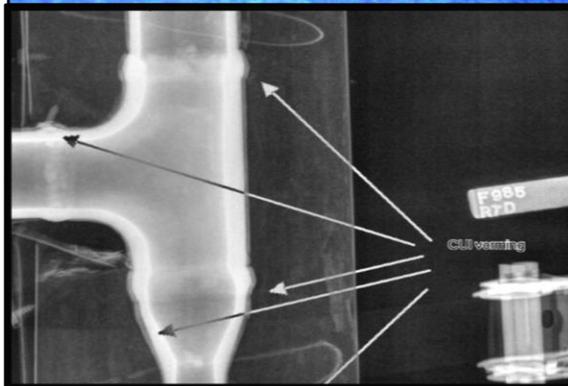
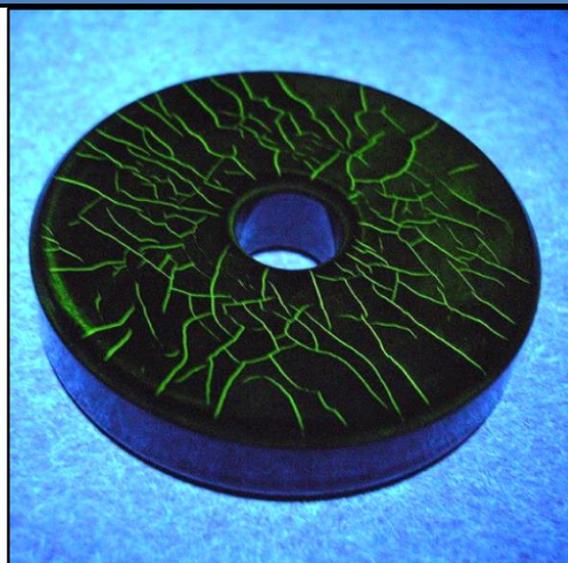


LOM 3084 –INSPEÇÃO E ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS



Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

REFERÊNCIAS:

- **APOSTILAS-ABENDE-RICARDO ANDREUCCI;**
- **APOSTILAS DO CURSO DE SR-CETRE;**
- **METALS HANDBOOK, VOL.17;**
- **MATERIAL DA GE INPECTION TECHNOLOGIES;**
- **LIVRO: Introdução à Física Nuclear, Hélio Schecter, Carlos A. Bertulani, Editora UFRJ, 2007;**
- **LIVRO: Mecânica Quântica, David J. Griffiths, Pearson, 2011;**
- **Aulas de Física Moderna, Prof.Dr. Jorge Sá Martins,UFF: Youtube;**
- **Gustavo do A. Valdivieso e Marcelo M. Guzzo, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 27, n. 4, p. 495 - 506, (2005);**
- **Marco Antonio Moreira, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1306 (2009)**

RADIAÇÕES

Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

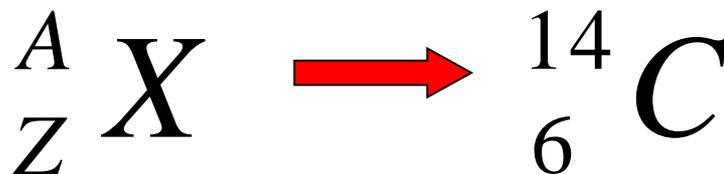
REPRESENTAÇÃO DE UM ELEMENTO QUÍMICO EM REAÇÕES NUCLEARES

Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

- **Número Atômico (Z)** – número de prótons do núcleo.
- **Número de Nêutrons (N)** – número de nêutrons do núcleo.
- **Número de Massa (A)** – soma do número de prótons e nêutrons:

$$A = Z + N$$

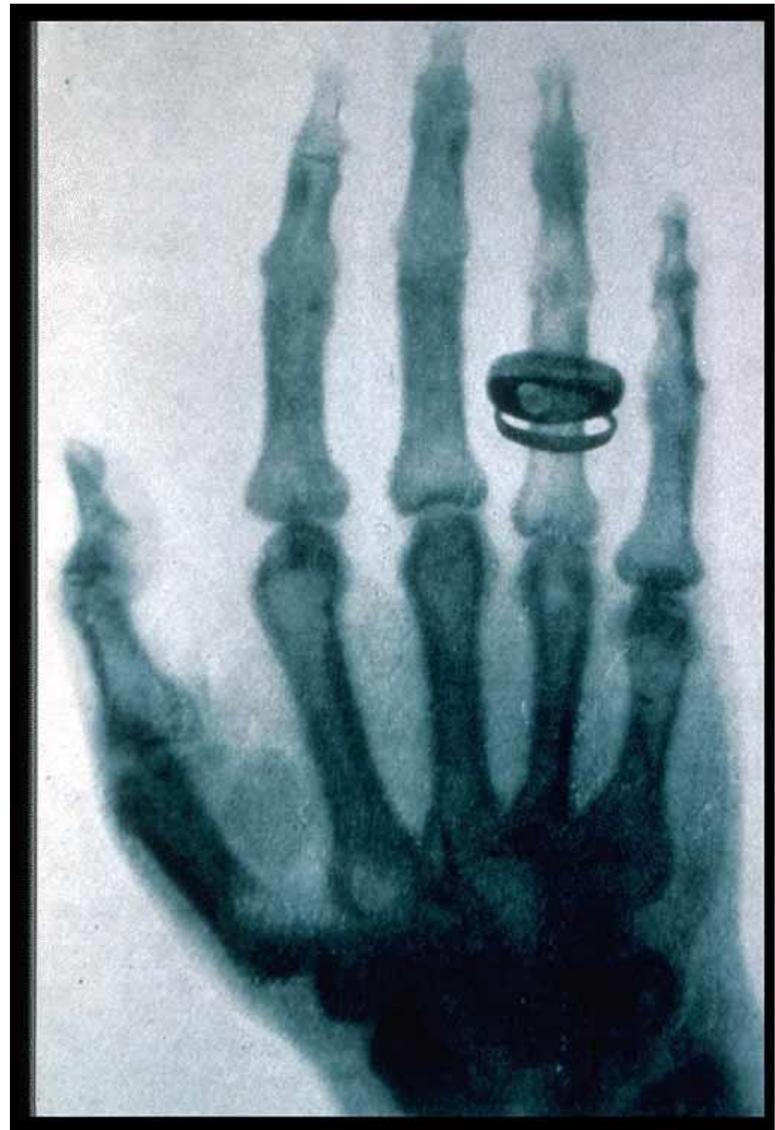
Símbolo:



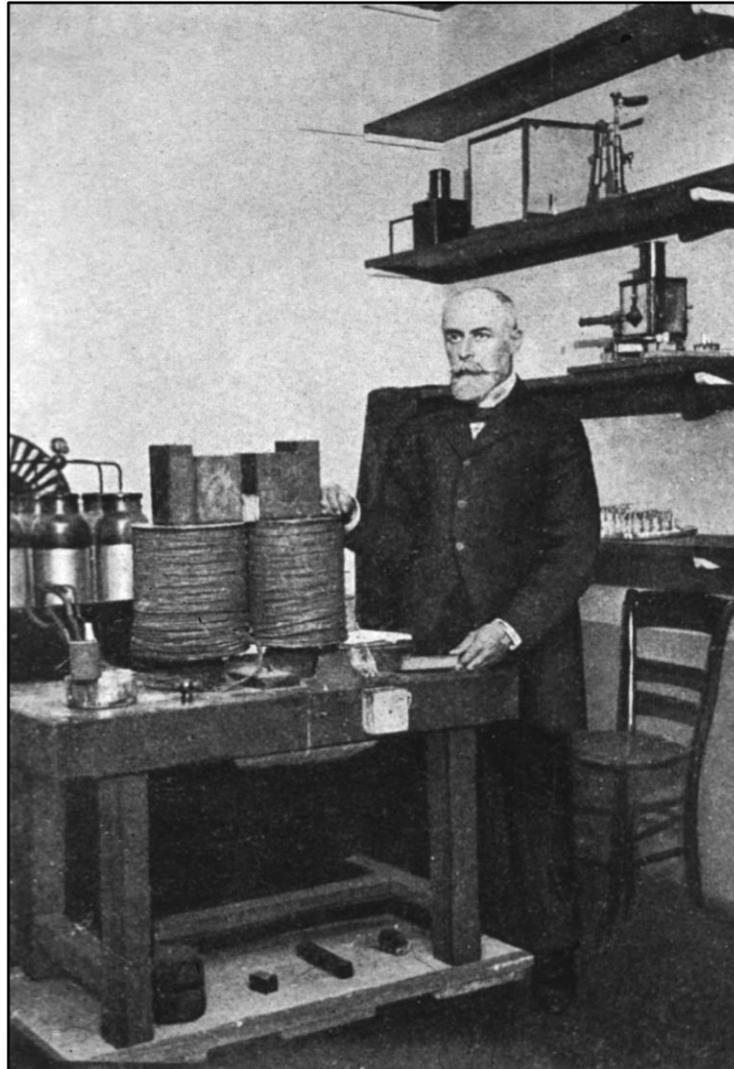
HISTÓRICO DAS RADIAÇÕES

Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

Primeira radiografia, da mão da esposa de Roentgen, com seu anel de casamento.



●1896 – Antoine Henri Becquerel descobriu que o **Urânio** emitia radiações espontâneas – radioatividade natural- Dividiu o prêmio Nobel de Física de 1903.



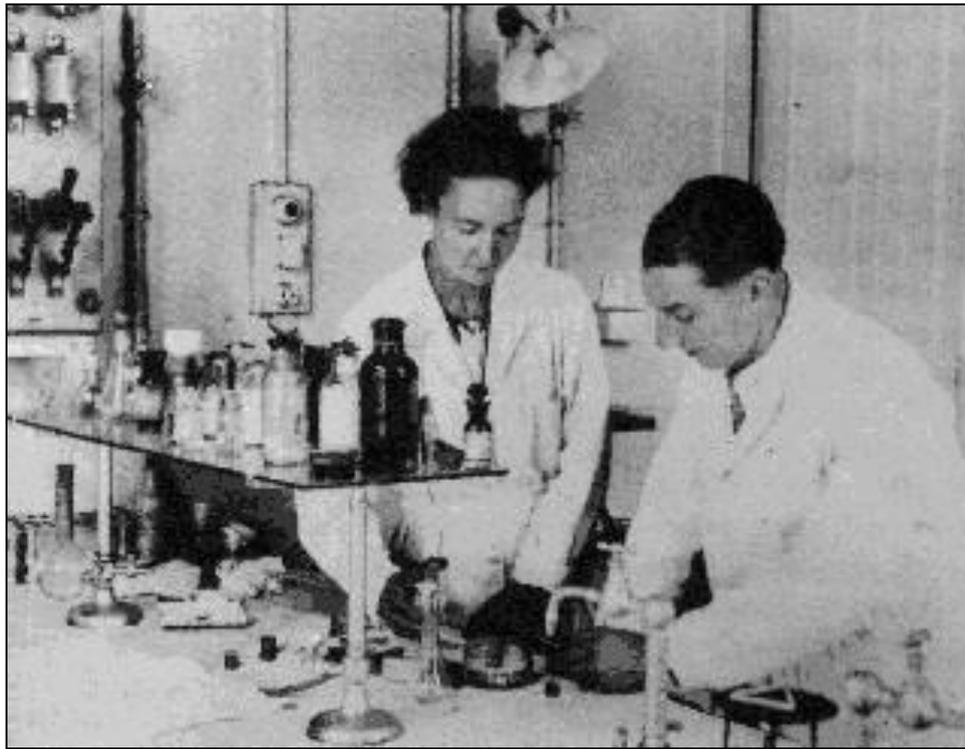
http://en.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel

● Em 1898 o casal Curie descobre o elemento radioativo Polônio e, em 1903, o Rádium. Marie Sklodowska Curie e Pierre Curie ganham o Nobel de Física partilhado com Becquerel e em 1911 Marie ganha o Nobel de Química.



www.colegioweb.com.br

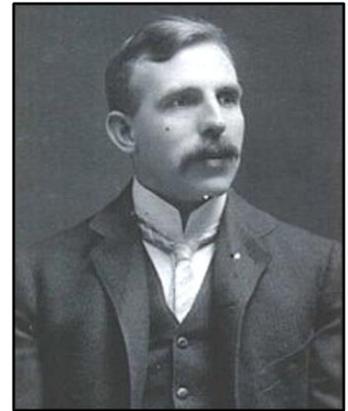
Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert



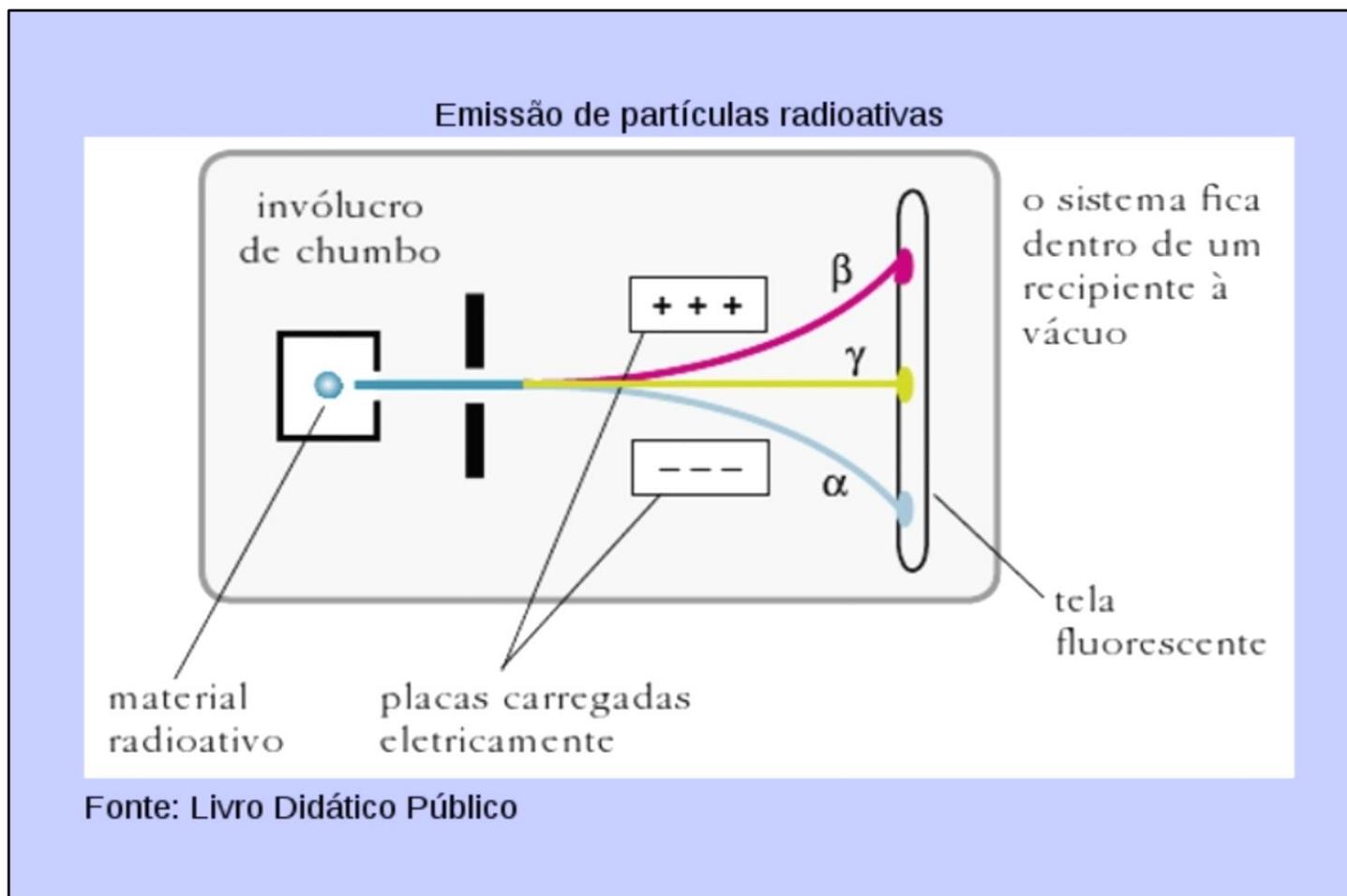
CURIOSIDADE: A filha de Marie Curie, **Irene Joliot-Curie** dividiu o **Prêmio Nobel de Química de 1935** com marido, **Frédéric Joliot**, pela **síntese de novos elementos radioativos** com base no **bombardeio de boro, alumínio e magnésio com partículas alfa**. Descubrem por esses ensaios o **princípio do reator nuclear**, que mantêm em **segredo** por causa da **ascensão do nazismo**.

1902 - RUTHERFORD E SODDY

- Escreveram um artigo “A causa e a natureza da radioatividade”, que explicava as diferenças entre os RAIOS X e os RAIOS DE BECQUEREL (radioatividade);
- A radioatividade era espontânea enquanto os raios X só ocorria quando o material fosse bombardeado por um feixe de raios catódicos (elétrons);
- Rutherford constatou a existência de dois tipos de radiação:
 - Raio α \rightarrow positivo e mais pesado
 - Raio β \rightarrow negativo e mais leve
- **Paul Villard** identifica o terceiro tipo de radiação:
 - Raio γ \rightarrow onda eletromagnética como o RAIOS X.

