



Câmara de Ionização

Grupo 8

n° USP

Alexcolman Tochukwu Apunike

7983618

Carolina Gimenes Oliveira

8933728

Hires de Carvalho Leite

8933541

Julia Caroline Afonso Carvalho

9020371



Introdução : Dosimetria e Detecção de Radiação Ionizante

- Radiação : Energia Transferida no espaço.
- Radiação Ionizante : Radiações capazes de tirar um elétron orbital do átomo ou molécula com o qual age.
- As radiações ionizantes por si só não podem ser medida diretamente,
- A detecção é realizada pelo resultado produzido da interação da radiação com um meio sensível (detector)



Introdução : Dosimetria e Detecção de Radiação Ionizante

- Detectores de radiação: recebem a radiação incidida e a transforma de forma que possamos quantificá-la.
- Monitor de radiação : A integração entre um detector e um sistema de leitura (medidor), como um eletrômetro ou a embalagem de um detector.
- Dosímetros: Os sistemas detectores que indicam a radiação total a que uma pessoa foi exposta.

Tipos de detectores de Radiação

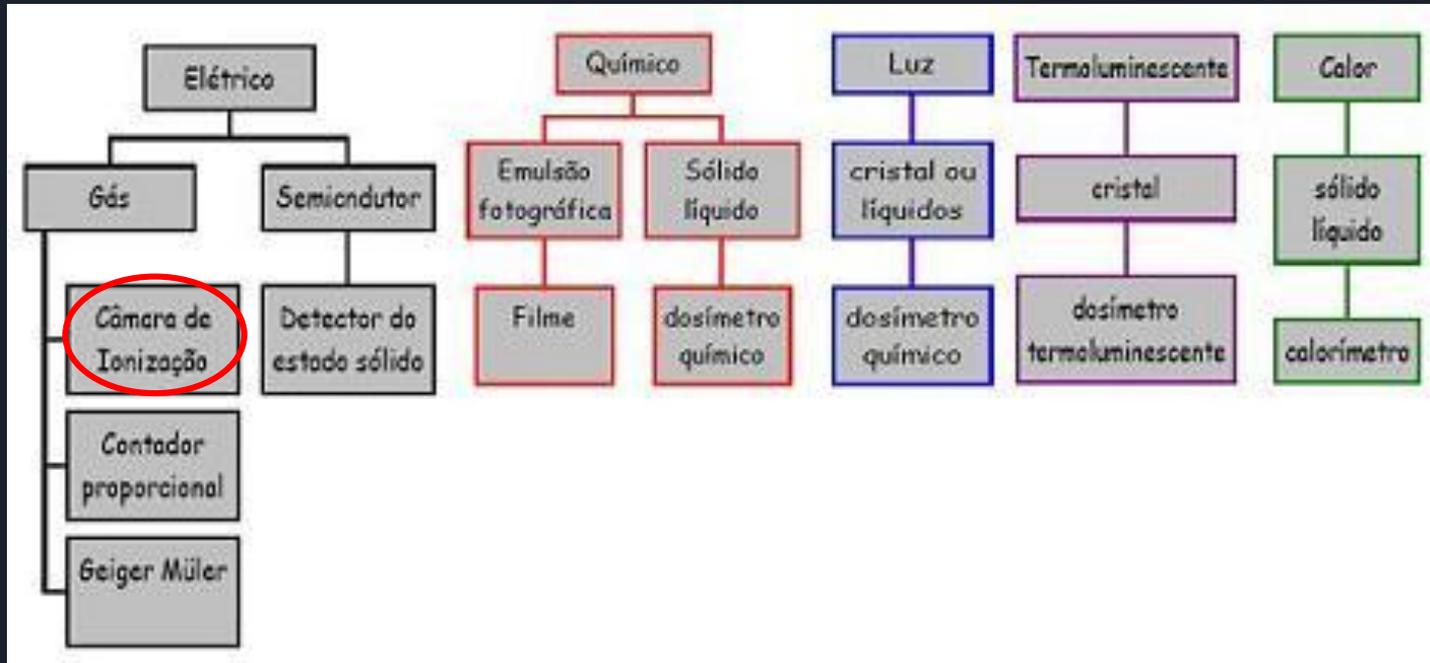


Figura 1 : Diagrama de tipos de detectores.
<http://www.tecnologiadiologica.com/imagens/Detec2.JPG>

Câmara de Ionização

A câmara de ionização (CI) é um dos tipos de dosímetros mais usados para medidas de precisão, sendo considerado instrumento de referência em radioterapia e radiodiagnóstico.

As câmaras de ionização são constituídas de um volume preenchido por um gás isolante elétrico e sensível à radiação e eletrodos coletores conectados a um eletrômetro.

A radiação incidente na câmara, ionizando os átomos do volume sensível (o gás) e criando pares de íons.

