

## Práctica de Laboratorio **Breve introducción a la utilización de LISE++**

Tutores: David Rodriguez, Lola Cortina, César Domingo.

*El objetivo de esta práctica es iniciar al alumno a las reacciones de fragmentación para la producción de haces radioactivos y a cálculos de transmisión y pureza de los isótopos deseados, usando el código LISE++ como ejemplo. LISE++, desarrollado por O. Tarasov y D. Bazin en MSU, es un código que permite configurar los parámetros del separador de fragmentos y optimizarlo para producir, seleccionar y transmitir un núcleo exótico o un "cocktail" de estos hasta un plano focal final, donde típicamente se realiza el experimento correspondiente (medida de su desintegración beta, excitación-desexcitación gamma, medida de emisión de partículas, etc.) Se considera en particular el caso de reacciones de fragmentación en combinación con el separador de fragmentos FRS de la instalación GSI (Alemania).*

**Nota:** Antes de seguir leyendo, comprueba en indico (<https://indico.ific.uv.es/event/7324/contributions/22255/>) si hay una versión actualizada de esta práctica.

### **Bibliografía**

1. H.Geissel et al., "The GSI projectile fragment separator (FRS): a versatile magnetic system for relativistic heavy ions", Nucl. Instrum. Methods B 70 (1992) 286-297.
- 2.- O.B.Tarasov, D.Bazin "LISE++: Radioactive beam production with in-flight separators" Nucl. Instrum. Methods B 266 (2008) 4657-4664
- 3.- O.B.Tarasov, D.Bazin "LISE++ : design your own spectrometer" Nucl. Phys. A746 (2004) 411-414
- 4.- Additional documentation can be found online at:  
<http://groups.nscl.msu.edu/lise/lise.html>  
<http://web-docs.gsi.de/~frsgast/>  
<http://www-w2k.gsi.de/frs-setup/>

### **Materiales**

Esta práctica se impartirá **en remoto durante la primera semana** del curso de máster. Por lo tanto, el alumno debe tener instalado el software de LISE++ que puede encontrar aquí (seleccionar el Download Link correspondiente): <https://lise.nscl.msu.edu/download/download.html>. En la siguiente figura se muestra una imagen de la pantalla de descarga donde aparecen las diferentes versiones de descarga según el sistema operativo Windows, Linux o macOS:

## Downloads

### LISE<sup>CUTE</sup>++ package

| System  | Description                     | Download Link                                                     | Other                                                         |
|---------|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Windows | LISEcute++ v.17.0<br>11/11/2023 | <a href="#">MSVC-compiler</a> ,<br><a href="#">MinGW-compiler</a> | <a href="#">previous versions</a>                             |
| Linux   | LISEcute++ v.17.0<br>11/11/2023 | Debian,<br>Universal                                              | <a href="#">Readme</a> ,<br><a href="#">previous versions</a> |
| macOS   | LISEcute++ v.17.0<br>11/11/2023 | Universal                                                         | <a href="#">previous versions</a>                             |

## Utilities

| Name                        | Description                                                                                                                                                                                            | Download Link        | Other                             |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| LISE RayReader              | A plotting tool that takes Monte Carlo simulated data from the LISE++ program and plots it using Matplotlib in Python. Allows for 1-D, 2-D, and 3-D plots to be compared simultaneously.<br>01/04/2022 | <a href="#">v1.0</a> | <a href="#">readme</a>            |
| FRIB Logo                   | Animated FRIB logo application created with QT Design Studio (beta-version)<br>11/06/2023                                                                                                              | <a href="#">v1.0</a> |                                   |
| LISE Open Version (Windows) | LISEcute++ v.17.0 No installation (zip)<br>11/11/2023                                                                                                                                                  | <a href="#">MSVC</a> | <a href="#">previous versions</a> |



Created 2023 by A.O Tarasova, LISE group @ FRIB/MSU

La versión actual es 17.0.0, también denominada LISEcute++. Es necesario llegar a la práctica con LISE instalado en vuestro propio ordenador. Si alguien tiene problemas con la instalación del software se debe poner en contacto con los tutores **al menos con un día de antelación**. El alumno puede empezar a familiarizarse con el software utilizando el fichero **LISE\_beginning\_v2.lpp** que puede encontrar en la sección de materiales en la web de la práctica.