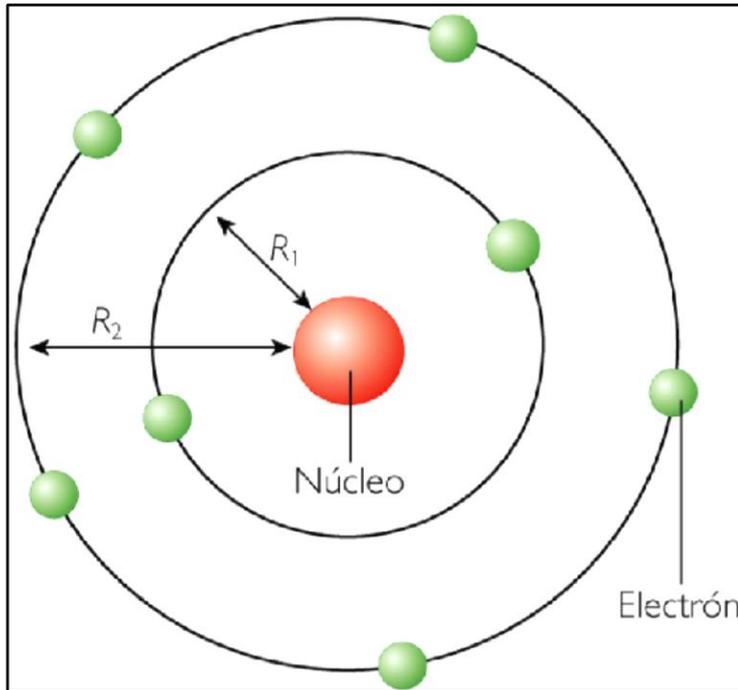


EXPERIÊNCIA DE RUTHERFORD E SODDY

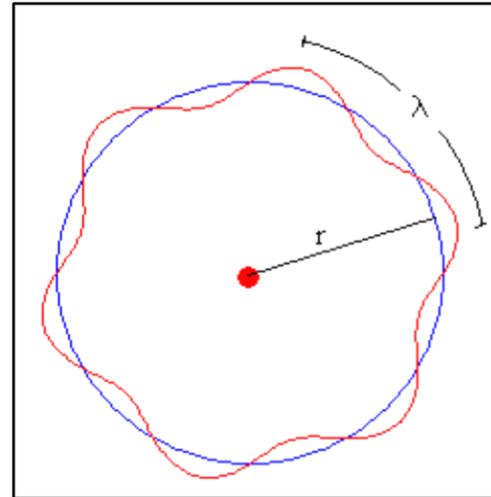


Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

Átomo de Bohr (1913)



Bohr quantizou os níveis energéticos (corrigindo Rutherford-órbitas): só funcionava para o hidrogênio.



$$\lambda = \frac{h}{m_e v}$$

$$\mathbf{L} = n \cdot \hbar = n \cdot \frac{h}{2\pi}$$

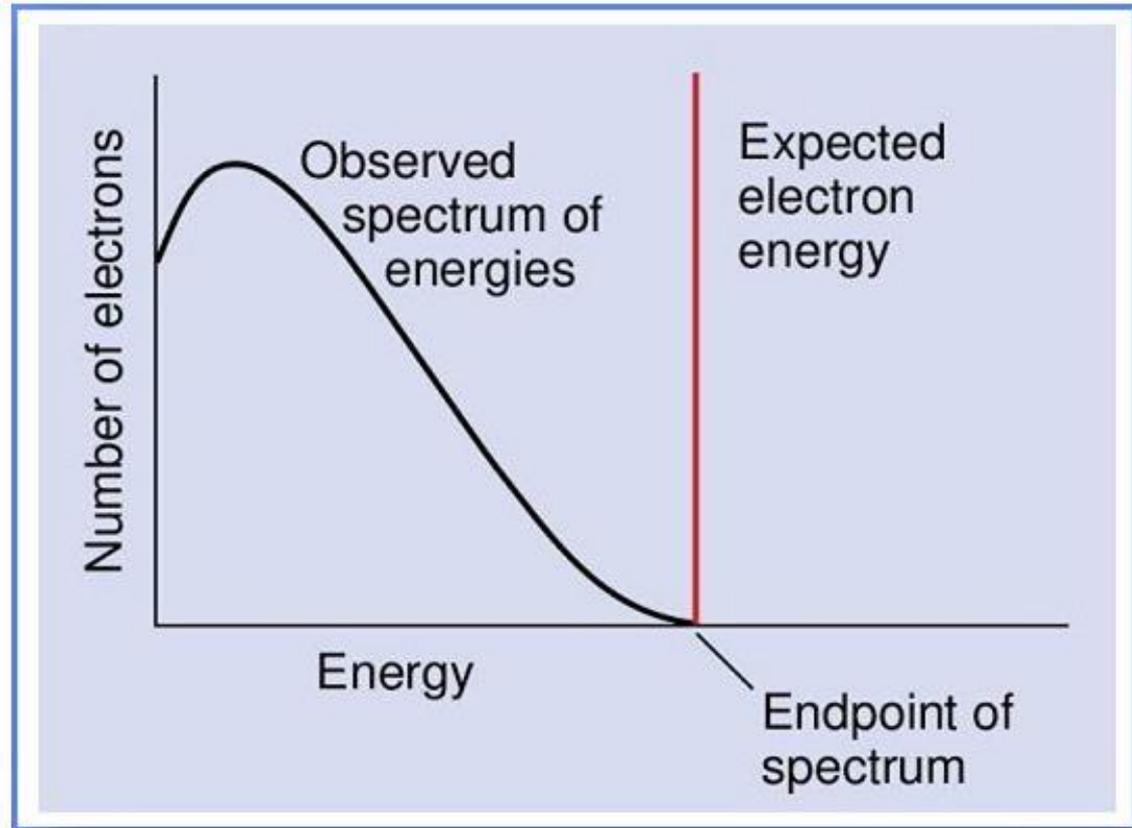
Louis De Broglie(1923): aplicou na quantização de Bohr: ondas estacionárias.

Erwin Schrödinger



O neutrino

**Wolfgang Pauli
propos (1930)**



Single beta decay energy spectrum. The observed spectrum is continuous and not at a constant energy as was initially expected. [D. Stewart]

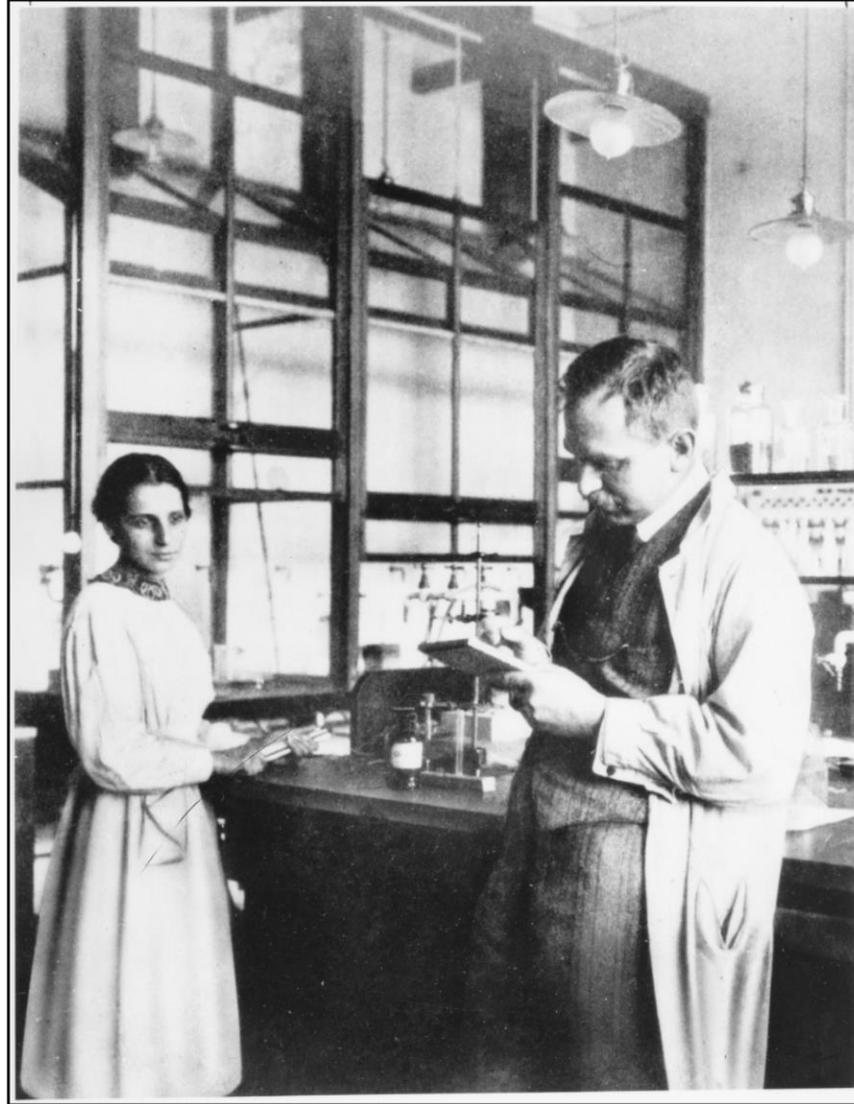
Sir James Chadwick desenvolveu a ideia e comprovou a existência do Nêutron, em 1932.



James Chadwick
(1891 -1974)

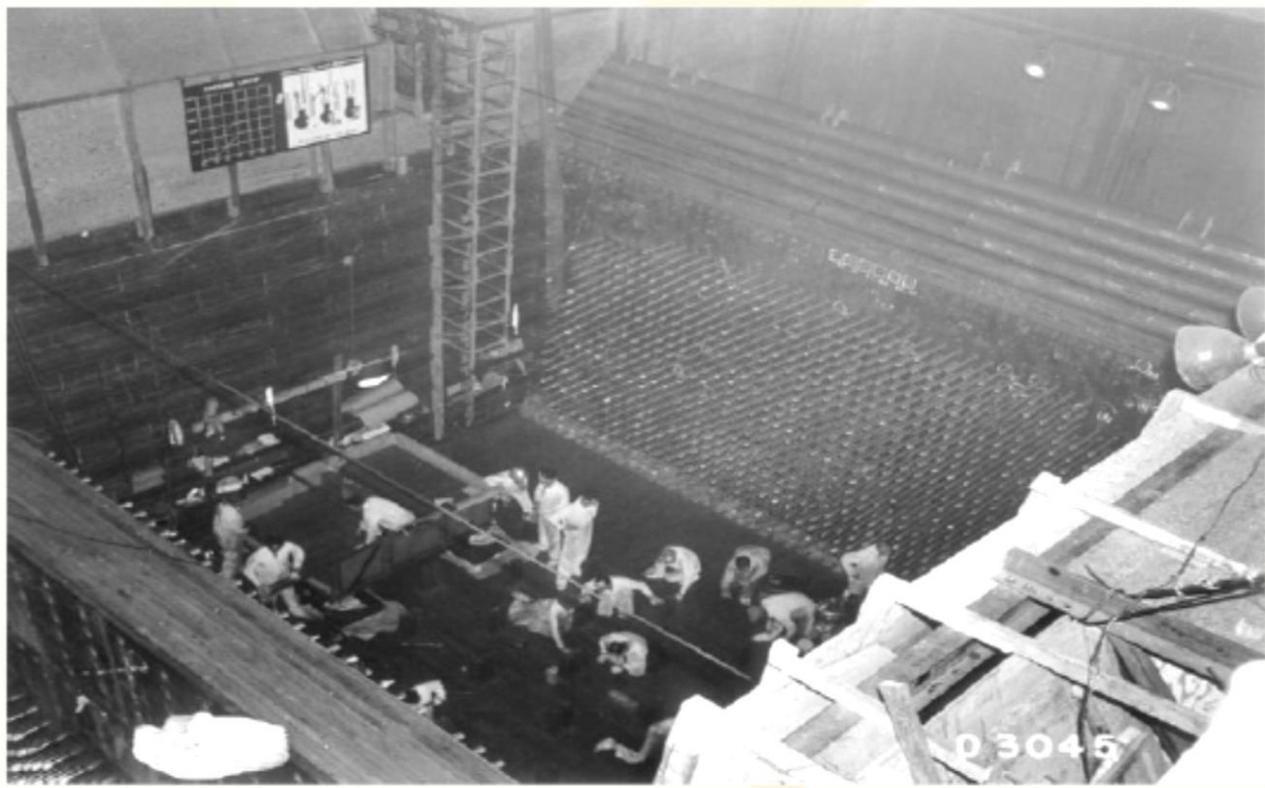
Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

Em 1938 – Otto Hahn e Lise Meitner descobrem a **fissão nuclear**.



• 1942

Primeiro Reator Nuclear com reação em cadeia auto-sustentada: "Chicago Pile"

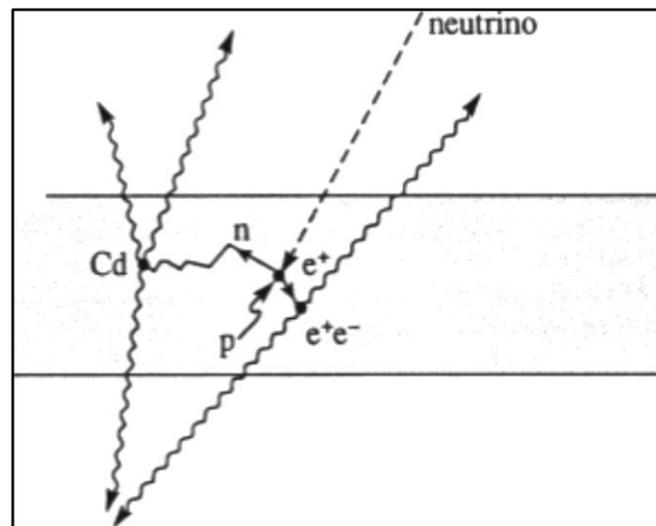




The neutrino collides with a proton in the water and creates a positron and a neutron. The positron is slowed down by the water and destroyed together with an electron (matter meets antimatter), whereupon two photons (light particles) are created. These are recorded simultaneously in the two detectors. The neutron also loses velocity in the water and is eventually captured by a cadmium nucleus, whereupon photons are emitted. These photons reach the detectors a microsecond or so later than those from the destruction of the positron and give proof of neutrino capture.

**Frederick Reines
detectou (1953)**

Junto com Clyde L. Cowan Jr.



Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

• 1955

Primeiro PWR (Submarino Nautilus)



Primeiro reator comercial - Calder Hall (Inglaterra).

- 1956

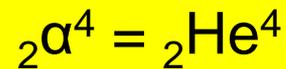


TIPOS DE RADIAÇÃO

Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

PARTÍCULA ALFA (α)

A partícula α foi identificada com sendo o gás nobre hélio (He) pois apresenta 2 prótons e dois nêutrons:



- Sua velocidade é de aproximadamente 30.000km/s;
- Baixo poder de penetração;
- Detido por menos de 10cm de ar;
- Não passa pela pele humana;
- Podem ser detidas por uma folha de papel;

O núcleo remanescente de uma emissão alfa apresenta dois prótons e dois nêutrons a menos do que o núcleo original:



PARTÍCULA BETA (β)

- A velocidade de deslocamento é 290.000 km/s;
- Alto poder de penetração (100 vezes mais penetrante que a partícula alfa);
- Deslocamento por 1 metro de ar;
- Placa de chumbo de 2mm para deter;
- Penetram 2cm no corpo humano;

PARTÍCULA BETA (β)

A partícula β está associada ao elétron;

A radioatividade é um processo que ocorre no núcleo do átomo (não existe elétron);

A hipótese mais aceita é que um nêutron se desintegra originando um pósitron, um elétron e um neutrino (partícula mais leve que o elétron):



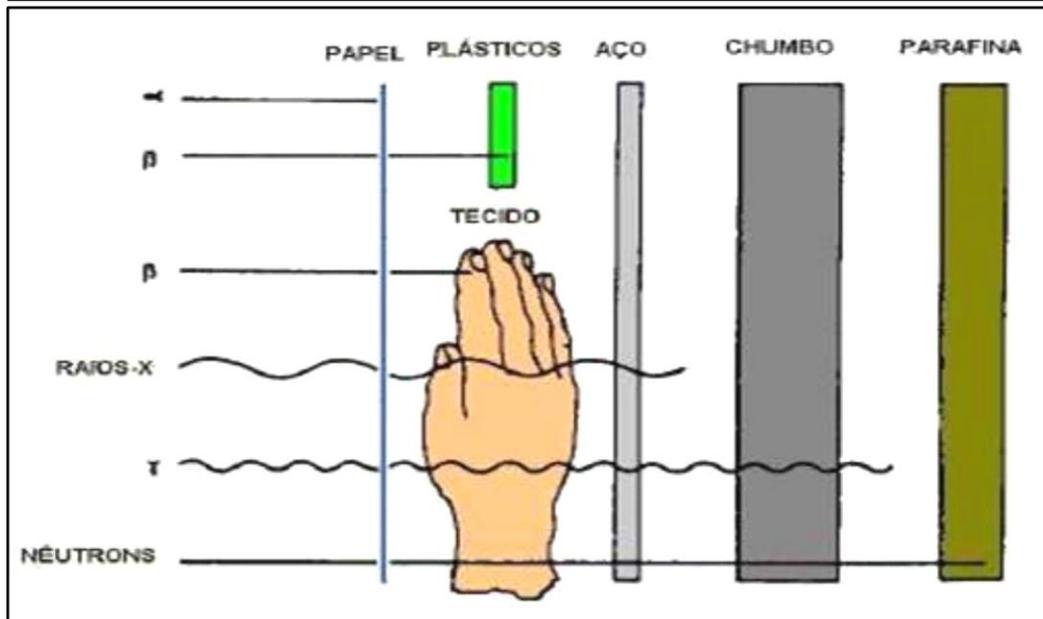
RADIAÇÃO GAMA (γ)

- Não é feita de partículas com as emissões alfa e beta;
- É uma radiação eletromagnética como o raio X mudando o comprimento de onda;
raio X \rightarrow comprimento de onda entre 10^{-10} e 10^{-8} m
raio γ \rightarrow comprimento de onda abaixo de 10^{-11} m
- Não é afetada por campos elétricos ou magnéticos;
- Velocidade igual a da luz 300.000km/s;
- Altíssimo poder de penetração;
- Atravessa milhares de metros de ar;
- São necessários 5 cm de chumbo ou concreto para se proteger;
- São utilizadas no combate ao câncer e esterilização de alimentos;
- A emissão gama costuma ocorrer simultaneamente com as emissões alfa e beta.