O campo elétrico atrai os íons, gerando uma corrente que pode ser medida com um dispositivo de medida elétrica (eletrômetro).

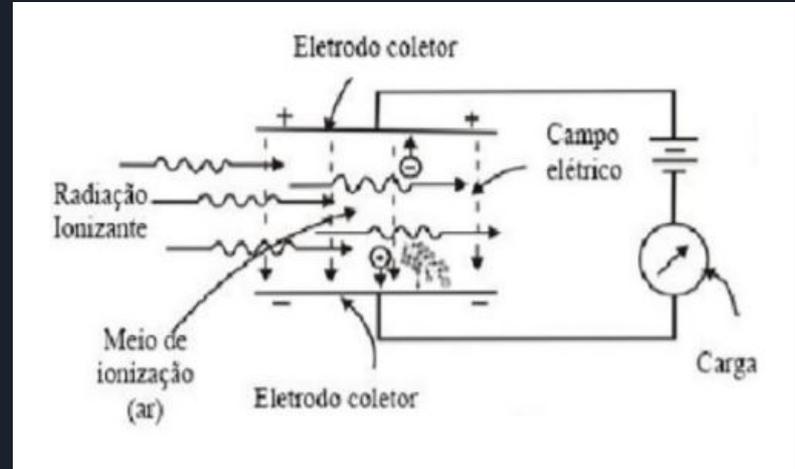


Figura 2: Câmara de ionização : Funcionamento de um dosímetro gasoso com os íons e elétrons produzidos no gás pela radiação são coletados no anodo e o catodo.

Disponível em <Apostila de Dosimetria - Prof. Dr. Martin E. Poletti.>

Campo Elétrico Necessário

A intensidade da corrente é proporcional ao número de íons coletados, que por sua vez está relacionado à quantidade de radiação que entra na câmara.

I.Região inicial não proporcional

II.Região de saturação de íons

III.Região proporcional

IV.Região de proporcionalidade limitada

V.Região do Geiger Muller

VI.Região de descarga contínua

Câmaras de ionização trabalham na região de saturação de íons (região II).

Campo elétrico:

- Suficiente para não ocorrer recombinação de íons;
- Não tão intenso a ponto de produzir novas interações ou ionizações devido ao campo elétrico aplicado

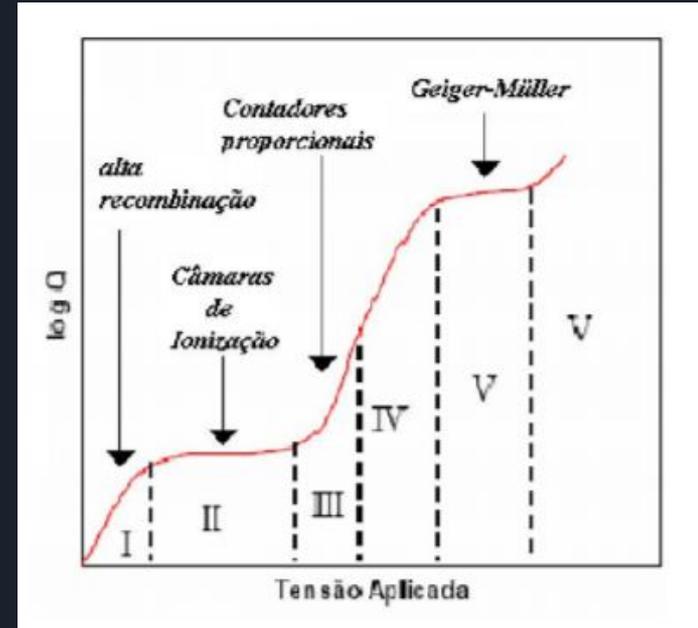


Figura 3: Log dos íons coletados em função da voltagem aplicada em um detector à gás.

Disponível em <Apostila de Dosimetria - Prof. Dr. Martin E. Poletti.>



Características Gerais

- Pode detectar radiação de alta intensidade
- Não é danificada pela radiação
- Capaz de distinguir energia e tipos de partículas
- Detecta radiação X, α , β e γ e fragmentos de fissão
- A fonte pode estar dentro ou fora da câmara, ou misturada ao gás
- Funcionamento simples ; Portátil.
- Sua construção é simples e tem baixo custo de produção
- Possuem diferentes geometrias e tamanhos



Fatores Relevantes

- Gás quimicamente estável → elétrons não são capturados pelas moléculas do meio
- Meio não sensível à danos por radiação → resposta à radiação não deteriora com o tempo
- Baixo potencial de ionização → maximiza o número de ionização por energia depositada por uma partícula incidente



