hipótesis no daba cuenta de porqué la Luna no se haya situada en el plano ecuatorial de la Tierra.

En sus estudios sobre las mareas, Darwin creyó conveniente “manipular la escala de tiempo” y definir como día lunar el período de 24 horas, 50 minutos y 283 segundos, que contiene exactamente dos pleamares y dos bajamares consecutivas. Con este subterfugio, en cada día lunar la marea se presentaba de la misma manera y a la misma hora del reloj lunar.

Más afín con el tema que nos ocupa, citaremos que estudiando las interacciones de la Luna y las mareas y utilizando un péndulo para medir la aceleración horizontal que acumula las aguas oceánicas en el punto sublunar para elevar la marea, Darwin encontró que la Luna influye en el plano de oscilación, ¡incluso aunque el péndulo se halle sobre el ecuador terrestre!

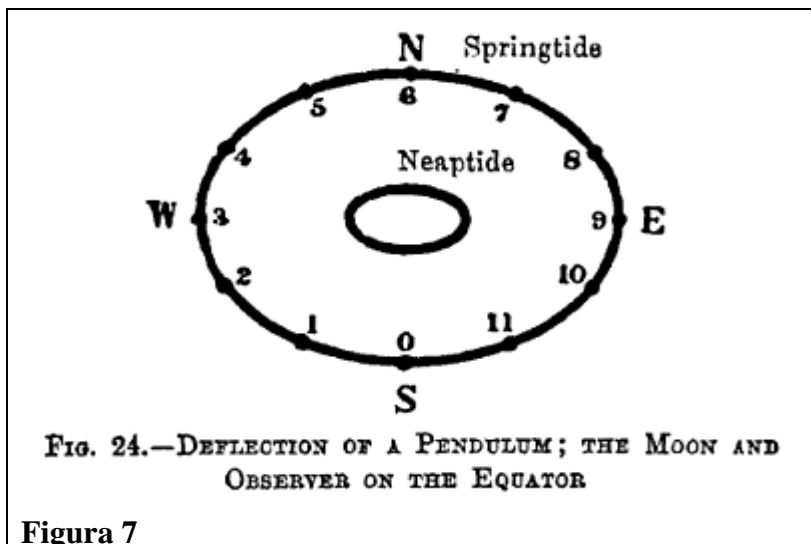


Figura 7

The curves which are traced out by a pendulum present an infinite variety of forms, corresponding to various positions of the observer on the earth and of the moon in the heavens. Two illustrations of these curves must suffice. Fig 24 shows the case when the moon is on the celestial equator and the observer on the terrestrial equator. The path is here a simple ellipse, which is traversed twice over in the lunar day by the pendulum. The hours of the lunar day at which the bob occupies successive positions are marked on the curve. If the larger ellipse be taken to show the displacement of a pendulum when the sun and moon cooperate at spring tide, the smaller one will show its path at the time of neap tide." (Darwin, *Tides*, cap. VI, pp. 111-112).

En efecto, en el caso particular en que la Luna se halla sobre el ecuador celeste y el péndulo sobre el ecuador terrestre (figura 7), la dirección de la precesión describe una elipse, cuyo tamaño es máximo en las sicigias (alineaciones) Sol-Tierra-Luna (*springtide*) y mínimo durante las cuadraturas (*neap tide*) de dichos astros. En palabras del propio Darwin³:

En el caso en que el observador se halle en un punto de latitud 15° N y la declinación de la Luna es de 15° N (figura 8), la precesión describe a lo largo de un día lunar una figura trilobulada. Así lo expone Darwin:

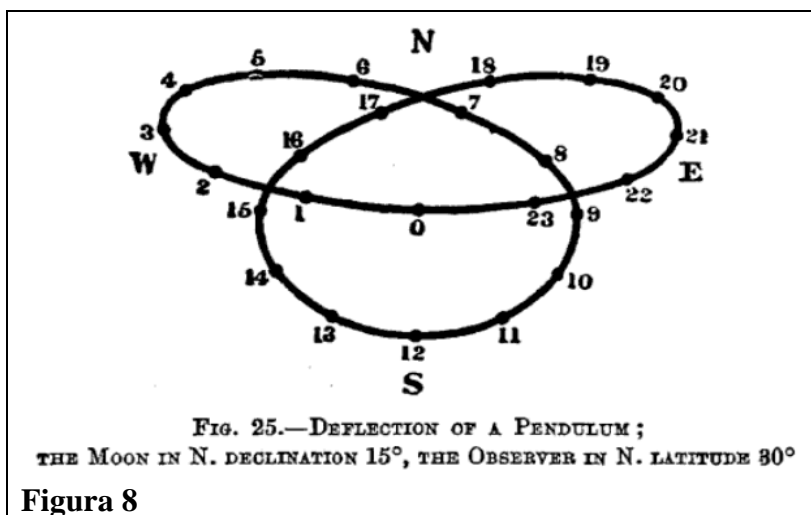


Figura 8

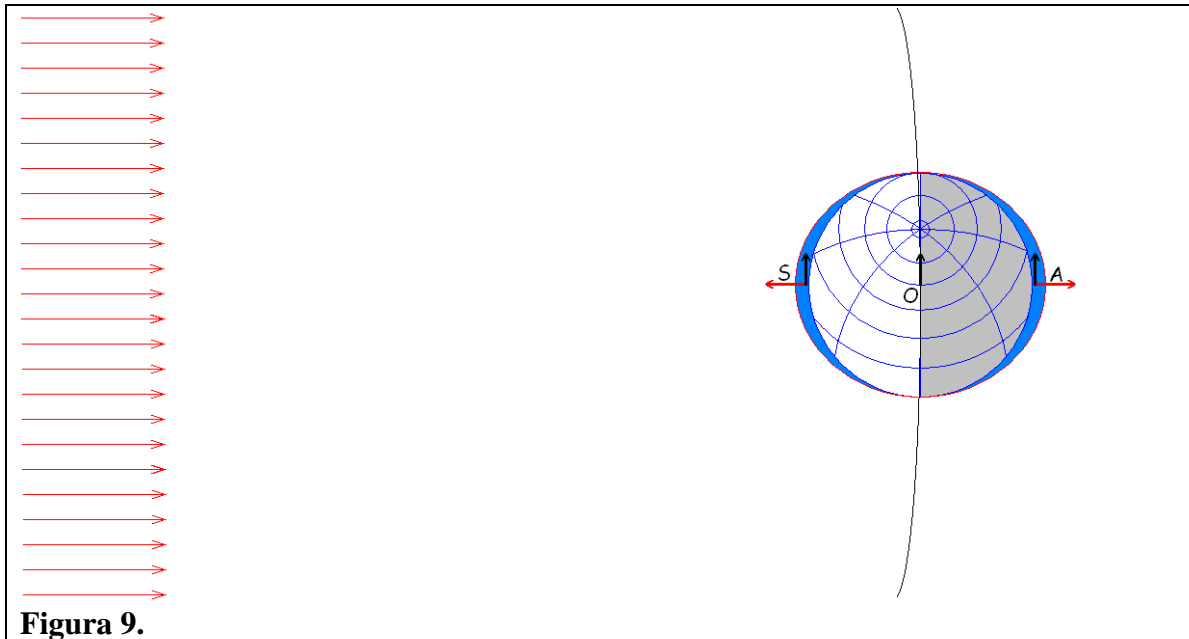
In figure 25 the Observer is supposed to be in latitude 30°, whilst the moon stands 15° N of the equator.

La reflexión de estas experiencias descritas por Darwin es que la atracción gravitatoria lunar que origina las mareas sobre las aguas oceánicas, posee una componente horizontal que se manifiesta en el movimiento de precesión de un péndulo.

Este hallazgo de Darwin parece haber sido olvidado por algunos de los experimentadores que vamos a citar seguidamente.

³ G. Darwin, "The tides and kindred phenomena in the solar system", http://books.google.es/books?id=umO5que849YC&pg=RA1-PA112&lpg=RA1-PA112&dq=George+Darwin+Tides+%22two+illustrations+of+these+curves%22&source=bl&ots=jveHLzB5Lf&sig=bEej2LB6zJzJtgOtpmUoDcJYzs&hl=es&ei=FEhYSqbYFNKrfAflmPUa&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=3

Por otro lado, la rotación terrestre también viene afectada por las mareas solares, es decir, las que levanta el Sol sobre la Tierra. La explicación de la formación de estas mareas, cuya amplitud (del orden los centímetros) es muy inferior a la de las mareas lunares, se esquematiza en la figura 6, que representa a la Tierra girando alrededor del Sol.



