

¿El ciclo de actividad solar de 2400 años puede ser causado por el movimiento inercial solar?

I. Charvatova

Geophysical Institute AS CR, Boci nã II, 141 31
Praha 4, Czech Republic

Received: 30 September 1999 / Revised: 14 January
2000 / Accepted: 17 January 2000

Abstracto Un ciclo de actividad solar de cerca de 2400 años ha sido hasta ahora de un origen incierto. Resultados recientes indican que es causado por el movimiento inercial solar.

En primer término describiremos el ciclo solar básico de movimiento de 178.7 años. El ciclo más largo, por sobre un intervalo de 8000 años se halla que promedia 2402.2 años.

Éste corresponde a los alineamientos Júpiter/Heliocentro/Baricentro ($9.8855 \cdot 243$).

Con un segmento excepcional en cada ciclo de 370 años que ha sido hallado se caracteriza por un patrón en rizo de geometría de trifoliar o cuasi trifoliar.

La actividad Solar, evidenciada por las relaciones del C_{14} en los anillos de corteza árboles muestran el mismo patrón. El movimiento Solar es computable por adelantado, de modo que esto provée de una base para valoraciones predictivas. El siguiente segmento de 370 años ocurrirá entre el 2240 AD y 2610 AD.

Key words: Solar physics (celestial mechanics)

Introducción

Hallar una causa de la variabilidad solar es una taré clave para la física solar. Es una materia importante también para la geofísica debido a la influencia de esta variabilidad en el clima de la Tierra. En los siglos recientes se han hecho enormes esfuerzos sobre este problema. En décadas recientes los satélites han suministrado muchos datos y en particular las observaciones del satélite SOHO que proveen una visión más confiable del interior del Sol.

Ahora ya se acepta generalmente que los dos ciclos de largo plazo más prominentes están permanentemente presentes en la actividad solar: un ciclo de cerca de 200 (160 ± 210) años y un ciclo de cerca de 2400 (2200 ± 2600) años, véase e.g. Suess

(1980), Sonett y Finney (1991), Damon y Linick (1986), Damon et al. (1989), Damon y Sonett (1990), Hood y Jirikowic (1991), etc. Estos estudios han sido hechos sobre la base de observaciones del C_{14} en los anillos de árboles. La dispersión de los largos de los ciclos observadas se debe probablemente a la calidad mixta de los registros, las partes diferentes procesadas y los varios métodos de los análisis espectrales utilizados, etc.. Es difícil observar la periodicidad de 200 años porque el registro del número de manchas solares cubre solamente 300 años. Es más fácil observar una periodicidad de cerca de 100 años (Ciclo Gleissberg) conectada con la modulación de la amplitud de las series de número de manchas solares. No ha sido establecido aún el origen para el destacado y permanentemente presente período de cerca de 2400 años de actividad solar (i.e., si es solar, geomagnético, or extraheliosférico) o incluso enigmático; siendo la fuerza que lo impulsa desconocida "el período de 2400 años parece ser estacionario", conforme a Damon and Linick (1986). El movimiento solar inercial (esto es, el movimiento del Sol alrededor del centro de masa del sistema solar) es el fenómeno central del sistema solar causado por las posiciones variables, predominantemente, de los planetas gigantes (Fairbridge y Sanders, 1987). La contribución de los planetas interiores es mínima. Las posiciones variables de los planetas gigantes Júpiter (J), Saturno (S), Urano (U) fuerzan al Sol a moverse dentro de un área circular la cual tiene un diámetro de 0.02 UA (unidades astronómicas) o de $3 \text{ a } 10^6 \text{ km}$ véase Fig.1 . Esto es despreciable en comparación con el tamaño del sistema solar pero es muy significativo con respecta al tamaño del Sol. El diámetro del área en la cual el Sol se mueve representa 4.4 radios solares. El Sol se mueve con una velocidad entre $9 \text{ a } 16 \text{ m.s}^{-1}$, esto es de $30 \text{ a } 60 \text{ km.h}^{-1}$. Este movimiento Solar es computable por adelantado, una gran ventaja que nos abre la posibilidad de establecer una valoración predictiva de la actividad solar. Para comprender el ciclo de 2042 años es necesario describir primero y explicar el ciclo básico del movimiento solar, el ciclo de 178.7 años y sus relaciones con la conducta de la actividad solar en los siglos recientes.

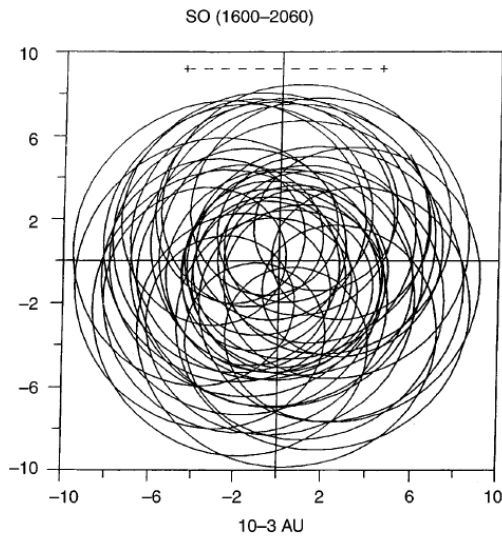


Fig. 1. The orbit of the centre of the Sun around the centre of mass of the solar system (in units of 10^{-3} AU, astronomical unit = $149 \cdot 10^6$ km), for further details see Fig. 2. The dashed horizontal abscissa in the upper part of the figure represents the diameter of the Sun

Se ha hallado que ambos valores de ciclos corresponden a intervalos entre los patrones de movimiento solar. Los valores representan, en ambos casos, la media de los intervalos de dispersión de los ciclos prominentes hallados en la actividad solar mencionada.