Princípios Físicos

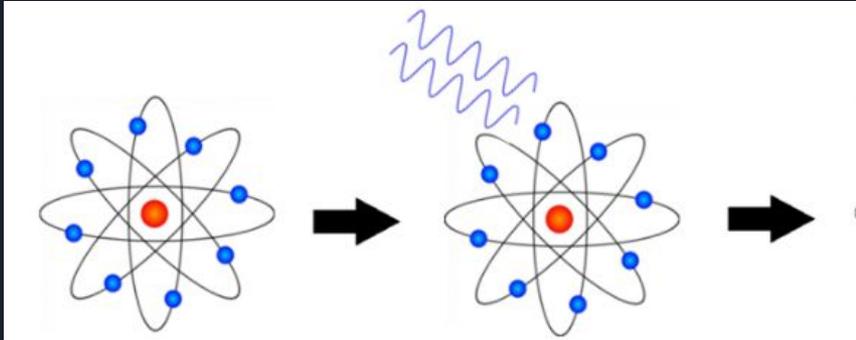
- Ionização;

- Efeitos de interação da radiação com a matéria.
 - ◆ Efeito fotoelétrico;
 - ◆ Efeito Compton;
 - ◆ Produção de pares;
 - ◆ Efeito Rayleigh.

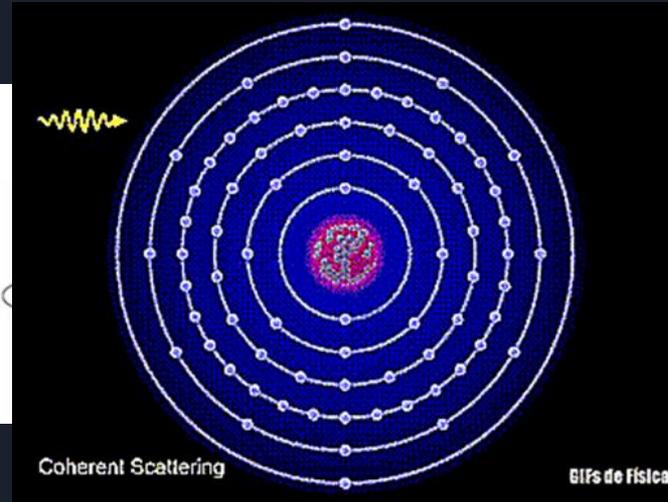
Ionização e Radiação Ionizante

O que é Ionização?

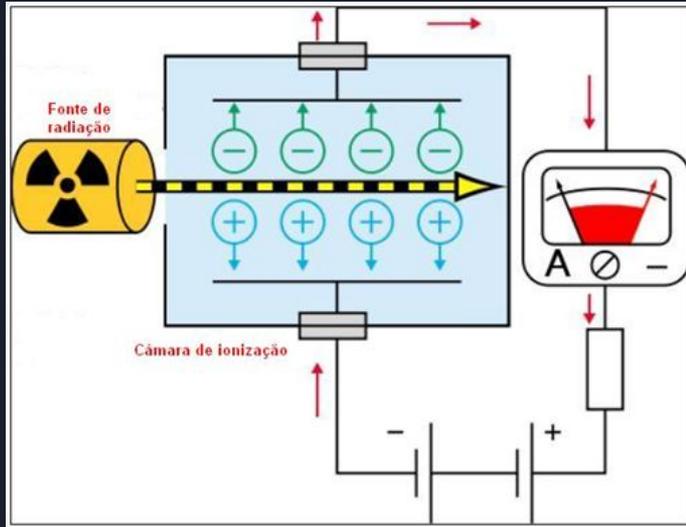
É o processo pelo qual átomos ou uma molécula perdem ou ganham elétrons formando assim íons.



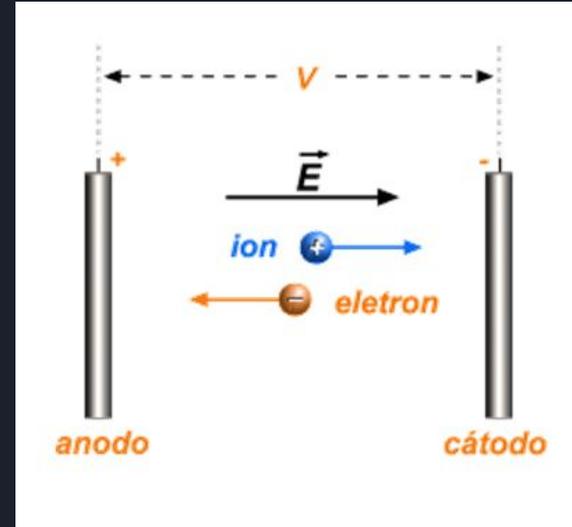
<https://gifsdefisica.com/2018/12/09/interacao-da-luz-com-a-materia/>



