

Física Nuclear: Radioatividade

Descoberta da Radioatividade

- Becquerel, estudando fenômenos de fluorescência e raios-X
 - Observava fluorescência no Urânio quando exposto ao Sol. Becquerel protegia uma chapa fotográfica com papel preto e deixava sal de urânio exposto ao Sol em cima da chapa fotográfica. Era registrada uma imagem na chapa fotográfica, supostamente devido aos raios-X que penetravam no papel preto.
 - Descoberta por acaso: mesmo sem exposição à Luz do Sol ocorreu o fenômeno. Chamado de Raios urânicos.
- Principais características
 - São capazes de ionizar gases
 - São capazes de descarregar corpos carregados
 - São independentes do estado cristalino do Urânio
 - Produzem um efeito no filme que diminui com o aumento da distância entre a amostra e o filme

Características da radioatividade

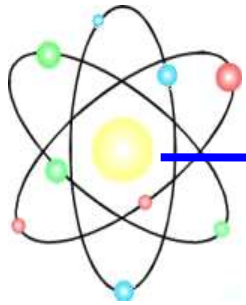
- Natureza espontânea da radiação era o que mais intrigava na época
- Madame Curie
 - Não apenas o Urânio mas também o Tório (Th) emitia o mesmo tipo de raios
 - Semelhantes aos raios-X embora com grande diferença no poder de penetração: não penetram mais do que poucos centímetros na matéria sólida
 - Descobriu outros elementos radiativos, como o rádio (daí o nome de radioatividade ao fenômeno)
- Teoria da transmutação
 - Átomos instáveis, uma fração fixa se desintegra espontaneamente por unidade de tempo
 - Radioatividade leva a uma ruptura do próprio átomo
 - Diferentes isótopos e descoberta do nêutron.

A descoberta do Núcleo

- Espalhamento de partículas alpha
 - Thomson: espera-se ângulos muito pequenos de espalhamento. Em seu modelo as partículas alpha seriam espalhadas por elétrons.
 - Observou-se algumas partículas alpha com espalhamento para trás
 - Nas palavras de Rutherford: *[esse resultado] foi tão incrível como se você disparasse uma bala de canhão de 15 polegadas sobre uma folha de papel e ela voltasse e atingisse você.*

Átomo

Núcleo



Prótons
Nêutrons

- Um núcleo central com carga Ze .
- O núcleo atômico teria um raio da ordem de 10^4 vezes menor do que o raio atômico.



Física Nuclear

Desde o século XX, as aplicações da física nuclear vêm produzindo muitos efeitos para a humanidade.

Benéficos: radiodiagnóstico, radioterapia, etc

Catastróficos: Bomba nuclear

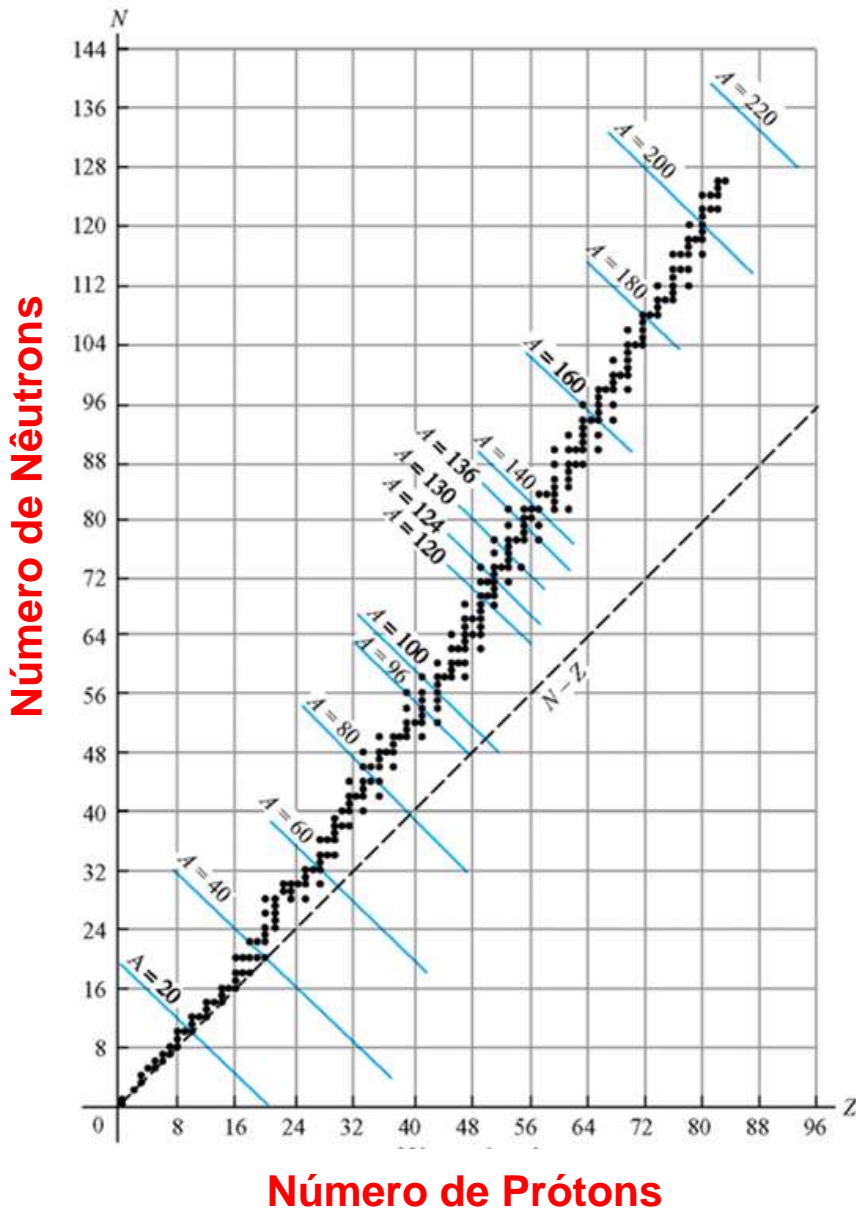
Estabilidade ou instabilidade nuclear é determinada pela competição entre a força de atração nuclear entre os prótons e os nêutrons e a força de repulsão elétrica entre os prótons.

