

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
FSC 5151 - LABORATÓRIO DE FÍSICA MODERNA

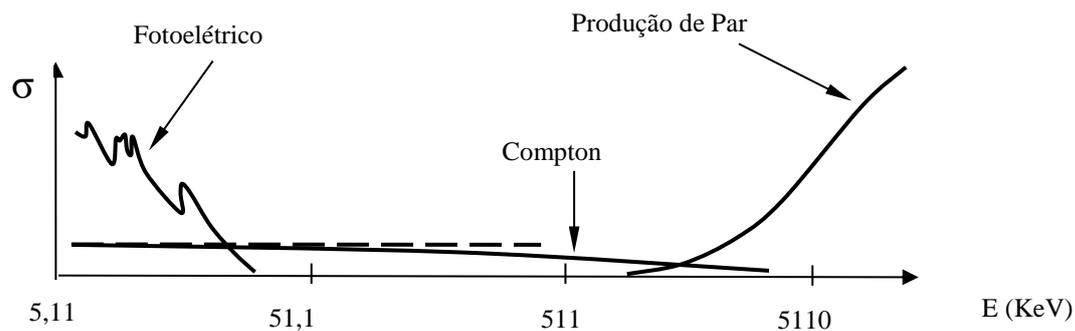
Absorção da radiação gama pela matéria

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A absorção da radiação gama na matéria ocorre por três processos a depender da energia do fóton:

- a) Efeito fotoelétrico
- b) Efeito Compton
- c) Produção de pares

Todos os processos acima são excludentes, ou seja: quando um deles ocorre, o fóton é removido da sua direção incidente.



A 'lei de Lambert-Beer'

Define-se **secção de choque** (σ) como: $\sigma = \text{fluxo espalhado} / \text{fluxo incidente por unidade de área}$.

Se: $n = \text{densidade de espalhadores (partículas / cm}^3\text{)}$, então:

$n \cdot dx = \text{espalhadores por unidade de área numa espessura } dx$.

$dP = I_s / I_0 = ((\sigma \cdot I_0 / S) / I_0) \cdot (S \cdot n \cdot dx) = \sigma \cdot n \cdot dx = \text{probabilidade de uma interação na espessura } dx$ (ver Melissinos 5.2.1).

A probabilidade de espalhamento em um comprimento x dentro do material será:

$$-dx = dP(x) = I(x) \cdot \sigma \cdot n \cdot dx \quad \text{ou} \quad dI(x) / I = -\sigma \cdot n \cdot dx, \text{ que por integração fornece:}$$

$$I(x) = I_0 \exp(-\sigma \cdot n \cdot x)$$

Definindo: $k \equiv \sigma \cdot n = \text{coeficiente de absorção linear}$, então $\lambda = 1/(\sigma \cdot n)$ será o comprimento de absorção ou livre caminho médio.

Agora: $I(x) = I_0 \exp(-k \cdot x)$, que é a chamada lei de Lambert-Beer.

Note que as secções de choque atômicas ou nucleares, são medidas em **barn**, sendo que um barn = 10^{-24}cm^2 .

A densidade de centros espalhadores n será dada por:

$$n = \rho \cdot N_0 / A \quad \text{se o espalhamento for por núcleos}$$

$$n = \rho \cdot N_0 \cdot Z / A \quad \text{se o espalhamento for por elétrons, onde } N_0 \text{ é o}$$

número de Avogrado, A é o peso atômico e Z o número atômico.

Seguidamente interessa saber a absorção em termos do equivalente de matéria atravessada (dado em gramas por cm^2); para isso pode-se expressar a espessura do material (dx) em termos de: $d\xi = \rho \cdot dx$, onde ξ = densidade superficial (em g/cm^2).

