

Relación de la intensidad del flujo protónico con la heliolongitud y la radioemisión en las frecuencias de 3 y 5 ghz

Jorge F. Valiente ⁽¹⁾, Eduardo Del Pozo ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto de Geofísica y Astronomía. Calle 212 No.2906, La Lisa, C. Habana, CP 11600, Cuba.

Recibido: enero-octubre, 2001	Aceptado: noviembre, 2001
-------------------------------	---------------------------

Resumen

Se presenta una aproximación de la intensidad del flujo protónico, con la radioemisión y con la heliolongitud para todo el hemisferio visible del Sol [-90,90], que permite calcular la intensidad del flujo protónico con la frecuencia de radioemisión por separado en 3 y 5 GHz para eventos de componente de radioemisión métrica con intensidad débil y alta.

Estas expresiones permiten simplificar el algoritmo para calcular la intensidad de los parámetros del flujo de protones en las dos frecuencias de radioemisión abajo mencionada sin perder en el grado de aproximación ya obtenida y se muestra el comportamiento aproximadamente cuadrático de la relación con la heliolongitud.

Palabras clave: Astronomía, Física solar

Abstract

It is presented an approximation to proton flux intensity with the radioemission and with the solar longitude for all the visible hemisphere of the Sun [-90,90], which permit calculate the intensity of the proton flux with the frequencies of radioemission for separate in 3 y 5 GHz for events with low and high intensity metric radioemission component.

Those expressions permit simply the algorithm to calculate the intensity parameter of the proton flux in the two radioemission frequencies above mention without lose in the approximation degree already obtained and it shows the approximately quadratic behavior of the relation with heliolongitude.

Key words: Astronomy, Solar physics

Introducción

El estudio de los eventos protónicos es de interés general desde hace varias décadas. En particular es de gran importancia el establecimiento de relaciones entre los parámetros del flujo protónico y los parámetros del radioevento y la posición de la fulguración en el Sol.

Por una parte la radioemisión contiene la información del grado de aceleración a que son sometidas las partículas cargadas en la zona del Sol donde tiene lugar el evento, en la cual se generan los intensos flujos de partículas.

Por otra parte en los estimados de la intensidad del flujo protónico en las inmediaciones de la Tierra tiene gran peso la dependencia del debilitamiento por heliolongitud asociada a una variabilidad en la intensidad del flujo protónico del orden de 102 para los eventos de componente de radioemisión métrica débil (menos de 5000 unidades de intensidad de flujo) , y de 104 para los de intensa componente métrica [Del Pozo, et al 1996] [Fomichev, et al 1989]

Es de interés, no sólo de la predicción de la intensidad del flujo protónico en la corona del Sol, sino también el grado de debilitamiento de esa intensidad, que resulta de la propagación por el medio interplanetario en la dirección en que encuentra la Tierra después de ocurrir el evento.

Esta dependencia del debilitamiento por heliolongitud es la relación de distribución espacial de la intensidad del flujo protónico determinada a la distancia de la órbita de la Tierra con las diferentes direcciones en el plano de la órbita, lo que es de importancia física.

Uno de estos parámetros es la intensidad del flujo protónico. Con anterioridad [Fomichev, et al 1989] se estableció su dependencia de:

- la intensidad máxima de la radioemisión del radioevento en las frecuencias de 6.7, 9, y 15 GHz así como de
- la posición relativa de la Tierra en su órbita con relación a la ubicación del evento en el Sol, que queda expresada por la heliolongitud de la fulguración.

No obstante las relaciones obtenidas [Fomichev, et al 1989] permiten la predicción de la intensidad del flujo protónico en el medio circunsterrestre. Estas relaciones no muestran el carácter de la dependencia con la heliolongitud "q " para todo el intervalo $q \in [-90,90]$, pues se establecen varias relaciones lineales en varios subintervalos, para cada frecuencia de radioemisión cuya intensidad se utiliza para la estimación de la intensidad del flujo protónico.

En las frecuencias inicialmente analizadas de 6.7, 9 y 15 GHz, se procedió posteriormente a determinar nuevas relaciones, de la dependencia de la intensidad del flujo protónico con la intensidad de radioemisión de los máximos de los eventos solares y la heliolongitud.

Las relaciones obtenidas [Del Pozo, et.al 1996, --- et.al. 1998], a diferencia de las anteriores [Fomichev, et al 1989], son válidas para todo el hemisferio visible del Sol $q \in [-90,90]$, es decir una sola relación para cada frecuencia de radioemisión cuya intensidad se utiliza para el cálculo de la intensidad del flujo protónico. En ellas se obtuvo una dependencia aproximadamente cuadrática con la heliolongitud del logaritmo de la intensidad del flujo protónico.

