

Amplitud, energía, y duración de los eventos de las tormentas de ruido solares

OSCAR ÁLVAREZ y YURI F. YUROVSKI

RESUMEN

La observación del eclipse solar del 24 de diciembre de 1973 en La Habana, da fundamento para la interpretación de los registros de las tormentas de ruido (t.r.), como la suma de eventos separados de diferente duración. En base del análisis de registros continuos de diferencia t.r., se demuestra que; la aparición de eventos de cualquier duración comprendida desde 0.5 hasta 400 seg tiene igual probabilidad de ocurrencia. Las amplitudes de los eventos con una duración determinada se distribuyen según la ley normal de Gauss. Los espectros energéticos y de amplitudes de las t.r. caen monótonamente hacia los eventos de más corta duración, de lo que se deduce que el proceso responsable del origen de las t.r. posee un límite temporal de acción con una constante de tiempo característica de cerca de un segundo.

1. INTRODUCCIÓN

Con relativa frecuencia (13 % de todo el tiempo de observación según Zhelevsniakov, 1964), el nivel de la radioemisión del sol en las longitudes de ondas métricas incrementa significativamente hasta decenas de veces el nivel del flujo total del sol no perturbado. La duración de estos incrementos de la emisión varía desde algunas horas hasta algunos días, y están compuestos de un fondo continuo de amplio ancho de banda sobre el cual se observa una gran cantidad de explosiones (eventos), de duración comparativamente corta y estrecho ancho de banda. Este tipo de manifestación de la actividad solar, frecuentemente asociado a la presencia de grandes grupos de manchas en el disco del sol, recibe el nombre de tormenta de ruido (t.r.).

Numerosos investigadores (ELGARROY, 1977) han elaborado diferentes hipótesis sobre el origen de la t.r.; sin embargo, ninguna de ellas resulta satisfactoria, debido a que no explican completamente las propiedades observadas en las t.r.

Manuscrito aprobado el 28 de diciembre de 1981.

O. Álvarez pertenece al Instituto de Geofísica y Astronomía de la Academia de Ciencias de Cuba. Yu. F. Yurovski pertenece al Observatorio Astrofísico de Crimea, de la Academia de Ciencias de la URSS.

2. RESULTADOS

Generalmente, se ha considerado que la duración de los eventos de las t. r. es del orden de 0,3 a 0,5 seg (ELGARROY, 1977; FOKKER, 1960; CHERNOV *et al.*, 1972). De ser así, la función de autocorrelación R_{cc} del registro de una t. r. deberá aproximarse al nivel de cero cuando τ tiende a 0,5 seg, en el caso de que los eventos se encuentren separados en tiempo.

Para comprobar esta proposición, se obtuvieron las funciones de autocorrelación de dos registros de diferentes t. r. observadas en La Habana, el 7 de junio de 1974, en el radiotelescopio de banda métrica del Instituto de Geofísica y Astronomía (IGA), ACC (DUBINSKI *et al.*, 1972) y en Crimea, el 23 de octubre de 1973, con un equipo análogo. Ambos radiotelescopios estaban sintonizados a la frecuencia de 220 ± 4 MHz (YUROVSKI *et al.*, 1975). Las funciones de autocorrelación obtenidas (Fig. 1) muestran que el tiempo de correlación del proceso (t_c) es de 30 a 60 seg. Las diferencias en las fluctuaciones de las funciones de autocorrelación a ambos lados del eje de las ordenadas se deben al método utilizado para su obtención, que consistió en desplazar una parte del registro por el registro completo. La potencia total de los eventos de duración $0 < \Delta t < 0,5$ seg es menos del 40 % de la potencia de los eventos de la t. r. observados en la parte del registro analizada, que en el caso de Crimea fue de 5 min. y en el de La Habana era de 7 min. Por consiguiente, la duración de los eventos que constituyen la componente de explosiones de la t. r. sobrepasa significativamente los 0,5 seg.