TIPOS DE RADIAÇÃO

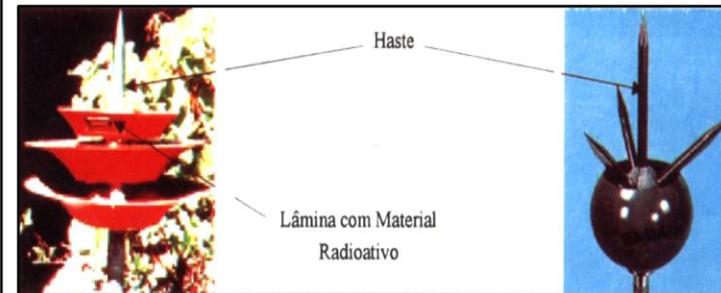
Tipo radiação	Composição	Símbolo	Massa relativa*	Carga relativa	Propriedades
α (alfa)	Núcleos de Hélio	${}^4_2\text{He}$	7350	2+	Fracamente penetrante
β (beta)	Elétrons	${}^0_{-1}\text{e}$	1	1-	Moderadamente penetrante
γ (gama)	Radiação eletromagnética de alta energia	h ν	0	0	Fortemente penetrante

NÊUTRONS E PRÓTONS: CAUSAM MAIS DANOS A MATERIAIS!!!



www.bioinfo.ufc.br

PARA-RAIOS COM PARTÍCULA ALFA



www.crq4.org.br

DESINTEGRAÇÃO RADIOATIVA

Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

INSTABILIDADE NUCLEAR

- Número “inadequado” de nêutrons ou prótons;
- Desequilíbrio de energia interna do núcleo.

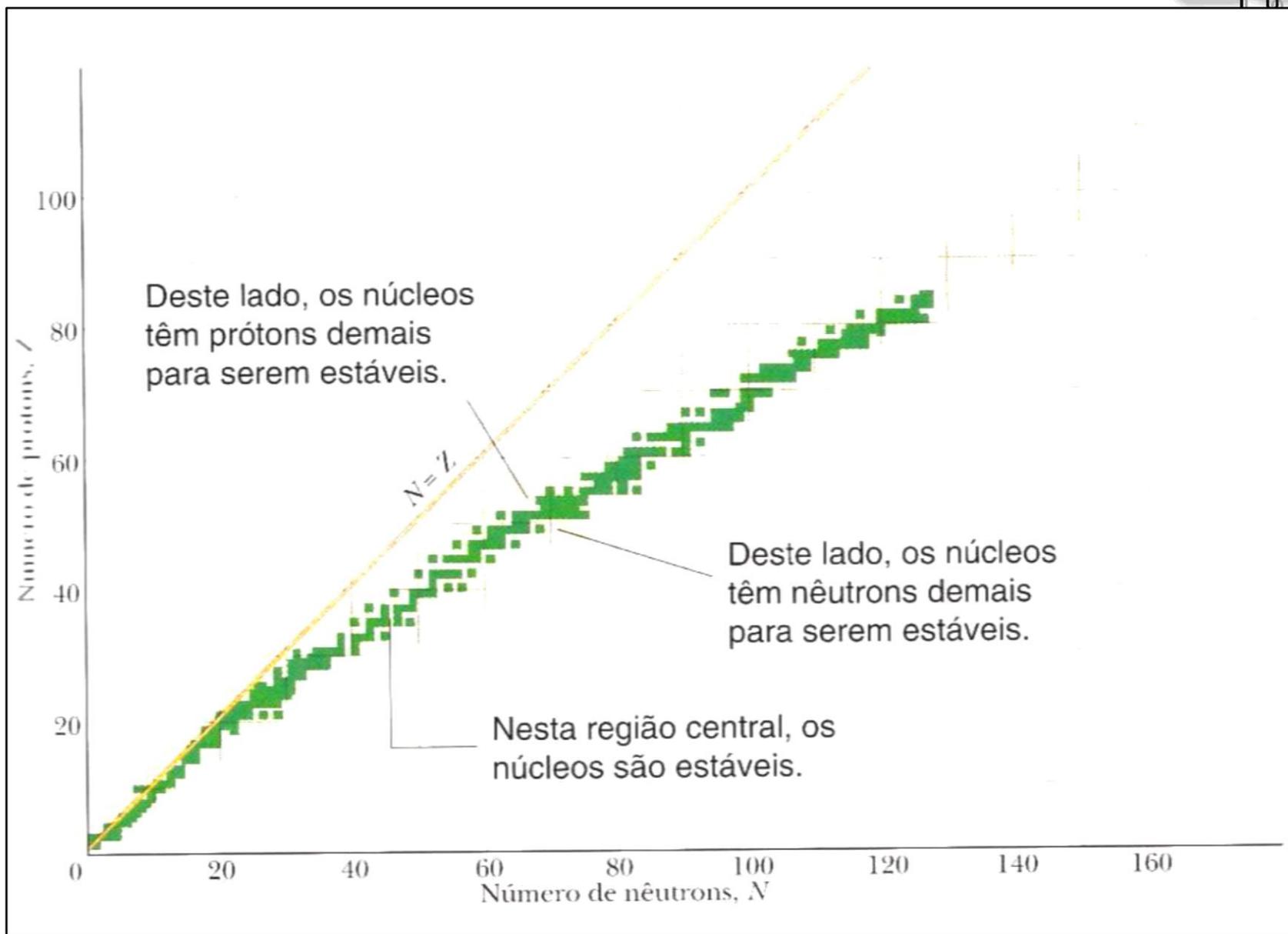


Estado de menor energia



Emissão de energia: radiação, partículas e/ou ondas eletromagnéticas.

INSTABILIDADE



Decaimento radioativo

A maioria dos núcleos conhecidos são instáveis e, portanto, **radioativos**. Estes núcleos emitem espontaneamente uma ou mais partículas, transformando-se em um outro nuclídeo.

A taxa na qual ocorre um processo de decaimento em uma amostra radioativa é proporcional ao número de nuclídeos radioativos presentes na amostra:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_{t_0}^t dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad (t_0 = 0)$$

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

Taxa de decaimento (R)

$$R = -\frac{dN}{dt} = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \lambda N$$

$$R = R_0 e^{-\lambda t}$$

Meia-Vida

Tempo necessário para que N e R caiam para a metade do valor inicial:

$$N = \frac{N_0}{2}$$

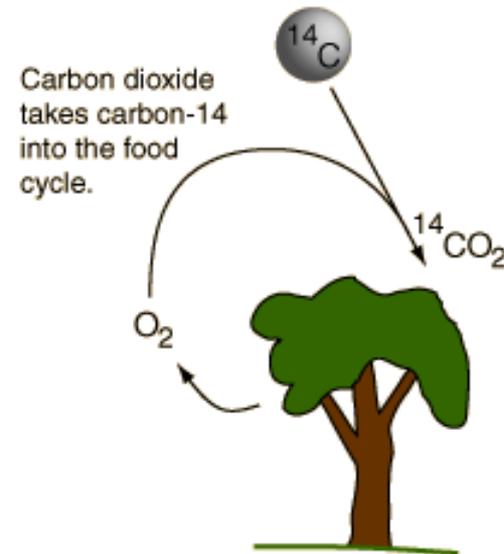
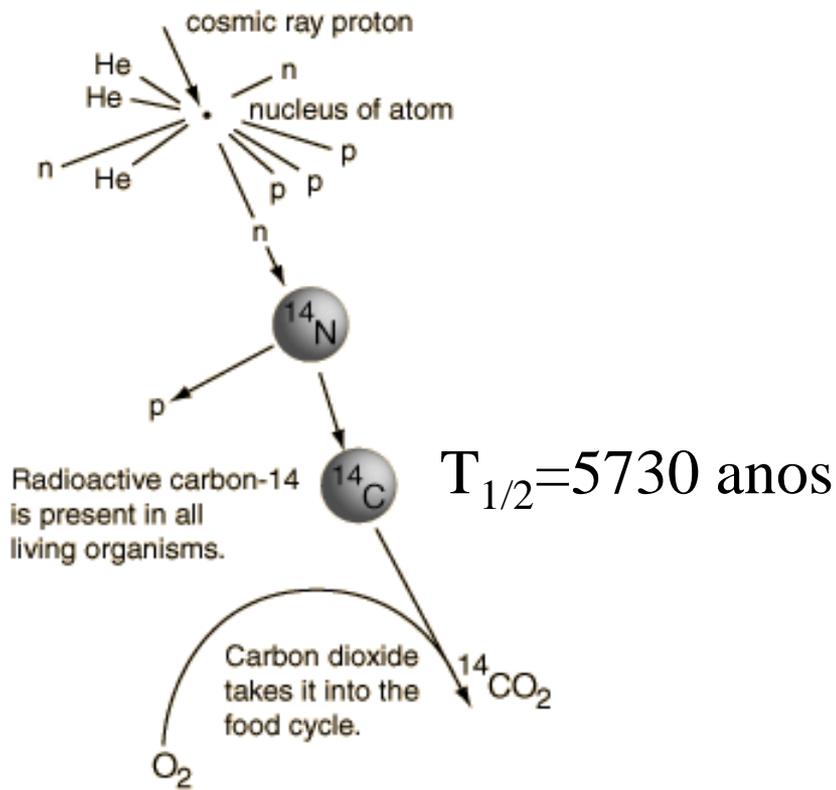


$$T_{1/2} = \ln(2) / \lambda$$

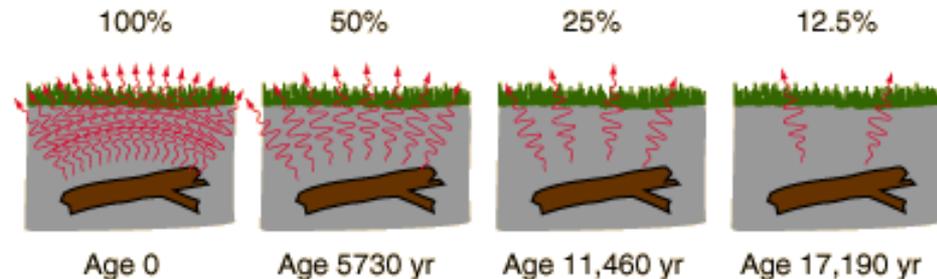
Datação Carbono -14

- O carbono-14 é produzido com ajuda dos raios cósmicos;
- Na atmosfera ele se queima produzindo gás carbônico (CO_2);
- Este CO_2 é absorvido pelos vegetais e daí passa para os animais;
- Enquanto estão vivos (vegetais e animais) apresentam quantidades constantes de carbono-14;
- Quando morrem deixam de ser constante caindo pela metade a cada 5600 anos (meia vida);
- Baseado neste dados é possível precisar a data de um determinado objeto, de uma construção, de uma múmia, ...

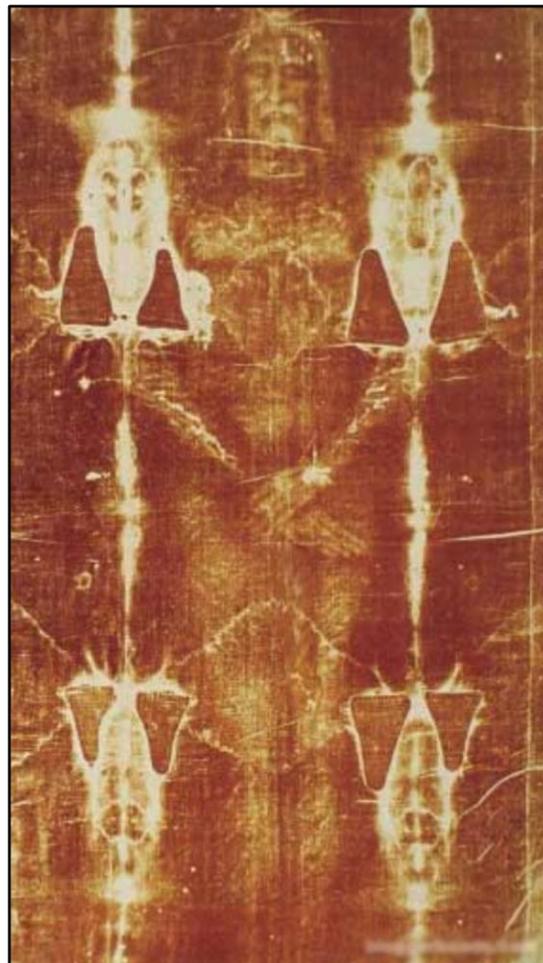
Datação radioativa



Measurement of the beta decay activity of a buried piece of wood provides a measurement of the time elapsed since it was living and in equilibrium with the atmosphere.



Santo Sudário



Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

Meia vida física dos principais radioisótopos utilizados em pesquisa

- **P-32** → **14,8 dias**
- **S-35** → **87,0 dias**
- **C-14** → **5730 anos**
- **H-3** → **12 anos**
- **I-125** → **60 dias**
- **Ca-45** → **165 dias**
- **Cr-51** → **27,8 dias**

ATIVIDADE

Frequentemente chama-se de **atividade** a taxa de decaimento total de uma amostra. É a soma das taxas de decaimento de todos os núclídeos. A **unidade** para a **atividade** (no SI) é o **becquerel**:

1 becquerel = 1 Bq = 1 decaimento por segundo

Antigamente: *curie*, definido por:

1 curie = 1 Ci = 3,7 x 10¹⁰ Bq

$$A = \lambda N, \text{ ou seja:}$$

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

**DESINTEGRAÇÃO
RADIOATIVA LEVA À
TRANSMUTAÇÃO.**

Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

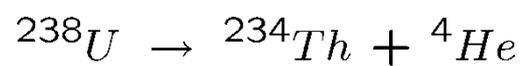
Decaimento alfa

Em 1911, Frederick Soddy enunciou a 1ª Lei da Radioatividade:

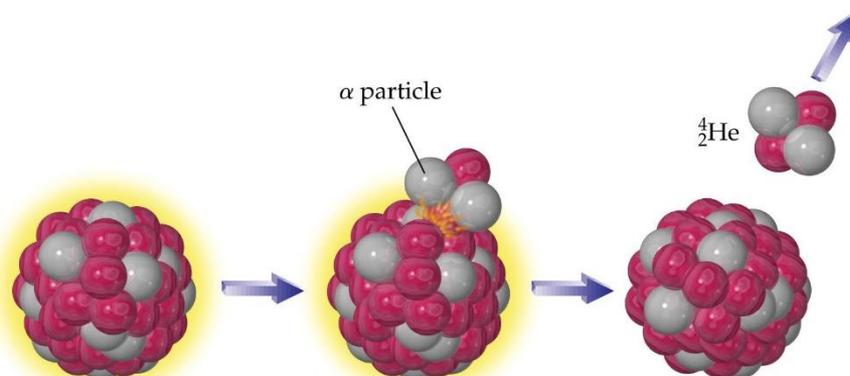
“Quando um núcleo emite uma partícula alfa, seu número atômico diminui de duas unidades e seu número de massa diminui de quatro unidades”



DECAIMENTO ALFA



TRANSMUTAÇÃO



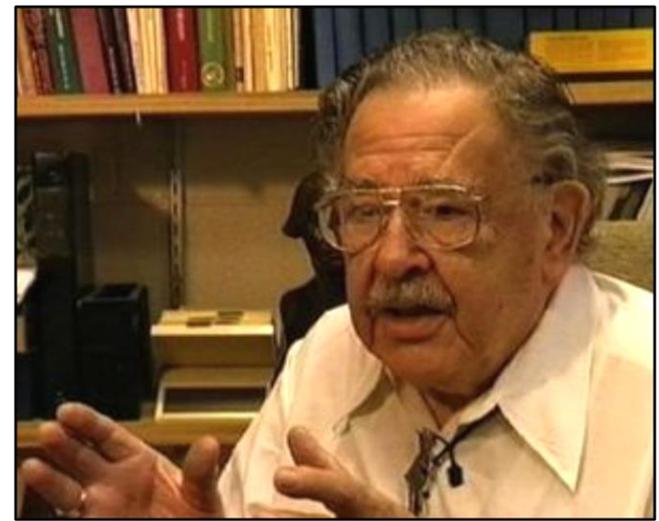
A teoria mais aceita para explicar o mecanismo do **decaimento alfa** é a de George Gamow (o mesmo que previu a radiação de fundo do universo). George Anthony Gamov (Odessa, Ucrânia, 4 de março de 1904 — Boulder, Colorado, USA, 19 de agosto de 1968) propôs em **1928** que o decaimento alfa é um fenômeno de **tunelamento quântico**.



