

Interpretación de los espectros de la radioemisión solar con máximo en la banda centimétrica corta sobre la base de las observaciones de marzo-mayo de 1976*

**Ramón E. RODRIGUEZ TABOADA
***Natalia G. PETEROVA
y ****Shmit B. AKHMEDOV

RESUMEN. *Se determinaron las características más importantes de la región relacionada con los grupos de manchas Nos. 10 + 11, 16 y 24 de 1976 (clasificación de "Datos Solares") en el rango de 2,0 cm a 9,0 cm de longitud de onda, usando observaciones con bajo, medio y alto poder de resolución angular en Cuba y la URSS. Este material se analizó según la teoría de las llamadas "Fuentes Peculiares", y el comportamiento observado se explica por la aparición de tales elementos en la región activa. Se propone una explicación de la regularidad empírica corta en las regiones activas con alta probabilidad de ocurrencia de grandes radioteles (Great Burst), los que están asociados a los eventos protónicos, así como de los radioeventos con máximo en esta banda.*

INTRODUCCION

Debido a su interés práctico, entre los grupos de manchas presentan especial interés aquellos grupos cuya actividad destellante está relacionada con la ocurrencia de los llamados eventos protónicos. Por cuanto la llegada de protones a la Tierra se determina no sólo por las condiciones sino tam-

*Manuscrito aprobado en diciembre de 1991.

**Instituto de Geofísica y Astronomía de la Academia de Ciencias de Cuba.

***Filial Leningradense del Observatorio Astrofísico Especial de la Academia de Ciencias de la URSS.

****Observatorio Astrofísico de Shamaja de la Academia de Ciencias de Azerbaijón.

bién por su propagación en la corona y el espacio interplanetario, el problema del pronóstico de los eventos protónicos es uno de los problemas actuales de la astronomía que se caracteriza por una amplia interrelación de disciplinas.

En el presente trabajo se analizan e interpretan las características espectrales de la radioemisión solar de un complejo de actividad, señaladamente geoeffective, para el cual se dispone de observaciones con intermedio y bajo poder de resolución angular realizadas en la URSS y Cuba con los radiotelescopios Gran Radiotelescopio de Pulkovo (BPR de la URSS), y RT-3 (Cuba), así como resultados de eclipses y del RATAN-600.

PETEROVA
AKHMEDOV

MATERIAL OBSERVACIONAL

El grupo estudiado fue un grupo con un largo tiempo de vida (3 rotaciones solares); se desarrolló en el hemisferio visible el 6 de marzo de 1976 y fue clasificado con el número 10+11 según el boletín Datos Solares. En esta investigación se emplearon observaciones de la polarización de la radioemisión en dos frecuencias (4,4 cm y 9,0 cm) empleando el Gran Radiotelescopio de Pulkovo (BPR) que tiene una resolución de 1,7 y 3,5 min de arco en la dirección más estrecha de su diagrama de antena. Las observaciones se llevaron a cabo en el momento del paso del Sol por el meridiano de Leningrado alrededor de las 10 h U.T.; también se emplearon las observaciones regulares en 2,0 cm y 4,5 cm del Servicio del Sol en la Estación Radioastronómica de La Habana (E.R.H) que tienen una resolución angular de 1 grado y que se realizan de las 13 a la 23 horas U.T.

Esta región activa fue observada en el período de marzo-mayo de 1976, y dio dos potentes radioestallidos acompañados de la llegada de protones al espacio circun-terrestre.

En el problema de los destellos solares uno de los aspectos más importantes es el relacionado con las fuentes de almacenamiento y disipación de la energía. La presencia de láminas de corriente se considera como la forma más probable de explicación de estos procesos, aunque no se cuenta con datos observacionales que muestren de forma unívoca la existencia y características de estos objetos (Akhmaedov *et al.*, 1936).

