

Estudo de Processos de Decaimento Radioativo

Laboratório de Física III

Índice

1. Objetivos.....	1
2. Introdução	1
2.1. Atividade.....	1
2.2. Decaimento radioativo e sua estatística	1
2.3. Atenuação de radiação e proteção radiológica	2
2.4. Fontes de Radiação.....	4
2.4.1. Fonte de isótopos ^{226}Ra	4
2.4.2. Fonte de decaimento rápido	5
2.4.3. Atividade de uma fonte radioativa	6
2.5. Detecção de radiação ionizante - tubo Geiger-Muller.....	6
Referências.....	7
3. Preparação do trabalho.....	7
4. Tarefas laboratoriais	8
4.1. Detetor GM e operação do <i>software</i> Cobra	8
4.2. Medida da atividade ambiente	9
4.3. Estatística da atividade da fonte ^{226}Ra	10
4.4. Caracterização da emissão da fonte ^{226}Ra	11
4.5. Estudo do decaimento radioativo	12
4.6. Outros estudos possíveis	13
4.6.1. Determinação da dependência angular da radiação emitida pela fonte ^{226}Ra	13
4.6.2. Efeito dum campo magnético sobre a radiação emitida pela fonte ^{226}Ra	13
4.6.3. Observação da radiação γ	14
6. Questões para reflexão posterior.....	14
A. <i>Software</i> Cobra	A-1
A.1. Utilização do <i>software</i> Cobra em ambiente de máquina virtual.....	A-1
A.2. Transferência de dados do MS-DOS para <i>pendrive</i> USB	A-2
A.3. Encerramento.....	A-2
A.4. Controlo de experiências e aquisição de dados com o programa RADIO1	A-2
A.4.1. Configuração de uma medição	A-3
A.4.2. Medição do zero	A-3
A.4.3. Gravação de dados	A-3

1. Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é o estudo das principais características do fenómeno da radioatividade, isto é, a mutação de núcleos instáveis com emissão de partículas ou radiação. Os objetivos mais específicos destas atividades são:

- Estudo da estatística do decaimento radioativo, em regimes de baixa e elevada atividade;
- Contacto com um contador do tipo Geiger-Muller;
- Métodos de separação/filtragem de radiação corpuscular e eletromagnética (partículas α e β ; fotões γ)
- Estudo da atenuação de um feixe de radiação α e β no ar.

2. Introdução

Os processos de decaimento radioativo de núcleos instáveis têm, como produto, a libertação de radiação corpuscular (partículas α ou β) e de radiação eletromagnética (fotões γ) de elevada energia. Entende-se por decaimento a quebra espontânea de um núcleo atómico instável, com a consequente emissão de radiação corpuscular α ou β , ou a desexcitação de um núcleo atómico com a emissão de fotões γ .

Os três principais processos radioativos são conhecidos como decaimento α para a emissão de núcleos de hélio ${}^4_2\text{He}$, decaimento β para a emissão de eletrões (β^-) ou positrões (β^+), e emissão γ para a emissão de fotões de elevada energia.

2.1. Atividade

Define-se **atividade** como o número de decaimentos atómicos (N_d) por unidade de tempo (t), $A = dN_d/dt$. Esta grandeza é expressa em unidades de Bequerel ($\text{Bq} = \text{s}^{-1}$). Nalgumas circunstâncias pode ser mais prático trabalhar com densidade de atividade, a atividade expressa por unidade de volume (Bq/dm^{-3}). Noutras, em particular quando lidamos com fontes radioativas de elevada atividade, é comum a utilização da unidade Curie (Ci), em que $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$, a qual corresponde à atividade de 1 g do isótopo de Radio-226.

2.2. Decaimento radioativo e sua estatística

O decaimento radioativo é um processo estocástico de eventos (decaimentos) independentes entre si, caracterizado pelo parâmetro **tempo de semi-vida** $T_{1/2}$, isto é o tempo médio requerido para que um certo número de núcleos se reduza a metade. Este parâmetro deriva da equação de decaimento:

$$N(t) = N(0)e^{-t/\tau}$$

onde $N(t)$ é o número de núcleos sobrevivente após o tempo t , $N(0)$ é o número de núcleos inicial, τ é a vida média da amostra, e $1/\tau$ é a constante de decaimento.

Assim:

$$T_{1/2} = \tau \ln(2)$$

Em casos particulares de fontes de radiação com tempo de semi-vida muito grande, na escala de tempo humana, a taxa de decaimento (atividade) parece praticamente constante.

A probabilidade de ocorrência de N_d decaimentos numa amostra radioativa durante um intervalo de tempo Δt é descrita pela distribuição de Poisson:

$$P(N_d) = \frac{M^{N_d}}{N_d!} e^{-M}$$

em que a quantidade $M = A\Delta t$ é o número médio de decaimentos (valor esperado) no referido intervalo de tempo (obviamente, assume-se que $\Delta t/\tau \ll 1$, de modo que $A \approx$ constante).

2.3. Atenuação de radiação e proteção radiológica

A interação dos diferentes tipos de radiação de elevada energia com os átomos ou moléculas de um meio material determina o seu alcance. Os materiais são, em geral, bastante transparentes à radiação γ . A atenuação desta radiação depende fortemente da probabilidade de interação não carregada dos fótons de elevada energia com as camadas eletrónicas mais profundas dos átomos, ou mesmo da interação dos fótons com as partículas nucleares.

O mesmo não se aplica às radiações α e β , pela carga que as caracteriza. As partículas carregadas interagem fortemente tanto com a nuvem eletrónica, como com o núcleo atómico, manifestando-se essa interação através de colisões elásticas e inelásticas, com inerente perda de energia à medida que se propagam na matéria, e dispersão espacial (*scattering*), que altera a direção de propagação. A proteção radiológica utiliza estes processos físicos para atenuar a energia da radiação. O chumbo é tradicionalmente conhecido como um elemento eficiente no bloqueio da radiação, pois o seu elevado número atómico tem associada uma elevada probabilidade de interação (traduzida matematicamente como secção eficaz de interação), logo, promove a desaceleração e a «paragem» da radiação. No entanto, o contacto da pele com o chumbo é altamente tóxico, pelo que nos tempos atuais existem materiais, ou compostos, onde o chumbo também tem a sua contribuição, e que são alternativas mais seguras para o mesmo fim.