Gamow (1904-1968)

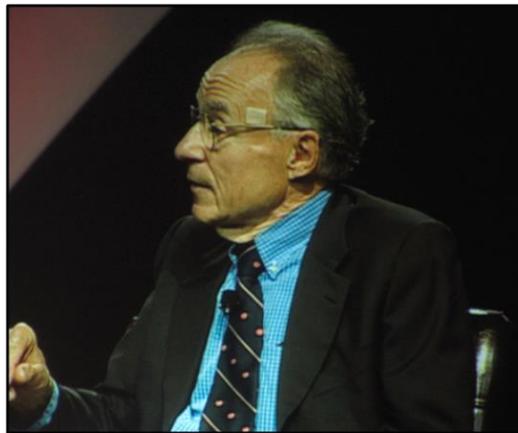


Bethe (1906-2005)

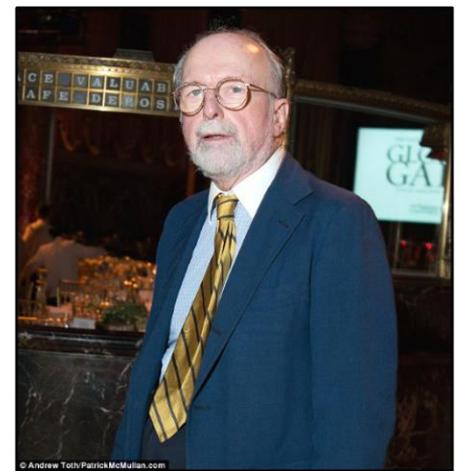


Alpher (1921-2007)

Após a Segunda Guerra Mundial, Gamow desenvolveu com a ajuda de **Ralph Asher Alpher** e Robert Herman, uma série de artigos desenvolvendo a teoria do Big Bang (**Pe. Georges Lemaître, Alexander Friedmann**). O mais famoso destes artigos foi publicado em 1948, pouco antes da defesa de tese de Alpher, orientada por Gamow, que **convenceu Alpher** a adicionar no artigo o nome de **Hans Bethe** (**que não participara da concepção do trabalho**) para fazer um trocadilho com as três primeiras letras do alfabeto grego, **alpha, beta, gamma** (**teoria Alpher, Bethe e Gamov**). Graças a essa brincadeira, **todos acharam que Bethe havia, de fato, feito a teoria e que Alpher fora apenas um coadjuvante...**



Arno Allan Penzias

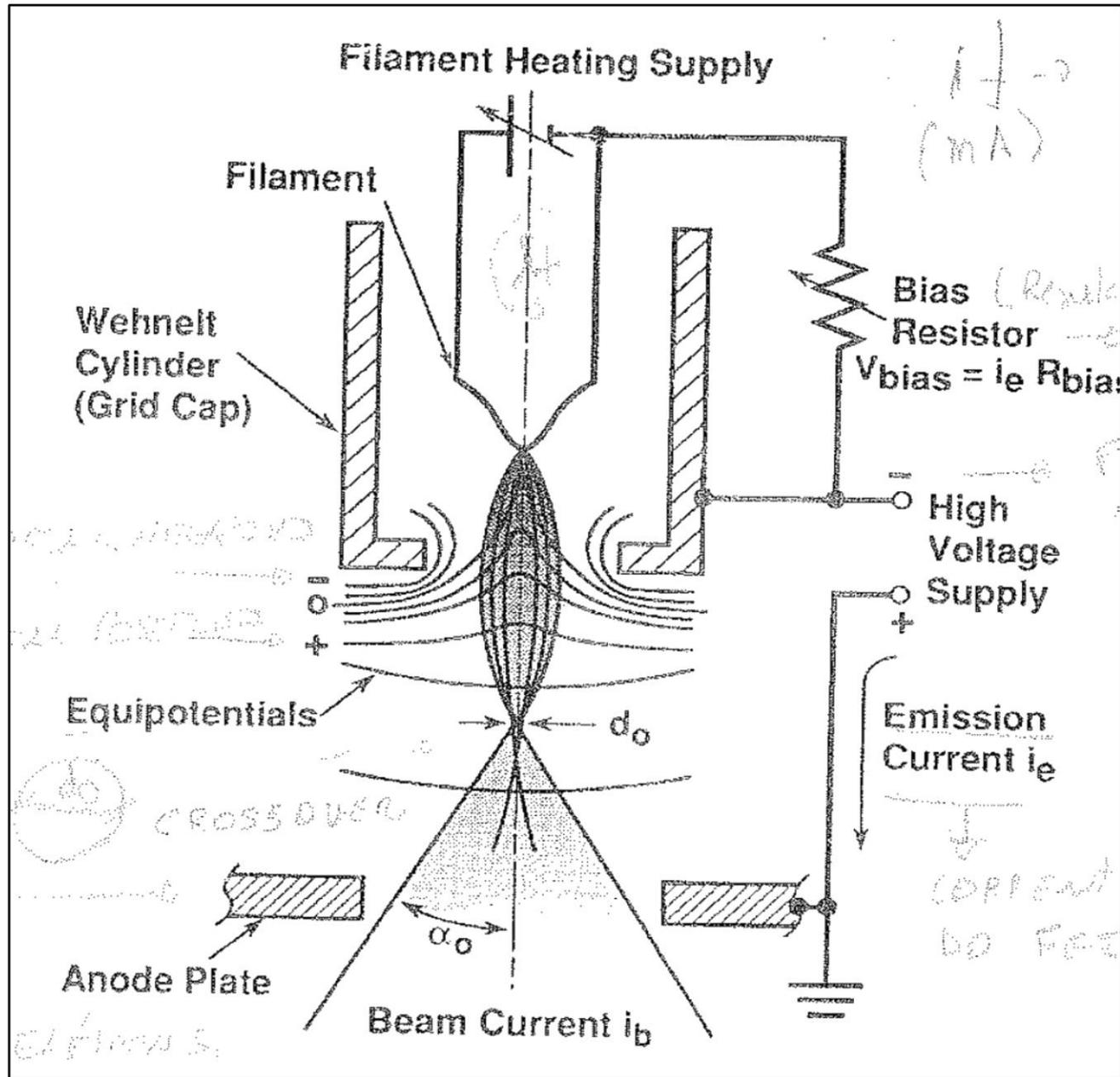


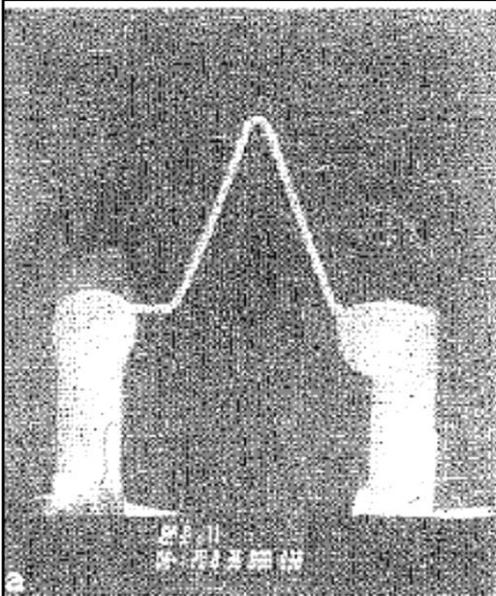
**Robert Woodrow
Wilson (1936)**

**Arno Allan Penzias (1933) e Robert Woodrow Wilson (1936)
Nobel de física em 1978**

Esta teoria previa uma **radiação cósmica de fundo em microondas**: **Quasares nas fronteiras do universo**. Trabalhando para a **Bell Telephones Laboratories**, **Penzias e Wilson detectaram** esta radiação e foram laureados com o **nobel de física em 1978**.

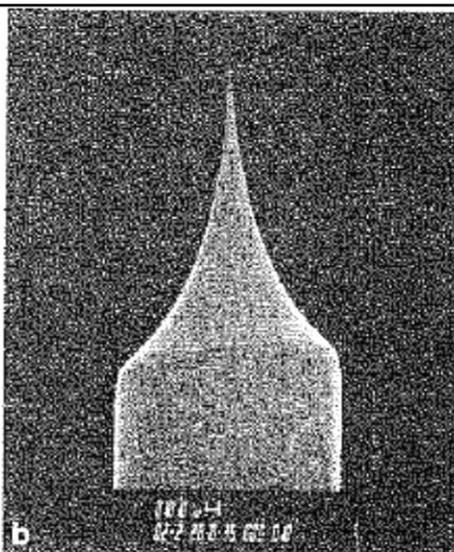
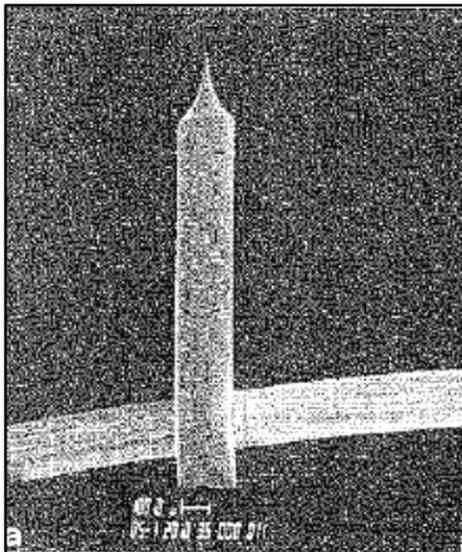
TUNELAMENTO QUÂNTICO- MEV





Filamento de W

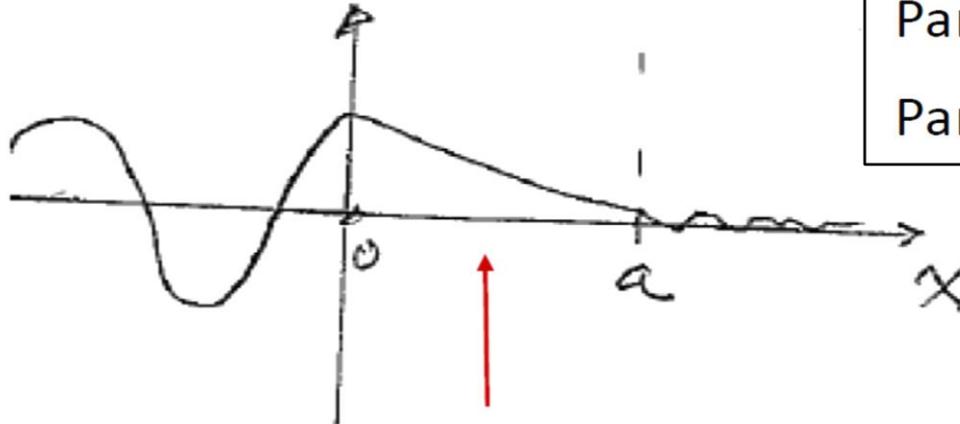
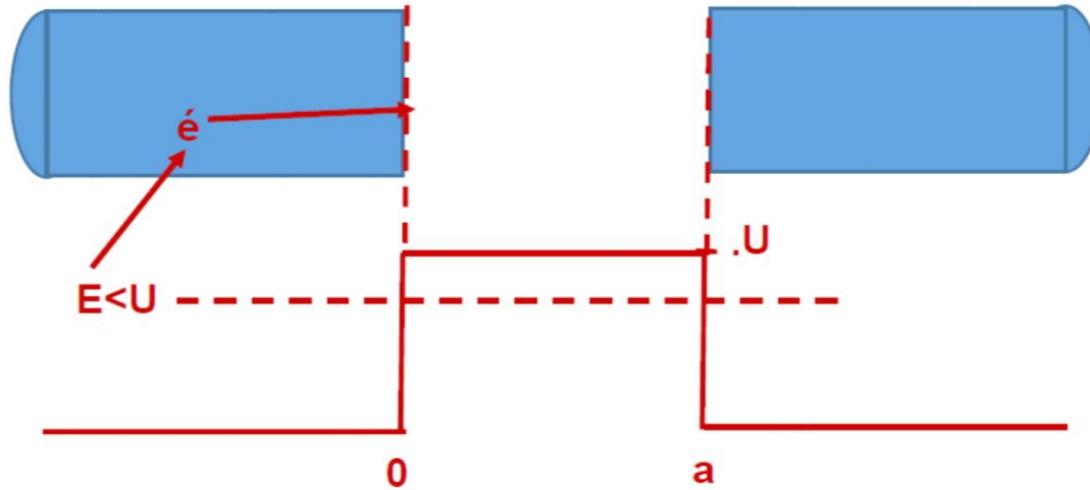
MEV



Filamento de monocristal de W

MEV – FEG
FIELD EMISSION
GUN

EFEITO DE TUNELAMENTO QUÂNTICO



Para $x=0$: $\psi(x) = A$

Para $x=a$: $\psi(x) = A \cdot e^{-\alpha a}$

$$\alpha^2 = \frac{2m(U_0 - E)}{\hbar^2}$$

$\psi(x) = A \cdot e^{-\alpha x}$ (função de onda exponencial)

EFEITO DE TUNELAMENTO QUÂNTICO

A DENSIDADE DA PROBABILIDADE É O QUADRADO DO MÓDULO DA FUNÇÃO DE ONDA.

A probabilidade de que o elétron atravessasse de um cabo para outro é a relação entre as densidades de probabilidades do lado direito e do lado esquerdo.

$$P = \left| \frac{A \cdot e^{-\alpha a}}{A} \right|^2 = e^{-2\alpha a} \neq 0$$

Decaimento de Partícula Alfa

O fenômeno de tunelamento explica o decaimento de partículas alfa de núcleos pesados radioativos.

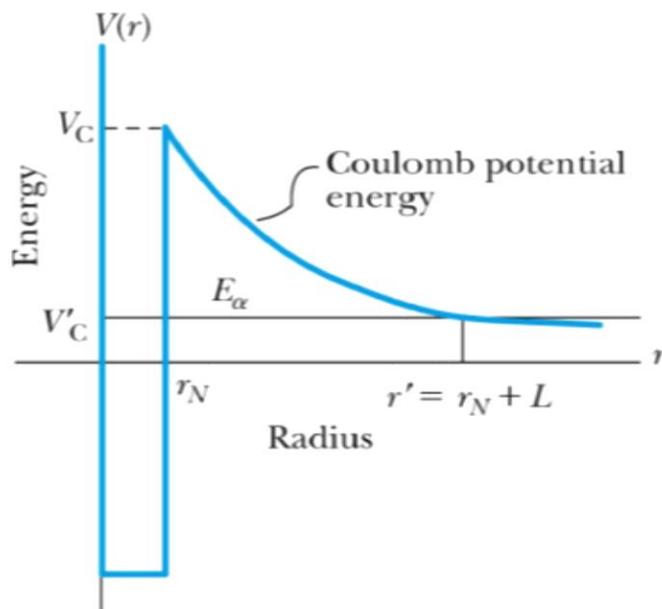
Dentro do núcleo, uma partícula alfa sente a força nuclear atrativa, forte e de curto alcance, assim como a força de repulsão Coulombiana.

A força nuclear domina na região dentro do raio nuclear, onde o potencial pode ser representado aproximadamente por um poço quadrado.

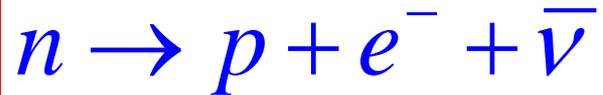
A força Coulombiana domina fora do raio nuclear.

A barreira de potencial no raio nuclear é maior que a energia da partícula alfa.

Em mecânica quântica, entretanto, a partícula alfa pode **tunelar** através da barreira. Isto é observado como decaimento radioativo.



DECAIMENTO BETA NEGATIVO



- O decaimento beta ocorre em núcleos que têm excesso, ou falta, de nêutrons para adquirir estabilidade.
- No decaimento *beta menos* um dos **nêutrons** no interior do núcleo emite um **elétron** e um **anti-neutrino**, transformando-se em um **próton**

DECAIMENTO BETA POSITIVO

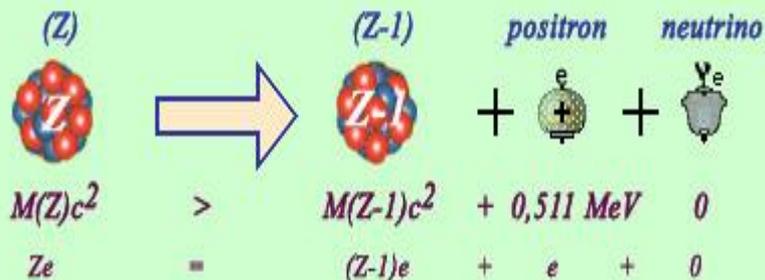
No decaimento *beta mais* um dos **prótons** no interior do núcleo emite um **pósitron** (anti-elétron) e um **neutrino**, transformando-se em um **nêutron**:



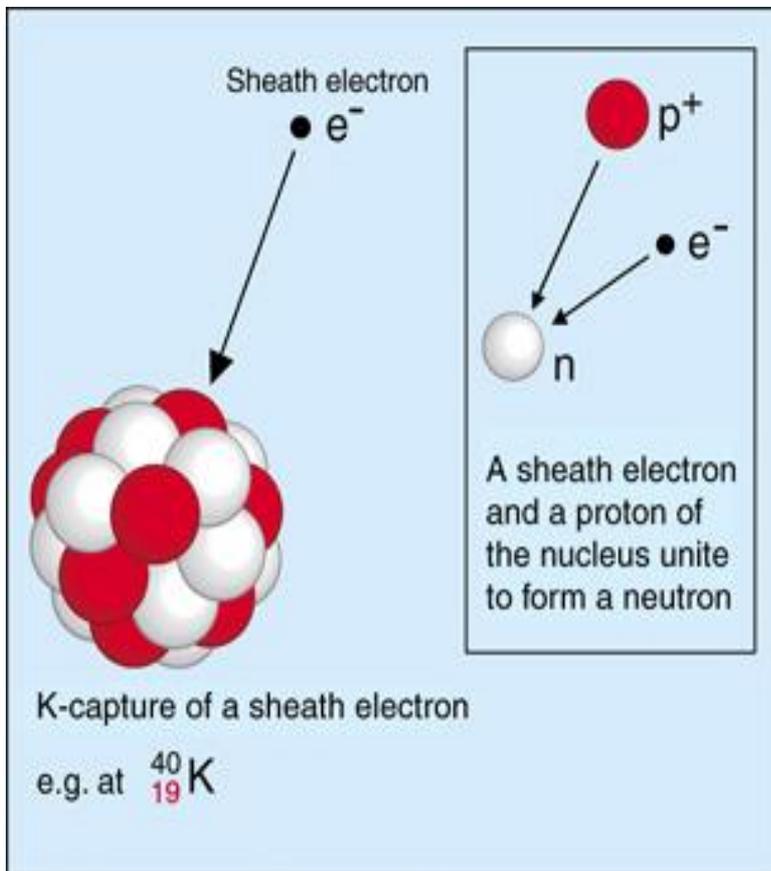
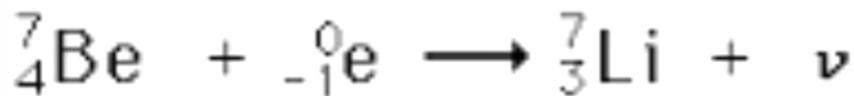
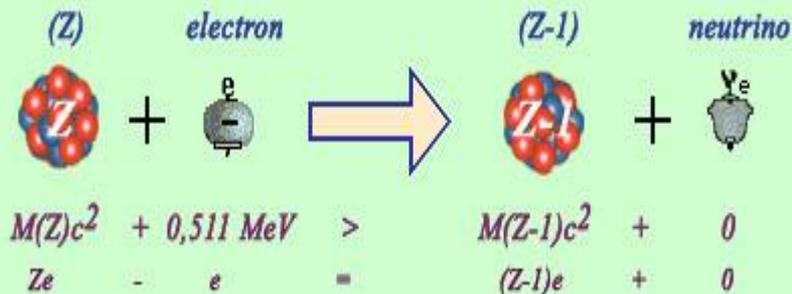
- O neutrino (**pequeno nêutron**) foi postulado para dar conta da conservação do **momento angular** e **linear** nas reações acima.
 - O neutrino, ν , apresenta carga nula e massa NÃO nula.
 - Além disso apresentam uma interação muito fraca com a matéria (um **livre caminho médio** que pode atingir **milhares de anos luz**).
Foram detectados pela primeira vez em 1953, por Reines e Cowan.
- Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert**

O decaimento β^+ pode ser provocado pela captura K.

