



# LFEUI - Notas Teóricas

Estêvão Gomes (ist1102650) Sofia Nunes (ist1102633)

Pedro Curvo (ist1102716) Salvador Torpes (ist1102474)

30 Novembro 2023

## 1 Acelerador de Partículas

O acelerador utilizado possui no seu interior um gás.

## 2 Lítio

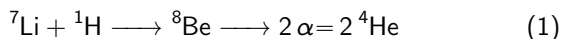
Vamos trabalhar com o lítio, um elemento altamente reativo, maioritariamente através de reações de oxidação com o vapor de água. A solução para trabalhar com este elemento é usar fontes inertes - uma fonte inerte de lítio consiste em lítio no interior de duas camadas de vidro. O vidro é composto por silicatos de boro.

## 3 Objetivo

O objetivo é obter o espectro de emissão de duas fontes diferentes, ambas contendo lítio.

## 4 Reação

A reação que pretendemos estudar envolve o choque de um átomo de lítio 7 com um próton, que resulta na formação de um átomo de berílio 8 que decai para duas partículas alfa (núcleo de hélio 4) - o decaimento é tão rápido que não é detetado.



Esta reação é idêntica para as duas amostras que vamos estudar.

## Valor $Q$ da reação

O valor  $Q$  da reação é a energia libertada na reação - é a energia que as partículas alfa possuem quando são emitidas. Calcula-se a partir da diferença de massa entre os reagentes e os produtos da reação:

$$\begin{aligned} Q &= \Delta mc^2 \\ &= c^2 (m_{\text{reagents}} - m_{\text{products}}) \\ &= c^2 (m_{{}^7\text{Li}} + m_{{}^1\text{H}} - m_{{}^8\text{Be}}) \end{aligned} \quad (2)$$

## 5 Processo Experimental

Queremos obter o espectro energético para perceber qual a energia com que as partículas são emitidas

## 6 Montagem Experimental

Temos um acelerador Tandem de 2.5 MeV, que acelera prótons - temos 2 tubos de aceleração em paralelo o que faz com que a tensão à qual os partículas prótons são aceleradas possa chegar aos 5 MV. Os dois tubos estão alinhados o que faz com que o próton seja 'duplamente' acelerado. Acelerar um próton a 5 MeV significa que a variação de energia cinética do eletrão desde o início do tubo (em repouso) até ao seu fim é de 5 MeV - este é o valor da diferença de potencial elétrico entre as duas extremidades/terminais do tubo de aceleração. Este acelerador possui um elevador de tensão - associação de condensadores e resistências que permitem aumentar a tensão.

**Vácuo** O feixe propaga-se ao longo dos dois tubos de aceleração que se encontra sobre um vácuo de  $10^{-7}$  mbar. O vácuo é necessário para que as partículas não colidam com moléculas de ar e percam energia. Este vácuo é bastante bom sendo possível que existam colisões no caminho apesar de em média o número destas colisões é nulo. A este nível de pressão ( $10^{-7}$  mbar), existem cerca de  $10^9$  moléculas de ar por  $\text{cm}^3$ . Na atmosfera normal (pressão de 1 bar) existem  $10^{19}$  moléculas de ar por  $\text{cm}^3$  - no vácuo intergaláctico temos 5 moléculas por  $\text{cm}^3$  - apesar de o vácuo deste vácuo não ser comparável ao do espaço, é um vácuo bastante bom. Para estimar estas quantidades de partículas por  $\text{cm}^3$  consideramos que a diferença de pressão entre a atmosfera normal e o vácuo e consideramos que o volume de um mol de gás é 22.4 L/mol na atmosfera normal - isto implica que há uma mol de moléculas por litro -  $6.02 \times 10^{23}$  moléculas por litro.

**Eletroímã** No nosso eletroímã, partículas com diferentes rácios carga/massa têm ângulos de deflexão diferentes - o ângulo de deflexão é inversamente proporcional ao rácio carga/massa. Este elemento é responsável por fazer com que todas as partículas que não os prótons que se encontrem no feixe sejam desviadas para fora do feixe e por isso não atingem o sensor. É por isto que existe um grande benefício em ter um detetor não linear - filtração do feixe de partículas.