A atenuação de um feixe de radiação que se propaga num determinado meio material pode ser descrita tendo em conta a absorção de radiação pelas partículas do meio e a própria atenuação geométrica resultante do alargamento do feixe à medida que este se propaga.

Começemos por abordar o caso mais simples de atenuação puramente geométrica de um feixe de um único tipo de radiação (α , β , ou γ) não colimado produzido por uma fonte radioativa pontual de atividade A_f (unidade: Bq). Assumiremos daqui em diante que o material radioativo no interior da fonte emite radiação isotropicamente, embora apenas uma parte de toda a radiação emitida possa escapar pela janela de saída da fonte. Independentemente do ângulo sólido delimitado pela janela de saída da fonte, a intensidade do feixe (número de partículas ou fótons por unidade de tempo e por unidade de área; $J(r)$) registada à distância r da fonte é dada por:

$$J(r) = \frac{A_f}{4\pi r^2}$$

Se considerarmos, agora, a absorção de um feixe colimado (área de secção transversal constante), de um único tipo de radiação, que se propaga ao longo da direção x no seio de um meio material absorvedor, pode-se mostrar que a intensidade do feixe sofre um decréscimo exponencial com a distância percorrida no meio material, resultando:

$$J(x) = J(0)e^{-\mu x}$$

Nesta expressão, $J(0)$ é a intensidade registada à entrada do meio material ($x = 0$) e μ (unidade: m^{-1}) é o **coeficiente de absorção linear** do meio material. O **alcance** (L ; unidade: m) do feixe no meio material pode ser definido como a distância percorrida no meio ao fim da qual a intensidade é reduzida por um fator e^{-1} relativamente ao seu valor à entrada do meio. Pela equação anterior, deduz-se que $L = \mu^{-1}$. É também frequente utilizar o termo **camada semi-redutora** (CSR) para designar a espessura de um meio material absorvedor necessária para reduzir a intensidade do feixe por um fator de 2 relativamente ao seu valor inicial. Esta quantidade pode ser calculada pela expressão:

$$CSR \equiv L_{\frac{1}{2}} = \frac{\ln(2)}{\mu} \approx \frac{0.693}{\mu}$$

Se o feixe de radiação não for colimado e o meio material for absorvedor, devemos considerar os dois mecanismos de atenuação em simultâneo. O decréscimo de intensidade com a distância r à fonte é então dado por:

$$J(r) = \frac{A_f e^{-\mu r}}{4\pi r^2}$$

A atividade (unidade: Bq) registada à distância r da fonte por um detetor de radiação de área ativa S_{det} é dada por:

$$A(r) = J(r)S_{\text{det}} = \frac{S_{\text{det}}A_f e^{-\mu r}}{4\pi r^2}$$

Para aplicarmos este modelo ao caso concreto da experiência a realizar neste trabalho, temos de ter em conta que: (a) a fonte radioativa que será utilizada não é pontual e emite tanto radiação corpuscular (α e β) como eletromagnética (γ) a diferentes taxas ($A_f = A_{f\alpha} + A_{f\beta} + A_{f\gamma}$; em princípio, $A_{f\alpha} \neq A_{f\beta} \neq A_{f\gamma}$); (b) a radiação detetada inclui, também, a radiação ambiente (A_{amb}) que se assume ser independente de r ; (c) a absorção de radiação γ pelo ar pode ser desprezada ($\mu_\gamma \approx 0$). Designando por d a distância entre a janela de saída da fonte radioativa e o detetor de radiação, e por d_f o raio efetivo (desconhecido) da fonte radioativa, tem-se para a atividade total:

$$A_{\text{total}}(d) = A_\alpha(d) + A_\beta(d) + A_\gamma(d) + A_{\text{amb}} = S_{\text{det}} \frac{A_{f\alpha} e^{-\mu_\alpha d} + A_{f\beta} e^{-\mu_\beta d} + A_{f\gamma}}{4\pi(d + d_f)^2} + A_{\text{amb}}$$

De modo a simplificar a análise de dados (ver tabela de registo de dados seguinte), é conveniente medir diretamente $A_{\gamma\text{amb}}(d) \equiv A_\gamma(d) + A_{\text{amb}}$, colocando para o efeito uma tampa de alumínio na fonte radioativa como filtro de partículas α e β . A contribuição $A_{\alpha\beta} \equiv A_\alpha(d) + A_\beta(d)$ pode, assim, ser determinada subtraindo $A_{\gamma\text{amb}}(d)$ de $A_{\text{total}}(d)$.

Tabela de registo de dados sugerida para o estudo da atenuação de radiação no ar.

d	Filtro $\alpha\beta$	A_{total}	$A_{\gamma\text{amb}}$	$A_{\alpha\beta}$
d_1	não	$A_{\text{total},1}$		$A_{\alpha\beta,1} = A_{\text{total},1} - A_{\gamma\text{amb},1}$
	sim		$A_{\gamma\text{amb},1}$	
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
	\vdots		\vdots	
d_n	não	$A_{\text{total},n}$		$A_{\alpha\beta,n} = A_{\text{total},n} - A_{\gamma\text{amb},n}$
	sim		$A_{\gamma\text{amb},n}$	

Este método de decomposição dos dados permite analisar separadamente a dependência com d das contribuições $A_{\gamma\text{amb}}$ e $A_{\alpha\beta}$. Um dos objetivos desta análise será a determinação dos coeficientes de absorção linear μ_α e μ_β e, a partir destes, estimar os correspondentes alcances L_α , L_β . Visto ser impossível obter separadamente as contribuições A_α e A_β , surge uma ambiguidade na identificação dos valores dos parâmetros μ_α e μ_β resultantes da análise de dados. No entanto, esta ambiguidade pode ser resolvida atendendo a que, no ar, $\mu_\alpha > \mu_\beta$. Outro objetivo importante será a determinação das atividades parciais $A_{f\alpha}$, $A_{f\beta}$, $A_{f\gamma}$ e da atividade total da fonte, A_f .

