



Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario



Existencia de decaimiento por diprotón

Curso: Introducción a la Física Nuclear

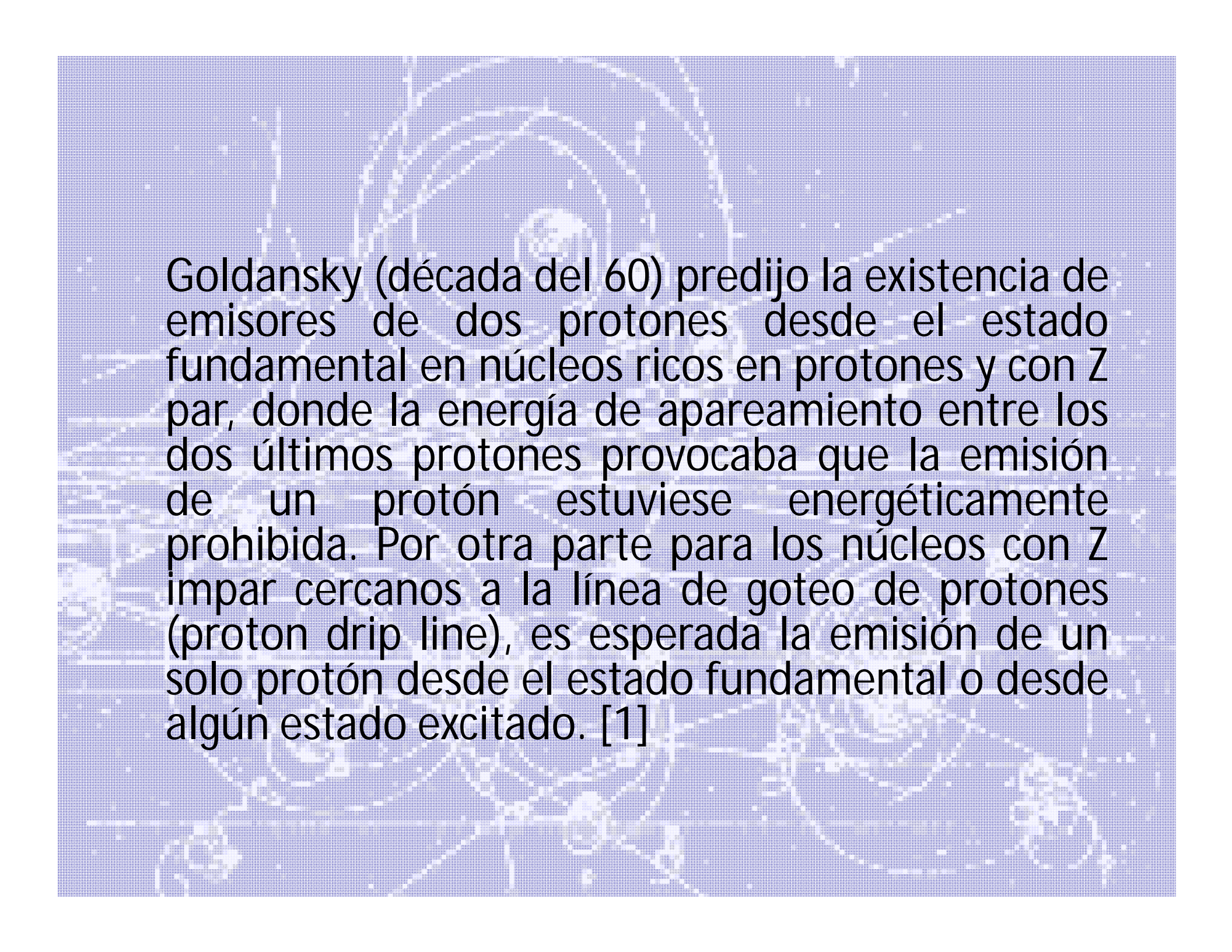
Alumno: *José A. Orso*

Docente: *Rodolfo Id Betan*

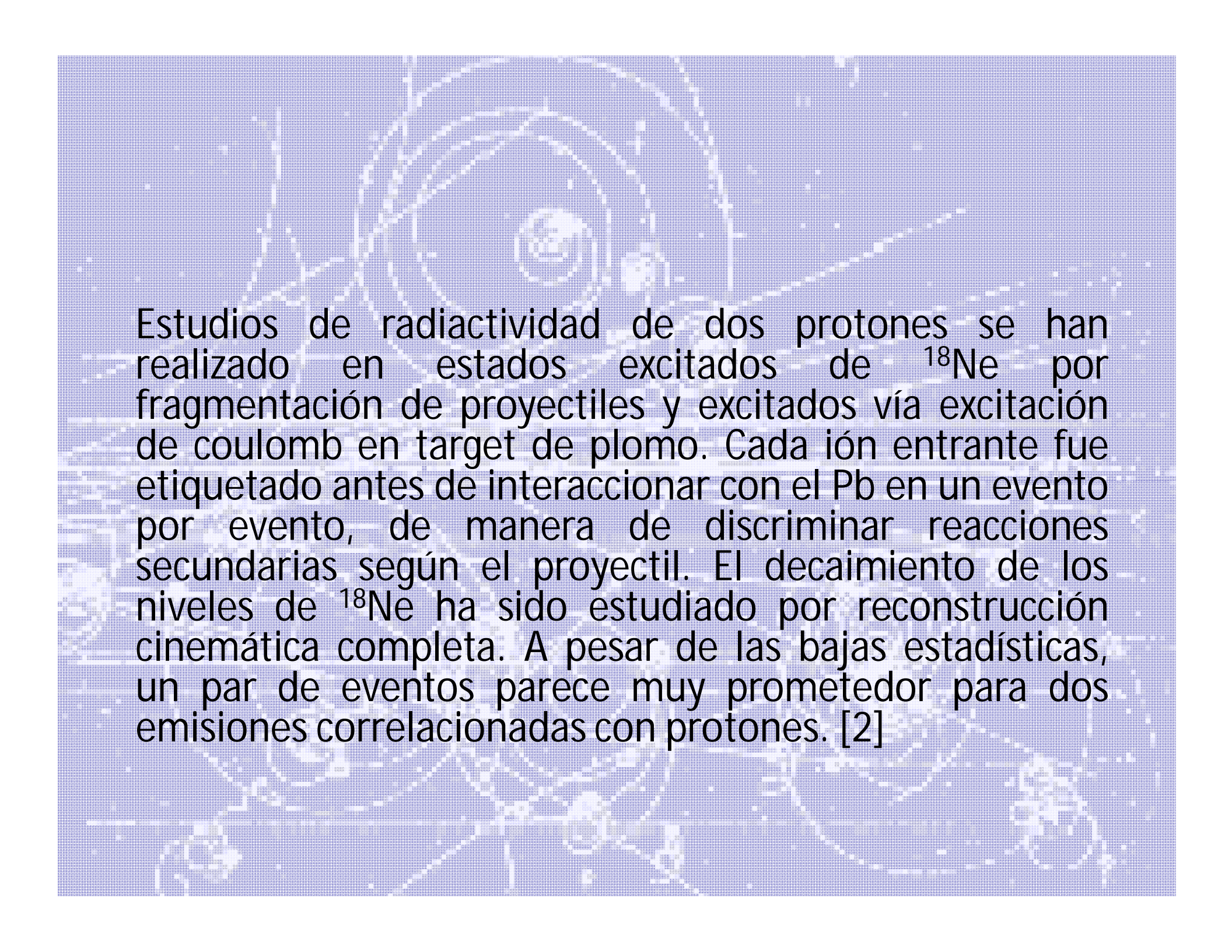
Créditos imagen de fondo : <http://rsefalicante.umh.es/TemasElectromagnetismo/Electromagnetismo04.htm>



Introducción



Goldansky (década del 60) predijo la existencia de emisores de dos protones desde el estado fundamental en núcleos ricos en protones y con Z par, donde la energía de apareamiento entre los dos últimos protones provocaba que la emisión de un protón estuviese energéticamente prohibida. Por otra parte para los núcleos con Z impar cercanos a la línea de goteo de protones (proton drip line), es esperada la emisión de un solo protón desde el estado fundamental o desde algún estado excitado. [1]



Estudios de radiactividad de dos protones se han realizado en estados excitados de ^{18}Ne por fragmentación de proyectiles y excitados vía excitación de coulomb en target de plomo. Cada ión entrante fue etiquetado antes de interaccionar con el Pb en un evento por evento, de manera de discriminar reacciones secundarias según el proyectil. El decaimiento de los niveles de ^{18}Ne ha sido estudiado por reconstrucción cinemática completa. A pesar de las bajas estadísticas, un par de eventos parece muy prometedor para dos emisiones correlacionadas con protones. [2]

Mecanismos de emisión de dos protones

- a)- La emisión secuencial de protones pasando por un estado intermedio del primer núcleo hijo.
- b)- La emisión simultánea de dos protones (decaimiento democrático).
- c)- Emisión de diprotón, es decir, la emisión de un cluster de ${}^2\text{He}$ con una fuerte correlación entre los protones.

Experimentalmente sólo los dos últimos mecanismos se han identificado. [1]