Ionização ocorrendo na câmara



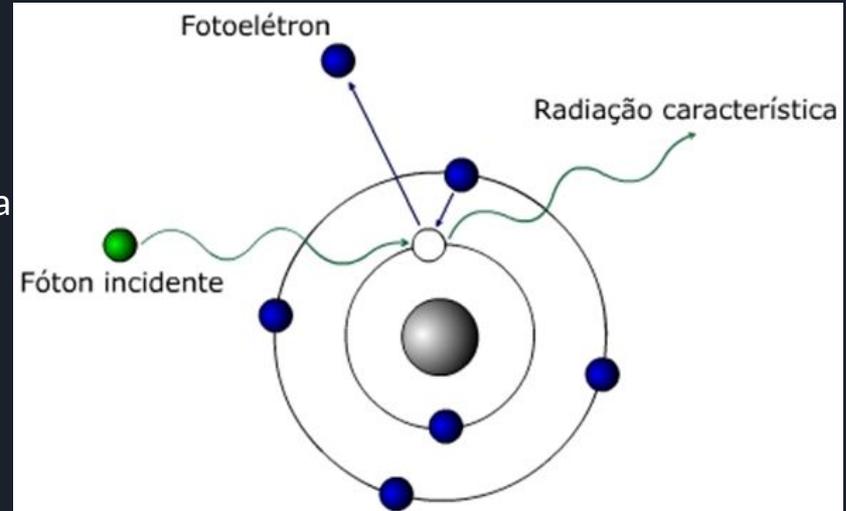
<http://potassio-40.blogspot.com/2017/11/a-camara-de-ionizacao-e-uma-das-formas.html>



<http://cepa.if.usp.br/efisica/imagens/moderna/universitario/cap01/fig346.gif>

Efeito Fotoelétrico

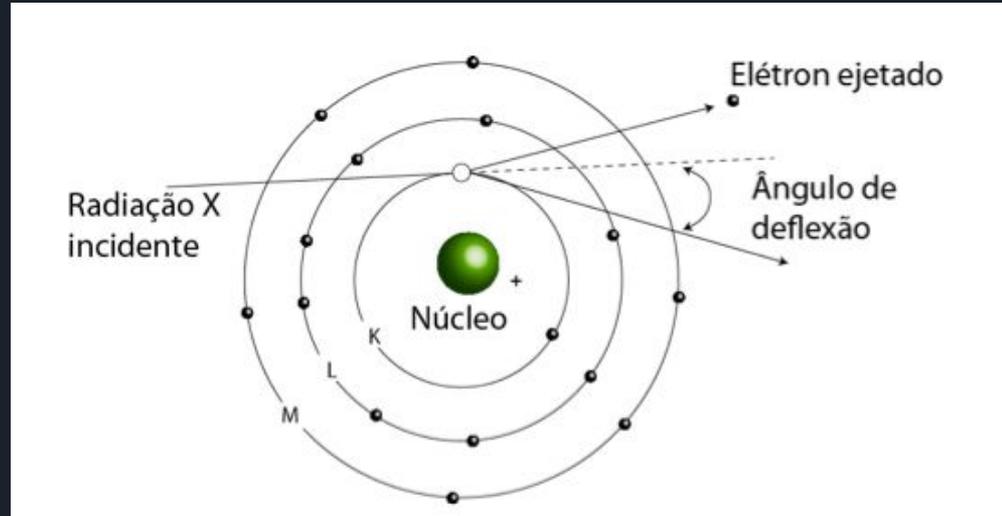
- Fóton incidente tem sua energia integralmente absorvida por um átomo do meio;
- O efeito fotoelétrico só é possível quando a energia do fóton é superior à energia de ligação do elétron;
- Efeito Auger.



<https://efeitofotoeletricoecompton.webnode.com.br/files/200000016-20cec21451/EF%204.jpg>

Efeito Compton

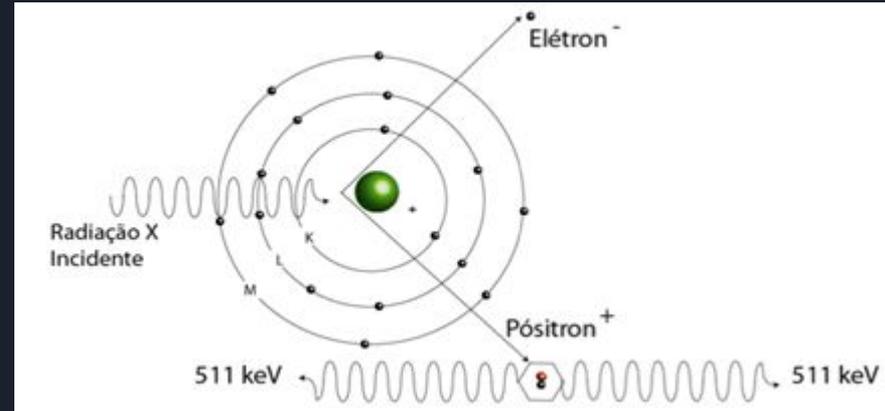
- Ocorre quando há o espalhamento de um fóton com um elétron da camada mais externa fracamente ligado ao núcleo;
- Parte da energia é transferida para o elétron e o fóton é defletido com energia restante;