Reações nucleares: os núcleos instáveis decaem, ou seja, se transformam espontaneamente em outras estruturas, outros núcleos.

A **fusão** e a **fissão** são dois tipos de reações nucleares de interesse especial. Se no Sol não ocorresse a reação nuclear de fissão com potencia total de 4×10^{26} W, nossa vida não seria possível.

Estabilidade Nuclear e Radioatividade

Núcleos estáveis



2500 nuclídeos conhecidos, apenas 300 são estáveis. Os outros sofrem decaimento (se transformando em outros nuclídeos) ao emitir partículas e ondas eletromagnéticas mediante um processo chamado **radioatividade**.

Gráfico de Segrè mostrando o número de nêutrons e o número de prótons para nuclídeos estáveis. Em um nuclídeo estável, o número de nêutrons é maior que o número de prótons e a diferença entre esses dois números aumenta com o número atômico Z .

A razão N/Z cresce com A !!!

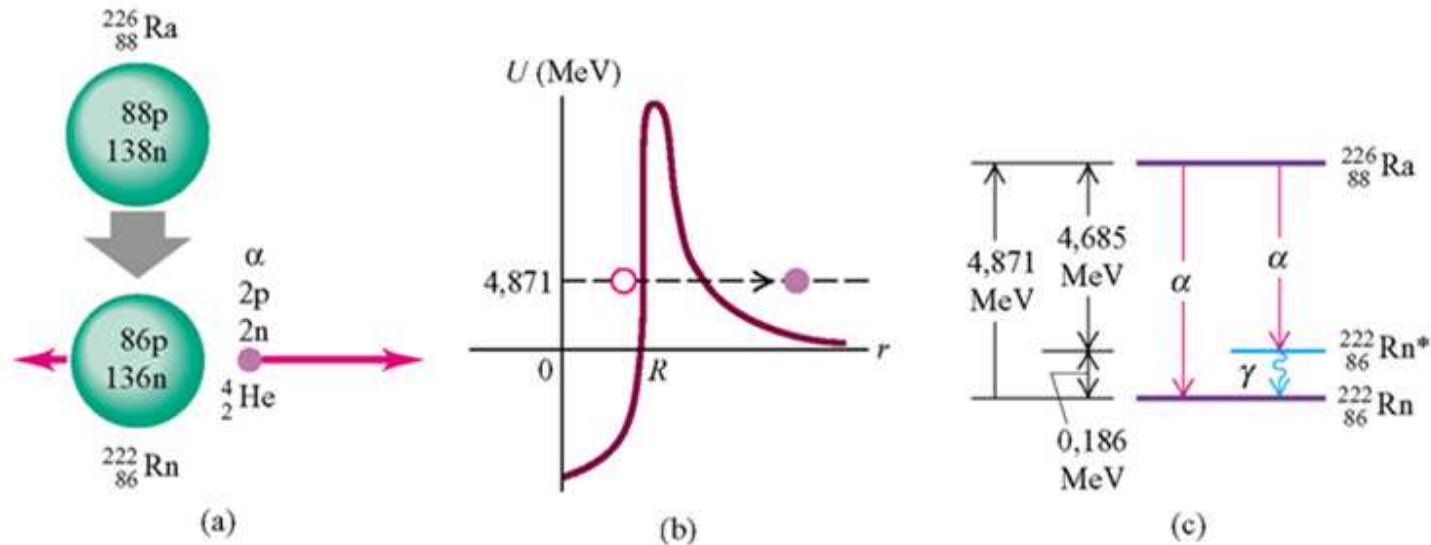
Núcleos instáveis

Emissão alfa, beta e gama!

Decaimento Alfa α

A emissão alfa ocorre em núcleos pesados demais para serem estáveis. Uma partícula alfa é um núcleo de ${}^4\text{He}$ com dois prótons e dois nêutrons unidos.

