REVISTA BOLIVIANA DE FÍSICA **28s**, 4–6, 2016
ISSN 1562–3823. INDEXADA EN: SCIELO, LATINDEX, PERIÓDICA

# UN POSIBLE PULSO DE ANTINEUTRINOS DE ORIGEN EXTRATERRESTRE*

# POSSIBLE ANTINEUTRINO PULSE OF EXTRATERRESTRIAL ORIGIN

K. LANDE, G. BOZOKI, W. FRATI, & C. K. LEE
Department of Physics
University of Pennsylvania
Philadelphia, Pennsylvania 19174

E. FENYVES
Physics Department
University of Texas at Dallas
PO Box 30365, Dallas, Texas 75230

O. SAAVEDRA
Laboratorio di Cosmo-Geofisica
University of Torino, 10125 Torino, Italy

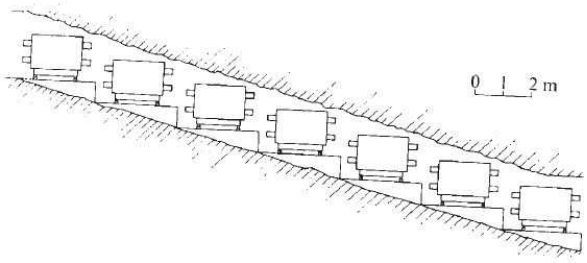


FIG. 1.— Arreglo de los contadores de agua Cerenkov en un tunel bajo 1480 m de la superficie, en la mina de plomo Homestake, en Dakota del Sur. El mas profundo a la derecha es el número 1 y el mas alto a la izquierda es el número 7.

Se reporta un evento inusual observado durante nuestra búsqueda de explosiones (burst) de antineutrinos electrónicos $\overline{\nu}_e$ de origen extraterrestre (Fenyves et al. 1973). Nuestro experimento utiliza un sistema de detectores de explosiones de $\overline{\nu}_e$ adyacente al Brookhaven Solar Neutrino Observatory (Davis et al. 1968) a una profundidad de 4400 metros equivalentes de agua (m.e.a.) en la Homestake Gold Mine en Lead, South Dakota. En ese sistema hemos colocado una cantidad de detectores Cerenkov con agua de gran tamaño (Fig1) diseñados para detectar las interacciones de los mediante la radiación Cerenkov de los positrones que resultan de las reacciones $\overline{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$ (Bozoki et al. 1973).

Cada uno de los detectores Cerenkov es un cilindro de 2 $m^3$, de 1.78 m de largo por 1.22 m, lleno de agua desionizada, que contiene Amino-G como desplazador de longitud de onda, y observado por ocho fotomultiplicadores de 12.5 cm de diámetro. El circuito asociado a cada contador por mayoría de coincidencias lógicas da un pulso de la señal de salida cada vez que cinco o más de los ocho fotomultiplicadores de ese detector dan una señal de coincidencia. La ocurrencia de cualquier pulso de gran amplitud de cualquiera de los detectores, o de pulsos de dos o más detectores en un intervalo de 0.1 s inicia la grabación en cinta magnética de la distribución de los pulsos para cada contador, de la suma de la amplitud de los pulsos y el patrón de la misma en cada contador incluido en la coincidencia. La diferencia de tiempos entre pulsos en un evento se mide con un oscilador de 20 MHz que da una resolución temporal de 50 ns.

El 4 de enero de 1974, a las 17h 16m 48s GMT observamos un evento con un total de 24 pulsos en un lapso de 3 ms en seis de los detectores. Estos pulsos ocurrieron en cuatro grupos, cada uno de aproximadamente 1 $\mu$s de ancho. Entre el primer y segundo grupo hubo 640 $\mu$s, entre el segundo y el tercero 928 $\mu$s y entre el tercer y cuarto grupo 968 $\mu$s. El primer grupo consistía de nueve pulsos, distribuidos sobre seis contadores; el segundo grupo incluyó seis pulsos, y el tercero, ocho pulsos. Esos tres grupos utilizaron 23 de los 24 canales disponibles dejando solamente un canal de lectura para el último pulso. A partir del umbral de nuestro detector y la altura del pulso, estimamos que la energía de las partículas incluidas en esos pulsos es de 20 MeV $\leq$ E $\leq$ MeV. Estas alturas de pulso indican que las partículas cargadas causantes de estos pulsos tenían rangos considerablemente menores a la mitad del diámetro de nuestros contadores de manera que raramente podrían haber atravesado nuestros contadores.

Como nuestros canales de lectura estaban completamente llenos por las explosiones (bursts) registrados, no sabemos si hubieron pulsos subsecuentes. Sólo sabemos que después de 0.8 s desde el primer pulso, cuando la transferencia de la cinta se com-

*Traducción autorizada de "Possible antineutrino pulse of extraterrestrial origin", K. Lande et al., *Nature* **251** (1974) 485.

