

1.13. GIOVANNI DOMENICO CASSINI (1625-1712):

La fama inicial del Observatorio de París estuvo indisolublemente ligada al nombre de Juan Domingo Cassini. Nació en Perinaldo una aldea del golfo de Génova, el 8 de Junio de 1625. A los veinticinco años sucedió al padre Buenaventura Cavalieri en la cátedra de astronomía de la Universidad de Bologna. Cabe mencionar que Cavalieri fue el primero en exponer en lecciones públicas el sistema de Copérnico y los descubrimientos de Galileo. Durante los 19 años que Cassini residió en Bologna dio un gran impulso a los estudios astronómicos, con modestos medios, preocupándose además de problemas hidráulicos y militares. Entre sus logros astronómicos iniciales podemos destacar la solución del problema, juzgado insoluble por Kepler, de encontrar directa y geoméricamente el apogeo y la excentricidad de un planeta. Determinó la oblicuidad de la eclíptica como $23^{\circ}29'$ (sólo un par de minutos mayor que el valor actual). Esta determinación, que corresponde a la semi-diferencia de las alturas meridianas del Sol en los solsticios, está fuertemente afectada por la refracción atmosférica y por la paralaje solar. Cassini tuvo que suponer que la paralaje solar no supera los $12''$ para arribar al valor antes mencionado.

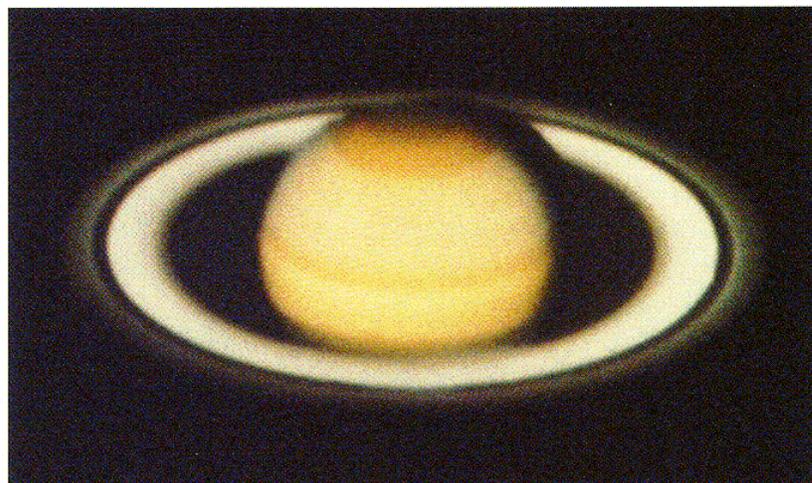


Figure 15-1 R I V U X G

Saturn Seen from Earth The astronomer Stephen Larson took 16 photographs of Saturn on the same night in 1974 with the 1.5-m telescope at the Catalina Observatory in Arizona. He then combined them to make this superb image. Note the faint stripes in Saturn's cloudtops as well as the prominent gap in the rings, called the Cassini division. (NASA)

Cassini emprendió observaciones sistemáticas de las superficies de los planetas. Observó manchas sobre el disco de Marte que le permitieron darse cuenta que el planeta rota en torno a un eje y midió su período en 24h 40m, sólo 3 minutos mayor que el período verdadero. Esta determinación es notablemente precisa pensando las limitaciones del telescopio de Cassini. Notó además las variaciones estacionales en la apariencia de Marte.