Exemplo: Rádío \rightarrow Radônio

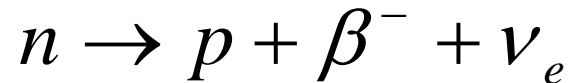


O nuclídeo ${}_{88}^{226}\text{Ra}$ decai para ${}_{86}^{222}\text{Rn}$. (b) Curva da energia potencial para uma partícula alfa. A partícula tunela através da barreira de potencial. (c) diagramas dos níveis de energia para o sistema, mostrando o nível excitado ${}_{86}^{222}\text{Rn}^*$ para uma energia 0,186 Mev acima do estado fundamental. O sistema pode decair para o nível fundamental ${}_{86}^{222}\text{Rn}$ emitindo um fóton γ com energia igual a 0,186 Mev.

Os raios beta e gama

Raios alfa: fortemente ionizantes e pouco penetrantes

Raios beta: fracamente ionizantes mas capazes de atravessar folhas metálicas finas: Uma partícula beta negativa é um elétron. A emissão de uma part. beta envolve a transformação de um nêutron em um próton juntamente com um elétron e uma partícula chamada neutrino. Pauli propõe o neutrino (carga nula e massa muito pequena) para garantir a conservação de energia.



Raios gama

A energia do núcleo é quantizada. Ele possui um estado fundamental e diversos estados excitados. Energia de excitação da ordem de 1 MeV em comparação com alguns eV para as energias dos níveis de energia atômicos. Quando o núcleo atinge o estado excitado, em decorrência de colisões com partículas de energia elevada, ele pode decair para o estado fundamental emitindo fótons de raios gama, ou simplesmente raios gama. Alto poder de penetração.

Tanto no decaimento alfa quanto no beta o valor de Z varia e o núcleo se transforma. No decaimento gama o elemento não se transforma!

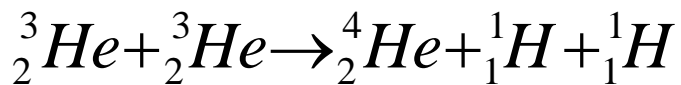
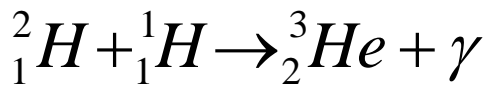
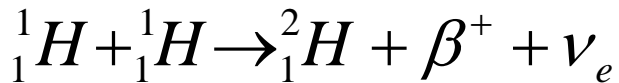
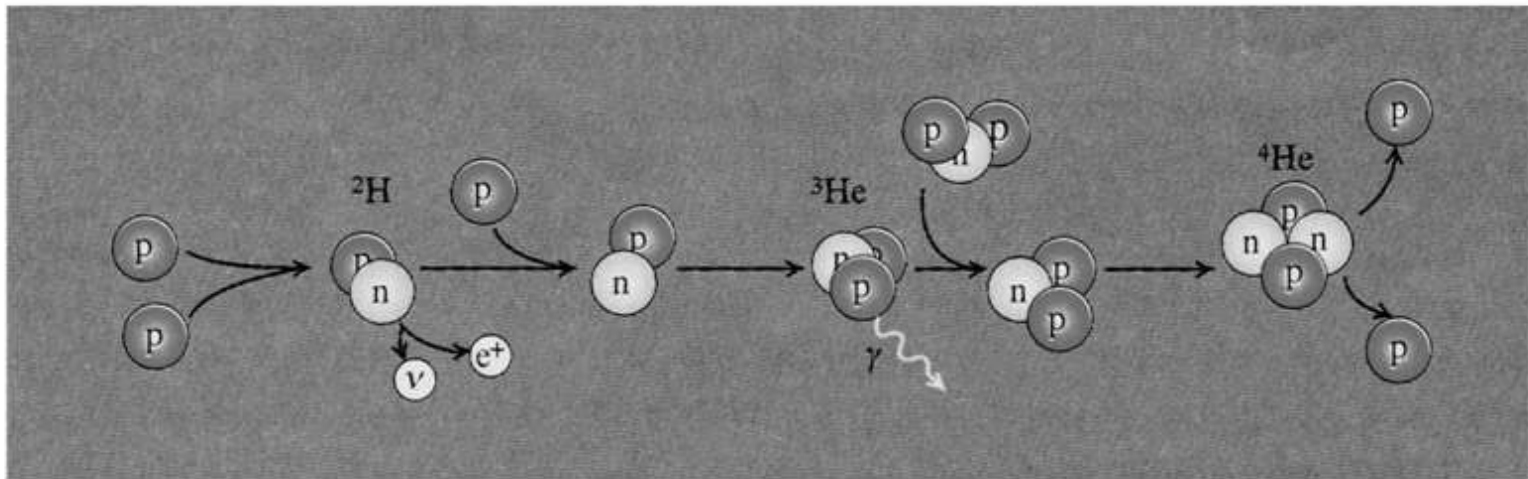
Fusão nuclear



A energia liberada por uma estrela é oriunda de reações de fusão que ocorrem no interior da estrela. Desde o momento em que a estrela se forma e durante a maior parte de sua vida ela converte o hidrogênio de seu interior em hélio. À medida que a estrela envelhece, a temperatura de seu interior pode se tornar tão elevada que ocorrem reações de fusão adicionais que convertem o hélio em carbono, oxigênio e outros elementos.

