

Física Nuclear

A descoberta do Núcleo – O experimento de Rutherford

- ✓ Nos primeiros anos do século XX, praticamente a única coisa que se sabia a respeito da estrutura dos átomos era que continham elétrons e que os elétrons continham uma carga elétrica negativa por convenção.
- ✓ J. J. Thomson descobriu o elétron em 1847 porem sua massa era desconhecida.
- ✓ Como a matéria é neutra, ela deviria conter também cargas positivas (como?, onde?)
- ✓ Os pensadores Leucipo (500 a.C.) e Demócrito (460 a.C.) formularam a ideia de haver um limite para a pequenez das partículas. Afirmavam que elas se tornariam tão pequenas que não poderiam ser divididas. Chamou-se a essa partícula última de átomo – derivado de radicais gregos que, juntos, significam o que não se pode dividir.

Física Nuclear

Evolução dos modelos Atômicos:



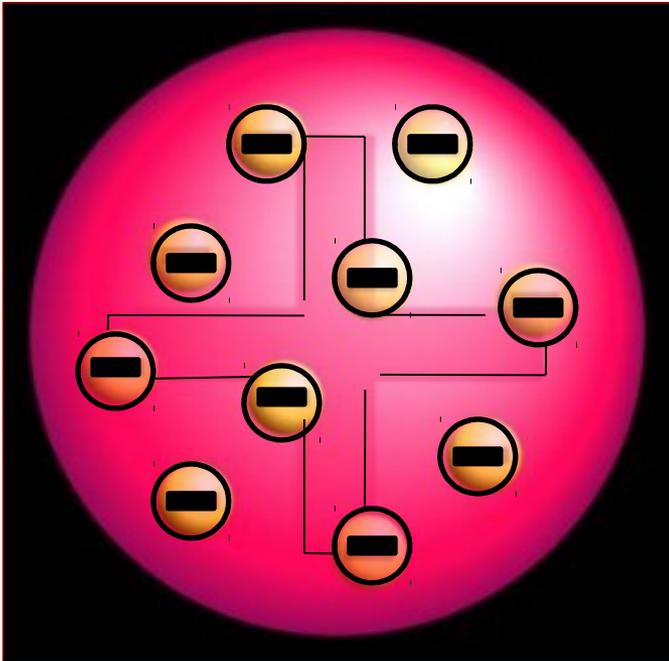
Em 1808, o cientista inglês John Dalton propôs uma explicação para a propriedade da matéria. Trata-se da primeira teoria atômica que dá as bases para o modelo atômico conhecido atualmente.

O [Modelo Atômico de Dalton](#) (modelo bola de bilhar) encerra a seguinte ideia:

- 1- Todas as substâncias são formadas de pequenas partículas chamadas átomos;
- 2- Os átomos de diferentes elementos têm diferentes propriedades, mas todos os átomos do mesmo elemento são exatamente iguais;
- 3- Os átomos não se alteram quando formam componentes químicos;
- 4- Os átomos são permanentes e indivisíveis, não podendo ser criados nem destruídos;
- 5- As reações químicas correspondem a uma reorganização de átomos.

Física Nuclear

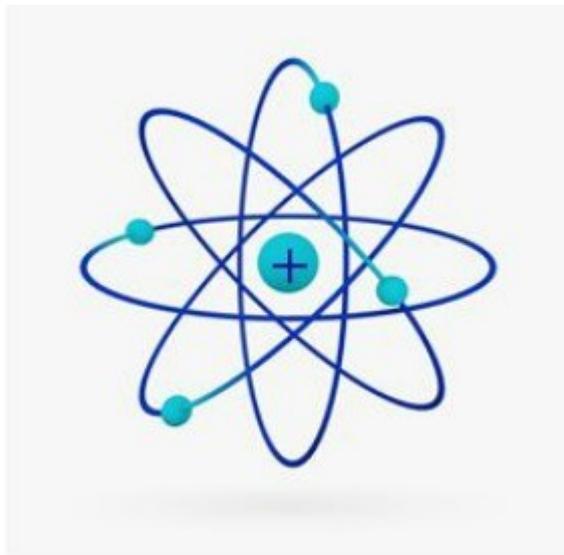
Modelo Atômico de Thomson:



O Modelo de Thomson foi o primeiro a admitir a **divisibilidade do átomo**. Pesquisando sobre raios catódicos, o físico inglês propôs o [Modelo Atômico de Thomson](#) (modelo pudim de passas). Ele demonstrou que esses raios podiam ser interpretados como sendo um feixe de partículas carregadas de energia elétrica negativa.

