

# Sobre la altura y dimensiones de las fuentes polarizadas de los eventos en banda centimétrica

RAMÓN E. RODRÍGUEZ TABOADA

## RESUMEN

Empleando resultados obtenidos previamente, se analiza la altura y dimensiones de las fuentes de las explosiones solares en banda centimétrica. Se concluye que bajo la suposición de simetría axial, las fuentes polarizadas de los eventos en banda centimétrica varían entre 0,04 y 0,08 radios solares sobre la mancha correspondiente, y que sus dimensiones son menores que las de las fuentes polarizadas de componente S y menores que las fuentes de emisión total de los eventos.

## 1. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más debatidos en cuanto a las explosiones solares es el de su naturaleza (mecanismos de generación y dinámica). En esta dirección se han efectuado numerosos trabajos teóricos y experimentales, en los que se muestran las características que deben observarse en cada caso. Entre estas características se encuentran la altura y dimensiones de la fuente del evento en banda centimétrica.

En la literatura existen antecedentes de mediciones de las dimensiones de las fuentes (flujo total y polarizado; KUNDÚ, 1965; DRAVSKIKH, 1961) y de la altura de las mismas en cuanto al flujo total se refiere (GUELFREIG *et al.*, 1961). Nos propusimos entonces estimar ambos parámetros para las fuentes de las explosiones solares en la longitud de onda de 4,5 cm, empleando para ello resultados de investigaciones previas realizadas con material observacional de la Estación Radioastronómica de La Habana (ERH), y la fórmula deducida por PETEROVA (1975) para las fuentes locales de radioemisión, y que liga los ángulos de ocultación de la fuente tras la llamada "pantalla de fase" (zona de interacción de las ondas normales con el campo magnético cuasi-transversal), con las dimensiones características de la fuente.

---

Manuscrito aprobado el 13 de febrero de 1982.

R. E. Rodríguez pertenece al Instituto de Geofísica y Astronomía, de la Academia de Ciencias de Cuba.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

La fórmula en cuestión es  $R = 0,5 L \cos \theta (\operatorname{ctg} \Phi/2 + \operatorname{tg} \theta)$ , donde  $\theta$  es el ángulo medio de la ocultación,  $\Phi$  es el ángulo que dura la ocultación,  $L$  es la dimensión de la fuente que se oculta, y  $R$  es la distancia de la fuente a la zona de interacción. Con esta fórmula y los resultados de los trabajos de PETEROVA (1975), PETEROVA *et al.* (1974), PETEROVA y RODRÍGUEZ (1977), y RODRÍGUEZ (1982), de los que se puede estimar ángulos de ocultación, se calcularon los tamaños de las fuentes polarizadas en la longitud de onda de 4,5 cm (Tabla 1) para los casos que consideraremos en este trabajo.

En base del valor promedio de  $\theta$  y  $\Phi$  obtenido para las fuentes locales, y asumiendo que  $R$  varía entre 60 y  $80 \times 10^3$  km según los resultados de PETEROVA y AJMEDOV (1973), obtenemos entonces  $L$  como promedio para las fuentes locales ( $L_{..}$ ) entre 65 y  $48 \times 10^3$  km. Este mismo cálculo, empleando los valores obtenidos por RODRÍGUEZ (1982) para las fuentes polarizadas de los eventos, indica un valor de las dimensiones de los eventos de  $L_e$  entre 56 y  $42 \times 10^3$  km.

En este cálculo hemos supuesto que las fuentes polarizadas de los eventos se encuentran situadas en las mismas regiones que las de componente S; pero de esta forma es difícil explicar que el apantallamiento por la "pantalla de fase" ocurra primero para la fuente de componente S que para la fuente de las explosiones solares, con una diferencia de aproximadamente un día entre ellas (Fig. 1), ya que ésto implica un corrimiento de la fuente polarizada respecto al eje de simetría de la mancha, en dirección contraria a la dirección principal del campo magnético.

Supusimos entonces que la fuente de emisión polarizada de los eventos se encontraba en el eje de simetría de la mancha, pero a cierta altura superior a la de la componente S.

TABLA 1. Valores del tamaño de la fuente polarizada, para distintos valores de la distancia a la zona de interacción, en unidades de  $10^3$  km.