El punto O es el centro de gravedad de la Tierra, que gira con la velocidad de translación (30 Km/s) equilibrando la atracción solar a la distancia Tierra-Sol (149 millones de kilómetros). El punto subsolar S, que por estar más cerca del Sol que el punto O debería girar algo más deprisa que dicho punto, experimenta una “caída” hacia el Sol debido a su menor velocidad. Y el punto antisolar A, que por estar más lejos del Sol que el centro de gravedad O, debería girar a una velocidad ligeramente inferior a la de A, pero como se mueve a la misma velocidad que el punto O, tiende a escapar. Ello da como resultado dos mareas, una subsolar en el punto S y otra antisolar en el punto A.

La figura 10 esquematiza cómo la combinación de ambas mareas, lunares y solares, da lugar al fenómeno de “mareas vivas”, cuando ambas coinciden en las sicigias y sus efectos se suman, y a “mareas muertas” cuando la Luna y el Sol se encuentran en cuadratura (en ambos cuartos menguante y creciente) y sus efectos se contrarrestan.

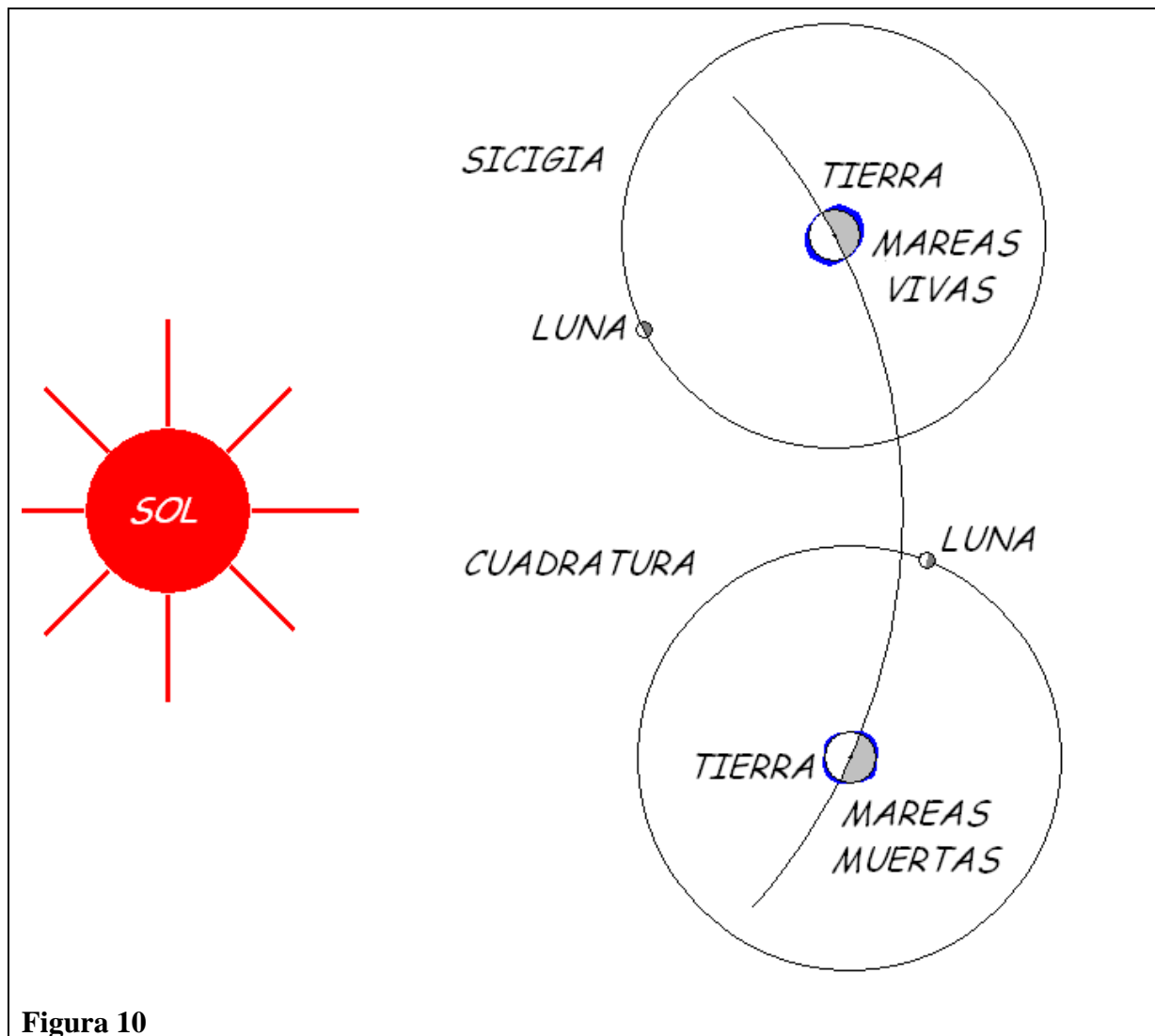


Figura 10

La consecuencia de ambas influencias Lunar y solar, es que la altura de las mareas sigue un ritmo que contiene componentes periódicos del día sidéreo y del día lunar. Además, la complejidad del cálculo de la altura que alcanzan las mareas aumenta al tener en consideración la distancia Tierra-Luna, que varía con el mes lunar, y la distancia Tierra-Sol, que varía con el año solar. En definitiva, la amplitud de la oscilación forzada a que someten la Luna y el Sol a las aguas oceánicas, es una función complicada que contiene términos periódicos provenientes de las efemérides lunares y solares.

Parece entonces fácil de entender que un péndulo pueda detectar estos complicados fenómenos, pues no perdamos de vista que esta oscilación forzada del nivel de las aguas no es sino el resultado de la oscilación gravimétrica sobre la superficie del mar, inducida por la gravedad combinada de la Tierra, La Luna y el Sol y que el período de un péndulo viene determinado por la fuerza de la gravedad. Pero queda por explicar cómo pueden influir sobre el sentido y la velocidad de precesión del mismo.

Investigaciones de Ernest Esclangon.

En 1926, el astrónomo francés Ernest Esclangon, del observatorio de Estrasburgo, informó haber descubierto disimetrías mecánicas en el movimiento de rotación de la Tierra. Las había detectado, junto con su colaborador André Danjon, al analizar las desviaciones de la vertical de un péndulo de torsión (horizontal), que se habían registrado en Postdam, en observaciones efectuadas entre 1904 y 1909. Su informe fue leído por otro astrónomo galo, Henri Deslandres, ante la Academia de Ciencias francesa⁴, en su sesión semanal del 12 de Abril de 1926.

“La desviación de la vertical puede considerarse, *a priori*, como una función cuasi-periódica, cuya componente periódica comprende el día solar medio, el día lunar, los años solares y lunares, etc. y, en fin, incluso el día sidéreo”.

Esclangón se preguntaba si “podría un fuerte movimiento absoluto de la Tierra, a parte de su movimiento orbital, engendrar desviaciones de la vertical que tuvieran como período, en razón de la rotación terrestre, asimismo el día sidéreo?”.

“Si se interpretan las desviaciones observadas como resultado del achatamiento terrestres, cuyos polos variables estarían orientados hacia un punto fijo del cielo estrellado, se encuentra que la ascensión recta de esta dirección es de 04h 35m con el péndulo 1 y 03h 30m con el péndulo 2, que está orientado a 90° con respecto al péndulo 1”.

“En cualquier caso, un examen detallado parece indicar, ante este efecto mecánico, que no hay simetría absoluta con respecto al meridiano del lugar, como si la *maree sidérea* comportara una suerte de viscosidad especial que desfasara de manera diferente las componentes sucesivas ordenadas en serie de Fourier con respecto al ángulo horario de la dirección celeste perturbadora. Esta hipótesis, bien que extraña, concordaría con la existencia de reacciones mutuas sensibles frente a la componente solar, cuyo período es muy parecido”.

