



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE- UNICENTRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS  
NATURAIS E MATEMÁTICA-PPGEN  
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS E  
MATEMÁTICA**



**CONSTRUÇÃO DE UM DETECTOR DE IONIZAÇÃO  
GASOSA COM MATERIAL DE BAIXO CUSTO  
PARA PRÁTICAS EXPERIMENTAIS NO ENSINO DE  
FÍSICA NUCLEAR**

**PRODUÇÃO TÉCNICA**

**Cleber Adelar Boff  
Prof. Dr. Rodrigo Oliveira Bastos**

**GUARAPUAVA, PR**

**2016**

## Sumário

<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>1. FUNDAMENTAÇÃO TEORICA .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Fundamentos de Física Nuclear.....</b>	<b>2</b>
1.1.1 Decaimento Radioativo .....	2
1.1.2 Tipos de Radiação.....	3
1.1.3 Interação da Radiação com a matéria.....	5
1.1.4 Detectores .....	8
1.1.5 Câmaras de ionização .....	9
1.1.6 Séries Radioativas.....	10
1.1.7 Radônio-222 .....	14
1.1.8 Radônio-220 .....	15
1.1.9 Amerício-241 .....	16
<b>2. EXPERIMENTANDO COM A FÍSICA NUCLEAR .....</b>	<b>18</b>
2.1 Montagem da Câmara de Ionização .....	18
2.2 Fontes Radioativas sugeridas.....	24
2.3 Propostas Experimentais .....	25
2.3.1 Mapeamento da concentração dos filhos do Radônio-222 no ar ambiente.....	25
2.3.2 Medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lampião e pelo Amerício-241 .....	27
2.3.3 Medida da Meia vida-vida do Radônio-220 da série do Tório-232 ..	30
<b>3. PRÁTICAS EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>33</b>
3.1 Atividade 1 – Mapeamento da concentração dos filhos do Radônio-222 no ar de diferentes ambientes internos.....	33
3.2 Atividade 2 – Medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lampião .....	35
3.3 Atividade 3 – Medida da Meia vida-vida do Radônio-220 da série do Tório-232 .....	38
3.4 Atividade 4 – Medida do alcance das partículas alfa emitidas pelo Amerício-241 .....	41

<b>4. QUESTÕES EXTRAS .....</b>	<b>44</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>

## APRESENTAÇÃO

Este caderno é destinado aos professores de Física ou Química que trabalham com o conteúdo de Física Nuclear no Ensino Médio. O material produzido surgiu a partir de uma implementação, realizada em uma Escola Particular da cidade de Guarapuava. Tal pesquisa fez parte do trabalho de conclusão do Mestrado Profissional em Ensino de Ciência e Matemática, desenvolvido pelo Professor Cleber Adelar Boff, sob orientação da Prof. Dr. Rodrigo Oliveira Bastos, na UNICENTRO - Campus CEDETG.

Este trabalho mostra que a instrumentação com temas de Física Nuclear torna-se possível no Ensino Médio. Dessa forma, o docente pode fazer relações entre teoria e prática, sendo possível tornar mais significativo o aprendizado para o aluno.

Contudo, embora a atividade tenha sido realizada com alunos do Ensino Médio, nada impede que professores do Ensino Fundamental ou Superior aproveitem as sugestões e façam adaptações necessárias à realidade de sua turma.

Com este material, o docente encontrará um exemplo de como trabalhar com temas de Física Nuclear em suas aulas, visando dar maior significado aos conteúdos de Física Moderna na sua vida.

# 1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

## 1.2 Fundamentos de Física Nuclear

### 1.2.1 Decaimento Radioativo

A síntese que se segue, foi baseada em Sears (1985).

Os processos radioativos seguem uma lei de desintegração exponencial, ou seja, o número de núcleos radioativos decresce continuamente à medida que alguns dos núcleos se desintegram. Entretanto a taxa com que um o número decresce, varia muito de núcleo para núcleo.

Seja  $N$  o número de núcleos radioativos presentes numa amostra, no instante  $t$ , e  $dN$  o número de transformações em um pequeno intervalo de tempo,  $dt$ . E como cada transformação resulta num decréscimo do número  $N$ , temos que a taxa de variação de  $N$  é  $-dN/dt$ . Assim quanto maior o número de núcleos na amostra, maior será o número de núcleos que sofrerão transformações, de modo que a taxa de variação de  $N$  é proporcional a  $N$ , que é igual a uma constante  $\lambda$  multiplicada por  $N$ . Assim,

$$dN/dt = -\lambda N. \quad \text{equação(1)}$$

Se, inicialmente, o número de núcleos radioativos de um tipo é  $N_0$ , o número de núcleos desse mesmo tipo remanescentes após um tempo  $t$  é:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad \text{equação(2)}$$

em que  $\lambda$  é a constante de desintegração (ou constante de decaimento), característica do tipo de núcleo em questão.

O intervalo de tempo  $T$ , durante o qual metade dos núcleos radioativos de um tipo presentes numa amostra decaem, é chamado *meia vida*. A meia vida  $T_{1/2}$  de uma amostra radioativa é definida como:

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,6931 / \lambda \quad \text{equação(3)}$$

Metade dos núcleos originais de uma amostra radioativa, decaem num intervalo de tempo  $T_{1/2}$ , metade dos remanescentes decaem num segundo intervalo,  $T_{1/2}$  e assim por diante, de acordo com o gráfico 1.

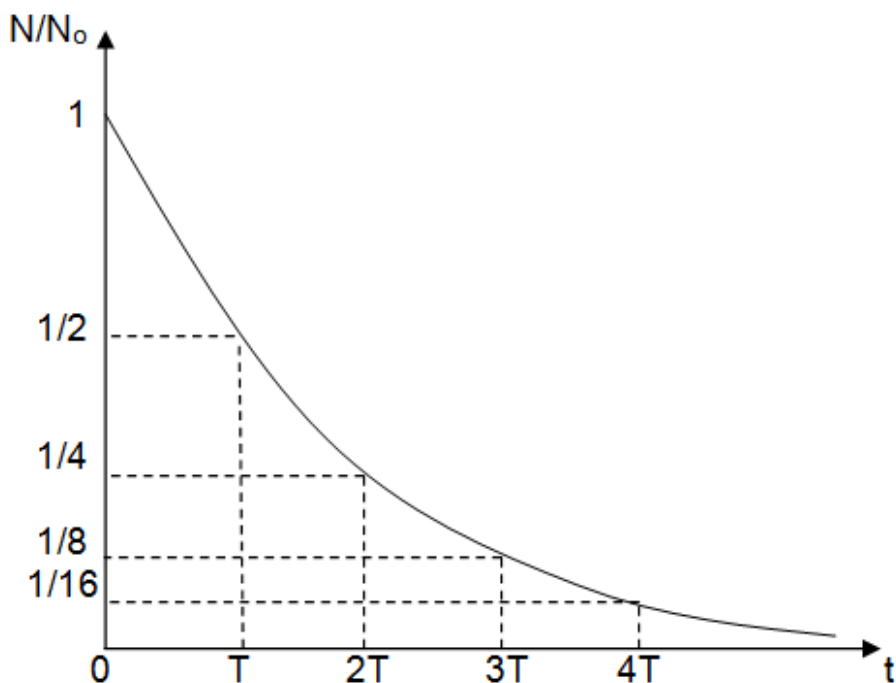


Gráfico 1 – Curva de decaimento de um elemento radioativo Fonte: Autoria própria.

Assim observa-se que o número de desintegrações é proporcional ao número de núcleos radioativos na amostra, e a atividade decresce exponencialmente com o tempo, da mesma maneira que o número  $N$ .

### 1.2.2 Tipos de Radiação

A síntese que se segue foi baseada em Eisberg (1985).

Os núcleos instáveis, frequentemente denominados de radioativos, são levados a esse estado em consequência de uma reação nuclear. Em alguns casos produzidos nos aceleradores de partículas, e em outros casos, está ligada a fenômenos naturais que ocorrem a bilhões de anos.

Para um sistema que contém certo número de núcleons em um estado de maior energia, sofre o chamado decaimento radioativo, com objetivo de atingir a estabilidade.



no decaimento  $\beta^+$  é conhecida como neutrino, ou pequeno nêutron. Sua antipartícula, o antineutrino, acompanha o elétron no decaimento  $\beta^-$ .

As partículas beta emitidas pelo núcleo em decaimentos radioativos são de alta energia. A maioria das energias beta são menores de 1 MeV, mas há alguns emissores de partículas beta com energias mais elevadas.

Em muitos casos, após ocorrer um dos tipos de desintegração descritos anteriormente, o processo radioativo se completa. Em outros, o núcleo filho é formado em um de seus estados excitados, contendo, ainda, um excesso temporário de energia.

Segundo (Cardoso 2003), geralmente, após a emissão de uma partícula  $\alpha$  ou  $\beta$ , o núcleo resultante desse processo, ainda com excesso de energia, procura estabilizar-se, emitindo esse excesso em forma de onda eletromagnética, da mesma natureza da luz, sem carga elétrica, denominada radiação gama. Em um decaimento gama, tanto o número de massa quanto o número atômico permanecem os mesmos.

### 1.2.3 Interação da Radiação com a matéria

Uma partícula carregada, ao passar através de uma substância (alvo) pode interagir com elétrons carregados negativamente e núcleos de átomos ou moléculas carregados positivamente (CNEN, 2003). Essas partículas, à medida que penetram na matéria, sofrem colisões e interações com perda de energia até que, a uma dada espessura do material, toda energia é dissipada e a partícula, portanto, para de se deslocar.

As partículas alfas que inicialmente possuem a mesma energia, são denominadas monoenergéticas e percorrem distâncias aproximadamente iguais na matéria. O alcance médio (em centímetros) de uma partícula alfa no ar (em condições normais) com energia entre 4 a 10 MeV, pode ser dado pela seguinte equação empírica de Sorrensen e Phelp (2009):

$$\mathbf{R} = \mathbf{0,325E}^{3/2} \quad \text{equação (7)}$$

Sendo  $\mathbf{R}$  o alcance, em [cm] e  $\mathbf{E}$  a energia da partícula alfa, em MeV.



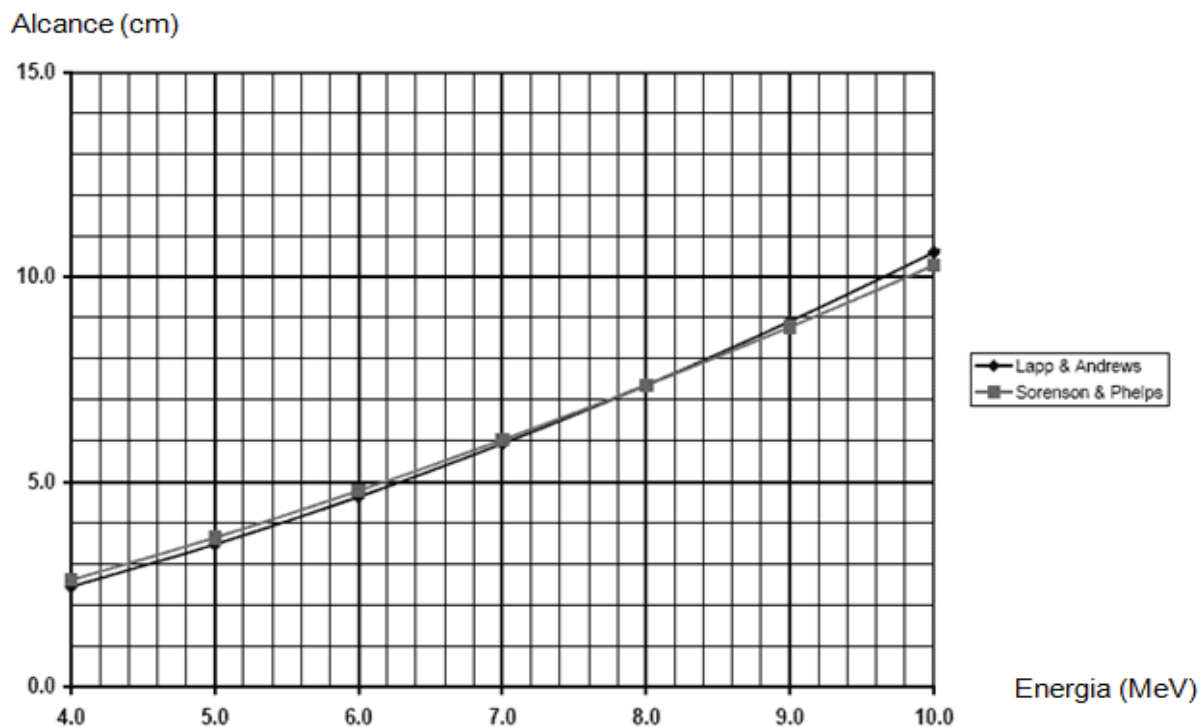


Gráfico 2 - Alcance da partícula alfa no ar. Fonte: Alpharubicon (2009)

O gráfico apresenta o alcance da partícula alfa no ar. As partículas alfas são muito mais massivas do que os elétrons, e assim, quando eles se movem através do ar tendem a ionizar tudo. Devido a isso as partículas alfa podem iniciar a trajetória no meio, com muito mais energia do que uma partícula beta, mas eles vão desacelerar e parar muito mais rápido.