Fuente	$\theta$	$\Phi$	R=100	R=80	R=60
382/69	12	32	55	44	33
223/72	32	49	84	67	50
418, 420/69	25	50	85	68	51
361/72	7	66	122	98	73
131/74	15	40	68	54	41
Promedio de las F. L.	18	47	72	65	48
Promedio de los eventos	35	40	70	56	42

En este caso (Fig. 2) se obtienen las siguientes expresiones para la componente S.

$$X = R_{e.s.} \cos (90 - \theta)_{e.s.} \quad Y = R_{e.s.} \operatorname{sen} (90 - \theta)_{e.s.} \text{ y para los eventos}$$

$$Y' = \operatorname{tg} (90 - \theta_e) X + \Delta h$$

Haciendo las sustituciones correspondientes obtenemos:

$\Delta h = R_{e.s.} \cos \theta_{e.s.} - \operatorname{sen} \theta_{e.s.} \operatorname{ctg} \theta_e$  que evaluado para los valores obtenidos anteriormente da  $\Delta h$  entre 41 y  $31 \times 10^3$  km.

Veamos ahora cómo se modifican los valores de  $L_e$ . De la Fig. 2 puede verse que  $R_e^2 = \Delta h^2 + R_{e.s.}^2 - 2 \Delta h r_{e.s.} \cos (\theta_{e.s.})$ , que evaluada para los valores que hemos estimado,  $\Delta h$  entre 41 y  $31 \times 10^3$  km,  $R_{e.s.}$  entre 80 y  $60 \times 10^3$  km,  $\theta = 18$ , obtenemos para  $R_e$  un valor entre 43 y  $23 \times 10^3$  km, o sea, entre 0,7 y 0,5 min. de arco, valor sensiblemente menor que el estimado para la fuente local. Esto nos hace pensar en la posibilidad de la existencia de fuentes pequeñas como origen de la emisión de los eventos en banda centimétrica.



FIG. 1. Posiciones relativas de las fuentes polarizadas, de la componente S y de los eventos en banda centimétrica, bajo la suposición de que ambas se generan en la misma región.

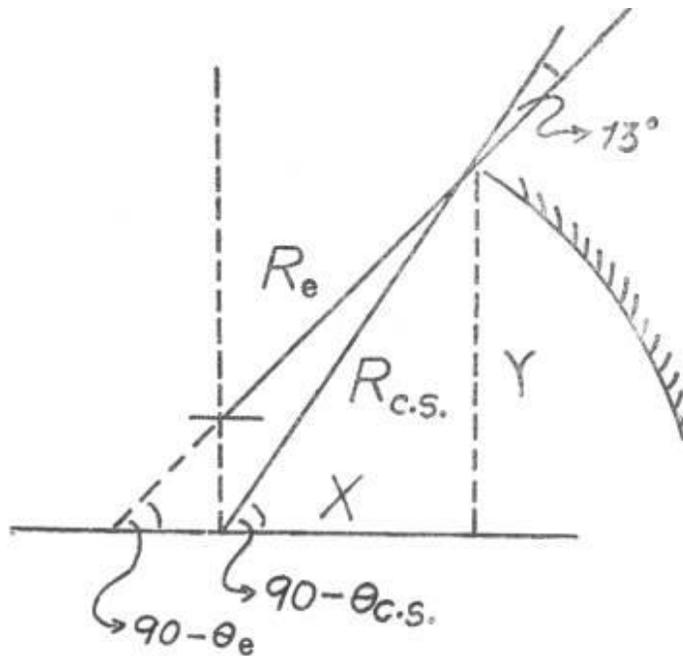


FIG. 2. Posiciones relativas de las fuentes polarizadas, bajo la suposición de que se generan en distintas regiones, dispuestas según el eje de simetría de la mancha. Los subíndices indican: c. s., componente S; e, eventos en microondas.

Para analizar esta posibilidad, tomamos el grupo 131 de 1974 (clasificación de Datos Solares). En este grupo se observó que el 100 % de los eventos que venían observándose antes del cambio del signo de la polarización de la fuente local tenían el mismo signo que ésta, y que posteriormente ocurre un cambio en el signo de la polarización; también con el mismo carácter, todos los eventos presentan el mismo signo que la componente S. Esto nos hace suponer que las fuentes son pequeñas o que concurren en una región relativamente pequeña, ya que el ocultamiento de la zona en que ocurren las explosiones se produce en un ángulo del orden de  $13^\circ$ .

Como se conoce de las observaciones de eclipses, el tamaño de las fuentes polarizadas de la componente S es aproximadamente igual al de los núcleos de las manchas a que están asociados. Esto permite suponer que para este grupo en cuestión  $L_{c.s.} \simeq 44 \times 10^3 \text{ km} = 1 \text{ min. de arco}$ , lo que implica  $R_{c.s.} \simeq 65 \times 10^3 \text{ km}$ . Siguiendo el mismo método empleado anteriormente, se obtiene  $\Delta h \simeq 32 \times 10^3 \text{ km}$ ,  $R_e \simeq 35 \times 10^3 \text{ km}$ ,  $L_e \simeq 9 \times 10^3 \text{ km}$ .