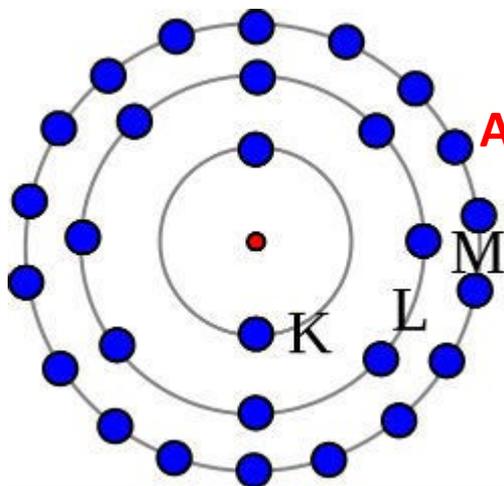
Física Nuclear

Modelo Atômico de Rutherford



Em 1911, o físico neozelandês Rutherford colocou uma folha de ouro bastante fina dentro de uma câmara metálica. Seu objetivo era analisar a trajetória de partículas alfa a partir do obstáculo criado pela folha de ouro.

O [Modelo Atômico de Rutherford](#) (modelo planetário) corresponde a um sistema planetário em miniatura, no qual os elétrons se movem em órbitas circulares, ao redor do núcleo.



A teoria do físico dinamarquês Niels Bohr estabeleceu que

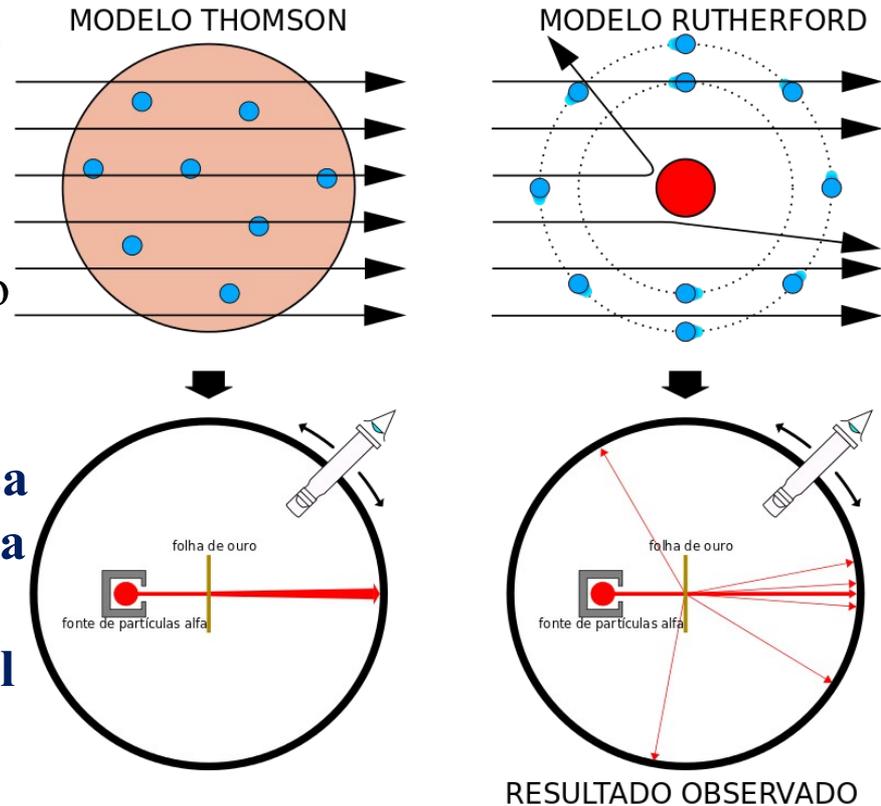
O átomo é incrivelmente pequeno, mesmo assim a maior parte do átomo é espaço vazio. O diâmetro do núcleo atômico é cerca de cem mil vezes menor que o átomo todo. Os elétrons giram tão depressa que parecem tomar todo o espaço.