En el presente artículo se continua aplicando este mismo enfoque, a dos frecuencias más de la banda centimétrica, de forma tal que el pronóstico de los parámetros del flujo protónico se pueda realizar con los datos de otras estaciones de patrulla solar. Se presenta una aproximación con regresiones múltiples por pasos según ANOVA del logaritmo de la intensidad del flujo protónico al nivel de la órbita de la Tierra con:

- el logaritmo de la intensidad de la radioemisión centimétrica en las frecuencias de 3 y 5 GHz y
- el debilitamiento de la intensidad del flujo protónico con la heliolongitud para todo el hemisferio visible del Sol $q \in [-90,90]$.

Estas regresiones permiten estimar la intensidad de flujo protónico a partir de la intensidad de las frecuencias de radioemisión de 3 y 5 GHz por separado, para eventos de radioemisión métrica débil e intensa.

Materiales y métodos

Se analizaron los eventos protónicos que se identifican con las fulguraciones en el disco visible del Sol y que caracterizan la intensidad máxima del flujo de protones observado en la Tierra con energía: $E > 10$ MeV, y con intensidad $J_{10} > 1.5 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$. Además fueron incluidos los eventos solares que satisfacían el criterio de protónico [Solar Geophysical Data 1966-1986], sin límite inferior sobre la magnitud e intensidad del correspondiente flujo de protones en la Tierra.

Se tomaron 20 eventos solares de radioemisión métrica débil (menos de 5000 UF) y 43 de radioemisión métrica intensa. No fueron incluidos los eventos protónicos producidos en una región de gran actividad, o que el flujo protónico observado era el resultado de eventos de diferentes zonas, pues en ambos casos no es posible separar con exactitud los correspondientes flujos protónicos.

Los eventos complejos que se observan sobre el fondo de una fuerte perturbación geomagnética, la cual provoca una variación complementaria de los parámetros de estos flujos protónicos no fueron incluidos en el análisis [Fomichev et al 1989].

La intensidad máxima de los radioeventos en 5 GHz, en aquellos casos que no se posee reporte de observación se determinó mediante los espectros de frecuencias contruidos con todos los datos de la red mundial [(Solar Geophysical Data 1966-1986), según en referencia de [Akijian et al., 1977; --- et al., 1978; --- et al., 1981].

Se tomó el logaritmo de la intensidad del flujo protónico como variable dependiente y se aplicó el método de ajuste por regresión múltiple por pasos con ANOVA a:

- la intensidad del logaritmo de la radioemisión y
- las potencias de la heliolongitud hasta grado tres como variables independientes.

De esta forma se determinó la relación de dependencia de la intensidad del flujo protónico con la heliolongitud y la radioemisión para eventos de componente métrica débil e intensa por separado, al nivel de la órbita de la Tierra.

Análisis de los resultados

El diagnóstico cuantitativo implementado incluye como relación fundamental la dependencia de la intensidad del flujo protónico:

$$J(SF,q) = J(SF) \cdot h_i(q) \quad i=1,2,3$$

SF- Intensidad máxima de la radioemisión del evento solar en la frecuencia F de banda centimétrica. Expresa la magnitud de la aceleración de partículas en la atmósfera del Sol.

q - Heliolongitud. Posición relativa entre el evento en el Sol y la posición de la Tierra.

i - Nivel de intensidad en banda métrica: Intenso (1), débil (2) y medio (3).

El factor de mayor variabilidad es la relación del debilitamiento de la intensidad del flujo protónico con la heliolongitud q: $h_i = h_i(q)$ que para $i=2$ nivel débil de la componente métrica es del orden de 10^2 y para $i=1$ es del orden de 10^4 (Fomichev et al., 1989; --- et al, 1989a). Este efecto es producido por el diagrama de direccionalidad de la intensidad del flujo protónico en el plano de la eclíptica proveniente de un evento solar, como resultado de las condiciones de salida de la atmósfera del Sol y la propagación en el medio interplanetario, como ya fue analizado con anterioridad (Del Pozo et al., 1996; ---et al, 1998).

Para cada una de las frecuencias de radioemisión (3 y 5 GHz) se obtuvieron dos expresiones del logaritmo de la intensidad del flujo protónico con el logaritmo de la intensidad de la radioemisión y la heliolongitud, una para los eventos de componente métrica débil y otra para los de intensa componente métrica.