⁴ *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences, séance du 12 du Avril 1926*, pág. 921 y ss (<http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k31356.image.f921>).

Evidencias modernas de la influencia de la luna sobre el movimiento de precesión de un péndulo: EL “EFECTO ALLAIS”

Entre 1953 y 1957, el físico francés Maurice Allais llevó a cabo una serie maratoniaca de mediciones del período y la precesión de un péndulo especial de su invención, denominado paracónico. Estas medidas se efectuaron desde dos laboratorios distintos y se continuaron durante grupos de varios días, lanzando el péndulo cada 20 minutos mediante el recurso de sujetarlo con una cuerda que se quemaba al lanzamiento, para así no introducir desviación alguna sobre el acimut inicial de la oscilación.

Allais anunció haber descubierto una serie de anomalías, tanto en el período como en la precesión del péndulo, que no se podían explicar como debidas a efectos mecánicos de las piezas que componían el péndulo. La anomalía más significativa ocurrió el 30 de Junio de 1954, precisamente durante un eclipse total de Sol, que se veía como parcial desde París. Las medidas continuadas habían comenzado el 28 de Junio y se alargaron hasta el 1 de Julio, tras haberse detectado dicha anomalía desconcertante. La figura 11 (7B de Allais) muestra los hechos.

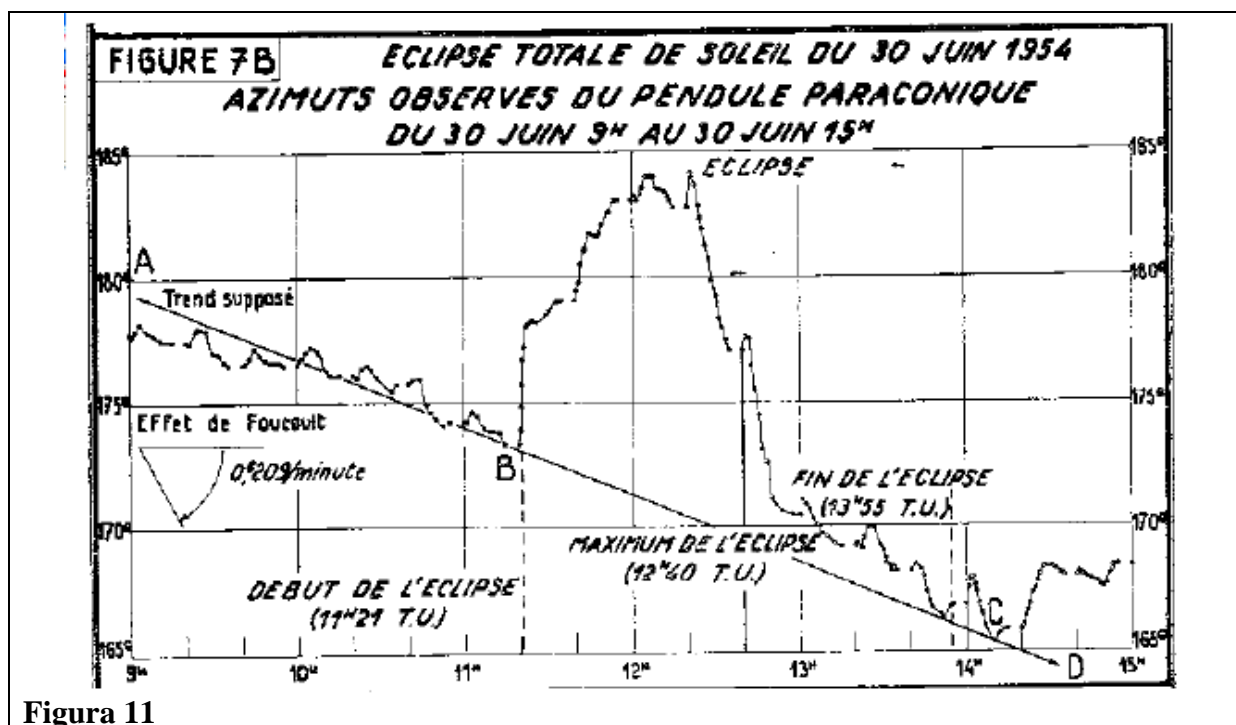


Figura 11

El plano de oscilación del péndulo que rotaba a unos 12,5 g/h (grados centesimales por hora, equivalentes a 11,3 °/h, como hemos consignado más arriba) en el sentido de las agujas de un reloj (o 0,209 g/m por efecto Foucault), aumentó “brutalmente” en 5 g (4,5° sexagesimales), al tiempo que se invertía el sentido de la precesión (se hizo antihoraria), ambos fenómenos en el instante del primer contacto visto desde París (11h 21m)..

A partir de ese momento, la velocidad de precesión continuó aumentando más lentamente, hasta alcanzar el máximo de 15 g/h (13,5°/h) a las 12:40, o sea, 20 minutos antes del máximo de la totalidad desde París. Seguidamente disminuyó hasta estabilizarse a la hora del último contacto (desde París), bien que conservó un valor superior al que mostraba inicialmente.

Allais no publicó este resultado inmediatamente, sino que decidió esperar a repetir el experimento cinco años más tarde, el 2 de Octubre de 1959, con ocasión de un segundo eclipse total de Sol, visible como parcial desde París. En esta ocasión, aunque el fenómeno se repitió, su efecto fue menos marcado que en la vez anterior, quizá porque la superficie solar eclipsada era un 37% de la eclipsada en 1954.

Allais publicó su resultado en la revista *Aero/Space Engineering*, en Septiembre de ese año, en un artículo titulado “¿Hay que revisar las leyes de la gravitación?”⁵, con la esperanza de que su descubrimiento revolucionara a la comunidad científica internacional y el secreto anhelo de conseguir el Premio Nobel de Física⁶, pero su informe no fue recibido con el interés que él deseaba⁷. La razón de esta reticencia hay que buscarla tanto en la reluctancia que debieron acoger todos los profesionales el anuncio de revisión de unas leyes aceptadas y más comprobadas a lo largo y lo ancho del mundo, durante cuatro siglos, como en el tinte pseudopolítico de rivalidad científica galo-germana, que destilaban las proclamas de Allais.

Efectivamente, Allais colaboraba en un movimiento de impugnación de la paternidad de la Teoría de la Relatividad Restringida, en contra de Albert Einstein (a quien tildaban de plagiador) y en favor de Henry Poincaré. Así, basó su explicación de las anomalías detectadas en el péndulo (en cualesquiera circunstancias) en la anisotropía del espacio, un concepto que traía de la mano la existencia del éter, que combatiera Einstein⁸.

Después de la publicación de Allais, numerosos investigadores han repetido el experimento utilizando distintos aparatos y han obtenido resultados ligeramente favorables a la existencia del Efecto Allais. Seguidamente listamos los que hemos sido capaces de hallar:

- 1954. En Francia, con péndulo, resultado **positivo**.
- 1954. En Escocia, con gravímetro, resultado **negativo**.
- 1959. En Francia (repetición) con péndulo, resultado **positivo**.
- 1965. En Trieste (Italia), con gravímetro, resultado **negativo**.
- 1970. En Boston, con péndulo, resultado **positivo**.
- 1981. En Rumania (descubrimiento independientemente) con péndulo, resultado **positivo**.
- 1990. En Helsinki, resultado negativo. En Rusia, resultado **negativo**.
- 1991. En México, con péndulo, resultado **inconcluyente**.
- 1992. En China, con balanza de torsión, resultado **positivo**.
- 1995. En la India, con gravímetro, resultado **positivo**.

Durante el eclipse total de Sol que atravesó Europa en 1999, se puso en práctica un gran esfuerzo internacional encaminado a desentrañar el misterioso efecto, encabezado por el Dr. David Noever, del Marshall Space Center de NASA. Se veredicto final fue que

"La interpretación inicial de los registros apunta tres posibilidades: un error sistemático, un efecto local o algo desconocido".

⁵ M. Allais, “*Should the Laws of Gravitation be Reconsidered?*”.
<http://www.allais.info/priorartdocs/lawgrav.htm>

⁶ Allais sería galardonado en 1988 con el Premio Nobel de Economía.

⁷ No obstante, su trabajo de 1959 recibió el Premio Galabert de la Sociedad Astronáutica Francesa.