Existem alguns emissores beta com energias elevadas, mas a maior parte da energia beta emitida é menor que 1 MeV (CNEN, 2003), conforme podem ser verificadas nas tabelas 1, 2 e 3, que tratam das séries radioativas naturais. As partículas beta viajam até alguns metros no ar, e após uma longa distância as partículas terão perdido grande quantidade de energia, de modo que a sua penetração diminuirá.

Várias são as fórmulas empíricas para o cálculo do alcance das partículas beta, que são válidas somente em determinados intervalos de energia. Como exemplo, tem-se a fórmula empírica de Flammersfield (1946) descrita por Paul e Steinwedel (1955), que pode ser utilizada, para o intervalo de 0,15 a 0,8 MeV:

$$R = 0,407E^{1,38} \quad \text{equação(8)}$$

O alcance da partícula no ar é expresso em centímetros.

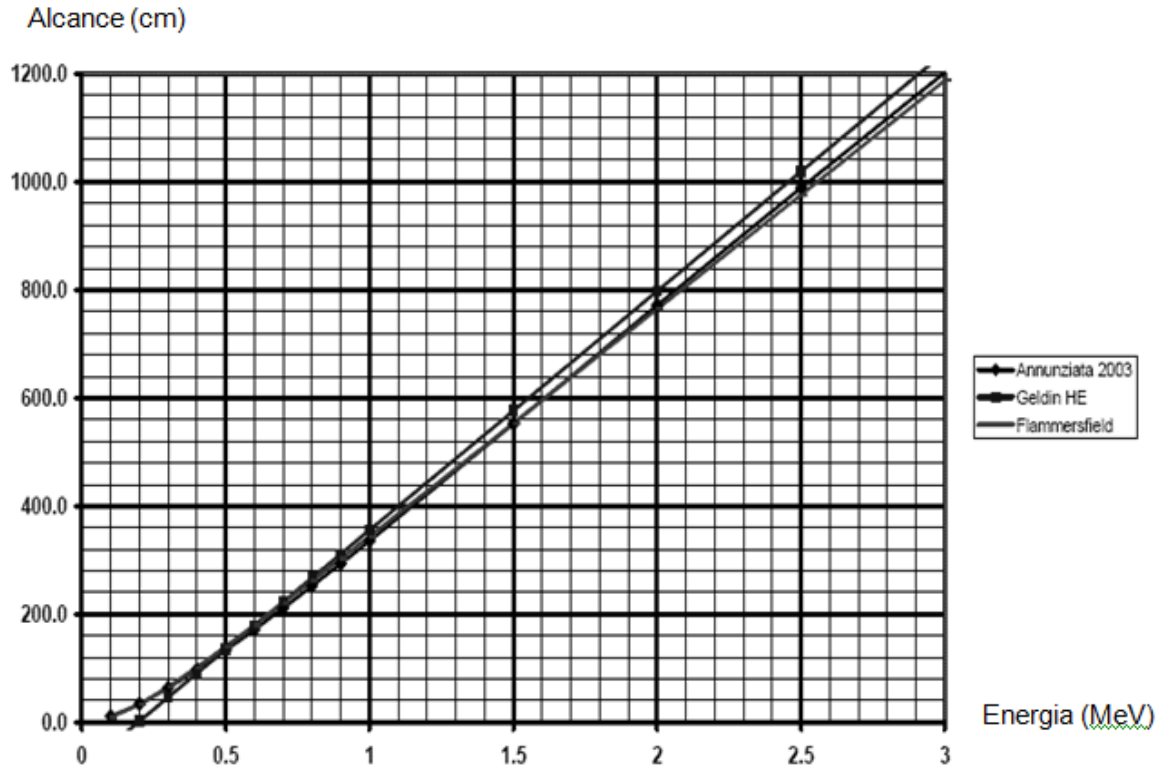


Gráfico 3 - Alcance da partícula beta no ar. Fonte: Alpharubicon (2009)

Assim como as partículas alfa, as partículas beta também são influenciadas pelos elétrons do material pelo qual estão viajando. E seu poder de penetração é superior devido ao fato da partícula possuir massa muito inferior à da partícula alfa. Mesmo que a partícula beta possua carga (carga negativa ou positiva), ela terá maior penetração, pois é mais leve e terá menor perda de energia.

Segundo Leo (1997), uma vez que a perda de energia da partícula alfa por íon formado é quase constante, a ionização é proporcional à taxa da perda de energia por partículas alfa,  $dE/dx$ . O número de íons produzidos por unidade de distância é pequeno no início do percurso, aumenta para um máximo perto do final do percurso, e, em seguida, cai para zero, quando a partícula alfa torna-se muito lenta para qualquer outra ionização.

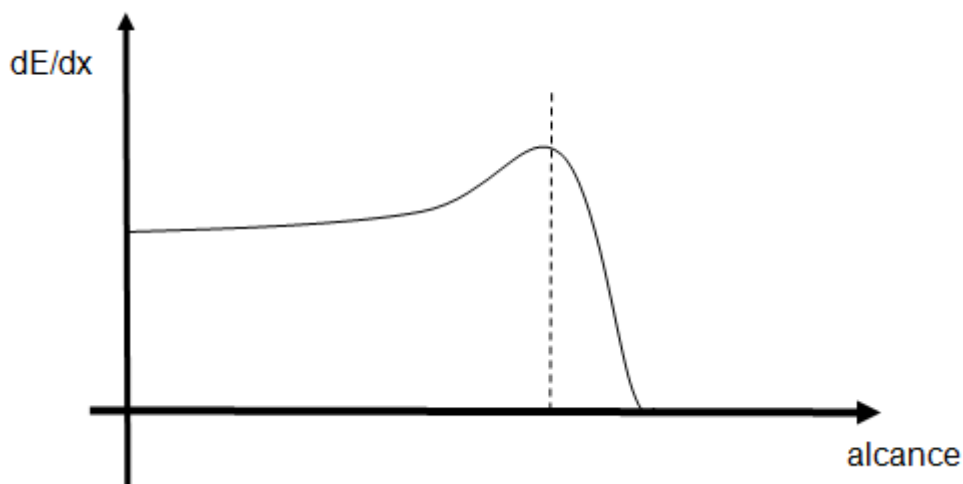


Gráfico 4 - Curva de Bragg. Fonte: Autoria própria.

O efeito é visto no gráfico 4 que mostra a quantidade de ionização criada por uma partícula como uma função da sua posição retardando-se ao longo do caminho. Isso é conhecido como curva de Bragg, que traça a perda de energia de radiações ionizantes durante a sua viagem. Como pode ser observado a maior parte da energia é perdida perto do final da trajetória e o pico mostrado ocorre porque a interação aumenta à medida que a energia da partícula carregada diminui.

Segundo CNEN (2014), “no processo de interação de partículas carregadas com a matéria, a energia é perdida em decorrência de um grande número de colisões, a maioria são com elétrons orbitais, processo esse que não ocorre na interação da radiação gama ou X com a matéria”.

#### 1.2.4 Detectores.

Ribas (2011) diz que existe uma grande variedade de detectores para as mais diversas aplicações, mas todos são baseados no mesmo princípio: o depósito de parte ou toda a energia da radiação para o detector, onde é convertida em alguma outra forma mais acessível de percepção. A forma na qual a energia é convertida depende do detector. Cada detector é sensível a um tipo de radiação e energia, e pode ser totalmente inadequado para medir outro tipo.

Os detectores são projetados para serem sensíveis a certos tipos de radiação e a um dado intervalo de energia, portanto é necessário que uma quantidade mínima produza um sinal que possa ser processado e que a quantidade de ionização produzida

pela radiação em um detector seja proporcional à energia depositada no volume sensível.

Os detectores estão divididos em: detectores de ionização gasosa (câmaras de ionização, contadores proporcionais e Geiger Müller), os detectores de cintilação e os detectores de semicondutores. O tipo de radiação detectada, também é uma forma de distinguir os diferentes tipos de aparelho detectores. De acordo com CNEN (2003), outros fatores determinantes na escolha do detector são a facilidade de operação, facilidade e disponibilidade de manutenção e, finalmente, o custo do detector.

Este trabalho se restringirá à apresentação da câmara de ionização, uma das técnicas mais antigas e mais utilizadas na detecção de radiação ionizante. Todas elas funcionam através da ionização de um gás. Em geral, estes detectores possuem uma câmara de forma cilíndrica preenchida com gás ou gases à baixa pressão e um fio bem isolado das paredes deste cilindro entre os quais se aplica uma diferença de potencial (Figura 3).

### **1.2.5 Câmaras de ionização**

Segundo CNEN (2003) uma câmara de ionização consiste de uma estrutura convenientemente montada e aberta de forma que a interação com radiação é medida diretamente no ar.

De acordo com KURAMOTO (2004), tais câmaras são utilizadas para detecção de todos os tipos de radiação, nêutrons e fragmentos de fissão. A fonte radioativa pode ser colocada dentro da câmara, fora dela ou até mesmo misturada ao gás. Apesar de serem simples quanto ao funcionamento, produzem, no entanto, pulsos ou sinais de saída muito pequenos, isto porque apenas a carga produzida é coletada, e desse modo, poderão ser confundidos com o ruído eletrônico.

Esse sinal pode ser recolhido usando um campo elétrico, que faz migrar os elétrons em direção ao ânodo, e os íons para o cátodo (figura 1). Entre os dois eletrodos é aplicada uma diferença de potencial e quando uma partícula penetra na câmara provoca a ionização do gás contido no seu interior. Os íons formados se deslocam para o eletrodo com a polaridade contrária, estabelecendo-se assim uma corrente, sendo que a carga medida em alguns casos é proporcional à energia da partícula.

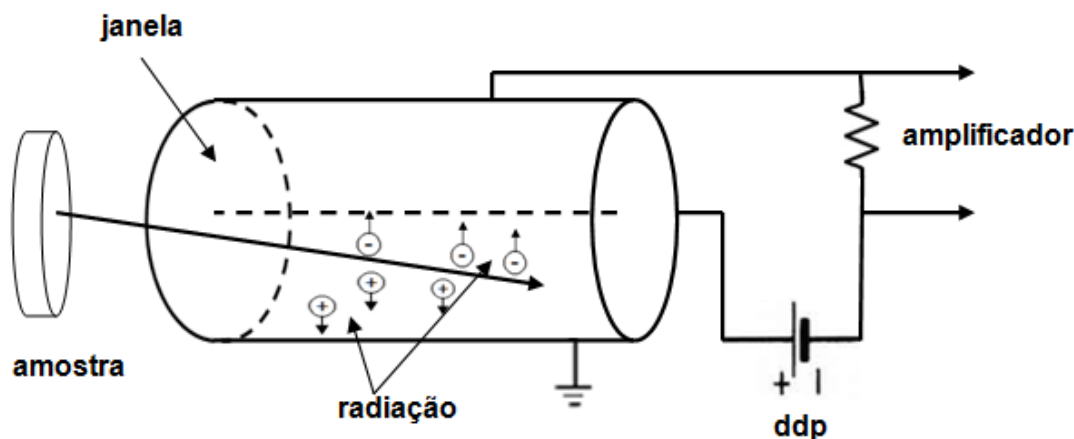


Figura 1 - Diagrama esquemático da câmara de ionização. Fonte: Autoria própria.

### 1.2.6 Séries Radioativas

Segundo CNEN (2003), elementos que mudam de forma espontânea ou "desintegram-se" são descritos como sendo "radioativos" e instáveis. Os únicos elementos naturais que apresentam esta propriedade de realizarem transmutações e emitir partículas alfa ou beta são (com poucas exceções) os de número atômico e massa, muito elevado, como o urânio, tório, rádio e actínio.

Muitas vezes um átomo radioativo de uma espécie particular não decai para um isótopo estável, mas para outro isótopo radioativo. O processo irá continuar, ou seja, sofrerá sucessivas "desintegrações" até atingir a configuração estável, ou de equilíbrio. Existem quatro séries de desintegração, sendo três famílias radioativas naturais, conhecidas como: Série do Urânio, Série do Actínio e Série do Tório. A Série do Netúnio,  $4n + 1$ , não é encontrada na natureza e foi criada em laboratório, pois a meia-vida do isótopo de vida mais longa na série é curto em comparação com a idade da terra, que é estimada em 4600 milhões de anos. Isso leva a quatro séries de decaimento radioativo com números de massa atômica podendo ser descritos como:  $4n + 0$ ,  $4n + 1$ ,  $4n + 2$  e  $4n + 3$ ; onde  $n$  é um número natural. Das séries em que ocorrem decaimentos radioativos, o único tipo de decaimento que altera o número de massa do núcleo é a emissão alfa, que a reduz em quatro unidades.

Na série  $4n + 2$  urânio-238, por exemplo, as meias vidas variam desde  $10^{-4}$  segundos até  $10^9$  anos. A tabela 1 mostra os núcleos da série  $4n + 2$  e os correspondentes decaimentos.

Tabela 1 - Propriedades de decaimento detalhada da série do U<sup>238</sup>.