Para el caso concreto de este grupo, aun las observaciones del BBR carecen de la resolución angular necesaria para el estudio de los detalles de la fuente de emisión en ondas de radio. No obstante, es conocido de las observaciones de eclipses (Fig. 1) y del RATAN-600 (resolución angular del orden de los segundos en la banda centimétrica), que existen las llamadas "fuentes peculiares", que se observan entre las fuentes de las manchas, y que aunque tienen pequeño tamaño (20-30 segs de arco) dan una gran contribución a la radioemisión general de la región activa (2-20 unidades de flujo solar), lo que permite que la presencia de las mismas sea notada aún en los casos de insuficiente resolución angular (Korzhavin *et al.*, 1989).

Este material permitió el espectro del flujo de la región activa en sus dos estados: cuasiestacionario y perturbado. En el caso

de la explosión esto se hizo para tres fases: precursora, máxima, y aumento posterior a la explosión (PBI). El grado de polarización durante la explosión no mostró cambios sustanciales, por lo que sólo se da el valor característico obtenido del promedio de estas tres mismas fases.

El carácter general del espectro durante la fase de máximo se obtuvo al considerar datos complementarios publicados en el Solar Geophysical Data.

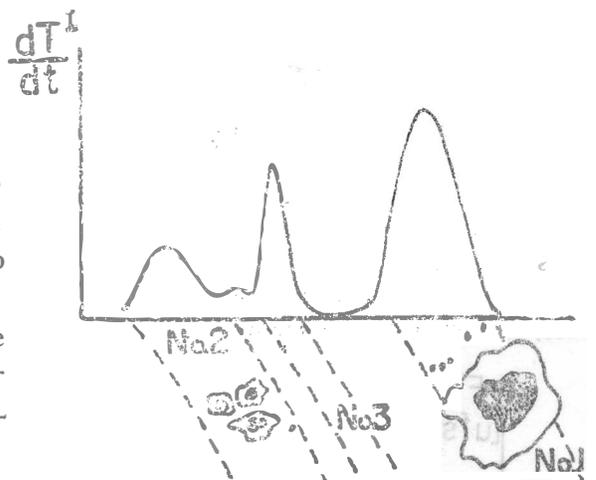


Fig. 1. Esquema que muestra para el grupo No. 212 una fuente peculiar observada en la E.R.H. durante el eclipse de Sol del 24 de diciembre de 1974. Detalle No. 3.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS OBSERVACIONALES

El fin de la investigación es la búsqueda de comportamientos no usuales de la radioemisión de las regiones activas: por esto, los resultados aquí obtenidos serán analizados desde el punto de vista de las ideas actuales de las características estadísticas de las fuentes locales y los radioestallidos.

Directividad de la radioemisión

La directividad de la radioemisión de las fuentes locales se expresa en forma cosinusoidal (o aún más abrupta) en dependencia de la heliolongitud; y se observa más frecuentemente en los grupos de manchas tipo H (manchas grandes solitarias). En la estructura del grupo de manchas estudiado realmente se presenta una estructura bipolar desarrollada en forma de pequeñas manchas, lo que no es típico para los grupos clase H (Fig. 2).

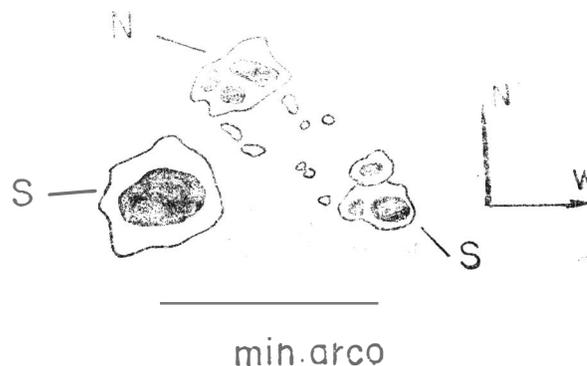


Fig. 2. Esquema del grupo No. 24 el 29 de abril de 1976. Nótese que a diferencia del grupo 212 (Fig. 1), que muestra una disposición horizontal de las manchas principales, en este caso la dirección del campo (N-S) es casi perpendicular a la dirección E-O.

Desde este punto de vista, la directividad de la emisión claramente testifica para el grupo en su segunda rotación, que la emi-

sion se determina fundamentalmente por la mancha principal (Fig. 3). Este tipo de directividad puede ser explicada por la forma de la región de emisión, si se supone que esta tiene una pequeña altura en relación con su extensión. De aquí se puede sacar la importante conclusión de que si en su estructura se encuentran fuentes de otra naturaleza que den una contribución notable, su forma deberá ser plana.