Ann. Geophysicae 18, 399±405 (2000) Ó EGS ± Springer-Verlag 2000

2 El primer ciclo básico de 178.7 años en el movimiento solar y su respuesta en términos de actividad solar.

El primer ciclo básico de movimiento inercial solar, el ciclo de 178.7 años fue hallado por Jose (1965) en una repetición de los movimientos solares característicos computados entre 1653 y 2060, y lo que es más importante, se halló la derivada del tiempo del momento angular del Sol. El ciclo fue confirmado Por Fairbridge y Shirley (1987) desde el 760 AD, y por Fairbridge y Sanders (1987) desde el 777 AD.

Jakubcova y Pick (1987) verificaron el ciclo anual de 178.7 como el período básico de las periodicidades del movimiento solar (véase su Fig. 1). Estos períodos han sido hallados como sus armónicas más elevadas. [también Fairbridge, 1997, e.g. $28 \cdot 178.7 = 5004.5$ ($252 \cdot JS$; $24 \cdot 208.5$ año VJU)] Y mayormente corresponden a los periods orbitales de los planetas gigantes [i.e. los periodos of 80 ± 90 (U), 60, 45 (SN), 35 (SU), 30 (S), 13.8 (JU), 12.8 (JN), 11.9 (J), 10 (JS/2)].

El Sol se mueve en el plano del sistema solar, así que esta acción es esencialmente planar (las coordenadas Z han sido despreciadas para los estudios iniciales). Por tanto además de las características de movimiento, la geometría de la órbita solar debiera ser muy cuidadosamente considerada. Eventualmente esta aproximación geométrica proveyó de hecho una clave para la solución de la relación movimiento solar ± actividad solar. Una solución clave consiste en la separación del movimiento solar en dos tipos orbitales básicos (Charvatova, 1988, 1990a, b), véase Fig. 2: Los ordenados (conforme al movimiento JS, 117.3° , 19.8 años en un trifolio) Y los desordenados. El sol entra en los trifolios orbitales con un espaciado, en promedio, de 178.7 años y se mueve a lo largo de un trifolio (en un rizo) en cerca de 50 años (10 años), respectivamente. Mientras las órbitas trifolio son, luego de una rotación casi las mismas, las órbitas desordenadas difieren unas de otras. Luego de la separación, el movimiento solar mismo fue discernible y fijado en el tiempo como base precisa y homogénea adecuada para estudios terrestres. Luego, ha sido posible observar movimientos solares separados desde un punto de vista particular. Los intervalos de Trifolio que recurren en pasos regulares de 178.7 años pueden ser tomados y empleados como el patrón excepcional y estable del movimiento solar.

Se ha observado una respuesta al movimiento solar en la actividad solar. De hecho, se notó que los intervalos de movimiento solar desordenado coinciden con mínimos prolongados particulares en la actividad solar, tales como los mínimos Wolf, Spörer, Maunder y Dalton de este milenio.

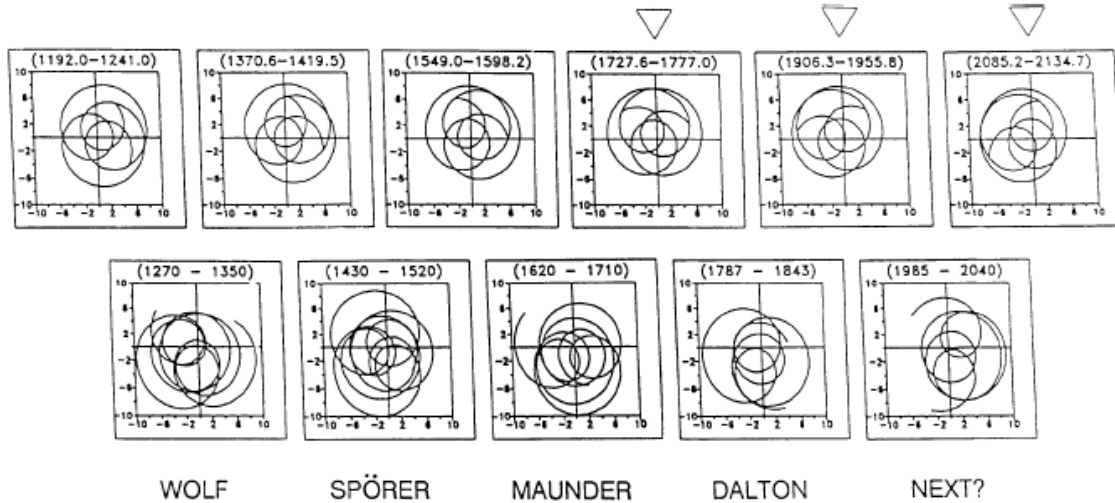


Fig. 2. The orbit of the centre of the Sun around the centre of mass of the solar system (in units of 10^{-3} AU) separated into two basic types, the ordered (in a JS-trefoil) (top) and the disordered (bottom). The area in which the Sun moves has a diameter of 0.02 AU or $4.4 r_{\odot}$, this being the solar radius, or $3 \cdot 10^6$ km. The most disordered sections of the intervals lying between the trefoils are plotted. The Sun enters into the trefoils with a periodicity of 178.7 years, on the average (see the times, years at the top of the respective figures). The value represents

the first basic cycle of solar motion. While the trefoils are nearly identical (after a rotation), the disordered orbits differ one from the other. The Wolf, Spörer, Maunder and Dalton prolonged minima of solar activity coincide with the intervals of disordered solar motion. The Sun moves along a trefoil (along one of the loops), over 50 (10) years, respectively. The two latest and the following trefoils are denoted by triangles