Debido a que los registros se realizaron con un equipo de poca direccionalidad, cualquier evento simple puede ser un fenómeno independiente, si éste fue emitido por una sola fuente, o la suma de dos o más eventos de menor duración y desplazados en tiempo, si estos fueron producidos por fuentes propias independientes unas de otras.

Para diferenciar las componentes que constituyen las t. r. son necesarias las observaciones con alto poder de resolución. Esta posibilidad la brindan las observaciones de los eclipses solares.

Durante la observación en el IGA ACC del eclipse del 24 de diciembre de 1973 (YUROVSKAIA *et al.*, 1975), la fuente de la componente de explosiones tenía una configuración con un borde muy abrupto. En el primer minuto de su aparición al paso del disco lunar, se descubrió el 2 % del área de la fuente, o sea, unos $20''$ de su dimensión lineal, manifestándose en el registro la morfología típica de las t. r. Por cuanto en la literatura se menciona que las dimensiones de las fuentes son del orden de $2'$ (ELGARROY, 1977) y no existen indicaciones de la existencia de fuentes más pequeñas, entonces debemos pensar que en nuestro caso se ha descubierto una parte de la fuente. Ya que la emisión de una pequeña parte de la fuente se diferenciaba de la emisión de toda la fuente solamente en el nivel de la intensidad, se concluye que la componente de explosiones observada era

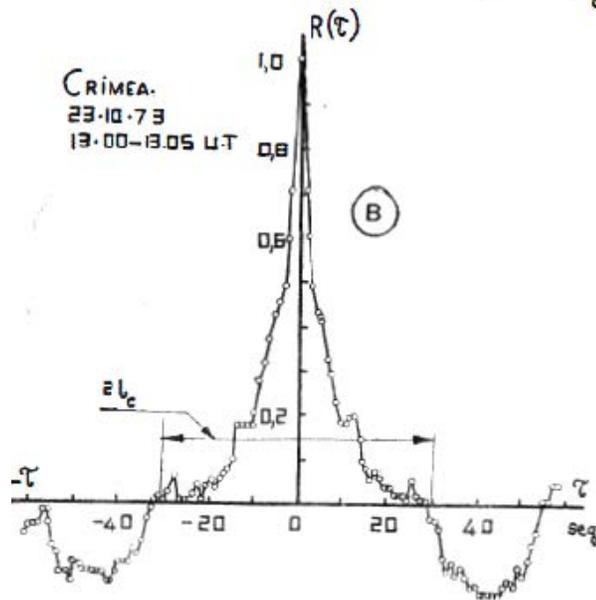
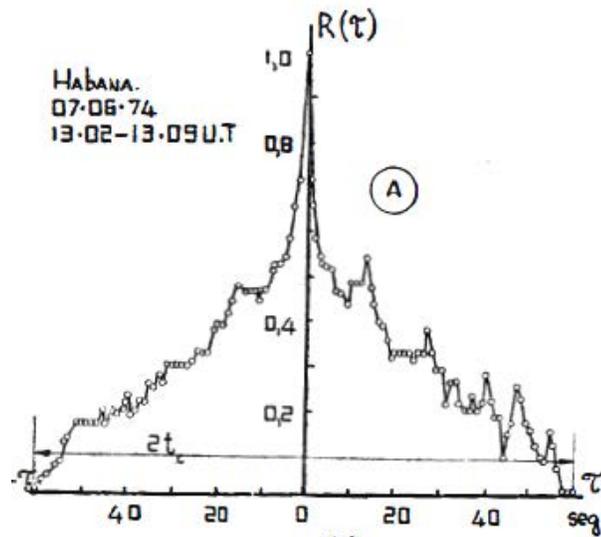


FIG. 1. Funciones de autocorrelación de los registros de diferentes tormentas de ruido observadas en La Habana (A) y en Crimea (B), con equipos análogos.

el resultado de las variaciones de la brillantez de una fuente y no la superposición de eventos aislados producidos por fuentes emisoras independientes dentro de la región activa.

