LFN @ LATR: NRA

Detecção de B em materiais tecnológicos por reacções nucleares

N. Catarino, Rui M.C. Silva, R. Mateus

DECN-IST, 06 Dez 2023

Detecção de Li em materiais tecnológicos por reacções nucleares

A fim de compreender e perspetivar de forma integradora e interligada a Física Nuclear e as suas potenciais aplicações tecnológicas, nas vertentes das reacções nucleares e detecção de elementos leves de grande importÂncia tecnológica, como é o caso do boro, este projecto envolve...

Trabalho e objectivos:

- compreensão da física das dispersões elásticas e inelásticas (reacções nucleares): fundamentação, realização prática e resultados espectáveis – espectros
- separação das contribuições elástica, EBS, e inelástica, NRA
- aplicação à caracterização de materiais a nível microscópico: informação pertinente – composição elementar, quantificação, estrutura e espessura – e extracção da informação pertinente: análise dos espectros
- familiarização com a cadeia electrónica de detecção: fundamentação e realização prática – detectores de radiação, processadores de sinal e analisadores multicanal
- familiarização com o equipamento de produção e transporte de feixes de partículas: acelerador, campos deflectores e linhas de transporte
- montagem das amostras a utilizar com operação (limitada) dos sistemas de vácuo; estabelecimento de condições de operação, irradiação das amostras e recolha de dados

Análise de dados e resultados a atingir:

- análise (sumária) de espectros com calibração (conversão canal-energia) e identificação da composição elementar: identificação de elementos de $Z \geq 11$ por EBS, identificação de elementos de ^{11}B, $Z < 11$ (e.g. $^{6,7}Li$ e $^{10,11}B$) – por NRA
- quantificação integral de B detectado a partir de cálculo simples
- apresentação de resultados

Detecção de B em materiais tecnológicos por reacções nucleares

Justificação do Li:

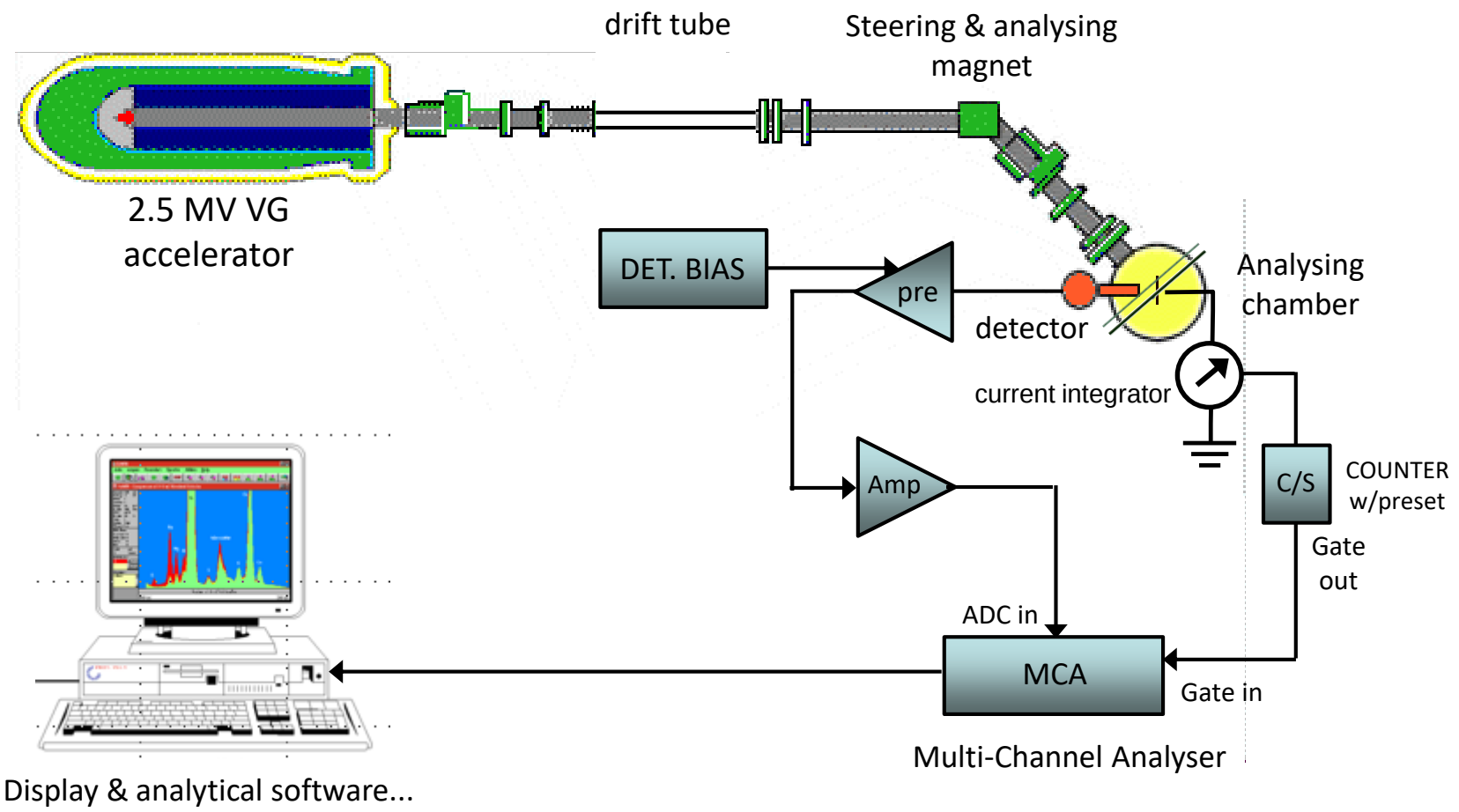
o lítio – ~ 2.5% ^{6}B e 97.5% ^{7}Li - é um elemento com aplicações relevantes em áreas de grande importância e impacto tecnológico, nomeadamente:

– farmácia: tratamento de transtorno bipolar, depressão nervosa …
– energética: electrólitos sólidos para baterias;
– metalurgia: ligas leves para uso, por exemplo, em aeronáutica;
– óptica: diminuição de índice de refracção
– vidros/cerâmicas: diminuição de ponto de fusão, coeficiente de expansão térmica …
– purificação do ar: em ambientes reduzidos
– fusão nuclear: produção de trítio;
fontes de neutrões;
...