⁸ Wikipedia ofrece un interesante resumen de esta disputa en la Talk Page:
http://en.wikipedia.org/wiki/Talk:Allais_effect

El péndulo paracónico de Allais está esquematizado en la figura 12. Se trata de un dispositivo asimétrico que consta de una horquilla de bronce apoyada mediante un cono sobre una bola de acero de 6,5 mm de diámetro (de un rodamiento SKF) que, a su vez, puede rodar libremente sobre una pletina circular de aluminio de 4,5 cm de espesor. Esta pletina se encuentra enclavada en un vaciado practicado sobre un apoyo suspendido del techo mediante tornillos micrométricos para colocarlo perfectamente horizontal.

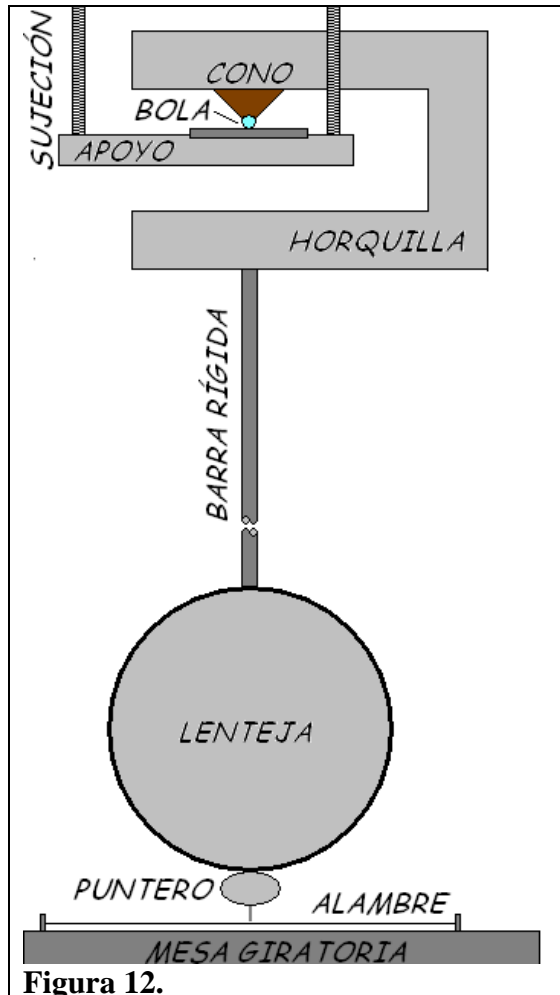


Figura 12.

Alineada con el cono y la bola, la horquilla sujeta una barra de bronce de longitud tal que la longitud total del péndulo es de 83 cm. En el extremo inferior de la barra se colocó la lenteja, un disco de bronce de unos 50 cm de diámetro y 7,5 Kg de peso, que llevaba un puntero (una aguja) en la parte inferior. El peso total del péndulo era de 12 Kg.

El conjunto, cuyo peso era de 2 toneladas, se hallaba instalado en un sótano y el experimento se realizaba lanzando el péndulo al quemar una cuerda que lo sujetaba en la posición de máxima desviación, 0,11 radianes ($6,3^\circ$), con respecto a la vertical. Seguidamente se lo dejaba oscilar durante 20 minutos, observando la precesión durante los 14 primeros minutos por medio de un alambre montado en un brazo rotatorio que podía girar sobre un disco graduado. Después se procedía a lanzarlo nuevamente en el acimut de la última medida.

El experimento se prolongó día y noche, efectuando 72 lanzamientos diarios y para evitar efectos sistemáticos, se cambiaba la bola de acero a cada lanzamiento y la pletina a cada semana.

Los resultados arrojaron la existencia de cierta anisotropía en el apoyo, que se manifestaba por una tendencia a oscilar en un acimut preferente (154° medidos desde el Sur en sentido horario). Si se lanzaba el péndulo a oscilar en otro acimut, entonces la tendencia era a generar elipses. Pero el efecto más remarcable tuvo lugar durante el eclipse del 30 de Junio de 1954, con un incremento brusco de $13,5^\circ$ ($15g$), que implica la actuación de fuerzas equiparables a las que producen el efecto Foucault.

Finalmente Allais planteaba cuatro preguntas a las que, a su entender, sólo se podía contestar (mediante razonamientos muy elaborados) alegando la anisotropía del espacio, razón que como hemos indicado, no encajaba en el modelo einsteiniano de la gravedad. Otros investigadores, a quienes vamos a citar a continuación, repitieron el experimento de Allais, bien que con instrumentos más sencillos (de torsión), hallando resultados interesantes. Veremos que algunos de ellos se contagiaron de la fiebre revolucionaria del físico galo y reclamaron la revisión de la teoría gravitatoria.

OBSERVACIÓN DE ECLIPSES CON UN PÉNDULO DE TORSIÓN

(I) El eclipse de Sol de 1970 “visto” por un Péndulo de Torsión.

Erwin J. Saxl (*Tensitron, Incorporated, Harvard, Mass. 01451*)

y

Mildred Allen (*Mount Holyoke College, South Hadley, Mass. 01075*).

Physical Review D, vol. 3, num. 4, 15 February 1971.

Durante el eclipse de Sol ocurrido el 7 de Mayo de 1970 tomaron y registraron electrónicamente medidas del tiempo requerido por un péndulo de torsión para pasar por un determinado punto fijo de su trayectoria, incluyendo ambos trayectos en sentidos horario y antihorario, en su primera oscilación desde la posición de reposo.

Durante el curso del eclipse se observaron variaciones significativas de este tiempo, así como en las horas precedentes y justamente después del eclipse. Entre el inicio del eclipse y el máximo del mismo hubo un incremento continuo de los tiempos observados. Después del máximo, los tiempos disminuyeron rápidamente y se equilibraron pronto en valores considerablemente mayores que los observados antes del eclipse.

Aún más, antes del eclipse hubo una variación periódica de dichos tiempos. Esta extraña periodicidad se repitió esencialmente dos semanas más tarde a las mismas horas, siendo los valores ahora considerablemente mayores que los primeros. Como en esta ocasión la Luna se hallaba sobre el hemisferio nocturno de la Tierra, el incremento se atribuye al “tirón” gravitatorio conjunto de la Tierra y la Luna sobre el péndulo.

Los investigadores calcularon que el incremento relativo registrado ($2,7 \times 10^{-4}$) requeriría una tensión adicional en el hilo de 1,2 Kg, un 5% del peso de la lenteja (23,4 Kg). Este resultado es consistente en orden de magnitud con otros obtenidos en Harvard durante 17 años.

Estos incrementos de los valores últimos exceden en un factor de 10^5 a aquellos que se pueden explicar mediante la atracción de la Luna por su cambio de posición con respecto al Sol y a la Tierra ($0,00016 \text{ cm/s}^2$, o sea, $1,6 \times 10^{-5}\%$).

En resumen, todas estas evidencias conducen a la conclusión de que la teoría clásica de la gravedad ha de ser modificada para explicarlas.

Datos:

Localidad Harvard, Massachussets.

Eclipse 96,5% total en Boston (a 32 Km).

Inicio del eclipse .. 12:31 TL

Máximo 13:40 TL

Final del eclipse ... 14:58 TL

Período antes del eclipse = 29,570 s

Período al final del eclipse = 29,581 s

Precisión del oscilador = 1 parte en 10^8

Exactitud de la medida = 0,00001 s.

(II) Efecto del eclipse solar sobre el período de un péndulo de torsión.

T. Kuusela.

Wihuri Physical Laboratory and Department of Physical Sciences, University of Turku, Finland.

Physical Review D, vol. 43, num. 6, 15 March 1991.

Durante el eclipse de Sol del 22 de Julio de 1990, en Finlandia, se midió el período de un péndulo de torsión. En experimentos previos de esta clase [*Phys. Rev. D* 3, 823 (1971)] se halló un incremento considerable en el período del péndulo durante un eclipse de Sol. Sin embargo, en nuestro experimento no se observó cambio significativo alguno del período. El cambio relativo en el período del péndulo relacionado con el eclipse que se midió fue menor de $4,3 \times 10^{-6}$ (fiabilidad del 90%).