Definindo: $\mu = k/\rho =$ coeficiente de absorção mássica,

$$\text{então: } k \cdot x = \mu \cdot \rho \cdot x = \mu \cdot \xi, \quad \text{e:} \quad I(x) = I_0 \cdot \exp(-\mu \cdot \xi)$$

UNIDADES RELACIONADAS À RADIAÇÃO IONIZANTE:

Atividade	É uma medida do número de desintegrações nucleares por segundo	Curie (Ci) Becquerel (Bq)*	$1\text{Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{Bq}$ $1\text{Bq} = 1 \text{ desintegr/Seg.}$
Exposição	Quantidade de radiação ionizante que produz 2,58 Coulombs por Cm^3 de ar nas CNTP	Roentgen (R) Taxa em R/h	
Dose absorvida	Energia total absorvida da radiação ionizante, por massa do absorvedor	Rad Gray (Gy)*	$100 \text{Rad} = 1 \text{Gy}$ $1 \text{Gy} = 1,0 \text{ J/Kg}$
Dose equivalente	Mede o risco biológico para a saúde; dose absorvida vezes o fator Q	Rem Sievert (Sv)*	$100 \text{Rem} = 1,0 \text{ Sv}$

O símbolo * denota unidades SI.

Categorização do Risco

Baseado no cálculo da atividade normalizada usando fatores de ponderação de acordo com o radionuclídeo e o seu emprego na instalação.

<u>Atividade normalizada</u>	<u>Categoria</u>
<50 MBq	Baixo risco
50 – 50 GBq	Médio risco
>50 GBq	Alto risco

$$1\text{Ci} = 37 \times 10^9 \text{des/s}$$

$$1\text{mCi} = 37 \times 10^6 \text{des/s}$$

$$1\text{mCi} = 37 \text{ MBq}$$

Logo 1mCi é baixo risco.

Pré-relatório:

Leia o cap. 5 de ‘Experiments in Modern Physics’, de A. Melissinos.

1. Relacione alguns cuidados que se deve tomar ao manusear fontes radioativas sólidas.
2. Caracterize em termos da natureza, carga e massa: **a)** partículas alfa, beta e elétrons de conversão interna; **b)** raios gama e raios X
3. Descreva o mecanismo de “*Bremsstrahlung*”.
4. Conceitue seção de choque.
5. Apresente uma dedução da lei de Lambert-Beer.
6. Qual o significado físico que se atribui ao coeficiente de absorção linear de raios gama? Evidencie a sua dependência com a energia e com o número atômico. O tratamento de Lambert-Beer pode ser estendido à absorção de raios X?
7. **a)** Quais são os mecanismos pelos quais um fóton perde energia (ou é absorvido) ao atravessar a matéria. **b)** Em que ordem de energias há a predominância de cada um destes mecanismos? (reproduza a fig. 5.7 do Melissinos e comente-a por partes).
8. Detalhar a teoria quântica de Einstein para o efeito fotoelétrico (ver Eisberg 2-3).
9. Descreva com detalhes o efeito Compton através das suas equações de conservação de energia e de momentum. Por que a descoberta do efeito Compton veio a confirmar a teoria corpuscular da radiação eletromagnética?
10. Por que a formação de pares só ocorre para fótons com energia superior a 1,02 MeV?

Relatório:

1. A partir de seus dados experimentais, determine: k , μ , σ e também $d_{1/2}$ para o gama de 662 Kev do ^{137}Cs . Compare os valores experimentais de μ com os tabelados no Melissinos. *Nota:* para o cálculo da seção de choque, considere que **os centros espalhadores sejam apenas os núcleos.**

Bibliografia:

- 1) A. C. Melissinos; “Experiments in Modern Physics”, Ac. Press
- 2) <http://isotopes.lbl.gov>
- 3) www.world-nuclear.org
- 4) www.ionactive.co.uk
- 5) <http://nist.gov>

FSC 5151 LABORATÓRIO DE FÍSICA MODERNA I
 ABSORÇÃO DA RADIAÇÃO GAMA PELA MATÉRIA

Data: _____

Grupo: _____ Componentes: _____

Tabela para o Pb: Fonte: $^{137}\text{Cs}\gamma = 662 \text{ KeV}$ Tempo: Background:

Absorvedor de Pb	Espessura do absorvedor	Contagem	Contagem - background
1	zero		
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Tabela para o Al: Fonte: $^{137}\text{Cs}\gamma = 662 \text{ KeV}$ Tempo: Background:

Absorvedor de Al	Espessura do absorvedor	Contagem	Contagem - background
1	zero		
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			

Valores tabelados para comparar com os obtidos no laboratório:

$^{137}\text{Cs} \gamma = 662 \text{ KeV}$ - valores para Pb	$^{137}\text{Cs} \gamma = 662 \text{ KeV}$ - valores para Al
$k = 1,22 \text{ cm}^{-1}$	$k = 0,21 \text{ cm}^{-1}$
$\mu = 0,11 \text{ cm}^2/\text{g}$	$\nearrow \mu = 0,075 \text{ cm}^2/\text{g}$
$\sigma = 36,6 \text{ barn}$	$\sigma = 3,4 \text{ barn}$
$d_{1/2} = 0,57 \text{ cm}$	$d_{1/2} = 3,4 \text{ cm}$

APÊNDICE:

Units of radiation and radioactivity – from www.world-nuclear.org

In order to quantify how much radiation we are exposed to in our daily lives and assess potential health impacts as a result, it is necessary to establish a unit of measurement. The basic unit of radiation dose absorbed in tissue is the gray (Gy), where one gray represents the deposition of one joule of energy per kilogram of tissue.

However, since neutrons and alpha particles cause more damage per gray than gamma or beta radiation, another unit, the sievert (Sv) is used in setting radiological protection standards. This unit of measurement takes into account biological effects of different types of radiation. One gray of beta or gamma radiation has one sievert of biological effect, one gray of alpha particles has 20 Sv effect and one gray of neutrons is equivalent to around 10 Sv (depending on their energy). Since the sievert is a relatively large value, dose to humans is normally measured in millisieverts (mSv), one-thousandth of a sievert.

The becquerel (Bq) is a unit or measure of actual radioactivity in material (as distinct from the radiation it emits, or the human dose from that), with reference to the number of nuclear disintegrations per second (1 Bq = 1 disintegration/sec). Quantities of radioactive material are commonly estimated by measuring the amount of intrinsic radioactivity in becquerels – one Bq of radioactive material is that amount which has an average of one disintegration per second, *i.e.* an activity of 1 Bq.

Radioactivity of some natural and other materials

1 adult human (65 Bq/kg)	4500 Bq
1 kg of coffee	1000 Bq
1 kg super phosphate fertiliser	5000 Bq
The air in a 100 sq metre Australian home (radon)	3000 Bq
The air in many 100 sq metre European homes (radon)	up to 30 000 Bq
1 household smoke detector (with americium)	30 000 Bq
Radioisotope for medical diagnosis	70 million Bq
Radioisotope source for medical therapy	100 000 000 million Bq (100 TBq)
1 kg 50-year old vitrified high-level nuclear waste	10 000 000 million Bq (10 TBq)
1 luminous Exit sign (1970s)	1 000 000 million Bq (1TBq)
1 kg uranium	25 million Bq
1 kg uranium ore (Canadian, 15%)	25 million Bq
1 kg uranium ore (Australian, 0.3%)	500 000 Bq
1 kg low level radioactive waste	1 million Bq
1 kg of coal ash	2000 Bq
1 kg of granite	1000 Bq

N.B. Though the intrinsic radioactivity is the same, the radiation dose received by someone handling a kilogram of high-grade uranium ore will be much greater than for the same exposure to a

kilogram of separated uranium, since the ore contains a number of short-lived decay products (see section on Radioactive Decay), while the uranium has a very long half-life.