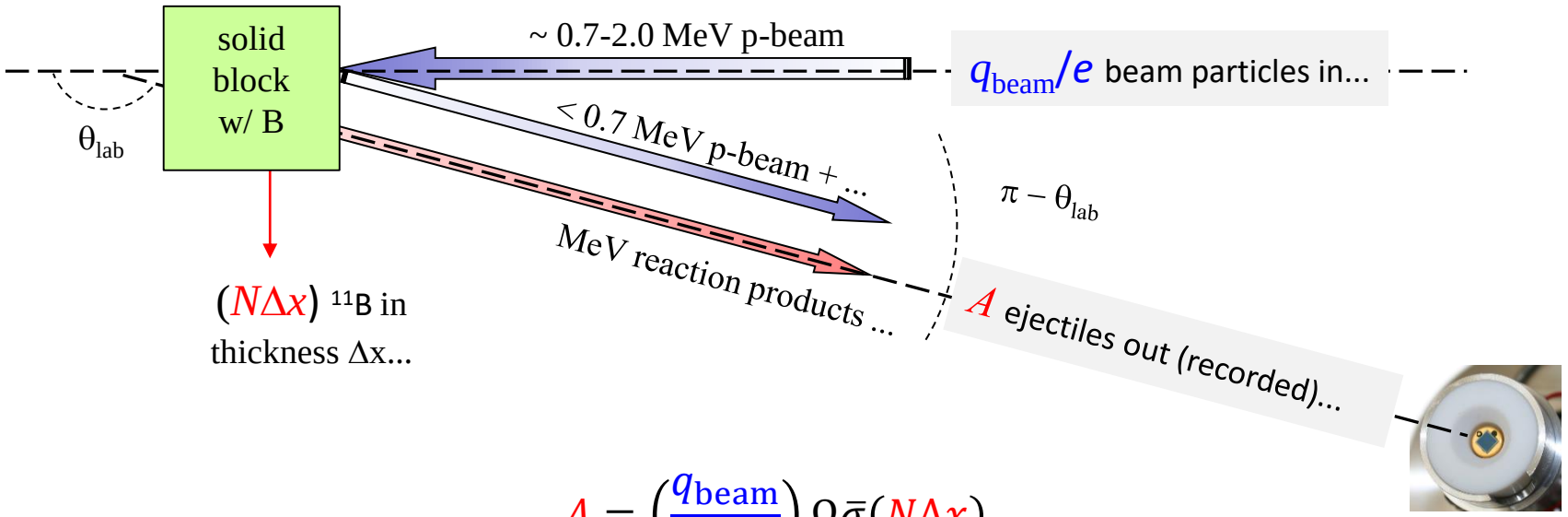
Justificação das reacções nucleares:

pela sua especificidade – ditada p/ estrutura nuclear dos isótopos envolvidos – são praticamente o único meio de detectar, de forma não destrutiva (preservando qto possível a amostra) isótopos leves ($Z < 12$) a energias baixas (e.g. < 3-5 MeV, disponíveis em "pequenos" aceleradores): em geral, a razão sinal-ruído é favorável (p/ ausência de fundo significativo) e, quando existem. as interferências de outras reacções (devidas a outros isótopos), são pouco significativas.

The 'production' chain...



The experiment layout...



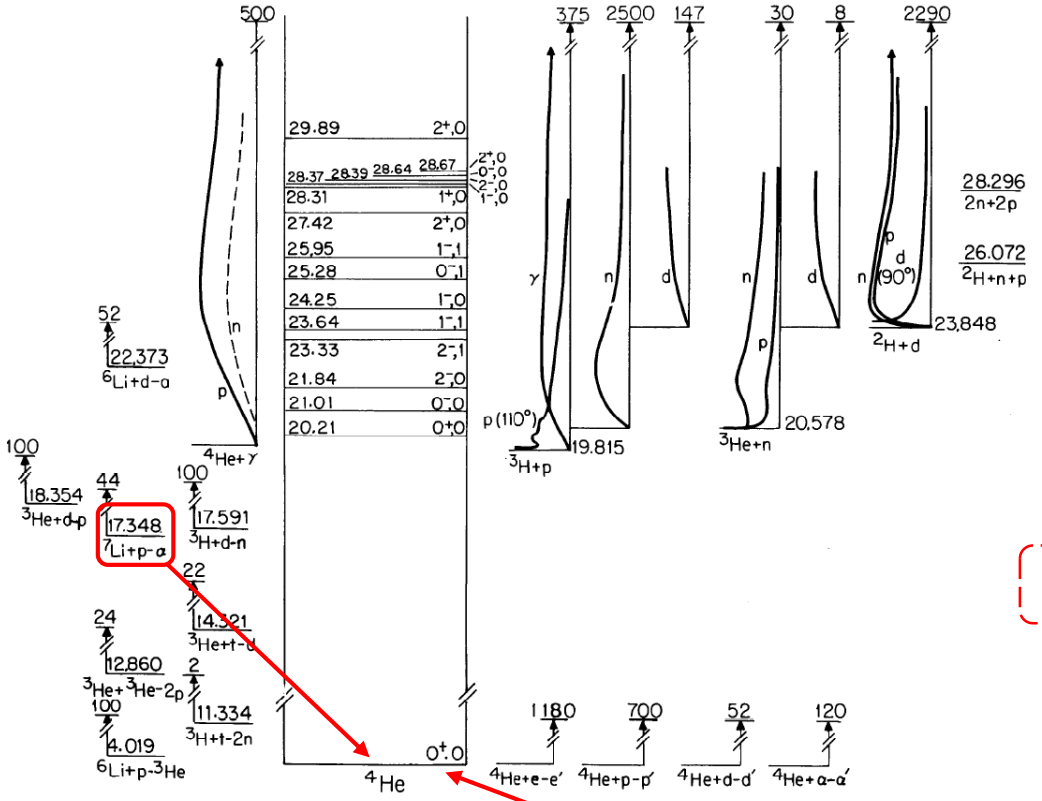
$$A = \left(\frac{q_{\text{beam}}}{e}\right) \Omega \bar{\sigma} (N\Delta x)$$

det. sol. angle

reaction cross-section (average at lab. angle & energy)

$N\Delta x$ "wanted" !