Bêta-plus Decay (β^+)

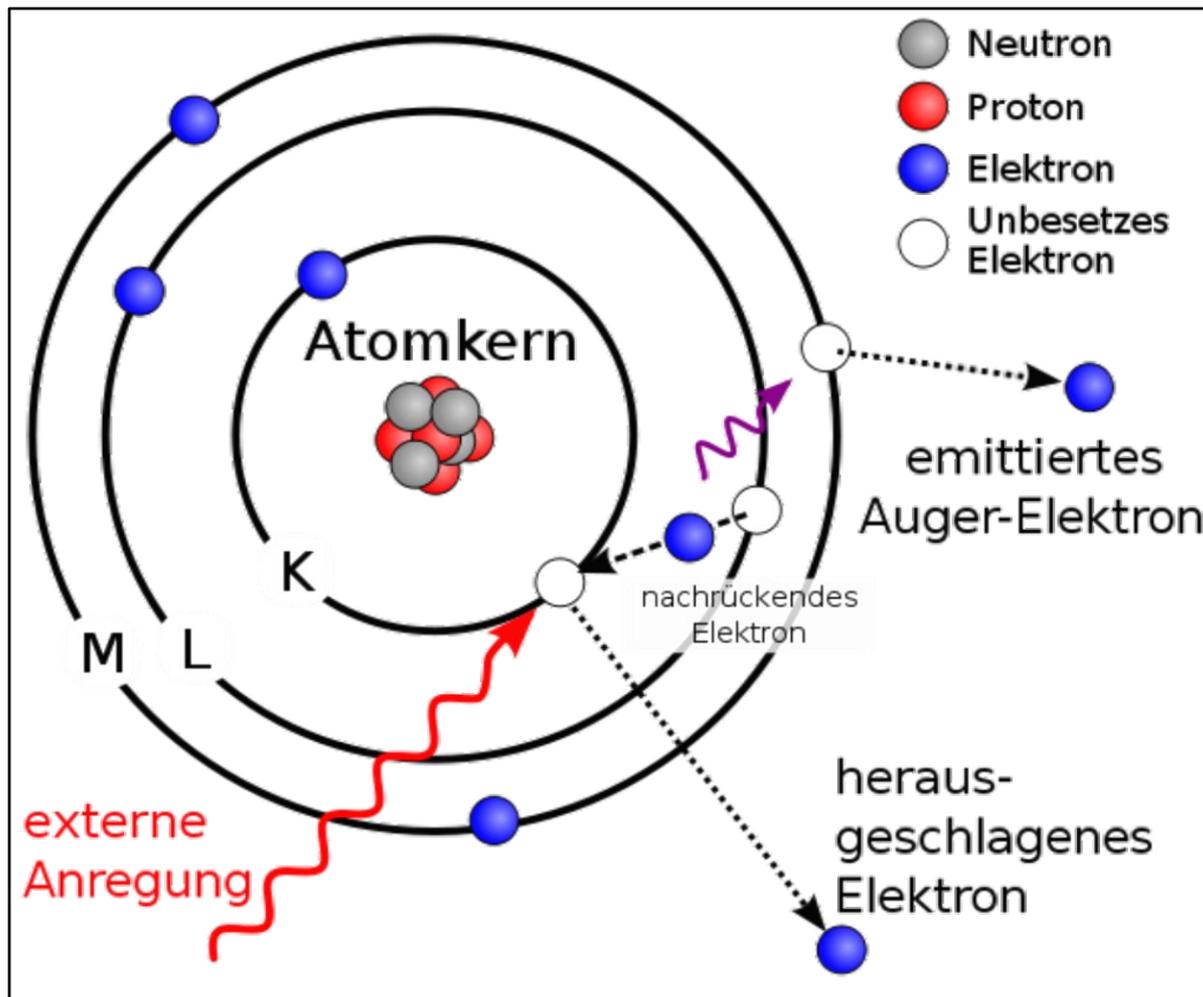


Electronic Capture



A função de onda dos elétrons da camada K apresenta uma pequena probabilidade de localização dos elétrons no núcleo.

ELÉTRONS AUGER



Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

A captura K pode levar a ocorrência de elétrons Auger:

- ***Com a captura do elétron, ocorre uma lacuna;***
- ***A lacuna pode ser preenchida pelo elétron da camada imediatamente superior;***
- ***Caso contrário, a energia é transferida diretamente para um elétron mais externo que é ejetado do átomo: elétron Auger;***
- ***A energia deste elétron é a diferença entre a energia da camada K e a energia da camada da qual o elétron foi ejetado.***



O NEUTRINO

Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

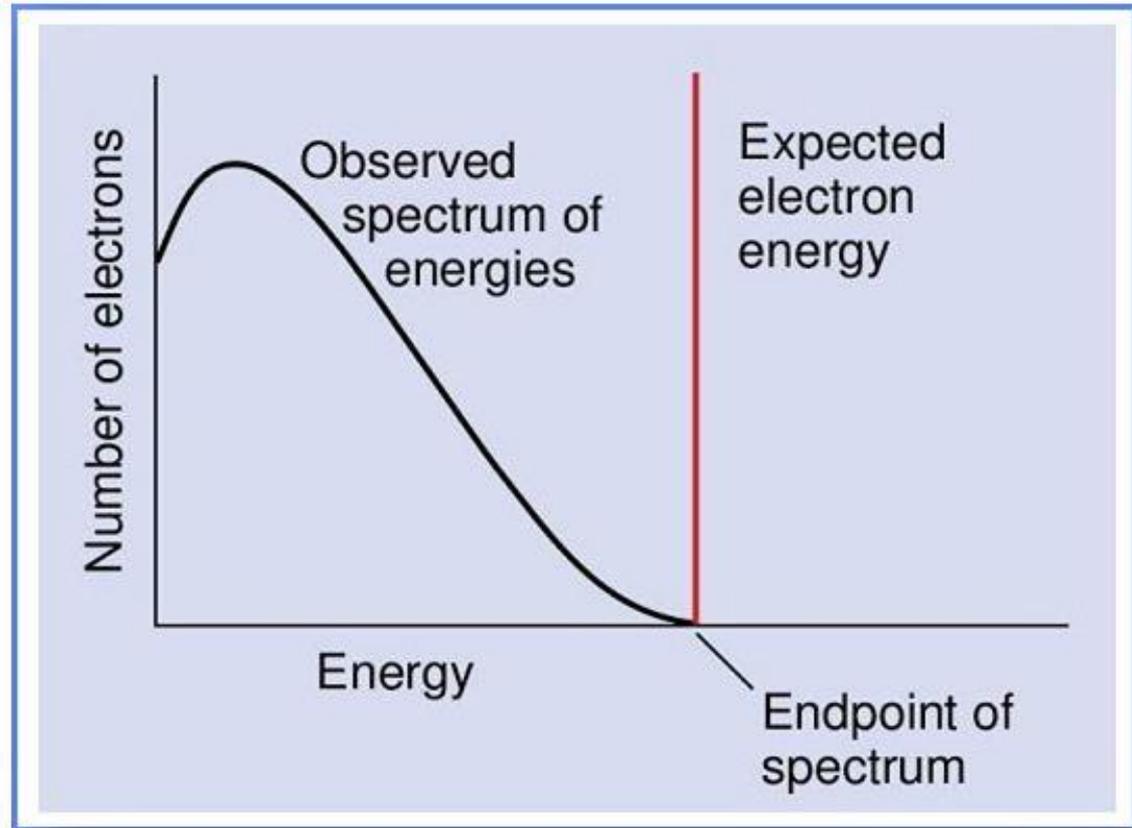
Por que e onde ν 's são interessantes ?

- Física de partículas: possibilidade única para estudar física além do Modelo Padrão (SM, $m_\nu = 0$). Pequena massa está associada a nova física em escala $M \sim 10^{12}$ GeV.
- Cosmologia: papel em big bang nucleossíntese (limite no N_ν . Importante em questões de bariogênese ($N_B - N_{\bar{B}} \neq 0$). Hot dark matter.
- Astrofísica: ν 's emitidos em reações termonucleares em estrelas; informação do núcleo estelar. Carregam $\sim 99\%$ da energia durante explosão de SN type II (importante na dinâmica). Sol é fonte única para testar oscilações ($1 \text{ a.u.} = 1.5 \cdot 10^8 \text{ km}$).
- Física Nuclear decaimento β ; X -sections são importantes para cálculos de fluxos de ν ; taxas de detecção; síntese de elementos em SN.

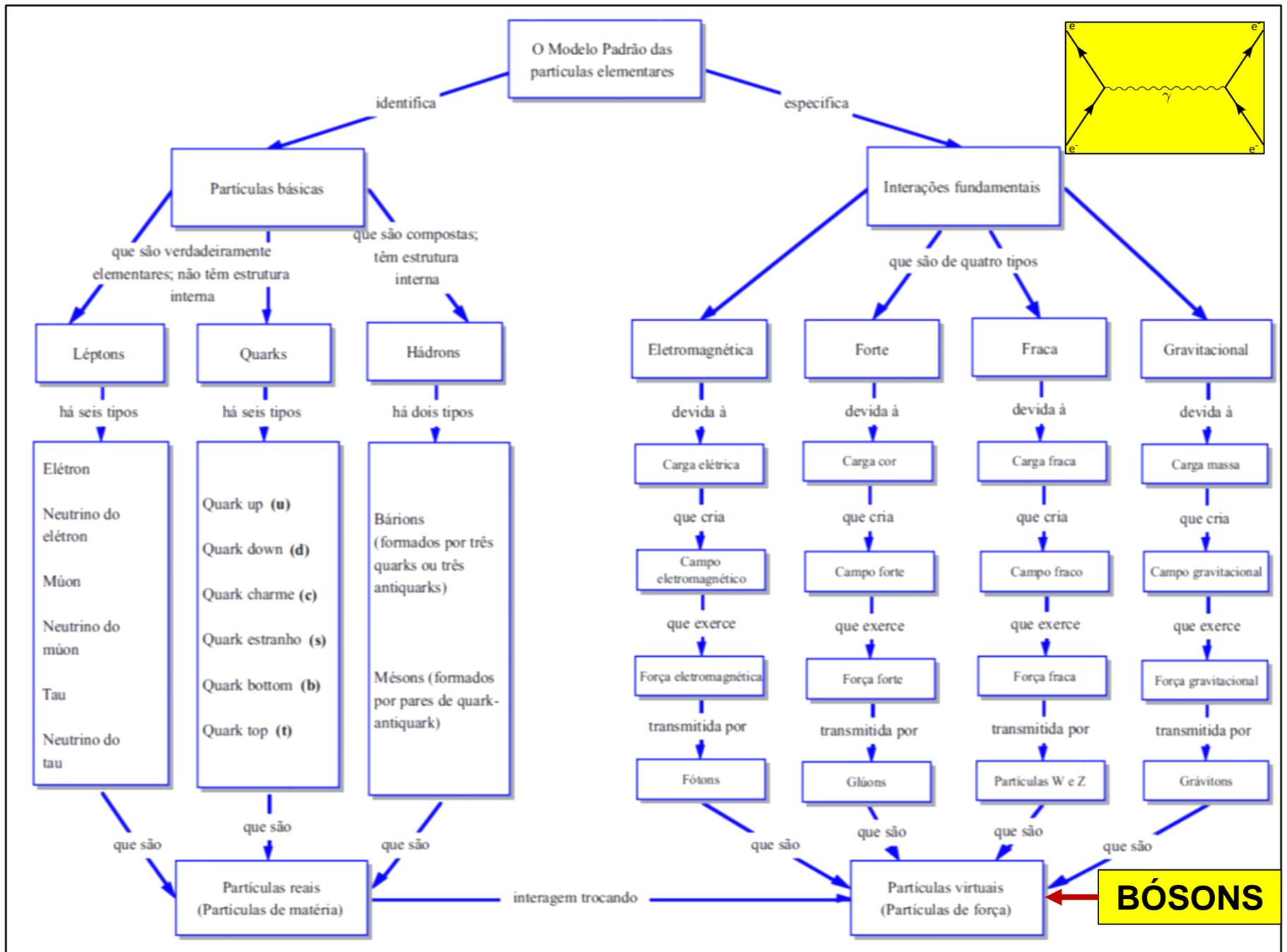


O neutrino

**Wolfgang Pauli
propos (1930)**

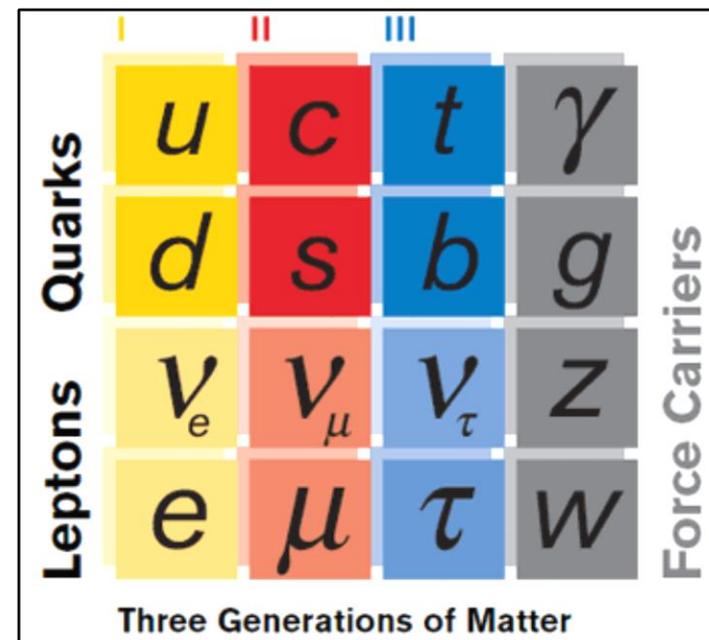


Single beta decay energy spectrum. The observed spectrum is continuous and not at a constant energy as was initially expected. [D. Stewart]

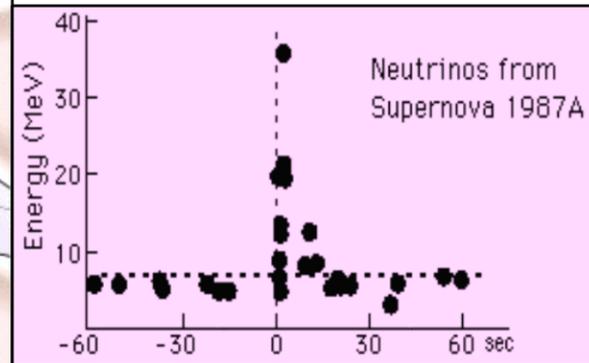
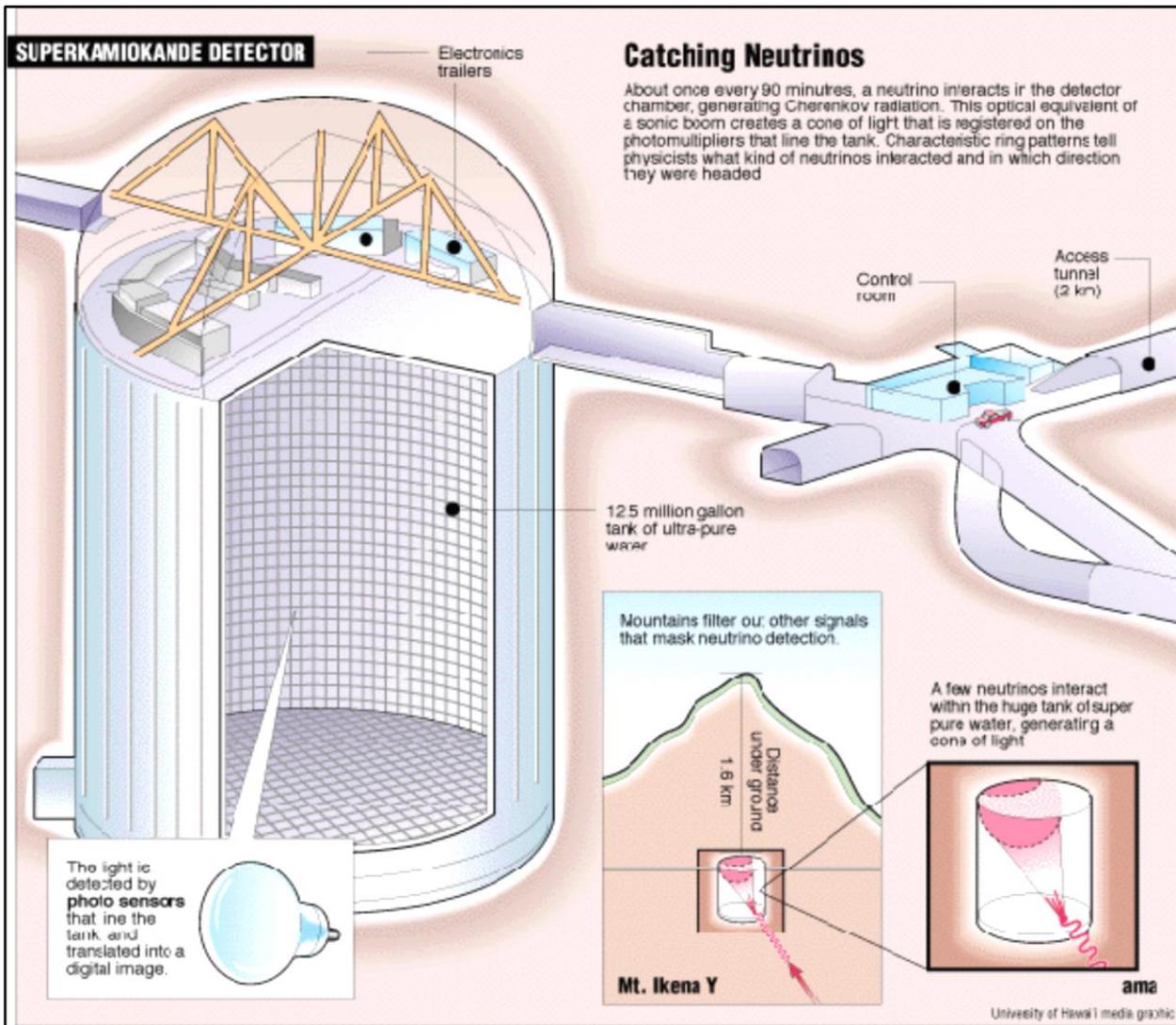


Tipos e fontes de neutrinos

- Decaimento radioativo;
- Raios cósmicos;
- Estrelas;
- Buracos negros;
- Reações nucleares;
- Medula óssea (^{40}K).