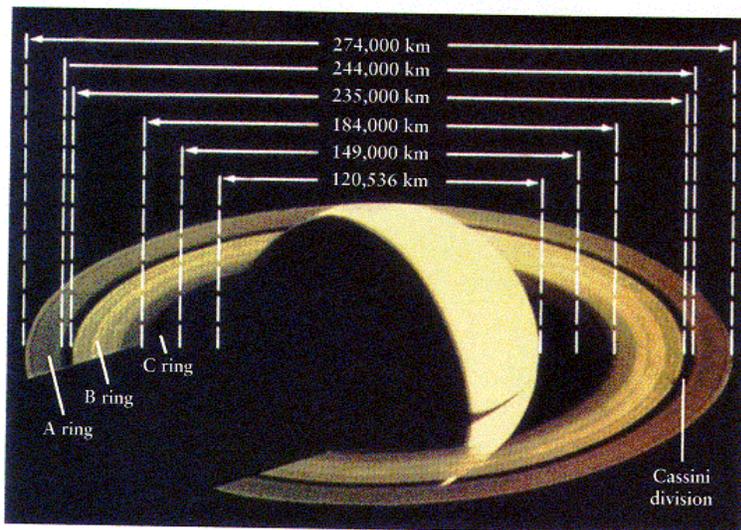


Figure 15-2 R I M U X G
Saturn's System of Rings This *Voyager 1* image shows many details of Saturn's rings. Saturn's equatorial diameter is labeled, as are the diameters of the inner and outer edges of the rings. Closest to the planet is the C ring, so faint that it is almost invisible in this view. Next outward from Saturn is the bright B ring, whose width is about twice the Earth's diameter. The A ring is the outermost ring that can be seen from Earth. The 4500-km-wide Cassini division lies between the B ring and the A ring. Saturn is visible through the rings (look near the bottom of the image), which shows that the rings are not solid. (NASA/JPL)

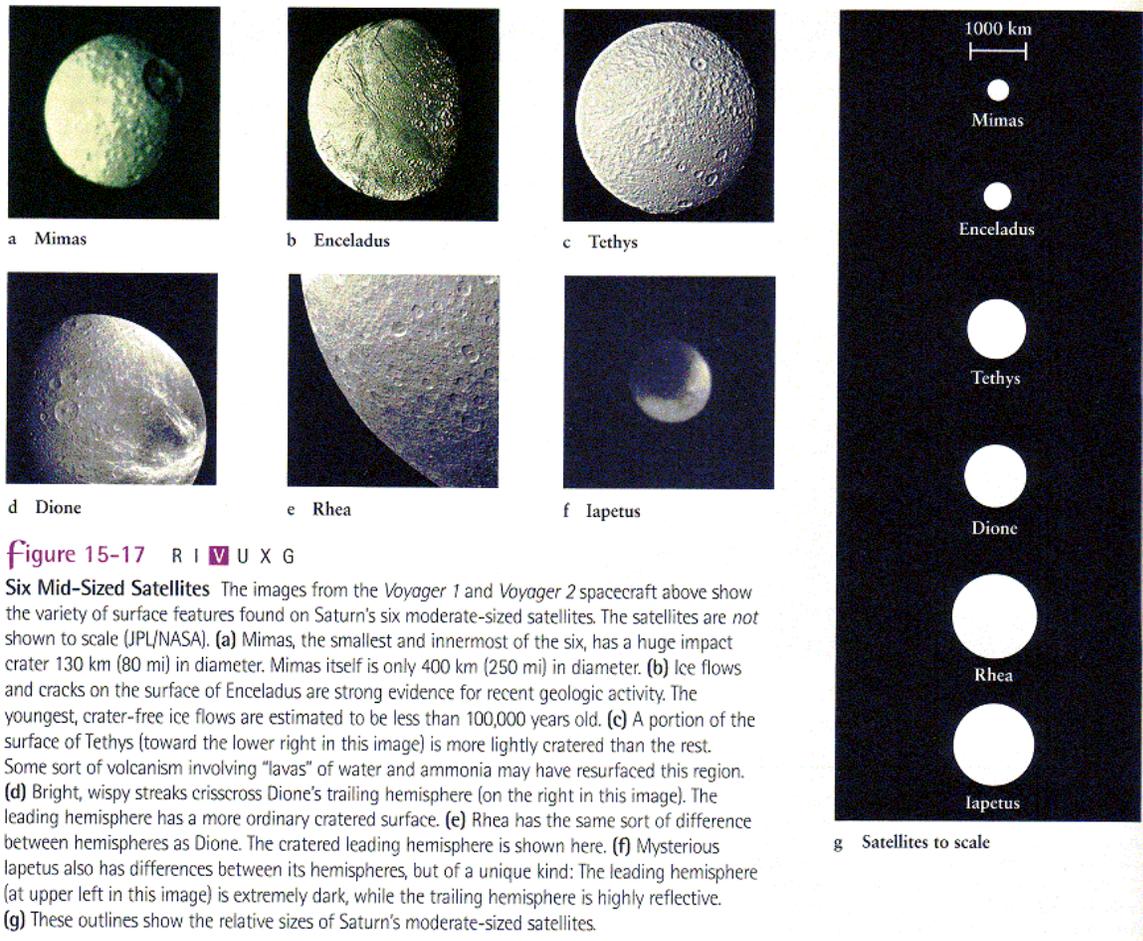
Cassini fue el primero en hacer una descripción exacta de las bandas y las manchas que presenta la superficie de Júpiter. Hizo una descripción de la gran mancha roja que tanto ha intrigado a los astrónomos y que gracias a las naves Voyager se está empezando a desentrañar su misterio. Determinó el período de rotación de Júpiter en 9h 56m. Ese período es muy pequeño para un planeta que posee grandes dimensiones. Cassini descubrió que Júpiter es un planeta con un notable achatamiento (diámetro ecuatorial 141.920 km; diámetro polar 132.000 km). Cassini observó pequeñas manchas oscuras sobre Júpiter que interpretó correctamente como la sombra arrojada por los satélites al pasar frente al planeta. Calculó las configuraciones de los satélites y sus eclipses en su publicación "*Ephemerides Bononienses Medicaerum Siderum*" (1668). Estas tablas permitieron a Roemer su determinación de la velocidad de la luz.