Espectro de flujo

Para las fuentes locales es característico un espectro con máximo en el diapasón de los 10 cm. En el caso de la fuente local estudiada, en su tercera vuelta se tiene un aumento de la emisión de las ondas cortas menores de 5 cm, sobre todo en el período del potente radioestallido del 30 de abril y el 1ro de mayo (Fig. 4).

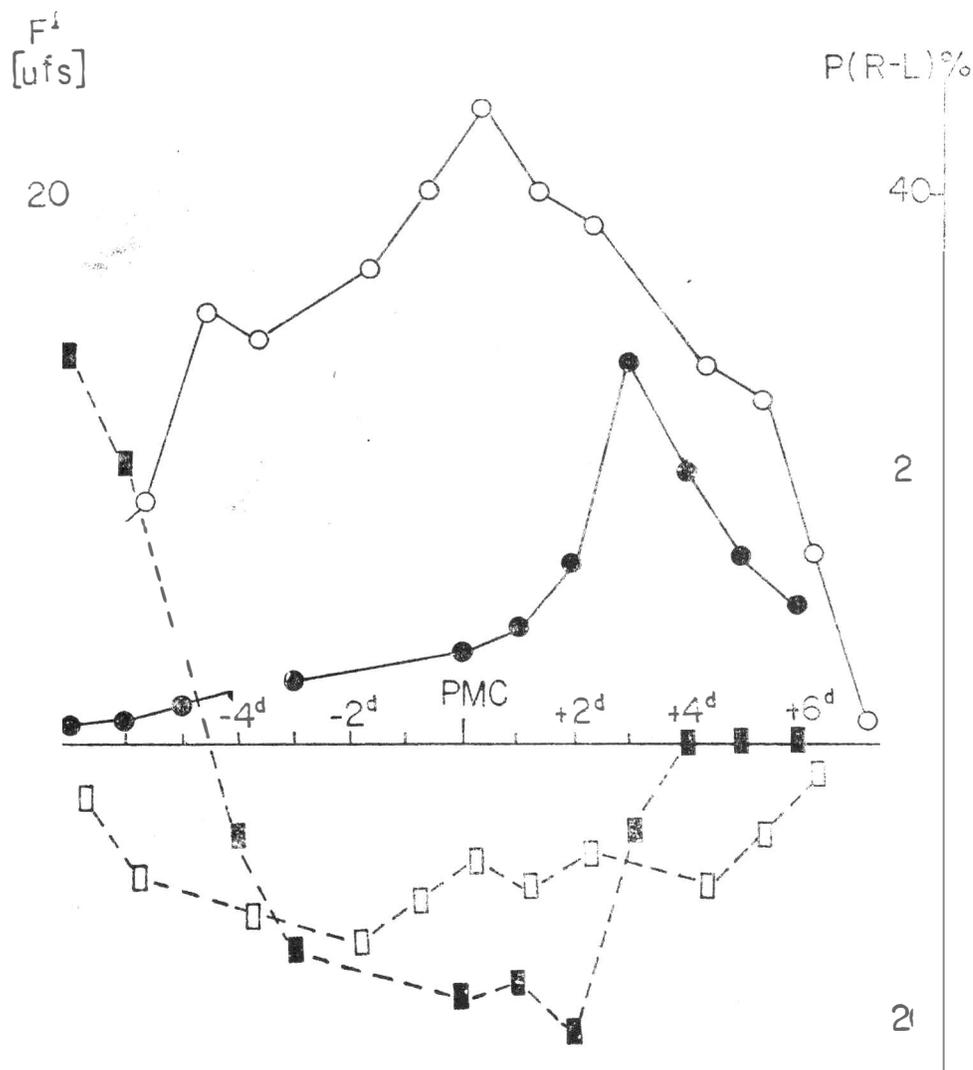


Fig. 3. Diagrama del flujo total [O,O] y polarizado [O,O] para los grupos 16 y 24, respectivamente, en la longitud de onda de 4,4 cm.