<https://efeitofotoeletricoecompton.webnode.com.br/files/200000016-20cec21451/EF%204.jpg>

Produção de pares

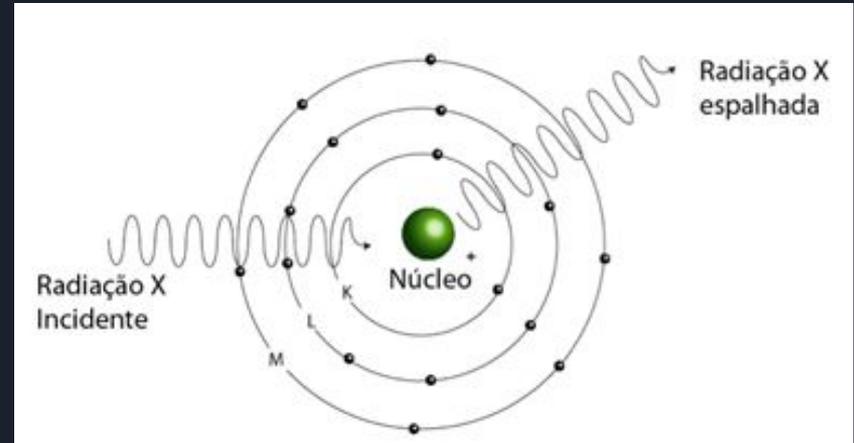
- Um fóton com energia mínima de 1,022 MeV deve interagir com um núcleo do átomo convertendo-se num par elétron-pósitron;
- Este valor de energia é o limite para ocorrência deste efeito → fótons incidentes de energia elevada.



<https://efeitofotoeletricoecompton.webnode.com.br/files/200000016-20cec21451/EF%204.jpg>

Espalhamento Coerente ou Efeito Rayleigh

- Ocorre para fótons de baixa energia interagindo com elétrons de alta energia de ligação;
- O fóton incidente é então desviado de sua trajetória inicial sem sofrer alguma alteração em sua energia.



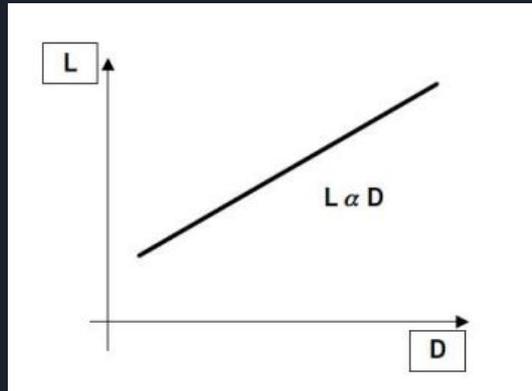
<https://efeitofotoeletricoecompton.webnode.com.br/files/200000016-20cec21451/EF%204.jpg>

Dosimetria das radiações (medida de dose)

-Medida de dose absorvida ou grandeza dosimétrica resultante da interação da radiação comum em um determinado meio.

-Dosímetro:

Fornece leitura L correlacionada a uma dose absorvida D em um volume sensível V .



Prática: maioria dos dosímetros apresentam grau de não-lineariedade $L \times D$



Características gerais dos dosímetros:

-Caráter Absoluto: valor da dose no seu próprio volume sensível, sem a necessidade de se recorrer a uma calibração num feixe de radiação conhecido.

Exemplo: dosímetro calorimétrico -> mede diretamente o calor produzido pela dose absorvida, sem depender de coeficientes de conversão.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

São dosímetros absolutos, além do calorímetro, o dosímetro Fricke e câmara de ionização absoluto

-Exatidão na medida

-Repetibilidade da medida

-Reprodutividade das medidas

-Intervalo de dose:

*sensibilidade (variação da leitura em relação a dose)

*limite inferior de detecção L0

*limite superior do intervalo

- Estabilidade

-Dependência energética



Fig.: alguns tipos de dosímetros. Fonte:
<https://www.stericycle.pt/servicos/proteccao-radiologica/dosimetria>

Tipos de câmara de ionização: Padrão (câmara de ionização de ar livre)

- Mede grandeza de exposição, ou seja, a ionização produzida por interações.
- Usadas em laboratórios primários, NIST (calibrar câmaras práticas).
- Requer condição de equilíbrio da partícula carregada.
- Limitação prática: energia do feixe incidente (3MeV) devido ao tamanho e distância das placas paralelas da mesma.