Los resultados obtenidos por las relaciones mutuas entre movimiento solar y actividad solar durante el último ciclo básico de 178.7 años están representados en la figura Fig. 3a±d. Si el movimiento solar es realmente una causa de variabilidad solar, entonces el movimiento a lo largo de la misma órbita (trifolio) debiera crear la misma serie de ciclos de manchas solares. De hecho el Sol moviéndose a lo largo de las mismas órbitas durante los intervalos trifolio del siglo dieciocho (1734±1785) y el siglo veinte (1913±1964) (tomados de minimum a minimum de los ciclos de manchas solares), creó casi los mismos juegos de ciclos de manchas solares (Charvatova, 1990b, 1995a, 1997a, b): ciclos 1 to 3 y ciclos 15 to 19. Las pequeñas desviaciones pueden ser explicadas por la baja calidad de números de manchas solares en el siglo dieciocho. Desafortunadamente la serie de número Wolf no es homogénea. Ella solo puede considerarse confiable solo desde aproximadamente 1850. Antes de esto es calidad más baja y antes de 1749 ni siquiera los datos mensuales están disponibles. Esto no es suficiente para confirmar una respuesta del movimiento trifoliar en la serie Wolf. El coeficiente más elevado y el único significativo de correlación entre los grupos sucesivos de cinco ciclos de manchas

solares desde 1700 y la serie de los intervalos trifoliales es que ($r=0.81$) entre las dos series de cinco ciclos de ambos intervalos trifoliales. El ciclo básico de 179 años

En esos dos fenomenos, se hizo así evidente la relación mútua entre el movimiento solar y la actividad solar (Fig. 3d).

Se demostró (Charvatova, 1995b, c, 1997a) que la longitud de cinco ciclos de manchas solares creados por el Sol moviéndose a lo largo de la órbita trifoliar en donde el movimiento a lo largo de un rizo dura 10 años (véase Fig. 2, arriba), es estable e igual a 10.1 ($\sim JS/2$) años. El largo más preciso de los ciclos 1 al 3 no puede ser calculado principalmente debido a la falta de datos mensuales anteriores a 1749.

Si embargo el largo medio de los cinco ciclos respectivos es también cerca de 10 años. En

los intervalos vecinos e intermedios,

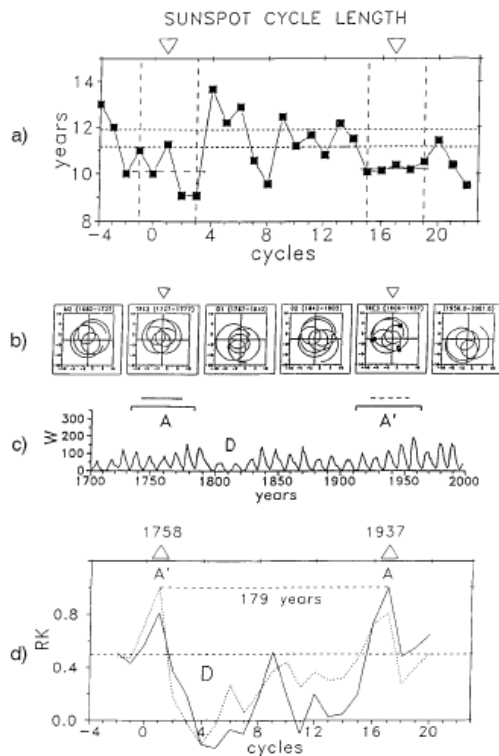


Fig. 3a-d. This figure summarizes the results obtained for solar motion – solar activity relation around the latest basic 178.7-year cycle. a The lengths of sunspot cycles since AD 1700: notice a constant cycle length equal to 10 (JS/2) years during the trefoil interval 1913–1964 (taken from minimum to minimum). During the previous trefoil interval (1734–1785) the cycle lengths cannot be calculated more precisely (see text). However, the mean value of cycle lengths is also 10 years there. In the surrounding and intermediate intervals, the cycle lengths are variable and mostly greater. b The solar orbit from AD 1680 to 2001 in sections of 50–65 years. Two trefoil intervals are denoted by the triangles. The black circles denote the positions of the sunspot cycle maxima. c The Wolf sunspot numbers since AD 1700. The letter A (A') denotes the trefoil interval of the eighteenth (twentieth) century. d Coefficients of correlation between the series of five sunspot cycles that occurred during the trefoil intervals [1734–1785 (A) and 1913–1964 (A')] and the successive groups of five sunspot cycles in steps of one cycle since 1700. The only significant coefficient ($r_k = 0.81$) is that between the groups of five cycles belonging to the trefoil intervals. The letter D denotes the Dalton minimum of solar activity

Las longitudes de los ciclos de manchas solares son variables y generalmente más grandes (Fig. 3a). El período dominante de 10.1 (JS/2) años fué detectado en los números de manchas solares de ambos de los intervalos trifoliales (Charvatova, 1990b, Fig. 4), en contraste a los períodos más largos dominantes hallados para los otros intervalos, de hasta 11.9 (J) años detectados para el mínimo Dalton de actividad solar (1790±1843) (Charvatova y Strestik, 1994). Rabin et al. (1986) y Wilson (1988) Hallaron que la actividad solar es bimodal, con modos de 10.1 y 11.9 años.