Nuclídeo	energia $\alpha$ (MeV)	energia $\beta$ (MeV)	intensidade (%)	energia $\gamma$ (MeV)	intensidade (%)
<sup>92</sup> U <sup>238</sup>	4,15		23		
	4,20		77		
<sup>90</sup> Th <sup>234</sup>		0,100	7	0,093	4
		0,103	12	0,064	3,5
		0,191	81	0,030	
<sup>92</sup> U <sup>234</sup>	4,72		28		
	4,77		72		
<sup>90</sup> Th <sup>230</sup>	4,62		24		
	4,69		76		
<sup>88</sup> Ra <sup>226</sup>	4,60		5,4	0,186	4
	4,78		94,6		
<sup>86</sup> Rn <sup>222</sup>	5,49		100		
<sup>84</sup> Po <sup>218</sup>	6,00		~100		
<sup>82</sup> Pb <sup>214</sup>		0,59	~2	0,053	~1
		0,67	47	0,242	4
		0,73	44	0,295	19
		1,03	6	0,352	36
<sup>83</sup> Bi <sup>214</sup>		0,4	9	0,609	47
		1,0	23	0,665	2,3
		1,51	40	0,769	5,3
		1,88	9	0,787	1,2
		3,26	19	0,805	1,5
				0,935	3,3
				1,12	16
				1,155	1,8
				1,26	7,7
				1,40	8,8
				1,51	2,4
				1,66	1,2
				1,73	3,2
				1,76	17
				1,85	2,3
				2,12	1,3
				2,20	6
				2,44	2
<sup>84</sup> Po <sup>214</sup>	7,69		100		
<sup>82</sup> Pb <sup>210</sup>		0,015	81	0,047	4,1
		0,016	19		
<sup>83</sup> Bi <sup>210</sup>		1,16	100		
<sup>84</sup> Po <sup>210</sup>	5,31		100		
<sup>82</sup> Pb <sup>206</sup>					Estável

Fonte: ADAMS (1970).

E a Série do Actínio,  $4n + 3$ , têm número de massa que pode ser escrito  $A = 4n + 3$ , com  $n$  inteiro, começando com o núcleo de urânio-235 para o qual  $n = 58$ . Na realidade, inicia-se com o urânio-235 e tem esse nome, porque se pensava que ela começava pelo actínio-227. A tabela 2 mostra os núcleos da série  $4n + 3$  e os correspondentes decaimentos.

Tabela 2 - Propriedades de decaimento detalhada da série do  $U^{235}$ .

Nuclídeo	energia $\alpha$ (MeV)	energia $\beta$ (MeV)	intensidade (%)	energia $\gamma$ (MeV)	intensidade (%)
$^{92}U^{235}$	4,40		84	0,143	11
	4,55		10,5	0,185	54
$^{90}Th^{231}$		0,134	20	0,026	12
		0,218	33	0,059	
		0,299	39	0,082	
$^{91}Pa^{231}$	4,73		11	0,290	6
	4,95		22		
	5,02		47		
	5,06		10		
$^{89}Ac^{227}$		0,046	89		
$^{90}Th^{227}$	5,71		14		
	5,76		21		
	5,98		24		
	6,04		23		
$^{88}Ra^{223}$	5,57		35	0,147	12
	5,73		63	0,270	10
$^{86}Rn^{219}$	6,42		8		
	6,55		11		
	6,82		81		
$^{84}Po^{215}$	7,38		100		
$^{82}Pb^{211}$		1,36	92		
$^{83}Bi^{211}$	6,28		16	0,351	14
	6,62		84		
$^{84}Po^{211}$	7,45		99		
$^{81}Tl^{207}$					
$^{82}Pb^{207}$	Estável				

Fonte: ADAMS (1970).

A série 4n tem número de massa que pode ser escrito  $A = 4n$ , com n inteiro, começando com o núcleo de tório-232, para o qual  $n = 58$ . A tabela 3 mostra os núcleos da série 4n e os correspondentes decaimentos.

Tabela 3 - Propriedades de decaimento detalhada da série do  $\text{Th}^{232}$ .

Nuclídeo	energia $\alpha$ (MeV)	energia $\beta$ (MeV)	intensidade (%)	energia $\gamma$ (MeV)	intensidade (%)
$^{90}\text{Th}^{232}$	3,95		24	0,059	
	4,01		76		
$^{88}\text{Ra}^{228}$		0,024	30	0,010	
		0,04	70		
$^{89}\text{Ac}^{228}$		0,45	13	0,058	
		0,64	7,6	0,129	4,1
		1,11	53	0,209	1
		1,70	6,7	0,270	3
$^{90}\text{Th}^{228}$		1,85	9,6	0,328	4
		2,18	10,1	0,338	11
	5,34		28	0,084	1,6
	5,43		71		
$^{88}\text{Ra}^{224}$	5,45		6	0,241	3,7
	5,68		94		
$^{86}\text{Rn}^{220}$	6,29		100		
$^{84}\text{Po}^{216}$	6,78		100		
$^{82}\text{Pb}^{212}$		0,154	5	0,115	
		0,331	81	0,239	47
		0,569	14	0,300	3,2
$^{83}\text{Bi}^{212}$	6,05		23,5	0,040	2
	6,09		9	0,727	7,1
		0,67	2,2	0,785	1,1
		0,93	1,4	1,620	1,8
		1,55	5		
$^{81}\text{Po}^{212}$		2,27	54		
	8,78		100		
$^{81}\text{Tl}^{208}$		1,04	4,6	0,277	7
		1,29	24	0,511	23
		1,52	23	0,583	86
		1,80	49	0,763	2
				0,860	12
$^{82}\text{Pb}^{208}$				2,615	100
	Estável				

Fonte: ADAMS (1970).

A Série do Netúnio,  $4n + 1$ , não é encontrada na natureza e foi criada em laboratório, pois a meia-vida do isótopo de vida mais longa na série é curto em comparação com a idade da terra, que é estimada em 4600 milhões de anos.



### 1.2.7 Radônio-222

Geralmente, materiais radioativos à nossa volta estão seguramente ligados em sólidos, como por exemplo, isótopos radioativos de urânio, tório ou rádio presos no concreto e no solo. Estes materiais radioativos decaem para elementos mais leves.

Na série do Urânio-238 um dos filhos é o radônio-222, um gás nobre radioativo. Ele é quimicamente inerte e não permanece ligado ao sólido da mesma forma que seus pais. Ele pode se difundir através do sólido e pode emanar para a atmosfera. Assim, todos aspiram um pouco de gás radônio a cada vez que se aspira o ar, mas logo em seguida o expiram, sendo baixa a probabilidade de seu decaimento no interior dos pulmões, excluindo-se quando a sua atividade no ar é relativamente alta.

Tabela 4 - Decaimento e meia vida da família do urânio-238.

Núcleo	Símbolo	Decaimento	Meia Vida
Urânio 238	$^{238}\text{U}_{92}$	$\alpha$	$4,5 \times 10^9$ anos
Tório 234	$^{234}\text{Th}_{92}$	$\beta$	24 dias
Protactínio 234	$^{234}\text{Pa}_{91}$	$\beta$	1,2 min
Urânio 234	$^{234}\text{U}_{92}$	$\alpha$	$2,5 \times 10^5$ anos
Tório 230	$^{230}\text{Th}_{90}$	$\alpha$	$8 \times 10^4$ anos
Rádio 226	$^{226}\text{Ra}_{88}$	$\alpha$	1620 anos
Radônio 222	$^{222}\text{Rn}_{86}$	$\alpha$	3,82 dias
Polônio 218	$^{218}\text{Po}_{84}$	$\alpha$	3 min
Chumbo 214	$^{214}\text{Pb}_{82}$	$\beta$	27 min
Bismuto 214	$^{214}\text{Bi}_{83}$	$\beta$	19 min
Polônio 214	$^{214}\text{Po}_{84}$	$\alpha$	$1,6 \times 10^{-4}$ s
Chumbo 210	$^{210}\text{Pb}_{82}$	$\beta$	22 anos
Bismuto 210	$^{210}\text{Bi}_{83}$	$\beta$	5 dias
Polônio 210	$^{210}\text{Po}_{84}$	$\alpha$	138 dias
Chumbo 206	$^{206}\text{Pb}_{82}$	-----	Estável

Fonte: ADAMS (1970).

A tabela 4 mostra a série radioativa do Urânio-238. Destaca-se um de seus filhos, o Radônio-222 com uma meia vida relativamente curta, quatro dias aproximadamente, que emite partículas alfa de energia 5,49 MeV, decaindo depois para elementos mais leves como o polônio e o bismuto.

O Polônio-218, de meia-vida de poucos minutos, também é emissor alfa de energia 6,0 MeV, após o polônio decai para o Chumbo-214, de meia vida de 26,8 min emissor beta e depois para Bismuto-214, de meia vida 19,7 minutos, também emissor

beta. Observa-se que o próximo elemento da série é o Polônio-214, de meia vida  $1,6 \times 10^{-4}$ s, também emissor alfa de energia 7,68 MeV.

Devido ao fato de estes, não serem gases nobres, eles irão se ligar a alguma superfície ou pequenas partículas de poeira. Assim, eles podem ser coletados através de um filtro e serem utilizados para medidas de radiação.

### 1.2.8 Radônio-220

Na série do tório-232 o radônio-220 é o gás nobre radioativo e emissor alfa.

O radônio-220, também chamado de torônio é produzido, neste caso pelo decaimento do rádio-224, da série do tório-232. Mas, pequenas quantidades alcançam a atmosfera antes de decair, devido a sua meia-vida de aproximadamente 55s, limitando assim a distância que o mesmo pode percorrer.

A tabela 5 mostra o tipo de decaimento e a meia vida da família do Tório-232.

Tabela 5 – Decaimento e meia vida da família do Tório-232.

Núcleo	Símbolo	Decaimento	Meia Vida
Tório 232	$^{232}\text{Th}_{90}$	$\alpha$	$1,41 \times 10^{10}$ anos
Rádio 228	$^{228}\text{Ra}_{88}$	$\beta$	6,7 anos
Actínio 228	$^{228}\text{Ac}_{89}$	$\beta$	6,13 h
Tório 228	$^{228}\text{Th}_{90}$	$\alpha$	1,91 anos
Rádio 224	$^{224}\text{Ra}_{88}$	$\alpha$	3,64 dias
Radônio 220	$^{220}\text{Rn}_{86}$	$\alpha$	55,3 s
Polônio 216	$^{216}\text{Po}_{84}$	$\alpha$	0,145 s
Chumbo 212	$^{212}\text{Pb}_{82}$	$\beta$	10,64 h
Bismuto 212	$^{212}\text{Bi}_{83}$	$\beta$	60,6 min
Polônio 212	$^{212}\text{Po}_{84}$	$\alpha$	$3,04 \times 10^{-7}$ s
Tálio 208	$^{208}\text{Tl}_{81}$	$\beta$	3,1 min
Chumbo 208	$^{208}\text{Pb}_{82}$	-----	Estável

Fonte: ADAMS (1970).

### 1.2.9 Amerício-241

De acordo com Marumo (2006), o amerício-241 é um metal artificial que não possui isótopos estáveis, pertencente a série dos actinídeos. Os actinídeos, também conhecidos por transurânicos, núcleos além do urânio, formam-se através de sucessivas capturas de nêutrons em reatores nucleares.

As fontes seladas contendo Amerício-241 são fabricadas, utilizadas e descartadas e uma das principais aplicações das fontes seladas do Amerício-241 é em detectores de fumaça (a radiação do Amerício-241 é usado para detectar a presença de fumaça ou fontes de calor), pois as partículas alfa emitidas têm curto alcance e a meia vida do Amerício é de 432 anos.

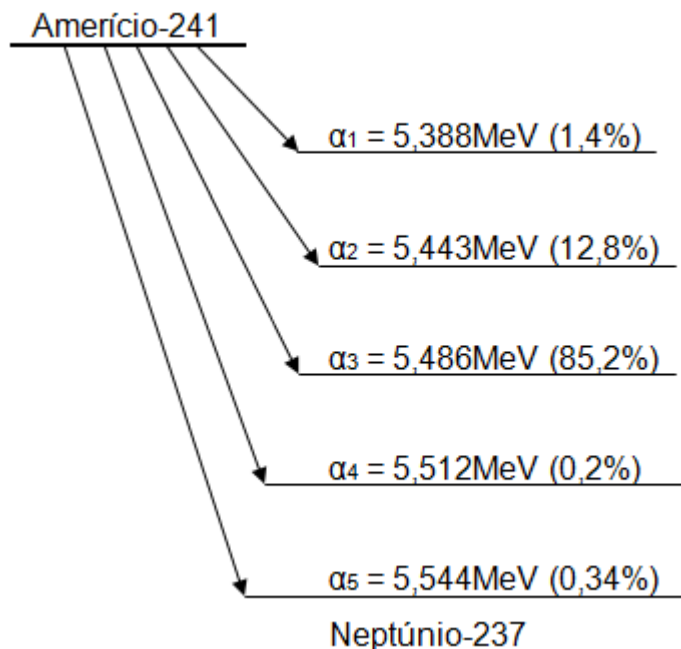


Figura 2 - Ilustração gráfica do primeiro produto do decaimento do amerício-241 para Neptúnio-237. Fonte: TEXAS (1996).