2.4. Fontes de Radiação

A radiação é obtida a partir de fontes naturais (ambiente), produzidas por purificação de amostras radioativas, e/ou a partir de máquinas geradoras de feixes de partículas, como ciclotrões, aceleradores lineares (conhecidos como LINACs), tubos de raios-X, ou até em mega-estruturas de investigação e desenvolvimento, como o CERN e o ESRF.

Parte da radioatividade ambiente resulta da produção de isótopos raros quando raios cósmicos de elevada energia (prótons, α , β^- , núcleos pesados, etc.) interagem com núcleos de átomos de materiais terrestres (rochas, solo, atmosfera terrestre e resíduos de meteoritos). Exemplos mais importantes destes radioisótopos são o trítio (^3H), o carbono-14 (^{14}C) e o fósforo (^{32}P). O radioisótopo ^7Be também é produzido na atmosfera e transferido para o solo terrestre. Os radioisótopos rádio ^{226}Ra e radão ^{222}Rn também se encontram no ambiente resultantes do decaimento de urânio ^{238}U e de tório ^{234}Th . O radão atmosférico decai para chumbo (^{210}Pb), podendo este decaimento ser facilmente medido.

	^{238}U	^{234}Th	^{226}Ra	^{222}Rn	^{210}Pb	^7Be
$T_{1/2}$	4.468×10 ⁹ anos	24.10 dias	1620 anos	3.825 dias	22 anos	1.36×10 ⁶ anos

Para este trabalho prático, irá dispor de duas fontes radioativas distintas, que se descrevem de seguida.

2.4.1. Fonte de isótopos ^{226}Ra

A fonte de ^{226}Ra encontra-se encerrada num tubo metálico, de modo que a radiação está acessível pela abertura frontal. O isótopo ^{226}Ra decai com uma semi-vida de 1620 anos, de acordo com o esquema da figura 1a,

ocorrendo emissão de partículas α , β e γ , ao longo de decaimentos sucessivos, até à transformação no elemento estável chumbo ^{206}Pb . A atividade nominal da fonte disponível é de 3 kBq (+0% / -50%).

2.4.2. Fonte de decaimento rápido

Na sucessão de decaimentos associados à fonte de urânio ^{238}U esquematizada na figura 1b, é produzido um emissor intermédio, o isótopo protactínio (^{234}Pa), com tempo de semi-vida característico de 1.175 minutos. Este valor é adequado à realização de experiências com taxa de decaimento variável num curto espaço de tempo, e com emissão predominante de radiação β^- .

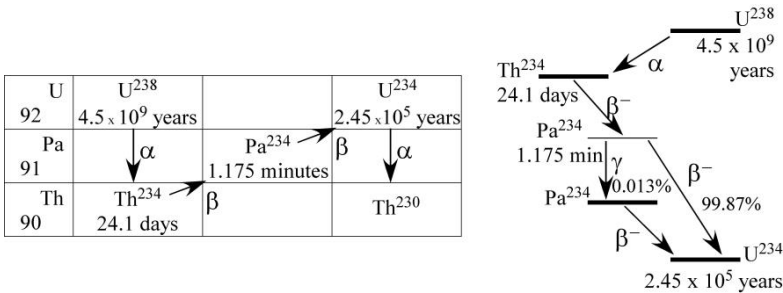
A fonte consiste num contentor de duas soluções, uma aquosa e outra orgânica, de sais de urânio. A atividade nominal esperada da fonte é de 45 kBq (+0% / -50%). A solução aquosa contém os elementos produzidos pelo decaimento do ^{238}U , com átomos filho de ^{234}Th e átomos-neto de ^{234}Pa (protactínio). Na solução, quer o urânio, quer o protactínio formam complexos clorido-aniónicos, mas não o tório. Ao agitar o contentor, estes complexos dissolvem-se na camada orgânica (de elevadas concentrações de iões de hidrogénio) que flutua sobre a solução aquosa, enquanto que o tório se mantém na camada aquosa. Desta forma, cerca de 95% do protactínio-neto, assim como algum do urânio, ficam disponíveis no topo do contentor (camada orgânica). Assim, é de esperar que a taxa de contagens medida na janela de saída na zona superior do contentor esteja associada ao decaimento dos núcleos de ^{234}Pa , e que varie no tempo de acordo com a equação [1]:

$$A = \frac{dN_d}{dt} = -\frac{dN}{dt} = A(0)e^{-t/\tau}$$

em que $A(0) = N(0)/\tau$ é a atividade inicial.

Ra 88	Ra ²²⁶ 1622 years				
Fr 87	↓ α				
Rn 86	Rn ²²² 3.825 days				
At 85	↓ α	At ²¹⁸ 2 seconds			
Po 84	Po ²¹⁸ 3.05 minutes	↓ β (0.02%)	Po ²¹⁴ 1.6 × 10 ⁻⁴ seconds		Po ²¹⁰ 138.4 days
Bi 83	↓ α (99.98%)	Bi ²¹⁴ 19.7 minutes	↓ β (99.96%)	Bi ²¹⁰ 5.0 days	↓ β
Pb 82	Pb ²¹⁴ 26.8 minutes	↓ α (0.04%)	Pb ²¹⁰ 22 years	↓ α (5 × 10 ⁻⁶ %)	Pb ²⁰⁶ stable
Tl 81		Tl ²¹⁰ 1.32 minutes	↓ β	Tl ²⁰⁶ 4.19 minutes	↓ β

(a) Decaimento ^{226}Ra



(b) Fonte de isótopos ^{238}U

Figura 1: Características de decaimento das fontes radioativas disponíveis.