Fusão nuclear

Na fusão nuclear dois ou mais pequenos núcleos leves se aglutinam, ou se fundem, formando um núcleo maior. As reações de fusão liberam energia pela mesma razão das reações de fissão: a energia de ligação por núcleon depois da reação é maior do que antes.



Na primeira reação, dois prótons se combinam e formam um deutério, com emissão de um pósitron e de um neutrino. Na segunda, um próton e um deutério se combinam e formam um núcleo do isótopo leve do hélio (³He), com emissão de um raio gama. Agora dobre as duas primeiras reações para obter os dois núcleos de hélio ³He que se fundem na terceira reação e formam uma partícula alfa ⁴He e dois prótons. Esse conjunto é chamado cadeia próton-próton.

Número de Nêutrons

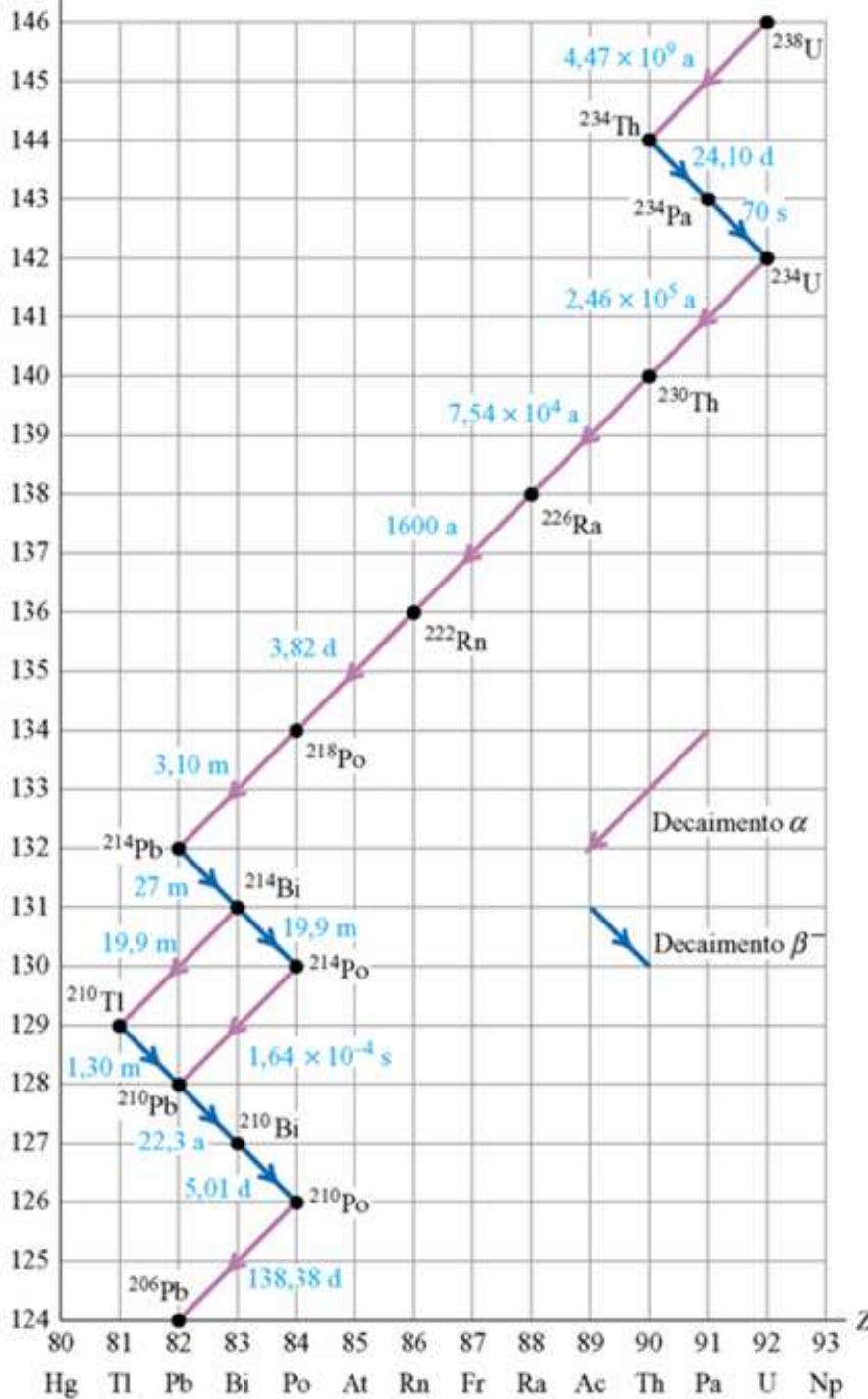


Gráfico de Segrè mostrando a série de decaimentos do ^{238}U : o elemento estável final corresponde ao ^{206}Pb . Os tempos são meias-vidas fornecidas em anos (a), dias (d), horas (h), minutos (m) ou segundos (s)

^{238}U é o mais comum na natureza e tem vida média de 5 bilhões de anos.

