

MEDICION DEL FLUJO DE NEUTRONES A 10,6 Gv

N. A. SIMIONATI de FRITZ y A. A. CICCHINI

Escuela Superior Técnica – Universidad Tecnológica Nacional

Se analizan los registros obtenidos en una serie de cuatro vuelos con globos dilatables, que alcanzaron una altura máxima equivalente a una presión de 12 mb. Los lanzamientos fueron realizados en Buenos Aires. Los equipos transportados constaban de un contador enriquecido y otro normal, rodeados de 2,5 cm de parafina y 0,5 mm de Cd.; sistema sensible a neutrones en el rango de energías de aproximadamente 0,01 a 1 Mev.

La posición del máximo de transición, a 10,6 Gv, fue 98 ± 3 mb; valor que concuerda con el esperado, de acuerdo con la variación en latitud predicha por Lingelfelter y con los resultados experimentales obtenidos por Holt, Mendell y Korff.

El contaje al tope de la atmósfera fue estimado por extrapolación, representando aproximadamente un 33 % del contaje máximo; valor muy alto si se compara con el obtenido en otros trabajos.

This paper presents an analysis of the records obtained during a series of four flights, carried out by means of expandible balloons, which reached a maximum altitude equivalent to a 12 mb pressure. The launchings took place at Buenos Aires. The transported equipment was constituted by one enriched counter and one normal surrounded by 2,5 cm of paraffin and 0,5 mm of Cd. The system was sensitive to neutrons within the energy range of 0,01 to 1 Mev.

The position of the maximum transition at 10,6 Gv was 98 ± 3 mb., value which agrees with the one expected according to the variation in latitude predicted by Lingelfelter and with the experimental results obtained by Holt, Mendell and Korff.

The counting on top of the atmosphere was estimated through extrapolation, representing roughly a 33% of the maximum counting. This is a very high value compared to the ones obtained in other works.

INTRODUCCION

El espectro de energías y la distribución en alturas del flujo de neutrones, en y más allá de la atmósfera, tiene varias consecuencias interesantes que han estimulado el interés de diferentes investigadores en el estudio de estas partículas.

Los neutrones producen en la atmósfera isótopos radiactivos tales como C^{14} y el H^3 , al ser capturados por el nitrógeno atmosférico según las reacciones:



La sección eficaz para la primera de estas reacciones es inversamente proporcional a la velocidad del neutrón; por tanto esta reacción tiene lugar a bajas energías. Ello da origen a que el espectro de los neutrones restantes de bajas energías, que no experimentaron este proceso, no responda totalmente a la distribución ideal de Maxwell-Boltzmann correspondiente a la temperatura del medio.

Alrededor de la mitad de los neutrones producidos en la atmósfera, una vez moderados a través de dispersiones inelásticas y elásticas, son capturados para formar C^{14} . En tanto, sólo un pequeño porcentaje del total es capturado en la formación de tritio, proceso que ocurre a energías más altas que la reacción del C^{14} .

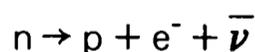
Ambos isótopos son de interés, el C^{14} en arqueología y el tritio en glaciología, entre otras disciplinas.

Para calcular las diferentes velocidades de producción es importante conocer la intensidad absoluta de la fuente, que a su vez requiere un conocimiento del espectro de los neutrones en función de la altura y de la latitud.

Por otra parte, cualquier mecanismo que produzca cambios, tanto en el espectro como en el valor del flujo de neutrones en la atmósfera, influirá en la producción de estos isótopos. Por ello, el conocimiento de las variaciones temporales en la componente neutrónica es interesante y de importancia para las mencionadas disciplinas.

También es útil el estudio de los neutrones dispersados desde la atmósfera hacia el espacio (albedo de neutrones) para considerar la importancia de estos neutrones como uno de los mecanismos de inyección para la radiación atrapada geomagnéticamente. Poco después del descubrimiento de la radiación de Van Allen, varios investigadores, Hess (1959), Kellogg (1959), Singer (1959), sugirieron que el albedo de neutrones era el mecanismo de inyección primario para los protones y electrones atrapados geomagnéticamente.

El albedo de neutrones es fuente de partículas cargadas, ya que los neutrones, una vez extraídos de los núcleos, son inestables, desintegrándose en libre vuelo según el esquema:



con una vida media de $\tau = 1010 \pm 25$ seg.