Física Nuclear

Experimento de espalhamento de partículas Alfas

Rutherford sabia que certos elementos ditos **radioativos (gás radônio por exemplo)**, emitiam partículas α com energia de 5,5 MeV. A sua idéia era de fazê-las incidir sobre uma folha de ouro fina e observar seu espalhamento.

O resultado o surpreendeu: “ **Foi a coisa mais incrível que aconteceu em minha vida. É quase como se você desse um tiro de canhão em uma folha de papel e a bala ricocheteasse**”, disse ele.

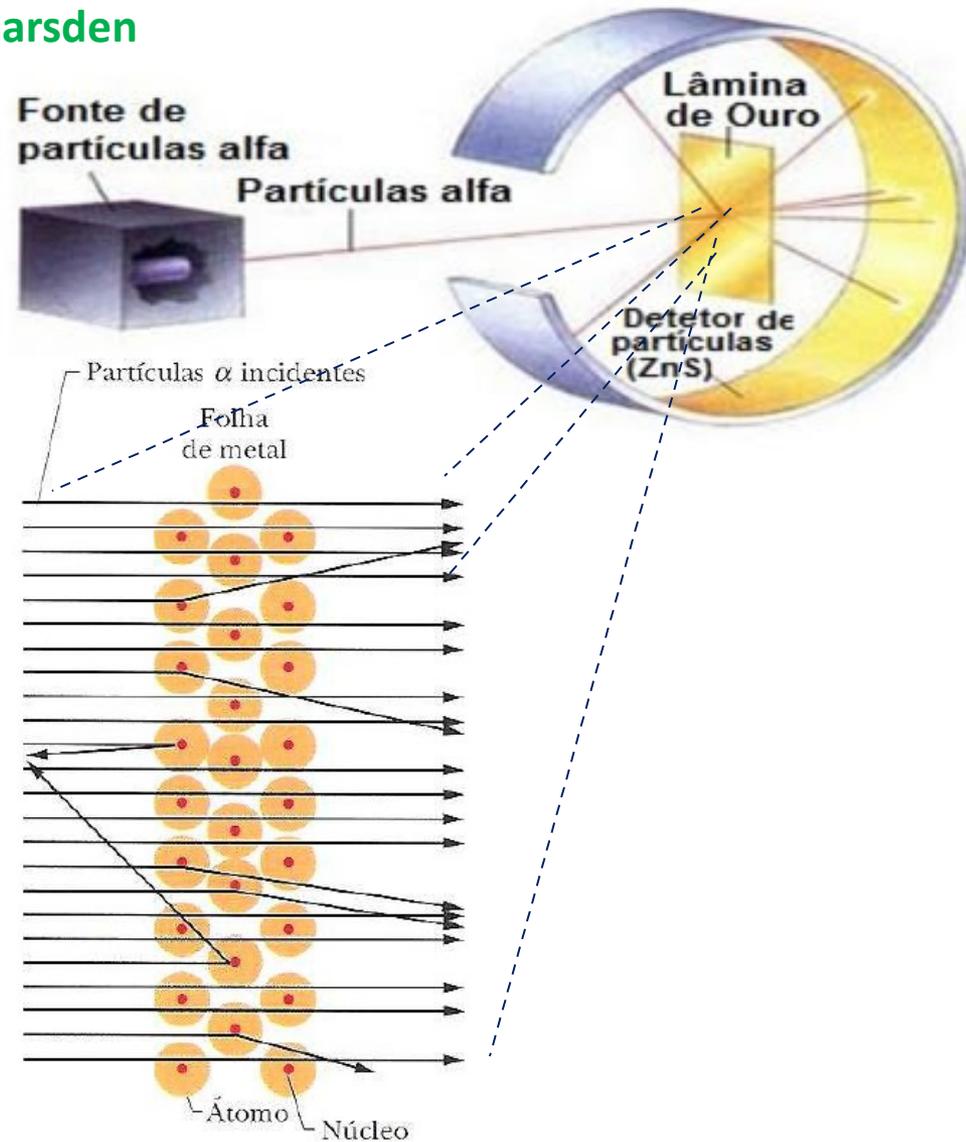
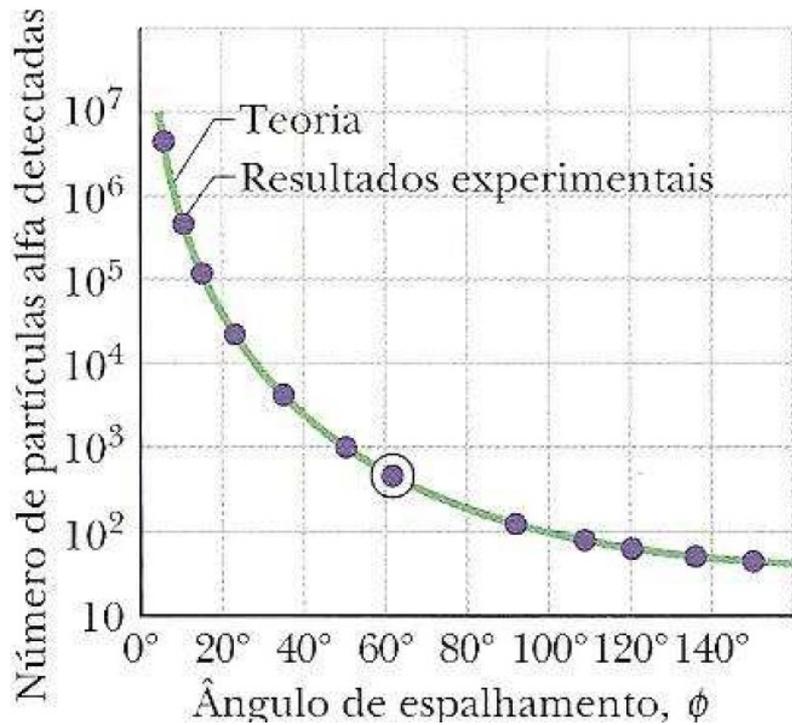