Older units of radiation measurement continue in use in some literature:

1 gray = 100 rads

1 sievert = 100 rem

1 becquerel = 27 picocuries or 2.7×10^{-110} curies

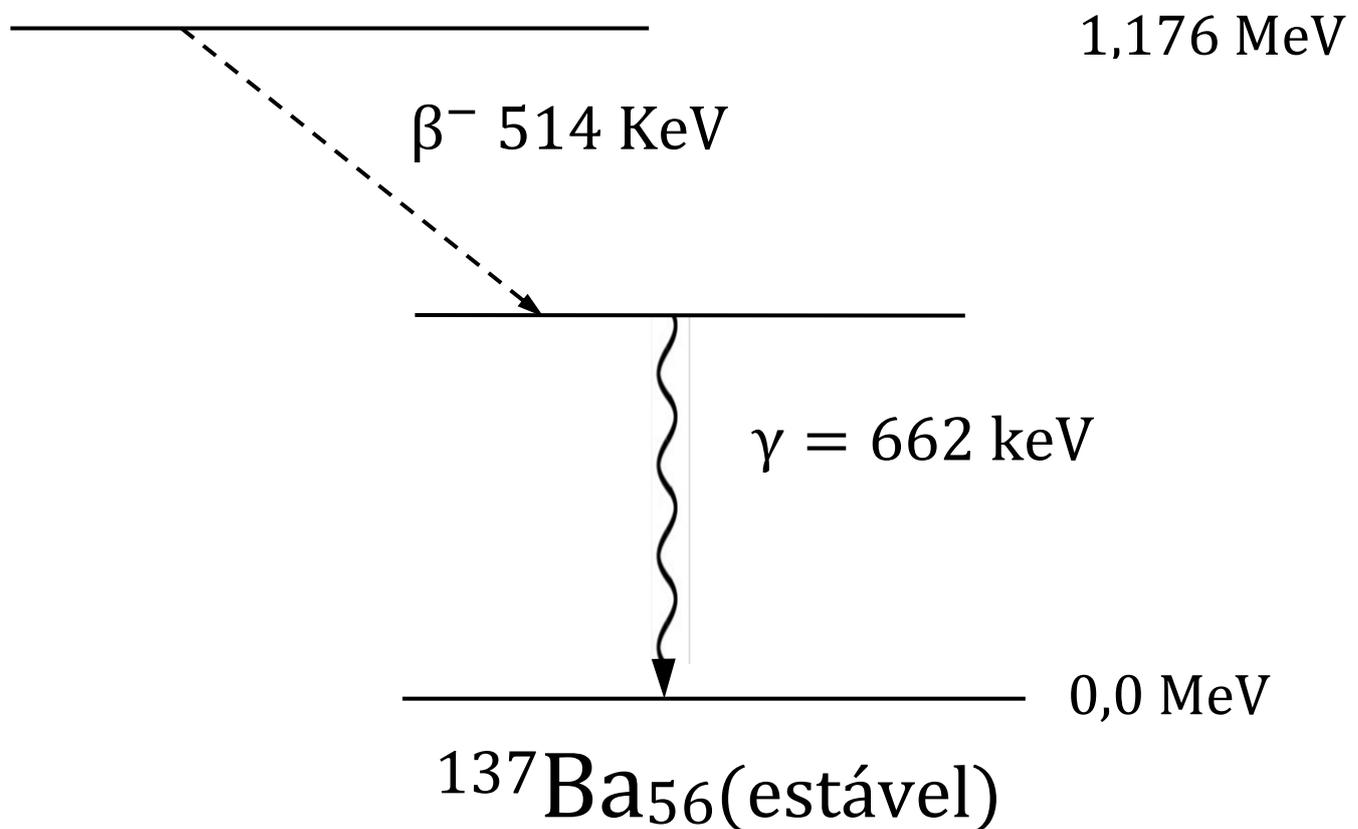
One curie was originally the activity of one gram of radium-226, and represents 3.7×10^{100} disintegrations per second (Bq).

The Working Level Month (WLM) has been used as a measure of dose for exposure to radon and in particular, radon decay products^b.