Cualquier evaluación del mecanismo de atrape, para partículas cargadas provenientes de esta fuente, requiere el conocimiento del flujo y del espectro de energías de los neutrones que escapan de la atmósfera, así como sus variaciones espaciales y temporales. Diversos trabajos fueron realizados con este propósito.

Los primeros cálculos efectuados por Kellogg (1959), Hess (1959), Hess et al (1961), y Newkirk (1963), fueron hechos a determinadas latitudes y para determinadas épocas.

Los cálculos de Lingenfelter (1963), incluyeron las variaciones de la radiación cósmica con la latitud, altura y tiempo, durante el ciclo solar. De este trabajo se desprende la dependencia temporal y en latitud del albedo de neutrones. Dichos cálculos fueron ampliados por Lingenfelter y Flamm (1964), al considerar la producción y escape de los neutrones liberados en los eventos originados por los protones solares.

Posteriormente, Dragt y otros (1966), así como Hess y Killeen (1966), utilizaron estos cálculos para determinar cuantitativamente la contribución de esta fuente a los anillos de radiación.

De dichos trabajos surgió que tanto la desintegración de los neutrones de albedo, producidos por interacción de los protones solares con núcleos atmosféricos (SPAND* INJECTION), como la desintegración de los neutrones solares en la magnetósfera, constituyen una fuente insignificante de protones atrapados en los anillos de radiación.

No obstante, Hess y Killeen indican que la desintegración de los neutrones producidos por la radiación cósmica y que escapan de la atmósfera (CRAND** INJECTION) puede ser la principal fuente del flujo de protones atrapados con energía $E > 20$ Mev. En cambio Dragt y colegas observan que los protones atrapados con $E > 20$ Mev solo pueden ser explicados por este mecanismo si la intensidad de la fuente fuera 50 veces mayor a los valores utilizados, a fin de compensar las pérdidas de protones por los diferentes procesos que tienen lugar en esa región.

Concordando en ambos trabajos que para protones atrapados con $E < 20$ Mev, el albedo de neutrones provenientes de la radiación cósmica, es, como única fuente, inadecuada para producir los registrados flujos de neutrones.

Por otra parte parece ser que el espectro de protones atrapados de alta energía ($E > 50$ Mev) es explicado en forma adecuada por la teoría CRAND, al menos, en la región $1,2 \leq L \leq 1,4$ (Lenchek and Singer, 1963).

En cuanto al electrón como componente de la radiación atrapada, se hace muy difícil creer que el proceso CRAND sea su única fuente. La razón principal de este escepticismo es el valor observado del decaimiento del flujo de electrones inyectado por la explosión termonuclear Starfish ocurrida el 9 de julio de 1962, a 400 km de altura sobre la isla de Johnston. Parece ser que el valor del decaimiento es demasiado grande para poder ser balanceado por el albedo de neutrones (Hess, 1963).

De todas formas, un juicio final de la teoría de la desintegración del albedo de neutrones debe esperar (Haymes, 1965):

- 1) Un mejor conocimiento de los procesos que controlan el comportamiento a largo plazo de los protones atrapados.
- 2) Una mejor información sobre el albedo de neutrones.

Esto último es importante, ya que hay una cantidad de datos contradictorios sobre el albedo de neutrones, no habiendo concordancia en los resultados aún ante experiencias realizadas a igual altura y en la misma época.

Esto se debe a que los resultados de experiencias efectuadas fuera de la atmósfera son confusos, debido a que las mediciones se ven seriamente contaminadas por los neutrones localmente producidos en la masa del vehículo.

En cuanto a las mediciones realizadas mediante globos, si bien permiten reducir el problema de la producción local, tienen el inconveniente de que deben extrapolarse los resultados obtenidos, al tope de la atmósfera, para estimar el albedo.

* SPAND: Solar proton albedo neutron decay.

** CRAND: Cosmic ray albedo neutron decay.

Esta breve introducción evidencia el motivo del interés, en el estudio de los neutrones atmosféricos, que nos llevó a planear un conjunto de experiencias que se inician con "Efectos del fondo en la determinación de los parámetros característicos de la componente neutrónica" (Fritz-Cicchini, 1970) y de las cuales el presente trabajo forma parte.

Nuestro propósito es realizar un estudio en altura y latitud de los neutrones atmosféricos, en el rango de energías en que la mayoría de esos neutrones son creados en los procesos de evaporación.