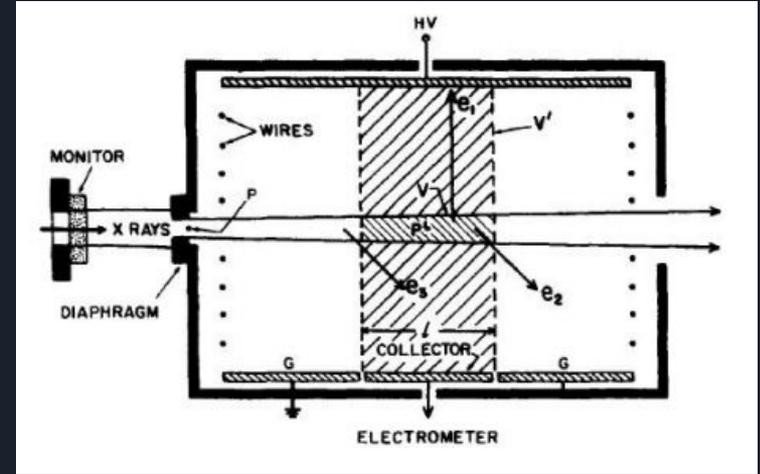


Fig.: câmara de ionização padrão de ar livre (Attix, 1986)

Tipos de câmara de ionização: Câmara de ar livre com comprimento variável

- Desenvolvida na década de 60 (Attix e Gorbics)
- Não requer equilíbrio de partícula carregada.
- Consiste em dois telescópios cilíndricos com um feixe de raios X passando ao longo de seu eixo através de buracos nas duas extremidades planas.
- Haste coletora ajustável que evita perder ionização a partir da colisão de elétrons.

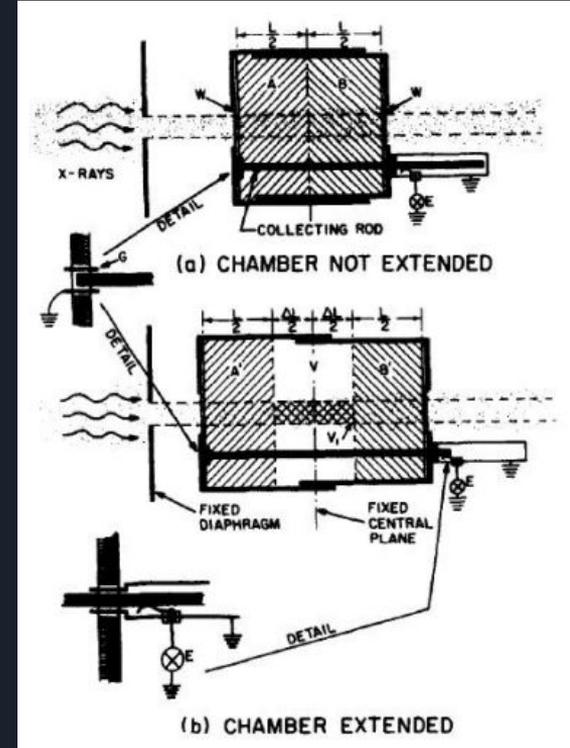


Fig.: : câmara de ionização de ar livre do tipo comprimento variável (Attix, 1986).

Tipos de câmara de ionização: câmara de ar livre de alta energia

-PROBLEMA

Modelos de possíveis soluções:

-Wyckoff e Kirn (1957) construíram uma câmara com ~ 1 m³ entre as placas -> feixe de raios X de 500 keV

-Joyet (1963) -> aplicação de um campo magnético longitudinal para curvar o caminho dos elétrons em espirais e evitar colisões -> feixe de raios X de 50 keV

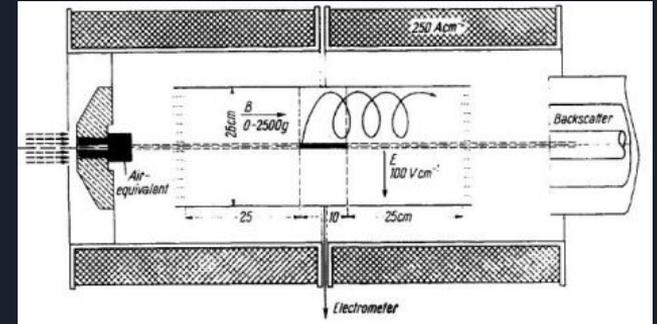


Fig.: câmara de placas paralelas de ar livre com campo magnético (Attix, 1986)



Tipos de câmara de ionização: Absoluta

- Volume sensível conhecido

- Tem a capacidade de fornecer a dose sem a necessidade de ser calibrada por um feixe de radiação conhecido.

- Não mede exposição



Tipos de câmara de ionização: Prática

São câmaras cavitárias que necessitam de uma calibração prévia a fim de medir uma grandeza dosimétrica na região de interesse.