La aproximación así obtenida para la intensidad del flujo protónico es análoga a la ya existente [Fomichev et al., 1989] en el algoritmo en uso en el software Sistema de Diagnóstico [Del Pozo, 1990], así como a las más recientemente determinadas (Del Pozo et al 1996; --- et al 1998).

La forma general es: $\text{Log } J_k = \text{Log } J_k(S_k, q) \quad k=3, 5 \text{ GHz}$

Las relaciones determinadas son:

EVENTOS SOLARES DE COMPONENTE METRICA DEBIL

coef. error

corr. stand.

$\text{Log } J_3 = 2.03 (\text{Log } S_3) - 0.92 \cdot 10^{-4} \cdot q^2 - 5.11 \quad 0.82 \quad 0.60$

$\text{Log } J_5 = 2.34 (\text{Log } S_5) - 1.29 \cdot 10^{-4} \cdot q^2 - 6.37 \quad 0.86 \quad 0.53$

Válidas para todo el hemisferio visible del Sol $q \hat{=} [-90,90]$. Vea figuras 1 y 3.

EVENTOS SOLARES DE COMPONENTE METRICA INTENSA:

coef. error

corr. stand.

Log J3 = 1.96 (Log S3) +0.02 *q -1.75 *10⁻⁴ *q² - 4.69 0.81 0.91

Log J5 = 2.12 (Log S5) +0.02 *q -1.30 *10⁻⁴ *q² - 5.78 0.83 0.88

Válidas para todo el hemisferio visible del Sol q Î [-90,90]. Vea figuras 2 y 4

En esta línea de trabajo se han obtenido una secuencia de resultados sobre los eventos protónicos, su relación con el transiente coronal, la fulguración y el radioevento, que se complementan con otras consideraciones generales [Bazilevskaya et al., 1990], así como la información sobre la detección de CME [Cyr et al., 1990]:

El primero de estos resultados fue la implementación del diagnóstico cuantitativo y cualitativo de la intensidad del flujo protónico sobre la base de las frecuencias de observación de La Estación Radioastronómica de La Habana (ERH), con más de 100 eventos protónicos del período 1966-1986 [Fomichev et al., 1989; Fomichev et al., 1989a].

Posteriormente se procedió a la verificación retrospectiva con datos independientes utilizando los eventos del período 1987-1990 y el software desarrollado (Del Pozo, 1990; Del Pozo et al., 1995). Además se realizó la labor de aplicación en tiempo operativo: diagnóstico, pronóstico y su reporte al Servicio Ionosférico del IGA en el período de octubre 1991-junio 1993 (Valiente et al., 1995), con resultados satisfactorios.

Por último se determinó el carácter aproximadamente cuadrático de la dependencia del logaritmo de la intensidad del flujo protónico con la heliolongitud para los eventos de componente métrica intensa (Del Pozo et al. 1996), y débil por separado (Del Pozo et al 1998), en las frecuencias de 6.7, 9, y 15 GHz.

Las expresiones obtenidas en el presente trabajo tienen el mismo grado de simplicidad que las expresiones anteriormente obtenidas con las intensidades de radioemisión en 6.7, 9 y 15 GHz como variables independientes, sin perder en el grado de aproximación. Y muestran el carácter aproximadamente cuadrático de la relación de la dependencia del logaritmo de la intensidad del flujo protónico con la heliolongitud.

Conclusiones

Los resultados aquí presentados complementan a los ya existentes, pues con la dependencia obtenida para las frecuencias de radioemisión de 3 y 5 GHz, queda cubierta toda la banda centimétrica de los posibles datos de entrada a utilizar para el pronóstico de la intensidad del flujo protónico en las inmediaciones de la Tierra.

Las estaciones de la red mundial observan al Sol en diferentes frecuencias de radioemisión. Los algoritmos obtenidos permiten por interpolación de los datos de entrada, que las mediciones de la radioemisión de los eventos solares, realizados por las estaciones de la red mundial puedan ser utilizadas como datos de entrada para los fines de pronóstico de la intensidad del flujo protónico en las inmediaciones de la Tierra.

Las relaciones ahora determinadas conjuntamente con las ya obtenidas para otras frecuencias permitirá desarrollar una nueva versión del software "Sistema de Diagnóstico", que además de incluir el carácter cuadrático de la dependencia con la heliolongitud, podrá ser utilizada en nuestra estación radioastronómica con datos de otras estaciones de la red mundial y/o implementada en otras estaciones de la red mundial.