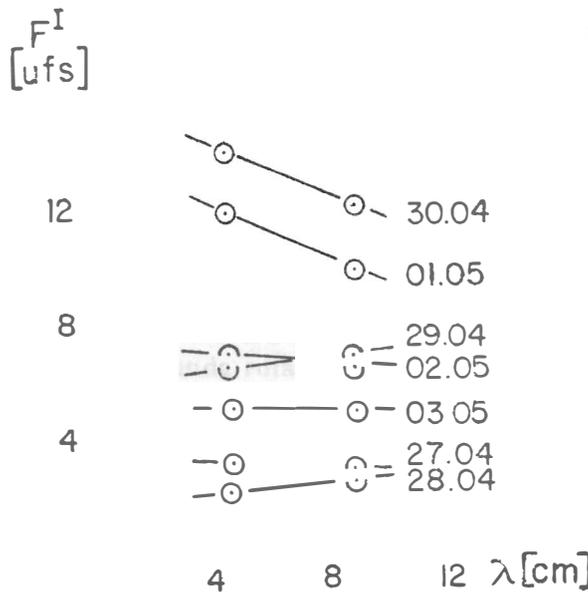


Fig. 4. Espectro del flujo de intensidad para el grupo No. 24.

En el período previo y posterior al destello, el carácter del espectro de flujo era plano, lo que testifica sobre el aumento de la radioemisión en las ondas cortas.

Este mismo aumento se nota en el espectro de flujo del radioestallido para el momento del máximo (Fig. 5). Como es conocido de trabajos anteriores (Rodríguez, 1983), el espectro con máximo en las ondas cortas se observa en 1% de los radioestallidos; como regla tiene lugar en los grandes grupos de manchas ($S_p > 800$ mhv) y en un bajo grado de polarización (Fig. 6). Estas particularidades del espectro de flujo se corresponden muy bien con los espectros de los detalles "Peculiares" de las fuentes locales. Estos detalles presentan un espectro con un máximo bien definido (Korzhavin *et al.*, 1989) en el diapason de los 3-4 cm (Fig. 7).

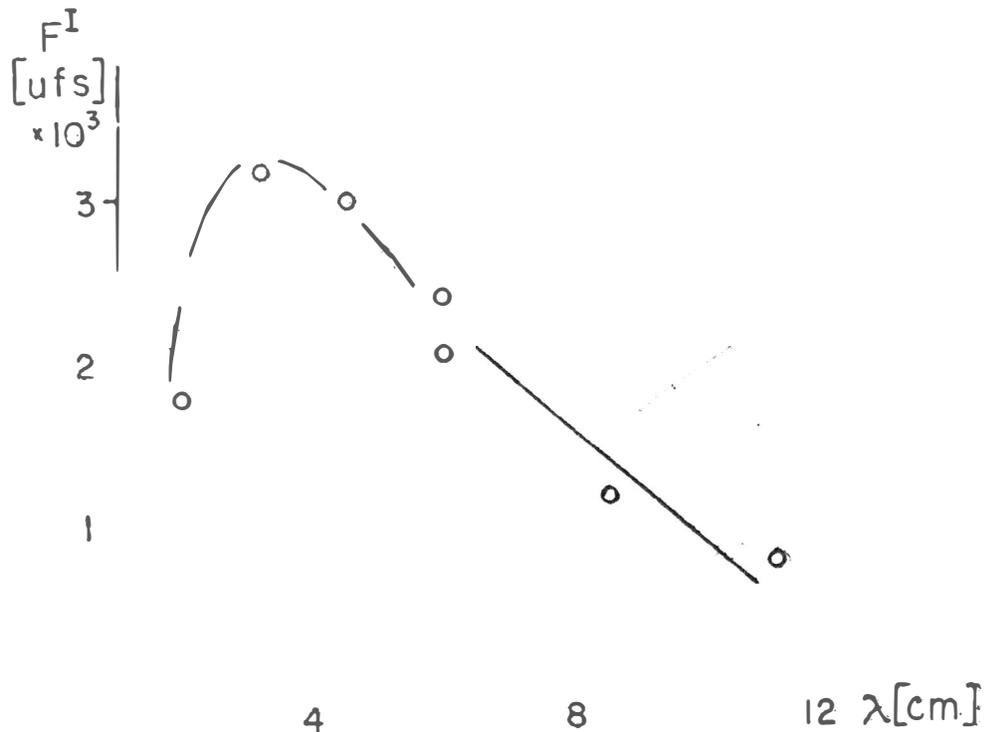


Fig. 5. Espectro de flujo para la fase de máximo del radioestallido asociado al grupo No. 24.