**Detetores** Vamos usar detetores de silício - a energia de uma partícula incidente no detetor é calculada a partir do número de pares electrão-buraco que são criados no detetor devido à sua passagem.

**Eletrónica** Existe um sistema de eletrónica digital responsável por fazer a leitura dos detetores e por enviar os sinais para o computador onde podemos observar os espectros obtidos.

## 7 Amostras

A atividade envolve o estudo dos espectros provenientes de duas amostras diferentes, ambas contendo lítio - uma amostra que é apenas um vidro composto por silicatos e óxidos e outra que é uma amostra com lítio implantado em silício.

**Implantação** A implantação é o processo de formação de amostras implantadas - para obter uma amostra de lítio 7 implantado em silício usou-se um feixe de lítio 7 com potência na ordem dos kilovolts - quanto maior a potência do feixe, maior é a profundidade a que o lítio é implantado no silício. Existe um fórmula que nos permite saber a profundidade a que o lítio é implantado no silício em função da potência do feixe de lítio 7 e da densidade do silício.

**Diferenças** O objetivo de estudar estas duas amostras é avaliar a diferença de espectros de emissão de partículas alfa provenientes de lítio 7 em diferentes profundidades.

Amostra	Descrição
Vidro Normal	Amostra formada por vidro normal com silício, lítio, boro e talvez outros resíduos - o lítio aparece na forma de óxido de lítio de modo a que seja pouco reativo. Esta amostra é homogênea na sua constituição ao longo de toda a sua espessura uma vez que o vidro é formado diretamente com os elementos.
Implantada	Amostra obtida através da implantação de uma camada de lítio numa amostra de silício (pura) - o que obtemos é uma amostra que nos primeiros nanómetros e espessura possui lítio e depois apenas possui silício.

## 8 Resultados Esperados

**Perfis** Um perfil é uma parte contínua do espectro na zona energética anterior aos picos de partículas alfa. Esperamos ver isto na amostra de vidro devido às partículas alfa que provém de diferentes profundidades da amostra de vidro. Quanto maior for a profundidade, como estamos a falar de partículas carregadas e não de fótons, maior é a energia dissipada para o material durante o percurso. Para partículas emitidas com a mesma energia, quanto maior for a profundidade, menor é a energia com que a partícula é detetada - cria-se um perfil no espectro devido a isto. Como na amostra implantada o lítio está apenas presente numa camada superior muito fina, não esperamos obter um perfil no espectro.

**RBS - Rutherford Backscattering** é um fenómeno no qual as partículas alfa são retrodispersas para outras direções e por isso possuem energias diferentes. A maior parte das partículas

alfa são detetadas com o valor de energia esperada mas podemos ter outras zonas do espectro onde tenhamos partículas alfa com energias diferentes e dispersas devido a este fenómeno.

**Elastic Backscattering** Isto acontece quando um dos prótons do feixe incidente é refletido elasticamente na superfície da amostra - o protão é refletido com a mesma energia com que incidiu na amostra e continua a trajetória na mesma direção mas com sentido oposto.

## 9 Utilidade

1. Fusão Nuclear - lítio 6 para produção de neutrões - usam-se materiais muito enriquecidos em lítio 6;
2. Baterias - lítio 7;
3. Indústria Farmacêutica - lítio é utilizado em vários medicamentos;