En el año 1669, el 4 de Abril, Cassini llega a París, aceptando una invitación del rey Luis XIV para formar parte de la Academia. Criticó el proyecto del nuevo observatorio que estaba en construcción, por carecer de sentido común para la astronomía. Desgraciadamente el rey mantuvo su confianza en Perrault, el arquitecto, y los planos del edificio no fueron modificados, de lo que resultó un edificio imponente, pero muy poco práctico.



FIG. 35. — JEAN-DOMINIQUE CASSINI, de un retrato de la época.

En París, Cassini dedica sus esfuerzos a la observación de Saturno, planeta traído a primer plano por los descubrimientos de Huygens. Cassini entró al observatorio el 14 de Septiembre de 1671 y el 25 de Octubre, un mes después, reafirma su reputación descubriendo un segundo satélite de Saturno, Japeto. El incluso detectó variaciones periódicas del brillo de Japeto en su órbita lo que le llevo a pensar que el satélite presenta la misma cara a Saturno, tal como lo hace la Luna con la Tierra. Un año más tarde, el 23 de Diciembre de 1672, encontró un tercer satélite, Rhea. Hubo de transcurrir más de una década para que la noche del 21 de Marzo de 1684 descubriera un cuarto y un quinto satélite de Saturno, Thetis y Dione. Gracias a su agudeza visual extraordinaria, sólo comparable con la de W. Herschel un siglo más tarde, Cassini fue capaz de detectar, en 1675, que el anillo de Saturno presenta una división, que hace que el anillo sea en verdad doble, uno interno y otro externo. Desde entonces, esa división del anillo se conoce como la división de Cassini. Sugirió que el anillo esta formado por un enjambre de pequeños cuerpos que giran en torno al planeta central. Esta hipótesis fue plenamente confirmada por el espectrógrafo dos siglos después y constituye el punto de partida de la teoría actual del anillo.