Por analogía con la representación de funciones en series de Fourier, los registros de t. r. se pueden descomponer en componentes independientes, tomando como parámetro la longitud de los eventos.

Para la investigación de la naturaleza de la t. r. se han utilizado registros con alta velocidad recibidos en diferentes épocas, tanto en La Habana como en el Observatorio Astrofísico de Crimea (KraO) AC URSS, utilizando en este último el gran radiotelescopio RT-22. Para el registro de los datos y su elaboración se utilizaron computadoras con almacenamiento en cinta magnética. La elaboración de los registros obtenidos con anterioridad, se realizó con ayuda de un convertidor analógico digital semiautomatizado. La diferencia fundamental de nuestro análisis respecto a las investigaciones de los autores señalados anteriormente consistió, en que nosotros estudiamos los registros de las t. r. sin una selección predeterminada de los eventos aislados.

En la figura 2A se muestra la distribución obtenida del número relativo de eventos (n_{rel}) en dependencia de su duración (Δt). Los intervalos Δt seleccionados eran aquellos en que el número de eventos tenía igual probabilidad de acuerdo a su duración, para un proceso aleatorio. La línea continua representa el número de eventos calculados $n_r(\Delta t)$, correspondientes a un proceso estocástico estacionario (SKOROJOD, 1980), que pueden tener lugar en la longitud del registro estudiado.

En el intervalo de longitud $0,5 < \Delta t < 400$ seg se encontró una correspondencia cercana entre los cálculos y el número de eventos observados. La brusca disminución del número de eventos en el intervalo $0,2 < \Delta t < 0,5$ seg indica, como se muestra más adelante, el límite de exactitud de las observaciones. Además, en el gráfico de la Fig. 2A se puede observar que en la composición de la componente explosiva de la t. r. no existe una duración preferencial para los eventos. Esto significa que el número de eventos de la t. r., por unidad de tiempo, se describe por una función estocástica estacionaria, y la ocurrencia de un evento de cualquier duración desde 0,2 hasta 400 seg es igualmente probable.

En la Fig. 2B se muestra la distribución del número de eventos n_{rel} en función de sus amplitudes S_b para el intervalo de duración $0,4 < \Delta t < 0,8$ seg (área sombreada). La línea continua corresponde a la curva calculada para una distribución normal de Gauss.

$$f(S_b)/f(0) = \exp(-S_b^2/2\sigma^2)$$

con $\sigma = 2,64$. La semejanza de la curva calculada y el número de eventos observados demuestra que la distribución de amplitudes de los eventos S_b