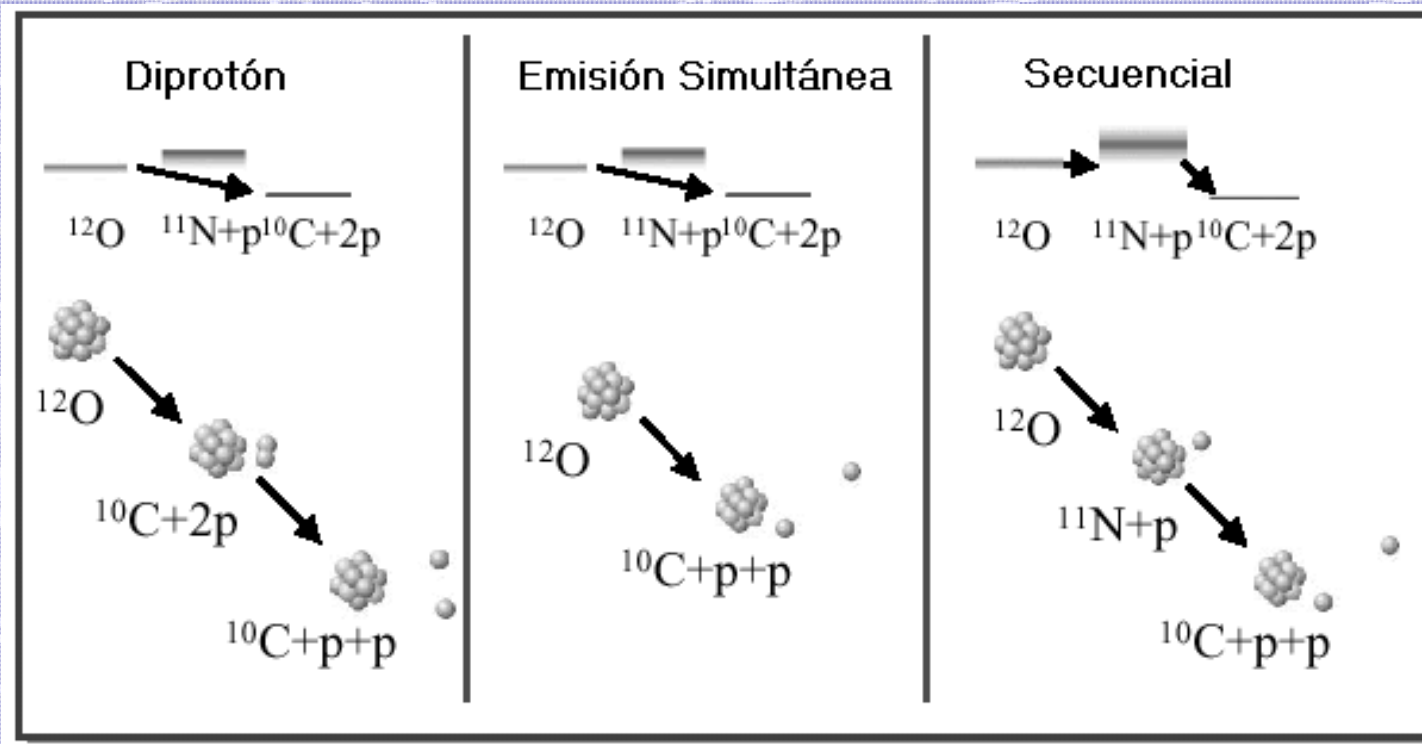
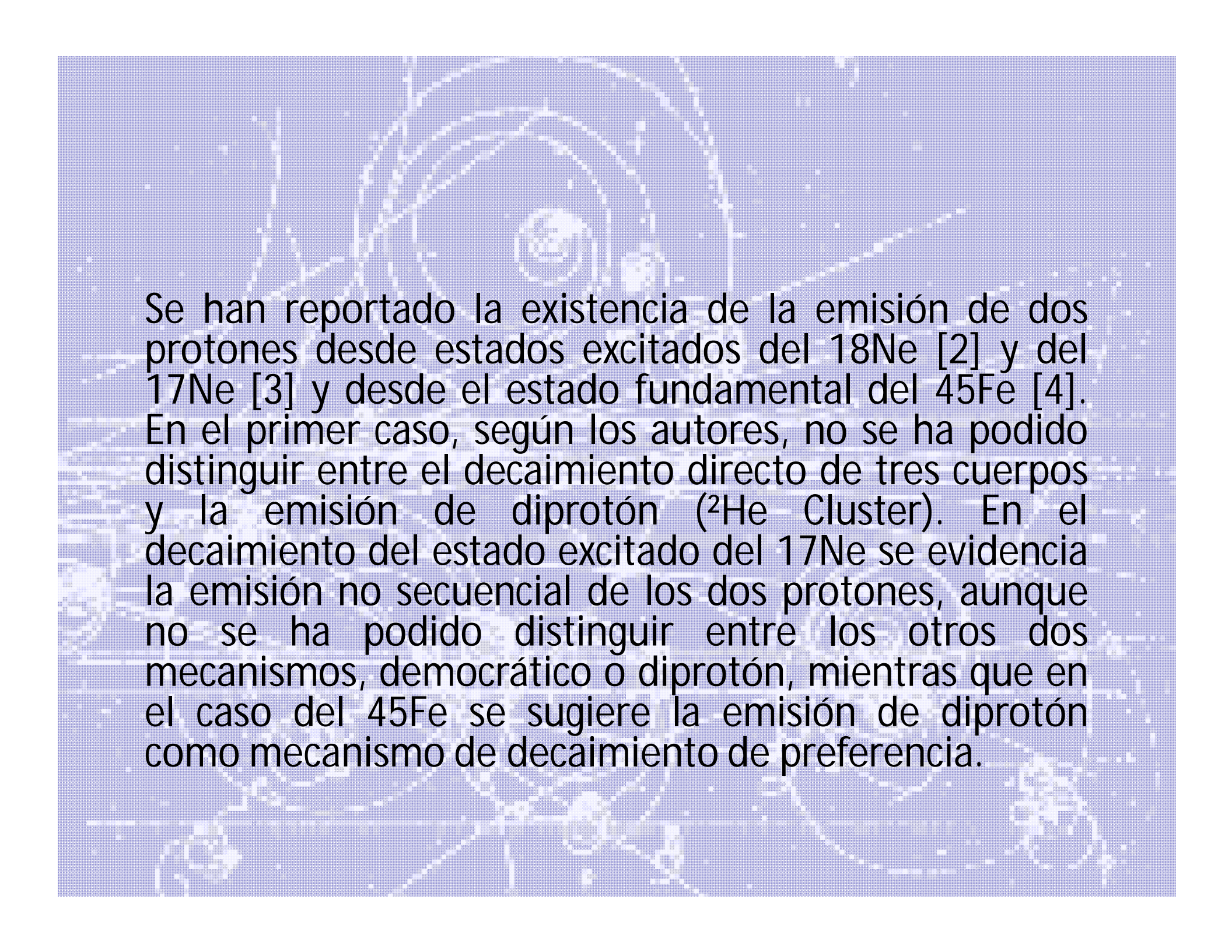
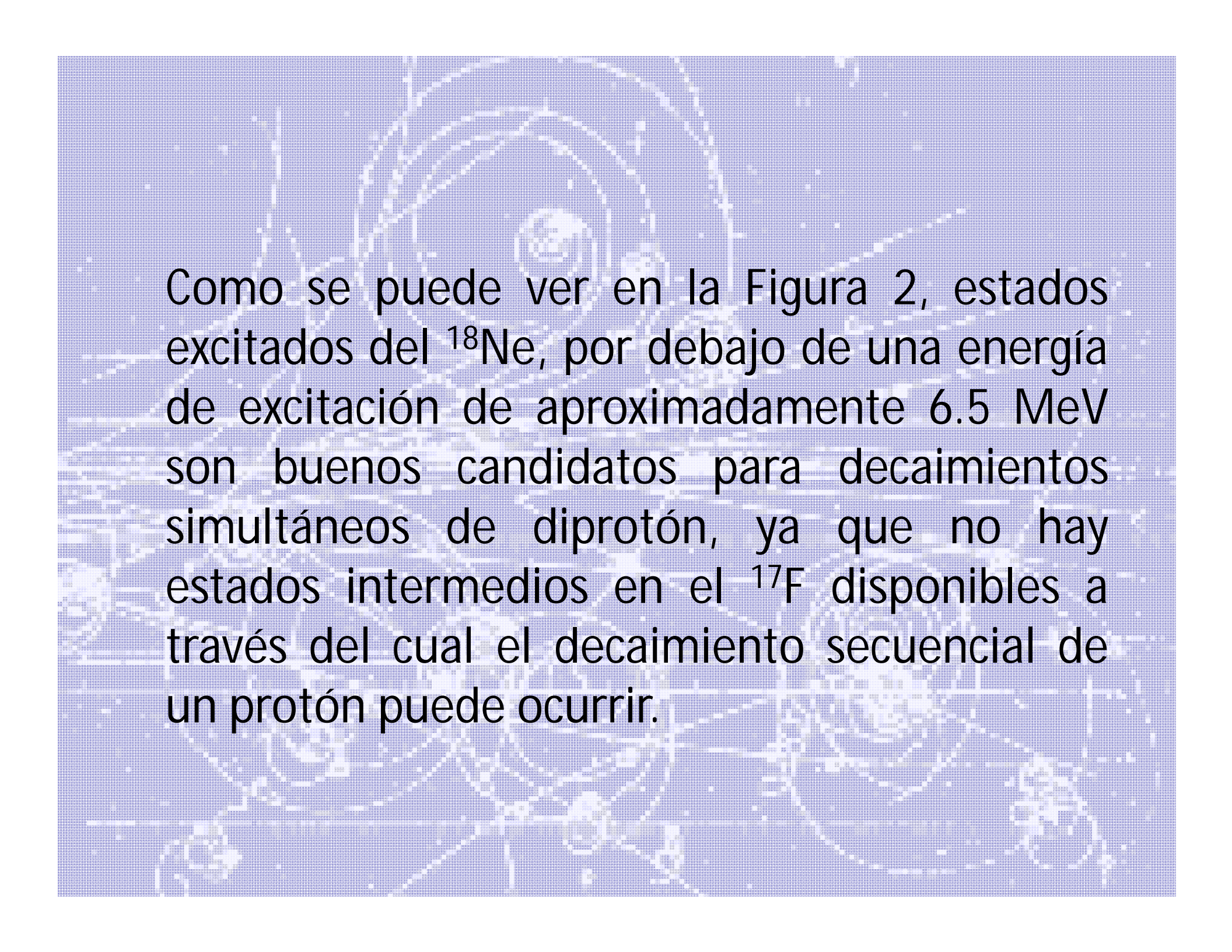


Figura 1. Mecanismos de emisión de dos protones. [1]



Se han reportado la existencia de la emisión de dos protones desde estados excitados del ^{18}Ne [2] y del ^{17}Ne [3] y desde el estado fundamental del ^{45}Fe [4]. En el primer caso, según los autores, no se ha podido distinguir entre el decaimiento directo de tres cuerpos y la emisión de diprotón (^2He Cluster). En el decaimiento del estado excitado del ^{17}Ne se evidencia la emisión no secuencial de los dos protones, aunque no se ha podido distinguir entre los otros dos mecanismos, democrático o diprotón, mientras que en el caso del ^{45}Fe se sugiere la emisión de diprotón como mecanismo de decaimiento de preferencia.

La primera observación de radioactividad 2p vino de ^{45}Fe en el estado fundamental y de un estado metaestable en la plata ^{94}Ag . Emisiones simultáneas de dos protones también se han observado del decaimiento del nivel 6.15 MeV, $I^\pi = 1^-$ del ^{18}Ne , producido en la reacción de fusión $^{17}\text{F} + 1\text{p}$.



Como se puede ver en la Figura 2, estados excitados del ^{18}Ne , por debajo de una energía de excitación de aproximadamente 6.5 MeV son buenos candidatos para decaimientos simultáneos de diprotón, ya que no hay estados intermedios en el ^{17}F disponibles a través del cual el decaimiento secuencial de un protón puede ocurrir.