3 El Segundo ciclo básico en el movimiento solar: 2402 años, y su respuesta en los registros de actividad solar (C_{14} en los anillos de los árboles)

En la escala muy larga de tiempo (milenios) sólo están disponibles los registros indirectos de la actividad solar, los de C_{14} (radiocarbono en los anillos de los árboles). La producción del radiocarbono en la atmósfera y consecuentemente en los anillos de los árboles es debida al flujo de rayos cósmicos El cual ha sido significativamente variado, siendo inversa su relación respecto a la actividad solar. Los registros de radiocarbono suministran un archivo confiable de la actividad solar pasada.

La regularidad de los ciclos de 178.7 años es disturbada a veces: p.ej. entre 158 AC y el 208 DC. El primer ciclo básico de 178.7 (el intervalo entre dos órbitas trifoliales consecutivas) fue recortado dos veces a 159 Años y durante los intervalos intermedio el Sol se movió a lo largo de una órbita que no está muy lejos de un trifolio. Estos segmentos de 370 años de excepcional y casi estable movimiento del Sol (a lo largo de una órbita trifolio a cuasi trifolio) se han hallado que recurren en pasos de 2402 años, siendo el valor medio 2402.2 años.

La figura 4 muestra los últimos tres de tales segmentos: el primero de 158 AC a 208 DC, el segundo desde el 2561 AC al 2193 AC y el tercero desde 4964 AC al 4596 AC.

Las órbitas son las mismas en todos los tres casos, si las imaginamos luego de una rotación. Más atrás en el tiempo, el Sol se movió a lo largo del mismo patrón orbital entre los años 7366 y 6998 AC. En siguiente segmento igual ocurrirá entre los años 2242 DC y 2610 DC.

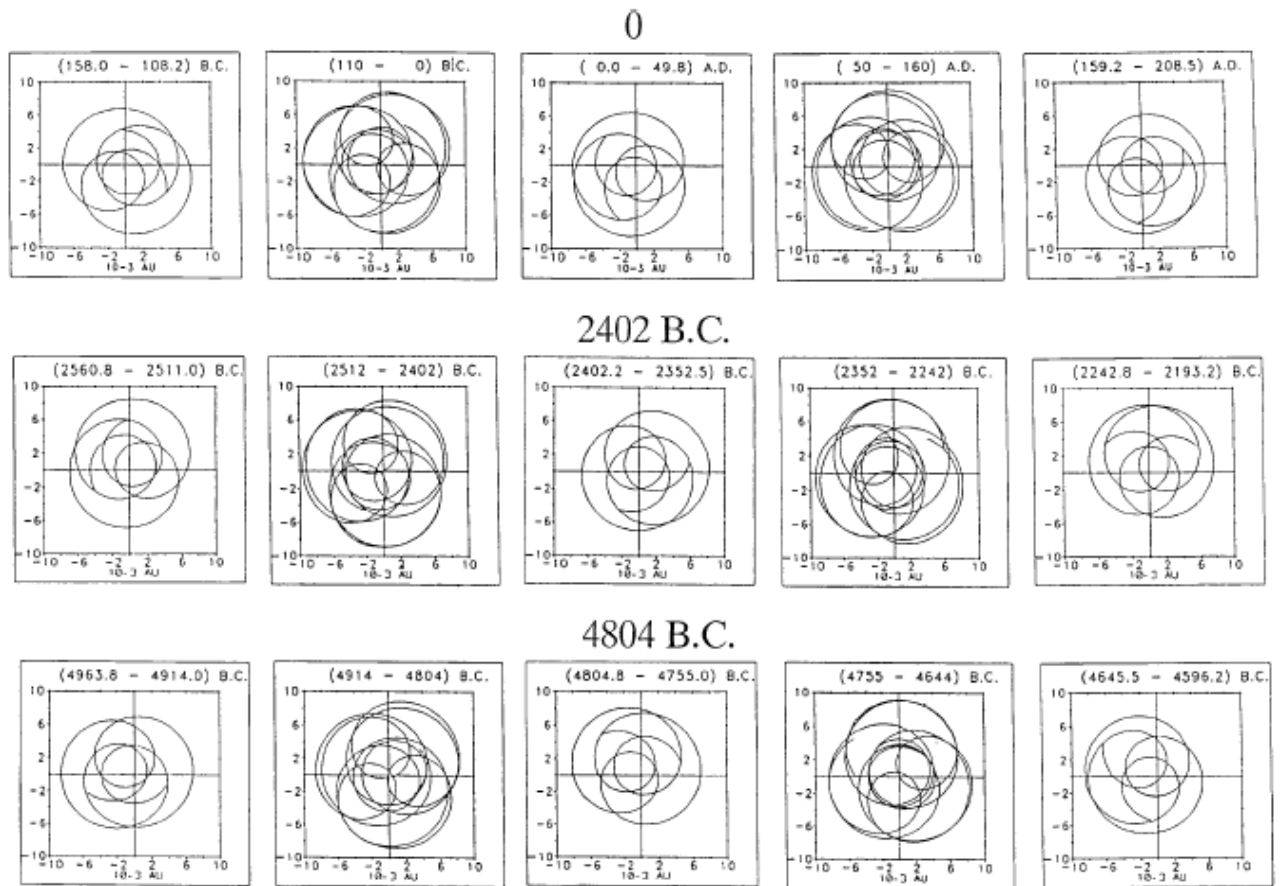


Fig. 4. The 370-year segments of the exceptional, stable pattern of solar motion recurring in steps of 2402 years: notice the twice shortened distance of 159 years between the three trefoils in each

segment (from 158 BC to 208 AD, from 2561 BC to 2193 BC and from 4964 BC to 4596 BC). The next such segment will occur between 2240 and 2610 AD