Número de Prótons

Atividade e Meia-Vida

Considere N o número de átomos da amostra em um certo tempo t , dN o número de átomos que se desintegra em um intervalo de tempo dt :

Taxa de decaimento ou atividade

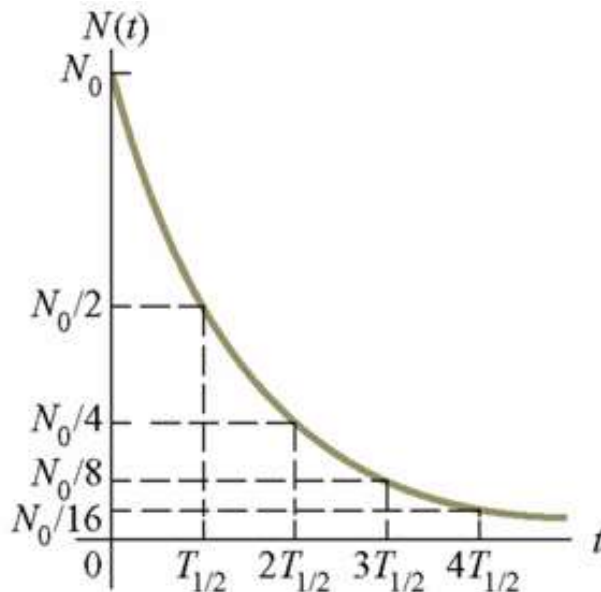
λ = constante de decaimento

N_0 = número de núcleos iniciais por $N(0)$.

$N(t)$ = número de núcleos radioativos restantes.

$$-\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t)$$

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

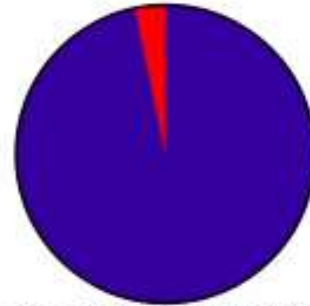


O número de núcleos na amostra de um elemento radioativo em função do tempo é uma exponencial decrescente. A atividade da amostra é representada por uma curva com decaimento exponencial com a mesma forma dessa função.

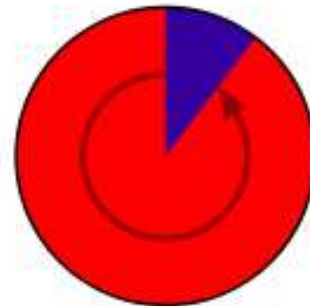
^{238}U é o mais comum na natureza e tem apenas 0.7% de ^{235}U .



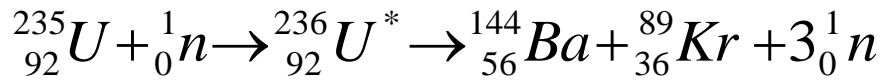
Natural uranium
> 99.2% U-238
0.72% U-235



Low-enriched uranium
(reactor grade)
3-4% U-235



Highly enriched uranium
(weapons grade)
90% U-235



Fissão nuclear

Fissão nuclear é o processo no qual o núcleo instável se divide em dois fragmentos de massas comparáveis. Pode ser induzido mediante bombardeio com nêutrons

Reatores Nucleares

Na média cada fissão de um núcleo de ${}^{235}\text{U}$ produz cerca de 3 nêutrons livres. Apenas esse isótopo ${}^{235}\text{U}$ pode ser fissionado por um nêutron! Enriquecimento de Urânio. Bomba e energia elétrica!