Cassini fue el creador de la astronomía física. Por primera vez dirige sus instrumentos para averiguar la naturaleza física de los planetas y no meramente sus posiciones en el cielo. En lugar de la geometría y trigonometría, Cassini aplica la física al cosmos. Sin embargo, Cassini también destacó en trabajos de astronomía clásica. Por sugerencia de Picard o Cassini, un astrónomo del Observatorio, Jean Richer, emprendió una expedición a Cayena, capital de la Guayana Francesa, entre 1671-1673. Uno de los propósitos era la observación del planeta Marte, en su oposición de 1672. Observaciones de Richer en Cayena y Cassini en París, a varios miles de kilómetros de distancia, permitieron, por triangulación, obtener la distancia a Marte en kilómetros. Gracias a la obra de Kepler se podía calcular, para la oposición, la distancia a Marte en unidades astronómicas. Así se obtuvo un valor para la distancia al Sol, en kilómetros. Esta distancia se expresa como el ángulo bajo el cual se ve el radio terrestre desde el Sol, denominado paralaje solar. Cassini determinó $9''.5$ para el paralaje solar que indica una distancia Sol-Tierra, equivalente a 21.600 radios terrestres. Esto representó un avance notable pues por muchos siglos se había aceptado el valor dado por Ptolomeo, que era 20 veces inferior al real. Kepler, sólo unas décadas antes, había mejorado el valor de Ptolomeo, sugiriendo 22.500.000 km. para la unidad astronómica. El valor de Cassini corresponde a 138.000.000 km. El mejor valor del paralaje solar actualmente es de $8''.7941$, lo que conduce a un valor de $149.597.870,691 \pm 0,030$ km. para la Unidad Astronómica.

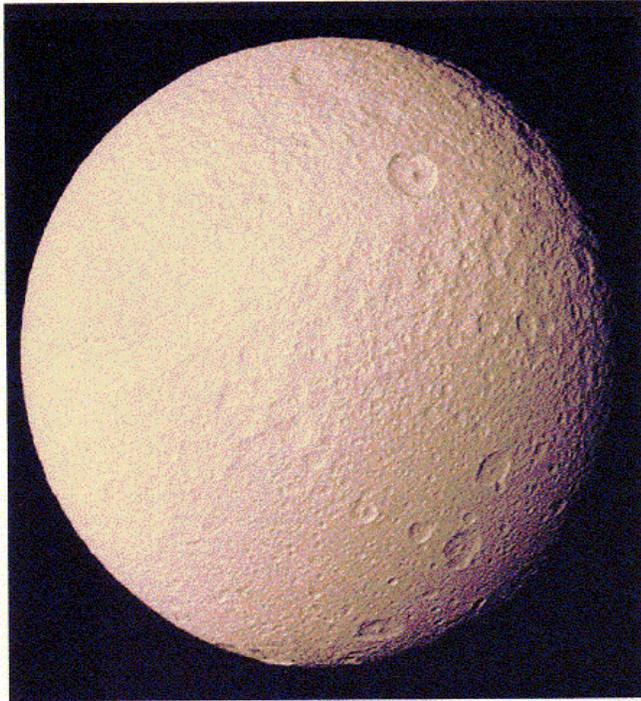


Figure 6. In Voyager 2's best global view of Tethys, features as small as 4 km across are visible. The boundary between heavily cratered terrain (upper half) and a more lightly cratered plain (lower right) is easily discerned. An enormous trench or multiply faulted valley, Ithaca Chasma, stretches diagonally across the cratered terrain. Over 100 km wide in places and up to several km deep, Ithaca Chasma roughly follows a great circle centered on Odysseus for at least three-fourths of Tethys's circumference. Its formation is probably intimately connected with that of Odysseus.