Como pode ser observado na figura 2, a energia de desintegração alfa do Amerício-241 para o Neptúnio-237 excitado, que ocorre em 85% da emissão é, de 5,45 MeV. Também pode ser observado que as demais desintegrações ocorrem com energias que variam em torno de 5,3 a 5,5 MeV.

## 2. EXPERIMENTANDO COM A FÍSICA NUCLEAR

### 2.1 Montagem da Câmara de Ionização

A câmara proposta trabalha em regime contínuo, onde o sinal gerado pelo detector corresponde à taxa média de íons formados no gás.

O princípio básico de funcionamento é a coleta de cargas criadas pela ionização do gás presente no interior da câmara, de forma que a interação é medida diretamente, devido ao campo elétrico estabelecido entre dois eletrodos: negativo (catodo) e positivo (anodo).

A Figura 3 apresenta um diagrama esquemático da câmara de ionização proposta e seu circuito amplificador, que foi modificado em relação ao proposto por WENZEL (2014), pois o transistor Darlington NPN (MPSW45A) utilizado pelo autor não se encontra aqui no Brasil. Alguns transistores Darlington foram testados, mas o que apresentou melhor sensibilidade foram três transistores BC 548 montados em configuração darlington.

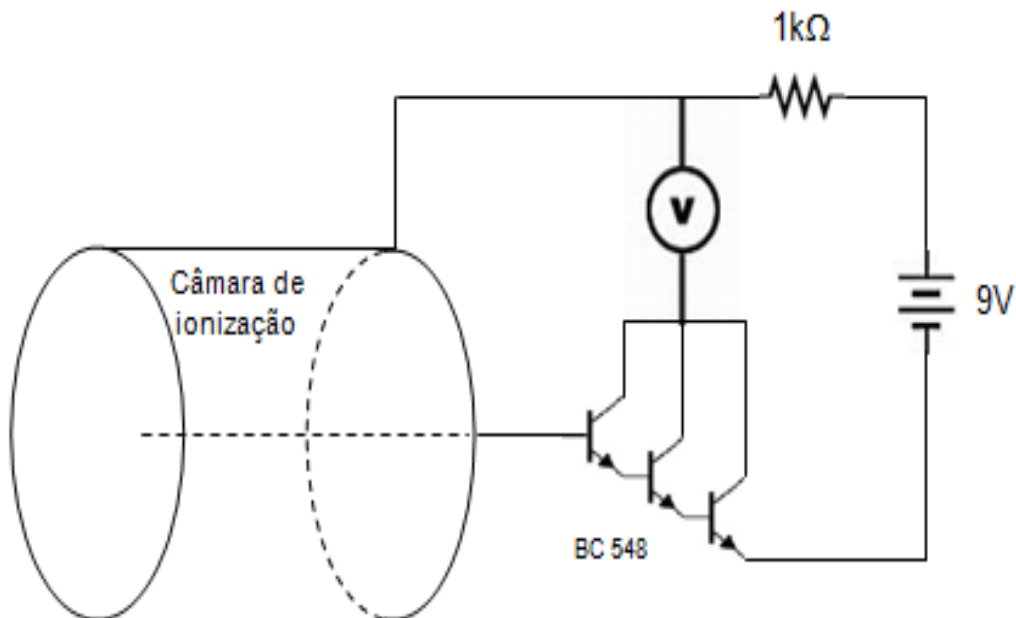


Figura 3 - Diagrama esquemático da câmara de ionização e circuito amplificador constituído de três transistores de uso geral ligados em configuração Darlington. Fonte: Autoria própria.

Utilizou-se neste trabalho uma câmara de geometria cilíndrica. Os materiais utilizados de acordo com a Figura 4 são: uma lata vazia de 250g ou 500g (leite em pó, conservas, refrigerante, nescafé); uma bateria de 9V; três transistores NPN BC548; um resistor de  $1k\Omega$ ; um clipe de papel; cola epóxi; dois pedaços de fio, de cores diferentes, preferencialmente preto e vermelho, de 30cm, flexível, de bitola 1mm ou 1,5mm; conectores banana (preto e vermelho); um conector para bateria; multímetro; tesoura; estilete ou alicate; ferro de solda; papel alumínio; tela metálica; camisinha de lampião; fita adesiva.



Figura 4 - Materiais utilizados na construção da câmara

Inicialmente marca-se no fundo da lata o centro, uma maneira simples é medir o diâmetro e dividir por dois para determinar o raio, Figura 5a, após faz-se um furo onde foi marcado, o ideal é fazer um furo pequeno e usar um alargador, para que fique conforme ilustrado na Figura 5b.

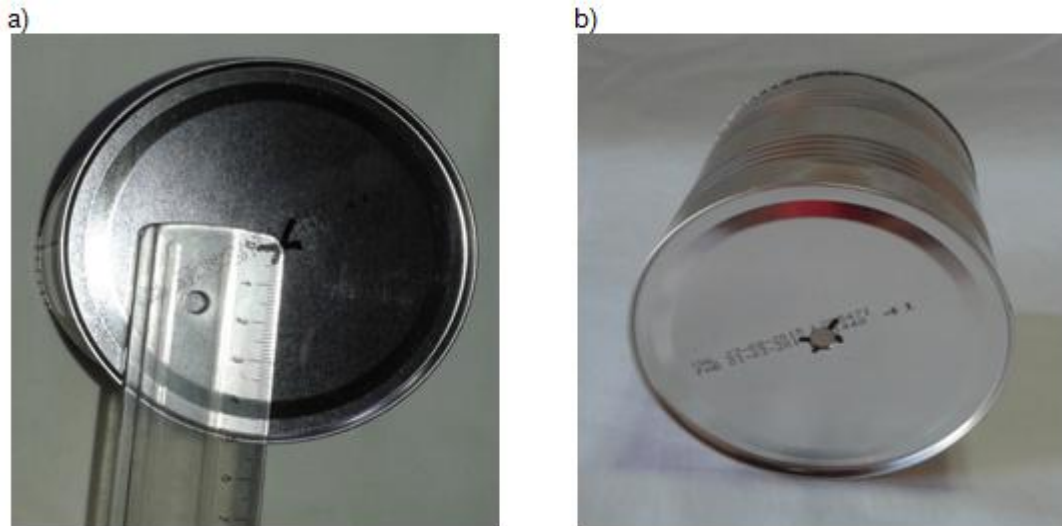


Figura 5 – a) lata com marcação central; b) lata com furo central alargado.

O clipe foi utilizado como eletrodo central da câmara e para isso, deixou-se o mais reto possível, com a ajuda do alicate. Após dobra-se a base (pino do meio) de um dos transistores, em um ângulo de  $90^\circ$ , solda-se o clipe na base Figura 6a. Aplica-se uma pequena quantidade de epóxi no transistor, conforme Figura 6b, tomando cuidado para que o epóxi não toque nas pernas do transistor e que o eletrodo central seja mais curto que o comprimento da lata, Figura 6d. Passa-se o fio longo por dentro do furo da lata e cole o transistor na lata conforme mostrado na Figura 6c.

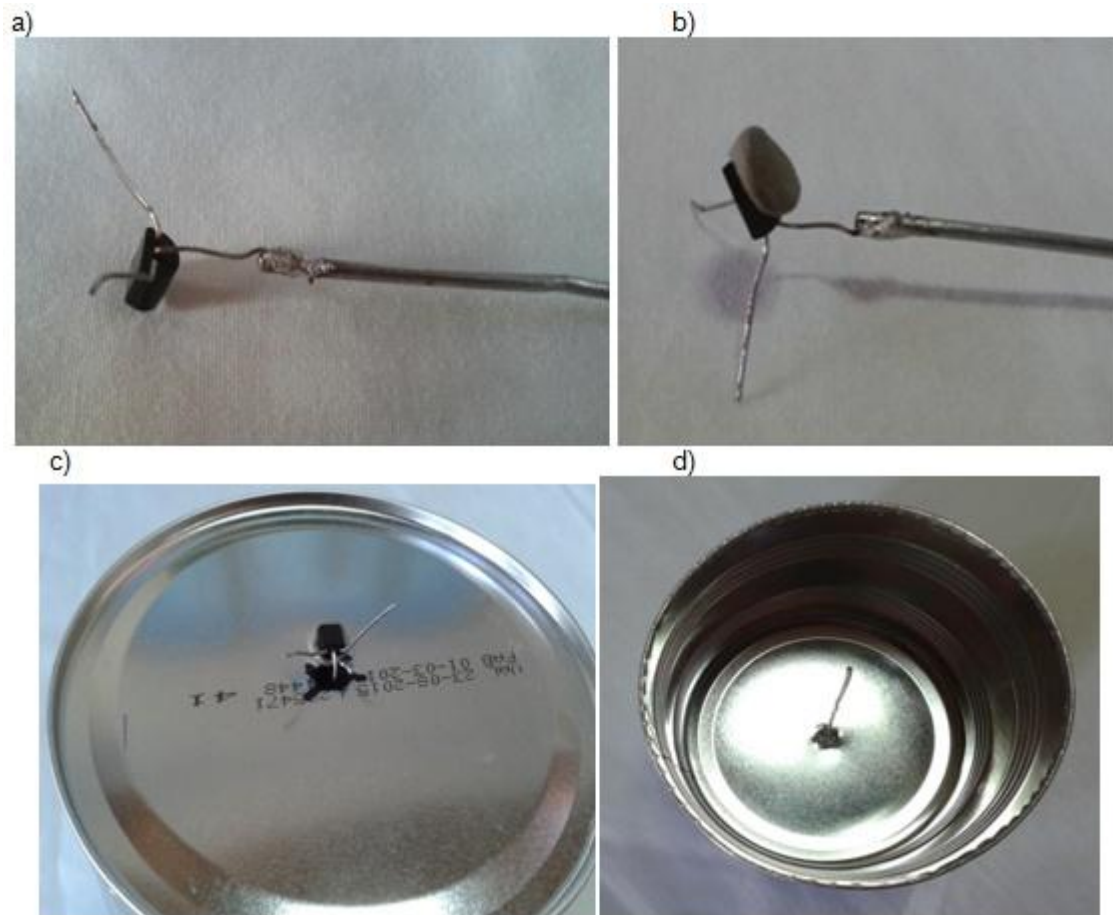


Figura 6 – a) Transistor soldado ao eletrodo central (clipe). b) Transistor com pequena quantidade de epóxi. c) Transistor colado no fundo da lata. d) Vista de dentro da lata, com fio centralizado.

O próximo passo é muito importante, solda-se o resistor na lata de acordo com a Figura 7, e os outros transistores da seguinte forma: a base do segundo transistor, soldado, no emissor do primeiro, que já está colado na lata e a base do terceiro, soldado, no emissor do segundo, os coletores dos três transistores devem ser soldados entre si.

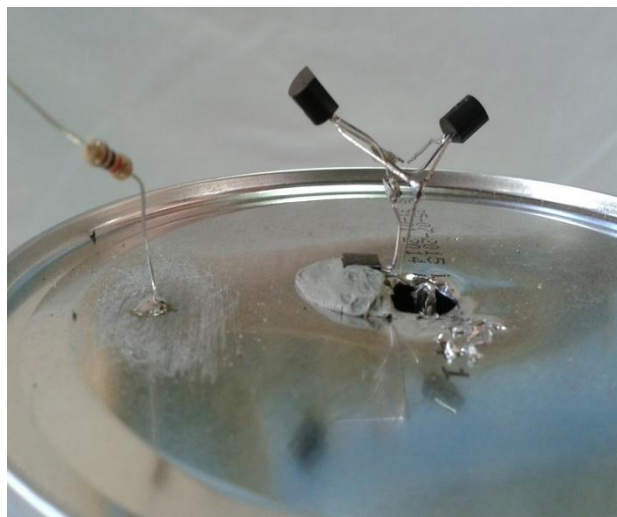


Figura 7 - Resistor e transistores soldados.

Solda-se a outra extremidade do resistor,  $1k\Omega$ , no positivo (vermelho) da bateria e o negativo (preto) no emissor no terceiro transistor. Solde os conectores banana (preto e vermelho), nas extremidades dos fios de 30cm. Após solde o fio com o conector vermelho na extremidade do resistor, junto com o positivo da bateria, e o fio com o conector preto solde junto com os coletores dos três transistores. De acordo com a figura 8.