En este trabajo, si bien todos los registros fueron obtenidos en la atmósfera, la altura alcanzada por nuestros equipos (12 mb) nos permitió estimar el flujo de neutrones que escapa de la atmósfera, por extrapolación. Además, la mayor altura alcanzada en esta serie de vuelos, nos permitió confirmar los resultados de la experiencia anterior y estudiar el efecto del fondo hasta los 12 mb.

En cuanto a la producción local, nos basamos para su corrección en el trabajo de Bøella et al (1965).

APARATOS

Los aparatos se describen en el trabajo "Efectos del fondo en la determinación de los parámetros característicos de la componente neutrónica" (Fritz-Cicchini, 1970).

RESULTADOS EXPERIMENTALES

En este trabajo estudiamos los registros obtenidos en cuatro lanzamientos, los tres primeros nocturnos, todos realizados en Buenos Aires, en 34°, 58 S.; 58°, 50 O.; $R = 10,6$ Gv (Según tablã C. J. Phy., 46, S 1098-1101, 1968).

El primero de estos lanzamientos, (Vuelo N° 16), fue realizado el día 20 de enero de 1970, a las 21,30 H.L.. La duración del vuelo fue de 312 minutos, alcanzándose una altura máxima equivalente a una presión de 36 mb., y manteniéndose a una altura equivalente a una presión de aproximadamente 38 mb, durante 234 minutos. El segundo (Vuelo N° 19), fue realizado el día 23 de enero de 1970, a 21,55 H. L. La duración del vuelo fue de 216 minutos, alcanzándose una altura máxima equivalente a una presión de 37 mb., y manteniéndose a una altura equivalente a una presión de aproximadamente 38 mb., durante 159 minutos.

El tercero (Vuelo N° 21), fue realizado el día 22 de enero de 1971, a las 02,30 H.L. La duración del vuelo fue de 108 minutos, alcanzándose una altura máxima de 30.200 metros (12 mb.).

El cuarto lanzamiento (Vuelo N° 22), fue realizado el 22 de enero de 1971, a las 06,00 H.L. La duración del vuelo fue de 58 minutos, alcanzándose una altura máxima equivalente a una presión de 16 mb.

Los datos de los cuatro vuelos para espesores atmosféricos inferiores a los 150 mb, corregido el fondo y la producción local en el detector, fueron agrupados en la Tabla I a fin de determinar el espesor atmosférico en que se registra el máximo conteo y, por extrapolación en la curva obtenida con los datos experimentales, tratar de estimar el conteo al tope de la atmósfera.

En la Figura 1 representamos el conteo, corregido el fondo y la producción local, en función del espesor atmosférico, para espesores inferiores a los 150 mb.

Consideramos, como hipótesis de trabajo, que la corrección por producción local no está afectada de error.

. T A B L A I
VALORES OBTENIDOS AGRUPANDO LOS CUATRO VUELOS

Presión media (m b)	Tiempo (min)	Enriquecido N_A (c.p.m.)	Neutrón N (c.p.m.)	Contaje corregido por producción local N_c (c.p.m.)
140,2	13	$190,1 \pm 3,8$	$190,8 \pm 6,2$	$189,9 \pm 6,2$
126,5	4	$192,0 \pm 6,9$	$196,8 \pm 11,1$	$195,8 \pm 11,1$
115	3	$212,7 \pm 8,4$	$215,8 \pm 13,6$	$214,7 \pm 13,6$
98,8	10	$213,0 \pm 4,6$	$217,3 \pm 7,4$	$216,2 \pm 7,4$
84	8	$199,0 \pm 5,0$	$200,9 \pm 8,1$	$199,9 \pm 8,1$
66	12	$195,6 \pm 4,0$	$198,1 \pm 6,5$	$196,6 \pm 6,5$
55	4	$185,0 \pm 6,8$	$189,1 \pm 10,9$	$187,8 \pm 10,9$
45,5	20	$169,6 \pm 2,9$	$168,6 \pm 4,8$	$167,2 \pm 4,8$
38	357	$143,2 \pm 0,6$	$144,2 \pm 1,0$	$142,8 \pm 1,0$
27	27	$133,1 \pm 2,2$	$134,8 \pm 3,6$	$132,8 \pm 3,6$
14,8	25	$94,5 \pm 1,9$	$95,6 \pm 3,1$	$91,8 \pm 3,1$