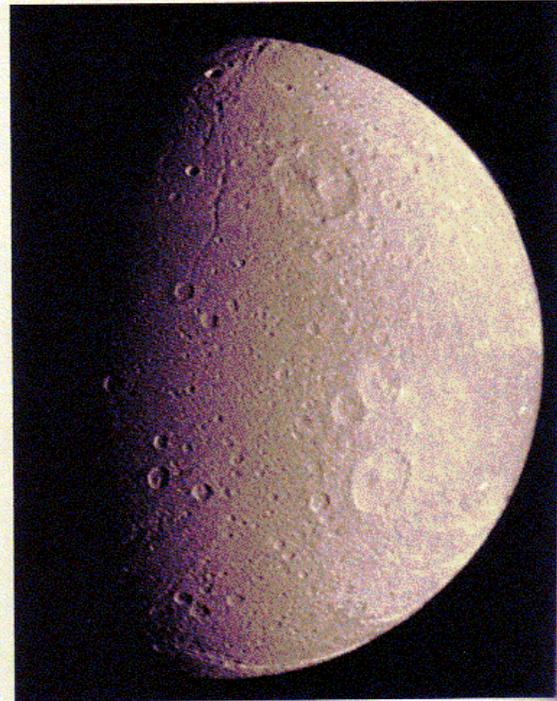


Figure 7. Icy plains stretch from pole to pole on Dione, but the abundance of small impact craters they bear shows the moon's extensive resurfacing occurred very long ago. Numerous bright streaks and a few fractures can be seen near the day-night terminator (at left). An extensive pattern of streaks ("wisps") appears in other, lower-resolution views, a pattern best explained by fault systems.

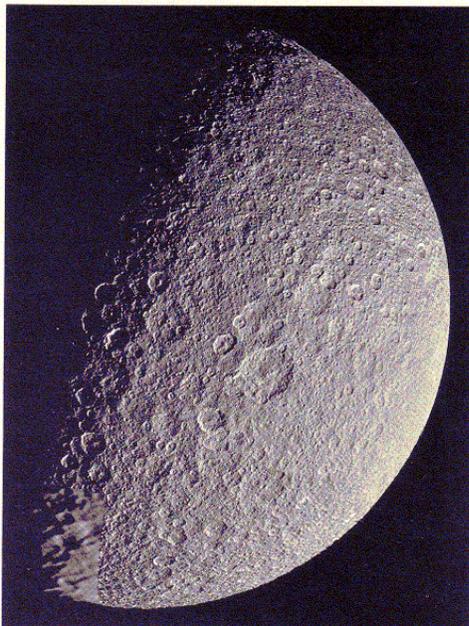


Figure 9. Mosaic of the north polar region of Rhea. Features as small as 1 km can be made out in this heavily cratered landscape. The surface is well peppered with small craters under 20 km in diameter. Many poorly defined but parallel linear elements can also be made out, and a so-called megascarp, possibly indicating an episode of global contraction, runs vertically through the center of the mosaic.

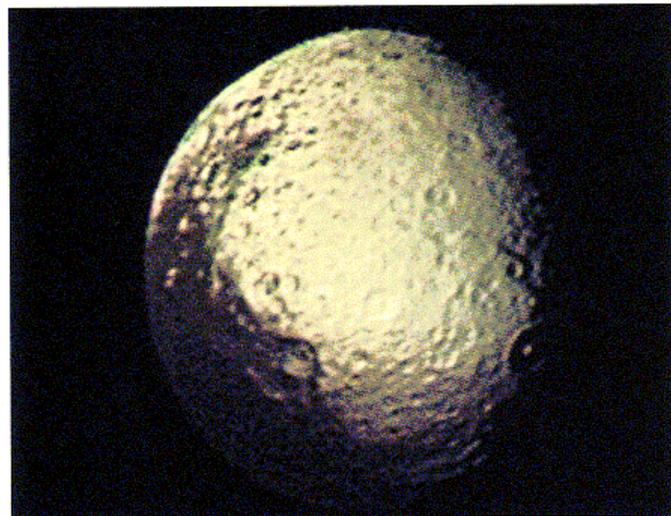


Figure 11. The two-faced nature of Iapetus was apparent even to early telescopic astronomers. The moon's bright terrain consists of dirty ice, and the dark terrain is surfaced by carbon-rich molecules. Although Iapetus was not seen well by the Voyager spacecraft, it will be explored more thoroughly when the Cassini orbiter reaches Saturn in 2004. The north pole lies about halfway between the bright crater at the center of the image and the large crater on the terminator.