Massa da Partícula alfa é cerca de 7300 maior que a do elétron.

Por Kurzon - Obra do próprio, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=32422252>

Física Nuclear

Experimento de Hans Geiger- Ernest Marsden



Física Nuclear

Conclusões do experimento de espalhamento:

- ✓ Se o modelo de Thomson (“**pudim de passas**”, onde a carga positiva está espalhada em todo o volume do átomo) fosse válido seria como atirar em um saco cheio de bolas de gelo, e o desvio do projétil seria pequeno.
- ✓ Os elétrons não afetam as partículas alta, sendo ao contrário, espalhados pra todos os lados por ela (como uma nuvem de mosquitos atingidos por uma pedra).
- ✓ **Para sofrer uma deflexão maior que 90° teria que se chocar com uma grande massa concentrada numa região com diâmetro cerca de 10.000 vezes menor que o diâmetro do átomo.**
- ✓ O átomo é composto em sua maior parte por espaços vazios

Física Nuclear

Exemplo 1: Uma partícula com energia cinética $K = 5,3 \text{ MeV}$ está em rota de colisão com um núcleo do átomo de ouro. Qual é a distância de máxima aproximação?

Solução:

Considerando o modelo atômico de Rutherford, podemos pensar numa casca esférica condutora com uma carga $-Q$ distribuída em sua superfície e uma carga $+Q$ colocada no centro. (Consultando o apêndice, para o ouro (Au) $Q = 79e$ ($e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$)).

Fazendo a conservação de energia:

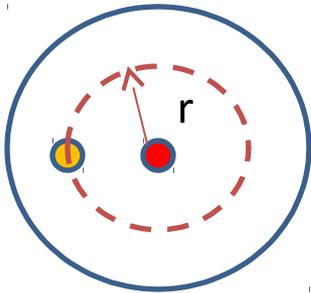
Antes: $E = K$

depois $E = K + U$



Física Nuclear

Exemplo 1: Uma partícula com energia cinética $K = 5,3 \text{ MeV}$ está em rota de colisão com um núcleo do átomo de ouro. Qual é a distância de máxima aproximação?