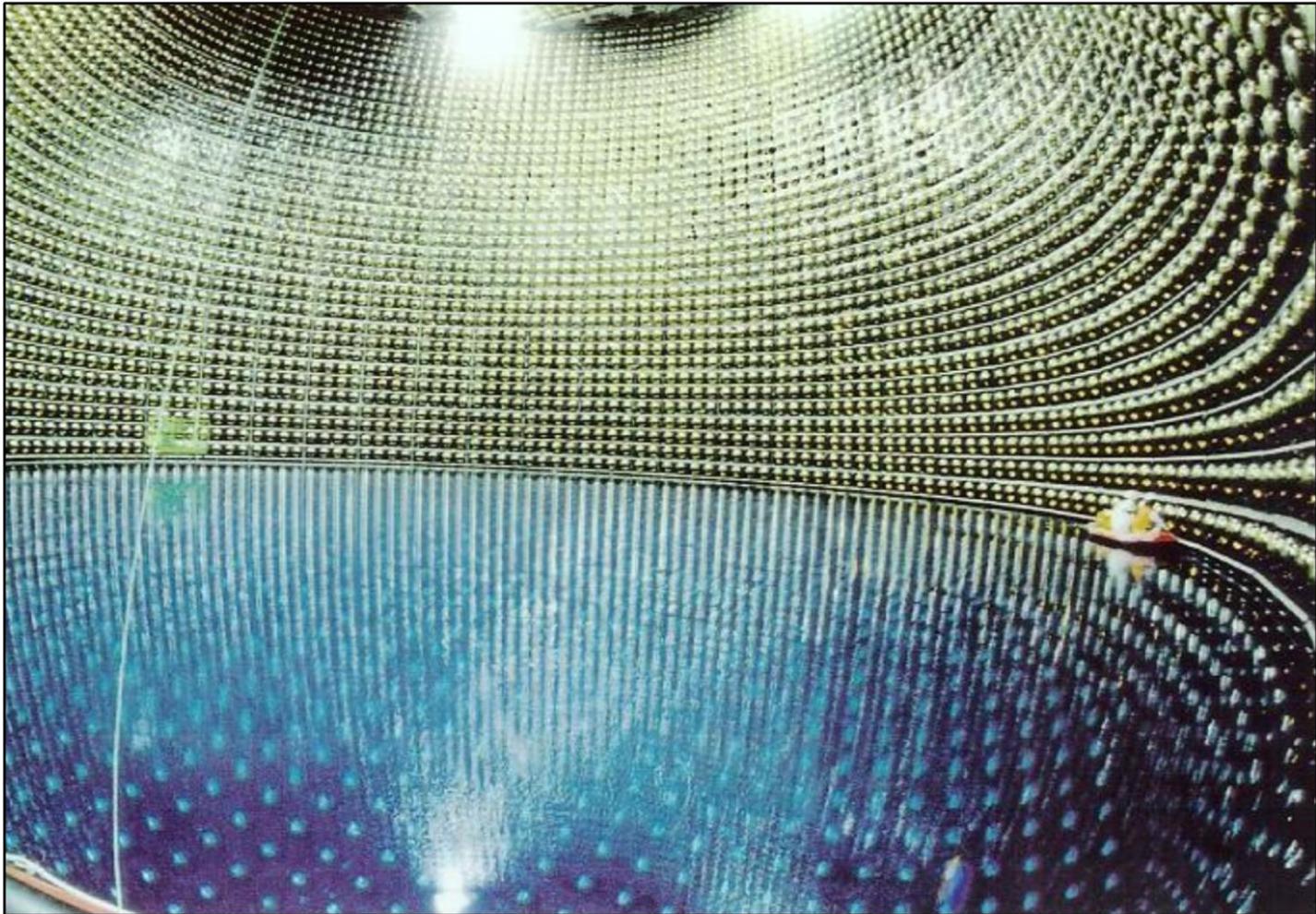


Detectando neutrinos



Detectando neutrinos

1998- The neutrino detector for the Super-Kamiokande experiment in Japan contains ultra pure water surrounded by an array of thousands of photo-tubes, arranged to catch the flashes of light from neutrino interactions in the water. Em uma montanha, 1km de profundidade em uma mina:50.000ton de água pura.

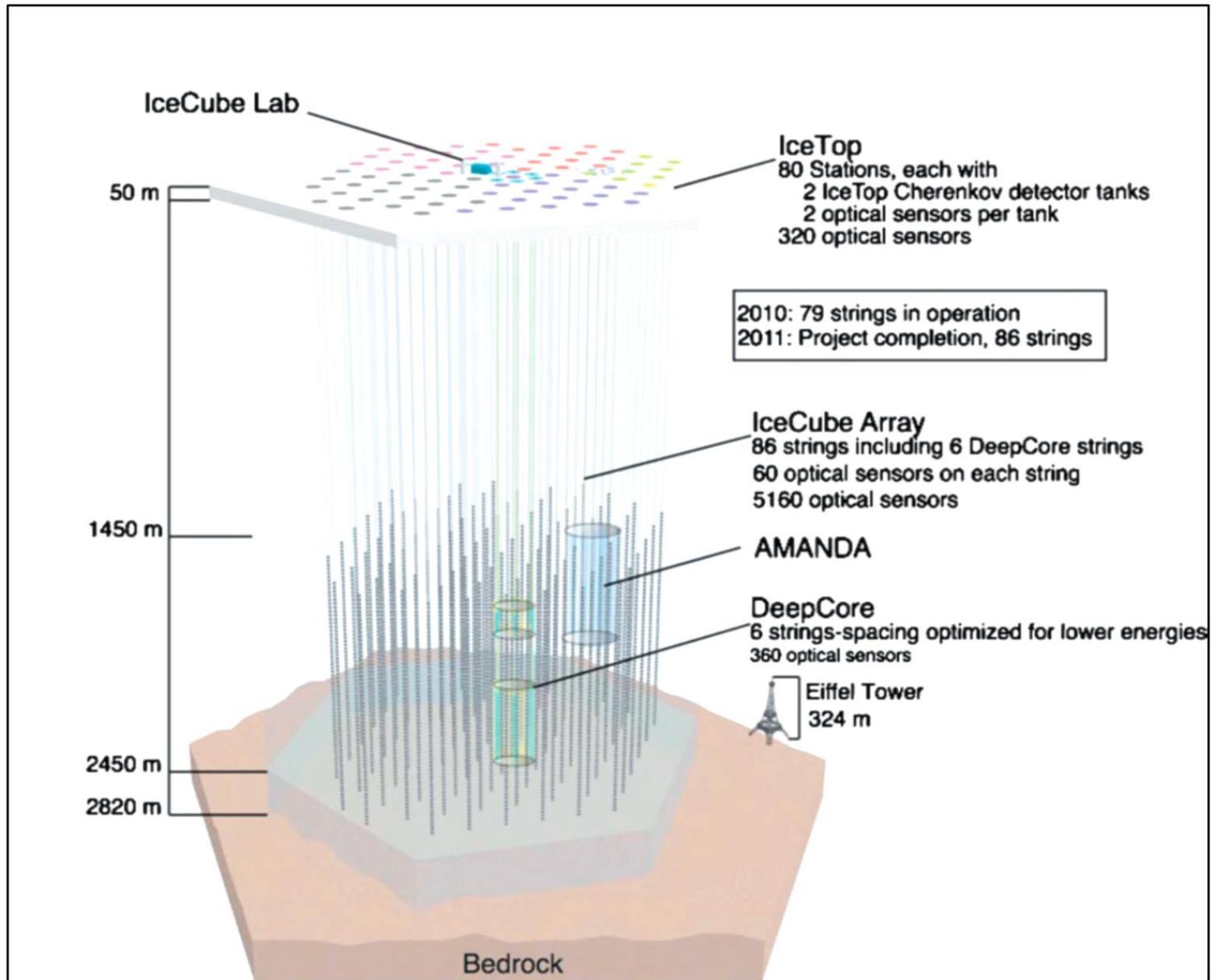


Detector de neutrinos de 1km³ de gelo: cubo de gelo, no Polo Sul

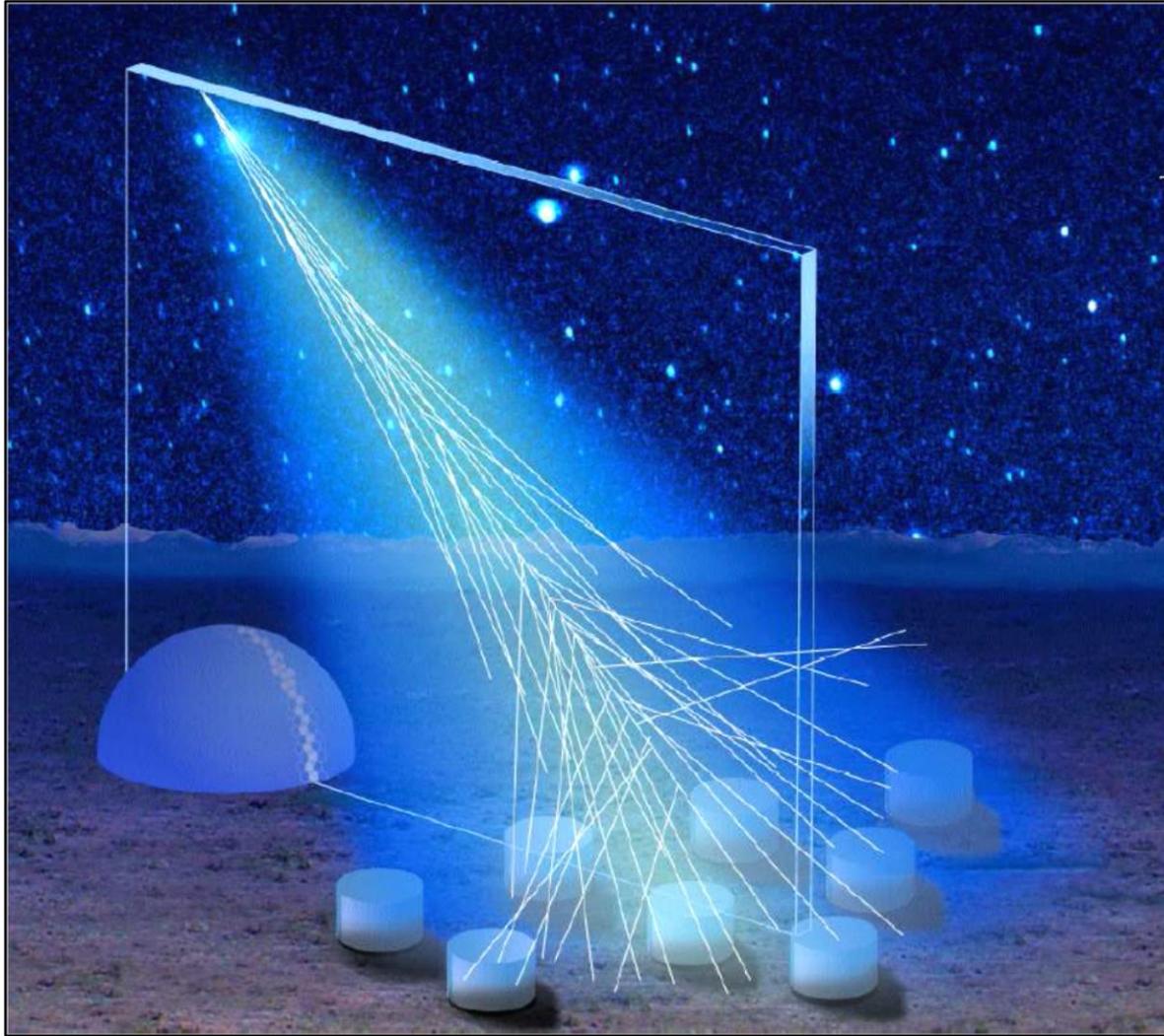


Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

IceCube



Observatório Pierre Auger Raios Cósmicos



PROF. DR. CARLOS JOSÉ TODERO PEIXOTO

Observatório Pierre Auger

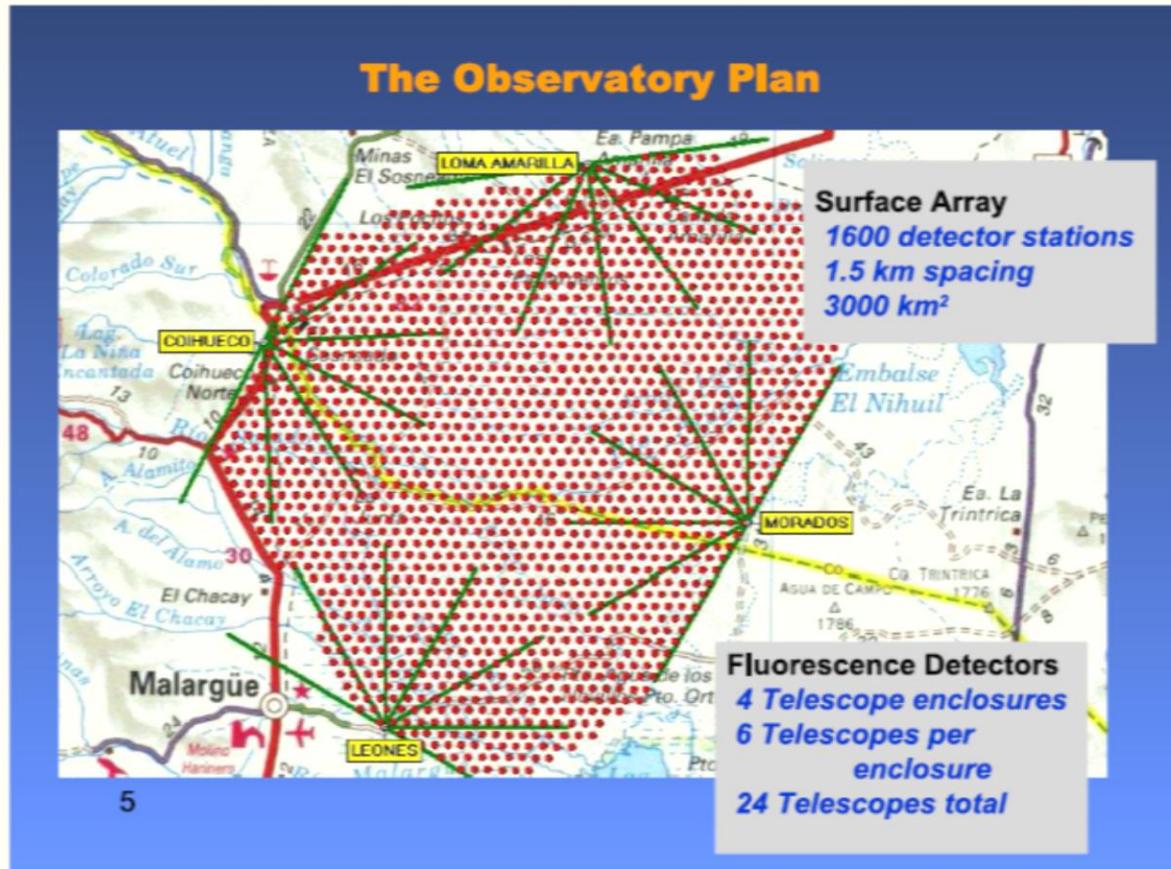


Figura : Localização: Argentina - Província de Mendoza - Cidade de Malargue. Aprox.: 1500m altitude. Altiplano.