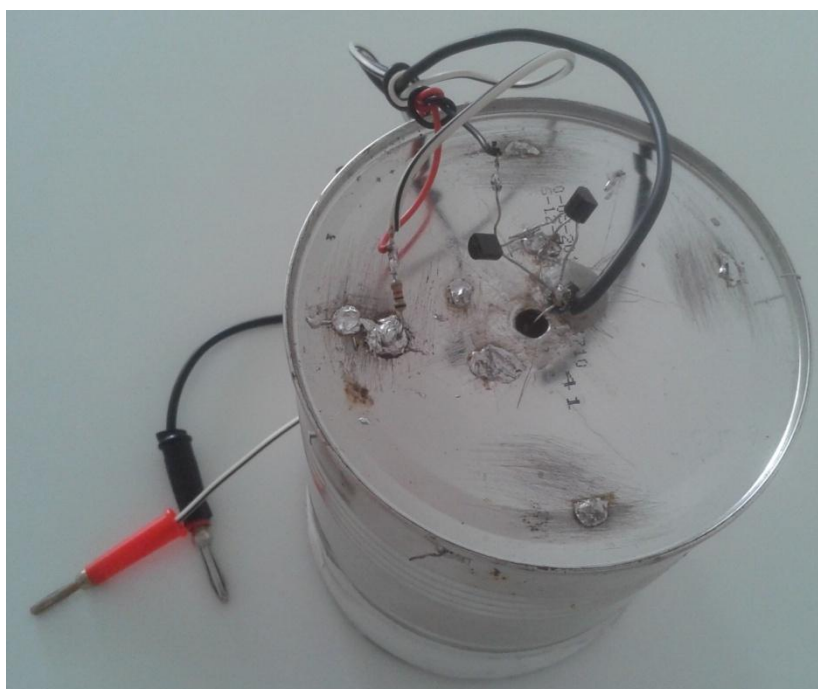


Figura 8- Fios conectados aos dispositivos

Recorta-se um pedaço de tela, de aproximadamente,  $(12\text{cm} \times 12\text{cm})$ , para cobrir a outra extremidade da lata (janela da câmara de ionização) e prende-se a tela com a fita adesiva, conforme figura 9.





Figura 9 – Câmara com janela de tela.

Após a conclusão da câmara solda-se outra lata, de acordo com a Figura 10, de tal forma que os transistores fiquem isolados, evitando assim influência de outros agentes capazes de alterar os resultados.



Figura 10 – Câmara pronta, com lata isolando o circuito amplificador.

Após a conclusão liga-se a bateria no conector e conecta-se a um voltímetro digital definido para a escala de até 20 volts, observa-se que a leitura cai para apenas

alguns volts, Figura 11a. Ao aproximar uma fonte radioativa, da janela da câmara observa-se que a tensão no voltímetro aumenta, conforme mostrado na Figura 11 b e c.

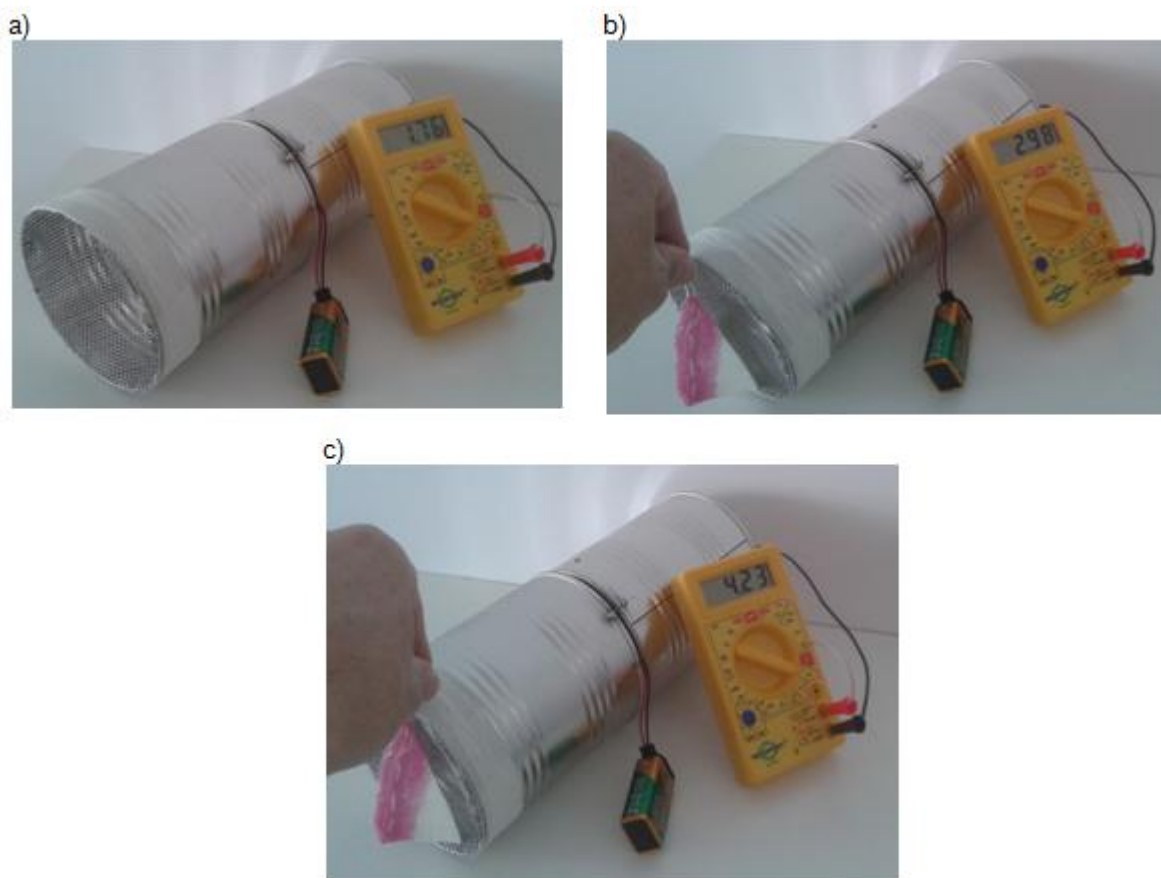


Figura 11 - (a) Câmara pronta com voltímetro conectado e indicando a leitura mínima. (b e c) Câmara com fonte radioativa encostada na janela de alumínio e com a medida indicada.

## 2.2 Fontes radioativas sugeridas.

As fontes radioativas propostas são: filtro de ar contendo filhos do Radônio-222 da série do Urânio-238; a fonte de Amerício-241, pertencente à série dos actinídeos, retirada de um detector de fumaça; e a camisinha de lampião, onde existe a presença de Tório-232 e filhos, incluindo a emissão do Radônio-220 da série do Tório-232.

O elemento mais inerte na série de decaimento do Urânio-238 é o Radônio-222, um gás nobre radioativo. O radônio é quimicamente inerte e não permanece ligado aos sólidos da mesma forma que seus pais, difundindo-se através do sólido e emanando para o ar. O Radônio-222 tem uma meia vida muito curta, quatro dias aproximadamente, decaindo depois para elementos mais reativos, o chumbo, o bismuto e o polônio de meia-vida variando de micro segundos a poucos minutos.

O Amerício-241, que emite partículas alfa (cerca de 85%), tem curto alcance, menos de 5 cm, e possui meia vida de aproximadamente 430 anos, oferece pouco risco por irradiação e são muito utilizados em detectores de fumaça.

Os detectores de fumaça onde é encontrado o Amerício-241 são chamados de detectores de fumaça tipo ionizante, podem ser comprados em lojas especializadas de materiais elétricos e alarmes.

Muitas camisinhas de lampião têm em sua composição dióxido de tório ( $\text{ThO}_2$ ), que apresenta um ponto de ebulição elevado cerca de  $3300^\circ\text{C}$ . Quando aquecido queima-se produzindo uma luz branca brilhante.

As camisinhas de lampião podem ser encontradas em lojas de produtos para caça e pesca. Algumas camisinhas, dependendo da marca, não emitem radiação e os preços variam de loja para loja.

O gás Radônio-220, um dos filhos do Tório-232, pode ser obtido colocando uma camisinha de lampião dentro de um recipiente totalmente fechado, de vidro ou de plástico, aguardando cinco minutos. O Radônio-220, emanado da camisinha, se concentrará no ar ambiente do interior do recipiente podendo ser retirado com uma seringa descartável e injetado dentro do detector de radiação.

## **2.3 Propostas experimentais**

Foram desenvolvidas três práticas experimentais de Física Nuclear utilizando câmaras de ionização.

### **2.3.1 Mapeamento da concentração dos filhos do Radônio-222 no ar ambiental**

Esta atividade consiste em filtrar os aerossóis do ar de diferentes ambientes internos e verificar a presença dos filhos de radônio utilizando a câmara de ionização. Uma comparação das concentrações de filhos no ar poderá ser feita entre os valores indicados pela câmara de ionização para diferentes ambientes.

Este procedimento poderá ser realizado em qualquer ambiente (sala de aula, laboratório, banheiro, cozinha, área de serviço, etc), utilizando a Câmara de ionização,

filtro (gazes) e bomba de vácuo (aspirador de pó, secador de cabelo, cooler adaptado Figura 12 a e b).

O cooler adaptado, figura 14, foi construído tendo como base sugestões de Wenzel (2014), para realizar as coletas dos filhos de Radônio-222 nos ambientes estudados. Foram utilizados na construção: uma lata de leite em pó, cola epóxi, tela metálica, fita adesiva e um cooler de 12V. Inicialmente retira-se o fundo da lata e cola-se o cooler com epóxi, na outra extremidade da lata, prende-se um pedaço de tela (12cm×12cm), com fita adesiva, para que sirva de apoio ao filtro.

Para que a coleta dos filhos do Radônio-222 seja realizada deve-se: ligar a bomba de vácuo, por 5 minutos, dentro do local, com o filtro adaptado, após a filtragem realizar a medida utilizando a câmara de ionização.

As indicações do multímetro devem ser anotadas com o filtro, posicionado logo em frente da janela com a tela, antes e depois da filtragem. Se a ddp no multímetro aumentar depois da filtragem do ar, está comprovada a presença dos filhos do Radônio nos aerossóis coletados. Anotando a voltagem máxima do multímetro ao medir os filtros utilizados em diferentes ambientes, torna-se possível comparar a radioatividade do ar desses ambientes.

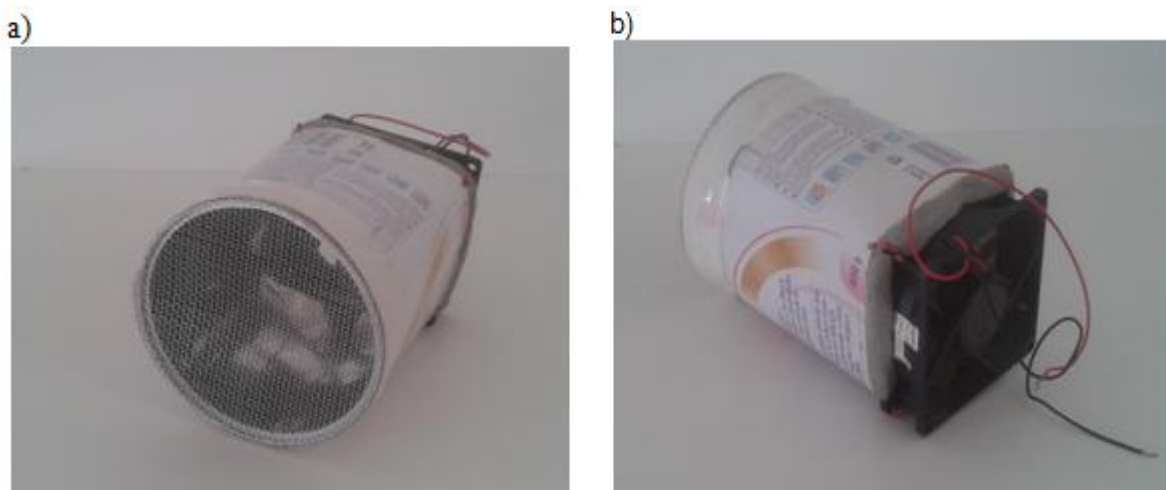


Figura 12 – a) Coletor de radônio utilizando cooler adaptado com janela de tela metálica. b) Cooler adaptado visto por baixo.

Essa prática possibilita aos alunos e ao professor realizar a coleta de material radioativo de baixa intensidade nas salas de aula e com isso poderão ser trabalhados assuntos como: séries radioativas, decaimento e meia-vida.

O quadro 1 apresenta alguns resultados obtidos para a presença dos filhos do radônio-222 a partir de coletas realizadas em diferentes locais e foram utilizados para a coleta: filtro (gazes) e aspirador de pó ou secador de cabelo ou cooler adaptado.

<b>Local da coleta</b>	<b>Coletor utilizado</b>	<b>Filtro antes*</b>	<b>Filtro depois*</b>
- Quarto de hóspedes	Secador de cabelo	1,72V	1,78V
- Garagem	Secador de cabelo	1,70V	1,80V
- Embaixo da escada	Cooler adaptado	1,73V	1,80V
- Área de serviço**	Cooler adaptado	1,72V	1,72V
- Banheiro**	Cooler adaptado	1,72V	1,72V
- Dentro da Churrasqueira	Aspirador de pó	1,72V	1,82V

Quadro 1 - Locais de coleta dos filhos de Rn-222. \* Voltagem indicada no multímetro antes e depois da coleta. \*\*Abaixo do limite de detecção da câmara. Fonte: Autoria própria.

Os locais escolhidos estavam ou foram fechados por pelo menos 12h, para que a coleta fosse realizada e conforme se observa a maioria dos locais foi possível detectar os filhos do radônio-222, com a câmara de ionização.