En Ubuntu Linux si la aplicación “Software Installer” no funciona con el fichero .deb descargado, se puede instalar desde una terminal usando los siguientes comandos:

```
sudo dpkg -i /absolute/path/to/deb/file.deb/lise-app_17.0.0-XXXXXXX.deb
sudo apt-get install -f
```

lise-app\_17.0.0-XXXXXXX.deb es el fichero que se descarga (Debian) en la página de descargas anterior (el nombre puede variar).

**HORARIO y Conexión ZOOM (CONECTA) para la práctica:**

**La práctica de LISE++ se impartirá martes, miércoles y jueves (tres grupos diferentes) de 14:30 a 18:30 en el siguiente link de zoom:**

Tema: Practica LISE++

Entrar a la reunión en el siguiente link: <https://conectaha.csic.es/b/ces-icj-gj1-vz4>

## Comienzo:

### 1. Familiarízate con el entorno de trabajo.

Para empezar, entra en tu directorio de trabajo donde hayas descargado el fichero de LISE, por ejemplo:

**[Desktop]/MasterInteruniversitario/TecnicasAvanzadasFisicaNuclear/PracticaLISE/**

Haz doble click en el fichero de inicio que encontrarás en ese directorio: **LISE\_beginning\_v2.lpp**

2. Ajusta el separador de fragmentos siguiendo las indicaciones de la presentación anterior del tutor, y calcula las producciones entorno al fragmento de interés ( $^{96}\text{Cd}$ ).

3. Para familiarizarte con el entorno LISE++, elige otro núcleo de interés, ajusta el separador, optimiza el target de producción, etc y comprueba la producción de dicho isótopo.

→ Comprueba cómo disminuyen las tasas de producción a medida que te alejas del valle de estabilidad beta para una misma cadena de isótopos.

→ Comprueba en el *National Nuclear Data Center* <http://www.nndc.bnl.gov/chart/> qué información existe de los isótopos disponibles. Intenta producir alguno de los más exóticos, ¿qué información experimental encuentras para él?, ¿qué tasas de producción obtienes con LISE++?

### PRODUCCIÓN de un isótopo radioactivo de interés.

**Busca la mejor combinación {haz primario - target} para optimizar la producción de  $^{96}\text{Cd}$ :**

4. Comprueba la producción y la transmission de  $^{96}\text{Cd}$  usando un haz primario de  $^{124}\text{Xe}$  (@750MeV/u) [beam intensity: 5E9 p/s] con 4g/cm<sup>2</sup>  $^{\text{nat}}\text{Pb}$  target de producción → debería dar aproximadamente 1E-2 p/s con una transmisión de entorno a 69%;

5. Busca el espesor óptimo para el target de producción siguiendo **Calculations** → **Optimum Target**;

6. Calcula las nuevas tasas de producción y toma nota de ellas; Explora qué **producciones** obtienes para otros materiales del **blanco primario de producción (target)**. El área experimental donde se encuentra el target de producción es una zona “caliente” y uno generalmente no puede cambiar de target arbitrariamente de un experimento a otro. Por ello hay un cierto número de targets disponibles por control remoto. Elige el target más apropiado para producir  $^{96}\text{Cd}$  de los que hay actualmente accesibles en el GSI:

<https://wiki.gsi.de/pub/FRS/TargetAreaTarget2/TS2ET2-list-18Feb2020.pdf>

7. ¿Cómo cambia la **transmisión a medida que cambiamos la energía del haz primario** (0.1 – 1 GeV/u) para un mismo espesor del target? Toma varios puntos para dibujar posteriormente una gráfica.

8. Manteniendo la energía inicial del haz (750 MeV/u), encontrar la **mejor combinación de haz primario** (mirar en la tabla adjunta la lista de haces disponibles y sus intensidades) **y de target disponibles**.