Experimento Kascade

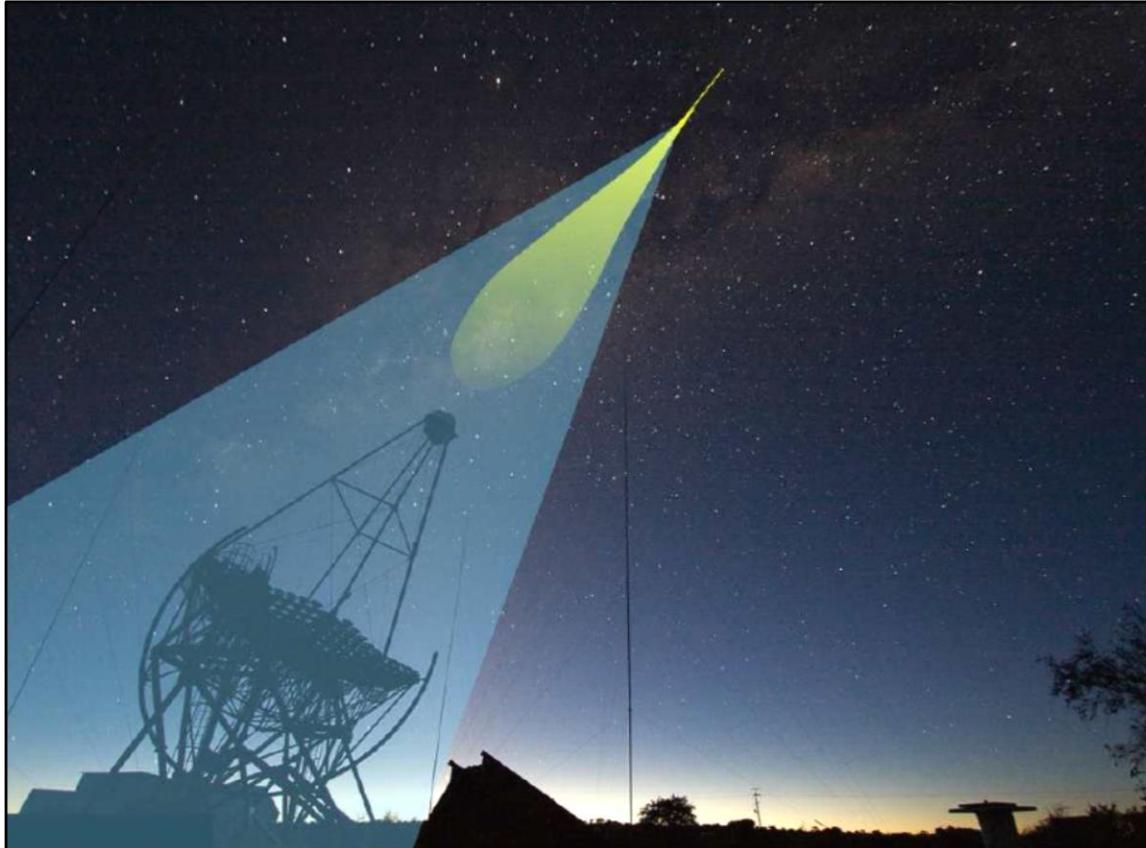




Figura : Rede com aprox. 100 telescópios Cherenkov.

Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

Radiação Cherenkov



Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

Whipple



WHIPPLE TELESCOPE (UCHICAGO)

Figura : Primeiro Telescópio Cherenkov bem sucedido.

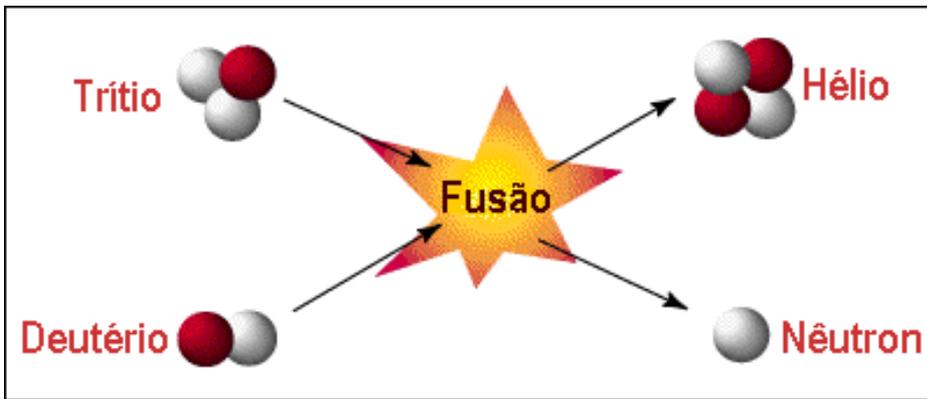
O NEUTRINO TEM MASSA?

NOBEL DE FÍSICA 2015

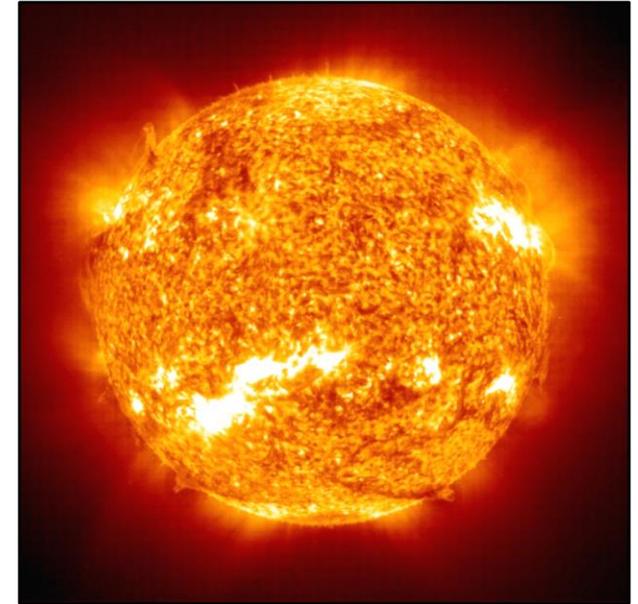
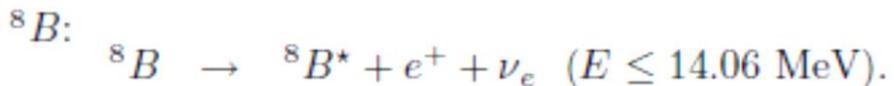
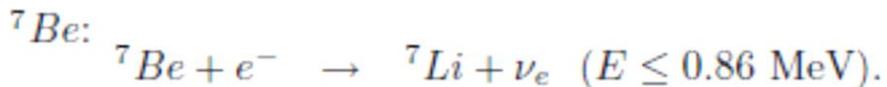
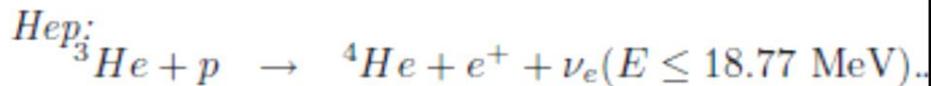
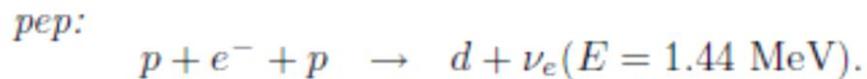
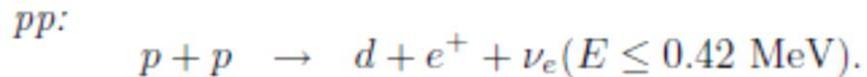


Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

REAÇÃO DE FUSÃO NUCLEAR NO SOL



No Sol, os neutrinos do ϵ são produzidos em algumas sequências de reações:



O PROBLEMA DOS NEUTRINOS SOLARES

O Modelo Solar Padrão (MSP) prevê o fluxo de neutrinos solares sobre a Terra.

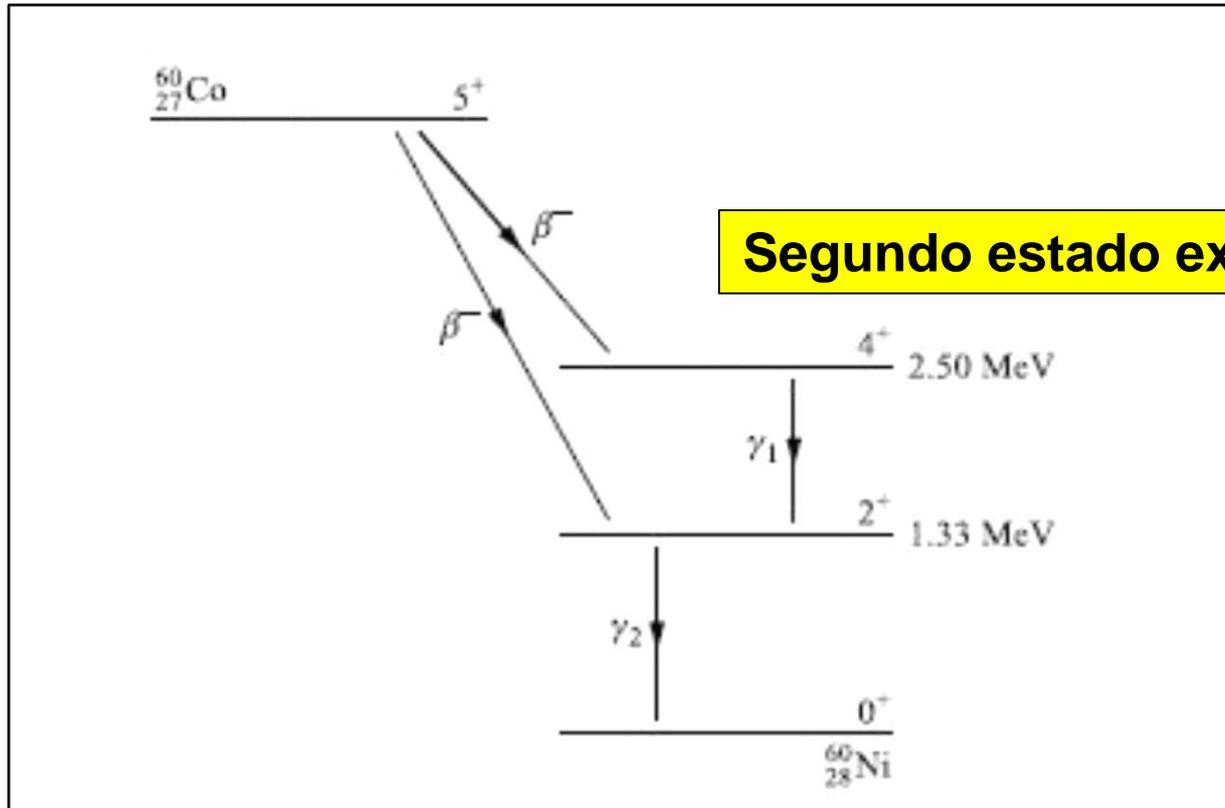
Desde 1966 o experimento de Homestake, idealizado e realizado por Ray Davis, mostrou que o fluxo de neutrinos do Sol que atinge a Terra é menor que o esperado. O experimento de Homestake se baseia no processo no qual um neutrino eletrônico interage com um átomo de cloro (^{37}Cl) produzindo um elétron e um átomo de argônio (^{37}Ar). Entre 1970 e 2002, a taxa de capturas de neutrino por átomos de cloro-37 no tanque foi apenas 34% do estimado pelo MSP.

O PROBLEMA DOS NEUTRINOS SOLARES

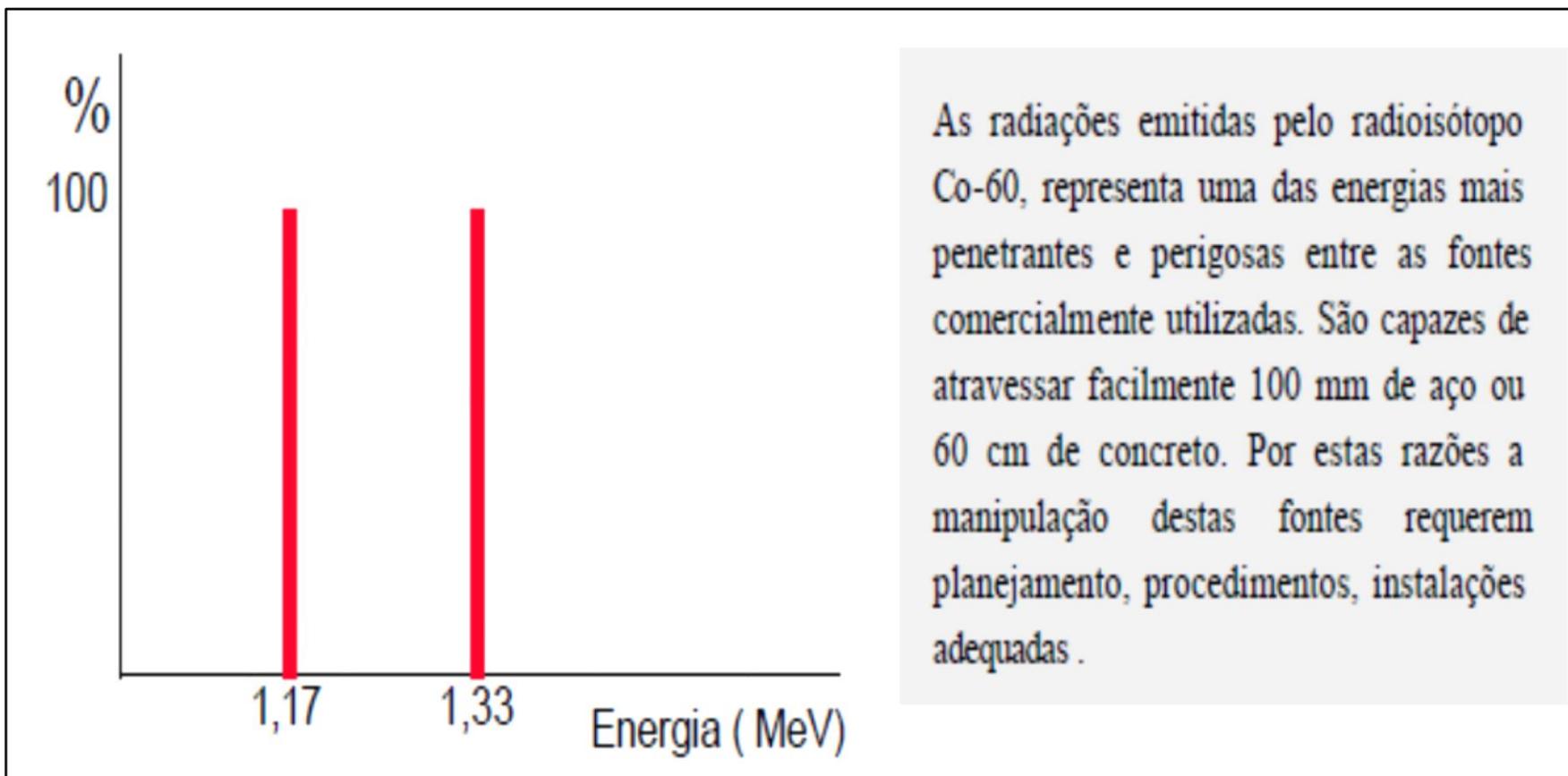
A resposta ao problema do neutrino solar se revela ao fenômeno da oscilação de neutrinos, no qual os neutrinos do elétron produzidos no Sol se convertem nos outros dois tipos durante seu trajeto: neutrino do Muon e neutrino do Tau. A explicação para este fenômeno vem da oscilação no vácuo combinado aos efeitos da matéria nos neutrinos, conhecido como efeito **MSW** (**M**ikheyev-**S**mirnov-**W**olfenstein).

DECAIMENTO GAMA (γ)

Após a desintegração, pode ocorrer que o nuclídeo formado ainda esteja excitado: emite raios gama.



Segundo estado excitado do ^{60}Ni

DECAIMENTO GAMA (γ)**Energias discretas bem definidas**

ELÉTRON DE CONVERSÃO INTERNA

- É um fenômeno que pode ocorrer em lugar da emissão gama, para a desexcitação do átomo;
- A energia disponível no núcleo é transferida diretamente para um elétron (geralmente da camada K), que é ejetado do átomo;
- Ocorrerá uma lacuna: pode haver geração de raios-x ou elétrons Auger;
- A energia destes elétrons de conversão interna apresentam energias bem definidas, igual a diferença entre a energia disponível no núcleo e a energia de ligação do elétron.