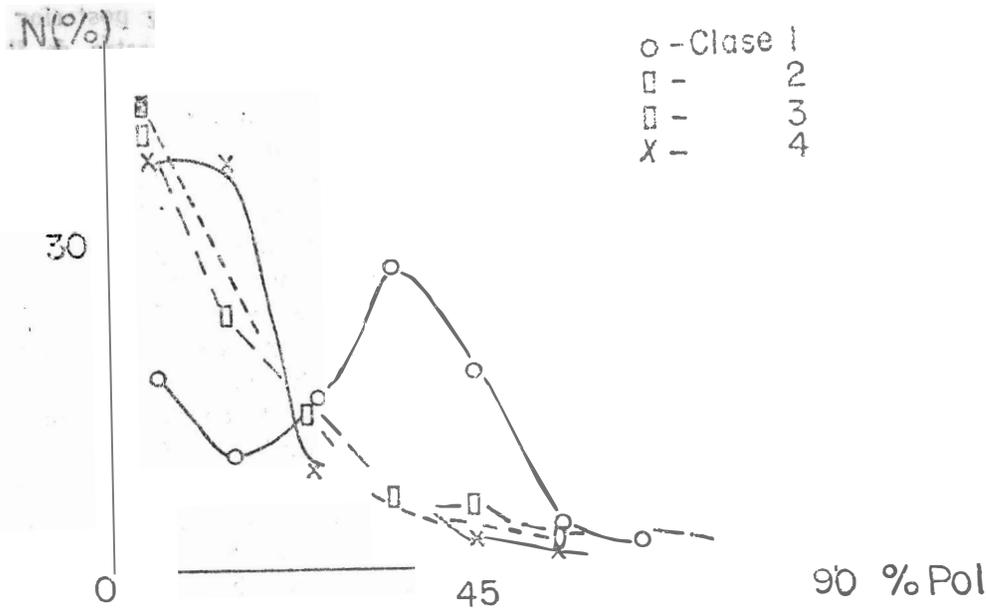


Fig. 6. Distribución del grado de polarización para algunas clases espectrales (Rodríguez; 1983).

- Clase 1. Monótono creciente con la longitud de onda.
- 2. Monótono decreciente con la longitud de onda.
- 3. Máximo en la banda de 10 cm.
- 4. Máximo en la banda centimétrica corta (~ 3 cm).

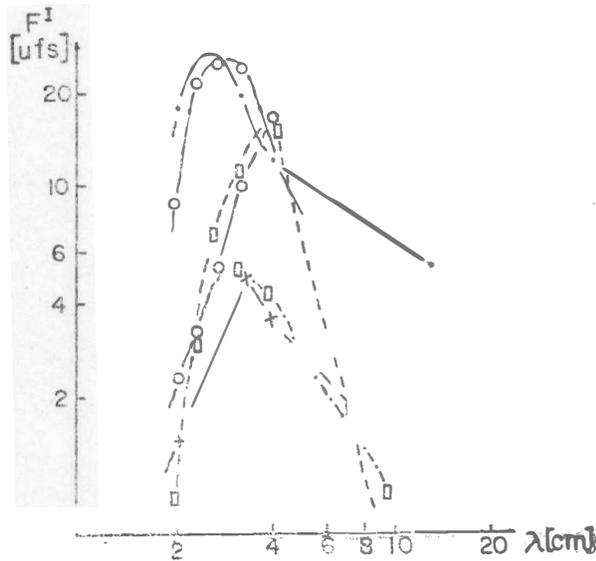


Fig. 7. Espectros de varias fuentes peculiares tomado de Korzhavin et al. (1989).