### **2.3.2 Medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lampião e pelo Amerício-241**

Ao realizar esta prática é possível verificar que ao aproximar a fonte radioativa da janela da câmara de ionização, a ddp no multímetro começa a aumentar, quando a fonte está a determinada distância, isto indica que partículas alfa estão atingindo o volume sensível da câmara e ionizando o ar, dentro da câmara. Utilizando para isso: câmara de ionização, régua (30cm ou 50cm), papel, caneta ou lápis, fita adesiva, suporte (para prender a camisinha ou a fonte de amerício), camisinha de lampião e amerício-241 (retirado de detector de fumaça). Para a realização dessas práticas deve-se primeiramente: ligar a câmara de ionização, esperar a indicação no voltímetro estabilizar (figura 12c), com a régua no lado da câmara de ionização e a camisinha ou a fonte de amerício presas com fita adesiva no suporte (qualquer objeto que facilite a aproximação das fontes à câmara) (figura 12 a e b), aproxime-os lentamente de 1cm em 1cm e anote os valores.

Com os dados encontrados é possível descobrir qual o filho do Tório-232 responsável pela emissão da radiação e sua energia e energia da partícula alfa do

Americío. Ao realizar essa prática assuntos como: alcance das partículas, energia das partículas, interação com a matéria, decaimento e fissão nuclear, poderão ser trabalhados em sala.

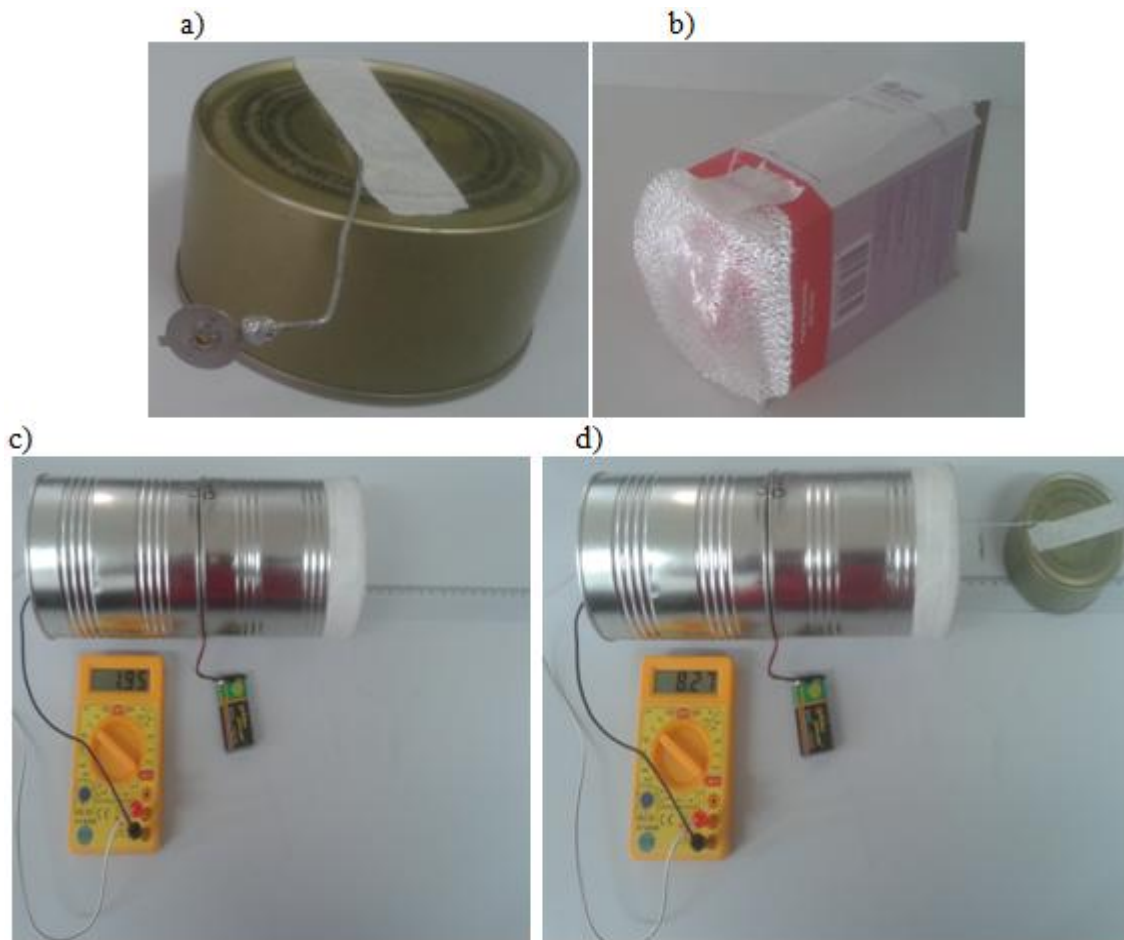


Figura 12 – a) Fonte de amerício presa no suporte. b) Camisinha de lampião presa no suporte. c) Câmara de ionização ligada. d) Fonte de amerício próxima da câmara.

Os pontos destacados no gráfico 5, representam os valores medidos, pela câmara de ionização em função da distância à fonte.

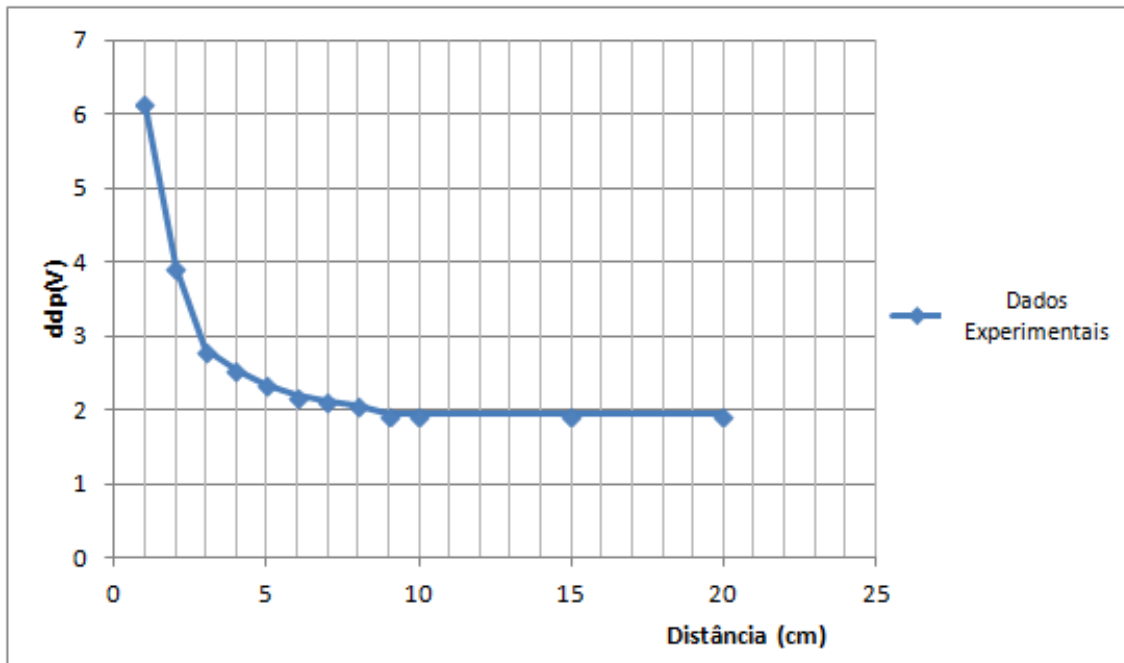


Gráfico 5 - Gráfico da medida da tensão no detector em função da distância entre o detector e a câmara. Fonte: Autoria própria.

Fica evidente no gráfico 5 que a câmara de ionização começa a detectar partículas alfa após 9cm e conforme a fonte se aproxima do detector a tensão indicada aumenta.

No caso da fonte de amerício a distância inicial foi de 10cm da câmara e esperou-se por cerca de 30s. Em seguida, aproximou-se a fonte da câmara em 1cm e aguardou-se 30s, para fazer a nova leitura, e assim sucessivamente de 1 em 1cm, até atingir uma distância entre fonte e câmara de 5cm, após aproximou-se de 0,5cm em 0,5cm. Com os dados obtidos construiu-se o gráfico 6, que representam os valores medidos, pela câmara de ionização em função da distância à fonte.

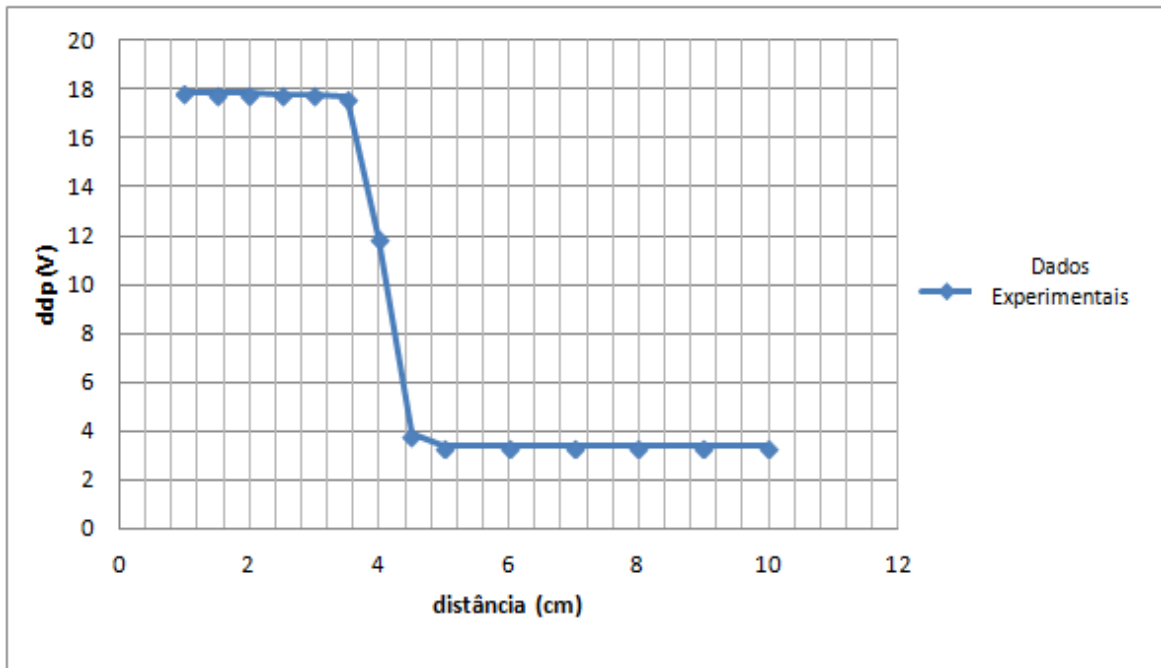


Gráfico 6 - Gráfico da medida da voltagem no detector em função da distância entre o detector e a fonte de amerício. Fonte: Autoria própria

Verifica-se um aumento na medida da voltagem a partir de 5cm.

### 2.3.3 Medida da Meia vida-vida do Radônio-220 da série do Tório-232

Para determinar a meia-vida do radônio-220 da série do tório-232, em sala de aula será necessária a utilização de: câmara de ionização, papel alumínio, cronômetro, camisinha de lampião, recipiente pequeno (vidro de remédio vazio, de preferência com gotejador) e seringa descartável. Para realização da prática: coloque a camisinha de lampião dentro do recipiente descartável, Figura 13a e 13b, e aguarde 10min. Vede a janela da câmara de ionização com o papel alumínio, conforme Figura 16e, ligue-a, espere estabilizar e anote o valor da ddp inicial( $U_i$ ). Retire o gás de dentro do recipiente e injete dentro da câmara de ionização, por meio de um furo feito com a seringa, no papel alumínio, conforme Figura 13d e 13e.

Verificar-se-á um aumento na ddp indica no multímetro e após alguns segundos a leitura no multímetro irá começar a diminuir. A partir deste instante, marcar a voltagem por tempo (medidas de 10 em 10 segundos até completar dois minutos). E ao final das medidas, fazer o cálculo ( $U = U_{\text{medido}} - U_{\text{inicial}}$ ) e construir o gráfico.





Figura 13 – a) Camisinha de lampião e vidro de remédio descartável. b) Camisinha de lampião dentro do vidro. c) Gás sendo retirado de dentro do vidro. d) Injetando gás dentro da câmara de ionização. e) Câmara de ionização com a janela coberta com papel alumínio e materiais utilizados na prática.

Com os dados coletados é possível esboçar o gráfico da meia-vida Radônio-220 e determinar seu valor. Ao realizar essa prática os assuntos, decaimento radioativo e meia-vida, podem ser trabalhados em sala de aula.

A realização dessas atividades poderá contribuir com o ensino-aprendizagem do aluno, dando significado aos conteúdos escolares e aumentando o rol de atividades que despertam a interesse no aluno, melhorando assim a qualidade do ensino.

Interessados em determinar a meia vida do Radônio-220, realizou-se uma prática utilizando uma camisinha de lampião colocada dentro de um recipiente descartável, e com uma seringa descartável retirou-se o gás do recipiente e o jogou dentro da janela da câmara de ionização. Observou-se um aumento da ddp e logo após a ddp começa a diminuir, anotou-se os valores e reproduziu-se em um gráfico. O gráfico 7 apresenta alguns resultados obtidos com a prática.