El péndulo de torsión consistía en un disco de bronce de 247 mm de diámetro, 29,6 mm de espesor y 12 Kg de masa y un cable de acero de 1,00 m de longitud y 1,00 mm de diámetro. Ambas puntas del cable iban soldadas a sendos tornillos con soldadura de cadmio-plata, cuyo punto de fusión quedaba bien por debajo de la temperatura que podría alterar las propiedades elásticas del cable. Los tornillos se fijaron al orificio del disco y a la estructura soporte.

El bastidor de dicha estructura estaba formado por tubos cuadrados de acero de 120 cm de altura, 35 cm de anchura y 35 cm de longitud, soldados juntos. El bastidor se cubrió con láminas de aluminio para protegerlo de campos estáticos y de radiación electromagnética. Para evitar cambios bruscos de temperatura todo el bastidor se recubrió con una capa de espuma de poliuretano de 50 mm de espesor. Finalmente fue atornillado a un pesada losa de cemento.

El período se determinó por medio de un haz de luz reflejada en un espejo sujeto al disco rotatorio, cerca del cable. En la posición de equilibrio del péndulo el haz incidía sobre un fototransistor sensible. La luz infrarroja era emitida por un diodo LED que disipaba muy baja potencia dentro del bastidor (>10 mW). La distancia del emisor y del transistor al espejo era de 15 cm. La anchura del haz, 1 mm.

La señal del fototransistor alimentaba un comparador de precisión, cuya salida disparaba un contador formado por circuitos biestables (flip-flops). La cuenta comenzaba cuando el disco pasaba por la posición de equilibrio en sentido horario y se paraba cuando volvía a pasar en el mismo sentido horario. El siguiente ciclo se iniciaba con el paso consecutivo en sentido antihorario y se terminaba al siguiente paso antihorario. De este modo se esperaba evitar errores sistemáticos.

El oscilador del contador electrónico estaba controlado piezoeléctricamente y producía una frecuencia nominal de 1×10^6 Hz, con una precisión de 0,05 Hz en el rango de temperaturas en que funcionó. Además, un sensor especial avisaba cuando la amplitud de las oscilaciones bajaba de 85 grados.

Por último, se instalaron dos termómetros en el bastidor, uno en la parte superior y otro en la inferior, y un tercero en el exterior. La variación de temperatura durante el experimento (12 h) fue de $0,2^\circ$ C.

RESULTADOS:

El experimento se realizó en Turku, a 25 Km de la línea de la totalidad (99,8% de ocultación).

Primer contacto 04:04 T.L.

Altura del Sol y de la Luna $-3,8^\circ$

Orto solar 04:47

Máximo del eclipse 04:54

Altura del Sol $0,5^\circ$

Último contacto 05:46

El experimento se inició 4 horas antes del primer contacto y se terminó 5 horas después del último contacto. El período de un péndulo de torsión depende de la temperatura, porque ésta influye sobre la longitud, la anchura y la rigidez a la torsión del hilo, así como las dimensiones del disco. El resultado fue que, contrariamente a los experimentos previos, no se detectó anomalía alguna del período, sino que el período decreció exponencialmente por las razones apuntadas.

Para analizar más de cerca la posible influencia del eclipse en el período, se eliminó de los datos medidos la dependencia regular de la amplitud que muestra el período del péndulo, mediante la transformada de Fourier. El resultado se multiplicó por la función suave de un filtro de paso bajo que eliminó las componentes mayores de $2,8 \times 10^{-4}$ Hz (aproximadamente 1 hora en la escala de tiempo). Tras el filtraje, la salida se volvió a convertir en series de tiempo y esta curva suavizada se restó de los datos originales. La desviación típica (estándar) mostró que el cambio del período del péndulo fue de $-0,03 \pm 0,07$ ms (fiabilidad del 90%). Se puede concluir que la desviación es consistente con cero, dentro de errores experimentales de ± 10 ms, o $\pm 4,3 \times 10^{-6}$ segundos cuando se normaliza los tiempos con el período del péndulo ($\approx 22,9$ s).

CONCLUSIÓN:

Durante el eclipse de Sol del 22 de Julio, se midió el período de un péndulo de torsión en Finlandia. Contrariamente a las experiencias anteriores, no se observó incremento del período. Se encontró que el cambio relativo del período asociado con el eclipse era menor de $4,3 \times 10^{-6}$ segundos (fiabilidad del 90%).

(III) Observación del eclipse de sol de 1990 con un péndulo de torsión.

Luo Jun, Li Jianguo y Zhang Xuerong

Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, China.

V. Liajovets

Patrice Lumumba Peoples Friendship University, Moscú, USSR.

M. Lomonosov y A. Ragyn

Krasnopresnenskaya Observatory, Sternberg Astronomical Institute, Moscú, USSR.

Physical Review D, vol. 44, num. 8, 15 October 1991.

Durante el eclipse de Sol del 22 de Julio de 1990, repetimos en la ciudad de Bielomorsk, de la URSS, el experimento del péndulo de torsión de Saxl y Allen, quienes informaron de haber detectado un incremento anómalo del período durante el eclipse de Sol del 7 de Marzo de 1970. El cambio relativo del período del péndulo asociado al eclipse, que se midió fue menor de $5,3 \times 10^{-5}$ s (fiabilidad del 90%).

El fenómeno anómalo observado por Saxl y Allen no se puede explicar sobre la base de la teoría gravitatoria clásica. Ni ha sido observado de nuevo en los dos decenios siguientes. Para analizar la validez de este fenómeno extraño, hemos diseñado un péndulo de torsión y tomado parte en la expedición científica internacional, organizada por la Universidad Estatal de Moscú a la región de la ciudad de Bielomorsk, en el Norte de Karelia, para observar el eclipse del 22 de Julio de 1990.

Nuestro experimento, que no es una simple repetición de el de Saxl y Allen, presenta ciertas ventajas en comparación. Nosotros pudimos obtener mucha más información de la medida de cada semiperíodo consecutivo del péndulo de torsión, mediante un contador de retardo especial. De estos datos podemos decidir si los períodos totales han variado y si el punto de equilibrio del péndulo ha derivado durante el eclipse de Sol.

El péndulo de torsión y su equipo de registro se elaboraron en la Universidad de Ciencia y Tecnología de Huazhong (China). El disco con el que se hicieron las observaciones del semiperíodo, pesa unos 70 g, es de aluminio de alta pureza (99,9%) y lleva un espejo pegado al borde. Va suspendido de un alambre isoelástico de tungsteno de 25 μ m de diámetro y 130 mm de longitud. El péndulo va instalado en un recinto de aluminio sujeto por tres barras ajustables. Cuando se lanza un rayo láser por la ventanita de cristal del recinto y éste se refleja en el espejo, barre un fotodiodo y registra ambas oscilaciones, horaria y antihoraria.

Un semiperíodo del péndulo de torsión se cronometra combinando fotoeléctricamente la salida de un oscilador de cuarzo (4 MHz) cuando el disco ha girado a la posición central, cuando su velocidad alcanza el valor máximo. Los datos se pueden presentar en pantalla con un retraso de 25 segundos.

Durante el día del eclipse de Sol en Bielomorsk, el péndulo se arrancó a las 04:00 TL, alrededor de una hora antes del inicio del eclipse. Registramos los períodos desde las 04:10 hasta las 07:00. El principio del eclipse ocurrió a las 05:02, el máximo de la totalidad entre las 05:53 y 05:55 y el final a las 06:49. La comparación con el resultado obtenido un día antes en un experimento comparativo, arroja un resultado similar, salvo por una diferencia constante de 10 ms, que se explica por la diferencia de las amplitudes angulares al inicio entre

uno y otro experimentos. Esto significa que no hubo incremento anómalo del período durante el eclipse.

También es de destacar que las curvas del período derivan con el amortiguamiento de la amplitud angular de las oscilaciones. Este efecto se puede explicar por la variación del para amortiguador que actúa sobre el péndulo con su velocidad angular.

Una vez eliminado los errores sistemáticos del registro de los períodos, podemos obtener la desviación de cada período medido de su valor teórico. La desviación media cuadrática de los cambios del período en ambos días son 1,5 y 1,2, respectivamente.