Las variaciones más Fuertes en actividad solar ocurrieron durante cada uno de los segundos milenios aproximadamente en donde ocurrieron los mínimos más largos o prolongados del tipo Spörer (S) y Maunder(M) Los patrones de los mínimos S y M han sido siempre observados como diferentes. Hood and Jirikowic (1991) notan que el ciclo de 2400 años modula la amplitud del ciclo en cerca de 200 (160 ± 210) años. Charvatova(1995b, c) señaló la coincidencia de patrones solares orbitales S(M) con los tipos respectivos de ocurrencia de mínimos solares S(M) (véase Damon and Linick, 1986). Debería anotarse aquí la simetría entre los momentos de entrada en las órbitas trifoliales de 50 años durante el primer milenio (158, 338, 516, 695, AC) y el primer milenio (159, 338, 516, 695,, AD). El centro de simetría es el año 25 DC (para detalles véase Charvatova , 1995b, c). En el centro del ciclo

de 2402 años, ocurren irregularidades más pequeñas en el ciclo de 178.7- años. Los segmentos excepcionales de 370 años que recurren regularmente en pasos de 2402 años han servido como una herramienta adicional para buscar una respuesta al movimiento solar inercial en la actividad solar (Charvatova, 1998). Las propiedades del segmento de 370 años (excepcionalidad y aproximada estabilidad) se hallan en los correspondientes intervalos de los registros proxy (radiocarbono) y suministran evidencia de una respuesta de movimiento solar e indican que el movimiento solar podría ser causa de la variabilidad solar también en la escala de milenios. Una analogía con una respuesta del patrón de órbita trifoliar de 50 años en la actividad solar (ciclos de alta actividad solar con un largo constante de 10 años) sugiere que la conducta de la actividad solar durante el patrón excepcional orbital de 370 años

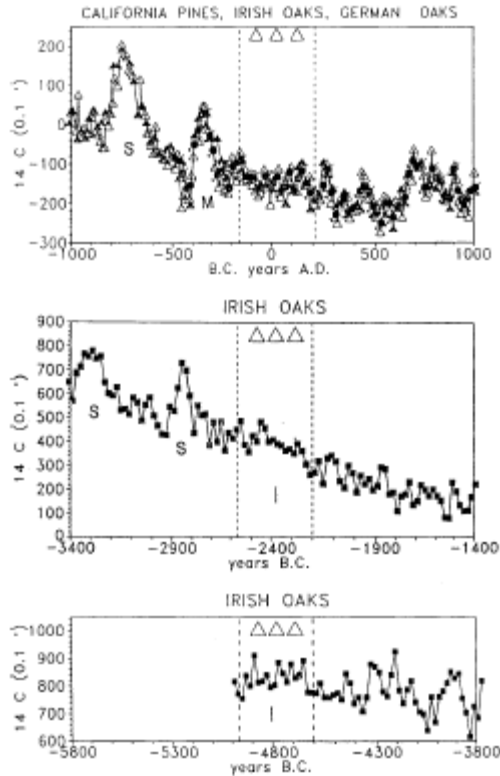


Fig. 5. Three intervals (1000 years preceding and following the centres of the 370-year exceptional segments). The radiocarbon data (decadal and bidecadal) of local or regional type was taken from Stuiver and Becker (1993), Stuiver and Pearson (1993) and Pearson and Quay (1993). The exceptional segments are denoted by the dashed vertical lines and three triangles. Error bars are plotted in the centres of the exceptional segments

Puede ser caracterizada como trifoliar o cuasi trifoliar, o pudiera estar cerca a aquello descrito como trifoliar.

La figura 5 muestra los registros de C_{14} para los tres últimos segmentos excepcionales (las órbitas respectivas están ploteadas en la figura 4) junto con los milenios adyacentes, i.e. from 5800 ac to 3800 ac, from 3400 ac to 1400 ac and from 1000 ac to 1000 dc. En todos los tres casos se aprecia la excepcionalidad y aproximada estabilidad (sin mínimos prolongados). En esta figura se toman datos locales o regionales (Robles Irlandeses o Alemanes así como pinos) se toman de Pearson y Quay (1993), Stuiver and Becker (1993) and Stuiver y Pearson (1993). La parte más estacionaria de los registros es vista durante precisamente los segmentos de 370 años de movimiento solar.