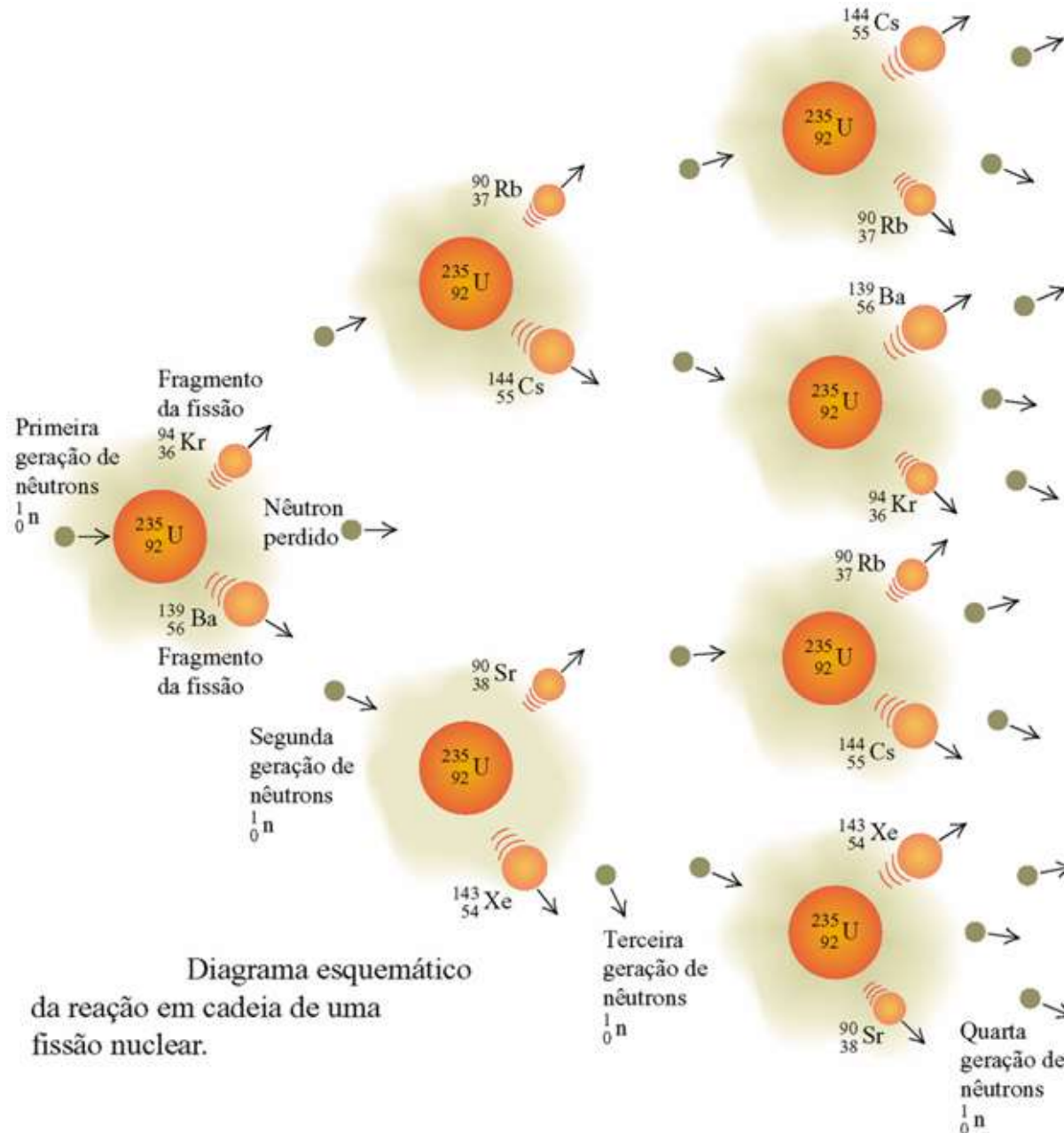
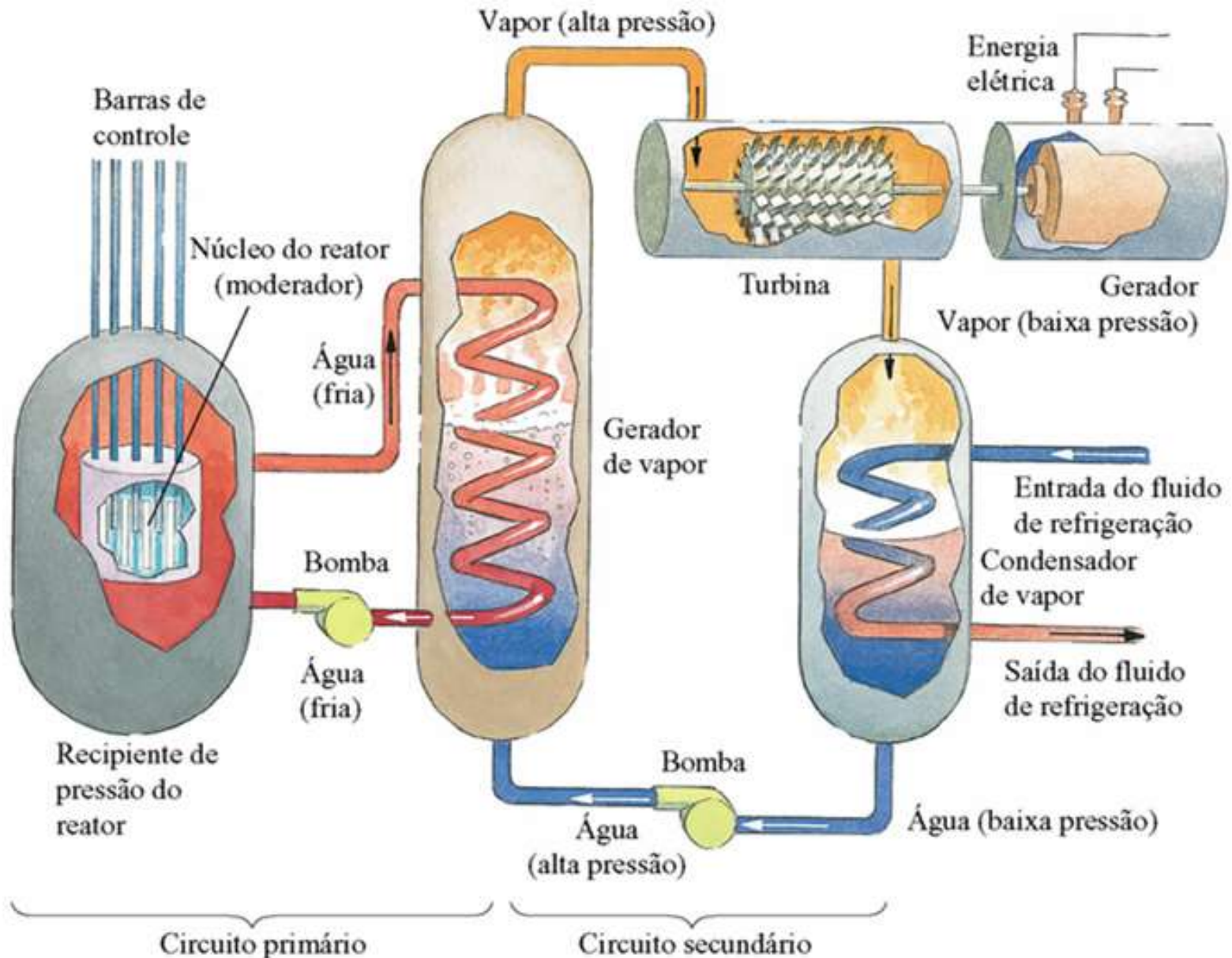


Diagrama esquemático da reação em cadeia de uma fissão nuclear.

