

Búsqueda de existencia del tetraneutron

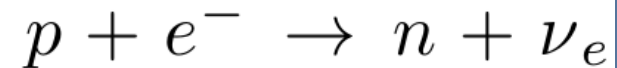
Introducción a la física nuclear

Santiago Affranchino
Abril 2019

Introduccion

Importancia del estudio de sistemas de multineutrones

En sistemas de muy alta densidad, como en el caso de estrellas de neutrones resulta energéticamente favorable la combinación de un protón y un electrón en un neutrón y un neutrino



Por esta razón para altas densidades la materia se torna mas abundante en neutrones: se tienen núcleos compuestos de muchos mas neutrones que protones, que serian inestables en condiciones normales.

Bajo estas condiciones las interacciones entre neutrones resultan de gran importancia, ya que podrían llevar a apareamiento como bosones, permitiendo estados condensados y efectos de superfluidez y superconductividad.

En el estudio de núcleos con una relación N/A muy grande resultan de gran interés los casos extremos de núcleos formados solos por neutrones . Se sabe que:

- Un neutrón libre decae en un protón, un electrón y un antineutrino en aproximadamente 16 minutos.
- Un dineutrón es un sistema no ligado, con una energía de separación negativa muy pequeña.
- Existe fuerte evidencia experimental y teórica en contra en contra de la existencia de un estado ligado de tres neutrones. La existencia de estados de trineutrones como resonancias es debatida.

La búsqueda del estado del tetra neutrón comenzó hace más de 50 años, usando una gran variedad de técnicas y reacciones. Sin embargo no se encontró evidencia suficiente de un estado ligado o resonancia de $4n$, aunque un estudio de 1986 afirmó su observación experimental en la interacción de partículas alfa de 100 MeV con núcleos de uranio.

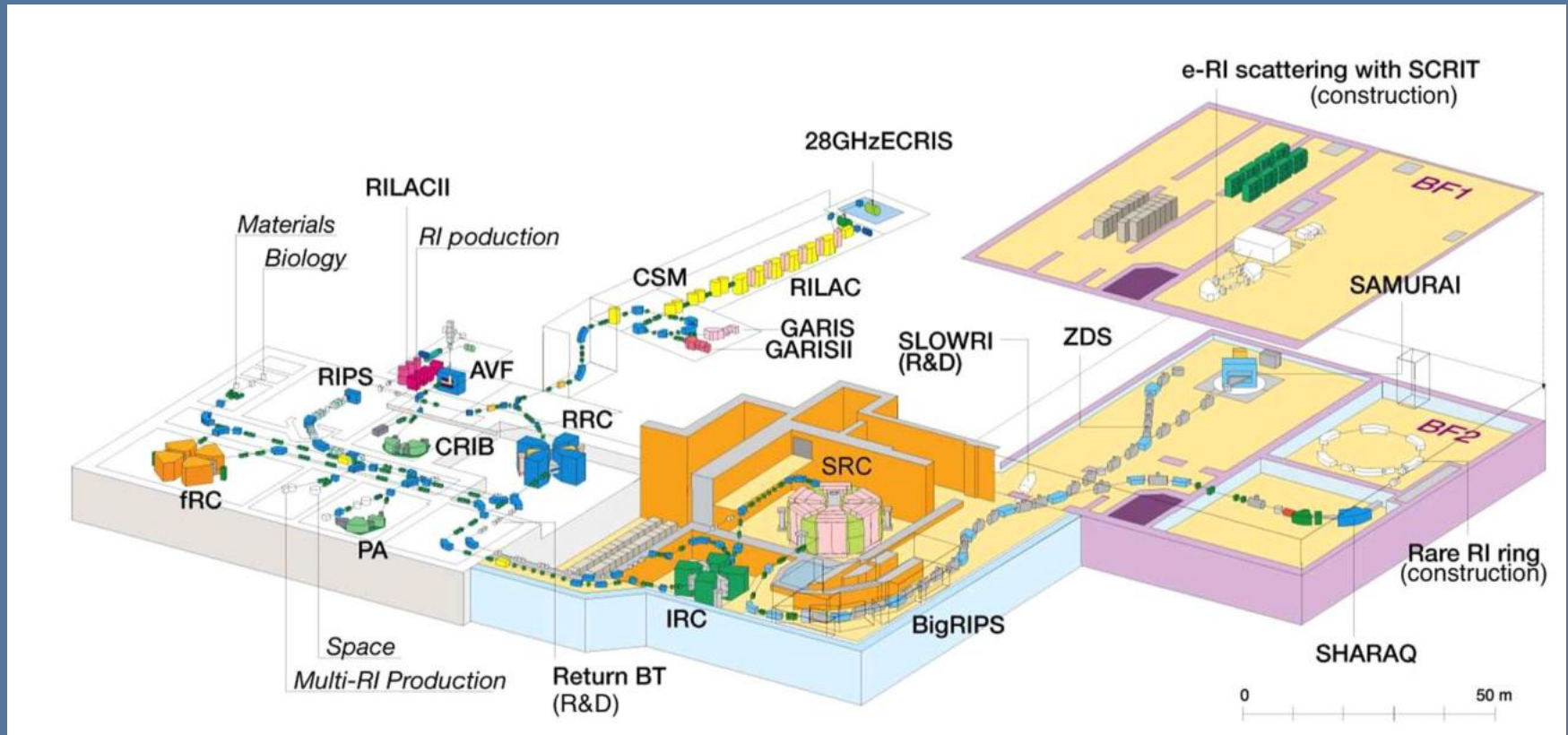
Sin embargo hubo poco éxito en confirmar la existencia del tetra neutrón ,
y los modelos de la estructura nuclear y la interacción n-n aceptados parecían indicar que la existencia de un tetra neutrón como estado ligado era casi imposible.