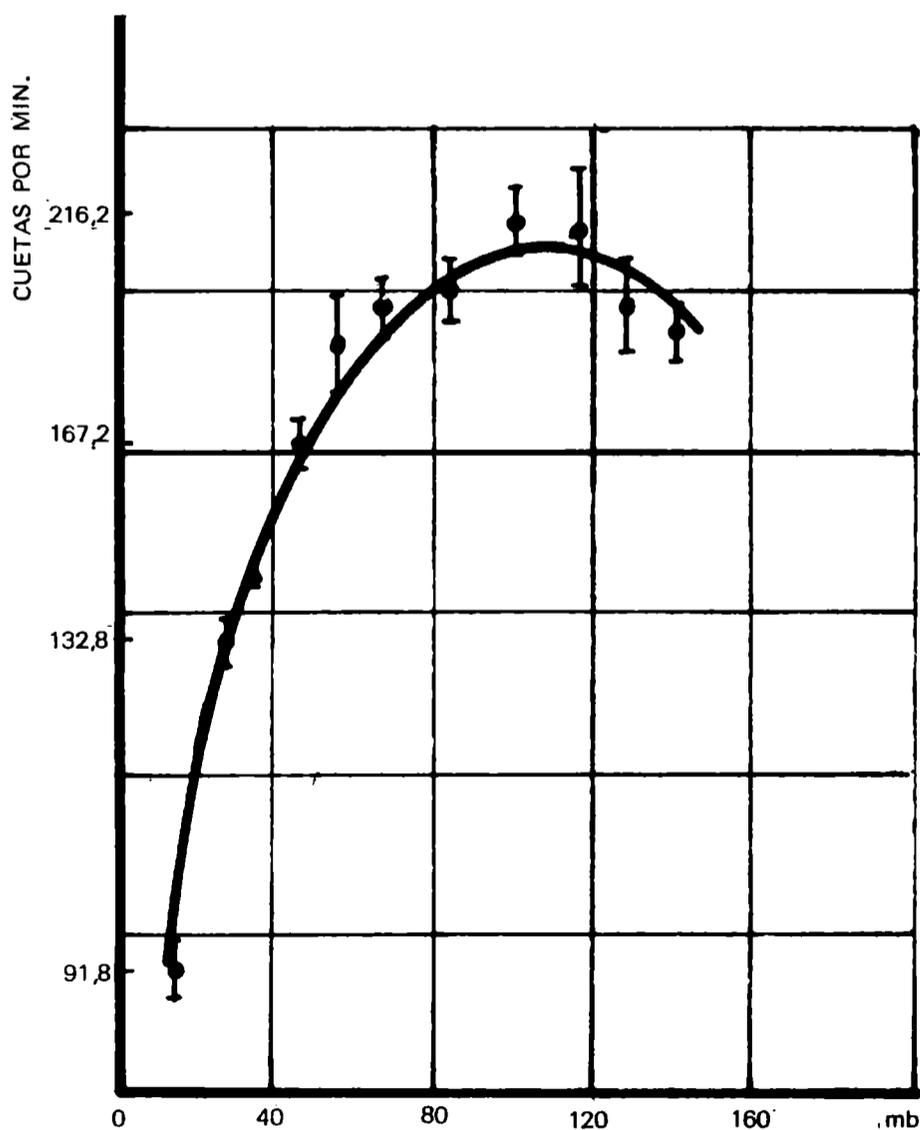


Fig. 1. Contaje en función del espesor atmosférico para el intervalo 0-160 mb (corregido por producción local).

El espesor atmosférico en que se registra el máximo contaje

$$\Theta_{\max} = (98 \pm 3) \text{ mb}$$

siendo el contaje máximo

$$I_m = (219 \pm 10) \text{ c.p.m.}$$

Extrapolando a espesor atmosférico cero, siguiendo la curva obtenida del conjunto de datos experimentales, da un valor del contaje al tope de la atmósfera:

$$I_0 = (74 \pm 4) \text{ c.p.m.}$$

El máximo de transición, así como el contaje al tope de la atmósfera, fueron determinados por el método de los cuadrados mínimos, ajustado a la función.

$$Y = \sum_0^n a_n x^n$$

El contaje al tope de la atmósfera fue también obtenido, extrapolando a espesor atmosférico cero (Altura infinita), siguiendo la curva exponencial encontrada en la región de 45,5 a 14,8 milibares. El valor obtenido:

$$I_0 = (72 \pm 7) \text{ c.p.m.}$$

concuerta dentro del error experimental con el que se obtiene siguiendo la curva obtenida del conjunto de datos experimentales.