The reaction...



$p + {}^{7}Li \rightarrow {}^{8}Be^{*} \rightarrow \alpha + \alpha$

$I\pi = 0^{+}, \Gamma = 0.0000$ eV

cf. https://www.tunl.duke.edu/nucldata

The reaction ...

TÉCNICO LISBOA

NRA CALCulator

(C) *R.C. da Silva* (DECN/IST, 2019)

Type reaction as $^{A}X(a,b)^{A'}Y$: 7Li(p,a)4He

EXAMPLES: type $^{9}Be(p,\alpha)^{6}Li$ as 9Be(p,a)6Li or 9Be(p,4He)6Li

(Target ^{A}X taken as stationary in laboratory frame)

type 241Am(g,a) for α decay of ^{241}Am

type 241Am(g,p/n) for p/n separation energy

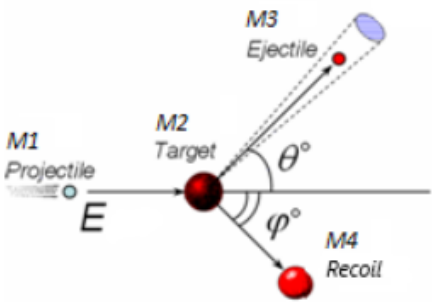
type 70Ga(+e,g) for E.C. decay of ^{70}Ga

type 70Ga(g,e−/e+) for β−/+ decay of ^{70}Ga

PRIMARY ION energy E/MeV = 2.00

Recoil/Daughter EXCITED STATE energy/MeV = 0

SCATTERING ANGLE/ejectile angle θ/degrees = 165



CALC

LAB OUTPUTS:

ZMF OUTPUTS:

The reaction ...

TÉCNICO LISBOA

NRA CALCulator (C) *R.C. da Silva* (DECN/IST, 2019)

Type reaction as $^{A}X(a,b)^{A'}Y$: 7Li(p,a)4He

(Target ^{A}X taken as stationary in laboratory frame)

$$p + {}^{7}Li \rightarrow 4He + \alpha$$

EXAMPLES: type $^{9}Be(p,\alpha)^{6}Li$ as 9Be(p,a)6Li or 9Be(p,4He)6Li

type 241Am(g,a) for α decay of ^{241}Am

type 241Am(g,p/n) for p/n separation energy

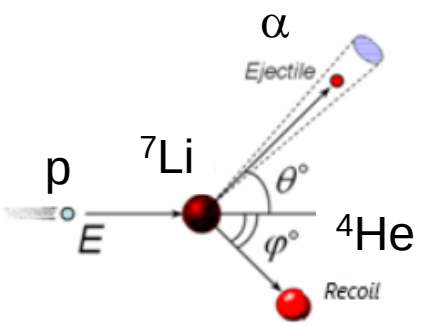
type 70Ga(+e,g) for E.C. decay of ^{70}Ga

type 70Ga(g,e−/e+) for β−/+ decay of ^{70}Ga

PRIMARY ION energy E/MeV = 2.00

Recoil/Daughter EXCITED STATE energy/MeV = 0

SCATTERING ANGLE/ejectile angle θ/degrees = 165



CALC

LAB OUTPUTS:

?

ZMF OUTPUTS:

The reaction ...

Só há um canal possível para a reacção:

$p + {}^{7}Li \rightarrow {}^{4}He + \alpha$

$E_{g.s.} = 0$ MeV

Calcule Q = ?

Calcule T_{α_0} (2 MeV ; θ_{lab} = 165°) = ?