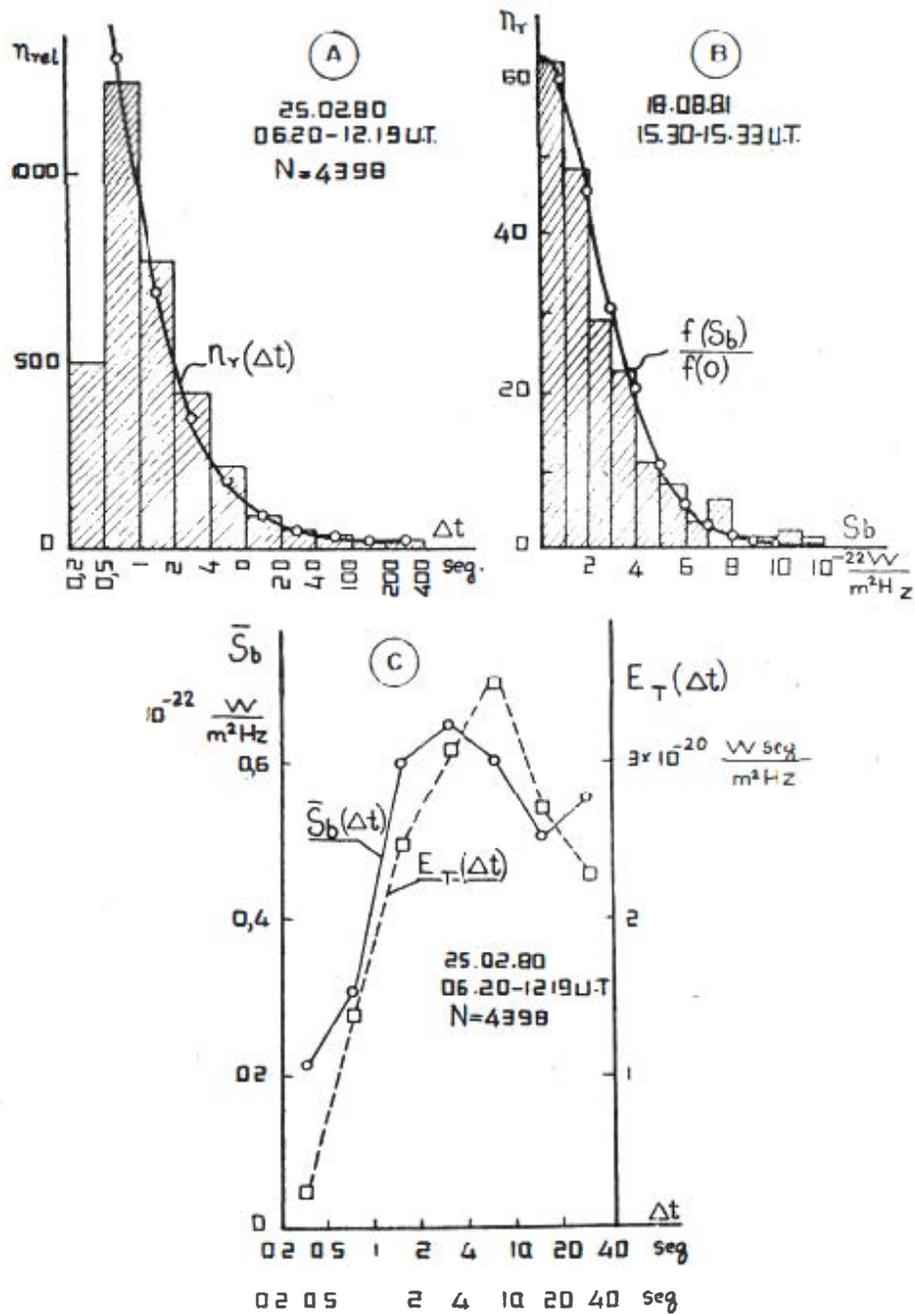


FIG. 2. Distribución del número relativo de eventos en función de su duración (A) y su amplitud, para el intervalo de duración de $0,4 < \Delta t < 0,8$ seg (B), y los espectros de amplitud y energía (C).

en las t. r. está cerca de la ley de distribución normal de Gauss, lo que indica que el proceso descrito es un proceso estocástico estacionario.

En la Fig. 2c se muestran los espectros de amplitudes y de energía, los cuales constituyen las características fundamentales para la comprensión de los mecanismos de generación de las t. r. Las amplitudes de los eventos $S_b(\Delta t)$ correspondientes a cada intervalo de duración Δt caen rápidamente hacia los eventos de más corta duración a partir del intervalo $2 < \Delta t < 4$ seg. Por cuanto un proceso aleatorio de rapidez ilimitada debe tener $\bar{S}_b = \text{cte.}$, se concluye que el mecanismo responsable de la generación de las t. r. tiene un límite temporal de acción, con una constante de tiempo característica de cerca de 1 seg. Se observa, además, que las amplitudes de los eventos de duración más corta tienen una magnitud igual o menor que la exactitud del registro del flujo de la t. r. En nuestra opinión, esto está relacionado con la disminución de la cantidad de eventos registrados en el intervalo de $0,2 < \Delta t < 0,5$ seg, como se ve en la Fig. 2A.