É importante notar que a emissão radioativa é um processo que ocorre ao nível do núcleo atómico, pelo que não é afetada pela combinação química das soluções. Por outro lado, a radiação emitida quer pelo urânio, quer pelo tório não deverá interferir no processo de medida pelas seguintes razões:

- o contador não deteta as partículas alfa do urânio ou do tório; regista apenas as partículas beta de alta energia (2 MeV) do protactínio.
- o urânio-238 decai com um tempo de semi-vida muito longo, sendo apenas responsável por um fluxo praticamente constante e muito fraco de partículas alfa de baixa energia. O seu filho tório-234 decai com um tempo de semi-vida de 24 dias, pelo que esta atividade pode ser tida como constante. Mesmo que estes dois isótopos contribuam para as contagens, tendo em conta que na duração da experiência as atividades respetivas são tidas como praticamente constantes, apenas contribuiriam para um fundo de radiação constante.

2.4.3. Atividade de uma fonte radioativa

As fontes radioativas encontram-se, normalmente, encapsuladas e possuem uma janela de saída construída com um material transparente à radiação que se pretende utilizar. A medida da atividade total de uma fonte pode ser estimada a partir de uma medida simples com um detetor. Por um lado, a direção de emissão das partículas resultantes dos decaimentos radioativos é aleatória, o que permite considerar que a emissão de partículas é aproximadamente isotrópica. Por outro lado, o ângulo sólido de deteção correspondente a uma determinada distância da fonte pode ser relacionado com a emissão em todo o espaço tridimensional.

2.5. Deteção de radiação ionizante - tubo Geiger-Muller.

A deteção de radiação de alta energia baseia-se na deteção da carga elétrica gerada na reação ionizante induzida pela interação da radiação com a matéria em condições controladas. O tubo de Geiger-Muller (GM) consiste numa câmara cilíndrica preenchida com um gás ionizável dentro de uma certa gama de energias, em que um ânodo a alta tensão recolhe a carga de ionização gerada a cada interação. Cada impulso de carga detetado é interpretado por uma eletrónica de leitura dedicada como uma contagem, ou evento. A deteção pode ser simples, limitando-se à contagem de eventos, ou mais sofisticada, pela quantificação da carga gerada, que se relaciona com a energia da partícula que despoletou a ionização do gás do detetor. Neste caso, a deteção consegue ter resolução espectral, na medida em que as contagens são distribuídas em histograma das energias dos impulsos.

Na experiência proposta, o detetor é operado no modo simples. Neste guião entende-se como:

- medida, o número de contagens (ou eventos) detetado pelo contador GM num intervalo de tempo Δt em que se encontra em modo de deteção, e configurável através do software de controlo e aquisição;
- número de medidas n , repetição, por n vezes, da medida descrita na linha anterior.

Entre medidas consecutivas, existe um tempo dito morto, ou de recuperação, durante o qual a eletrónica se reinicializa para a próxima medida. Quando a taxa de contagens é elevada (atividade da fonte elevada, ou o

detetor se encontra muito próximo da fonte), verifica-se que o número de contagens registado pode ser inferior ao valor esperado, devido a contagens falhadas durante o intervalo de tempo morto do detetor.

Referências

- [1] <https://spark.iop.org/protactinium-generator>.
- [2] Lída Salgueiro e J. Gomes Ferreira, “Introdução à Física Atómica e Nuclear” vol II, Tipografia Matemática, 1975.
- [3] W. E. Burcham, “Nuclear Physics, an Introduction”, caps 1, 2, 16, Longman, 1973.
- [4] G. Friedlander, J. Kennedy, “Nuclear and Radiochemistry”, 3rd edition, caps 1, 7, Wiley, 1981.
- [5] Henry Semat, John R. Albright, “Introduction to Atomic and Nuclear Physics”, 5th edition, cap 11, Springer, 1972.

3. Preparação do trabalho

- A determinação da atividade ambiente será realizada pela repetição, n vezes, da medida do número de contagens (N_c ; idealmente, $N_c = N_d$), ou número de eventos ionizantes detetado pelo detetor GM, num intervalo de tempo Δt selecionado. Quantas medidas (repetições) deverá adquirir para poder caracterizar estatisticamente a radiação ambiente captada pelo detetor? Sugere-se que a caracterização estatística seja feita a partir do histograma do número de contagens (N_c) em Δt , obtido a partir de n repetições da medida.
- Considerando a fonte pontual, o que espera obter na medida da atividade da fonte em função da distância fonte - detetor GM? Na análise desta questão, tenha em conta que a fonte emite partículas α , β e raios γ e que o ar contém moléculas/átomos!
- A que taxa de contagem média podem as medidas ser afetadas pelo designado tempo morto do detetor?
- Tente identificar, por busca na web, as energias das partículas emitidas pelas fontes que irá utilizar no trabalho (por exemplo: <http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/nucSearch.asp> ou outras fontes mais adequadas).

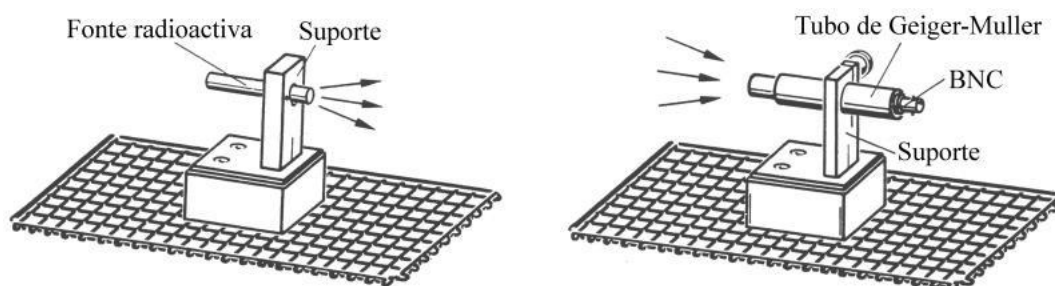


Figura 2: Suportes magnéticos.

4. Tarefas laboratoriais

4.1. Detetor GM e operação do *software* Cobra

O detetor Geiger-Muller disponível tem área ativa $S_{\text{det}} = 0.635 \text{ cm}^2$, com um tempo morto da ordem de 100 μs , pelo que este fator limitativo só deverá ser relevante em situações de medida que ultrapassem as mil contagens por segundo.