Si proponemos que existen fuentes de este tipo en la estructura del grupo en su tercera rotación, entonces de estas observaciones se sigue que las "fuentes peculiares": a) tienen un largo tiempo de vida, y b) dan una gran contribución fundamental a la radioemisión en la fase máxima del radioestallido.

Polarización

La polarización como es conocido permite juzgar sobre los campos magnéticos en la región de generación y propagación de la radioemisión. De acuerdo con las investigaciones estadísticas en la mayoría de las fuentes locales (65%) la polarización intrínseca sólo se observa en las cercanías del meridiano central, pues después de 2-4 días del paso por el meridiano central, el

papel fundamental en el carácter de la polarización lo desempeñan las condiciones de propagación en el campo magnético cuasi-transversal, lo que conduce al camino del signo de la polarización.

Desde este punto de vista el carácter de la polarización del grupo en su segunda y tercera rotaciones es completamente distinto, lo que indica las grandes variaciones en la estructura del campo magnético entre la segunda y la tercera vuelta. Si para el grupo en su segunda rotación no se observa en lo absoluto el cambio del sentido de la

polarización, para la tercera ésta es visible en la cercanía del limbo Este, así como en el hemisferio Oeste. De aquí se puede concluir que el campo magnético de la mancha principal determinaba la polarización en su conjunto y que en la segunda vuelta el campo tenía un carácter bipolar, mientras que en la tercera ella estaba cercana a ser unipolar aún en el período del 29 de abril al 30 de mayo, cuando la estructura de la región activa estaba casi igual que en la segunda vuelta. La ausencia de inversión en el grupo durante su segunda rotación se