El resultado final que hallamos fue que la fluctuación relativa en el período del péndulo asociada al eclipse fue menor de $5,2 \times 10^{-5}$ (fiabilidad del 90%).

El examen de los semiperíodos muestra también que el punto de equilibrio no sufrió desplazamiento anómalo alguno.

No podemos precisar en qué error o errores sistemáticos incurrieron Saxl y Allen, pero hasta el límite de la sensibilidad de nuestro experimento, no observamos variaciones del período del péndulo de torsión a un nivel muy inferior al del efecto de que ellos informaron.

(IV) La primera experiencia de observaciones de eclipses con una balanza de torsión en miniatura.

F. Pugach, M. M. Medveskii, N. N. Peretyako, V. I. Shaklovskii, V. L. Karbovskii, T. V. Nikityuk, P. F. Lazorenko, A. V. Zolotukhina, D. P. Vorobyeb, V. A. Pap, G. A. Lazorenko, I. P. Vedenicheva, S. V. Shatokhina y N. M. Kostogryz.

Observatorio Astronómico Principal de la Academia Nacional de Ciencias de Ucrania, c/ *Akademika Zabolotnogo* 27, Kiev, 03680 Ucrania.

Kinematics and Physics of Celestial Bodies, 8 de Noviembre de 2008.

<http://www.springerlink.com/content/v44677203p531844/>

Observamos el comportamiento del puntero de una balanza asimétrica de torsión durante las fechas de eclipses totales de Sol y en otras fechas. Se registró una reacción peculiar de la balanza de torsión miniatura durante los eclipses, distinta de su reacción en momentos de no-eclipse. Entre los factores que pudieron afectar a la posición del puntero de la balanza, están las posiciones relativas de la Tierra, la Luna y el Sol. Se detectó cierto desfase entre la fase máxima del eclipse y el máximo de la reacción de la balanza de torsión. Nuestra conclusión es que hacen falta observaciones base de estos fenómenos desde puntos diferentes del globo terrestre.

Además de sus interesantes resultados, el informe de estos observadores menciona otro experimento llevado a cabo por un grupo de físicos de la Universidad de Hwazhong (China), que arrojó resultados aún más sorprendentes. Compararon los comportamientos de varias parejas de relojes atómicos (en tres institutos distintos y utilizando relojes movibles adicionales) y detectaron un cambio brusco en las diferencias entre dos servicios, precisamente durante el eclipse parcial del 24 de Diciembre de 1992.

* * *

De estos cuatro experimentos, dos favorables y dos desfavorables, podemos resaltar una diferencia notable entre ambas clases: la altura del Sol sobre el horizonte, reflejada en la hora a que se vio desde cada enclave:

| | | | | | |
|------------------|---------------------|-------|-------|------|-----|
| En Harvard | 7 de Mayo de 1970 | | 13:40 | ... | 61° |
| En Turku | 22 de Julio de 1990 | | 04:54 | ... | 5° |
| En Bielomorsk .. | 22 de Julio de 1990 | | 05:53 | ... | |
| En Kíev | varios | | -- -- | | - |

Aunque carecemos de los datos de los eclipses observados por los investigadores de Kíev, su resultado positivo, junto con el de Harvard, frente a los resultados negativos de Turku y Bielomorsk, nos autorizan a concluir que la altura del Sol desde el observatorio es un parámetro importante.

La influencia que pueda tener la altura del Sol sobre el movimiento de precesión de un péndulo se deduce de otro descubrimiento que pasamos a presentar.

LA MAREA TERRESTRE

A finales del siglo XIX la Ciencia había hecho otro descubrimiento que llenó de estupor al ciudadano corriente: ¡la Luna ejercía también mareas sobre la tierra firme! El periódico New York Times⁹ publicó la noticia el 28 de Febrero de 1909:

**SCIENCE MEASURES
THE LAND TIDES**

Earth's Crust in England Moves
Five Inches, in South Africa
Eight Inches.

THEORY LONG RECOGNIZED

Camille Flammarion's "Incredible Announcement" Didn't Startle Physicists—Dr. Hecker's Experiments.

Special Cable to THE NEW YORK TIMES.

LONDON, Feb. 27.—Camille Flammarion has a way of occasionally uttering sensational statements concerning some natural phenomenon which startles the public, but which on investigation proves to be familiar to all scientists.

Thus last Sunday he made what he described as an "almost incredible announcement" that the solid earth experiences twice a day undulations corresponding to the tides of the ocean. The only startling feature of this announcement is that it should have startled anybody.

Figura 13.

LA CIENCIA MIDE LA MAREA TERRESTRE

La corteza terrestre se mueve cinco pulgadas (12,7 cm) en Inglaterra y ocho pulgadas (20 cm) en Sudáfrica.

TEORÍA ADMITIDA HACE MUCHO TIEMPO

El increíble anuncio de Camilo Flammarion no extraña a los físicos – Experimento del Dr. Heckers.

Camilo Flammarion posee un método para lanzar ocasionalmente noticias sensacionales sobre fenómenos naturales que maravillan al público, pero que la investigación prueba que son admitidas por todos los científicos.

Así, el domingo pasado hizo lo que se ha descrito como un "anuncio casi increíble", que la tierra firme experimenta dos veces al día ondulaciones que se corresponden con las mareas oceánicas. El único rasgo asombroso de este anuncio es que debería haber asombrado a todo el mundo.

Que la atracción de la Luna, que origina tales obvios movimientos periódicos en las aguas

del mar, tiene que producir un efecto similar en la corteza terrestre, ha sido admitido por físicos y astrónomos desde hace muchos años. Por ejemplo, Sir George Darwin, dirigiéndose a un determinado círculo, confesó el fallo del experimento que realizó hace 25 años con su hermano para medir el alzamiento y el descenso diarios de un punto dado en la tierra, bajo influencia de la Luna. Pero conjeturó que de las observaciones del Dr. Hecker en Berlín, que en esa latitud la onda y la tierra subían y bajaban cuatro o cinco pulgadas:

El aparato del Dr. Hecker está en una cámara excavada en la pared de un pozo, a ochenta y cinco pies (26 m) por debajo de la superficie terrestre y él ha continuado haciendo observaciones mediante fotografía día y noche, durante seis años. Merced a estas observaciones es como ha sido posible determinar la rigidez de la Tierra. Es tan rígida como si estuviera hecha de acero. Si estuviera hecha de acero se habría movido hacia arriba y hacia abajo un tercio, tanto como si fuera completamente líquida.

⁹ http://query.nytimes.com/mem/archive-free/pdf?_r=1&res=9A0CE3D91439E733A2575BC2A9649C946897D6CF

Influencia de la marea terrestre en el movimiento de precesión del péndulo.

Seguidamente exponemos la explicación que aporta Thomas Goodey¹⁰ en su excelente y bien documentada página sobre el “Efecto Allais”, que no dudamos en recomendar al lector.

Por asimilación a los fenómenos que hemos descrito acerca de las mareas lunares, podemos considerar la marea terrestre como una oscilación forzada (o mejor, perturbación) que recorre la superficie terrestre y que tiene su máximo en cada momento en el punto sublunar.

Esta perturbación se acrecienta durante los eclipses de Sol en la zona de la totalidad, al sumarse los efectos solares a los lunares, pero en este caso, la perturbación recorre la superficie terrestre por la misma trayectoria y en el mismo sentido en que avanza la sombra lunar, es decir, de Oeste a Este.

Igualmente, existe otra perturbación de la corteza terrestre en el punto subsolar, originada por el Sol, que se desplaza en el mismo sentido que el Sol, o sea de Este a Oeste.

Estas dos perturbaciones recorren la tierra firme en sentidos contrarios y se cruzan en las cercanías del punto donde tiene su máximo el eclipse, dando lugar a un “efecto de cizalla” que deforma la superficie en sentidos opuestos.

La figura 14 muestra el gráfico del eclipse total de Sol del 30 de Junio de 1954, calculado por Fred Spenak (NASA, GSFC), durante el cual Maurice Allais detectó las anomalías en el movimiento de precesión del péndulo. En ella, la trayectoria de la sombra está representada por la banda encerrada entre las dos líneas paralelas azules que recorren el hemisferio Norte, desde los EE. UU. hasta la India. En el centro de esta banda, sobre Noruega, se ha representado con un asterisco (*) el punto desde el que se vio el máximo del eclipse (Greatest Eclipse). De acuerdo con lo expuesto más arriba, esta banda coincide también con la trayectoria del máximo de la onda de perturbación que deforma la tierra firme, circulando de Oeste a Este (de izquierda a derecha).