Nuevos resultados experimentales volvieron a despertar el interés en esta clase de sistemas. En 2002 un estudio del decaimiento de ^{14}Be encontró una pequeña cantidad de eventos que resultaban consistente con la detección de sistemas ^4n . Si bien este resultado estuvo relativamente aislado se comenzó a estudiar la posibilidad usando métodos teóricos nuevos, incluyendo modelos ab initio construyendo el núcleo desde los neutrones que lo componen.

Finalmente en 2016 se encontró el resultado mas prometedor hasta el momento en la instalación RIKEN utilizando la técnica de rayos de isotopos radioactivos con la reacción $^4\text{He}(^8\text{He}, ^8\text{Be})$. A continuación se describirá este experimento y algunos de los estudios posteriores relacionados.[1]

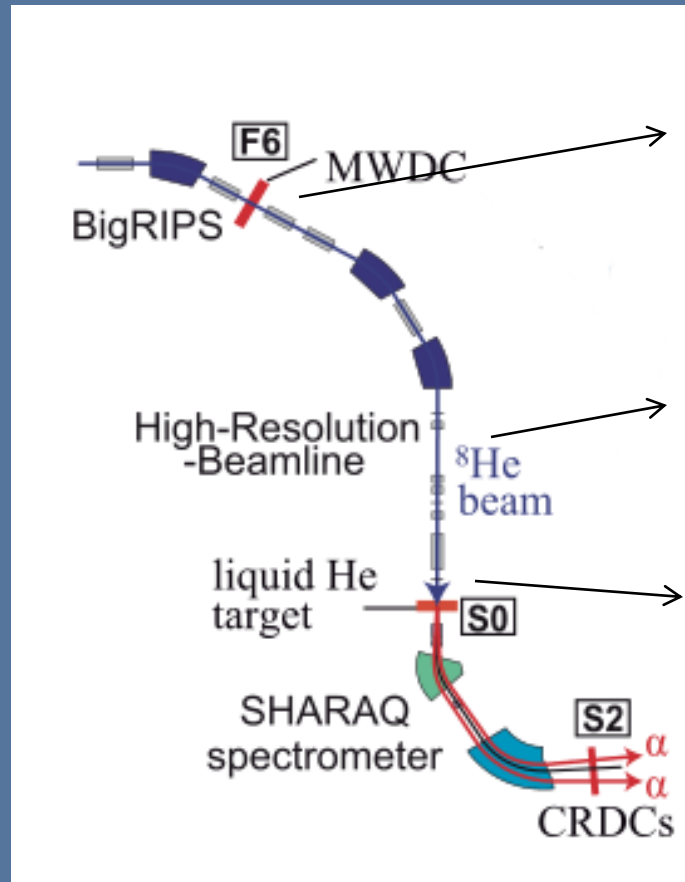
Descripción del experimento

El experimento fue hecho en la Fabrica de Rayos de Iones Radioactivos (RIBF) en la instalacion RIKEN, Saitama, Japon. Esta instalacion funciona desde 2007