$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_\alpha q_{\text{Au}}}{r}$$

No ponto de retorno $K=0$

$$\Rightarrow U + K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_\alpha q_{\text{Au}}}{d} = K_0$$

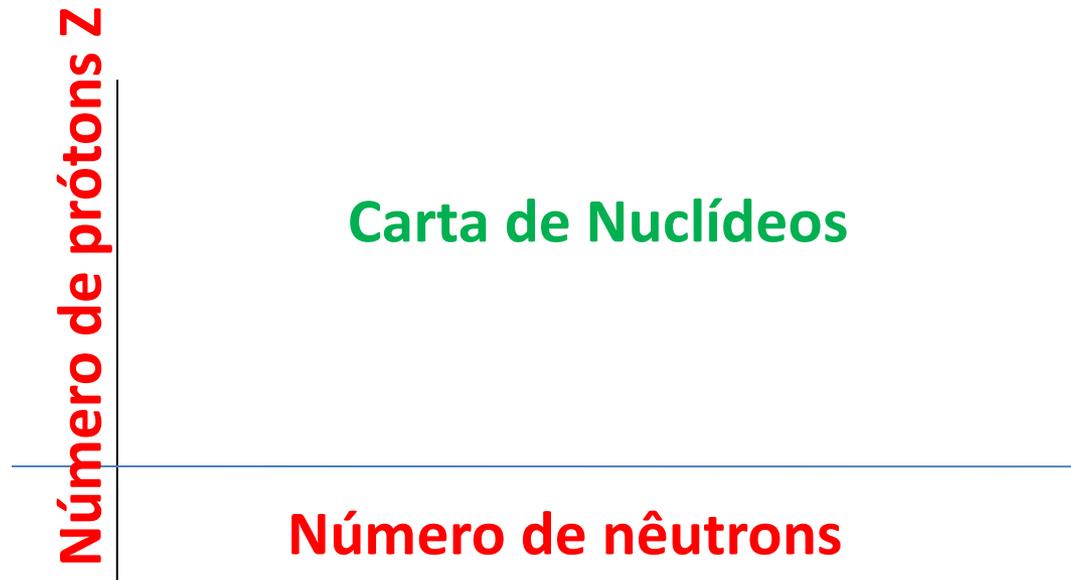
$$\therefore d = \frac{(2e)(79e)}{4\pi\epsilon_0 K_0} = \frac{158(1,60 \times 10^{-19} \text{ C})^2}{4\pi 8,85 \times 10^{-12} (5,3 \text{ MeV} \times 1,6 \times 10^{-15} \text{ J/MeV})} = 4,29 \times 10^{-14} \text{ m}$$

- ✓ O núcleo é composto de prótons e nêutrons.
- ✓ Tem Z prótons, portanto carga igual a $+Ze$.
- ✓ Tem N nêutrons.
- ✓ Tem número de massa $A = Z + N$
- ✓ Quando estamos interessados nas propriedades intrínsecas dos núcleos atômicos, eles são chamados muitas vezes de **nuclídeos**.
- ✓ Representação dos nuclídeos: A (símbolo elemento químico), por exemplo ^{197}Au (**ouro 197**), ^{14}C (**carbono 14**).
- ✓ Nuclídeos com o mesmo número de prótons Z e um número diferente de nêutrons são chamados **isótopos**.
- ✓ Nuclídeos com o mesmo número de massa A mas com diferente número de prótons são chamados **isóbaros**.
- ✓ Nuclídeos com o mesmo número de nêutrons N mas com diferente número de prótons são chamados **isótonos**.