{cf. K. Krane, Ch.11 ("Nuclear Reactions")}

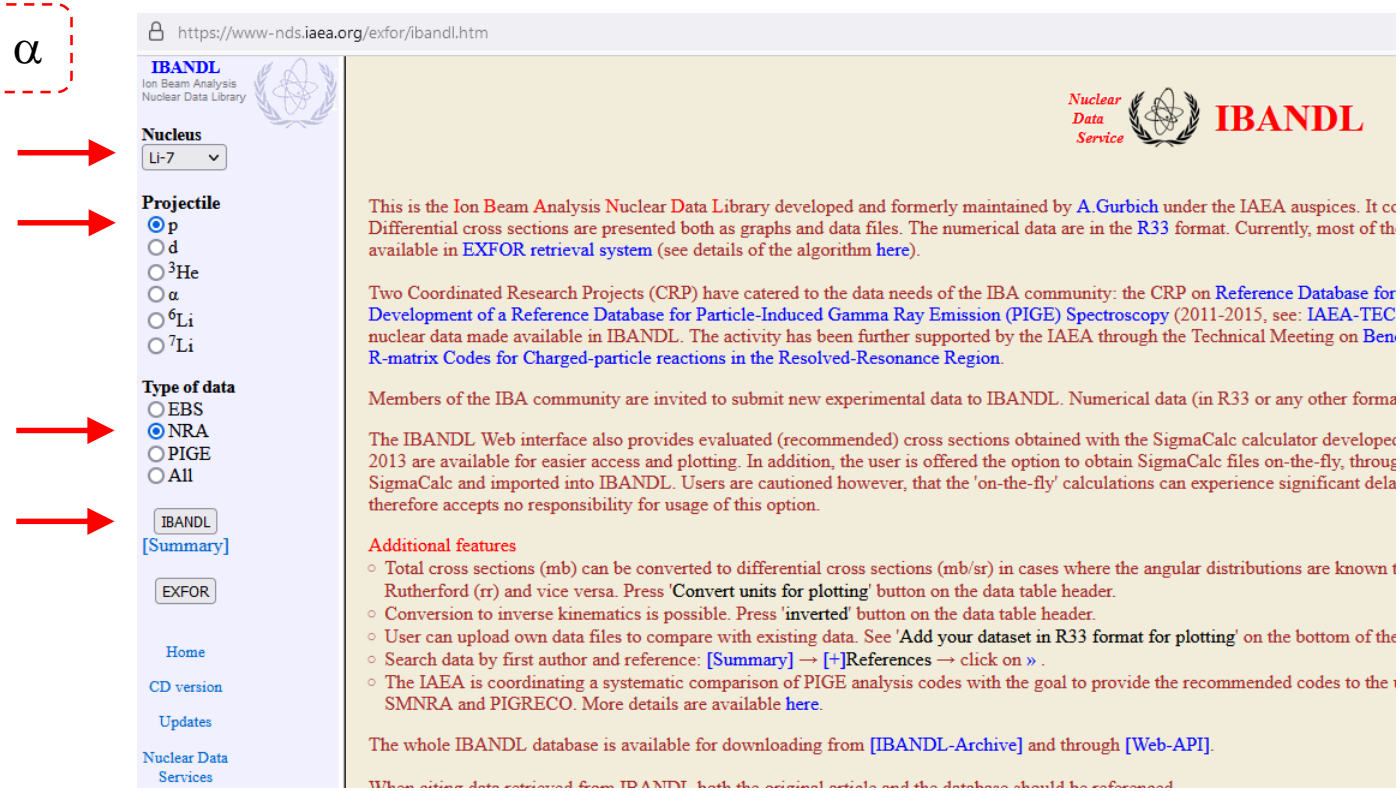
Q = 17.346 MeV

T_{α} (2 MeV ; θ_{lab} = 165°) = 7.539 MeV

The reaction ...

As secções eficazes: cf. https://www-nds.iaea.org/exfor/ibandl.htm

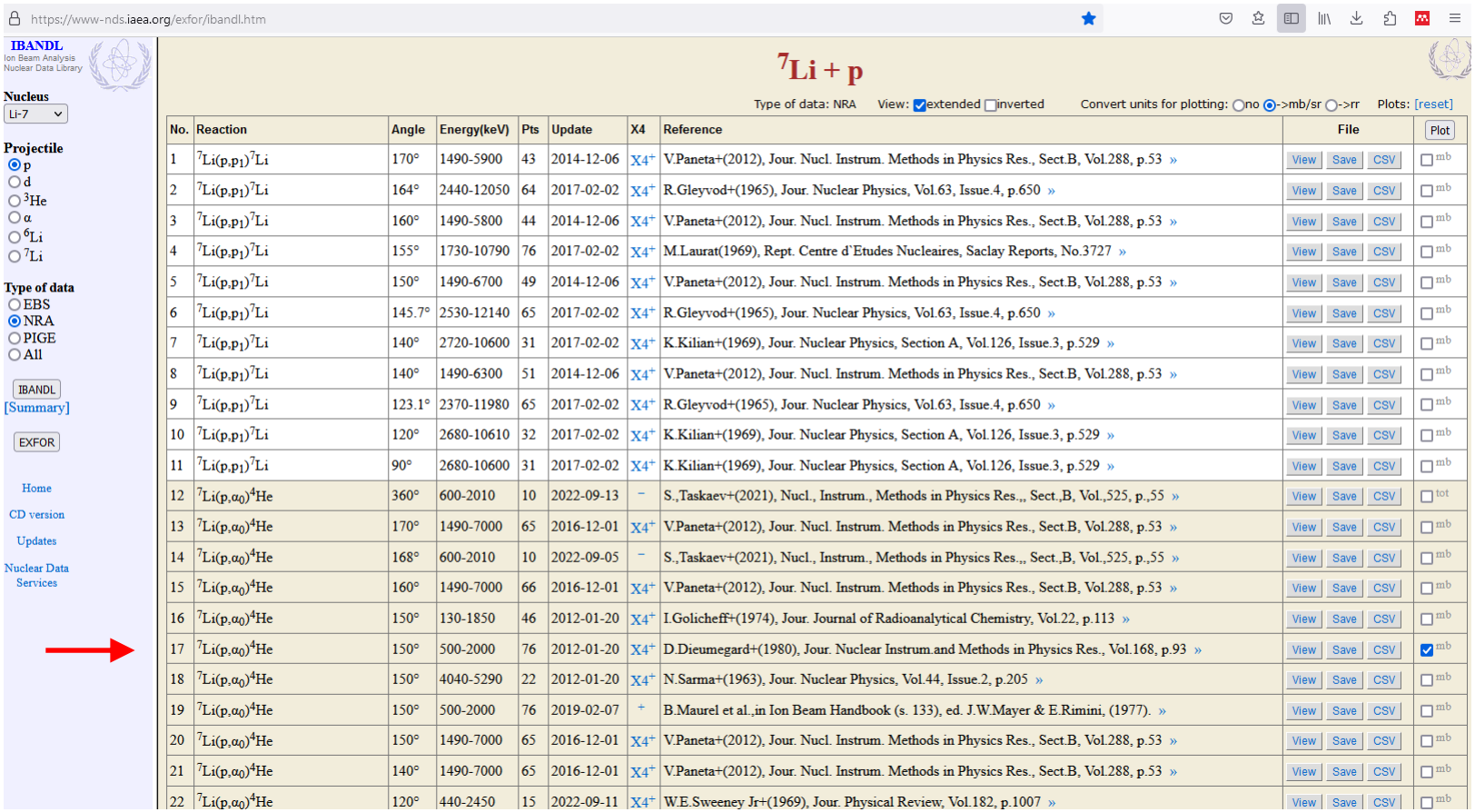
$p + {}^{7}Li \rightarrow {}^{4}He + \alpha$