En el espectro de energía $E_T(\Delta t)$, se consideró la suma de la energía de todos los eventos que caían en cada intervalo de longitud Δt , donde, para un proceso aleatorio, $E_T = \text{cte.}$

Como se observa en la Fig. 2c, el espectro energético de la t. r. no es plano, y al igual que el espectro de amplitudes $\bar{S}_b(\Delta t)$, tiene una caída en la región de los eventos de más corta duración. Hay que resaltar el hecho de que en el intervalo de $0,2 < \Delta t < 10$ seg, el espectro $E_T(\Delta t)$ es monótono y, por consiguiente, se confirma el resultado obtenido anteriormente a partir del análisis de las funciones de autocorrelación, referente a la ausencia de una preferencia de los eventos de la componente de explosiones de la t. r. por el intervalo de duración de 0,3 a 0,5 seg.

En resumen, el estudio de la t. r. como un todo y no mediante el análisis de eventos aislados del tipo I, demuestra que:

1. Durante el tiempo de vida de la t. r. la ocurrencia de eventos de cualquier duración en el intervalo de 0,5 a 400 seg es igualmente probable.
2. La distribución de amplitudes de los eventos de una duración determinada se aproxima por una curva normal de Gauss.
3. Los espectros de amplitudes y de energía de las t. r. caen monótonamente hacia los eventos de más corta duración, a partir del intervalo de 2 a 4 seg, por lo que el mecanismo responsable del surgimiento de la t. r. posee un límite temporal de acción, con una constante característica cercana al segundo.

Los autores desean agradecer al colectivo del Departamento de Astronomía del IGA (ACC) y del Departamento de Radioastronomía del KrAO (AC URSS), la ayuda brindada durante las observaciones y la elaboración de los materiales.

REFERENCIAS

- CHERNOV, G. P., CHERTOK, I. M., FOMICHEV, V. V., y MARKIEV, A. K. (1972): Results of observations of spectra and polarization of meter solar radio emission with high time resolution. *Solar Phys.*, 24:215-232.
- DUBINSKI, B. A., YUROVSKAIA, L. I., LARRAGOITI, L., JASKOVICH, B., y POZO, E. (1972): El radiotelescopio de longitud de onda de 1,37 m del Instituto de Astronomía de la Academia de Ciencias de Cuba [en ruso]. *Datos Solares*, 12:64-71.
- ELGARROY, O. (1977): *Solar noise storms*. Pergamon Press, Oxford, 363 pp.
- FORKER, A. D. (1960): *Studies of enhanced solar radio emission at frequencies near 200 MHz*. Leiden, Leiden, 250 pp.
- SKOROJOD, A. V. (1980): *Probabilidades a nuestro alrededor* [en ruso]. Naukova Dumka, Kiev, 193 pp.
- YUROVSKAIA, L. I., ALVAREZ, O., y FERREIRO, M. (1975): La observación del eclipse solar del 24 de diciembre de 1973 en Cuba, en la onda de 1,37 m [en ruso]. *Rev. Observ. Astrofis. Crimea*, 53:130-138.
- YUROVSKI, Yu. F., ALVAREZ, C., y YUROVSKAIA, L. I. (1975): Observaciones simultáneas de los eventos de la radioemisión solar en Crimea y La Habana [en ruso]. *Rev. Observ. Astrofis. Crimea*, 54:220-226.
- ZHELEVSNIAKOV, V. V. (1964): *Radioemisión del sol y los planetas* [en ruso]. Nauka, Moscú, 520 pp.

ABSTRACT

Analyzing the records of different solar noise storms, it is shown that: The noise storm bursts have equally probable durations in the interval $0,5 < \Delta t < 400$ sec. The amplitude distribution of the noise storm bursts is near the normal Gauss distribution. The energy and amplitude spectra of the noise storm bursts monotonically fall toward the shortest duration events. From this result it is inferred that the process responsible for the origin of the noise storm bursts have a temporal limit of action with characteristic time constant near one second.

CDU 523.72