Física Nuclear

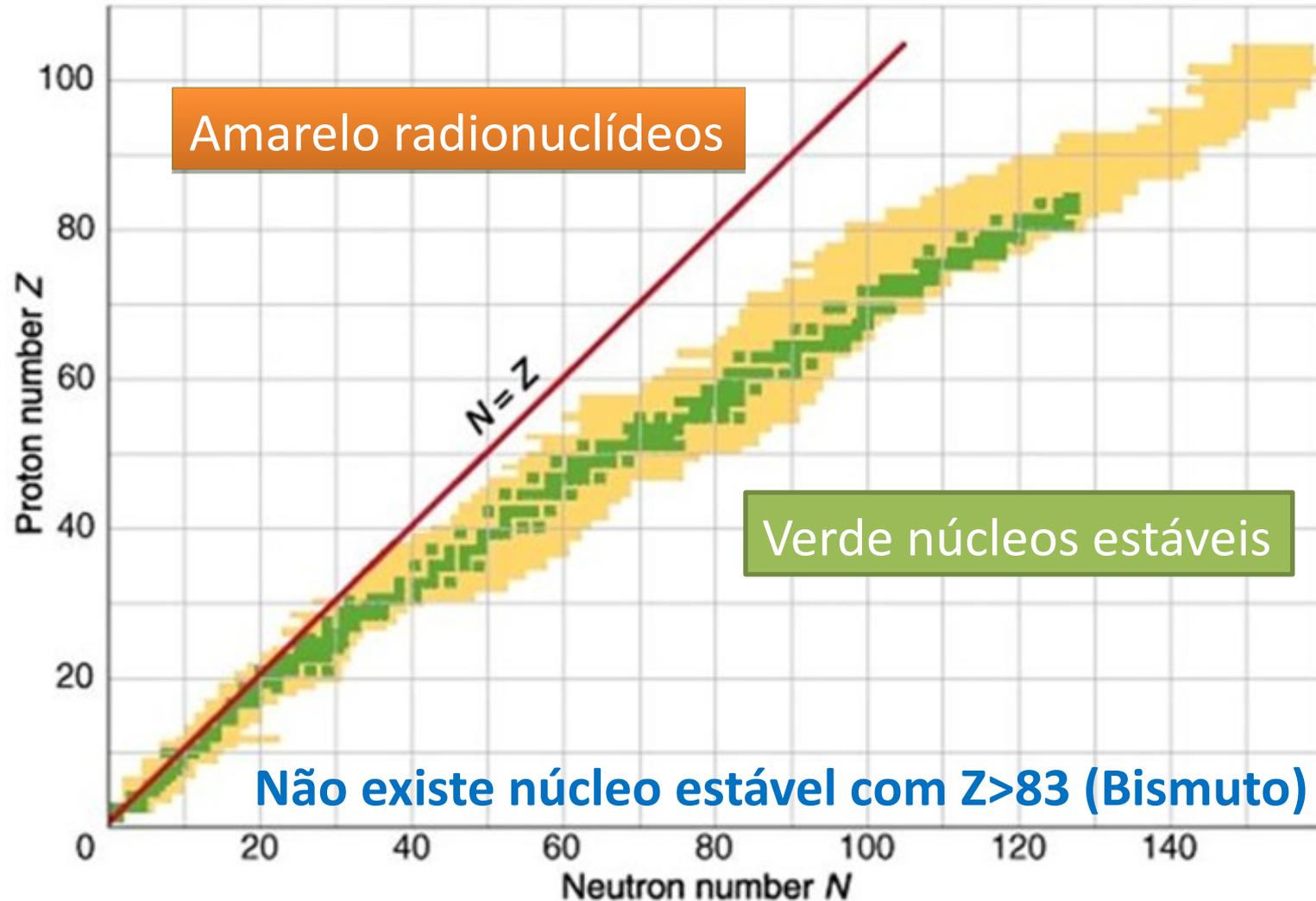
Classificação dos Nuclídeos:

As propriedades químicas dos átomos são determinadas pelo número atômico Z , que por sua vez determina a posição do elemento na tabela periódica. Contudo as propriedades nucleares dos isótopos de um elemento podem ser muito diferentes e desta forma, para classificar um nuclídeo a tabela periódica tem pouca valia. É de maior interesse para os físicos nucleares a **carta de nuclídeos** que os organiza por um par de coordenadas, uma para o número de prótons Z e outra para o número de nêutrons N . em uma