The reaction ...

$$p + {}^{7}Li \rightarrow {}^{4}He_{g.s} + \alpha_0$$

As secções eficazes: cf. https://www-nds.iaea.org/exfor/ibandl.htm



https://www-nds.iaea.org/exfor/ibandl.htm

IBANDL
Ion Beam Analysis Nuclear Data Library

Nucleus: Li-7

Projectile: p, d, ^{3}He, α, ^{6}Li, ^{7}Li

Type of data: EBS, NRA, PIGE, All

IBANDL [Summary]

EXFOR

Home
CD version
Updates
Nuclear Data Services

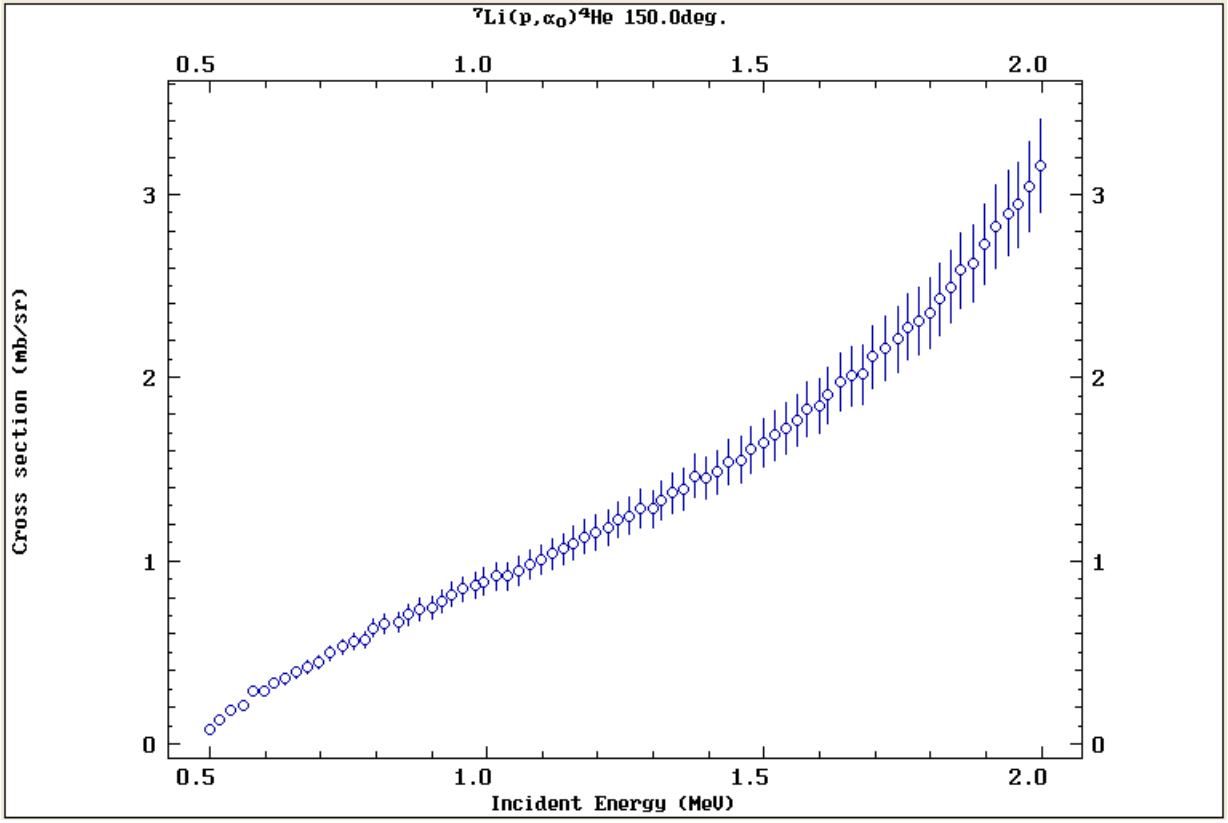
^{7}Li + p

Type of data: NRA View: extended inverted Convert units for plotting: no ->mb/sr ->rr Plots: [reset]