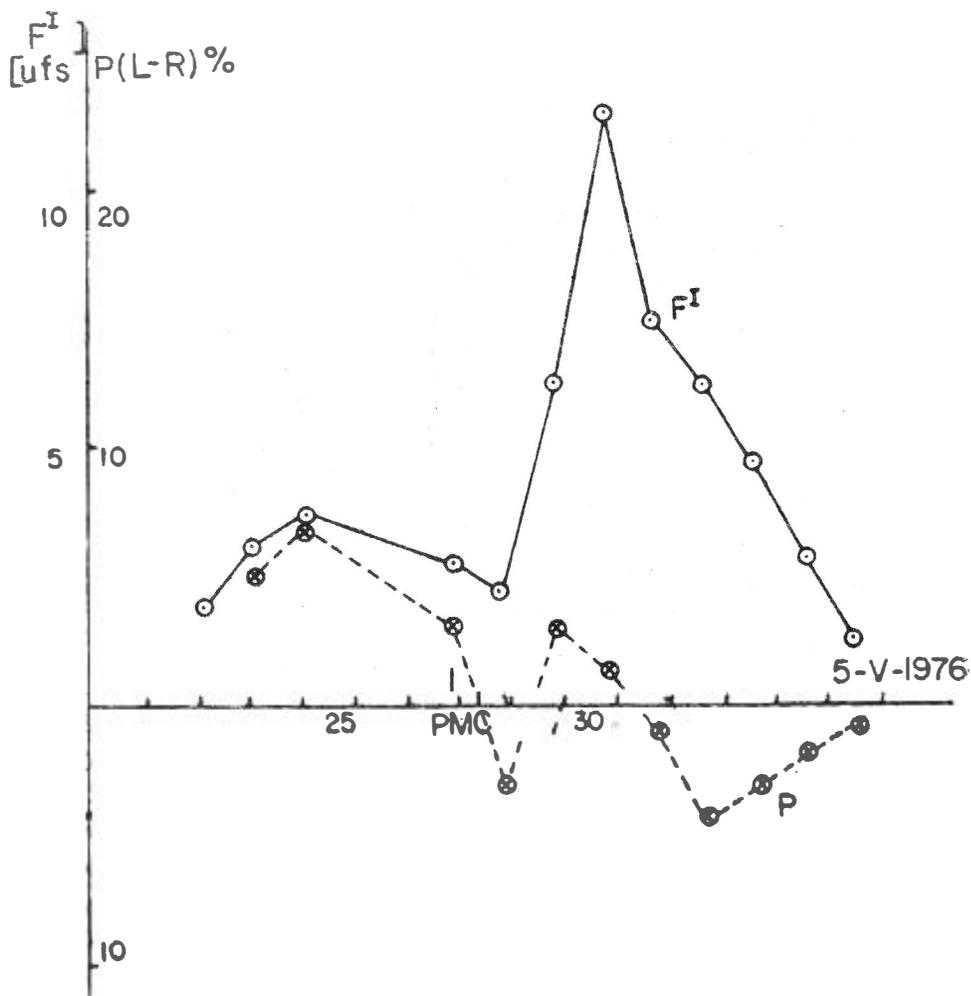


Fig. 8. Diagrama del flujo total [O] y polarizado [⊗] para el grupo No. 24 en la longitud de onda de 9,0 cm.

atribuye a una fuerte inclinación del eje del campo magnético del grupo de manchas.

Un fenómeno poco usual en las observaciones de polarización es el fenómeno de *Cintilar*, que fue notado en el grupo No. 24 el 28 de abril en la longitud de onda de 9 cm (Fig. 8).

Este efecto puede estar ligado a varias causas, entre ellas la aparición de nuevos campos magnéticos en este período; la variación del campo magnético coronal a gran escala en las grandes alturas de la fuente de emisión polarizada. El modelaje de esta situación pudiera ayudar a la solución de este problema.

El carácter de la polarización indica que en el período del evento del 30 de abril, la polarización de la radioemisión estaba fuertemente influida por las condiciones de propagación, lo que probablemente explica el hecho de que el signo de la polarización del evento cambia en el diapasón 2,0-4,5 cm (Fig.9).

Pronósticos de destellos protónicos

Algunas características de la radioemisión de las regiones activas que dan protones o potentes destellos y radioestallidos están reflejadas en la literatura (Moichanov, 1984). Para tales fuentes locales, observadas con resolución intermedia es característico un valor alto de la densidad de flujo en el diapasón de los 3,2 cm ($F > 10$ SFU) así como por un espectro duro, indicativo de lo cual resulta la relación $F(3,2)/F(8,0)$. Para las regiones activas protónicas esta relación debe ser mayor que 1.

En este criterio la longitud de onda no es un parámetro estricto, por lo que en nuestro caso usar 4,4 cm y 9,0 cm como representantes de la parte alta y corta del diapasón centimétrico.

En el caso de la longitud de onda de 4,4 cm del grupo en su segunda rotación, teniendo en cuenta la directividad de la radioemisión, durante todo el período desde la salida hasta la puesta se le considera protónico (Fig. 9).

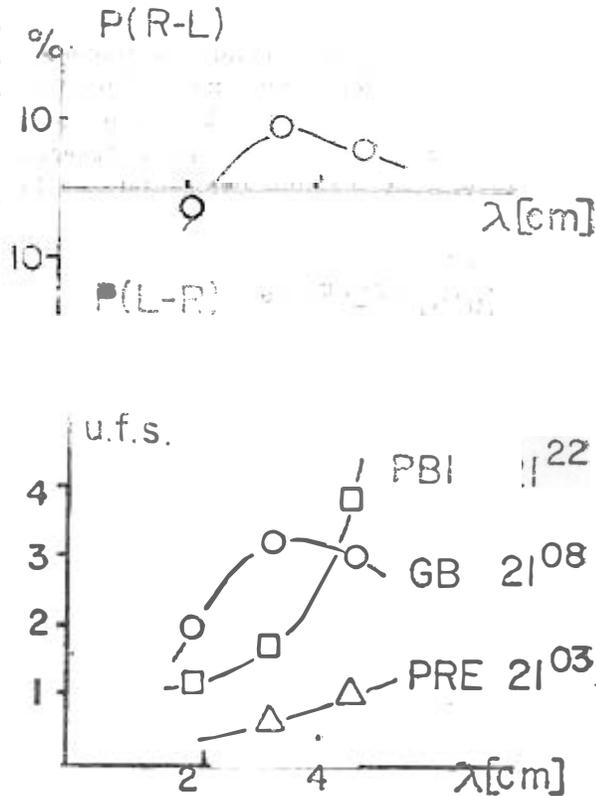


Fig. 9. Espectro del flujo total y polarizado del radioestallido. La escala del flujo total es de 10^2 para las fases PRE y PBI y de 10^3 para la fase del máximo (GB).