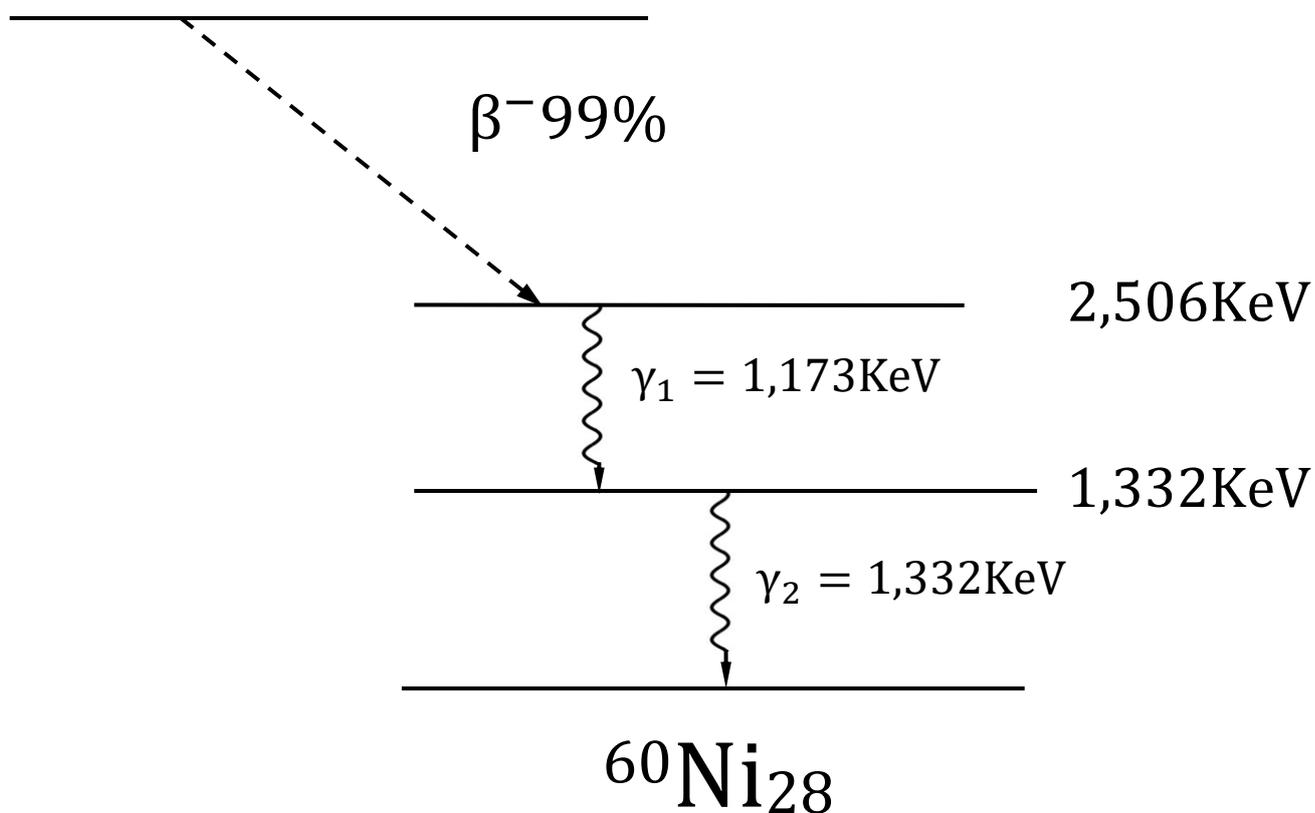
<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/NuclideMap.PNG>

Esquemas de decaimento

$${}^{137}\text{Cs}_{55}t_{\frac{1}{2}} = 30,08 \text{ anos}$$



$${}^{60}\text{Co}_{27}t_{\frac{1}{2}} = 5,6 \text{ anos}$$



$${}^{57}\text{Co}_{27}t_{\frac{1}{2}} = 272 \text{ dias}$$