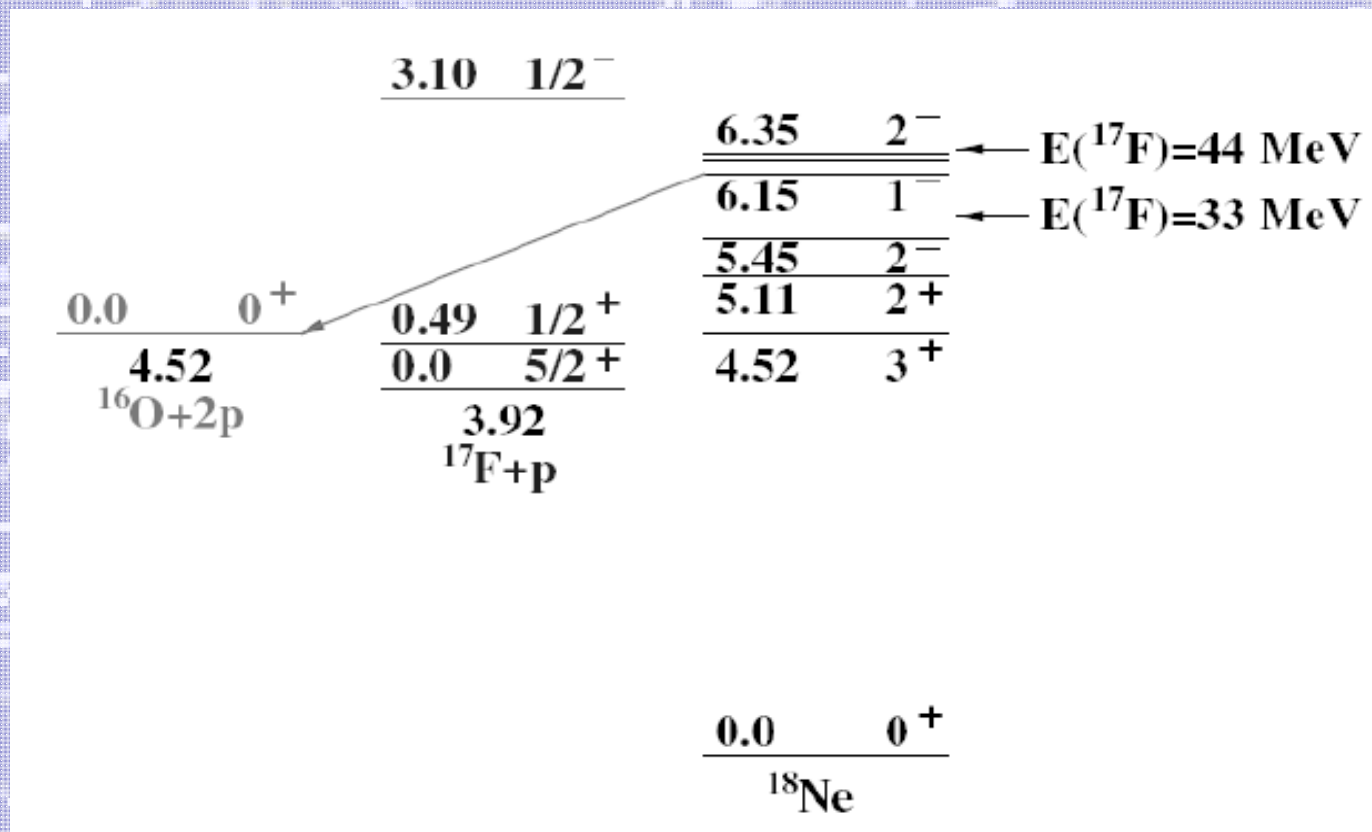
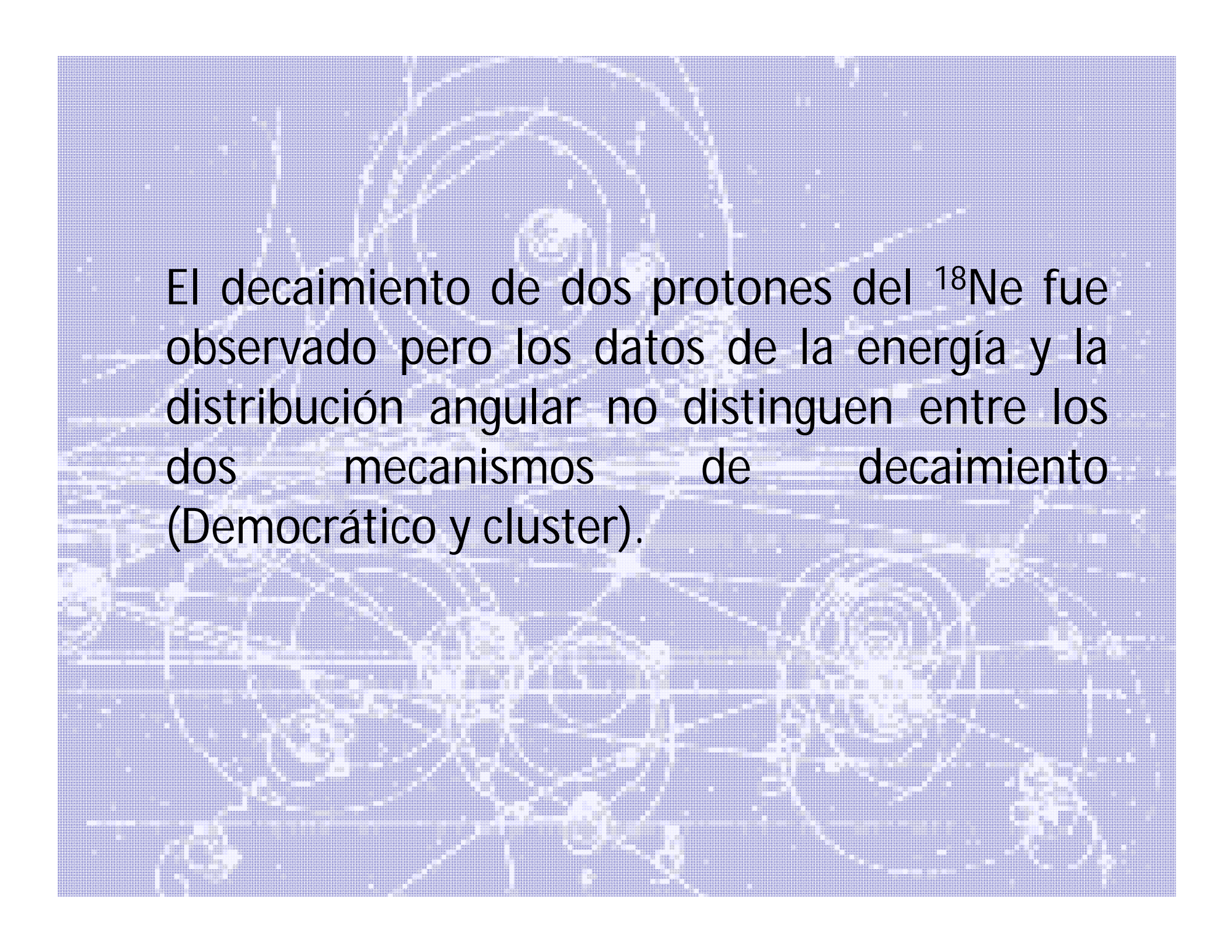


Figura 2. Decay scheme of ^{18}Ne from [2]

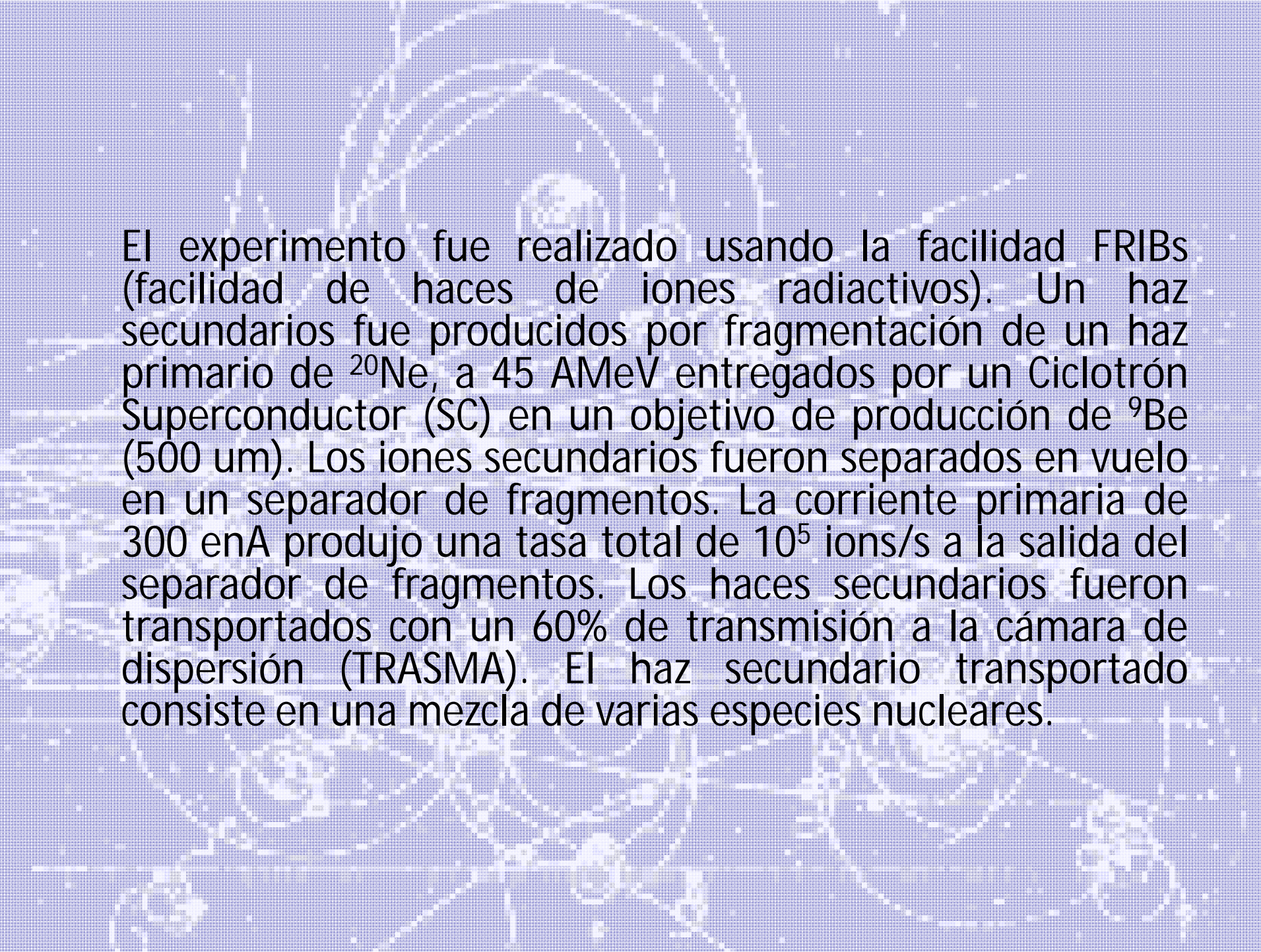


El decaimiento de dos protones del ^{18}Ne fue observado pero los datos de la energía y la distribución angular no distinguen entre los dos mecanismos de decaimiento (Democrático y cluster).

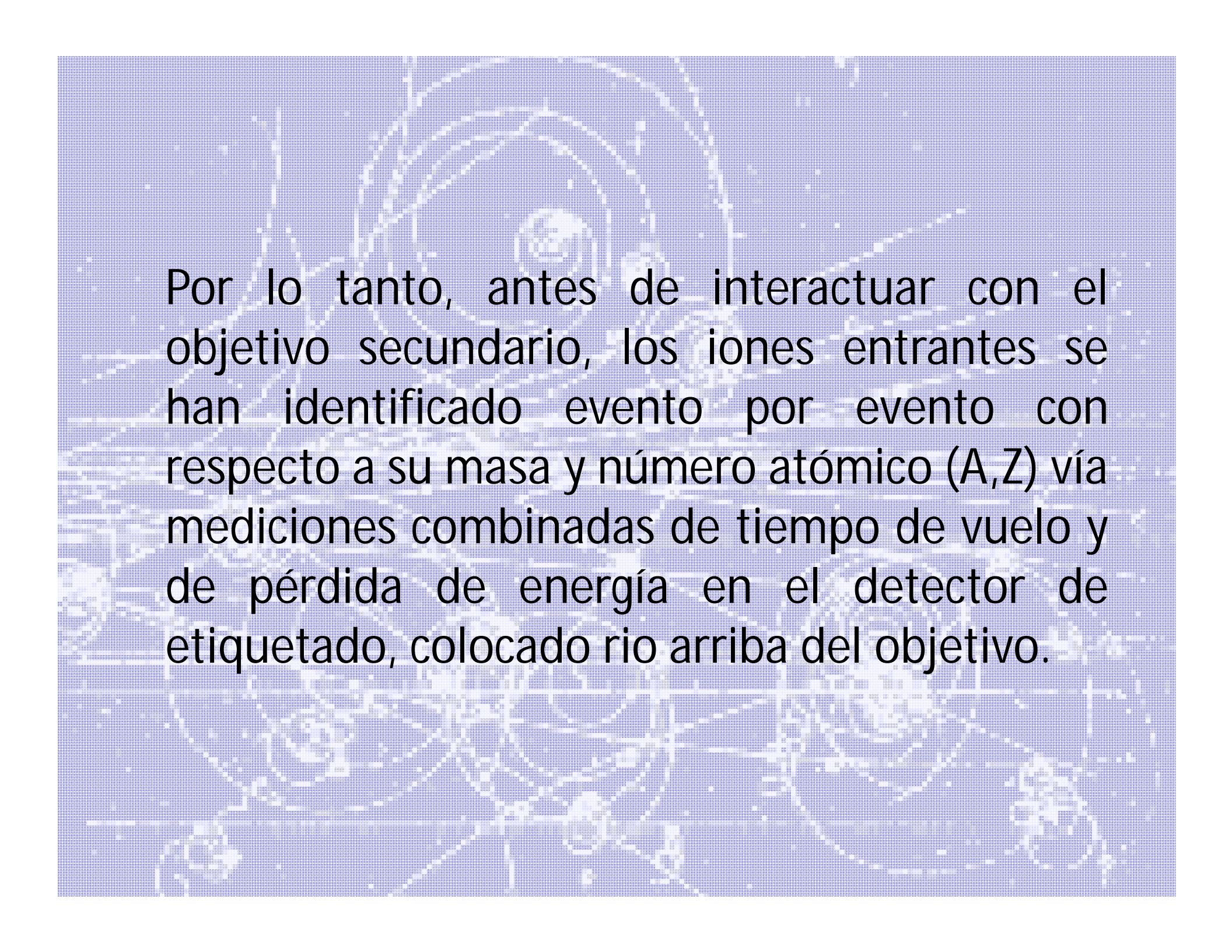
El presente experimento se usó un haz secundario de ^{18}Ne producido por la fragmentación del proyectil primario ^{20}Ne y separado en vuelo por medio del separador de fragmentos LNS. Los estados excitados del ^{18}Ne fueron poblados por excitación de Coulomb en un objetivo de ^{207}Pb . La configuración de detección se ha diseñado adecuadamente para detectar todos los productos de descomposición y para reconstruir la función de correlación protón-protón para la observación de emisiones de agrupamiento de ^2He .