- Compactas
- Medem campos de radiação multidimensionais
- Uso da teoria de cavidades proporciona a dose absorvida de qualquer material da parede da câmara
- Medir doses de partículas carregadas, nêutrons e fótons (diversos tipos de radiação)
- Carga coletada em tempo real
- Calibração periódica

Tipos de câmara de ionização: Câmaras de Ionização Esféricas e Cilíndricas

- Volumes que variam entre 0.1 e 2000 cm³.
- São usadas para medidas dosimétricas rotineira
- Fácil manuseio e transporte
- Possibilidade de uso em simulações
- Apresentam dependência energética

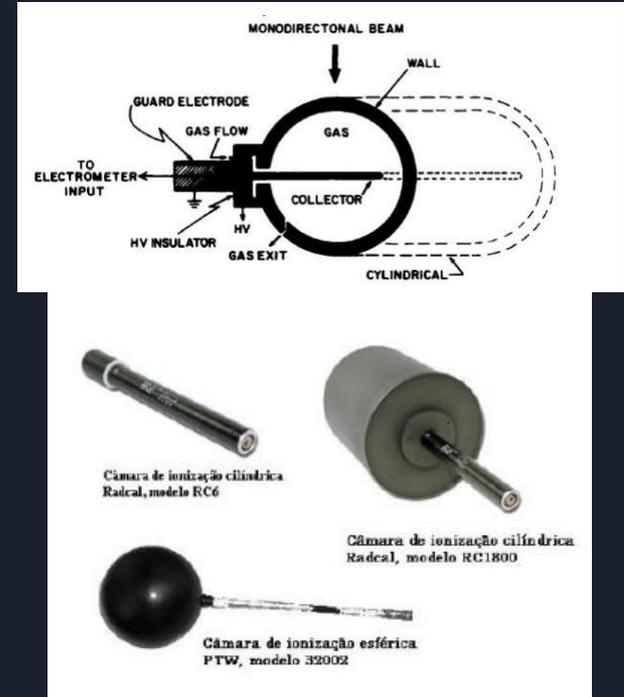


Fig.: câmaras de ionização esféricas e cilíndricas (Attix, 1986).

Tipos de câmara de ionização: Câmaras de Ionização Planas e de Extrapolação

-Volumes variam de 0,1 a 200 cm³

-Geometria e construção -> atenuação mínima do feixe de elétrons ou de raios X de energias baixa

-Maior resolução de profundidade de dose (distância entre os eletrodos)

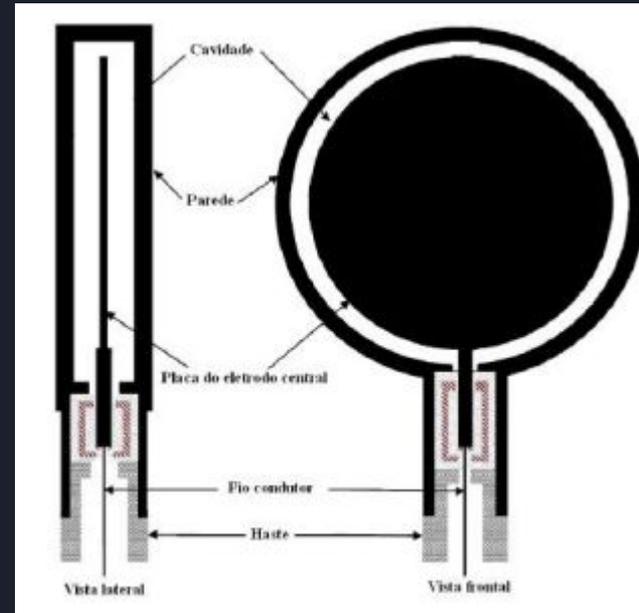


Fig.: : câmaras de ionização de extrapolação (Attix, 1986).



O objetivo nesta aula prática é:

- testar as características operacionais de corrente de fuga;
- estabilidade a curto prazo;
- saturação;
- eficiência de coleção;
- e efeitos de polaridade de um dosímetro clínico.



Materiais

- Câmara de ionização cilíndrica, eletrômetro digital, fonte de ^{90}Sr armazenada em blindagem adequada, termômetro e barômetro.

Procedimento experimental - Repetibilidade

- Faça dez medições sucessivas da corrente de ionização produzida na câmara de ionização exposta à fonte de Sr-90. A câmara de ionização deve ser completamente removida da blindagem e recolocada entre uma medição e outra.
- Como a câmara de ionização utilizada não é selada, devem ser feitas correções no valor da leitura para temperatura e pressões ambientais em relação a valores de referência.

$$k_{TP} = \left(\frac{273,2 + T}{293,2} \right) \times \left(\frac{101,3}{P} \right)$$

Eq. 1 - Equação de correção no valor da leitura da corrente e ddp, T é dado em °C e P em kPa. Nas



Procedimento experimental - Repetibilidade

A Repetibilidade de Medidas - Expressa a aproximação do resultado de sucessivas medidas de uma mesma grandeza.

O *teste de estabilidade a curto prazo*, ou teste de repetitividade - representa o estudo do grau de concordância entre os resultados de medições sucessivas de um mesmo mensurando, efetuadas sob as mesmas condições de medição.