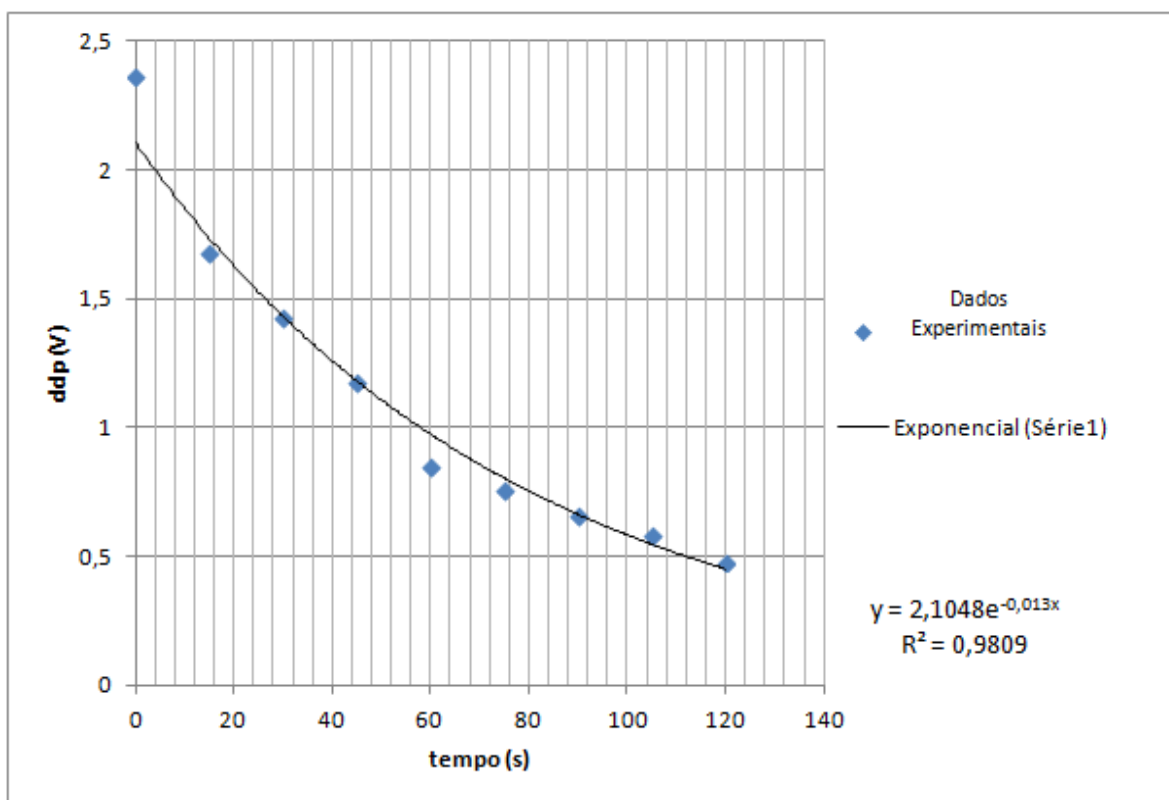


Gráfico 7 – Gráfico do cálculo da meia vida do Rn-220. Fonte: Autoria própria.

Verificou-se um decaimento como era de se esperar e fazendo os cálculos de meia vida, encontraram-se valores que se aproximam consideravelmente do esperado.

### 3. PRÁTICAS EXPERIMENTAIS

#### 3.1 Atividade 1 – Mapeamento da concentração dos filhos do Radônio-222 no ar de diferentes ambientes internos.

##### Objetivo:

Coletar os filhos do Radônio-222 no ar, em diversos ambientes, verificar a sua presença e as diferenças de concentração entre os ambientes.

##### Material utilizado:

Câmara de ionização, filtro (gazes para curativos) e bomba de vácuo (aspirador de pó, secador de cabelo, cooler adaptado Figura, 1a e 1b).

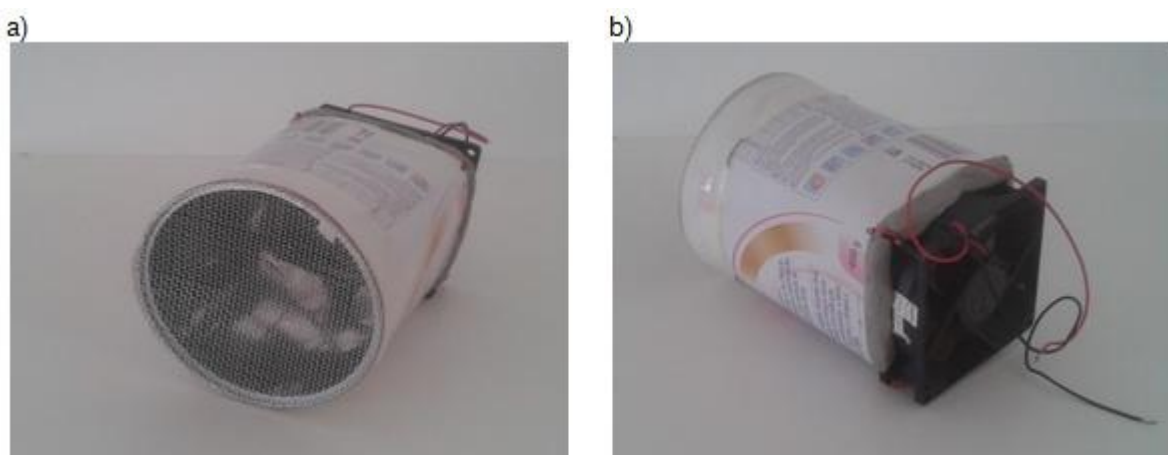


Figura 1 – a) Coletor de radônio utilizando cooler adaptado com janela de tela metálica. b) Cooler adaptado visto por baixo.

##### Desenvolvimento da atividade

a) Inicialmente encontrar uma sala fechada por 12h, onde será feita a medida, ou pode-se fechar um ou mais locais propositalmente por 12h, para que a medidas sejam realizadas.

b) Ligar a bomba de vácuo, por alguns minutos, dentro do local, com o filtro colocado sobre a tela, de acordo com a figura 2, ou adaptá-lo a outra bomba de vácuo, conforme sugerido.



Figura 2 - Cooler adaptado com o filtro na janela de tela metálica.

c) Depois de coletados os filhos de radônio-222, realizar medidas com a câmara de ionização utilizando este filtro.

e) Se a ddp aumentar está comprovada a presença dos filhos do radônio-222 do ambiente em que foi realizada a coleta.

**Obs.: Deverá ser utilizado um filtro diferente para cada local em que foi realizada a coleta.**

**Questões relacionadas à atividade:**

- 1) Quais aspectos mais lhe chamaram a atenção no experimento realizado?
- 2) Você consegue imaginar uma explicação para o aumento na ddp indicada no multímetro?
- 3) Você já ouviu os termos radiação natural, detector de radiação ou fonte radioativa?
- 4) No local escolhido para realizar a filtragem foi possível coletar filhos de radônio-222? Justifique.
- 5) Ao realizar a prática em locais diferentes é possível verificar, através das medidas realizadas com a câmara de ionização, que a medida indicada é diferente. Explique essa diferença.
- 6) Qual a energia e o alcance das partículas alfa emitidas pelos filhos do Radônio-222 coletados na filtragem?
- 7) O que espera-se que aconteça com a medida indicada no multímetro após transcorrer algum tempo?

**RESPOSTAS:**

4) Sim, pois ao realizar a filtragem e colocar o filtro em frente a janela da câmara de ionização a ddp indicada no multímetro aumentou. Comprovando a presença de filhos de radônio-222 no local.

Não, pois a quantidade de filhos coletados está abaixo do limite de sensibilidade da câmara de ionização.

5) A diferença justifica-se principalmente por: quantidade de filhos coletados; circulação de ar no local; camadas de tinta utilizada nas paredes do ambiente, pois algumas reduzem a emissão de radiação natural.

6) A energia das partículas alfa emitidas pelo polônio-218 são de 6MeV e alcance de aproximadamente 5cm, do polônio-214, energia de 7,69MeV e alcance de aproximadamente 7cm.

7) Espera-se que o valor da medida diminua, pois a meia vida do polônio-218 é de 3min, a do Chumbo-214 é 26,8 min, do Bismuto-214 é 19,7 minutos, e a do Polônio-214 de 16 ms. Como o Polônio-214 entra rapidamente em equilíbrio com o Bismuto-214, por ter meia vida curtíssima, e o Bismuto-214 é filho do Chumbo-214, a atividade do filtro se reduzirá à praticamente zero em cerca de cinco vezes a maior meia vida da série que é a do Chumbo-214.

### **3.2 Atividade 2 – Medida do alcance das partículas alfa emitidas pela camisinha de lampião**

#### **Objetivo:**

Mostrar a dependência da medida da radiação  $\alpha$  com a distância.

#### **Material utilizado:**

Câmara de ionização, régua (30cm ou 50cm), papel, caneta ou lápis, fita adesiva, suporte (para prender a camisinha) e camisinha de lampião.

#### **Desenvolvimento da atividade**

a) Inicialmente ligue a câmara de ionização, espere até que a indicação no voltímetro fique estável;

b) Coloque a régua no lado da câmara de ionização e paralela a ela, figura 1;



Figura 1 – Câmara de ionização ligada com a régua colocada paralela a ela.

c) Prenda a camisinha com fita adesiva no suporte, figura 2, que será usado para aproximar a camisinha da câmara de ionização;



Figura 2 – Camisinha de lampião presa a um suporte.

d) Coloque o suporte com a camisinha a uma distância de 20cm da câmara, figura 3, espere de 10 a 20s;



Figura 3 – Fonte colocada a distância de 20cm da câmara de ionização.

e) Verifique o valor indicado no voltímetro e anote-o na tabela abaixo.

f) Aproxime o suporte com a camisinha, de 5cm em 5cm até que a distância entre a fonte e o detector seja 10cm, após aproxime de 1cm em 1cm, até que a fonte encoste na tela da janela da câmara de ionização. Sempre esperando de 10 a 20s para que a medida no multímetro fique estável.

Distância (cm)	ddp(V) 1ª medida	ddp(V) 2ª medida	ddp(V) 3ª medida
30			
25			
20			
15			
10			
9			
8			
7			
6			
5			
4			
3			
2			
1			

**Questões relacionadas à atividade:**

- 1) **Quais aspectos mais lhe chamaram a atenção no experimento realizado?**
- 2) **Você consegue imaginar uma explicação para o aumento na ddp indicada no multímetro?**
- 3) **Você já ouviu os termos série radioativa, radiação alfa, detector de radiação ou fonte radioativa?**
- 4) **A que distância as partículas alfa começaram a atingir o volume sensível da câmara de ionização?**
- 5) **Qual o filho do tório-232 foi detectado e qual a energia de suas partículas alfa?**
- 6) **Ao continuar aproximando a fonte radioativa da janela da câmara de ionização é possível verificar que ddp indicada continua aumentando. Explique esse aumento.**

**RESPOSTAS:**

- 4) As partículas alfa começam a atingir o volume sensível da câmara de ionização a aproximadamente 9cm.
- 5) A partícula alfa que percorre 9cm no ar possui uma energia de aproximadamente 9MeV, portanto, o filho do tório-232 detectado foi o polônio-212 de energia 8,78MeV.
- 6) Como as partículas alfa deixam um rastro de ionizações por onde elas passam. à medida em que a fonte radioativa é aproximada da câmara de ionização, as partículas alfa, já detectadas a distâncias maiores, deixarão ainda mais energia no seu interior, causando mais ionização no volume sensível da câmara. Além disso, partículas alfa de menor energia, emitidas por outros núclídeos da série do Tório-232, passam também a atingir o volume sensível da câmara, causando mais e mais ionização e consequentemente a corrente elétrica irá aumentar, indicando um valor cada vez maior no multímetro.

**3.3 Atividade 3 – Medida da Meia vida-vida do Radônio-220 da série do Tório-232.**

**Objetivo:**

Determinar a meia-vida do Radônio-220 da série do Tório-232.

**Material utilizado:**



Câmara de ionização, papel alumínio, cronômetro, camisinha de lampião, recipiente pequeno (vidro de remédio vazio, de preferência com gotejador) e seringa descartável.

#### **Desenvolvimento da atividade**

a) Colocar a camisinha de lampião dentro do recipiente descartável e aguardar 5min Figura 1a e 1b.

b) Vedar a janela da câmara de ionização com o papel alumínio, conforme Figura 1d, ligar a bateria e multímetro, na câmara, espere até que a indicação no voltímetro fique estável e anotar o valor da ddp inicial( $U_i$ ) na primeira coluna da tabela.

c) Retirar com a seringa, o gás de dentro do recipiente e injetar dentro da câmara de ionização, por meio de um furo feito com a seringa, no papel alumínio, conforme Figura 1c e 1e.

d) Verificar-se-á um aumento na ddp indica no multímetro e após alguns segundos a leitura no multímetro irá começar a diminuir.

e) A partir deste instante, marcar a voltagem por tempo (medidas de 10 em 10 segundos até completar dois minutos).

f) Ao final das medidas, fazer o cálculo proposto na primeira coluna da tabela ( $U = U_{\text{medido}} - U_{\text{inicial}}$ ) e construir o gráfico da curva de decaimento dos filhos, utilizando os dados da tabela.

g) Determine a meia vida do Radônio-220 utilizando o método gráfico e/ou a curva ajustada.