El diseño experimental es el siguiente:

Un haz primario de ^{18}O choca con un objetivo de Berilio generando un haz secundario de ^8He que a su vez choca con un objetivo de Helio liquido, buscando la reacción con ^4He



Objetivo de Berilio

Haz ^8He
intensidad: 186 MeV/u
99,3% pureza

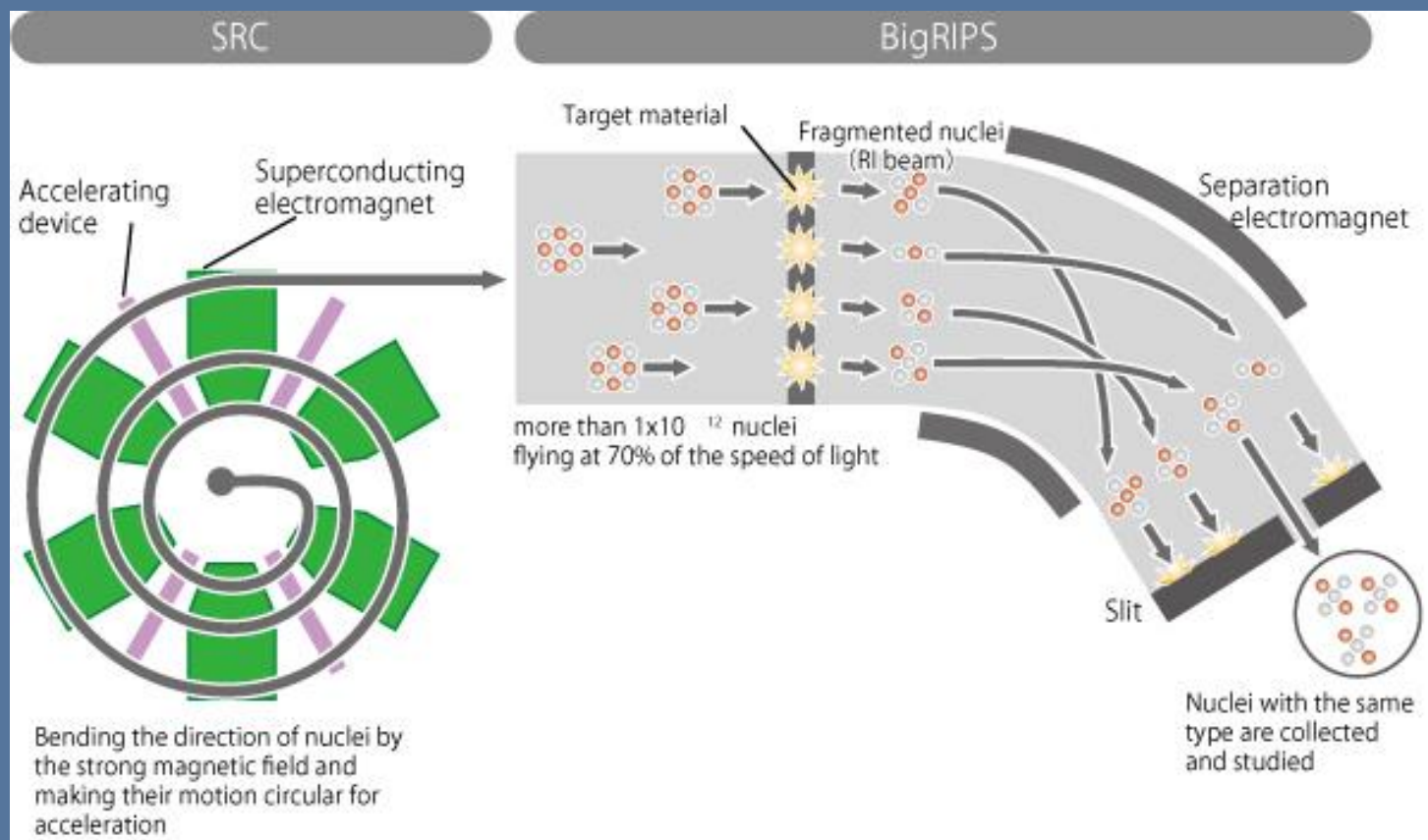
Objetivo Helio liquido



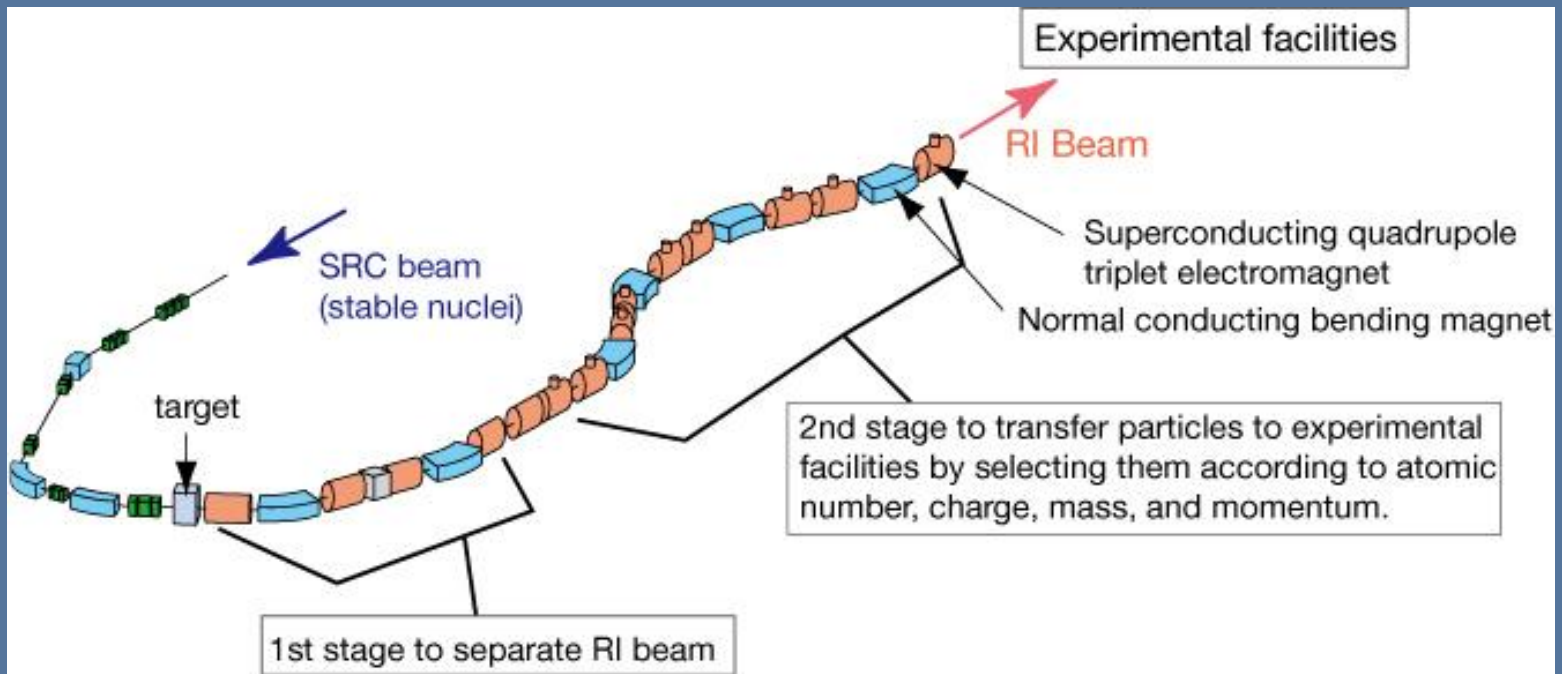
Haz ^{18}O con intensidad:

230 MeV/u

El dispositivo BigRIPS permite generar y filtrar el haz de isotopos radioactivos ^8He del haz primario proveniente del ultimo acelerador SRC [2].