La expedición de Richer a Cayena descubrió que el reloj de péndulo que estaba perfectamente regulado, en París atrasaba $2 \frac{1}{2}$ minutos diarios en Cayena. Richer se vio obligado a acortar su longitud y posteriormente al regresar a París, el péndulo debió ser alargado a su longitud original. Richer explicó el fenómeno admitiendo que la Tierra no es perfectamente esférica, sino achatada en los polos, teniendo la figura de una elipse de revolución, girando en torno a su eje menor. Cassini no admitió esa explicación y basándose en ciertas mediciones hechas por él en Francia, sostuvo la tesis contraria: la Tierra sería un elipsoide girando por su eje mayor, es decir, el diámetro polar, según Cassini, es mayor que el ecuatorial. Eso provocó una seria disputa con Newton y Huygens, quienes aceptaron inmediatamente la explicación de Richer. La disputa se resolvió después, en contra de Cassini, mediante expediciones a Laponia y Perú para medir un arco de 1 grado.

Bouguer y La Condamine fueron al norte de Perú (hoy Ecuador) en el 1735 y en las llanuras de Quito midieron la longitud de una variación de 1 grado en latitud. Encontraron 56.753 “toises”, valor francamente menor que el encontrado en Francia, de 57.057 toises. Maupertuis fue a Laponia y midió 57.438 para el arco de un grado en un lugar muy alejado del Ecuador. Con estas mediciones quedó demostrado, más allá de ninguna duda, el achatamiento terrestre.

Curiosa parece hoy la testarudez con que Cassini defendió la idea equivocada dado que sus telescopios le mostraban claramente el evidente achatamiento de Júpiter.

Cassini cometió otros errores, como creer que los cometas eran emanaciones terrestres. Además no aceptó la forma elíptica de las órbitas keplerianas, sugiriendo que la figura era oval, óvalo que él llamó, modestamente, una cassinoide. Pese a esos errores la figura de Cassini será siempre recordada por sus grandes descubrimientos, por haber sido el iniciador de la astronomía física y por haber dominado él y su familia, la dirección del Observatorio de París por más de 1 siglo. Su hijo Jacques (1677-1756), su nieto Cesar François Cassini de Thury (1714-1784) y su bisnieto Jacques Dominique Cassini, Conde de Thury (1748- 1845), lo sucedieron en el cargo de director del Observatorio, cargo que perdió su bisnieto con la Revolución Francesa. De los cuatro miembros de la dinastía Cassini, su fundador, Juan Domingo, es sin duda el de mayor jerarquía. Los últimos dos Cassini se dedicaron con acierto a la geografía matemática, realizando la primera carta topográfica de Francia.

Apéndice:

Problema 1:

Si la Tierra fuese perfectamente esférica, ¿cuánto debería haberse atrasado el reloj de Richer?

Solución:

Llamemos g_0 la aceleración de gravedad en esa Tierra esférica, si no tuviese rotación.

$$g_{Cayena} = g_0 - \frac{v^2}{R} = g_0 - \frac{\left(\frac{2\pi R}{P}\right)^2}{R} = g_0 - \frac{4\pi^2 R}{P^2}$$

$$g_{Paris} = g_0 - \frac{v_p^2}{r_p} \times \cos(\phi)$$

pero $r_p = R \times \cos(\phi)$ y $v_p = \frac{2\pi r_p}{P}$

por lo tanto:

$$g_{Paris} = g_0 - \frac{\left(\frac{2\pi r_p}{P}\right)^2}{R \cos \phi} \times \cos \phi = g_0 - \frac{\left(\frac{2\pi R \cos \phi}{P}\right)^2}{R} = g_0 - \frac{4\pi^2 R \cos^2 \phi}{P^2}$$

Por ende la diferencia de aceleración efectiva de gravedad entre Paris y Cayena sería:

$$\Delta g = g_{Paris} - g_{Cayena} = \frac{4\pi^2 R}{P^2} (1 - \cos^2 \phi)$$

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\frac{4\pi^2 R}{P^2} \times \text{sen}^2 \phi}{\frac{GM}{R^2}} = \frac{4\pi^2 R^3}{GMP^2} \times \text{sen}^2 \phi$$

donde hemos usado el símbolo ϕ para designar la latitud de Paris. Por simplicidad asumamos que esta es de 45 grados.