O detetor GM é ligado, através de um cabo BNC, à interface Cobra (PHYWE). O *software* de controlo e aquisição de dados desta interface é proprietário, e corre em sistemas operativos baseados no pioneiro MS-DOS, como o Windows ME. O *software* está acessível em máquina virtual (VMware) a correr o sistema operativo Windows ME. O apêndice A.2 detalha como aceder ao *software* Cobra.

Para todas as experiências de radioatividade tenha em atenção seguintes cuidados:

- **[Detetor GM destapado]** – quando utilizar o detetor destapado, **NÃO toque na face frontal, que é extremamente frágil! Pode danificar irremediavelmente o detetor!**
- **[Interface Cobra]** Antes de arrancar a aplicação Cobra no WindowsME, **garanta que a interface Cobra está ligada e que o detetor, protegido com a tampa plástica frontal, está devidamente conectado com cabo coaxial.**
- O detetor e a fonte de radio deverão encontrar-se montados nos respetivos suportes magnéticos, a utilizar sobre a placa metálica (figura 2).

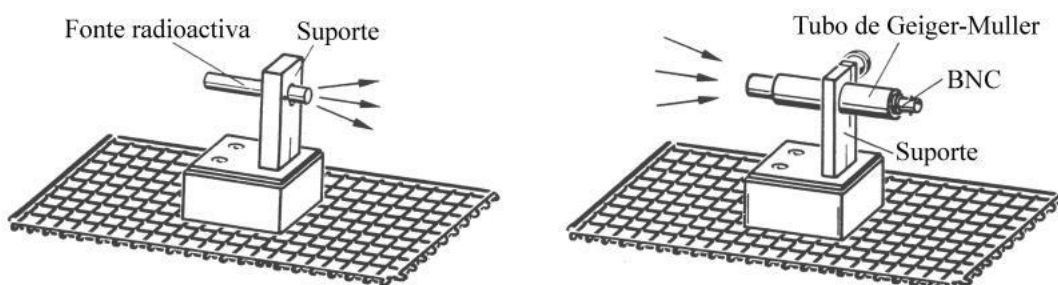


Figura 2: Suportes magnéticos.

A aplicação (MS-DOS) RADIO1 controla a interface Cobra: configuração da medida automática, aquisição de dados, e seu registo digital, para posterior processamento de dados em plataforma escolhida pelo estudante. RADIO1 tem as seguintes funcionalidades:

- **[Aquisição e visualização]** - Permite adquirir e visualizar as medidas de contagens de eventos do detetor GM, cada uma das quais expressa como o número N_c de eventos detetados num intervalo de tempo Δt , configurável na aplicação.
- A aquisição de um número n (configurável) de medidas experimentais pode decorrer em modo automático ou manual:

[Aquisição automática] - registo sequencial de n medidas, sem qualquer intervenção do utilizador, que resulta num conjunto de valores $\{(i, N_{c,i}); i = 1, \dots, n\}$ e que tem uma duração total aproximada $\Delta t_{\text{total}} = n\Delta t$;

[Aquisição manual] - cada uma das n medidas é iniciada pelo utilizador através do teclado; este modo é normalmente utilizado quando é necessário reconfigurar a disposição espacial da experiência entre medidas consecutivas (por exemplo, na medida de contagens em função da distância, ou na caracterização angular da emissão radioativa).

- **[Medida do zero]** - Permite registar a atividade ambiente e subtraí-la de forma automática do registo de medições posteriores; nesta experiência, contudo, sugerimos que guarde os dados sem esta opção ativada e que reserve este tipo de tratamento para uma fase posterior de análise de dados.

Grave os dados adquiridos em suporte digital para posterior análise. Para tal:

- utilize o menu apropriado do programa (*file > store*);
- indique o caminho para gravação;
- **[muito importante]** escolha a opção de gravação ASCII; se não o fizer, os dados serão gravados num formato proprietário da PHYWE e só poderão ser abertos dentro da aplicação RADIO1;
- **o nome do ficheiro não pode ter mais de 8 caracteres;**
- no final da sessão, copie os dados para uma *pendrive*, não se esquecendo de ejetar a *pendrive* antes de encerrar o Windows ME.

4.2. Medida da atividade ambiente

Nesta secção do trabalho, irá determinar o valor da atividade ambiente no posto de trabalho, e adquirir medidas que lhe permitirão caracterizar posteriormente a distribuição estatística das medidas.

Material

- Detetor Geiger-Muller
- Placa metálica e suporte magnético para o detetor
- Interface Cobra e computador com software VMWare > WindowsMe > COBRA > RADIO1

Procedimento

1. Realize a medida experimental da atividade ambiente.

a) Tenha o cuidado de afastar as fontes radioativas do detetor.

b) Configure adequadamente a medida experimental, nomeadamente:

- o tempo Δt de aquisição por medida (tempo activo de contagem do GM); sugere-se um valor $\Delta t \approx 10$ s, mas tem de utilizar outro(s) valor(es) que permita(m) obter uma estimativa de atividade mais fiável;

- o número n de medidas pretendidas.
- c) Guarde os dados em formato ASCII: o nome do ficheiro não pode ter mais de 8 caracteres, adote uma boa mnemónica para diferenciar os diferentes ficheiros que irá gerar.
2. Estime a partir das medidas experimentais efetuadas a atividade ambiente, para poder analisar em contexto os resultados dos estudos seguintes.
 3. Atendendo à variabilidade das n medidas obtidas, consegue estimar qual o valor provável que obteria se efetuasse uma medida adicional (no total, seriam $n + 1$ medidas)?

4.3. Estatística da atividade da fonte ^{226}Ra

Irá caracterizar a estatística das emissões da fonte através da obtenção do histograma de contagens obtido para conjuntos de medida de diferentes dimensões.