**SELECCIÓN: Obtener un haz puro de  $^{96}\text{Cd}$  en el último plano focal del FRS (S4).**

**Nivel de pureza en el que los contaminantes están al menos 2 órdenes de magnitud por debajo del isótopo de interés.**

9. Una vez hayas encontrado la mejor combinación beam/target déjala fija para el resto de la práctica.

Inspecciona ahora las **tasas totales de conteo** en cada plano focal donde hay detectores de tracking (S2 y S4).

Para ello haz una modificación temporal del diseño del espectrómetro insertando una *Faraday-Cup* en cada uno de estos puntos para obtener las tasas totales locales. Para calcular las tasas totales, uno debe utilizar el botón de “All nuclei” en la barra de menú superior de LISE++. Lee el valor de las tasas totales en la parte inferior de la ventana de LISE++ (“Sum=...”).

10. ¿Cuáles son los principales contaminantes en cada plano focal? Dibuja las distribuciones espaciales (X) y guarda las gráficas correspondientes.

→ Aprovecha la dispersión que sufren los contaminantes tras cada dipolo magnético para eliminarlos del haz cortándolos con las “slits”.

11. Obtén las nuevas distribuciones espaciales después de haber “purificado” el haz con las slits. Compáralas con las anteriores.

*Generalmente es necesario acotar las tasas totales de conteo en los planos focales intermedio (S2) y final (S4), debido a que los detectores de tracking pueden verse deteriorados por la dosis de radiación recibida (los centelleadores en S2 no deben superar contajes de 3 MHz), o en algunos casos puede aumentar excesivamente el tiempo muerto de la medida o verse reducida la eficiencia por problemas de apilamiento de pulsos (pile-up) en la cámara de ionización que se emplea para la medida del número atómico de los iones (Z). Esto último implica limitaciones de 10 kHz en S4.*

12. Intenta **eliminar los contaminantes jugando con las slits** dispuestas a lo largo del FRS. ¿Qué tasas totales de conteo alcanzas en S2 y en S4?. ¿Crees que –si fuera posible- sería conveniente eliminar completamente los contaminantes? o crees que, manteniéndolos por debajo de las tasas límite mencionadas, ¿puede resultar útil tener varios contaminantes junto a tu fragmento de interés?. Razona tu respuesta.

#### Identificación de los isótopos radioactivos producidos:

13. Dibuja la energía depositada en la cámara de ionización frente al tiempo de vuelo medido entre los dos centelleadores:  $\Delta E$ -TOF. ¿Puedes distinguir los diferentes isótopos?

#### Identificación y Separación en modo acromático y en modo monoenergético:

14. Para mejorar la separación de los diferentes elementos (Z), puede resultar útil emplear el **degradador (Wedge) en S2**. Juega con varios espesores entorno al 50% del rango del fragmento de interés. Elige un espesor para tener un compromiso razonable entre separación en la identificación y transmisión del fragmento de interés.

15. Cambia el ángulo del wedge utilizando la opción “Calculate Angle” en la ventana que se abre al hacer click sobre el set-up del wedge. Ajustando este ángulo, uno puede elegir entre modo acromático y modo monoenergético.

Nota: si el cálculo del ángulo para el degradador no funciona, antes de hacer click en “Calculate Angle”, haz click en “Set the spectrometer after this block using changes”.

Para empezar selecciona el ángulo calculado para un **Wedge Acromático**. El bloque en el plano de dispersión debe ser las slits en S4, que es donde queremos dispersión máxima en X para poder cortar de modo eficiente los contaminantes.

→ Ajusta los campos magnéticos del espectrómetro  y calcula de nuevo la tasa de producción en S4 y las tasas de los contaminantes.

→ Ajusta los slits en la segunda mitad del FRS para eliminar contaminantes.

→ Dibuja las distribuciones espaciales (X) en S4, y las distribuciones en energía (E) para este modo acromático.