También se ha representado con otro asterisco el punto subsolar en el momento del máximo del eclipse, que ocurrió sobre Mauritania. Y con un aspa (X) la posición de París, donde trabajaba Allais. Casualmente, ¡Allais se encontraba casi exactamente en medio de los dos puntos máximos! Por tanto, el efecto de la deformación de la tierra firme fue máximo en París.

Además, el máximo de la totalidad del eclipse ocurrió casi a la vez que el máximo de la parcialidad para París, por lo que Allais se hallaba casi exactamente sobre el punto donde se produjo el “efecto cizalla”. Por ello, el “efecto Allais” fue muy evidente (4,5°).

¹⁰ <http://www.allais.info/>

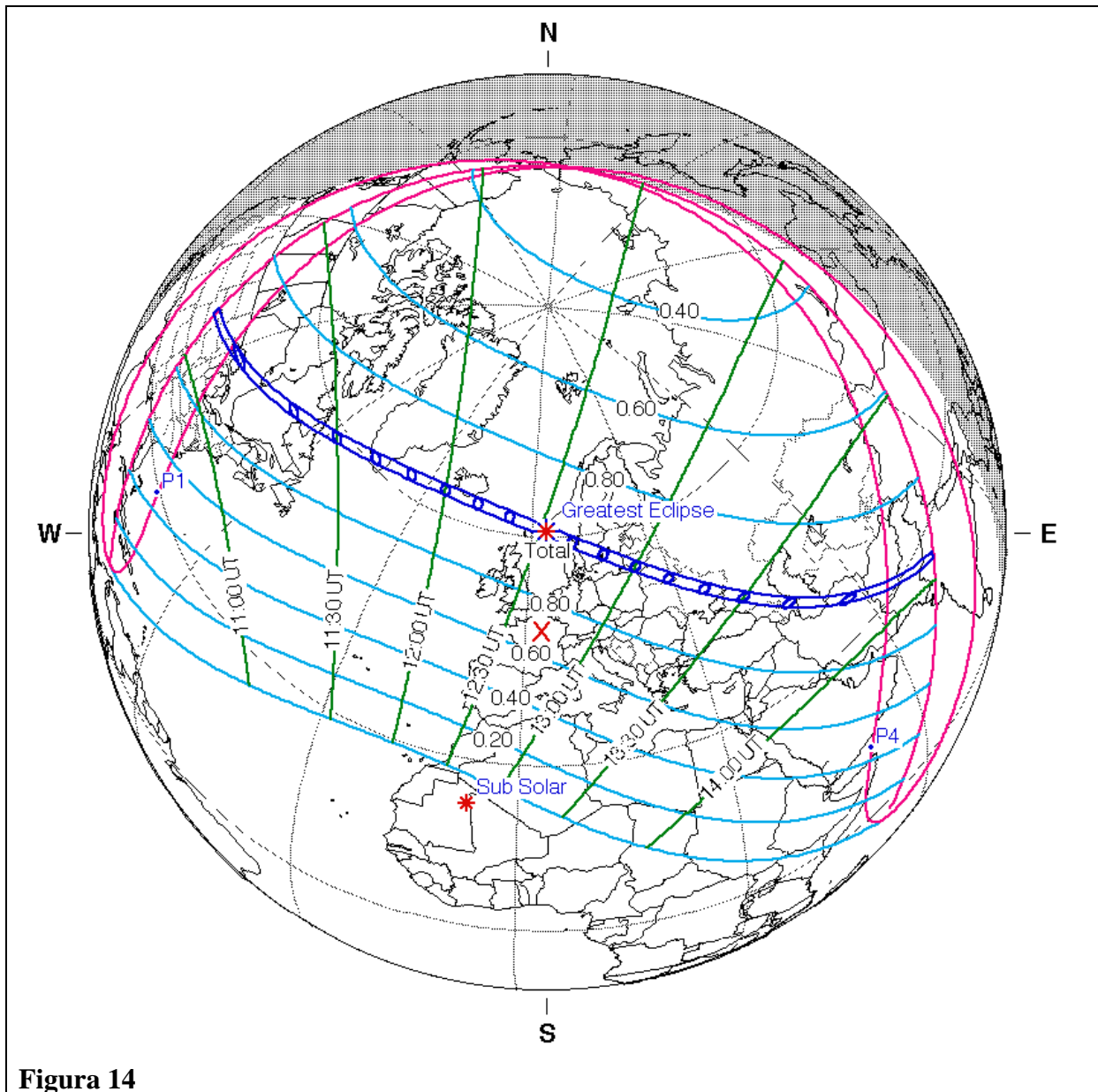


Figura 14

Sin embargo, en la ocasión del eclipse del 2 de Octubre de 1959 el fenómeno no fue tan favorable para París. La figura 15, también extractada de la página web de Fred Spenak, ilustra esta circunstancia.

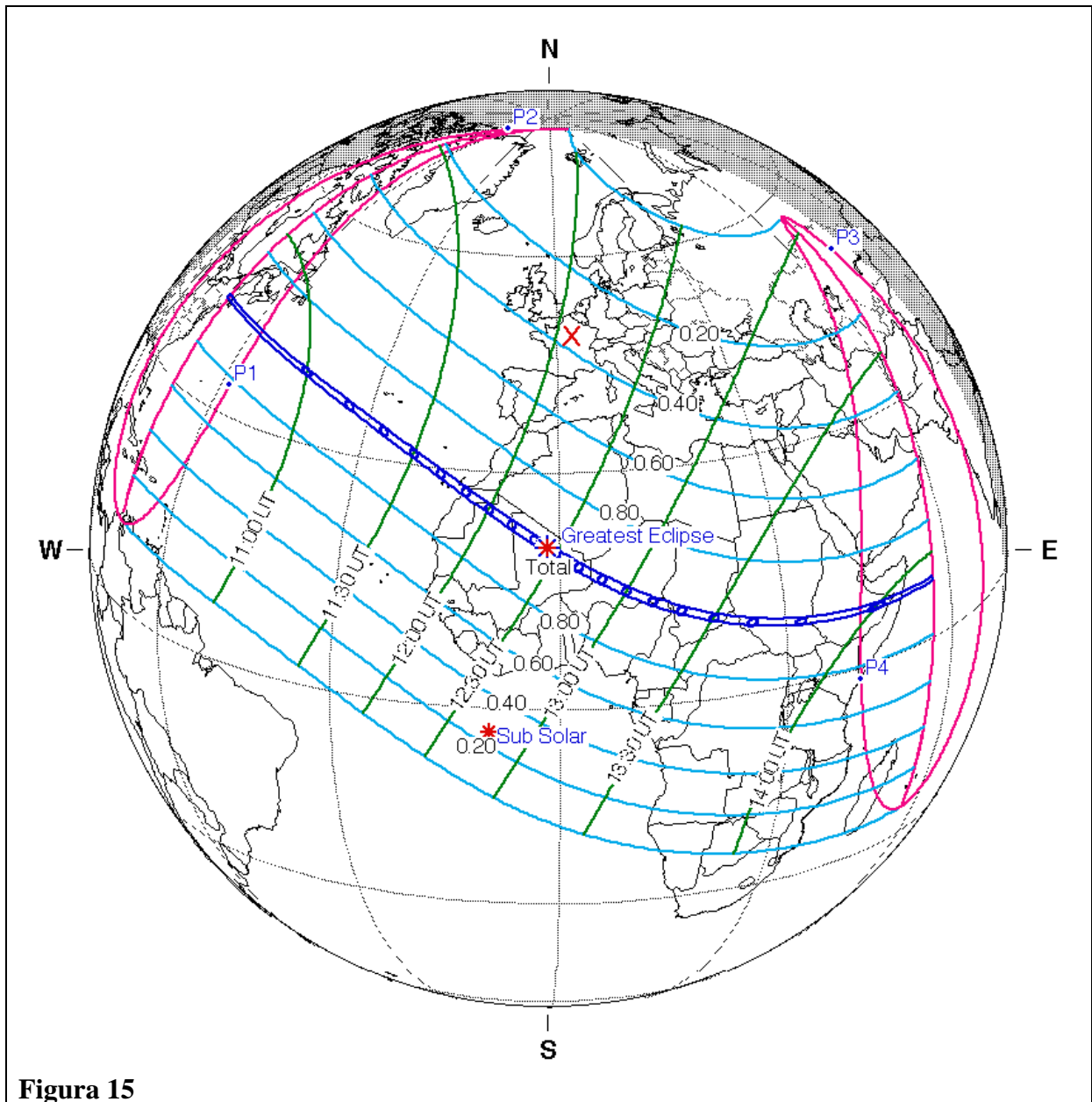


Figura 15

El máximo del eclipse ocurrió sobre Mali, algo antes que el máximo visto desde París. Y el punto subsolar se hallaba en el Atlántico, sobre la isla de Ascensión. Por tanto, Allais se hallaba lejos de la línea de cizalladura, por lo que el efecto fue menor que en el caso precedente.