TABLA 1
DETALLES DE LOS DATOS DE LOS BURSTS.

| | Contador | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Burst | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 |
| 1 | 0.10 $\mu s$<br>0.60 $\mu s$ | 0.15 $\mu s$ | 0.05 $\mu s$ | 0.05 $\mu s$<br>0.45 $\mu s$<br>1.00 $\mu s$ | 0.15 $\mu s$ | 0.0 $\mu s$ |
| 2 | 639.65 $\mu s$ | 639.65 $\mu s$<br>640.00 $\mu s$<br>640.40 $\mu s$<br>Toda la escala de lectura llena | 639.60 $\mu s$ | | | 639.70 $\mu s$ |
| 3 | 1607.60 $\mu s$<br>Toda la escala de lectura llena | | 1607.50 $\mu s$<br>1607.80 $\mu s$<br>Toda la escala de lectura llena | 1607.60 $\mu s$<br>Toda la escala de lectura llena | 1607.65 $\mu s$<br>1608.00 $\mu s$ | 1607.45 $\mu s$<br>1608.10 $\mu s$<br>Toda la escala de lectura llena |
| 4 | | | | | 2535.7 $\mu s$<br>Toda la escala de lectura llena | |

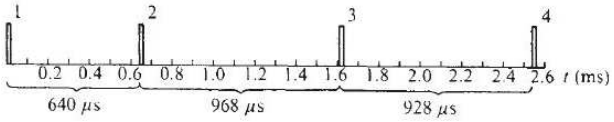


FIG. 2.— Distribución temporal de los bursts cortos de los pulsos observados.

pletó, no habían más cuentas; por lo que la duración del pulso fue menor a ese lapso.

La figura 2 muestra la distribución temporal de las explosiones (bursts) observadas, y la figura 3 muestra la distribución de pulsos dentro de cada una de las explosiones (bursts). Los detalles de las explosiones (burst) están en la Tabla 1.

Hemos considerado y eliminado la posibilidad que este evento se deba a: un efecto de la instrumentación electrónica, o a una versión rara del conocido fenómeno de una física "local". La evidencia utilizada para descartar la primera posibilidad está en el hecho que inclusive durante el mismo evento y en los registros de otras cintas tomados durante las horas precedentes y posteriores al evento. Un registro normal que contiene un pulso ocurre 30 s después del evento y otro 9 s antes del mismo.

Observamos alrededor de 300 coincidencias dobles, y alrededor de 4 coincidencias triples en cada día con nuestra resolución temporal de 0.1 s. Estas tasas están de acuerdo con una predicción accidental basada en las tasas "individuales". A partir de esas tasas esperaríamos una coincidencia fortuita de 24 detectores dentro de $0.1 \approx 10^{-40}$ veces por segundo. Una correlación dentro de 3 ms reduce considerablemente esa tasa.

Se puede obtener una tasa más alta si se consideran tres muones provenientes de ángulos más grandes que atraviesan los instrumentos dentro de los mismos 3 ms. Hemos observado que cada día, cerca de 7.5 muones de traza vertical que atraviesan cada detector y vemos un muón desde un ángulo grande a través de dos detectores una vez cada dos días. A partir de estas cantidades, podemos predecir que un muón pasando por todos los detectores podría

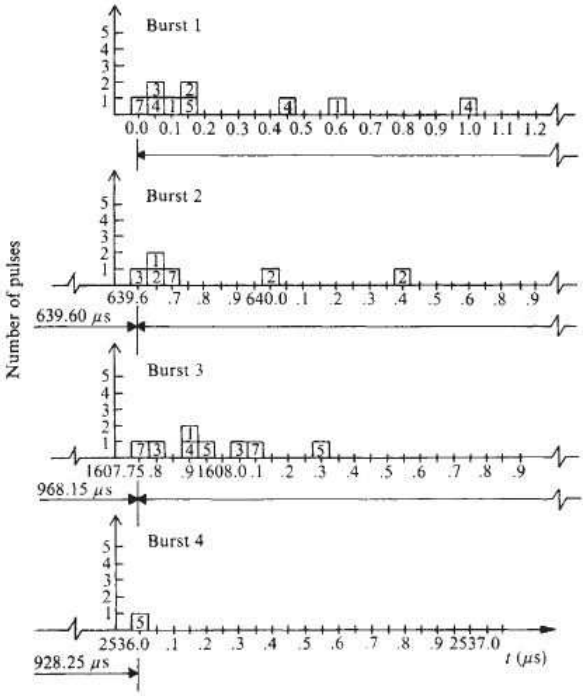


FIG. 3.— Distribución temporal de los contadores de pulsos de cada burst. El número de cada caja indica el número del contador que inicia cada pulso.

ocurrir alrededor de una vez por año; y que el paso de tres muones dentro de la ventana de 3 ms $\approx 10^{-30}$ veces por segundo. Por supuesto, este mecanismo no toma en cuenta la estructura de pulsos múltiples de las explosiones, ni las alturas pequeñas asociadas a nuestros pulsos.