Al mismo tiempo sientan las bases para la futura coordinación de un "Servicio Internacional de Alertas Protónicas", que lleve a cabo el diagnóstico de los eventos solares y de pronóstico de los parámetros del flujo protónico durante las 24 horas del día.

Referencias

- Akinjian, S. T., V. V. Fomichev, y I. M. Chertok, (1977): "Determinación de los parámetros del flujo de protones solares en las inmediaciones de la Tierra por radioeventos":
I.-Función de intensidad. II.-Función de debilitamiento por heliolongitud", *Geomagnetismo y Aeronomía*, 17(1,2): 10-15; 177-183.
- Akinjian, S. T., M. M. Alibegov, V. D. Kozlovskii, y I. M. Chertok, (1978): "Diagnóstico de los destellos protónicos por los radioeventos en las frecuencia de 9 GHz", *Geomagnetismo y Aeronomía*, 18(3): 410-415.
- Akinjian, S. T., V. V. Fomichev, y I. M. Chertok, (1981): "Valoración de los flujos de protones por las características del radioevento en las frecuencias de 15-19 GHz", *Física Sol Tierra, Potsdam*, 17: 135-143.
- Bazilevskaya G. A., Sladkova A. I., Fomichev V. V., Chertok I. M. (1990): "Posible vínculo entre los flujos de los protones solares en el espacio interplanetario con la formación de sistema de arcos coronales postdestello". *Astronomicheski Zhurnal* t. 67, No 2, pp 409-419.
- Cyr O. C. St., Burkepile J. T. (1990): "A catalogue of Mass Ejections Observed by the Solar Maximun Mission Coronagraph High Altitude Observatory. National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA.
- Del Pozo E. (1990): "Software y Manual de Usuario de diagnóstico de los destellos y pronóstico de la situación radiativa en las inmediaciones de la Tierra". IGA, ACC, inédito.
- Del Pozo E., Chertok I.M., (1995): "Análisis de los eventos protónicos del período 1987-1990 en base a las observaciones de la Estación Radioastronómica de la Habana y de los Satélites GOES". IGA, ACC,(en proceso para publicar).
- Del Pozo E. ,Valiente J.F.(1996):"Diagrama de direccionalidad del flujo protónico en el plano de la órbita de la Tierra para eventos de componente métrica intensa" (Procceding IV COLAGE, C3).
- Del Pozo E., Valiente J.F. (1998): "Proton Events Directivity Diagram at the Earth Orbit Plane II. send V Latin American Congress an Space Geophysic (COLAGE), Costa Rica (enviado al Procceding de la V COLAGE).
- Fomichev V. V., Chertok I. M., Del Pozo E., (1989): "Determinación de la intensidad del flujo de protones en la Tierra en base a los radioeventos solares y su espectro de frecuencias". *Geomagnetismo y Aeronomía* tomo XXIX, #4, pp 537-544.
- Fomichev V. V., Chertok I. M., Del Pozo E. (1989a): "Determinación del índice del espectro energético del flujo protónico en la Tierra por el espectro de frecuencia de los destellos solares en microondas". *Geomagnetismo y Aeronomia* tomo XXIX, #4, pp 545-550.
- Solar Geophysical Data (1966-1986): National Geophysical, -Solar Terrestrial Data Center A, Boulder, Colorado, USA.
- Valiente J.F., Del Pozo E. (1995) "Diagnóstico y Pronóstico de los Radioeventos Solares en el Período Octubre 1991-Junio 1993: Aplicación". IGA, ACC,(en proceso para publicar).

Figuras

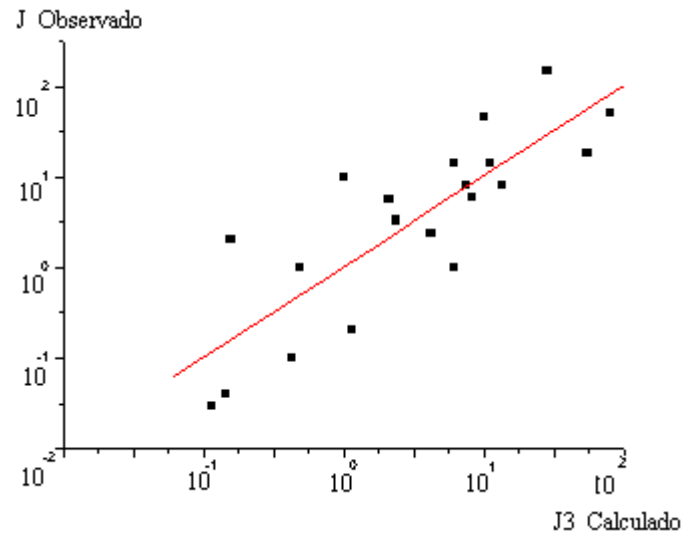


Figura 1. Gráfico de la intensidad de la intensidad de flujo protónico observado y el calculado para 3 GHz para los eventos métricos débiles.