No.	Reaction	Angle	Energy(keV)	Pts	Update	X4	Reference	File	Plot
1	^{7}Li(p,p$_1$)^{7}Li	170°	1490-5900	43	2014-12-06	X4+	V.Paneta+(2012), Jour. Nucl. Instrum. Methods in Physics Res., Sect.B, Vol.288, p.53 »	View Save CSV	mb
2	^{7}Li(p,p$_1$)^{7}Li	164°	2440-12050	64	2017-02-02	X4+	R.Gleyvod+(1965), Jour. Nuclear Physics, Vol.63, Issue.4, p.650 »	View Save CSV	mb
3	^{7}Li(p,p$_1$)^{7}Li	160°	1490-5800	44	2014-12-06	X4+	V.Paneta+(2012), Jour. Nucl. Instrum. Methods in Physics Res., Sect.B, Vol.288, p.53 »	View Save CSV	mb
4	^{7}Li(p,p$_1$)^{7}Li	155°	1730-10790	76	2017-02-02	X4+	M.Laurat(1969), Rept. Centre d`Etudes Nucleaires, Saclay Reports, No.3727 »	View Save CSV	mb
5	^{7}Li(p,p$_1$)^{7}Li	150°	1490-6700	49	2014-12-06	X4+	V.Paneta+(2012), Jour. Nucl. Instrum. Methods in Physics Res., Sect.B, Vol.288, p.53 »	View Save CSV	mb
6	^{7}Li(p,p$_1$)^{7}Li	145.7°	2530-12140	65	2017-02-02	X4+	R.Gleyvod+(1965), Jour. Nuclear Physics, Vol.63, Issue.4, p.650 »	View Save CSV	mb
7	^{7}Li(p,p$_1$)^{7}Li	140°	2720-10600	31	2017-02-02	X4+	K.Kilian+(1969), Jour. Nuclear Physics, Section A, Vol.126, Issue.3, p.529 »	View Save CSV	mb
8	^{7}Li(p,p$_1$)^{7}Li	140°	1490-6300	51	2014-12-06	X4+	V.Paneta+(2012), Jour. Nucl. Instrum. Methods in Physics Res., Sect.B, Vol.288, p.53 »	View Save CSV	mb
9	^{7}Li(p,p$_1$)^{7}Li	123.1°	2370-11980	65	2017-02-02	X4+	R.Gleyvod+(1965), Jour. Nuclear Physics, Vol.63, Issue.4, p.650 »	View Save CSV	mb
10	^{7}Li(p,p$_1$)^{7}Li	120°	2680-10610	32	2017-02-02	X4+	K.Kilian+(1969), Jour. Nuclear Physics, Section A, Vol.126, Issue.3, p.529 »	View Save CSV	mb
11	^{7}Li(p,p$_1$)^{7}Li	90°	2680-10600	31	2017-02-02	X4+	K.Kilian+(1969), Jour. Nuclear Physics, Section A, Vol.126, Issue.3, p.529 »	View Save CSV	mb
12	^{7}Li(p,α$_0$)^{4}He	360°	600-2010	10	2022-09-13	–	S.,Taskaev+(2021), Nucl., Instrum., Methods in Physics Res.,, Sect.,B, Vol.,525, p.,55 »	View Save CSV	tot
13	^{7}Li(p,α$_0$)^{4}He	170°	1490-7000	65	2016-12-01	X4+	V.Paneta+(2012), Jour. Nucl. Instrum. Methods in Physics Res., Sect.B, Vol.288, p.53 »	View Save CSV	mb
14	^{7}Li(p,α$_0$)^{4}He	168°	600-2010	10	2022-09-05	–	S.,Taskaev+(2021), Nucl., Instrum., Methods in Physics Res.,, Sect.,B, Vol.,525, p.,55 »	View Save CSV	mb
15	^{7}Li(p,α$_0$)^{4}He	160°	1490-7000	66	2016-12-01	X4+	V.Paneta+(2012), Jour. Nucl. Instrum. Methods in Physics Res., Sect.B, Vol.288, p.53 »	View Save CSV	mb
16	^{7}Li(p,α$_0$)^{4}He	150°	130-1850	46	2012-01-20	X4+	I.Golicheff+(1974), Jour. Journal of Radioanalytical Chemistry, Vol.22, p.113 »	View Save CSV	mb
17	^{7}Li(p,α$_0$)^{4}He	150°	500-2000	76	2012-01-20	X4+	D.Dieumegard+(1980), Jour. Nuclear Instrum.and Methods in Physics Res., Vol.168, p.93 »	View Save CSV	mb
18	^{7}Li(p,α$_0$)^{4}He	150°	4040-5290	22	2012-01-20	X4+	N.Sarma+(1963), Jour. Nuclear Physics, Vol.44, Issue.2, p.205 »	View Save CSV	mb
19	^{7}Li(p,α$_0$)^{4}He	150°	500-2000	76	2019-02-07	+	B.Maurel et al.,in Ion Beam Handbook (s. 133), ed. J.W.Mayer & E.Rimini, (1977). »	View Save CSV	mb
20	^{7}Li(p,α$_0$)^{4}He	150°	1490-7000	65	2016-12-01	X4+	V.Paneta+(2012), Jour. Nucl. Instrum. Methods in Physics Res., Sect.B, Vol.288, p.53 »	View Save CSV	mb
21	^{7}Li(p,α$_0$)^{4}He	140°	1490-7000	65	2016-12-01	X4+	V.Paneta+(2012), Jour. Nucl. Instrum. Methods in Physics Res., Sect.B, Vol.288, p.53 »	View Save CSV	mb
22	^{7}Li(p,α$_0$)^{4}He	120°	440-2450	15	2022-09-11	X4+	W.E.Sweeney Jr+(1969), Jour. Physical Review, Vol.182, p.1007 »	View Save CSV	mb

The reaction ...