La figura 6 representa la totalidad de la serie de datos (modelo marino de edades C_{14} calculadas de datos de anillos de árboles atmosféricos suavizados con datos de corales) tomada de Stuiver y Braziunas

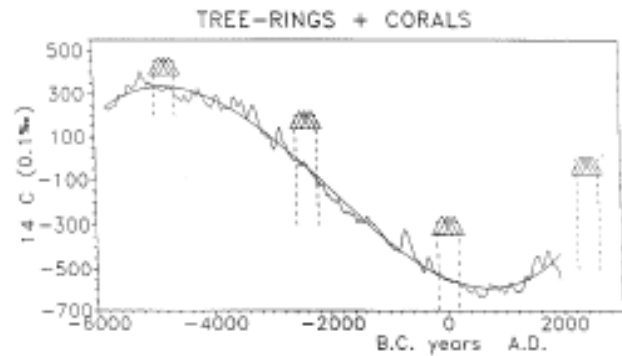


Fig. 6. The data are here plotted for the whole period since 6000 ac. (marine model ^{14}C ages calculated from the bidecadal atmospheric tree-ring data and a smoothing spline from coral data, Stuiver and Braziunas, 1993). The most stationary parts of the record coincide with the very exceptional segments of solar motion. They are denoted by the dashed vertical lines and by three triangles. The same type of record (approximately stationary, high solar activity) can be expected for the next exceptional segment which will occur between AD 2240 and 2610

(1993) desde 6000 ac. Uno puede ver las partes más estacionarias de los registros que ocurrieron precisamente durante los segmentos excepcionales de 370 años de movimiento solar denotados allí por las líneas verticales de rayas y por los tres triángulos.

4 Valoración predictiva de la actividad solar hasta el año 2610 DC basada sobre analogías con los patrones de movimiento solar previos.

Las predicciones de la amplitud y longitud de los ciclos solares ha sido mayormente efectuada sobre la base de una amplia gama de datos solares y geomagnéticos sobre la base de relaciones halladas solamente en los últimos ciclos de más alta actividad solar. No conociendo la fuente subyacente de la variabilidad solar tales predicciones pueden ser falsas, como se manifiestan en el caso presente del actual ciclo número 23 cuando se ha predicho un ciclo amplio a extremadamente amplio (R_{max} dentro 140 ± 225) (e.g. Wilson, 1992; Schatten et al., 1996; Kane, 1997). Ahluwalia (1999) predijo que el ciclo 23 será un ciclo moderado (más como el ciclo 17). Sin embargo es claro ahora que el ciclo 23 será uno de los ciclos de más baja actividad de este siglo.

El movimiento solar, computable por adelantado, nos ofrece al revés posibilidades predictivas, en tanto claro está solamente como analogías con los resultados encontrados en los pasados seis milenios. Las órbitas solares ploteadas en los intervalos de 50 a 65 años desde 1680 al

2001 (o 2135) como se ven en la Fig. 3b, 2. La órbita del Sol en los años 1985±2035 es del tipo desordenado (no trifoliar) y similar al de la segunda mitad del siglo diecinueve. Por analogía ocurrirán ciclos solares mayormente débiles y más largos.

Sus longitudes podrían variar entre 9.6 y 12.3 años, sus R_{max} pueden estar entre 65 and 140. Las predicciones del R_{max} para el ciclo 23 hechos durante la última década varían entre 140 y 225 (un rango inaceptable). Nuestra propia predicción hecha sobre la base del movimiento solar fue la única opinión en expresar lo opuesto: i.e. a fue predico un ciclo solar bajo (Charvatova, 1988, 1990a, b; Charvatova and Strikik, 1991). Charvatova (1990b) escribió: "El corriente ciclo 22 es probablemente el ultimo de los altos. Será seguido por una época de 40 años en la cual el movimiento solar será caótico (desordenado) y la actividad solar, por tanto, debiera ser baja. Los ciclos serán probablemente más largos e irregulares" Charvatova(1995a, b) Señalaba que los largos de los futuros ciclos serían variables. Como se indicaba para la parte inicial de 3 años del ciclo 23 en comparación con la parte respectiva del ciclo 22 (en forma suavizada, con un R_{max} 80±90 en comparación con el R_{max} 155 en el mismo tiempo desde el mínimo, nuestra predicción fue cierta. Luego del 2085 DC el Sol se movera en el trifolio orbital. Se repetirá la actividad de las series de ciclos 15±19 El siguiente segmento excepcional de 370 años ocurrirá después del 2240 DC. Hasta el 2610 ocurriría una actividad aproximadamente estacionaria como repetición de la conducta solar durante los segmentos excepcionales previos (Figs. 5 y 6). Ciclos de alta actividad solar con largos de 10 años podrían prevalecer, correspondientes a los largos de 10 años que ocurren para el tipo de movimiento solar trifoliar.

5 Conclusión

Estos resultados muestran que el movimiento solar alrededor del centro de masa del sistema solar puede ser considerado como la causa de la variabilidad solar. Debe ser tomado en cuenta no un Sol estático sino dinámico. Parece que el movimiento solar es también la causa del ciclo de 2400-años hallado en la actividad solar proxy. Los resultados indican que el hasta ahora

Fuente incógnita de actividad solar de 2402 años, algo sorprendentemente, podría hallarse en el movimiento del sol.

El descubrimiento de los segmentos excepcionales de 370 años de movimiento solar que recurren en etapas de 2402 años y su huella en los registros de radiocarbono es el resultado principal presentado aquí. El ciclo básico de 178.7 años, siendo el intervalo entre trifolios orbitales consecutivos de 50 años, es dos veces acortado en cerca de 20 (JS) años y durante los intervalos intermedios el Sol se mueve a lo largo de la órbita trifolio a cuatrifolio (fig.4). Los trifolios orbitales de 50 años en pasos de 178.7 años y los segmentos excepcionales de 370 años en pasos de 2402 años representan los patrones excepcionales del movimiento solar (Figs. 2, 4). Una respuesta del movimiento trifoliar de 50 años en la actividad del sol es una serie de cinco ciclos altos y de 10 años. Una respuesta de los segmentos de 370 años de movimiento trifolio a cuatrifolio es aproximadamente estacionaria(lineal) con actividad solar más elevada (Figs. 5 and 6). El ciclo de 10 años prevalece allí.