Los chubascos extensos de rayos cósmicos tienen una dispersión en el tiempo de arribo de cerca de 150 ns (Armitage et al. 1973). Esta dispersión es consistente con la distribución temporal de pulsos dentro de una de las explosiones detectadas. Hemos observado alrededor de un chubasco de rayos cósmicos por semana en nuestro equipo, pero muy pocos llegan a más de un detector. Durante tres meses de observación encontramos tan sólo un chubasco que incluya

tres detectores y ninguno que abarque una mayor cantidad de detectores. Claramente, la frecuencia de chubascos que afecten a todos nuestros detectores es $\leq 10^{-7}\ s^{-1}$ por lo que la probabilidad de tener un chubasco de esos dentro de la ventana de 3 ms es $\leq 10^{-26}\ s^{-1}$. Este proceso tampoco concuerda con las pequeñas alturas de los pulsos observados.

Hemos considerado varias otras posibles correlaciones, incluyendo aquellas que consideran la radioactividad local, y encontramos probabilidades así de bajas. Por tanto, eso nos lleva a considerar las 24 cuentas como correlacionadas entre sí y probablemente causada por interacciones de $\nu_e$. Al utilizar 24 cuentas en 12 $m^3$ de agua, obtenemos un límite inferior para el flujo de $\nu_e$ a $\overline{\nu}_e$ de $1.5\times10^{11}$ (50 $MeV/E_\nu$)$^2$ $\overline{\nu}_e/cm^2$, o de $1.2\times10^7$ erg cm$^{-2}$ para anti neutrinos de 50 MeV.

No se cuenta con ninguna otra información experimental adicional. Sin embargo, podemos especular sobre posibles fuentes, como el colapso gravitacional de las estrellas. Para una fuente de ese tipo, cercana al centro galáctico ($d \approx 3\times10^{22}$ cm) encontramos un flujo en la fuente de $1.4\times10^{53}$ erg (para $E_{\overline{\nu}_e}$ = 50 MeV), que es consistente con la predicción de Zel'dovich y Guseinov (Zel'dovich & Guseinov 1965) para la energía de emisión de los neutrinos de una estrella que colapsa. Varios autores (May & White 1966; Colgate 1971; Hoyle & Narliker 1968; Cooke & Cohen 1968; Misner et al. 1973) han señalado que es probable que una estrella que esté colapsando "rebote" una cantidad de veces con un periodo cercano a 1 ms. La estrechez de los pulsos de la radiación emitida puede ser una consecuencia que la estrella que colapsa emite principalmente antineutrinos durante el periodo cuya densidad es máxima, en el mínimo del rebote.

Si suponemos que la distribución de la energía de los $\overline{\nu}_e$ tiene un ancho comparable con la $E_{\overline{\nu}_e}$, entonces del ancho de los pulsos estrechos, podemos extractar un límite superior para la masa de los $E_{\overline{\nu}_e}$ de $10^{-2}eV/c^2$.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Raymond Davis Jr. Y a su grupo, junto a la Homestake Mining Company por el uso de sus instalaciones. La Sra. Lila Shapiro nos dió ayuda en la programación y los Srs. Lauren Taylor y James Cook diseñaron nuestra electrónica. Este trabajo fue parcialmente financiado por la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos.

## REFERENCIAS

Armitage M. L., Blake P. R. & Nash W. F. (1973), *Proc. 13th Int. Cosmic Ray Conf.* **IV**, 2545
Bozoki G., Frati W., Lande K., Lee C. K. & Fenyves E. (1973), *Proc. 13th Int. Cosmic Ray Conf.* **III**, 1994
Colgate S. A. (1971), *Astrophys. J.* **163**, 221
Cooke W. J. & Cohen J. M. (1968), *Nature* **219**, 1009
Davis R. jun., Harmer D. S. & Hoffman K. C. (1968), *Phys. Rev. Lett.* **20**, 1205
Fenyves E., Lande K., Bozoki G., Frati W. & Lee C. K. (1973), *Ann. NY Acad. Sci.* **224**, 333
Hoyle F. & Narliker J. (1968), *Nature* **218**, 123
May M. M. & White R. H. (1966), *Phys. Rev.* **141**, 1232
Misner C. W., Thorne K. S. & Wheeler J. A. (1973), *Gravitation* Chapter 36 (Freeman, New York)
Zel'dovich Ya B. & Guseinov O. Kh. (1965), *Soviet Phys. JETP Lett.* **1**, 109