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{4\pi^2 (6.378 \times 10^3)^3 \times \text{sen}^2 45^\circ}{6,67 \times 10^{-11} \times 6,0 \times 10^{24} \times (86.400)^2} = 0,001714 = \frac{1}{583}$$

como $P = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$

$$\ln P = \ln(2\pi) + \frac{1}{2} \ln l - \frac{1}{2} \ln g$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{1}{2} \frac{\Delta l}{l} - \frac{1}{2} \frac{\Delta g}{g}$$

Si $\Delta l = 0$ tenemos

$$\frac{\Delta P}{P} = -\frac{1}{2} \frac{\Delta g}{g} = -\frac{1}{2} \times \frac{1}{583} = -\frac{1}{1167}$$

Si $P = 1$ día $\Delta P = -1/1167$ días = -1,23 minutos

El reloj de Richer debería haber atrasado $1\frac{1}{4}$ minutos diarios si la Tierra hubiese sido perfectamente esférica.

Problema 2:

Si el reloj de Richer se atrasó $2\frac{1}{2}$ minutos diarios en Cayena, usando el problema anterior calcule cual es la diferencia entre el radio terrestre en París y en Cayena.

Solución:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{2\frac{1}{2}}{1440} = \frac{1}{576}$$

$$\frac{\Delta P}{P} = -\frac{1}{2} \times \frac{\Delta g}{g} \Rightarrow \frac{\Delta g}{g} = \frac{1}{288}$$

$$\text{pero: } \frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta g^{\text{int}}}{g} + \frac{\Delta g^{\text{rot}}}{g}$$

$$\frac{1}{288} = \frac{\Delta g^{\text{int}}}{g} + \frac{1}{583} \quad (\text{ver problema anterior})$$

$$\frac{\Delta g^{\text{int}}}{g} = \frac{1}{569}$$

$$\text{pero } g = \frac{GM}{R^2} \Rightarrow \frac{\Delta g}{g} = -2 \frac{\Delta R}{R} \Rightarrow \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{1138}$$

como $R = 6378 \text{ km}$

$\Delta R = 5,6 \text{ km}$

Este resultado sub-estima el achatamiento terrestre. El reloj de Richer debió atrasarse $3\frac{1}{2}$ minutos diarios.

Los datos actuales sobre el achatamiento terrestre son los siguiente:

Radio ecuatorial:	$a = 6.378.136 \text{ metros}$
Radio polar:	$c = 6.356.753 \text{ metros}$
Radio medio:	$(a^2c)^{1/3} = 6.371.000 \text{ metros}$
Cuadrante ecuatorial:	$10.018.750 \text{ metros}$
Cuadrante meridional:	$9.985.164 \text{ metros}$
Achatamiento:	$(a-c)/a = 1/298,257 = 0,0033528$
Excentricidad	$e = (a^2 - c^2)^{1/2}/a = 0,081818$

Recuerde que inicialmente se quiso que el metro tuviese una clara relación con la Tierra y se definió como la diez millonésima parte de un cuadrante terrestre. Hoy esa definición ya no se usa y se ve de los números anteriores que un cuadrante del Polo al Ecuador se “queda corto” en casi 15 kilómetros con respecto a los supuestos 10.000 kilómetros; al contrario, un cuadrante a lo largo del ecuador es casi 19 kilómetros mayor.

BIBLIOGRAFIA:

- D. Papp y J. Babini, *"Panorama General de Historia de la Ciencia"* Vol. VII, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1954.
- G. Abetti, *"Historia de la Astronomía"*, Fondo de Cultura Económica, Breviario #119, México, 1956.
- P. Moore, *"Astronomía"*, Vergara, Barcelona, 1963.
- F. Hoyle, *"Astronomy"*, Crescent Books, Londres, 1962.