Configuración experimental



El experimento fue realizado usando la facilidad FRIBs (facilidad de haces de iones radiactivos). Un haz secundarios fue producidos por fragmentación de un haz primario de ^{20}Ne , a 45 AMeV entregados por un Ciclotrón Superconductor (SC) en un objetivo de producción de ^9Be (500 μm). Los iones secundarios fueron separados en vuelo en un separador de fragmentos. La corriente primaria de 300 enA produjo una tasa total de 10^5 ions/s a la salida del separador de fragmentos. Los haces secundarios fueron transportados con un 60% de transmisión a la cámara de dispersión (TRASMA). El haz secundario transportado consiste en una mezcla de varias especies nucleares.

The background image is a schematic diagram of a particle detector setup. It features a central target area with a grid of detector elements. Concentric circles represent the paths of particles or ions. The diagram is rendered in a light blue, dotted style on a darker blue background.

Por lo tanto, antes de interactuar con el objetivo secundario, los iones entrantes se han identificado evento por evento con respecto a su masa y número atómico (A, Z) vía mediciones combinadas de tiempo de vuelo y de pérdida de energía en el detector de etiquetado, colocado rio arriba del objetivo.

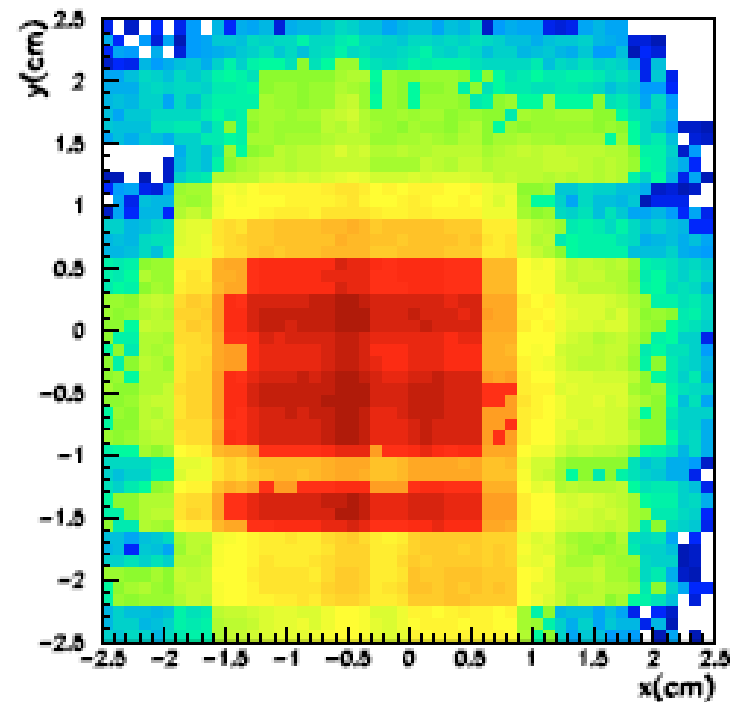
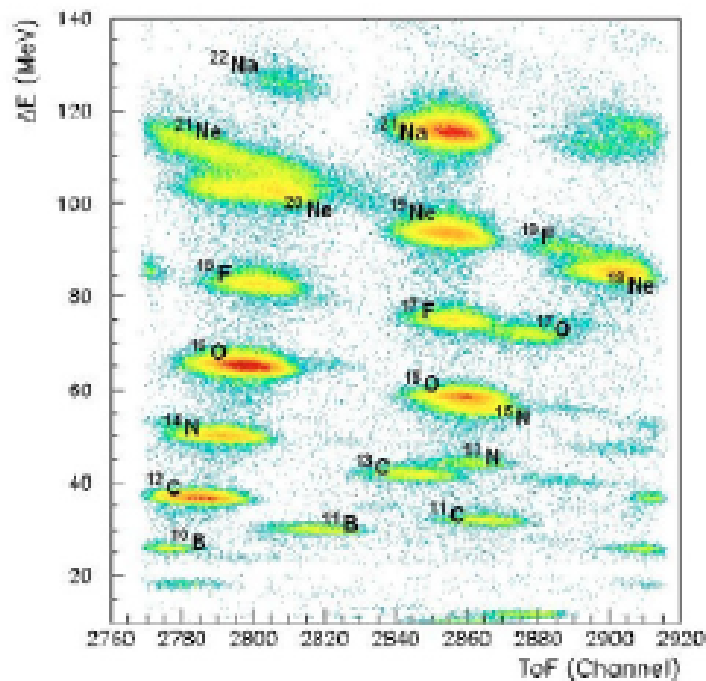


Fig. 3. Left: energy-loss in the strip versus ToF. The filled zone is large 30 nsec, accordingly to the RF frequency. Right: X-Y position detected by the Si strip.

La tasa de ^{18}Ne fue alrededor del 9 % de la mezcla total, es decir, hemos medido alrededor de 5.5×10^3 pps (partes por segundo) de ^{18}Ne

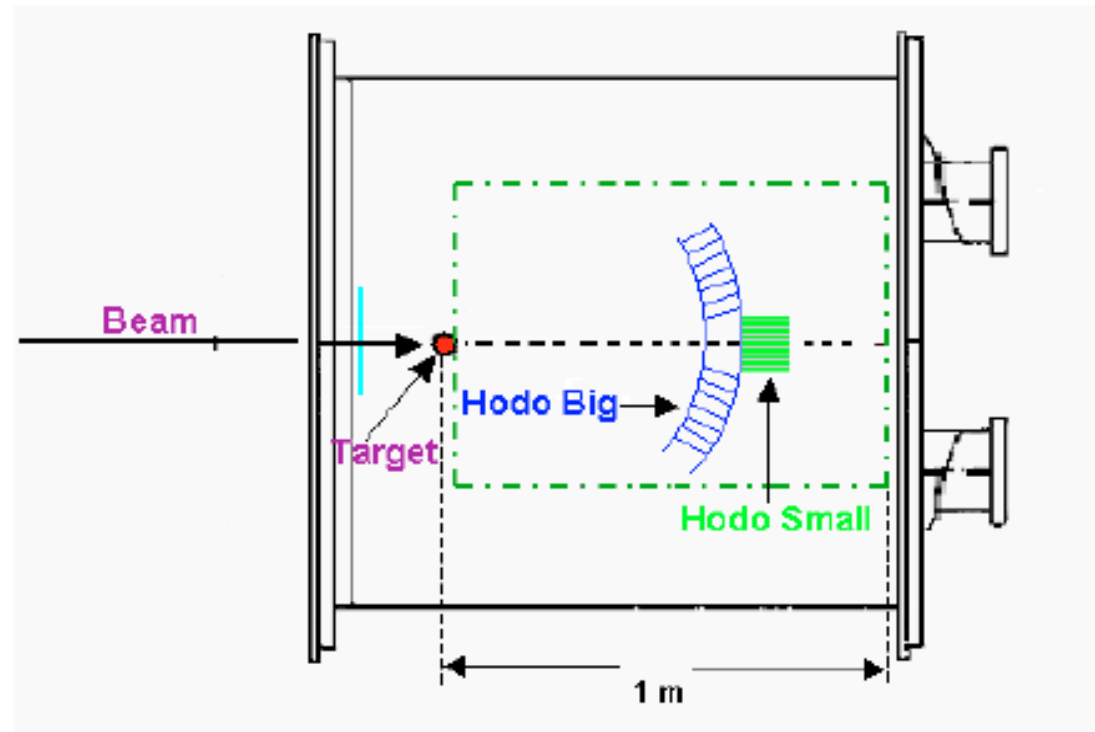
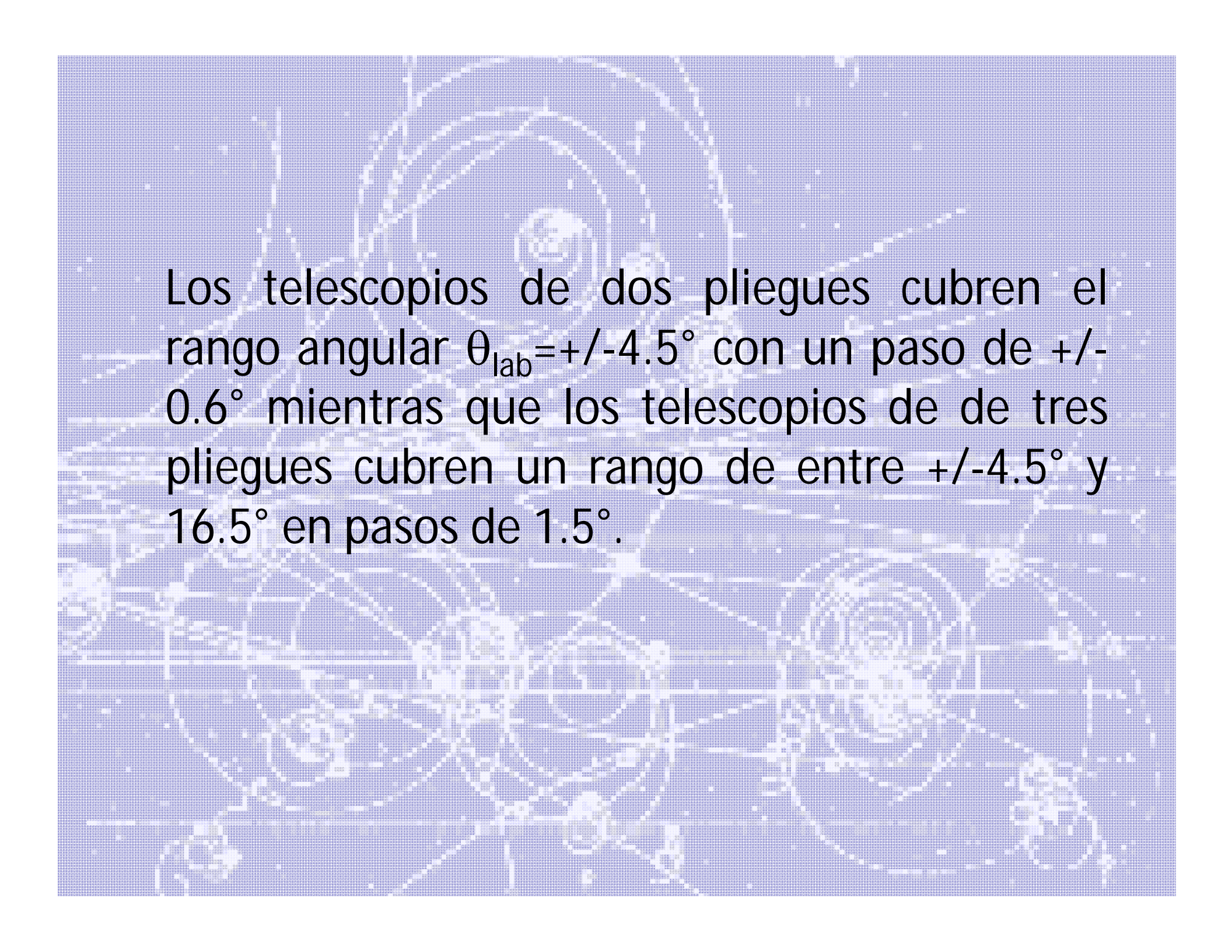


Fig. 4. Schematic view of the experimental setup used at the LNS. All the detectors were set up in the TRASMA scattering chamber.