Debido a que el movimiento solar es computable por adelantado esto permite planteamientos predictivos para futuras conductas solares. Moviéndose a lo largo de órbitas desordenadas hasta el 2035 DC (Fig.2 inferior), las cuales son similares a las de la segunda mitad del siglo diecinueve (Fig.3b) el Sol debe desarrollar ciclos más bajos (R_{max} from 65 to 140) de largo muy variable (de 9.6 a 12.3 años). El desarrollo inicial del ciclo 23, ahora en su tercer año confirma esto para el ciclo presente. Entre el 2086 y el 2135 DC una serie de ciclos comparables al 15 al 19 deberán repetirse porque el Sol se moverá nuevamente en una órbita trifoliar.

Los planteamientos predictivos para los siguientes siglos pueden ser basados en los segmentos excepcionales de 370 años y los resultados relacionados. El siguiente tal segmento ocurrirá desde el 2240 al 2610 En correspondencia con la conducta solar durante los previos tres segmentos excepcionales, aproximadamente estacionarios y de gran actividad solar se observarán. Los ciclos de 10 años prevalecerán. Y una época muy larga de máximo de actividad solar comparable a la que fue observada durante la antigüedad

clásica ocurrirá en el mencionado intervalo (también véase Stothers, 1979). El procesado estadístico de los registros de actividad solar en contexto con los dos tipos de movimiento solar es requerido para estimar si el movimiento solar responde en actividad solar y para comprender las relaciones mutuas entre los dos fenómenos. Conforme a los resultados que se obtengan, el mecanismo apropiado podría ser eventualmente establecido. Una clave para esto está probablemente escondida en el intervalo de trífido de 50 años. Las relaciones mutuas halladas entre el movimiento solar y la actividad solar y más último conocimiento acerca de la estructura interna del sol (obtenida por SOHO, e.g. Turck-Chieze et al., 1997; Kosowichev et al., 1997) deberá ser considerada para este propósito. Las esferas solares individuales deben seguramente responder al movimiento solar en distintas maneras, provocando en las capas limítrofes un dínamo solar. La delgada capa entre el límite de las zonas radiante y convectivas, en donde se halló una zona de esfuerzo por SOHO y MDI 'es probable sea el lugar en donde el dínamo solar opera' (Kosowichev et al., 1997). Los resultados indican que el 'dínamo solar' que fue largamente buscado en el interior solar opera más probablemente desde el exterior, por medio de las configuraciones planetarias variables. Como ha sido mostrado en Charvatova (1995a, b, c, 1997a), el movimiento solar podría ayudar en las predicciones también para fenómenos terrestres incluyendo el clima.

Acknowledgements. This research was performed under the support of the Grant Agency of the Czech Republic, grant 97/205/0921.

Topical Editor E. Antonucci thanks R.W. Fairbridge and

G. Bonino for their help in evaluating this paper.

References

Ahluwalia, H. S., Present status of our prediction for solar cycle 23 maximum activity, in Proc. 26th Intern. Cosmic Ray Conf. (Salt Lake City, Utah, August 1999), 6, 260±263, 1999.
Charvař tovař , I., The solar motion and the variability of solar activity, Adv. Space Res., 8, (7) 147±150, 1988.
Charvař tovař , I., The relations between solar motion and solar variability, Bull. Astron. Inst. Czech., 41, 56±59, 1990a.

Charvař tovař , I., On the relation between solar motion and solar activity in the years 1730±80 and 1910±60, Bull. Astron. Inst. Czech., 41, 200±204, 1990b.
Charvař tovař , I., Repeating behaviour of solar and volcanic activities in the ordered intervals of solar inertial motion, in Proc. Workshop PAGES; Manifestations of climate at the Earth surface at the end of the Holocene, Eds. E. Růř zĩ ěĩ kovař , and A. Zeman Kolř n, October 13±14th, 1994, 26±37, 1995a.
Charvař tovař , I., Solar-terrestrial and climatic variability during the last several millenia in relation to solar inertial motion, J. Coastal Res., Holocene Cycles, Climate, Sea Levels, and Sedimentation (Spec. Iss. 17), 343±354, 1995b.
Charvař tovař , I., Solar-terrestrial variability in relation to solar inertial motion, Research Report of the Center for Theoretical Study at CU and AS CR, CTS-95-04 and CTS-95-08 (2nd Edn), 24pp, 1995c.
Charvař tovař , I., Solar-terrestrial and climatic phenomena in relation to solar inertial motion, Surv Geophys., 18, 131±146, 1997a.
Charvař tovař , I., Solar motion (main article), in: Encyclopedia of planetary sciences, Eds. J. H. Shirley and R. W. Fairbridge, Chapman & Hall, New York, 748±751, 1997b.
Charvař tovař , I., The basic cycles of 178.7 years and 2402 years in solar motion and their response in solar activity. JENAM 98, Solar Phys., Abstr, Prague, September 9±12th, p. 28, 1998.
Charvař tovař , I., and J. Strĩ esĩ tř k, Solar variability as a manifestation of the Sun's motion, J. Atmos. Terr. Phys., 53, 1019±1025, 1991.
Charvař tovař , I., and J. Strĩ esĩ tř k, The solar systemic features in ST-phenomena and surface air temperature during the last centuries, in: Contemporary climatology, Eds. R. Brař dũĩ , and M. Kolař řĩ , Brno, 136±141, 1994.
Damon, P. E., and T. W. Linick, Geomagnetic-heliomagnetic modulation of atmospheric radiocarbon production, Radiocarbon, 28, 266±278, 1986.
Damon, P. E., and C. P. Sonett, Solar and terrestrial components of the atmospheric 14C variation spectrum, in: The Sun in Time, Eds. C. P. Sonett, M. S. Giampapa and M. S. Matthews, The