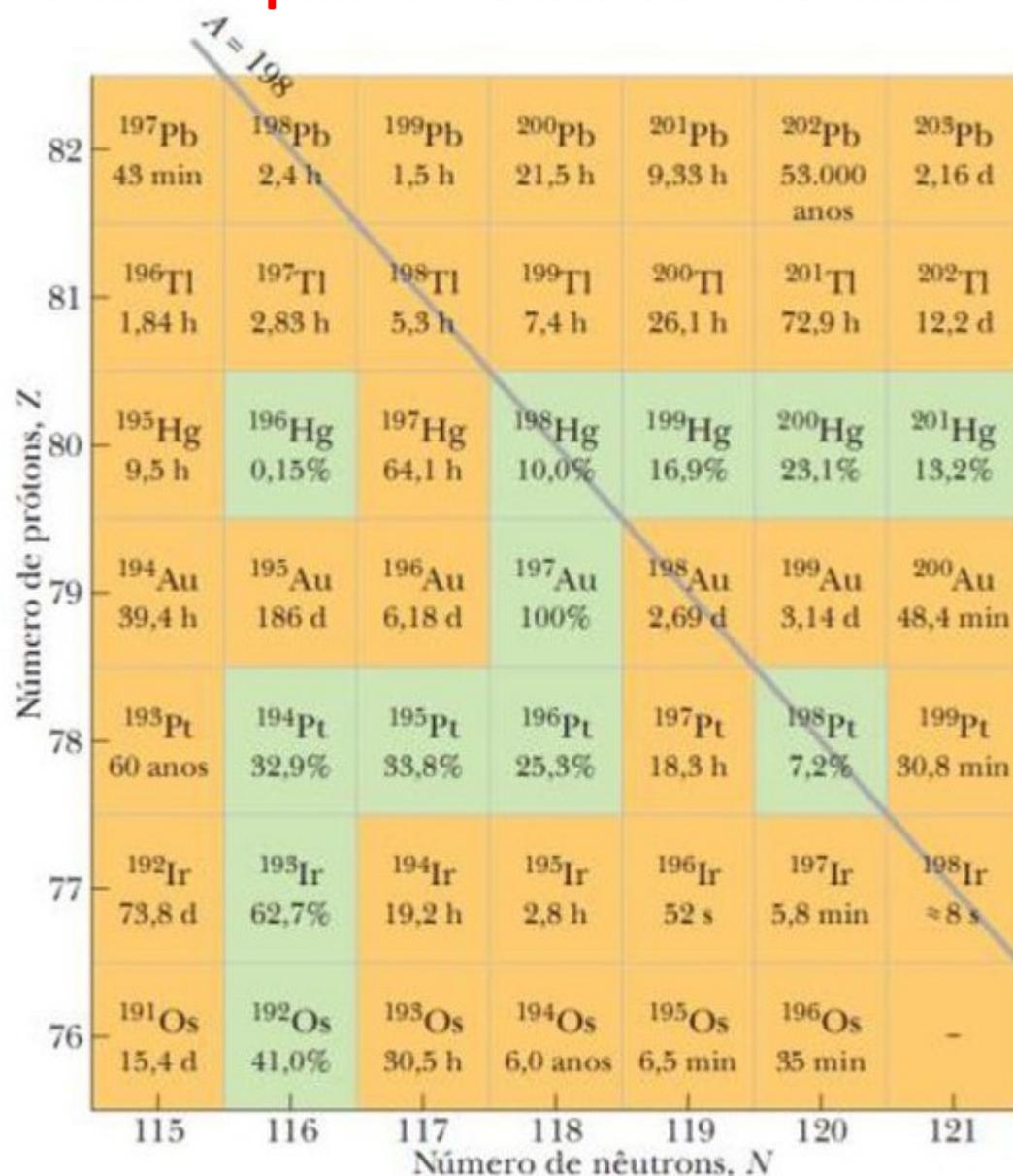
Física Nuclear

Carta de nuclídeos



Física Nuclear

Vista Ampliada – Carta de Nuclídeos



➤ Verde => nuclídeos estáveis.

➤ Abóbora – Nuclídeos instáveis.

➤ Superescrito – número de massa

➤ Número abaixo do símbolo químico

1- abundância relativa do isótopo

ou

2- Tempo de meia - vida

Física Nuclear

Raio dos núcleos

Apesar de não serem exatamente esféricos e tão pouco se aplicar aos halonuclídeos, núclídeos ricos em nêutrons produzidos m laboratório, uma expressão útil para determinação do raio dos núcleos é dada por:

$$r = r_0 A^{1/3}, \quad r_0 = 1,2 \text{ fm} = 1,2 \times 10^{-15} \text{ m}$$

Unidades de raio nucleares

$$1 \text{ fentômetro} = 1 \text{ fermi} = 1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$$

Física Nuclear

Massa dos núcleos -

- ✓ São expressas em unidades de massa atômica (u)
- ✓ $1 \text{ u} = 1/12$ da massa do carbono 12 (^{12}C)
- ✓ $1 \text{ u} = 1,660\,538\,86 \times 10^{-27} \text{ Kg}$

Exercício: Usando a relação de Einstein massa-energia, calcule a quantidade de energia em MeV correspondente a uma unidade de massa atômica.