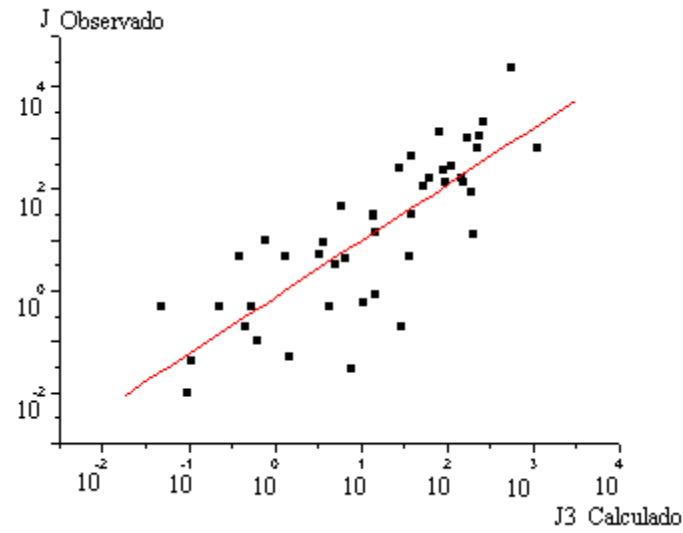


Figura 2. Gráfico de la intensidad de la intensidad de flujo protónico observado y el calculado para 3 GHz para los eventos métricos intensos.

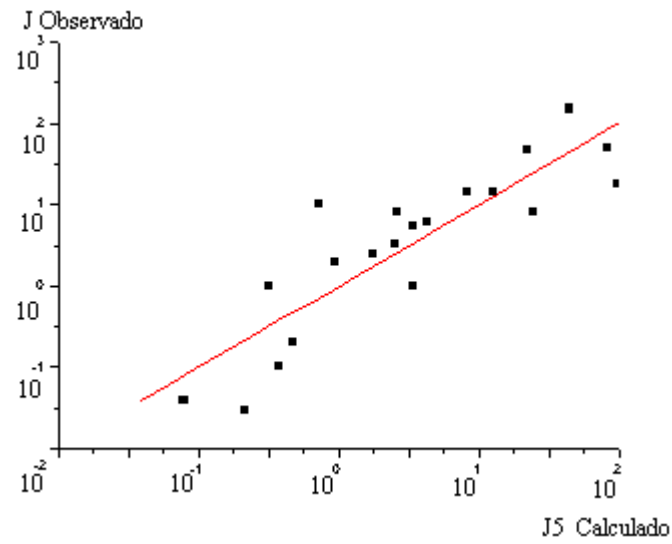


Figura 3. Gráfico de la intensidad de la intensidad de flujo protónico observado y el calculado para 5 GHz para los eventos métricos débiles.

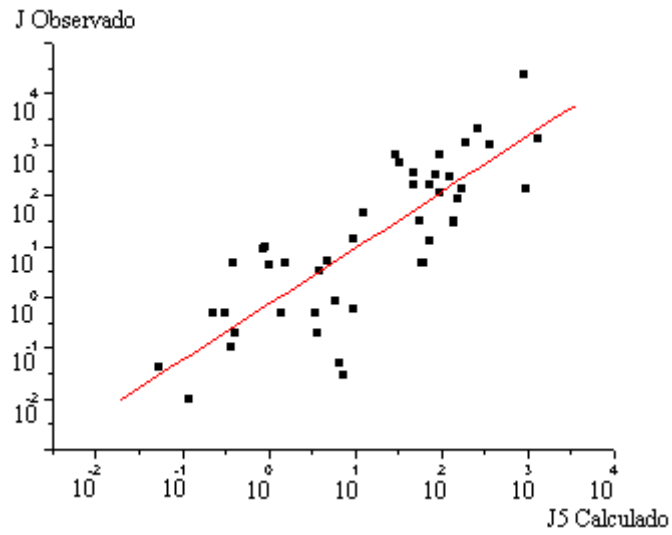


Figura 4. Gráfico de la intensidad de la intensidad de flujo protónico observado y el calculado para 5 GHz para los eventos métricos intensos.