A repetitividade pode ser expressa, quantitativamente, em função das características de **dispersão dos resultados**, como por exemplo o *desvio padrão percentual*.



Análise dos dados e relatório - repetitividade

Expresse a repetitividade em função do desvio padrão percentual das dez medições sucessivas.

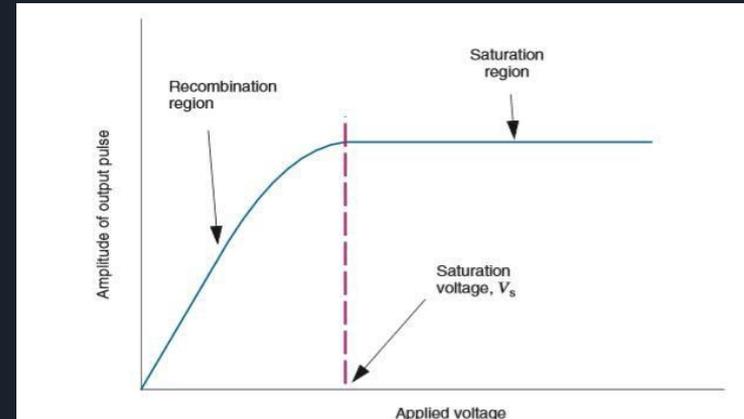


Procedimento experimental - Corrente de saturação

- A corrente de fuga sem irradiação pode ser determinada aplicando-se a tensão de polarização à câmara e medindo-se a carga (sem irradiação) por 20min (ou menos).
- Faremos medições da corrente de ionização produzida na câmara de ionização exposta à fonte de Sr-90 variando-se a tensão de polarização positiva aplicada.
- Registre a tensão de polarização e a respectiva corrente de ionização.
- Quando atingir a tensão de polarização máxima meça a corrente de ionização nas polaridades positiva e negativa.

Análise dos dados e relatório - Corrente de saturação

- Faça um gráfico da corrente de ionização medida (I) em função da tensão de polarização aplicada (V), isto é, a curva de saturação da câmara de ionização, e discuta o resultado.



Curva de Saturação da câmara de ionização.



Análise dos dados e relatório

- A eficiência de coleção (f) pode ser determinada experimentalmente obtendo-se um gráfico do inverso da corrente de ionização medida ($1/I$) em função do inverso do quadrado da tensão de polarização ($1/V^2$).
- A corrente de saturação “ideal” (I_{sat}) é então determinada extrapolando-se a curva para a tensão de polarização infinita ($1/V^2 = 0$).



Análise dos dados e relatório - Determinação da I_{sat}

- Gráfico de $1/I$ em função de $1/V^2$ para valores de $V(sat)$ e determina I_{sat} por regressão linear.

A eficiência de coleção (f)

Um método simplificado para o cálculo de f , válido para o intervalo $0,7 < f < 1,0$, é o chamado método das duas tensões. Este método consiste na determinação das correntes de ionização, I_1 e I_2 , em dois valores de tensão de polarização distintos, V_1 e V_2 , respectivamente. A eficiência de coleção f_1 na tensão de polarização V_1 é dada por:

$$f_1 = \frac{I_1}{I_{\text{sat}}} = \frac{(V_1/V_2)^2 - I_1/I_2}{(V_1/V_2)^2 - 1}$$

Assim, a corrente de saturação “ideal” é então $I_{\text{sat}} = I_1/f_1$.



Comparação entre os fatores encontrados

- Para verificar a acurácia do método das duas tensões, determine I_{sat} a partir de vários pares diferentes de medições de V_1, I_1 e V_2, I_2 .
- Compare os resultados com o valor determinado por regressão linear.

I_+ e I_- são as correntes de ionização obtidas nas polaridades positiva e negativa, respectivamente, e I é a corrente de ionização obtida com a polaridade utilizada rotineiramente (positiva ou negativa).



Corrente de ionização e fator de correção para efeitos de polaridade

- Determine a razão entre os módulos da corrente de ionização positiva e negativa com os valores máximos de tensão de polarização positiva e negativa.
- Discuta os efeitos de polaridade.
- O fator de correção para efeitos de polaridade é dado por:

$$k_{\text{pol}} = \frac{|I_+| + |I_-|}{2I}$$

I_+ e I_- são as correntes de ionização obtidas nas polaridades positiva e negativa, respectivamente, e I é a corrente de ionização obtida com a polaridade utilizada rotineiramente (positiva ou negativa).



Biografias e referências

- ATTIX, F.H. Introduction to radiological physics and radiation dosimetry. John Wiley & Sons, New York, 1986.
- JOHNS, H.N.; CUNNIGHAN, J.R. The physics of radiology. Charles C. Thomaz Publisher, Illinois, USA, 1983
- Roteiro experimental de Dosimetria, Câmara de Ionização, do Departamento de Física Médica USP-RP.
- KNOLL, G. F. Radiation detection and measurement. 4. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2010.