Solução: Como a relação de massa – energia é dada por $E=mc^2$

$$E = 1,66053886 \times 10^{-27} \text{ Kg} \times (299\,792\,458 \text{ m / s})^2$$

$$E = 1,4924178999187314039534904 \times 10^{-10} \text{ J}$$

$$E = 1,4924178999187314039534904 \times 10^{-10} / 1,60217662 \times 10^{-19} \text{ eV}$$

$$E = 931,493994 \text{ MeV}$$

Física Nuclear

Exercício:

Com os dados da tabela abaixo, calcule a massa atômica para **todos** os elementos da tabela do slide seguinte, baseando-se no número de elétrons, prótons e nêutrons aí expostos.

Massa do elétron em repouso (m_{oe})	$9,109\ 389 \times 10^{-31}$ kg
Massa do próton em repouso (m_{op})	$1,672\ 623 \times 10^{-27}$ kg
Massa do neutron em repouso (m_{on})	$1,674\ 928 \times 10^{-27}$ kg
Massa do átomo de hidrogênio (m_H)	$1,673\ 4 \times 10^{-27}$ kg
Massa atômica do neutron	1,008 664 904 u
Massa atômica do próton	1,007 276 470 u
Massa atômica do dêuteron	2,013 553 214 u
Relação m_{op} / m_{oe}	1836,152 701

Física Nuclear

Propriedades de Alguns Nuclídeos

Nuclídeo	Z	N	A	Abundância/ Meia-vida ^a	Massa ^b (u)	Spin ^c	Energia de Ligação (MeV/núcleon)
¹ H	1	0	1	99,985%	1,007 825	$\frac{1}{2}$	—
⁷ Li	3	4	7	92,5%	7,016 004	$\frac{3}{2}$	5,60
³¹ P	15	16	31	100%	30,973 762	$\frac{1}{2}$	8,48
⁸⁴ Kr	36	48	84	57,0%	83,911 507	0	8,72
¹²⁰ Sn	50	70	120	32,4%	119,902 197	0	8,51
¹⁵⁷ Gd	64	93	157	15,7%	156,923 957	$\frac{3}{2}$	8,21
¹⁹⁷ Au	79	118	197	100%	196,966 552	$\frac{3}{2}$	7,91
²²⁷ Ac	89	138	227	21,8 anos	227,027 747	$\frac{3}{2}$	7,65
²³⁹ Pu	94	145	239	24 100 anos	239,052 157	$\frac{1}{2}$	7,56

Solução: Para o Hidrogênio: $\text{Massa} = 1m_e + 1m_p = (1 + 1/1836) 1,007\,276\,470 = 1,007825u$

Para Estanho (Sn),

$$\text{Massa} = 50(m_e + m_p) + 70m_n = 50(1 + 1/1836) 1,007\,276\,470 + 70 \times 1,008\,664\,904 = 120,9978u$$

Física Nuclear

A diferença de massa é explicada como sendo a energia necessária para se manter tantos prótons juntos na pequena região nuclear. Como é sabido os prótons tem carga positiva e portanto se repelem mutuamente. Em termos matemático, a energia de ligação é dada por:

$$E_{\text{ligação}} / \text{núcleon} = \Delta E_{\text{ln}} = \frac{\Delta E}{A} = \frac{(\sum_i m_i - M)c^2}{A}$$

Onde m_i é a massa de todos os constituintes do átomo individualmente e M é a massa atômica medida experimentalmente. A energia de ligação por núcleon é dada por:

$$E_{\text{ligação}} / \text{núcleon} = \Delta E_{\text{ln}} = \frac{\Delta E}{A} = \frac{(\sum_i m_i - M)c^2}{A}$$

Física Nuclear

Exercícios para casa:

1- Mostre (calcule) A energia de ligação por núcleon do Estanho.

2- Considerando que todos os nuclídeos são feitos por uma mistura de nêutrons e prótons conhecida como matéria nuclear, quanto vale a massa específica nuclear (massa da matéria nuclear dividida pelo volume do nuclídeo)?