University of Arizona, Tucson, 360±388, 1991.

Damon, P. E., S. Cheng, and T. W. Linick, Fine and hyperfine structure in the spectrum of secular variations of atmospheric D¹⁴C, *Radiocarbon*, 31, 704±718, 1989.

Fairbridge, R. W., Orbital commensurability and resonance, in: *Encyclopedia of planetary sciences*, Eds. J. H. Shirley and R. W. Fairbridge, Chapman & Hall, London, 564±571, 1997.

Fairbridge, R. W., and J. E. Sanders, The Sun's orbit AD 750±2050.

Basis for new perspectives on planetary dynamics and Earth-Moon linkage, in: *Climate, history and predictability*, Eds. Rampino, M. R. et al., Van Nostrand-Reinhold New York, 446±471, 1987.

Fairbridge, R. W., and J. H. Shirley, Prolonged minima and the 179-yr cycle of the solar inertial motion, *Sol. Phys.*, 110, 191±220, 1987.

Hood, L. L., and J. L. Jirikowic, A probable 2400 year solar quasi-cycle in atmospheric D¹⁴C. *Holocene*, 12, 98±105, 1991.

Jakubcová, I., and M. Pick, Correlation between solar motion, earthquakes and other geophysical phenomena, *Ann. Geophysicae*, 5B, 135±141, 1987.

Jose, P. D., Sun's motion and sunspots, *Astron. J.*, 70, 193±200, 1965.

Kane, R. P., A preliminary estimate of the size of the coming solar cycle 23, based on Ohl's precursor method, *Geophys. Res. Lett.*, 24, 1899±1902, 1997.

Kosowichev, A. G., J. Schou, P. H. Scherer, R. S. Bogart, R. I. Bush, J. T. Hoeksema, J. Aloise, L. Bacon, A. C. Burnette, P. M. De Forest, K. Giles, R. Leibbrand, M. Nigam, M. Rubin, K. Scott, and S. D. Williams, Structure and rotation of the solar interior: Initial results from the MDI Medium-L program, in: *The first results from SOHO*, Eds. B. Fleck and Z. Švestka, Kluwer Dordrecht, 43±61, 1997.

Pearson, G. W., and F. Quay, High precision ¹⁴C measurement of Irish oaks to show ¹⁴C variations from AD 1840±5000 BC: a correction, *Radiocarbon*, 35, 105±123, 1993.

Rabin, D., M. R. Wilson, and R. L. Moore, Bimodality of the solar cycle, *Geophys. Res. Lett.*, 13, 352±354, 1986.

Shatten, K. H., D. J. Myers and S. Sonnerup, Solar activity forecast for solar cycle 23, *Geophys. Res. Lett.*, 23, 605±608, 1996.

Sonett, C. P., and S. A. Finney, The spectrum of radiocarbon, *Philos Trans. R. Soc. London. A* 330, 413±426, 1990.

Stothers, R., Solar activity cycles during classical antiquity. *Astron. Astrophys.*, 77, 121±127, 1979.

Stuiver, M., and B. Becker, High precision decadal calibration of the radiocarbon time scale AD 1950±6000 BC, *Radiocarbon*, 35, 35±65, 1993.

Stuiver, M., and T. F. Braziunas, Modeling atmospheric ¹⁴C influences and ¹⁴C ages of marine samples to 10 000 BC, *Radiocarbon*, 35, 137±189, 1993.

Stuiver, M., and G. W. Pearson, High-precision bidecadal calibration of the radiocarbon time scale AD 1950±5000 BC and 2500±6000 BC, *Radiocarbon*, 35, 1±24, 1993.

Suess, H. E., The radiocarbon record in tree rings of the last 8000 years, *Radiocarbon*, 22, 200±209, 1980.

Turck-Chieze, S., S. Basu, A. S. Brun, J. Christensen-Dalsgaard, A. E. Darling, I. Lopez, F. Peñáz Hernández, G. Berthomieu, J. Provost, L. K. Ulrich, F. Baudin, P. Boumier, J. Charra, A. H. Gabriel, R. A. Garcia, G. Grec, C. Renaud, J. M. Robillot, and T. Roca Cortes, First view of the solar core from GOLF acoustic modes. in: *The first results from SOHO*, Eds. B. Fleck and Z. Švestka, Kluwer, Dordrecht, 247±265, 1997.

Wilson, R. M., Bimodality and the Hale cycle, *Sol. Phys.*, 117, 269±278, 1988.

Wilson, R. M., An early estimate for the size of cycle 23, *Sol. Phys.*, 140, 181±193, 1992.

I. Charvaňová: Can origin of the 2400-year cycle of solar activity be caused by solar inertial motion? 405