INTERAÇÕES DA RADIAÇÃO COM A MATÉRIA

Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

- **Principal consequência da interação das radiações ionizantes com a matéria, é a ionização;**
- **Partículas pesadas ionizam mais porém têm menor penetração;**
- **Radiações eletromagnéticas interagem de maneiras peculiares com a matéria.**

INTERAÇÕES DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA COM A MATÉRIA

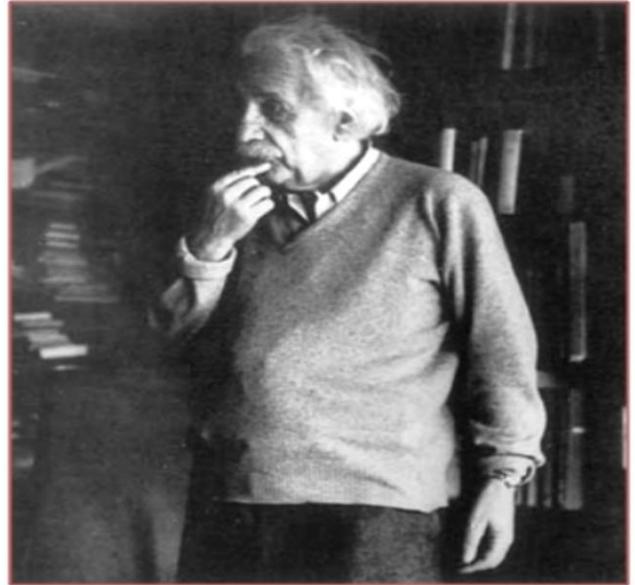
Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

EFEITO FOTOELÉTRICO

Efeito Fotoelétrico

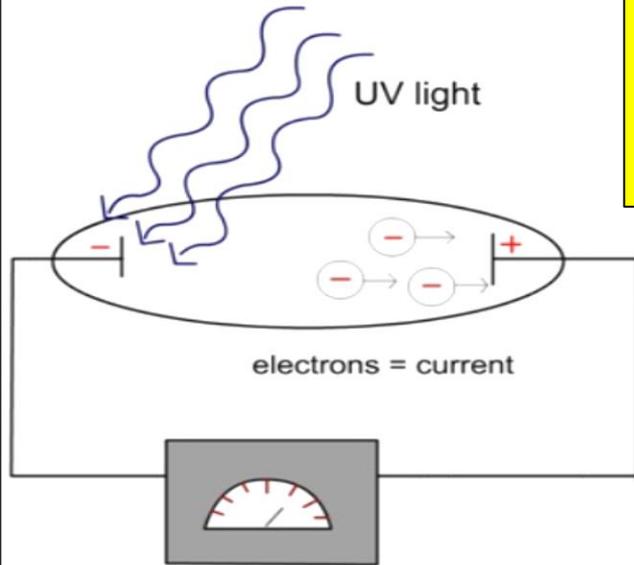
A. Einstein (1905)

NOBEL - 1921

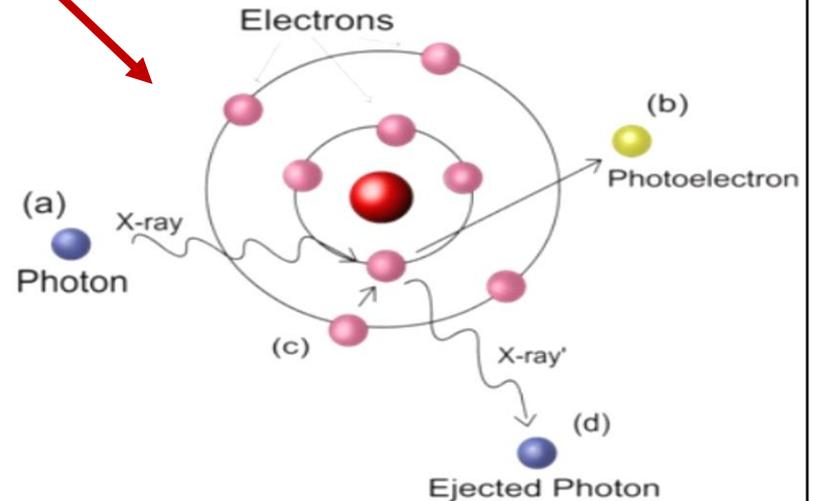


O FÓTON
DESAPARECE E
TRANSFERE
TODA ENERGIA
PARA O
FOTOELÉTRON

Photoelectric Effect



photon = wave particle of light



EFEITO FOTOELÉTRICO

- Geralmente o elétron é expulso da camada K;
- O fóton transfere uma energia cinética para o elétron ejetado;
- O coeficiente de atenuação de massa (μ/ρ) é diretamente proporcional a Z^3 ou Z^4 .

Toda radiação sofre atenuação

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Energia transferida para o elétron (E)

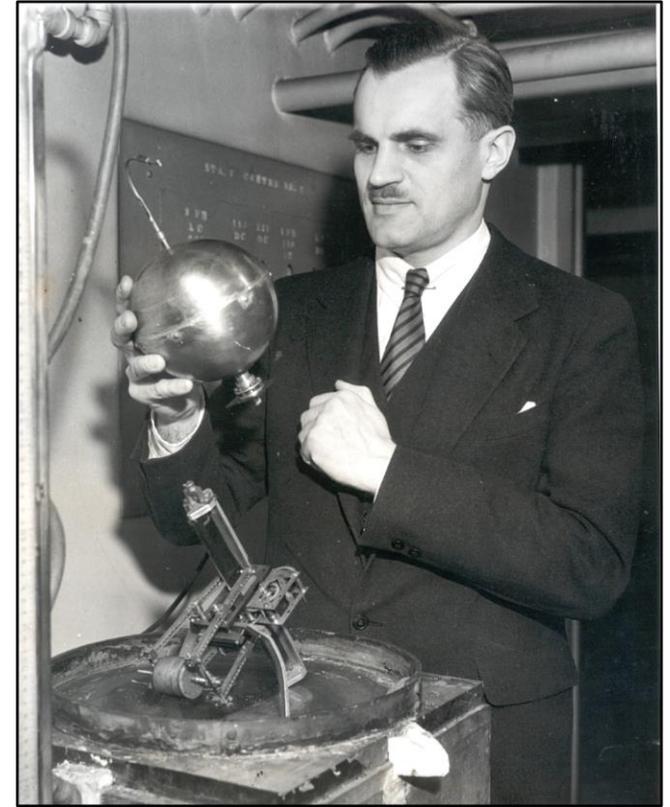
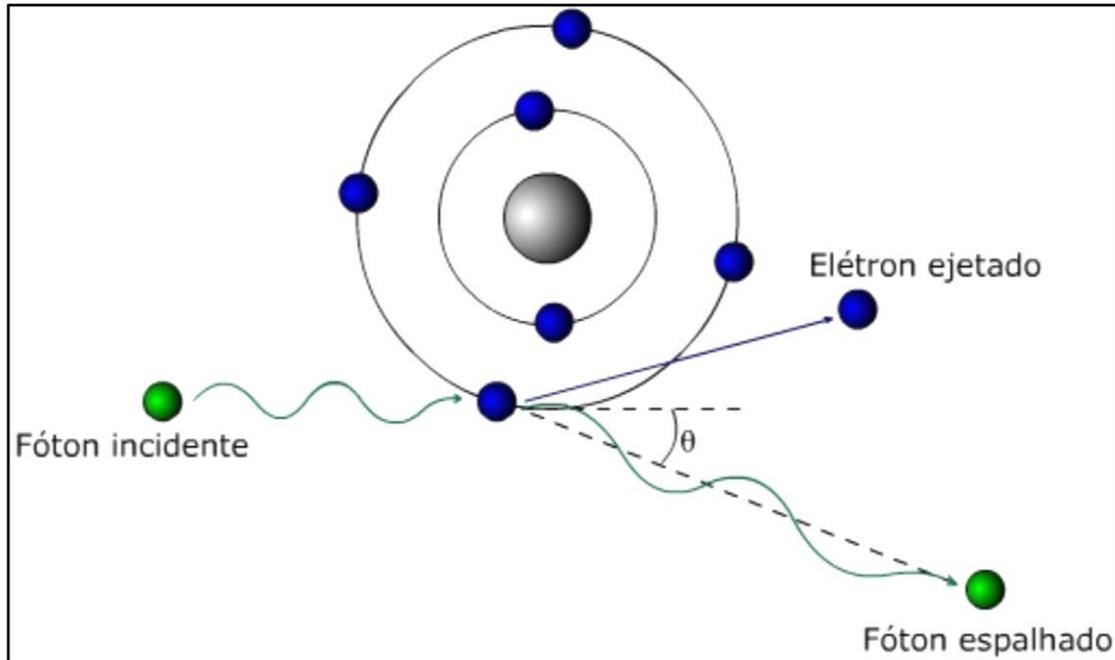
$$E = h\nu - w$$

$h\nu$ – energia do fóton

w – energia de ligação do elétron

Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert

ESPALHAMENTO COMPTON

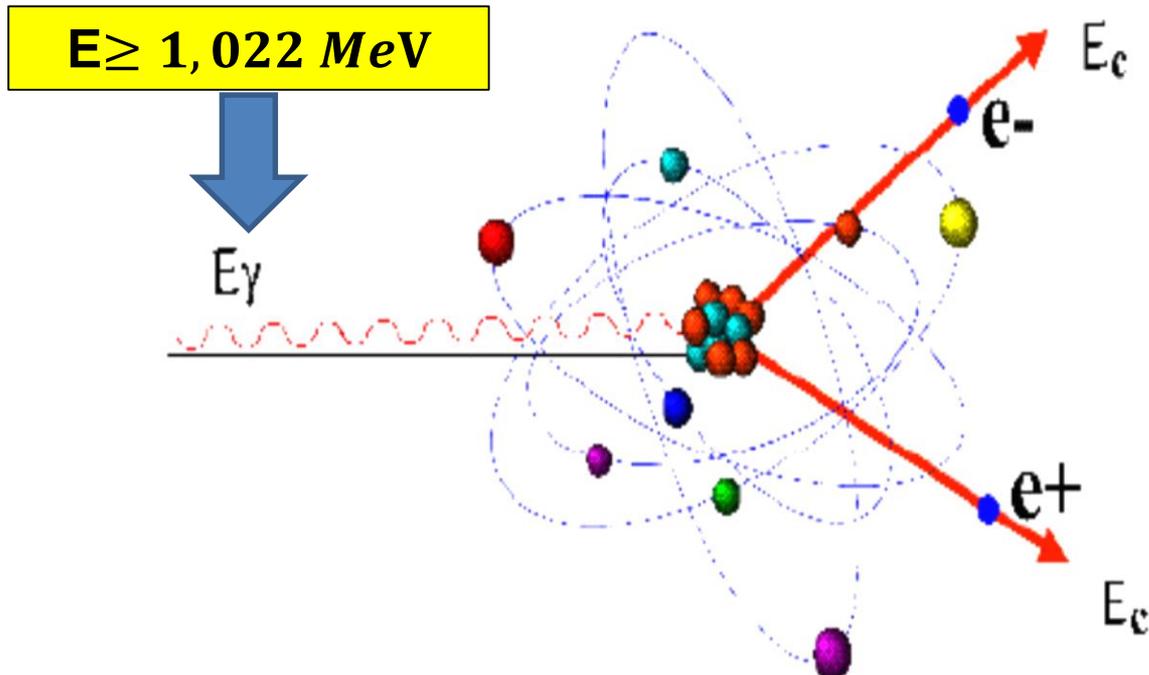


ARTHUR HOLLY COMPTON (1892-1962)

- A energia é dividida entre o elétron Compton e o fóton espalhado;
- Ocorre com radiação de maior energia que o efeito fotoelétrico.

PRODUÇÃO DE PARES

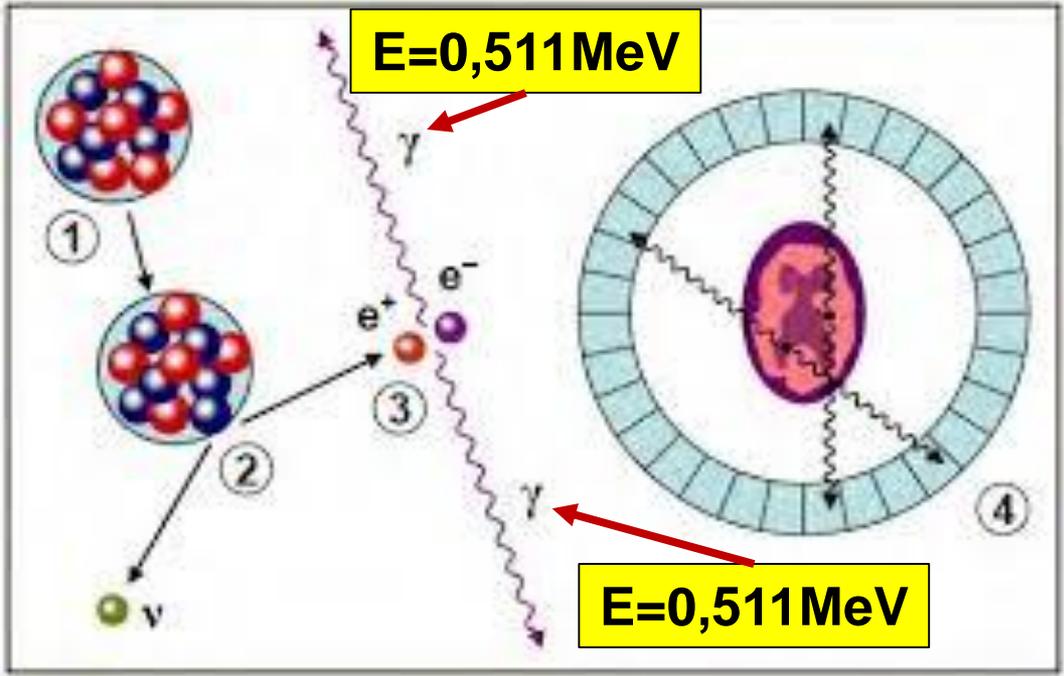
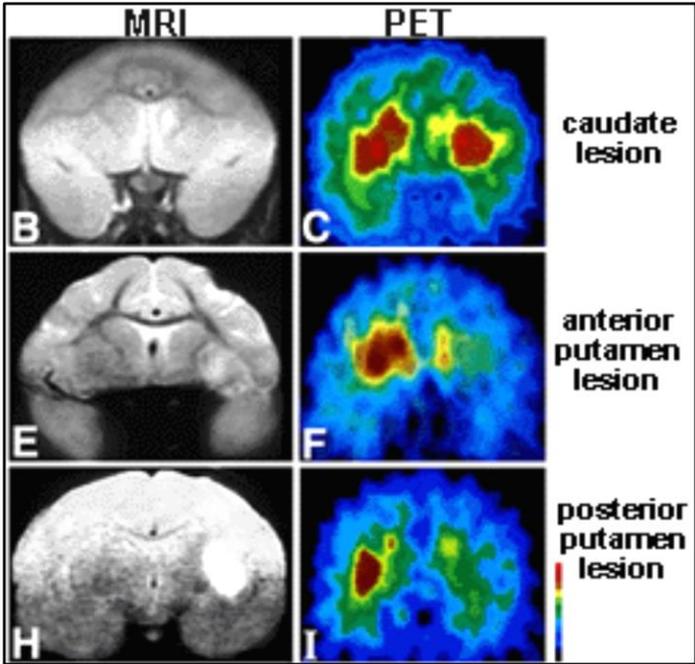
4. Produção de pares



A produção de pares ocorre somente quando fótons de energia igual ou superior a 1,02 MeV passam próximos a núcleos de elevado número atômico. Nesse caso, a radiação X interage com o núcleo e desaparece, dando origem a um par elétron-pósitron com energia cinética em diferente proporção. O pósitron e o elétron perderão sua energia cinética pela ionização e excitação.

PRODUÇÃO DE PARES

TOMOGRAFIA DE EMISSÃO POSITRÔNICA



PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DAS INTERAÇÕES

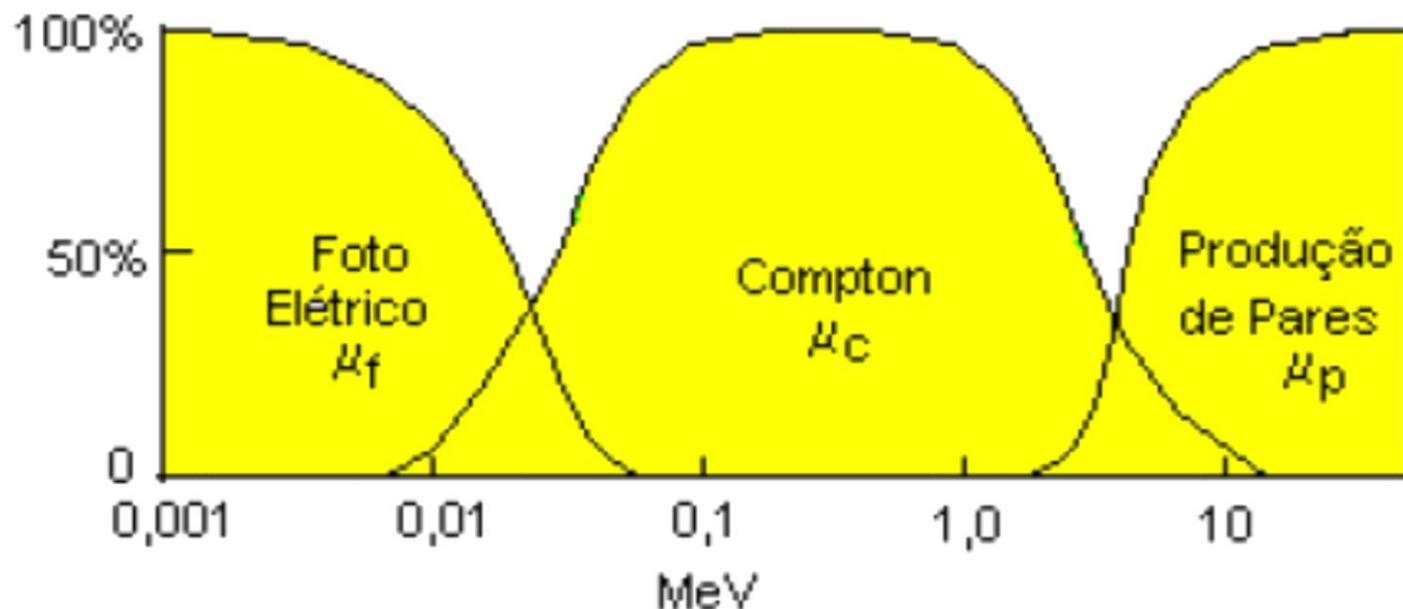


Gráfico mostrando que a probabilidade de ocorrência de cada um dos efeitos, foto-elétrico, Compton e Produção de Pares, são dependentes da energia .

(Gráfico típico para gases, exceto hidrogênio)

Cada tipo de interação tem uma energia e uma intensidade de atenuação. Relaciona-se com a capacidade de transmissão, nos ensaios e de blindagem para proteção radiológica.



FIM

Prof.Dr. Cassius O.F. Terra Ruchert