Créditos: [1]

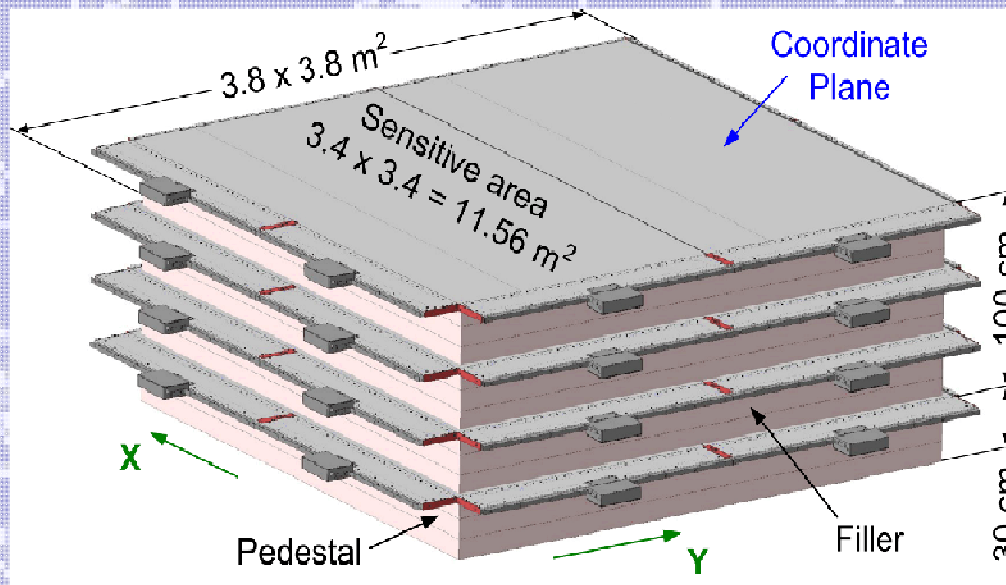
El sistema de detección consiste en dos hodoscopios de Si-CsI con diferentes granularidad:

- 81 telescopios dobles: detectores de Si de 300 μm de 1 cm^2 de área activada seguido por CsI(Tl) de 1 cm^2 y 10 de largo
- 89 telescopios triples: detectores de Si 50 μm + 300 μm teniendo ambos 3x3 cm^2 de superficie seguido por un CsI(Tl) de 6 cm largo de la misma superficie.



Los telescopios de dos pliegues cubren el rango angular $\theta_{\text{lab}} = \pm 4.5^\circ$ con un paso de $\pm 0.6^\circ$ mientras que los telescopios de tres pliegues cubren un rango de entre $\pm 4.5^\circ$ y 16.5° en pasos de 1.5° .

Hodoscopio

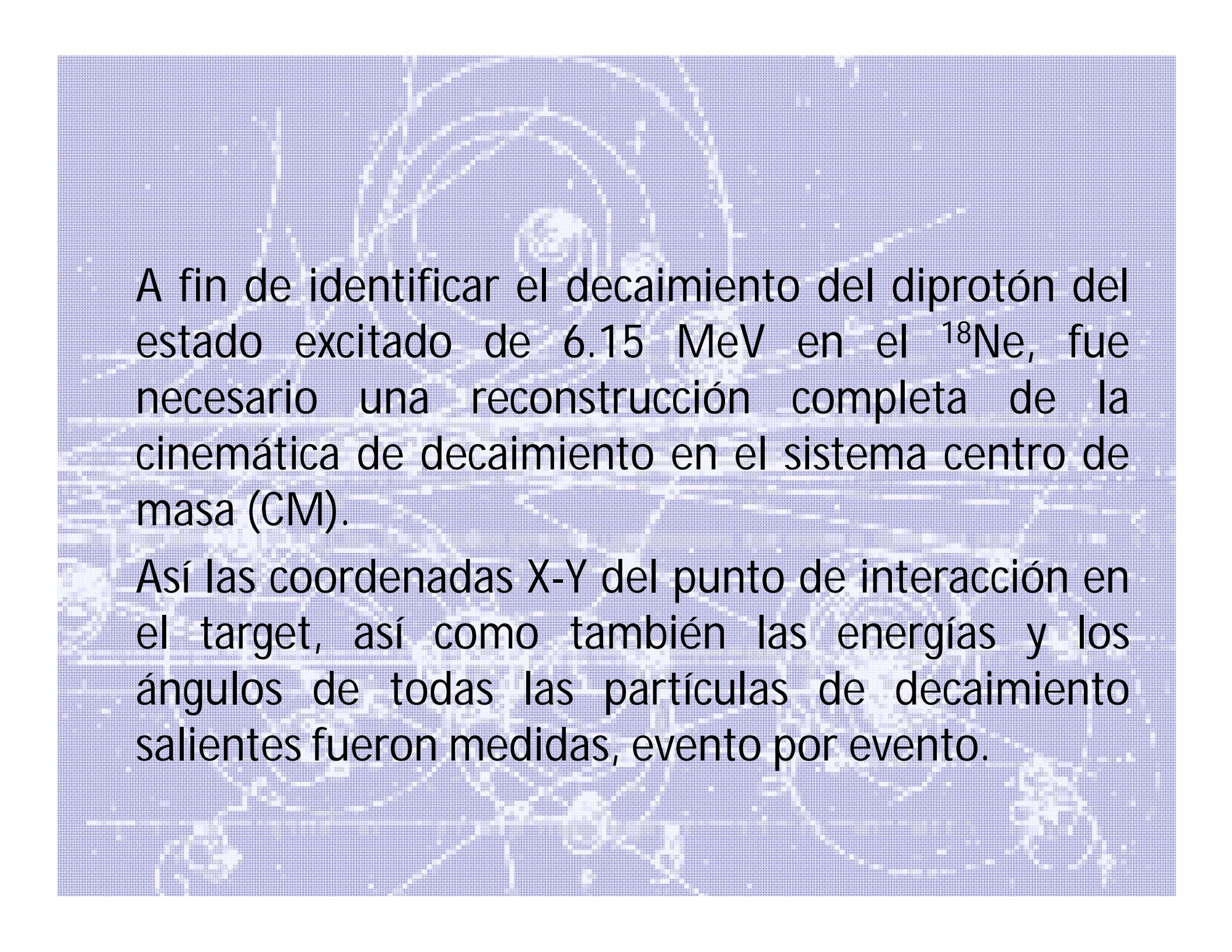


Créditos: [3]

Un **hodoscopio** (del griego "hodos" por camino o camino, y "skopos" un observador) es un instrumento utilizado en [los detectores de partículas](#) para detectar partículas cargadas que pasan y determinar sus trayectorias. Los hodoscopios se caracterizan por estar compuestos de muchos segmentos; La combinación de qué segmentos registran una detección se usa para inferir dónde pasó la partícula a través del hodoscopio. [4]



Análisis de datos



A fin de identificar el decaimiento del diprotón del estado excitado de 6.15 MeV en el ^{18}Ne , fue necesario una reconstrucción completa de la cinemática de decaimiento en el sistema centro de masa (CM).

Así las coordenadas X-Y del punto de interacción en el target, así como también las energías y los ángulos de todas las partículas de decaimiento salientes fueron medidas, evento por evento.

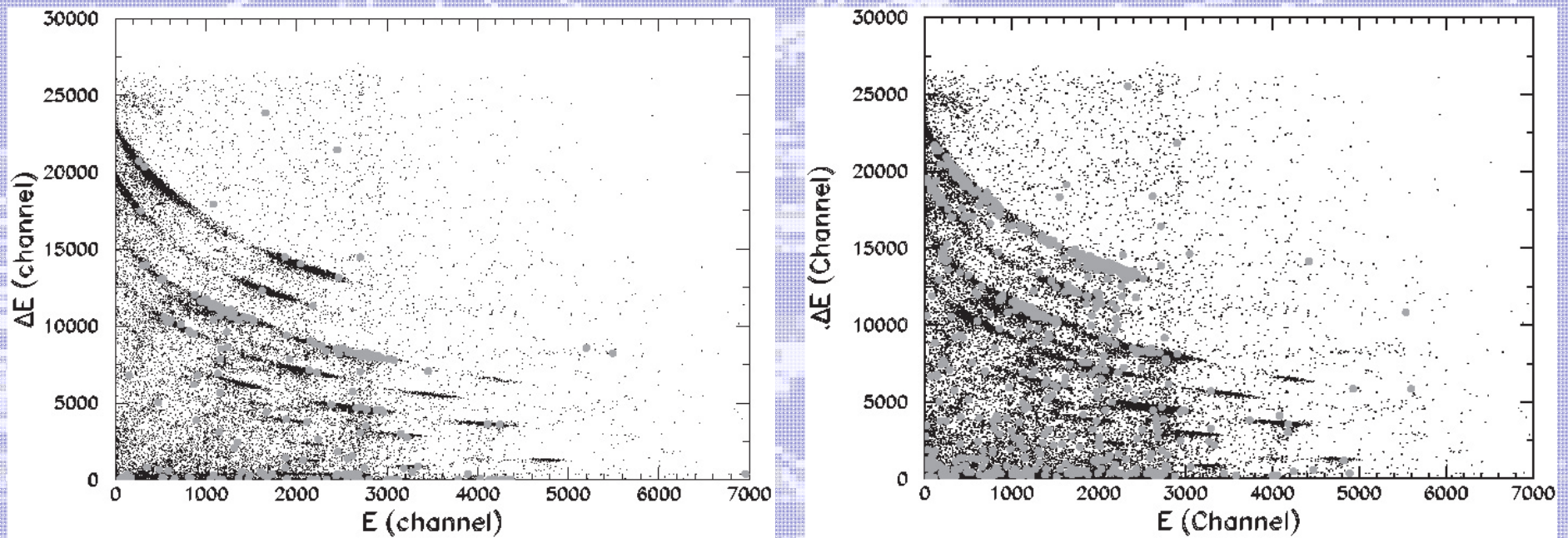
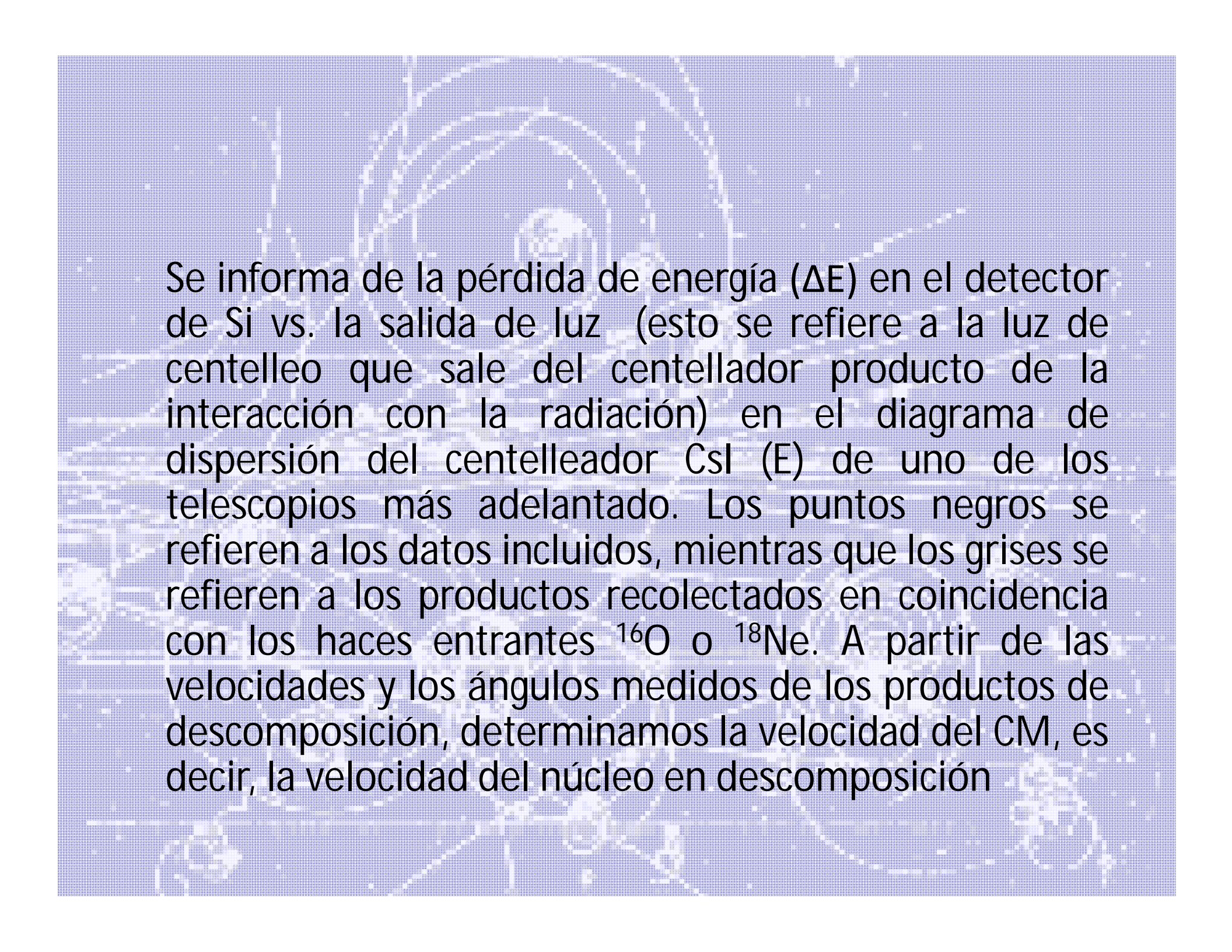
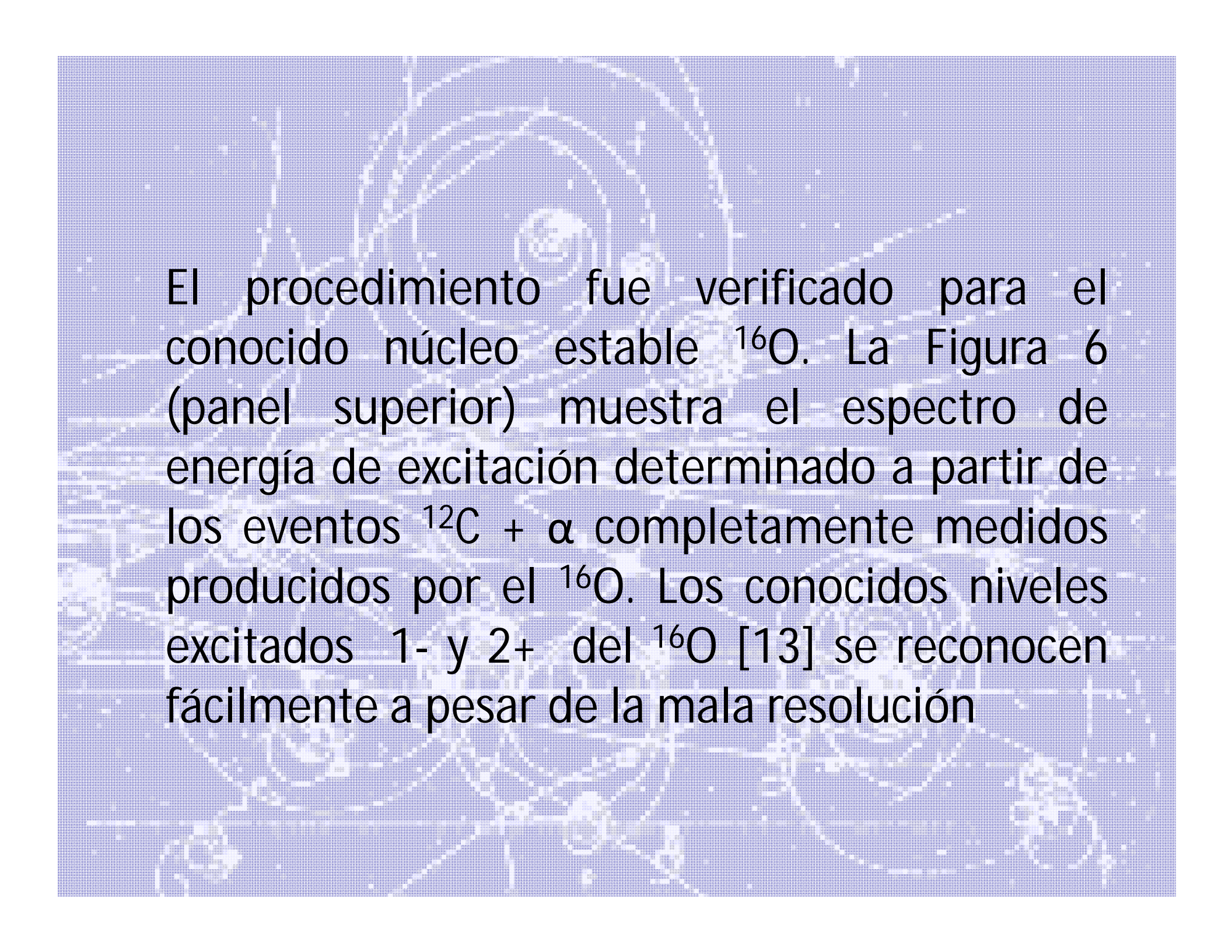