RESUMEN DE NUESTRAS OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

Si comparamos los resultados obtenidos en esta serie de vuelos, en particular el espesor atmosférico en que se registra el máximo contaje, con los obtenidos en otra serie (Cicchini, 1970; Vuelos 12, 15, 17 y 18, Tabla II) no observamos ninguna variación ya que las diferencias están comprendidas dentro del error experimental.

T A B L A I I

POSICION DEL MAXIMO DE TRANSICION A 10,6 Gv

Vuelo	Espesores (mb)	Nº de Observac.	Fecha	Posic. máx. transic.(mb)	Contaje máximo I_m (c.p.m.)
12	44 -171	33	27-12-69	108 ± 11	207 ± 24
15	39,5-139	29	20- 1-70	101 ± 7	215 ± 18
17	43,5-160	10	22- 1-70	112 ± 8	199 ± 17
18	47 -168	26	23- 1-70	110 ± 10	214 ± 23
16-19					
	14,8-140,2	483	(*)	98 ± 3	219 ± 10
21-22					

* Datos correspondientes al presente trabajo.

La posición del máximo de transición y los valores del conteo máximo para todos los vuelos coinciden dentro del error experimental. Este resultado parece indicar que a la rigidez vertical de corte y para las épocas del año en que fue realizado este trabajo, no se observa ninguna variación de tipo temporal.

En la Figura 2 representamos la posición del máximo de transición para neutrones rápidos en función de la latitud geomagnética. Las cruces representan la dependencia con la latitud calculada por Lingenfelter. Los círculos son los resultados experimentales obtenidos por Holt, Mendell y Korff (1966). El cuadrado es el valor obtenido en esta experiencia (único resultado que corresponde al hemisferio sur).

Como puede verse en la Figura 2, nuestro resultado concuerda con la variación en latitud predicha por Lingenfelter y con los resultados experimentales obtenidos por Holt, Mendell y Korff.

No ocurre lo mismo si comparamos el flujo obtenido al tope de la atmósfera con los valores dados por otros investigadores.

En efecto, el conteo al tope de la atmósfera representa aproximadamente un 34% del conteo máximo. Valor muy alto si lo comparamos con el obtenido en otros trabajos (Tabla III).

T A B L A III

Medición	Año	Lat. Geomag. (grado)	Espesor atmosf. alcanzado (mb)	I_0 %/ I_m	Energías Mev
Boella et al	1963	46° N	4	10	0,01 — 1
Holt et al	1965	17° N	3,8	18	1 — 10
Fritz-Cicchini	1970-71	23° S	12	34	0,01 — 1