## 10 Fenómenos

Existem 3 fenómenos diferentes que acontecem nas nossas amostras quando os seus átomos colidem com os prótons do feixe: reação nuclear, RBS e elastic backscattering. Cada um destes 3 fenómenos possui uma secção eficaz diferente - a secção eficaz é uma medida da probabilidade de um dado fenómeno acontecer. A secção eficaz do RBS e do elastic backscattering são maiores do que a secção eficaz da reação nuclear - isto significa que a probabilidade de um protão colidir com um átomo da amostra e ser refletido é maior do que a probabilidade de um protão colidir com um átomo da amostra e reagir com ele. Nos espectros detetados podemos ver uma 'bossa' inicial que corresponde ao RBS e ao elastic backscattering e depois vemos um pico que corresponde à reação nuclear do lítio 7 com o protão. A seguinte fórmula é válida para a geometria da nossa experiência, sendo apenas necessário aplicá-la para cada uma das 3 secções eficazes:

$$A = \left( \frac{q_{\text{beam}}}{e} \right) \Omega \bar{\sigma} (N \Delta x)$$

## 11 Pico de Reação Nuclear

Existem 2 picos teóricos esperados no espectro devido à reação nuclear entre o lítio e o protão. O feixe que utilizamos na atividade experimental possui uma energia de 1.3 MeV - a zona de energia dos prótons que maximiza a intensidade deste pico é de [2.5, 3] MeV, no entanto, não conseguimos alcançar estas energias com o nosso acelerador (apesar de teoricamente serem possíveis). Para além disto estamos também interessados em detetar uma possível presença de boro nas amostras e o boro não reage com prótons de tão elevada energia - assim escolhemos uma energia onde tanto o lítio como o boro reagem com os prótons: 1.3 MeV.

**Cálculo do Valor** Recorremos ao NRA calculator para calcular o valor dos picos de reação nuclear para o lítio 7 e para o boro 11. Usamos 1.3 MeV para os prótons incidentes, 165 graus para o ângulo de scattering do detetor e obtivemos os seguintes valores:

$$\begin{aligned}
E_{\alpha_{0_1}} &= 7.6298 \text{ MeV} \\
E_{\alpha_{0_2}} &= 11.0314 \text{ MeV} \\
\theta_{\alpha_{0_1}} &= 165 \\
\theta_{\alpha_{0_2}} &= 12 \\
Q(^7\text{Li}) &= 17.346 \text{ MeV}
\end{aligned}
\tag{3}$$

Para o lítio não temos partículas  $\alpha_1$  uma vez que:  $\alpha_0$  são partículas alfa no estado fundamental e  $\alpha_1$  são partículas alfa no estado excitado - a energia que temos no feixe não é suficiente para excitar as partículas alfa e por isso elas apenas são emitidas no estado fundamental. Os átomos de hélio 4 são ultra estáveis e o primeiro estado excitado está muito acima do estado fundamental - a energia necessária para excitar as partículas alfa é muito elevada e por isso não temos partículas alfa no estado excitado.

Note-se também que o ângulo de scattering para a segunda partícula alfa  $\alpha_{0_2}$  é de 12 graus, ângulo no qual não há detetor, logo, apenas vamos detetar um pico de partículas em 7.6298 MeV.

Para o boro temos:

$$\begin{aligned}
E_{\alpha_0} &= 3.7372 \text{ MeV} \\
E_{^8\text{Be}} &= 3.1086 \text{ MeV} \\
\theta_{\alpha_0} &= 165 \\
\theta_{^8\text{Be}} &= 11 \\
Q(^{11}\text{Br}) &= 8.591 \text{ MeV}
\end{aligned}
\tag{4}$$

## Referências

- [1] *CAMPUS TECNOLÓGICO E NUCLEAR, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa*. Estrada Nacional 10 (km 139,7), 2695-066 Bobadela LRS, Portugal.
- [2] Leonard C. Feldman e James W. Mayer. *Fundamentals of Surface and Thin Film Analysis*. North-Holland, 1986.
- [3] International Atomic Energy Agency. *Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR)*. Nuclear Data Services. Retrieved from <https://www-nds.iaea.org/exfor/iband1.htm>.
- [4] Kenneth S. Krane. *Introductory Nuclear Physics*. John Wiley & Sons, Inc., 1988.
- [5] *Nuclear Reaction Analysis (NRA) Energy Calculator*. <https://www.se.ctn.tecnico.ulisboa.pt/FisNuclear/NRA.html>.