Figura 5. Projectile selection: black dots refer to inclusive data in a forward telescope whereas the gray ones refer to the products detected in the same telescope when the ^{16}O (top) and the ^{18}Ne (bottom) cuts are separately applied to the RIBs detected in the Si strip. [2]

The background of the slide is a grayscale image of a particle detector, likely a silicon strip detector. It shows a central vertical beam of particles passing through a series of concentric, semi-circular rings of detector strips. The image is somewhat blurry and has a halftone-like texture.

Se informa de la pérdida de energía (ΔE) en el detector de Si vs. la salida de luz (esto se refiere a la luz de centelleo que sale del centellador producto de la interacción con la radiación) en el diagrama de dispersión del centelleador CsI (E) de uno de los telescopios más adelantado. Los puntos negros se refieren a los datos incluidos, mientras que los grises se refieren a los productos recolectados en coincidencia con los haces entrantes ^{16}O o ^{18}Ne . A partir de las velocidades y los ángulos medidos de los productos de descomposición, determinamos la velocidad del CM, es decir, la velocidad del núcleo en descomposición



El procedimiento fue verificado para el conocido núcleo estable ^{16}O . La Figura 6 (panel superior) muestra el espectro de energía de excitación determinado a partir de los eventos $^{12}\text{C} + \alpha$ completamente medidos producidos por el ^{16}O . Los conocidos niveles excitados 1^- y 2^+ del ^{16}O [13] se reconocen fácilmente a pesar de la mala resolución

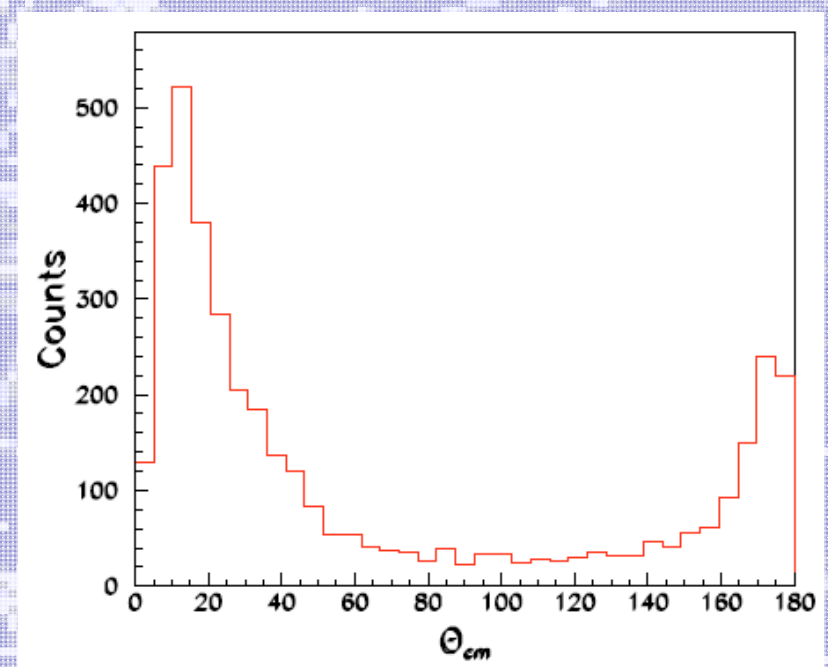
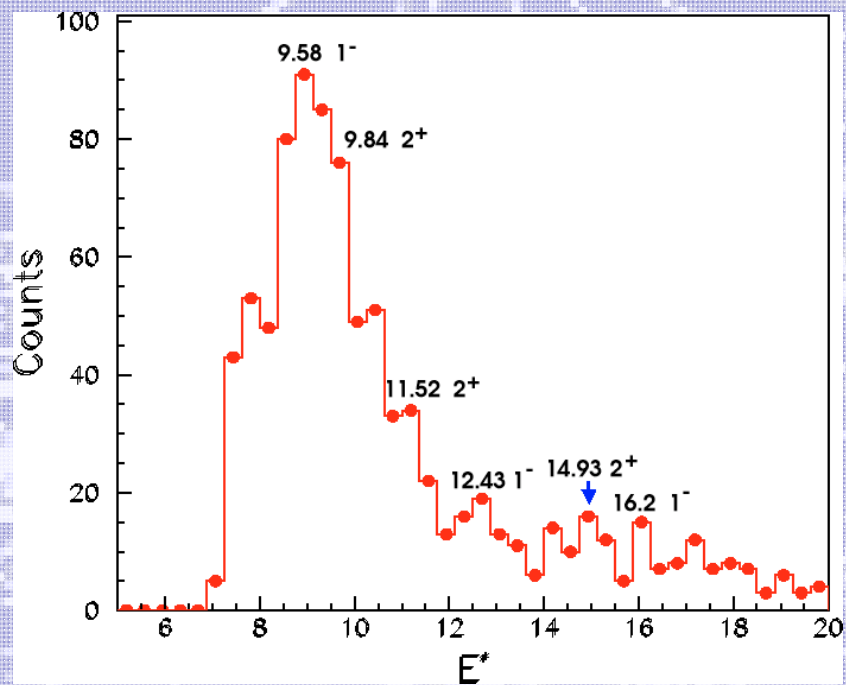
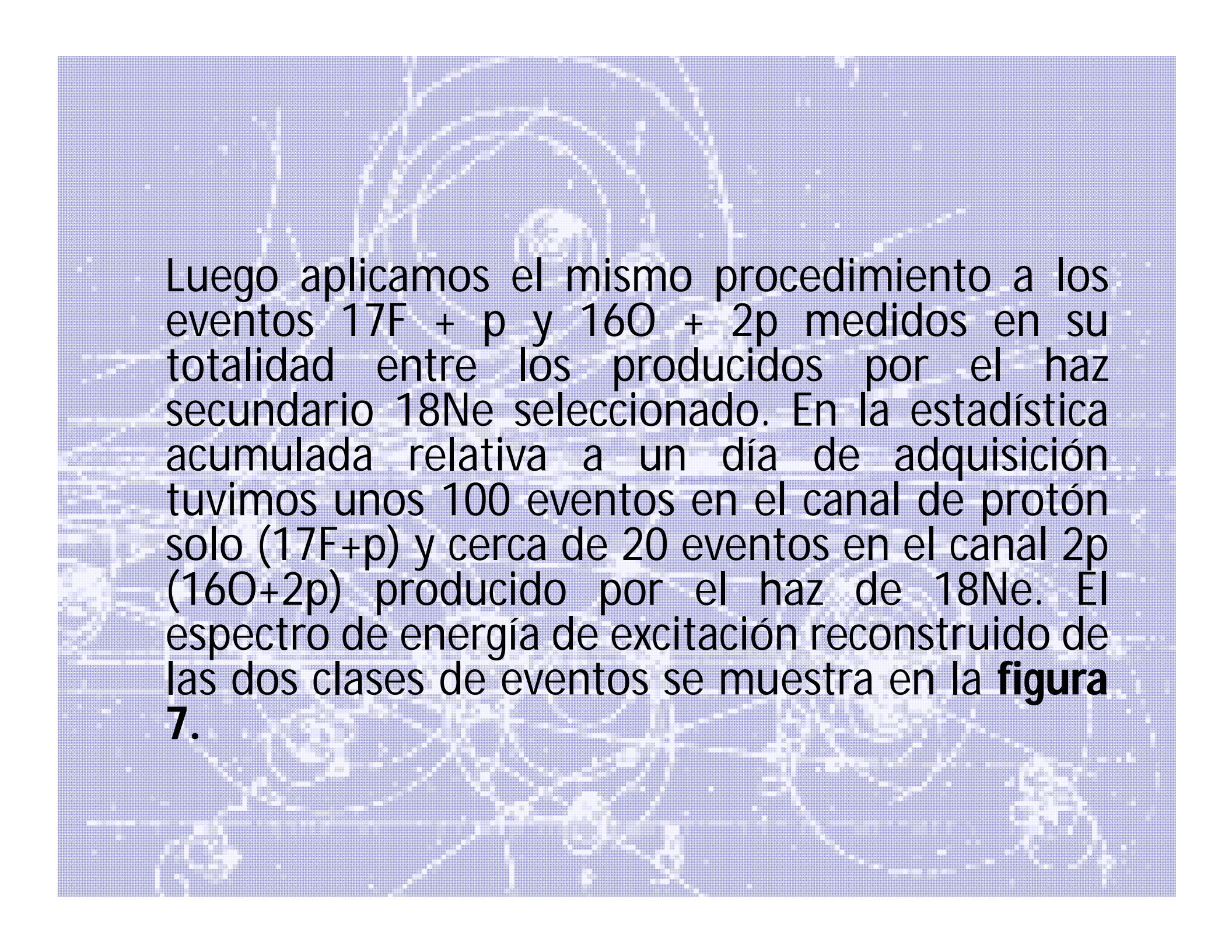