Material

- Fonte radioativa ^{226}Ra
- Detetor Geiger-Muller com proteção
- Placa metálica e suportes magnéticos para a fonte e o detetor
- Interface Cobra e computador com software VMWare > WindowsMe > COBRA > RADIO1

Procedimento

1. Coloque o suporte da fonte ^{226}Ra no suporte magnético de modo a que a saída da fonte esteja próxima do detetor, sem lhe tocar.
2. Deverá colocar o detetor a alguns milímetros da fonte e configurar o tempo de medida Δt de modo a obter um número de contagens médio superior a 50.
 - a) Configure o sistema em modo de aquisição automática para a realização de $n = 100$ medidas. Adquira e guarde os dados.
 - b) Repita a operação anterior para valores maiores de n , sem deslocar a fonte ou o detetor. Note que a aplicação não permite guardar mais de 1000 medidas. Para contornar esta limitação, note também que se não alterar a configuração da fonte e do detetor, cada grupo de medidas constitui uma experiência independente, pelo que poderá agrupar vários conjuntos de modo a obter grupos maiores de medidas (por exemplo, partindo de $n = 100, 200, 500$ medições, pode formar novos grupos com $n' = 100, 200, 300, 500, 600, 700$).
3. Reajuste a posição da fonte de forma a que o número de contagens seja agora pequeno (< 10). Repita os passos a-b) anteriores, para obter conjuntos de medidas que lhe permitam fazer os histogramas correspondentes a contagens de baixa atividade.

4.4. Caracterização da emissão da fonte ^{226}Ra

Pretende-se aqui estudar a dependência da atividade (ou do número de contagens) com a distância entre a fonte e o detetor, procedendo-se posteriormente à análise dos dados como sugerido na secção 2.3. Isto permitirá estimar as atividades parciais $A_{f\alpha}$, $A_{f\beta}$, $A_{f\gamma}$ e a atividade total da fonte, A_f , assim como os coeficientes de absorção μ_α e μ_β , e os alcances L_α , L_β .

Material

- Fonte radioativa ^{226}Ra
- Detetor Geiger-Muller com proteção
- Tampa de alumínio para filtrar radiações α e β da fonte
- Suportes magnéticos
- Régua
- Interface Cobra e computador com software VMWare > WindowsMe > COBRA > RADIO1

Procedimento

1. Nesta parte, irá adquirir valores de contagens (C ; número de impulsos registados durante o intervalo de tempo de medida Δt) com o detetor Geiger-Muller, com e sem filtro $\alpha\beta$ da fonte, variando a distância fonte-detetor até que o número de contagens se aproxime do nível da radiação ambiente. Deverá variar a distância (d) no intervalo aproximado de 0-15 cm com espaçamento Δd heterogéneo, de modo a privilegiar a região de distâncias na qual $C(d)$ apresenta uma variação mais acentuada. Tipicamente, isto corresponde a adotar um espaçamento $\Delta d = 1$ mm para as menores distâncias e $\Delta d \approx 1$ cm para as maiores. Para $d \sim 10$ cm, as contagens poderão estar quase ao nível da radiação ambiente, pelo que não será necessário efetuar muitas medições nesta região. Por definição, a atividade é calculada pela relação $A = C/\Delta t$. Durante este processo, o detetor deverá estar protegido com a sua tampa!

- a) Configure o software de aquisição para o modo “manually controlled”, com tempos de medida $\Delta t \approx 20$ s e um total de 60 medidas (30 valores de distância; 2 medições para cada distância: a primeira sem filtro $\alpha\beta$, a segunda com filtro $\alpha\beta$). Escolha um espaçamento nominal de 1 mm.

A sequência de valores de distância registados no computador não será igual à sequência real porque:

- o *software* está programado para gerar uma sequência de valores de distância com espaçamento homogéneo (por exemplo, 1 mm), enquanto a sequência real terá espaçamento heterogéneo;
- o *software* está programado para efetuar apenas uma contagem de impulsos por cada valor de distância e são necessárias duas contagens para cada distância.

No entanto, será trivial obter posteriormente a sequência real de distâncias a partir dos valores gravados em ficheiro. Em todo o caso, é aconselhável que tanto os valores das contagens como das distâncias reais sejam registados diretamente em caderno.

- b) Aproxime a fonte tanto quanto possível do detetor.

c) Inicie as medidas.

2. Siga as indicações do RADIO1

a) Adquira uma contagem de impulsos para a posição atual do detetor sem o filtro radiações $\alpha\beta$ na fonte.

b) Terminada a contagem, o software dar-lhe-á a indicação para alterar a distância para o valor nominal seguinte. Não altere a distância, pois precisa de repetir a contagem de impulsos para a mesma distância, agora com o filtro $\alpha\beta$ colocado na fonte.

c) Coloque o filtro na fonte e confirme no software o início de nova contagem.

d) Varie a distância entre o detetor e a fonte para o valor seguinte da sequência real de distâncias pretendidas e retire o filtro da fonte.

e) Repita as operações anteriores até terminar as 60 contagens para as 30 distâncias pretendidas.

3. No fim das medidas, grave os seus dados num ficheiro para posterior análise.

4. Proceda à análise dos dados como descrito anteriormente.

4.5. Estudo do decaimento radioativo

Material

- Fonte radioativa de isótopos ^{238}U - ^{234}Pa
- Detetor Geiger-Muller
- Placa metálica e suportes magnéticos para detetor
- Interface Cobra e computador com software VMWare > WindowsMe > COBRA > RADIO1

Procedimento

1. Nesta parte utilizará apenas o gerador de isótopos e o detetor, devidamente montado no suporte magnético, e sem proteção. COM O MÁXIMO CUIDADO, retire a proteção de plástico do detetor.

CUIDADO! Quando trabalhar com o detetor destapado, NÃO toque na proteção frontal, que é extremamente frágil. Pode danificar irremediavelmente o detetor!

2. Sugere-se que inicie a aquisição automática antes de manusear a fonte radioativa, de forma a poder ficar com um registo total das várias fases do procedimento. Para tal, Prepare a aquisição automática de forma a que possa medir a variação temporal das contagens, com contagens durante pelo menos uns 15 minutos, e intervalo temporal de medida Δt adequado; atenda ao tempo de semi-vida do protactínio na escolha de Δt . Inicie as medidas automáticas.