Usina nuclear gerando energia elétrica

~ 1000M W



Aplicações tecnológicas

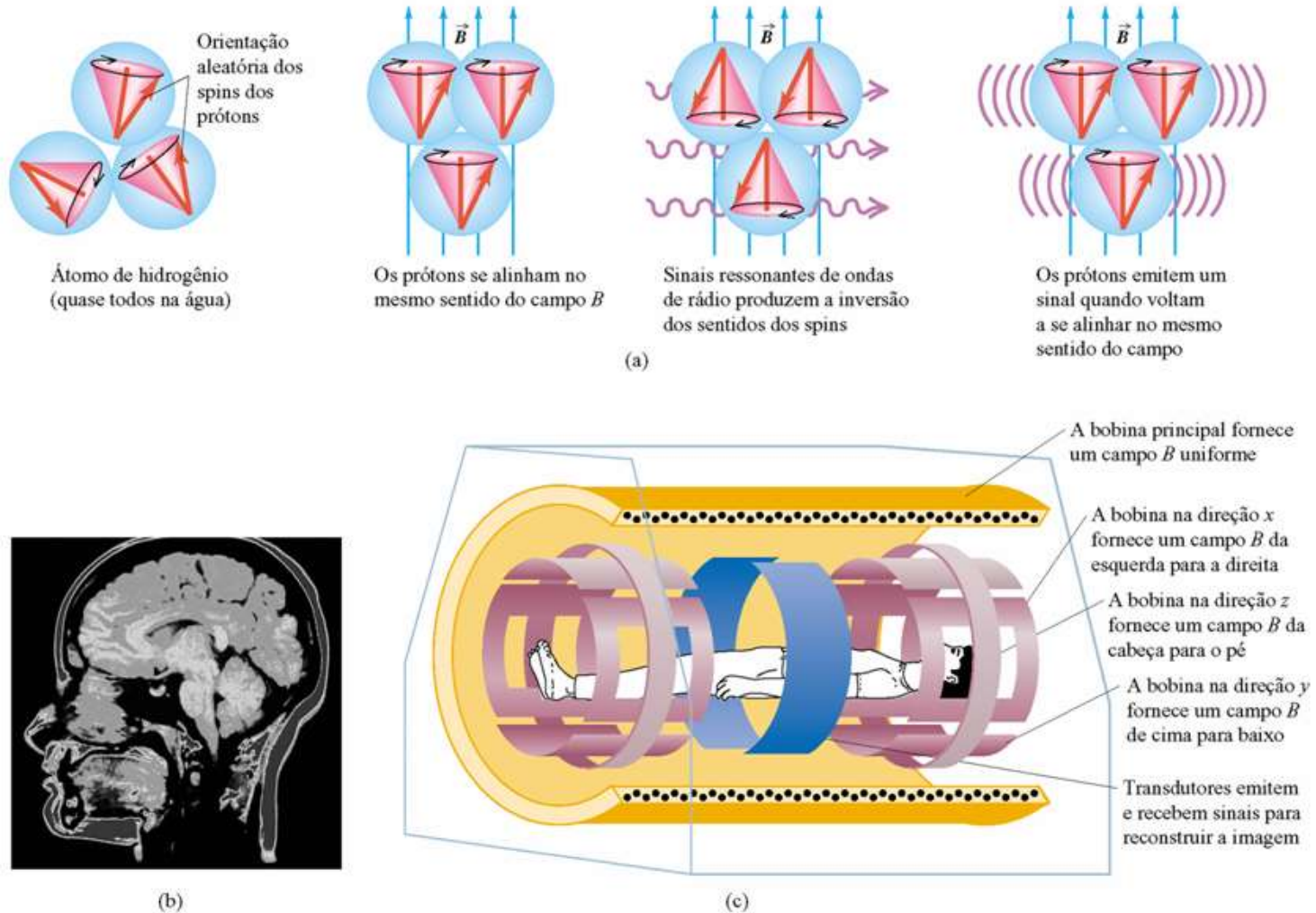
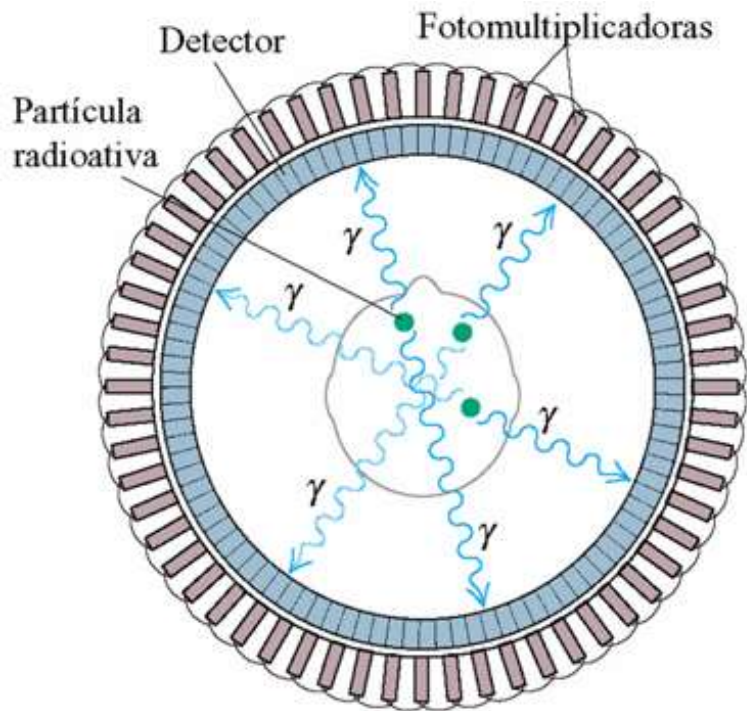
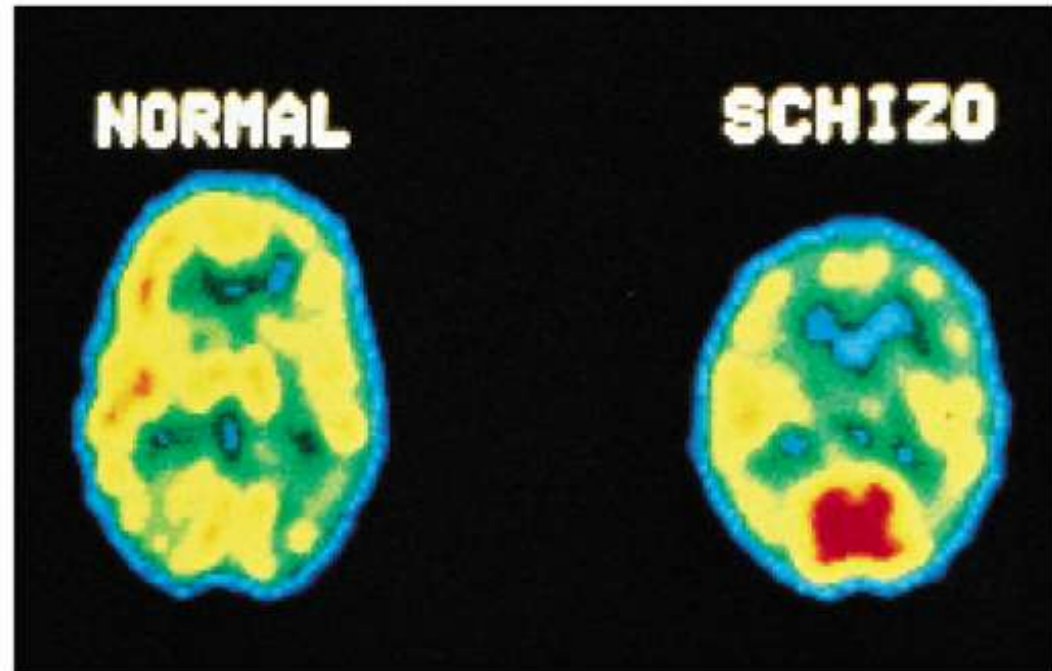