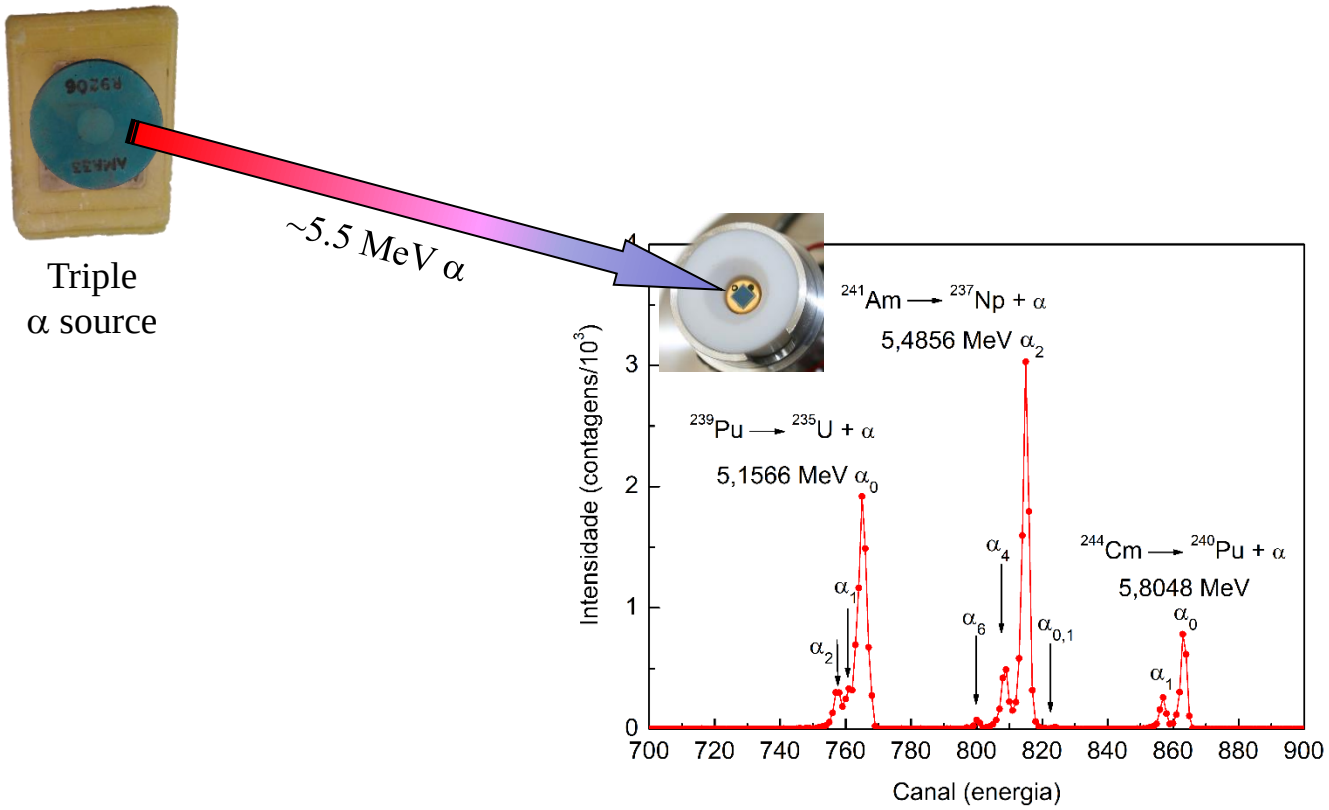
As secções eficazes: cf. https://www-nds.iaea.org/exfor/ibandl.htm



The energy calibration...

Establishing the channel-to-energy conversions

Exemplo

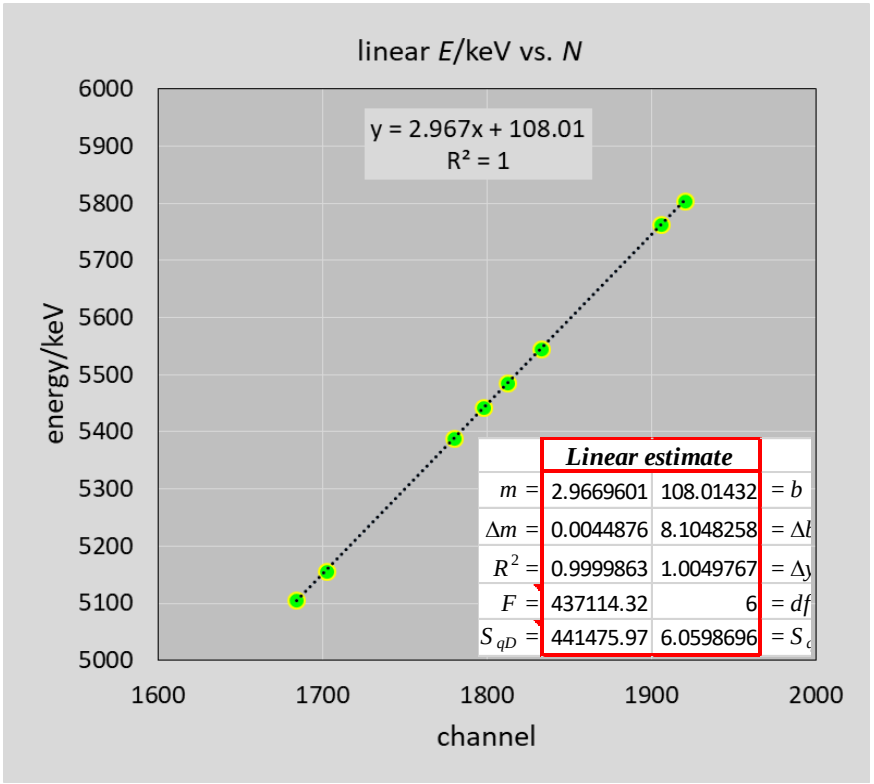


The energy calibration...