Observación de un eclipse total de Sol con un péndulo.

Queda, por último, explicarnos cómo ejerce su acción sobre el péndulo el efecto de cizalladura. Para comprenderlo, podemos imaginar el caso de un marino en alta mar, tratando de averiguar cuándo comienza a subir la marea, cuándo alcanza su máximo y cuándo vuelven las aguas a su nivel normal (ignoraremos transitorio el efecto de las olas).

Al no haber tierra a la vista, el marino carece de referencia para estimar el nivel del agua, por lo que se ve obligado a ingeniarse un procedimiento especial. Por ejemplo, una plomada sujeta a la punta del mástil, cuyo hilo quedará paralelo a este palo. Pero al iniciarse la pleamar, la plomada se desplazará hacia la proa o hacia la popa, según sea la dirección del rumbo con respecto a la marea. Al alcanzarse el máximo de la pleamar, la plomada volverá a su posición paralela al mástil. Y al comenzar el descenso, la plomada se desplazará en sentido contrario al anterior, para volver a situarse paralela al mástil cuando las aguas vuelvan a su nivel. En suma, el marino habrá visto oscilar a la plomada como si fuera un péndulo.

Entonces, si colocamos en el centro de la línea de la totalidad de un eclipse total de Sol, un péndulo dotado de tres grados de libertad oscilando libremente en sentido Norte-Sur, la perturbación forzada del efecto cizalla inducirá una leve oscilación transversal, que obligará al péndulo a alterar su curso normal al introducir una componente perpendicular que le hará describir una figura de Lissajous (una elipse o un “ocho” muy alargados).

La puesta en práctica de este experimento resulta adecuada en la ocasión del eclipse total de Sol del 22 de Julio de 2009. En la figura 16, también gentileza de Fred Spenak, podemos comprobar que, debido a que el cono de sombra lunar pasa muy cerca (a 450 Km) del centro de la Tierra, la distancia del punto subsolar al punto del máximo del eclipse es muy corta. Por tanto, cabe esperar que el efecto de cizalla sea muy intenso, sobre todo en las islas situadas al Sur del Japón (Iwo Jima).

Las efemérides de este eclipse se pueden consultar en la Guía para la Observación adjunta y en ellas se muestra que el parámetro gamma es muy pequeño ($\gamma = 0,0694$) y que la duración de la totalidad es muy larga (06:39).

Por otra parte, la zona que recorrerá la sombra de la Luna coincide con una región sometida al fenómeno de los monzones durante el verano, por lo que la posibilidad de existencia de nubes es muy de tener en cuenta si sólo se piensa en la observación óptica. Todas estas razones aconsejan diversificar los métodos de observación para que el posible viaje a dondequiera que se seleccione de la zona, tenga garantías de éxito.

Este autor, junto con sus compañeros de la Agrupación Astronómica de Madrid, así como con otros astrónomos aficionados de diversas provincias de España, han optado por observar el eclipse desde la pequeña ciudad china de Anji, cuya posición geográfica está registrada en la Guía citada más arriba.

Como en el caso del eclipse total de Sol del año pasado (véase el Informe en Cielo Sur) la observación incluirá instrumentos ópticos, radioeléctricos, GPS y, en este caso, un péndulo fabricado especialmente para realizar el experimento descrito. El resultado de estas observaciones será expuesto en Cielo Sur tan pronto como se disponga de los datos correspondientes.

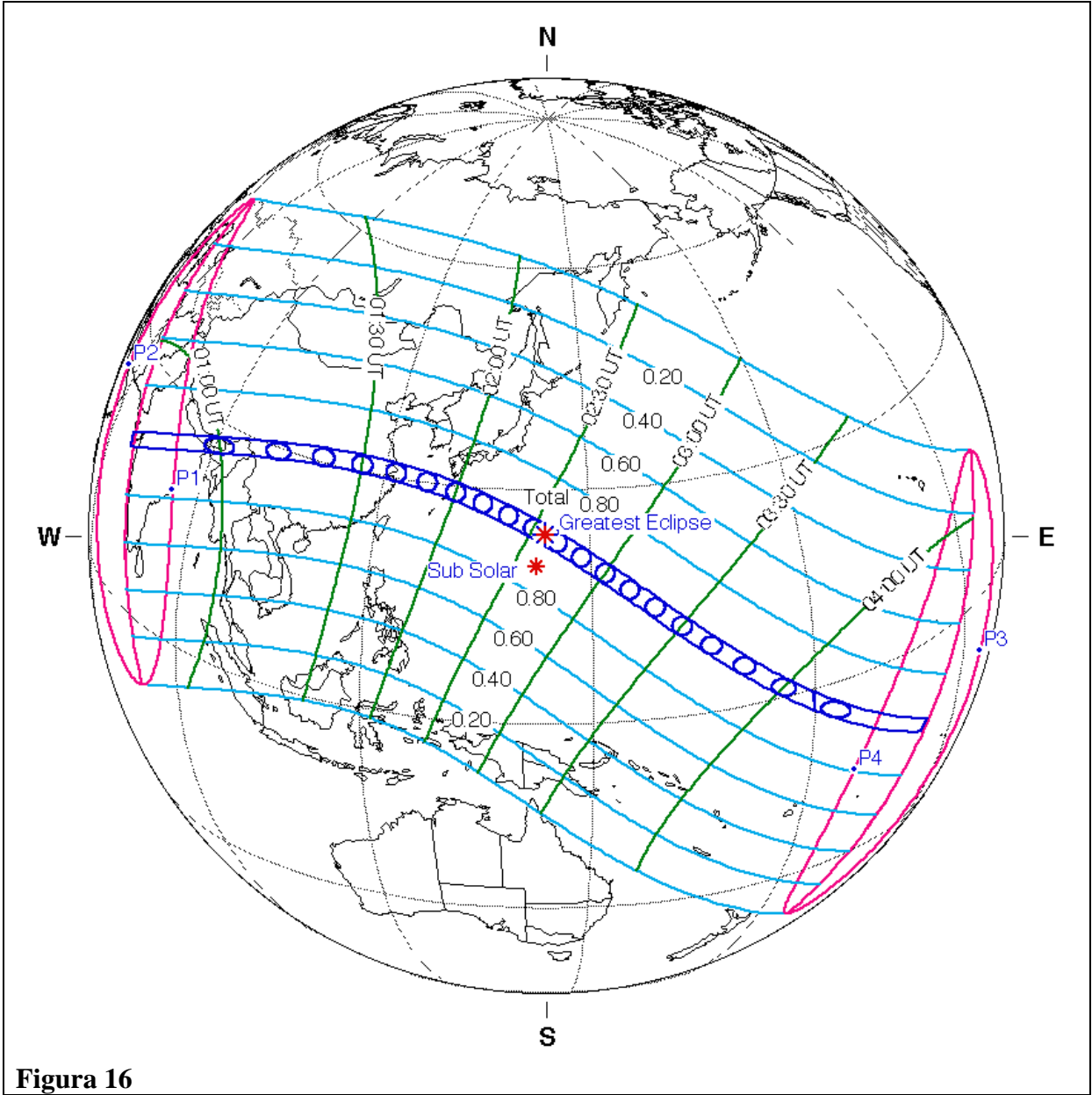


Figura 16