Figure 6. Top: Experimental excitation energy spectrum of ^{16}O obtained from the $^{12}\text{C}+\alpha$ events (levels from [13]); bottom: angular distribution in the center of mass of the ^{12}C and α decaying products. [2]



Luego aplicamos el mismo procedimiento a los eventos $^{17}\text{F} + \text{p}$ y $^{16}\text{O} + 2\text{p}$ medidos en su totalidad entre los producidos por el haz secundario ^{18}Ne seleccionado. En la estadística acumulada relativa a un día de adquisición tuvimos unos 100 eventos en el canal de protón solo ($^{17}\text{F} + \text{p}$) y cerca de 20 eventos en el canal 2p ($^{16}\text{O} + 2\text{p}$) producido por el haz de ^{18}Ne . El espectro de energía de excitación reconstruido de las dos clases de eventos se muestra en la **figura 7**.

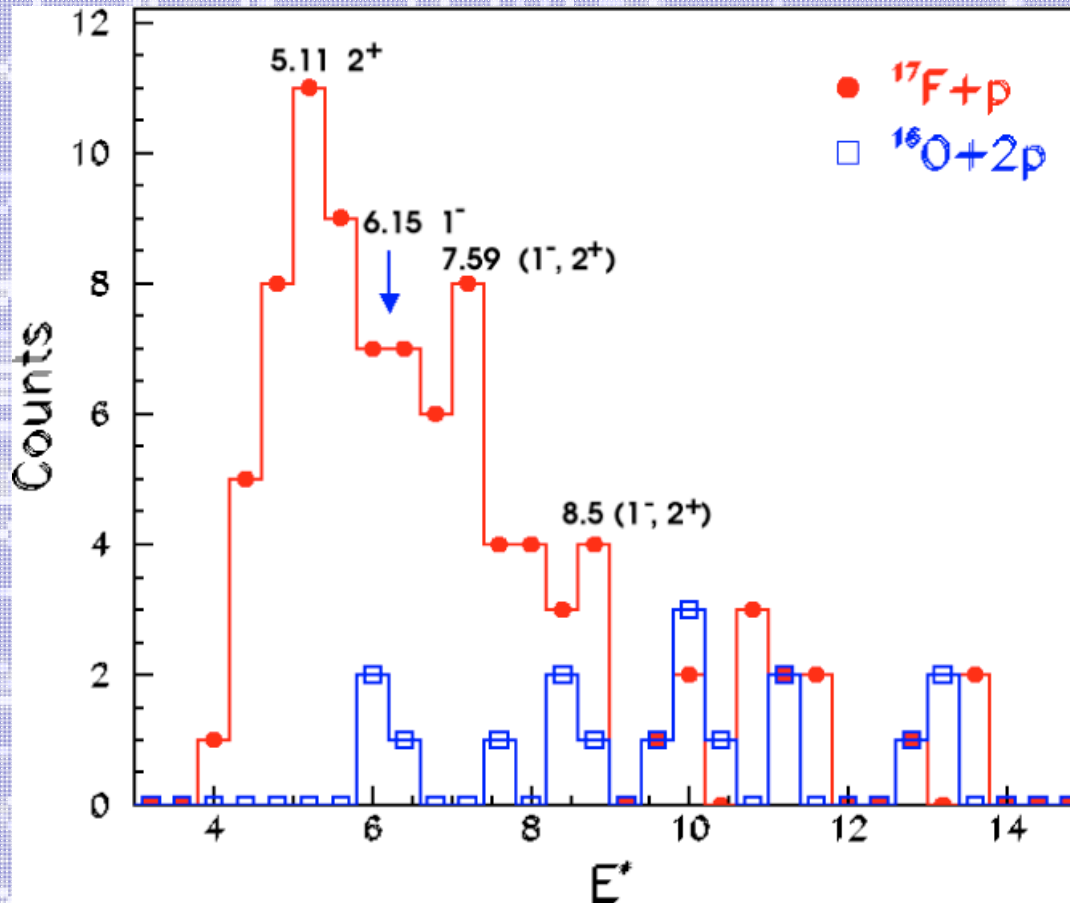
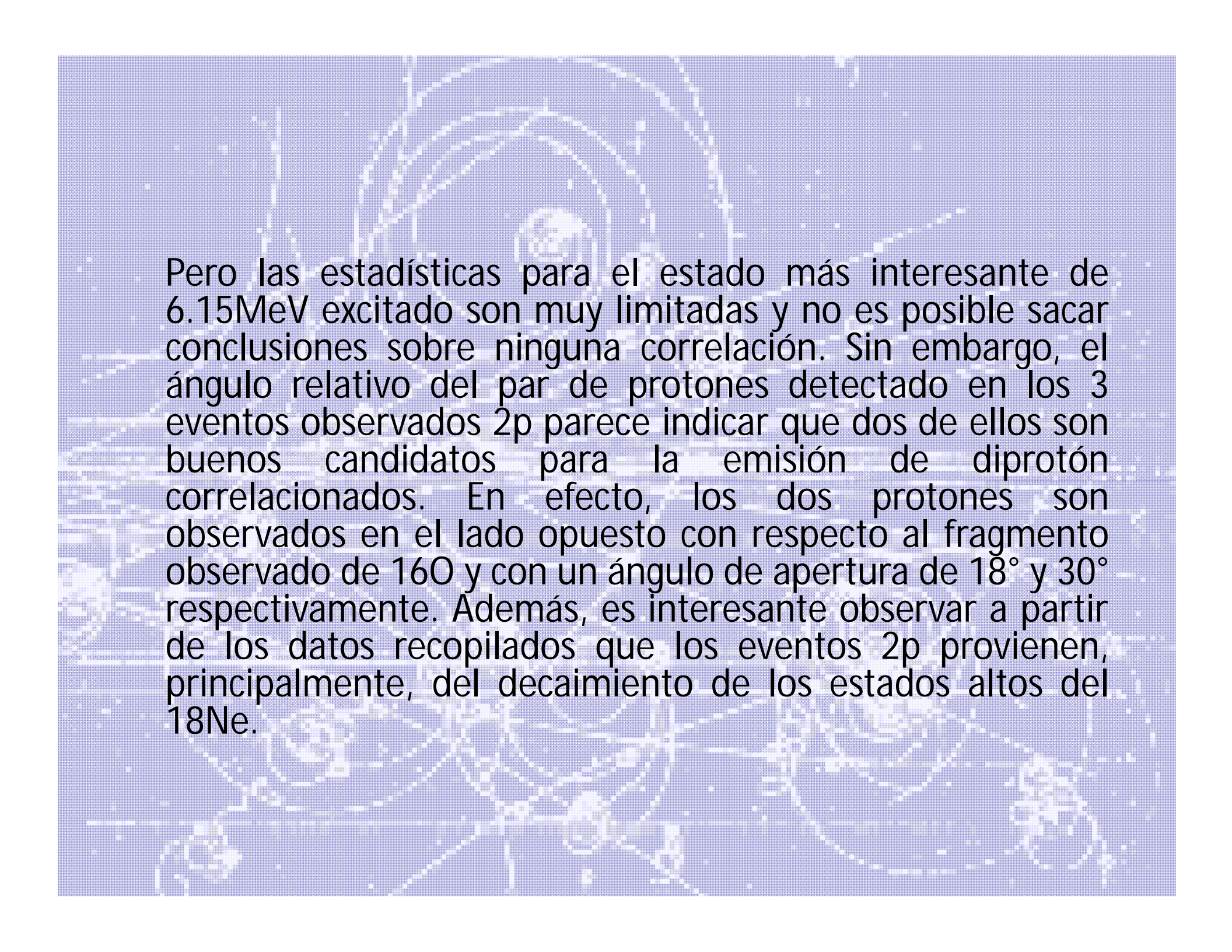


Figure 7. Top: Experimental excitation energy spectrum of ^{18}Ne obtained from the $^{17}\text{F}+p$ and $^{16}\text{O}+2p$ events [2]

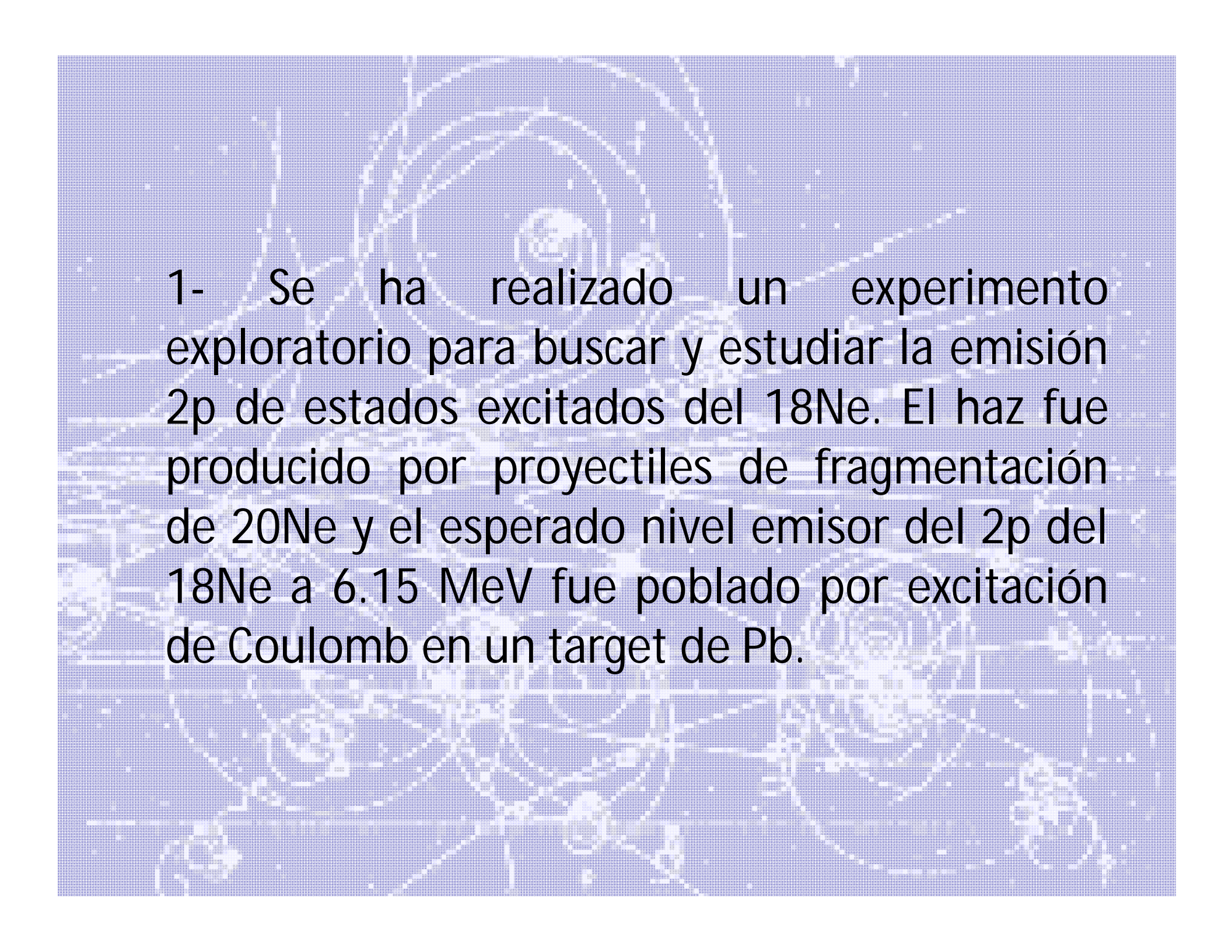
Para bajas energías los picos correspondientes al decaimiento de los estados excitados de 5.11 MeV (1^-) y 6.15 MeV (2^+) del ^{18}Ne son reconocidos aunque parcialmente superpuestos. Además de los primeros estados excitados, también los estados altos están, presumiblemente, presentes. Un par de ellos corresponde a estados conocidos en el ^{18}Ne , el 7.59 ($1^-, 2^+$) y el 8.5 ($1^-, 2^+$) además de los de las energías por encima de 9 MeV que aún no se reportan. Hemos encontrado 3 eventos $^{16}\text{O}+2p$ correspondientes a las energías de excitación de 6.01, 6.14 y 6.51 MeV, respectivamente. Esto acuerda, dentro de las incertidumbres, con el estado excitado a 6.15 MeV y representa una evidencia para el decaimiento simultáneo de dos protones de este estado del ^{18}Ne .