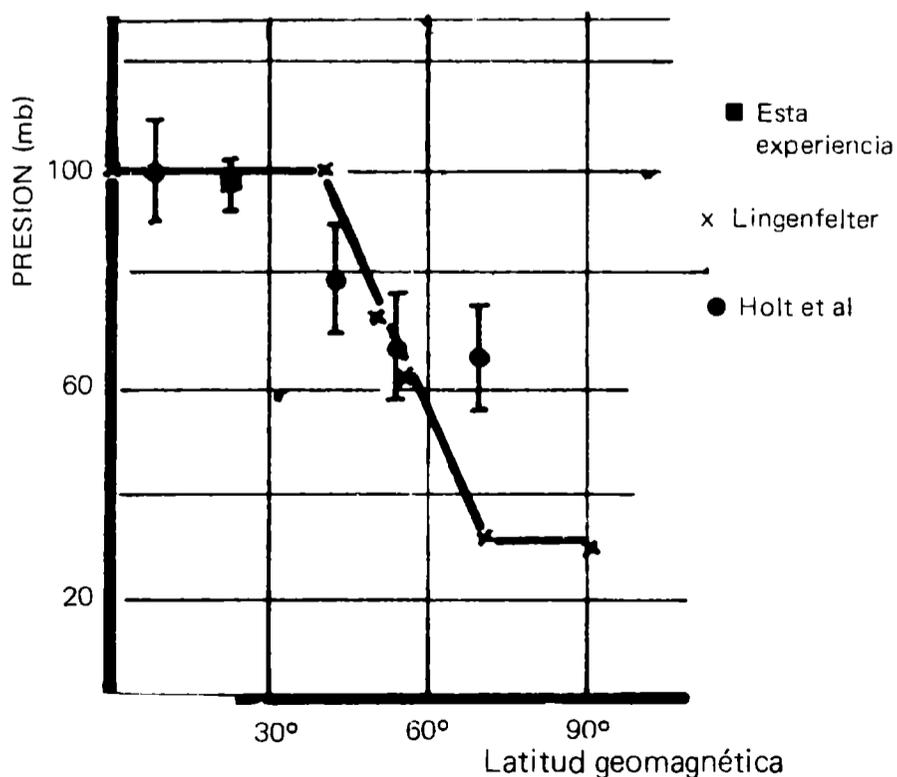


Fig. 2. Posición del máximo de transición para neutrones rápidos en función de la latitud geomagnética.

Este valor del contaje al tope de la atmósfera, superior al que podría esperarse para la latitud en que fue realizada la experiencia, puede deberse a:

- 1) La corrección por producción local, que puede ser superior a los valores por nosotros estimados;
- 2) La altura alcanzada en esta serie de vuelos, que es inferior a la alcanzada por los otros investigadores, lo que hace que el error que cometemos al extrapolar, aumente.

Hasta no tener mayor información sobre los puntos 1), y 2), no podemos formular ninguna hipótesis acerca de este aparentemente anómalo resultado.

BIBLIOGRAFIA

- BOELLA, G., DEGHI ANTONI, G., DILWORTH, C., PANETTI, M., and SCARSI, L.;** (1965): *Measurement of the Cosmic Ray Neutron Flux at 4, 6 Billion Volts Geomagnetic Cutoff Rigidity*; *J. Geophys. Res.*, **70**, 1019 - 1030.
- DRAGT, A. J., AUSTIN, M. M., and WHITE, R. S.;** (1966): *Cosmic ray and solar proton albedo neutron decay injection*; *J. Geophys. Res.*, **71**, 1293.
- HAYMES, R. C.;** (1965): *Terrestrial and Solar Neutrons*; *Rev. of Geophysics*, Vol 3-Nº 3, 345-364.
- HESS, W. N.;** (1959): *Van Allen belt protons from cosmic-ray neutron leakage*; *Phys. Rev. Letters*, **3**, 11-13.
- HESS, W. N., CANFIELD, E. H., and LINGENFELTER, R. E.;** (1961): *Cosmic Ray neutron demography*; *J. Geophys. Res.*, **66**, 665.
- HESS, W. N., (Ed);** (1963): *Collected papers on the artificial radiation belt from the July 9, 1962, nuclear detonation*; *J. Geophys. Res.*, **68**, 605-758.
- HESS, W. N., and KILLEEN, J.;** (1966): *Spatial distribution of protons from neutron decay trapped by the geomagnetic field*; *J. Geophys. Res.*, **71**, 2799.
- HOLT, S. S., MENDELL, R. B., and KORFF, S. A.;** (1966): *Fast Neutron Latitude Variations in the Atmosphere at Solar Minimum*; *J. Geophys. Res.*, **71** 5109.
- FRITZ, N. S. S., CICCHINI, A. A.;** (1970): *Efectos del Fondo en la Determinación de los Parámetros Característicos de la Componente Neutrónica*; *Escuela Superior Técnica - Universidad Tecnológica Nacional, - Publicación interna, Nro 6*
- KELLOGG, P. J.;** (1959): *Possible explanation of the radiation observed by Van Allen at high altitudes in satellites*; *Nuevo Cimento*, **11**, 48-66.
- LENCHEK, A. M., and SINGER, S. F.;** (1963): *The albedo neutron theory of geomagnetically trapped protons*; *Planetary Space Sci.*, **11**, 1151-1208.
- lin*
- LINGENFELTER, R. E., and FLAMM, E. J.;** (1964): *Neutron leakage from interactions of solar protons in the atmosphere*; *J. Geophys. Res.*, **69**, 2199.
- LINGENFELTER, R. E.;** (1963): *The cosmic ray neutron leakage flux*; *J. Geophys. Res.*, **68** 5633.
- NEWKIRK, L. L.;** (1963): *Calculation of the low - energy neutron flux in the atmosphere by the Sn method*; *J. Geophys. Res.*, **68**, 1825.
- SINGER, S. F.;** (1959): *Cause of the minimum in the earth's radiation belt*; *Phys. Rev. Letters*, **3**, 188-190.