Establishing the channel-to-energy conversions

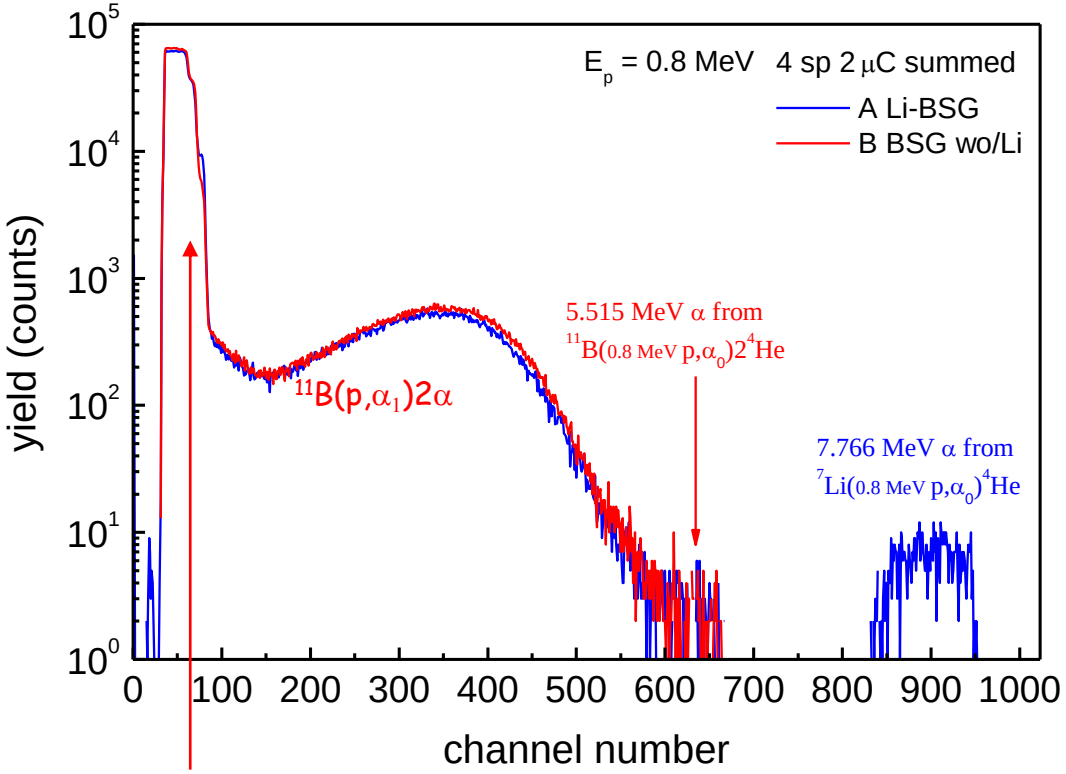
Exemplo

Fonte	Transição		I%	E_n/keV	E/keV
^{244}Cm (0+)	18,1 *a*				5901.61
	α_0	**0+**	**76.4**	**0**	**5804.82**
	α_1	**2+**	**23.6**	**42.824**	**5762.70**
	α_2	4+	0.022	141.690	5664
^{241}Am (5/2−)	432,2 *a*				5637.81
	α_0	**5/2+**	**0.34**	**0**	**5544.5**
	α_1	7/2+	0.20	33.192	5511.47
	α_2	**5/2−**	**85.2**	**59.537**	**5485.56**
	α_3	9/2+	0.04	75.89	5469.45
	α_4	**7/2−**	**12.8**	**102.96**	**5442.80**
	α_5	11/2+	0.01	130.00	5416.27
	α_6	**9/2−**	**1.40**	**158.51**	**5388.23**
	α_7	13/2+	–	191.5	5355.9
	α_8	11/2−	0.015	225.96	5321.9
^{239}Pu (1/2+)	24110 *a*				5244.50
	α_0	7/2−	0.03	0	5156.72
	α_1	**1/2+**	**73.3**	**0.0768**	**5156.59**
	α_2	3/2+	15.1	13.040	5144.3
	α_3	9/2−	0.03	46.204	5111.2
	α_4	**5/2+**	**11.5**	**51.701**	**5105.5**



The (kind of) primary 'deliverable'...

Exemplo I: espectros de vidros de borossilicato (BSG) não dopado e dopado c/ Li, obtidos no LATR/IST



Q: o que é isto ?

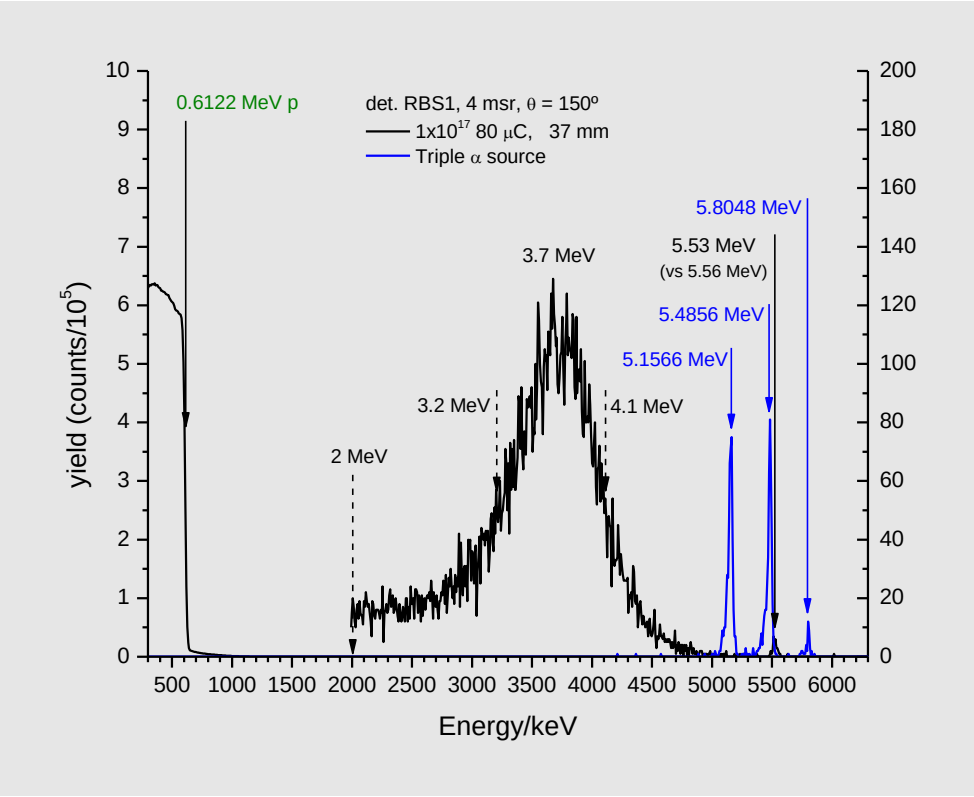
Q: qual das amostras tem B ?

Qual das amostras tem Li ?

Exemplo II...

Espectros NRA de Si implantado com B p/ $^{11}B(p,\alpha)$ c/ Ep = 700 keV, a 150°

Note-se a sobreposição dos espectros α da fonte radioactiva conhecida (a azul) usada p/ calibração



Q: conseguem justificar o espectro (distribuição em energia)?

Resultados...

Bibliografia:
[1] Introductory nuclear physics (book), K.S. Krane, 2nd ed., Wiley, New York, 1988, USA.
[2] Fundamentals of surface and thin film analysis, L.C. Feldman, JW. Mayer, North-Holland, New York, 1986, USA.
[3] Ion beam analysis of Li-Sn alloys for fusion applications, R. Mateus et al., https://doi.org/10.1016/j.nimb.2020.09.019