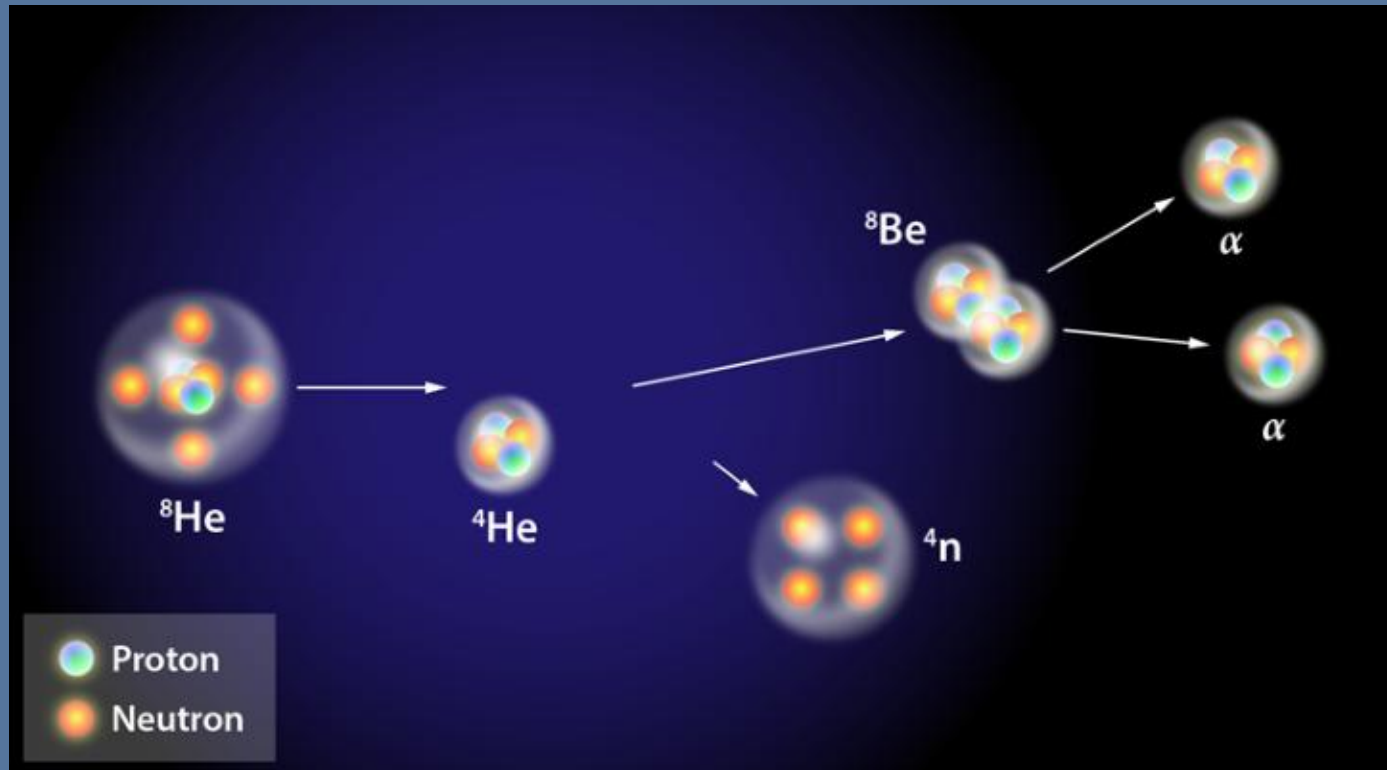


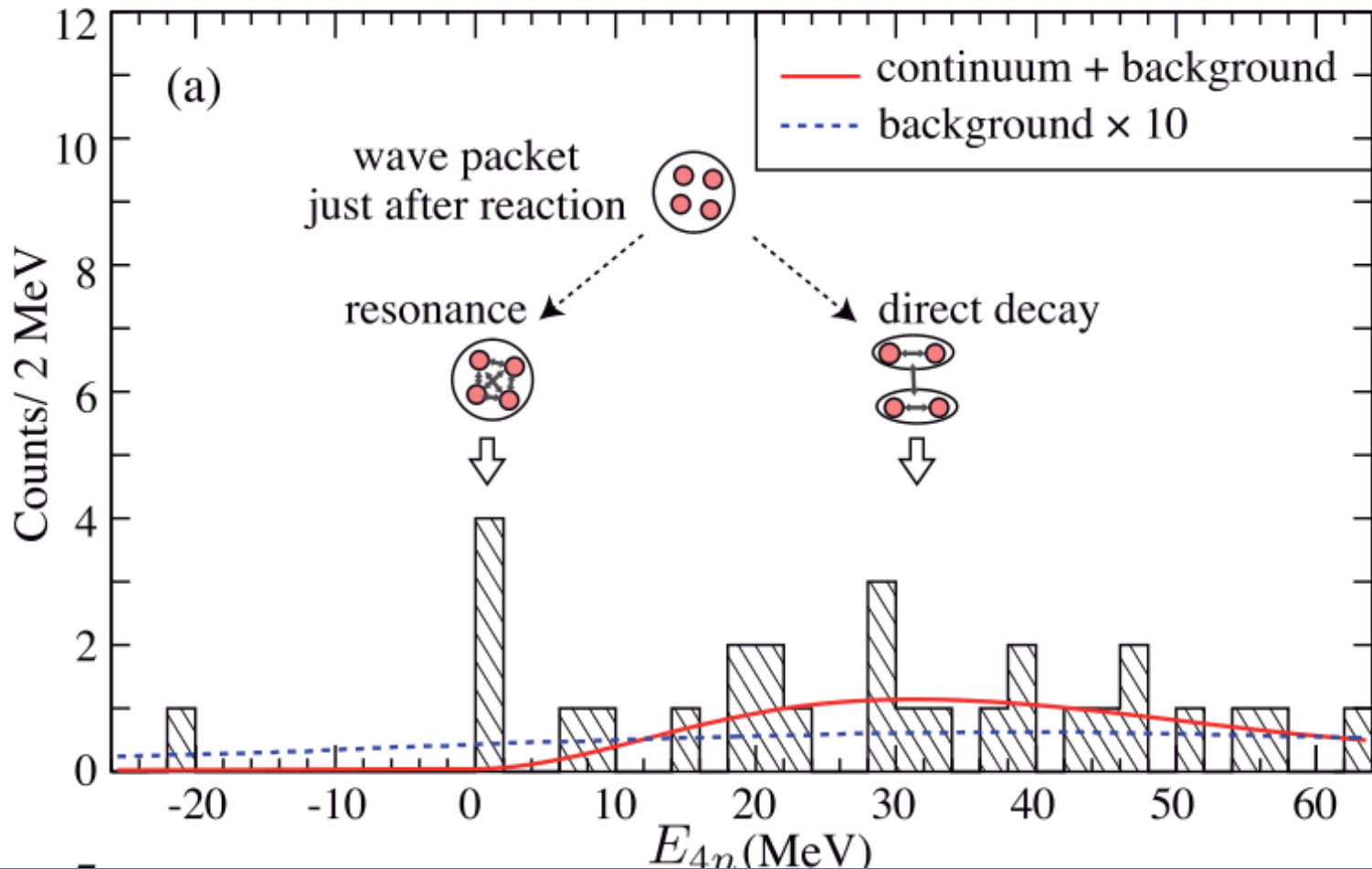
En la segunda etapa el BigRIPS permite posible seleccionar las partículas que serán relevantes para las observaciones mediante criterios impuestos. En el experimento se filtraron los eventos que no provienen de la reacción que se busca estudiar ${}^4\text{He}({}^8\text{He}, {}^8\text{Be})$.



La reacción que se busca ${}^4\text{He}({}^8\text{He}, {}^8\text{Be})$ resulta en ${}^8\text{Be}$ que decae en dos partículas alfa o en el esperado $4n$.

Esta reacción tiene dos características muy importantes para este estudio: La transferencia de momento de “recoil” al 4n es casi nula y las dos partículas alfa producidas en el decaimiento del ${}^8\text{Be}$ tiene una energía pequeña y bien definida.





El historiógrama obtenido muestra un pico marcado en la region de 0 a 2 MeV que no puede explicarse con el ajuste que no considera estados ligados o resonancias (rojo)

El experimento tiene las siguientes complicaciones:

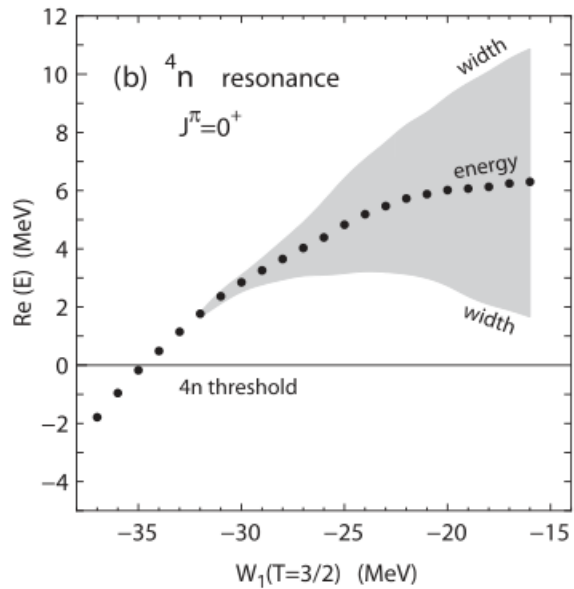
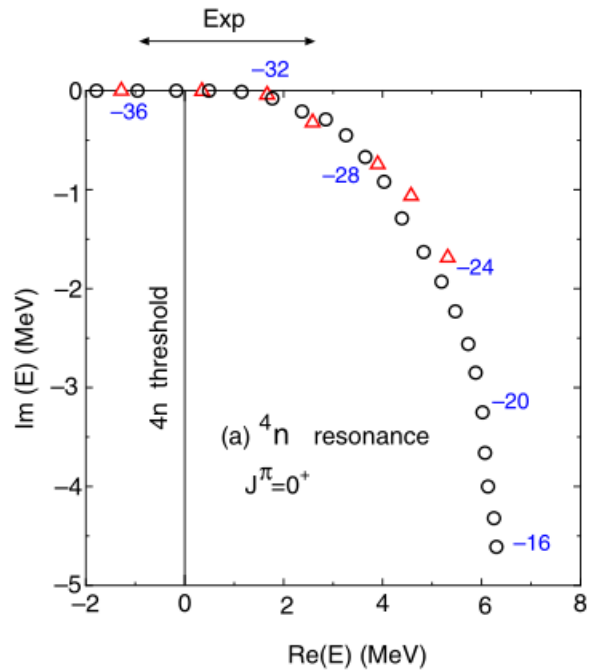
- El haz, a pesar de ser el mas intenso de disponible ${}^8\text{He}$ (2×10^6) es todavia mucho menor que los haces disponibles para nucleos estables.
- La seccion eficaz de ${}^4\text{He}({}^8\text{He}, {}^8\text{Be})4n$ es muy pequeña (4 nanobarns), aproximadamente 5 ordenes de magnitud por debajo de valores típicos para experimentos de haces radioactivos.

Por estas razones a pesar de una semana de observaciones solo se encontraron 4 eventos en el rango de energía de correspondiente a 4n .

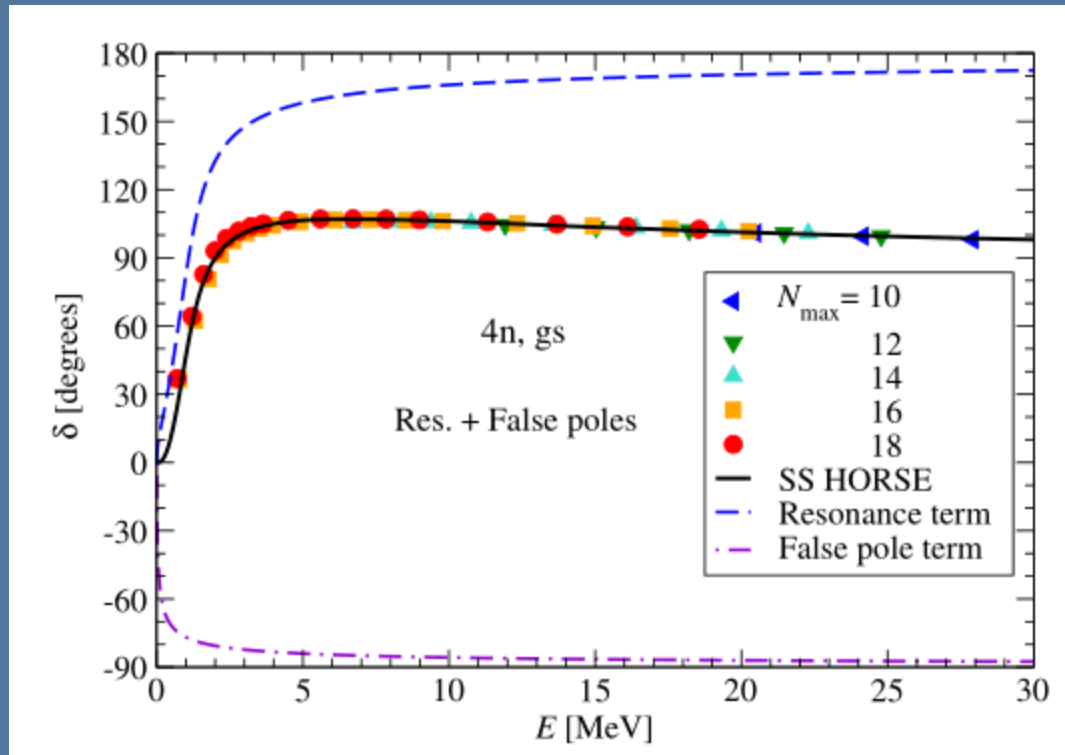
La presencia de solo 4 eventos puede parecer de poca importancia, pero el análisis estadístico del espectro de fondo da que estos la presencia de estos cuatro eventos tiene una significancia estadística de $4,9 \sigma$. Este valor es muy bueno considerando que 5σ es el criterio típico para afirmar un descubrimiento. Aun así, debido a las limitaciones de los resultados, llegan a la conclusión de que estos 4 eventos representan un “candidato” a estado resonante.