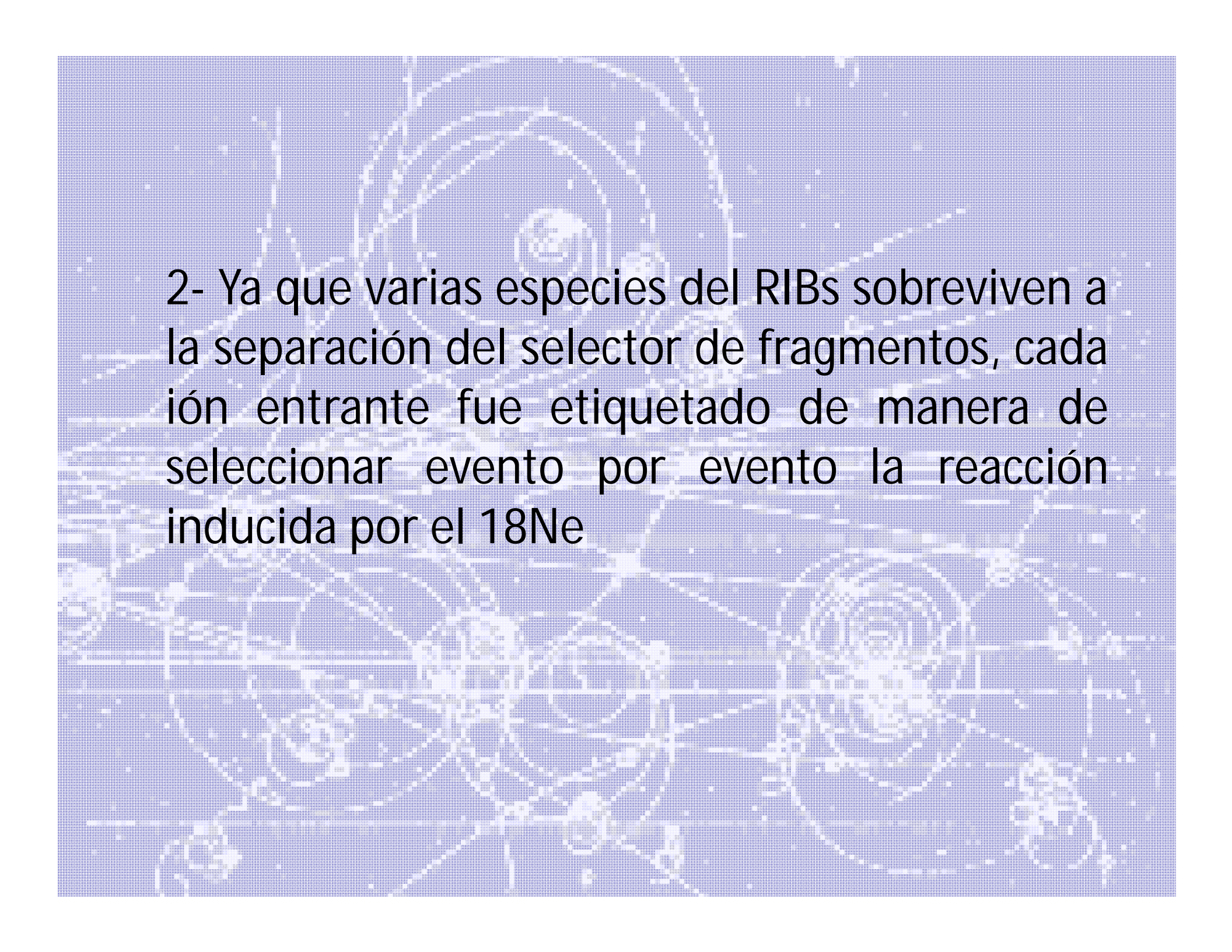
Pero las estadísticas para el estado más interesante de 6.15MeV excitado son muy limitadas y no es posible sacar conclusiones sobre ninguna correlación. Sin embargo, el ángulo relativo del par de protones detectado en los 3 eventos observados 2p parece indicar que dos de ellos son buenos candidatos para la emisión de diprotón correlacionados. En efecto, los dos protones son observados en el lado opuesto con respecto al fragmento observado de ^{16}O y con un ángulo de apertura de 18° y 30° respectivamente. Además, es interesante observar a partir de los datos recopilados que los eventos 2p provienen, principalmente, del decaimiento de los estados altos del ^{18}Ne .



Conclusiones



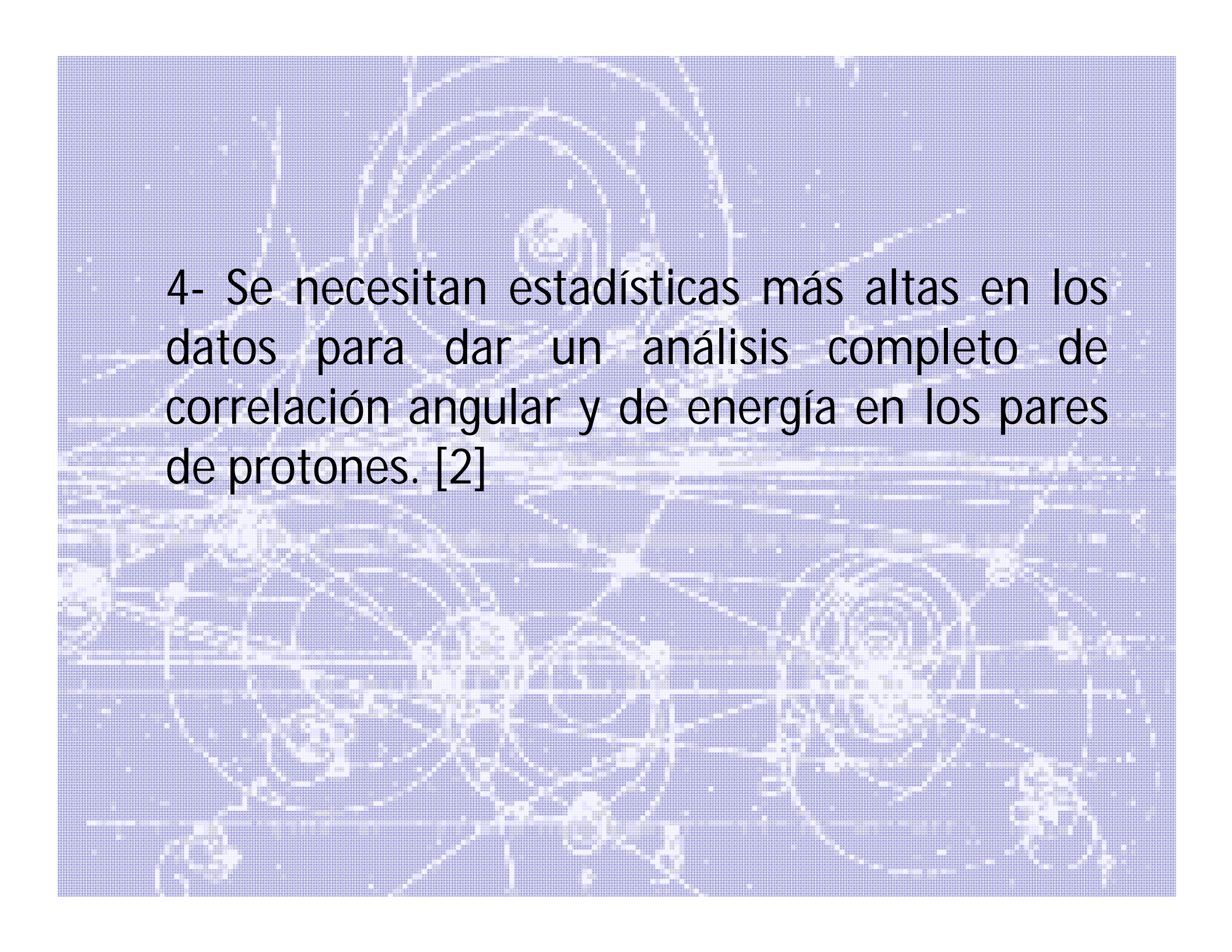
1- Se ha realizado un experimento exploratorio para buscar y estudiar la emisión 2p de estados excitados del ^{18}Ne . El haz fue producido por proyectiles de fragmentación de ^{20}Ne y el esperado nivel emisor del 2p del ^{18}Ne a 6.15 MeV fue poblado por excitación de Coulomb en un target de Pb.



2- Ya que varias especies del RIBs sobreviven a la separación del selector de fragmentos, cada ión entrante fue etiquetado de manera de seleccionar evento por evento la reacción inducida por el ^{18}Ne

3- Varios niveles del ^{18}Ne fueron identificados en el espectro de energía de excitación construido por reconstrucción cinemática a partir del $^{17}\text{F}+p$ y $^{16}\text{O}+2p$.

Entre ellos, 3 eventos de decaimiento simultáneo de $2p$ de la resonancia a 6.15 MeV fueron observados y dos de ellos son muy prometedores para la emisión de $2p$ correlacionadas




4- Se necesitan estadísticas más altas en los datos para dar un análisis completo de correlación angular y de energía en los pares de protones. [2]



FIN!!!!



Referencias

- 
- [1] "Emisión de dos protones en el modelo efectivo de la gota líquida".
Especial Nucleus. Agencia de Energía Nuclear y Tecnología de Avanzada
en Cuba ISSN 0864-084X. 2005
- [2] E. Rapisarda^{1,2}, F. Amorini³, L. Calabretta³, G. Cardella², M. De
Napoli^{1,2}, G. Raciti^{1,2}, and C. Sfienti^{1,2}. "¹⁸Ne diproton decay". 2007
- [3] N.V. Ampilogov*, I.I. Astapov, N.S. Barbashina, A.N. Dmitrieva, A.A.
Kovylyayeva, K.G. Kompaniets, A.A. Petrukhin, V.V. Shutenko, I.I. Yashin.
"Muon hodoscope with scintillation strips" . 2015
- [4] Wikipedia.