3. Coloque, cuidadosamente, o frasco do gerador de isótopos diante do detetor, sem o agitar. Observe a separação entre os líquidos. Registe a radiação devida ao decaimento da substância mãe (^{238}U) que deverá ser tomada em conta como radiação “ambiente”.

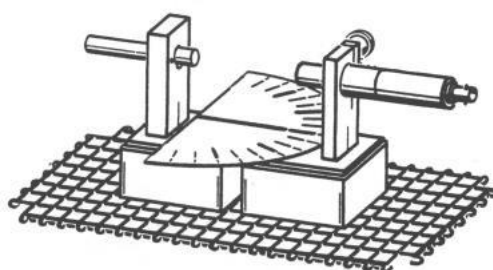
4. Agite a preparação durante alguns segundos e coloque-a de novo diante do detetor, na mesma posição.

5. Registre pelo menos 5 minutos de contagens. Se tiver de parar a aquisição pode usar a tecla ESC, que não perderá os resultados já adquiridos.
6. Grave os dados em formato ASCII, atribuindo um novo nome ao ficheiro a gravar.
7. Após a aquisição, **COM O MÁXIMO CUIDADO**, volte a colocar a proteção de plástico do detetor.
8. Estime o tempo de semi-vida a partir da análise dos dados adquiridos.

4.6. Outros estudos possíveis

4.6.1. Determinação da dependência angular da radiação emitida pela fonte ^{226}Ra

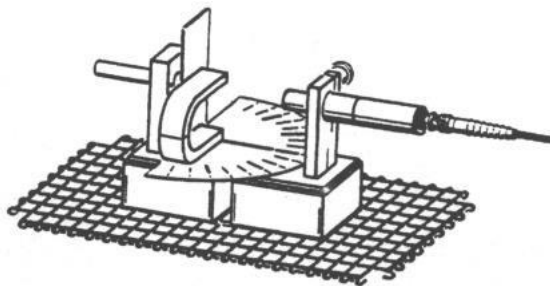
Devido à montagem experimental que será utilizada nesta parte do trabalho, a distância entre a fonte e o detetor será muito superior ao alcance das partículas α no ar, pelo que o detetor registrará essencialmente partículas β e raios γ .



1. Comece por montar o transferidor semicircular no suporte onde está montada a fonte, de acordo com a figura. Identifique a escala.
2. Meça o número de contagens para diferentes ângulos, entre -60° e $+60^\circ$.
3. Para a aquisição dos dados em sequência terá de “enganar” o programa de aquisição, que apenas possibilita uma variável independente correspondente a uma distância.
4. Medindo a intervalos de 10° , terá de indicar 13 medidas (programando de 1 a 13 mm, como se variasse uma distância de 1 em 1 mm). Utilize um tempo de contagem de 30 s, pelo menos.
5. É conveniente registar os dados manualmente.
6. Grave os dados em ASCII, atribuindo um novo nome ao ficheiro a gravar.
7. Represente graficamente a dependência da atividade com o ângulo, de preferência em gráfico polar.

4.6.2. Efeito dum campo magnético sobre a radiação emitida pela fonte ^{226}Ra

Coloque o magnete em ferradura sobre o transferidor, alinhando as extremidades com a marca de ângulo zero, como na figura seguinte. A placa de alumínio mostrada na figura entre a fonte e o magnete não deverá ser utilizada nesta parte. O polo Norte é o vermelho, o polo Sul é o verde.



1. Coloque o polo Norte para cima.
2. Meça o número de contagens para diferentes ângulos, entre -60° e $+60^\circ$. Medindo a intervalos de 10° terá de indicar 13 medidas (programando de 1 a 13 mm, como se variasse uma distância de 1 em 1 mm). Utilize um tempo de contagem de 30 s, pelo menos.
3. É conveniente registrar os dados manualmente.
4. Grave os dados em ASCII, atribuindo um novo nome ao ficheiro a gravar.
5. Represente graficamente a dependência da atividade com o ângulo, de preferência em gráfico polar.
6. Coloque o polo Norte para baixo.
7. Repita as operações anteriores.

O que conclui quanto às características da radiação detetada?

4.6.3. Observação da radiação γ

1. Mantenha o magnete em ferradura sobre a placa transferidor, com as extremidades alinhadas. Coloque o polo Norte para cima.
2. Coloque uma placa de alumínio junto à abertura da fonte radioativa (ver figura anterior).
3. Meça o número de contagens para diferentes ângulos, entre -60° e $+60^\circ$. Medindo a intervalos de 10° terá de indicar 13 medidas (programando de 1 a 13 mm, como se variasse uma distância de 1 em 1 mm). Utilize um tempo de contagem de 30 s, pelo menos.
4. Grave os dados em ASCII, atribuindo um novo nome ao ficheiro a gravar.
5. Represente graficamente a dependência da atividade com o ângulo, de preferência em gráfico polar.

6. Questões para reflexão posterior

1. Determine qual a distribuição de probabilidades mais adequada (e os seus parâmetros) para caracterizar a radiação ambiente no laboratório 017 do DFA.
2. Estime os parâmetros da variação da atividade radioativa com a distância à fonte ^{226}Ra , assim como as respetivas incertezas. Compare os valores obtidos com valores típicos conhecidos.

3. Analise os histogramas da atividade da fonte ^{226}Ra , considerando os dados individualmente e/ou agrupados. Tanto para os dados correspondentes a atividade alta como a atividade baixa, proceda a ajustes com as distribuições gaussiana e de Poisson.


4. Formule uma resposta às seguintes questões:

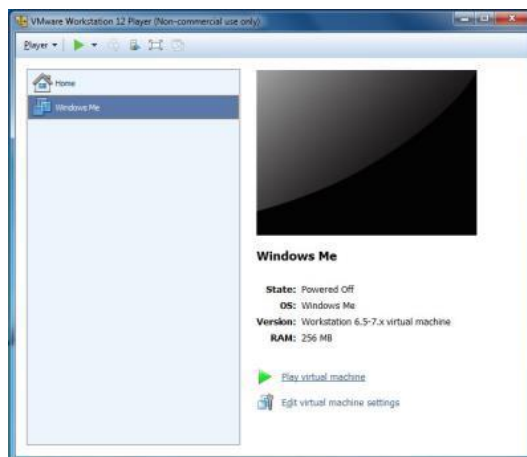
- A repetição de medidas conduz a resultados diferentes?
- A média dum conjunto de medidas é também uma variável aleatória?
- Um maior tempo de amostragem melhora a convergência do valor médio para um valor limite, designado por valor esperado?
- Em que condições o número de impulsos contados num dado intervalo de tempo segue uma distribuição gaussiana ou uma distribuição de Poisson?
- Porque é que a atividade da fonte de ^{226}Ra tem uma incerteza não simétrica (+0%/-50%)?