Obtienen de esta manera un candidato a estado resonante ubicado en $E = 0.8 \pm 0.65 \text{ (stat)} \pm 1.25 \text{ (sist)} \text{ MeV}$. Con un ancho de $\Gamma = 2.6$.

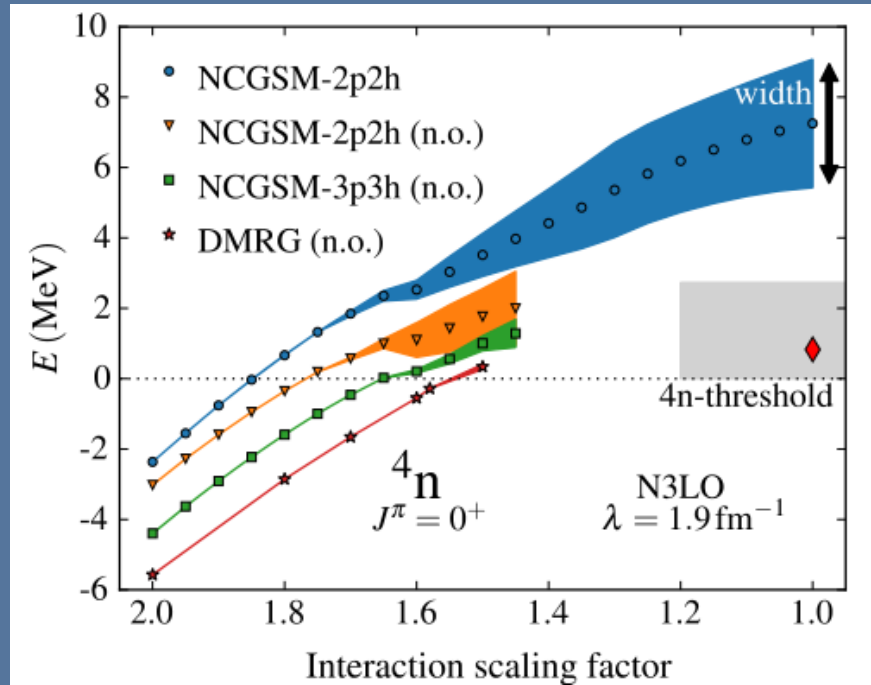
Impacto en modelos teóricos



Modelo que intenta de explicar la presencia de este polo mediante interacciones de tres cuerpos. Llega a la conclusión de que se necesitaría una fuerza de tres cuerpo muy grande, lo que contradice otros resultados experimentales.[3]



Modelo Ab Initio de cuatro neutrones con el Modelo No Core Shell Model.
Predice una resonancia con una energía aproximada $E = 0.8$ MeV.[4]



Modelo similar al anterior encuentra discrepancias con el ancho predicho para interacciones entre neutrones de intensidad razonable con otros resultados experimentales conocidos.[5]

Conclusiones

- El estudio de sistemas multinucleones es de gran interés ya que da una visión mas clara de la interacción entre neutrones.
- La existencia de tetraneutrones ya sea como resonancia necesita mayor evidencia experimental.
- Los modelos necesarios para explicar esta resonancia tienen que considerar interacciones entre neutrones que desafían las teorías actuales.

Referencias

1. K. Kisamori et al., Phys. Rev. Lett. 116, 052501 (2016).
2. <http://www.rarf.riken.go.jp>
3. E. Hiyama et al., Phys. Rev. C 93, 044004 (2016).
4. A.M. Shirokov, et. al., Phys. Rev. Lett. 117, 182502 (2016).
5. K. Fossez et al., Phys. Rev. Lett. 119, 032501 (2017)
6. R Y Kezerashvili , [arXiv:1608.00169](https://arxiv.org/abs/1608.00169) [nucl-th] (2016).
7. N. Orr, Physics 9, 14 (2016)