FIGURA 45.1 Imagem por ressonância magnética (MRI). (a) Prótons, núcleos de átomos de hidrogênio nos tecidos que estão sendo estudados, geralmente possuem spins orientados aleatoriamente. Na presença de um forte campo magnético, eles ficam paralelos e se alinham no mesmo sentido do campo. Breves sinais de ondas de rádio produzem a inversão dos sentidos dos spins; quando eles retornam ao estado com o mesmo sentido do campo, ocorre uma emissão de sinais registrados por detectores sensíveis. Os diversos ambientes magnéticos existentes em diferentes regiões possibilitam a reconstrução de uma imagem mostrando os tipos de tecidos presentes nessas regiões. (b) Uma imagem obtida com a técnica MRI mostrando uma seção reta da cabeça de um paciente. (c) Um eletroímã usado para obter imagens com a técnica MRI.

Aplicações tecnológicas



(a)



(b)

(a) Na varredura com a chamada técnica PET (tomografia com emissão de pósitrons), isótopos de elementos comuns que emitem pósitrons como o carbono, o nitrogênio e o oxigênio são injetados no paciente. Quando um pósitron encontra um elétron, eles se aniquilam, produzindo dois fótons de raios γ . Esses fótons são detectados pela rede circular de detectores e uma imagem da seção reta é construída por um computador. (b) Varreduras PET de dois cérebros; um é de um paciente normal e o outro é de um paciente esquizofrênico, mostrando diferenças no uso da glicose, que serve para medir a atividade biológica.

Referências bibliográficas

- Sears e Zemansky, Física IV (person)
- Física Moderna, Caruso e Oguri, cap 9 e 11