### 3. RESULTADOS

Existen estimados del tamaño de las fuentes de las explosiones solares realizadas por mediciones directas con equipos de alta resolución; veamos como se corresponden los valores obtenidos por nosotros para la componente polarizada de los eventos con los de la emisión total (Tabla 2).

Los valores característicos dados por KUNDÚ (1965) no contradicen los obtenidos por nosotros para las fuentes polarizadas, suponiendo que

TABLA 2. Tamaño de las fuentes de emisión total, para los distintos tipos morfológicos de eventos centimétricos (según KUNDÚ, 1961).

Tipo	Dimensiones de las fuentes	
	Min. de arco	10 <sup>3</sup> km
A (simple)	1-1,5	43-65
B (PBI)	2-3	87-130
C (GRF)	0,8	34

éstas están situadas a una altura superior a las de las fuentes polarizadas de la componente S. Los estimados indican que las fuentes polarizadas de los eventos son menores que las de emisión total y que las de componente S.

Tomemos los valores típicos de las manchas según ZHELEZNIKOV (1970) para estimar la altura de las fuentes de componente S en la longitud de onda de 4,5 cm: radio de la umbra  $17 \times 10^3$  km, campo magnético fotosférico  $2,5 \times 10^3$  gauss, el armónico fundamental ( $W_{eb}$ ) es igual a  $2,8 H_{eb} = 7 \times 10^3$  MHz. Empleando la aproximación unipolar (válida para  $h$  menor o igual que dos veces el radio de la umbra, como es nuestro caso)  $h^2 = b^2(SW_{eb} - W_h)^2 / (2S W_h W_{eb} - W_h^2)$ , y como para la componente S los armónicos fundamentales la emisión son los 2 y 3 (ordinario y extraordinario, respectivamente), que se encuentra entre 0,01 y 0,02 radios solares (Tabla 3), para los valores estimados de  $\Delta h$  entre 30 y  $40 \times 10^3$  km, debemos esperar para los eventos una altura típica entre 0,06 y 0,08 radios solares, resultado éste que concuerda con el obtenido por GUELFREIG *et al.* (1961) por otros métodos para las fuentes de emisión total de los eventos.

TABLA 3. Alturas sobre la fotosfera de las distintas capas giroresonantes, en función del armónico (S) según la aproximación unipolar.

Nivel	Altura ( $h$ )		$\Delta h$ $\times 10^3$ km
	$\times 10^3$ km	Radios solares	
2	10,7	0,015	
3	16,2	0,023	5,5
4	20,4	0,029	4,2
5	23,9	0,034	3,5

TABLA 4. Valores del ángulo crítico ( $\tau = 1$ ) en función del armónico, para la longitud de onda de 4,5 cm, en las condiciones típicas de las fuentes locales.

S	Ordinaria	Extraordinaria
2	15°	16'
3	50°	15°
4	127°	58°

Podemos hacer algunas consideraciones sobre el modelo de giro-radiación en base de los resultados obtenidos. El grosor óptico de la capa giroresonante depende del ángulo bajo el cual se le observa, por lo que debemos investigar para los ángulos medios de ocultación el posible papel de cada nivel giroresonante. Tomemos para éste  $\theta = 35^\circ$ . Siguiendo la formulación de ZHELEZNIKOV (1970) para el cálculo crítico ( $\tau = 1$ ), se obtuvieron los resultados que aparecen en la Tabla 4, para la longitud de onda de 4,5 cm.

De estos resultados se ve que para  $\theta_c$  sólo los niveles 2 y 3 son ópticamente gruesos en las condiciones típicas de la condensación coronal; pero el grosor óptico es proporcional a la temperatura elevada a la potencia  $S - 1$ , por lo que un aumento local de la misma, digamos hasta  $10^7$ K (valor relativamente bajo para las explosiones en banda centimétrica), conllevaría un aumento del grosor óptico de la capa. Para el armónico de orden 4 sería  $T_e^3/T_{e,s}^3 = 10^3$ . Los valores del ángulo crítico calculados para  $T = 10^7$ , variando  $L_h$  (dimensiones características de campo magnético) entre  $4 \times 10^9$  y  $10^{10}$  cm, y  $N_e$  entre  $2 \times 10^9$  y  $10^{10}$  cm $^{-3}$  (Tabla 5), muestran que el cuadro cualitativo de la componente S se mantiene, pero siendo ahora los niveles fundamentales los 3 y 4 para las ondas ordinaria y

TABLA 5. Valores del ángulo crítico ( $\tau = 1$ ) en función del armónico, para  $T_e = 10^7$ K,  $L_h$  entre  $4 \times 10^9$  y  $10^{10}$  cm,  $N_e$  entre  $2 \times 10^9$  y  $10^{10}$  cm $^{-3}$ , para la longitud de onda de 4,5 cm.