16. Dibuja el PID: Z vs. A/Q. Como se distinguen los diferentes fragmentos?, cuales son los principales contaminantes?

### **Monoenergético $^{96}\text{Cd}$ en S4**

**17.** Una vez hayas optimizado la configuración del FRS para  $^{96}\text{Cd}$  acromático, intenta configurarlo ahora para modo monoenergético.

→ Calcula el ángulo monoenergético para el degradador en S2 y aplícalo. Ajusta los campos magnéticos y calcula de nuevo las tasas de producción en la zona de interés.

→ Dibuja las distribuciones espaciales (X) en las slits de la segunda mitad del FRS (S2, S3, S4).

→ Dibuja la distribución en energía del haz en el último plano focal.

**18.** Añadir una lámina de plástico (plexiglass) detrás del centelleador 41. Elige un espesor suficiente para implantar los iones de  $^{96}\text{Cd}$  en el centro de dicha lámina. (1D-pots → Range distributions)

**19.** Antes de terminar, recuerda copiar tus ficheros y las gráficas que has obtenido a lo largo de la práctica.

### **LISTA DE HACES Y DE INTENSIDADES DISPONIBLES EN GSI**

Las intensidades se dan en **iones por pulso**. Se puede asumir que los pulsos tienen una duración de un segundo y que el *duty-cycle* del acelerador es del 50%.

|                     |                                                                                                                   |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $^{238}\text{U}$ :  | $2 \cdot 10^9$                                                                                                    |
| $^{208}\text{Pb}$ : | $2 \cdot 10^9$                                                                                                    |
| $^{144}\text{Sm}$ : | $2 \cdot 10^9$ (no standard beam, used once)                                                                      |
| $^{136}\text{Xe}$ : | $10^{10}$                                                                                                         |
| $^{124}\text{Xe}$ : | $10^{10}$ (requires enriched material)                                                                            |
| $^{112}\text{Sn}$ : | $\sim 10^8$ (requires enriched material)                                                                          |
| $^{107}\text{Ag}$ : | $4 \cdot 10^9$                                                                                                    |
| $^{86}\text{Kr}$ :  | $2 \cdot 10^{10}$                                                                                                 |
| $^{78}\text{Kr}$ :  | $2 \cdot 10^{10}$ (requires enriched material)                                                                    |
| $^{76}\text{Ge}$ :  | $3 \cdot 10^8$ (no standard beam, needs to be developed)                                                          |
| $^{64}\text{Ni}$ :  | $5 \cdot 10^9$ (requires enriched material)                                                                       |
| $^{58}\text{Ni}$ :  | $5 \cdot 10^9$                                                                                                    |
| $^{48}\text{Ca}$ :  | $3 \cdot 10^7$ (low intensity from the ECR source when used for pulsed beams for SIS. Or very very expensive ...) |

## ***Informe de Prácticas***

Para la evaluación de la realización-comprensión de la práctica el alumno deberá presentar un informe de la misma que enviará por correo electrónico a las direcciones: [lola.cortina@ific.uv.es](mailto:lola.cortina@ific.uv.es) y [domingo@ific.uv.es](mailto:domingo@ific.uv.es).

En la misma se debe *explicar la metodología seguida durante la práctica* y se presentará:

- a) **Ejemplos** simulados de las variaciones de transmisión en función de la energía del haz primario, explicando cualitativamente el origen de la variación.
- b) Después de haber explicado la diferencia entre modo acromático y mono-energético (o monocromático), **espectros** 1-D de distribución en X y en Energía relativos a los cuatro sectores del separador (S1, S2, S3 y S4) con los parámetros finales elegidos en el caso de haz acromático.
- c) Intensidad total de haz en pps en S2 y S4 en los dos casos.
- d) **Espectros** 2-D de identificación de isótopos (Z vs AoQ o dE vs TOF, etc).
- e) El alumno además contestará a las siguientes **cuestiones**:
  - a. Qué tipo de experimento pudiera requerir un haz puro, como en el caso acromático simulado?
  - b. Qué espesor de plexiglass se necesita para parar los iones de  $^{96}\text{Cd}$  en el plano focal?