Tempo (s)	1ª medida		2ª medida		3ª medida	
	$U = U_{\text{medido}} - U_{\text{inicial}}$		$U = U_{\text{medido}} - U_{\text{inicial}}$		$U = U_{\text{medido}} - U_{\text{inicial}}$	
	$U_{\text{inicial}} =$		$U_{\text{inicial}} =$		$U_{\text{inicial}} =$	
	medido	calculado	medido	calculado	medido	calculado
0						
10						
20						
30						
40						
50						
60						
70						



Figura 1 – a) Camisinha de lampião e vidro de remédio descartável. b) Camisinha de lampião dentro do vidro. c) Gás sendo retirado de dentro do vidro. d) Câmara de ionização com a janela coberta com papel alumínio e materiais utilizados na prática. e) Injetado gás dentro da câmara de ionização.

**Questões relacionadas à atividade:**

- 1) **Quais aspectos mais lhe chamaram a atenção no experimento realizado?**
- 2) **Você consegue imaginar uma explicação para o aumento na ddp indicada no multímetro?**
- 3) **Você já ouviu os termos série radioativa, meia vida, detector de radiação ou fonte radioativa?**
- 4) **O que significa meia vida radioativa?**
- 5) **Qual a meia vida do radônio-220**

**RESPOSTAS:**

- 4) Meia vida radioativa é o tempo necessário para metade dos núcleos radioativos existentes na amostra sofrer decaimento radioativo.
- 5) A meia vida do radônio-220 é 55,3s.

**Atividade Optativa**

**3.4 Atividade 4 – Medida do alcance das partículas alfa emitidas pelo Amerício-241**

**CUIDADO COM O MANUSEIO DESTA FONTE.**

**EVITE A SUA EXPOSIÇÃO À MESMA.**

Em geral, a fonte de amerício, retirada dos detectores de fumaça do tipo iônico, apresenta atividade da mesma ordem de grandeza ( $10^4$  Bq para o Am-241) da atividade a partir da qual são necessários adotar procedimentos de proteção radiológica, conforme Posição Regulatória 3.01/001:2011 da CNEN. Como esta fonte pode não obedecer ao critério de exclusão, isenção e dispensa de requisitos de proteção radiológica, ao professor que optar por executar esta atividade, sugere-se consultar um profissional credenciado pela CNEN no que concerne aos procedimentos requeridos para a devida proteção radiológica.

**Objetivo:**

Mostrar a dependência da medida da radiação  $\alpha$  com a distância.

**Material utilizado:**

Câmara de ionização, régua(30cm ou 50cm), papel, caneta ou lápis, fita adesiva, suporte (para prender a fonte de amerício) e amerício-241(retirado de detector de fumaça).

**Obs.: 1) A fonte de Amerício é muito mais intensa ( atividade de cerca de 37 kBq) que a camisinha de lampião. Sugere-se maior cuidado ao manuseá-la evitando-se colocar a mão diretamente na mesma. Para evitar isso sugere-se soldá-la a um suporte metálico para facilitar o manuseio, Figura 1.**

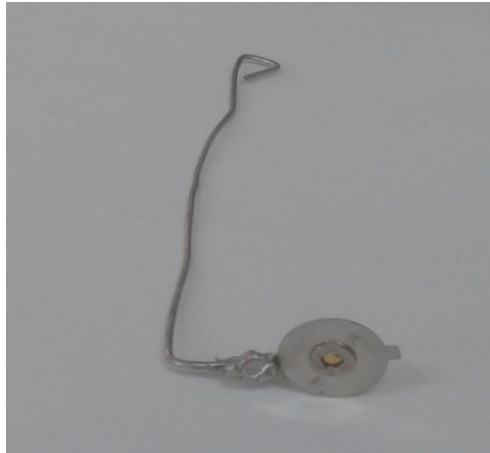


Figura 1 – Fonte de amerício soldada a um suporte metálico para evitar a exposição ao manuseio.

**Desenvolvimento da atividade**

a) Inicialmente ligue a câmara de ionização, espere até que a indicação no voltímetro fique estável;

b) Coloque a régua no lado da câmara de ionização e paralela a ela, figura 2;



Figura 2 – Câmara de ionização ligada com a régua colocada paralela a ela.

c) Prenda a fonte de amerício-241 com fita adesiva no suporte figura 3, que será usado para aproximar a fonte da câmara de ionização;



Figura 3 – Fonte de amerício presa a um suporte

d) Coloque o suporte com o amerício-241 a uma distância de 10cm da câmara, conforme figura 4, espere de 10 a 20s;



Figura 4 – Fonte de amerício colocada a 10cm da câmara de ionização

e) Verifique o valor indicado no voltímetro e anote-o na tabela abaixo.

f) Aproxime o suporte com a fonte de Amerício-241, de 1cm em 1cm até que a distância entre a fonte e o detector seja 5cm, após aproxime de 0,5cm em 0,5cm, até que a fonte encoste na tela da janela da câmara de ionização. Sempre esperando de 10 a 20s para que a medida no multímetro fique estável.

	ddp(V) 1ª medida	ddp(V) 2ª medida	ddp(V) 3ª medida
Distância			

(cm)			
10			
9			
8			
7			
6			
5			
4,5			
4			
3,5			
3			
2,5			
2			
1,5			
1			

**g) Com base em seus resultados, qual é o alcance da partícula alfa emitida pelo Amerício-241?**

**h) Estime a energia das partículas alfa emitidas pelo Amerício-241 com base na medida do seu alcance, e compare com os valores publicados.**

#### **4. QUESTÕES EXTRAS:**

1) (UFRGS) Um elemento radioativo X desintegrou-se para formar um elemento Y, de acordo com a seguinte reação:  ${}_{84}^{210}\text{X} = \text{Y} + {}_2^4\text{He}$ . O número de massa do elemento Y é:

- a) 82
- b) 86
- xc) 206
- d) 212
- e) 214.

2) (UFRGS) Partículas alfa, partículas beta e raios gama podem ser emitidos por átomos radioativos. As partículas alfa são íons de hélio carregados positivamente. As partículas

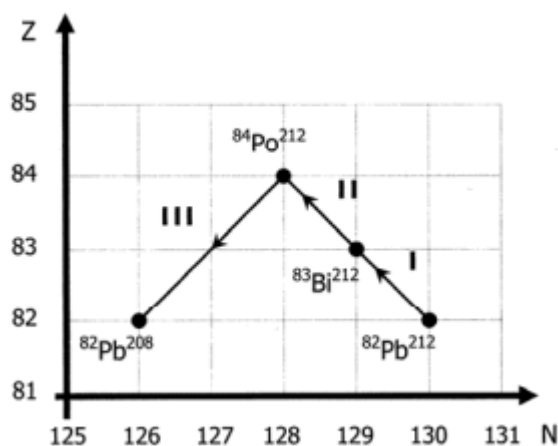
beta são elétrons. Os raios gama são ondas eletromagnéticas de frequência muito alta. Na desintegração de  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$  resultando na formação de um núcleo  ${}^{222}_{86}\text{Ra}$  pode-se inferir que houve a emissão de:

- a) apenas raios gama.
- xb) de uma partícula alfa.
- c) de uma partícula beta
- d) de duas partículas beta e duas partículas alfa
- e) de raios gama e de duas partículas beta.

3) Supondo que a meia-vida de um isótopo radioativo seja um dia, após 48 horas a quantidade restante deste isótopo será:

- a) 1/2 da quantidade inicial.
- xb) 1/4 da quantidade inicial.
- c) 1/24 da quantidade inicial.
- d) 1/48 da quantidade inicial.
- e) zero.

4) Quando o núcleo de um átomo de um elemento emite uma partícula  $\alpha$  ou  $\beta$  forma-se um núcleo de um elemento diferente. No gráfico abaixo, estão representadas algumas transformações de um elemento em outro: o eixo vertical corresponde ao número atômico do elemento, e o eixo horizontal indica o número de nêutrons no núcleo do elemento.



As transformações I, II e III assinaladas no gráfico correspondem, respectivamente, a emissões de partículas:

- a)  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\alpha$
- b)  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\beta$

- c)  $\alpha$ ,  $\alpha$  e  $\beta$
- d)  $\beta$ ,  $\alpha$  e  $\beta$
- Xe)  $\beta$ ,  $\beta$  e  $\alpha$

5) Em 2011, Ano Internacional da Química, comemora-se o centenário do Prêmio Nobel de Química concedido a Marie Curie pela descoberta dos elementos radioativos Rádium (Ra) e Polônio (Po). Os processos de desintegração do  $^{224}\text{Ra}$  em  $^{220}\text{Rn}$  e do  $^{216}\text{Po}$  em  $^{212}\text{Pb}$  são acompanhados, respectivamente, da emissão de radiação

- xa)  $\alpha$  e  $\alpha$ .
- b)  $\alpha$  e  $\beta$ .
- c)  $\beta$  e  $\beta$ .
- d)  $\beta$  e  $\gamma$ .
- e)  $\gamma$  e  $\gamma$ .



## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, J. A. S., GASPARINI, P. **Gamma-Ray Spectrometry of Rocks**. Elsevier Publishing Company, Amsterdam/London/New York. 1970. P.104-129.

**ALPHA DISASTER CONTINGENCIES**. Disponível em: <<http://www.alpharubicon.com/basicnbc/article16radiological71.htm>>. Acesso em: 17 de outubro de 2014.

CARDOSO, E. M., **Programa de Integração Cnen – Pic Módulo Informação Técnica**. Apostila Educativa da CNEN, 2003. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas.asp> Acesso em 10 de maio de 2015.

CNEN, **Apostila Educativa. Aplicações da Energia Nuclear**. Rio de Janeiro 2003. Disponível em: < <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/aplica.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **Apostila Educativa. Energia Nuclear**. Rio de Janeiro 2003. Disponível em: < <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/energia.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **Apostila Educativa. Radiações Ionizantes e a vida**. Rio de Janeiro 2003. Disponível em: <[http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad\\_ion.pdf](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/rad_ion.pdf)>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **Apostila Educativa. Radioatividade**. Rio de Janeiro 2003. Disponível em: <<http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/radio.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **Apostila Educativa. A Energia Nuclear e suas aplicações**. Rio de Janeiro 2003. Disponível em: <[http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/energia\\_aplic.pdf](http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/energia_aplic.pdf)>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN. **PRINCÍPIOS BÁSICOS DE SEGURANÇA E PROTEÇÃO RADIOLÓGICA**. Porto Alegre, 2014. Disponível em: <[http://www.cnen.gov.br/seguranca/documentos/Princ%3%ADpios\\_B%3%A1sicos\\_de\\_Seguran%3%A7a\\_Prote%3%A7%3%A3o\\_Radiol%3%B3gica.pdf](http://www.cnen.gov.br/seguranca/documentos/Princ%3%ADpios_B%3%A1sicos_de_Seguran%3%A7a_Prote%3%A7%3%A3o_Radiol%3%B3gica.pdf)>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **PROGRAMA DE INTEGRAÇÃO CNEN - PIC MÓDULO INFORMAÇÃO TÉCNICA**. Rio de Janeiro 2003. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br/ensino/apostilas/PIC.pdf>>. Acesso em: 10 de maio de 2015.

CNEN, **Posição Regulatória - CNEN-3.01/001**. Critérios de Exclusão, Isenção e Dispensa de Requisitos de Proteção Radilógica, 2011.

EISBERG R., RESNICK R. **Física Quântica**, 3<sup>a</sup> Ed. Rio de Janeiro: Ed. Campus, 1985.

LEO, W. R. **Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments. A HOW-TO APPROACH** 1997

KURAMOTO, R. Y. R., **Teoria 2 – Detector de Radiação**. IPEN-CNEN/SP. São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://www.geocities.ws/renatokuramoto/ipn0025/A2.pdf>>. Acesso em 27 de abril de 2015.

MARUMO, J. T. **Avaliação da Contaminação Provocada por Pára-Raios Radioativos de Amerício Descartados em Lixões**. São Paulo, 2006. 142f (Tese Doutorado Ciências dos Materiais – Autarquia Associada à Universidade de São Paulo – IPEN)

RIBAS, R.V. **Instrumentação Nuclear**. Instituto de Física, Departamento de Física Nuclear - USP. 2011. Disponível em: <<http://www.dfn.if.usp.br/~ribas/download/InstrumentacaoNuclear-RVR.pdf>>. Acesso em 05 de maio de 2015.

SEARS, F.; ZEMANSKY, M. K.; YOUNG, H. D. (1984) **Física: Ondas Eletromagnéticas. Óptica. Física Atômica**. 2<sup>a</sup> Ed. Editora LTC. Vol 4. Rio de Janeiro -RJ.

TEXAS RADIATION - Halflife and Decay, 1996. Disponível em: <<http://texasradiation.org/decay.html>>. Acesso em: 27 de abril de 2014.

VICENTE, R. **Gestão de fontes radioativas seladas descartadas**. 2002. 124 f. Tese (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear Aplicações). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo. 2002.

WENZEL, C. **Radon Detector for the Student**. Disponível em: <<http://www.techlib.com/science/ionchamber.htm>>. Acesso em: 01 de março de 2014.