S	Ordinaria	Extraordinaria
2	2°- 4°	1'- 5'
3	12°-19°	4°- 7°
4	30°-41°	17°-26°
5	49°-63°	37°-50°

extraordinaria, respectivamente. De esta forma, la altura y polarización del evento estarían determinados por los niveles de giroradiación que se hicieron opacos y el gradiente de temperaturas en la región de la explosión.

#### 4. CONCLUSIONES

- a) El método desarrollado por PETEROVA (1975) para el estudio de las fuentes locales, a través de la interacción de las ondas normales con el campo magnético cuasi-transversal, puede ser extendido al estudio de las fuentes polarizadas de los eventos centimétricos.
- b) Las fuentes polarizadas de los eventos presentan dimensiones menores que las de las fuentes de componente S, y menores que las de las fuentes de emisión total de los eventos.
- c) Bajo la suposición de simetría axial, las fuentes polarizadas de los eventos se encuentran entre 0,04 y 0,08 radios solares sobre la mancha correspondiente.
- d) El análisis cualitativo de la situación, dentro de los marcos de la teoría de giroradiación, indica que el evento no puede ser explicado como un abrillantamiento simple de la región activa, y que el gradiente de temperaturas en la región del evento, así como el valor del ángulo crítico, serían factores determinantes que deben considerarse en un análisis cuantitativo de la altura y dimensiones de las fuentes polarizadas de los eventos.

#### REFERENCIAS

- DRAVSKIKH, A. F. (1961): Some peculiarities of the dynamic spectrum of bursts of the solar radioemission in the microwave region. *Izvest. Glavnoi Astronom. Observ.*, 21(5/164):128-139.
- GUELFREIG, G. B., KOROLKOV, D. B., RYZHKOV, N. R., y SOBOLEVA, N. S. (1961): Issledovanie lokalnix oblasticej radioizlucheniya solntsa, raspalazhen nad solniechnimi pyatnami, po polarizatsionnim nabludiyam v santimetrobom diapazone. En *Radioastronomiya Parizhskii Simpozium, 1958*, Izd. Innostrannaya Lit., Moscú, pp. 125-135.
- KUNDŮ, M. R. (1961): Radiointerferentsionnie issledovaiye istochnikov izlucheniya na volne 3 cm. En *Radioastronomiya Parizhskii Simpozium, 1958*, Izd. Innostrannaya Lit., Moscú, pp. 219-232.
- (1965): *Solar radioastronomy*. Interscience Publisher, Londres, 356 pp.
- PETEROVA, N. G. (1975): On the space scales of the magnetic field of sunspots as obtained from observations of alternating the polarization sense in the local sources emission. *Solniechnie Dannie*, 3:96-101.
- PETEROVA, N. G., y AJMEDOV, S. B. (1973): The influence of transversal magnetic fields on circular polarized radioemission of local sources. *Astronom. Zhur.*, 50(6):1220-1232.
- PETEROVA, N. G., POZO, E. del, y RODRÍGUEZ, R. E. (1974): On depolarization of radioemission of local sources during the alteration of the sense of polarization. *Solniechnie Dannie*, 9:88-93.
- PETEROVA, N. G., y RODRÍGUEZ, R. E. (1977): Some results of the study of the polarization in microwave burst and S-Component source. *Solniechnie Dannie*, 2:47-53.

RODRIGUEZ, R. E. (1982): Resultados preliminares de la investigación de las explosiones solares en banda centimétrica. *Cien. Tierra Espacio*, 6:21-31.

ZHELEZNIAKOV, V. V. (1970): *Radioemission of the sun and planets*. Pergamon Press, Londres, 696 pp.

#### **ABSTRACT**

On the basis of previous results, the height and dimensions of solar burst sources in centimetric band are analyzed. It is concluded that, under the assumption of axial symmetry, the polarized sources of events in centimetric band vary between 0,04 and 0,08 solar radii on the corresponding spot, and that their dimensions are smaller than those of the Component-S polarized sources, and also smaller than total emission sources of events.