Además, la efectividad del pronóstico según el flujo es en este caso pequeño, pues se confirma menos de 10% de los pronósticos. En el caso de la tercera rotación, el cuadro es distinto. El pronóstico según el flujo permite dar un pronóstico a 100%. Para este caso el valor de la relación de los flujos es mayor que 1 en dos observaciones entre las cuales ocurre el destello.

pronóstico. De esta forma según este escrito (Tanaka y Enome, 1975) el potente destello del 30 de abril de 1976 pudo ser pronosticado por observaciones radioastronómicas con una gran verosimilitud, aunque

desde el punto de vista general del pronóstico, queda por esclarecer el hecho de que después de ocurrido el fenómeno se mantenía alto el valor de este índice.

CONCLUSIONES

Debemos señalar que la presencia de fuentes peculiares en la estructura de las regiones activas (y que proponemos relacionadas con la actividad destellante), da un sentido físico al criterio de pronóstico de Tanaka-Enome en lo que corresponde a la relación de los flujos de 3,2 cm y 8,0 cm. Teniendo en cuenta el carácter del espacio de estas fuentes peculiares, que presentan un claro máximo en el diapasón de los 3 cm-5 cm, se puede concluir que su emi-

sion comienza a desempeñar un papel fundamental en el balance general de la radioemisión de los grupos de manchas con actividad destellante intensa, haciendo más duro su espectro. Proponemos además que lo mismo puede decirse para los radioestallidos cuyo máximo se encuentra en el diapasón de los 3 cm-5 cm, en cuyo caso el abrillantamiento desempeñaría el papel fundamental del balance energético de la región activa en su estado perturbado.

RECONOCIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a A. N. Korzhavin y a G. B. Guelfreikh por

sus atenciones e interesantes discusiones.

REFERENCIAS

- Akhmedov, Sh. B., V. M. Bogod, V. N. Borovik, G. B. Guelfreikh, y A. N. Korzhavin (1986): On the search of current sheets in the solar atmosphere using radioobservations. En *Solar Maximum Analysis* (V. E. Stepanov y V. N. Obridke, eds.), VNU Science Press, pp. 51-56.
- Korzhavin, A. N., G. B. Guelfreikh, y S. M. Vatrushin [en prensa]: "Peculiar Sources of Solar Radioemission and their possible interpretation".
- Molchanov, A. P. (ed) (1984): Pronóstico de los destellos solares y sus consecuencias. Radioemisión del Sol, tomo 5, Editorial de la Universidad de Leningrado, Leningrado.
- Rodríguez, R. E. (19883): Resultados preliminares de la investigación de las explosiones solares en banda centimétrica, *Cien. Tierra Espacio*, 6: 21-31.
- Tanaka, H., y S. Eonome (19875): The microwave structure of coronal condensations and its relation to proton flares. *Solar Phys.*, 40 (1): 123-129.

Ciencias de la Tierra y del Espacio, 23-24, 1994

INTERPRETATION OF SOLAR RADIOEMISSION SPECTRA
WITH MAXIMUM IN THE SHORT MICROWAVE BAND

Ramón E. RODRIGUEZ TABOADA,
Natalia G. PETEROVA
2 and Shmit B. AKHMEDOV

ABSTRACT. *The most important characteristics on the 2.0 to 9.0 cm wave length range of the active region related to the groups No. 10+11, 16 and 24 of the 1976 year (Solar Data clasification) were determined using low, medium and high resitving power solar observations in Cuba and URSS. This material was analyzed according to the so called "Peculiar Source" theory, and the observed behavoir is explained by the appearance of such elements in the active region. A new expianation for the empirical regularity of the short centimetric reinforcement of the spectra in active regions with high great burst possibility, which are associated with the same character is propoused.*