A. Software Cobra

A.1. Utilização do *software* Cobra em ambiente de máquina virtual

Para iniciar o *software* Cobra, siga os seguintes passos:

- Após iniciar o computador, arranque o aplicativo de máquina virtual *VMware Workstation* (no ambiente de trabalho, dispõe de um atalho com o seguinte icon: )
- No ecrã, será aberta uma janela da aplicação (ver figura abaixo) para escolha e arranque da máquina virtual que se pretende.



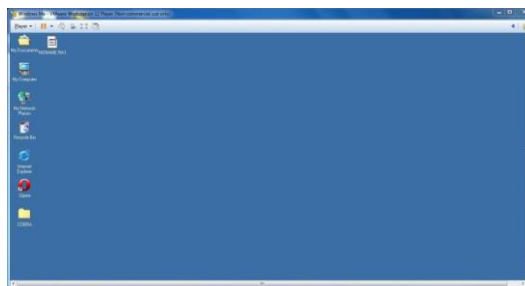
- Prima o botão “*Play virtual machine*” depois de verificar que está selecionado “Windows Me”.
- Irá aparecer a janela de arranque do Windows Me:



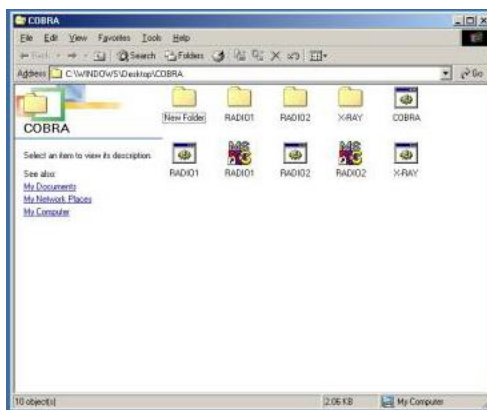
- Após o arranque do Windows Me, aparecerá o pedido de password, que deverá deixar em branco.



- Na janela da aplicação irá aparecer o Desktop do Windows Me, semelhante à figura seguinte:



- Abra a pasta COBRA (ver figura seguinte) e corra o programa RADIO1, identificado pelo icon:



- Ao encerrar a aplicação RADIO1, aparece uma janela de MS-DOS que pode fechar sem problemas.

A.2. Transferência de dados do MS-DOS para *pendrive* USB

- A passagem de dados de dentro da máquina virtual para o exterior deve ser feita utilizando uma *pendrive* USB de **capacidade inferior a 2 GB**.
- No arranque do sistema operativo Windows Me, deve aparecer uma mensagem indicando que foi desconectada do sistema operativo do computador. Antes de sair da máquina virtual não se esqueça de ejetar a *pendrive* de dentro do sistema operativo virtual.

A.3. Encerramento

No final da utilização da interface, faça o “*shutdown*” do sistema Windows Me antes de fechar a máquina virtual.

NOTA IMPORTANTE: A configuração da máquina virtual é demorada, e pode obrigar a uma interrupção da utilização desta experiência durante algumas aulas. **A deteção de algum estudante com a página de configuração da interface aberta, levará a uma ação disciplinar.** Se algum estudante desejar saber mais sobre esta máquina virtual é encorajado a contactar com o técnico do DFA, Pedro Cruz.

A.4. Controlo de experiências e aquisição de dados com o programa RADIO1

Nas instruções a seguir, os comandos do programa estão indicados por <...>.

Algumas das funcionalidades oferecidas pelo programa RADIO1 podem ser realizadas à posteriori nele ou em aplicação à sua escolha. Este programa é, em primeira instância, apenas fundamental para o controlo de experiências e a aquisição e armazenamento dos dados experimentais.

A.4.1. Configuração de uma medição

Para editar os parâmetros de uma medição automática com subtração de zero, execute sequencialmente os seguintes comandos:

- *<measure>, <parameters>*
- *<type of measurements>: automatic measuring sequence*
- *<zero effect>: subtract*
- *<measuring time>: 10 s* (por exemplo; quanto maior, mais fiável é esta medição)
- *<number of measurements>: 25* (por exemplo)

A.4.2. Medição do zero

1. Na configuração da medição da radiação de fundo, faça esta sequência de comandos:

- *<measure>, <zero effect>*
- *<measure>, Time interval 10 s <OK>* (pode utilizar outro valor; quanto maior, mais fiável é esta medição)

2. O valor correspondente à radiação de fundo fica guardado até ser substituído por outro, ou sair da aplicação. Aconselhamos a que este valor seja registado no caderno para corrigir os dados na eventualidade de se esquecer de acionar a opção de subtração de zero.

A.4.3. Gravação de dados

1. Para tratamento posterior, deverá gravar os dados no disco duro, utilizando para tal o menu apropriado do programa:

<file>, <store>

2. Indique o caminho para gravação.

3. O nome do ficheiro não pode exceder 8 caracteres.

4. Escolha a opção de gravação em formato ASCII. Se não o fizer, os dados serão gravados num formato proprietário da PHYWE e só poderão ser abertos com a aplicação RADIO1.

5. No final da sessão, ainda dentro do Windows Me, copie os dados para uma *pendrive*. (não se esqueça de ejetar a *pendrive* antes de encerrar o Windows Me.

6. Para tratamento com programas de aplicação gráfica, deverá posteriormente retirar as linhas iniciais do ficheiro, utilizando um editor de texto, de modo a ficar apenas com listagens de duas colunas X, Y.