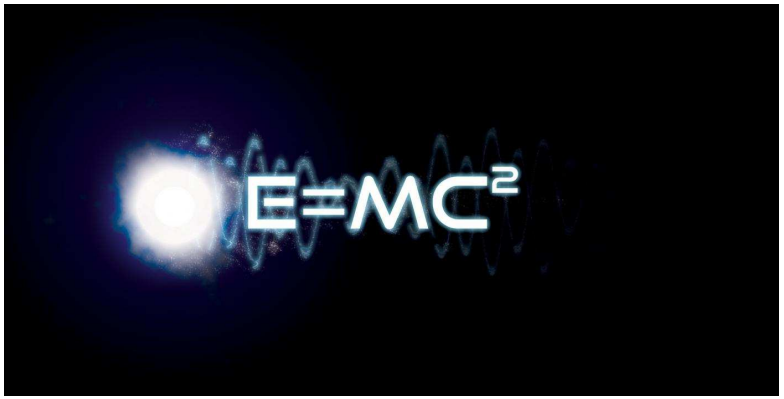
CAPÍTULO 30: Física Nuclear

- **Algumas Propriedades dos Núcleos**
  - **Carga e Massa**
  - **O Tamanho dos Núcleos**
  - **Estabilidade Nuclear**

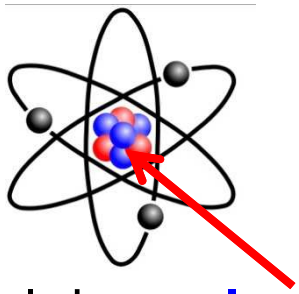


- **Energia de Ligação**
- Radioatividade
- Os Processos de Decaimento Radioativo
  - O Decaimento Alfa, Beta e Gama
- Datação pelo Carbono 14
- Reações Nucleares

Lista de exercícios sugerida – Capítulo 30:

Exs.: 3, 4, 5, 8, 11, 19, 41, 42, 47, 51, 53, 55, 56, 58, 59

Uma **espécie nuclear** pode ser representada por $^{A}_{Z}X$



onde **A=Z+N** é o **número da massa atômica** ou número total de **nucleons** que é a **soma do número de prótons (Z) mais o número de nêutrons (N).**

Z é o **número atômico** ou o número total de prótons (carga nuclear);

N é o número de **nêutrons:**

Elementos com o **mesmo número atômico (Z),** mas com **diferentes números de nêutrons (N) e consequentemente de massa (A)** são conhecidos como **isótopos**.

$^{1}_{1}H$ Hidrogênio

$^{2}_{1}H$ Deutério

$^{3}_{1}H$ Trítio

$^{16}_{8}O$ $^{18}_{8}O$

Radio-Isótopo: Isótopo Radiativo

$^{60}_{27}Co$ T=5.26 anos
1 neutron extra

$^{59}_{27}Co$

Isótopo estável do Cobalto

Período	Grupo 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H Hidrógeno																	2 He Helio
2	3 Li Litio	4 Be Berilio											5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrógeno	8 O Oxígeno	9 F Flúor	10 Ne Neón
3	11 Na Sodio	12 Mg Magnesio											13 Al Aluminio	14 Si Silicio	15 P Fósforo	16 S Azufre	17 Cl Cloro	18 Ar Argón
4	19 K Potasio	20 Ca Calcio	21 Sc Escandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganeso	26 Fe Hierro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Cinc	31 Ga Galio	32 Ge Germanio	33 As Arsénico	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Criptón
5	37 Rb Rubidio	38 Sr Estroncio	39 Y Itrio	40 Zr Circonio	41 Nb Niobio	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecnecio	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Paladio	47 Ag Plata	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Estaño	51 Sb Antimonio	52 Te Teluro	53 I Yodo	54 Xe Xenón
6	55 Cs Cesio	56 Ba Bario	57 La Lantano	72 Hf Hafnio	73 Ta Tántalo	74 W Wolframio	75 Re Renio	76 Os Osmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Talio	82 Pb Plomo	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio	85 At Astato	86 Rn Radón
7	87 Fr Francio	88 Ra Radio	89 Ac Actinio	104 Rf Rutherfordio	105 Db Dubnio	106 Sg Seaborgio	107 Bh Bohrio	108 Hs Hassio	109 Mt Meitnerio	110 Uun Ununnilio	111 Uuu Unununio	112 Uub Ununbio		114 Uuq Ununquadio		116 Uuh Ununhexio		118 Uuo Ununoctio

Lantánidos	6	58 Ce Cerio	59 Pr Praseodimio	60 Nd Neodimio	61 Pm Promecio	62 Sm Samario	63 Eu Europio	64 Gd Gadolinio	65 Tb Terbio	66 Dy Disprosio	67 Ho Holmio	68 Er Erbio	69 Tm Tulio	70 Yb Iterbio	71 Lu Lutecio
Actínidos	7	90 Th Torio	91 Pa Protactinio	92 U Uranio	93 Np Neptunio	94 Pu Plutonio	95 Am Americio	96 Cm Curio	97 Bk Berkelio	98 Cf Californio	99 Es Einsteinio	100 Fm Fermio	101 Md Mendelevio	102 No Nobelio	103 Lr Lawrencio

Notas:

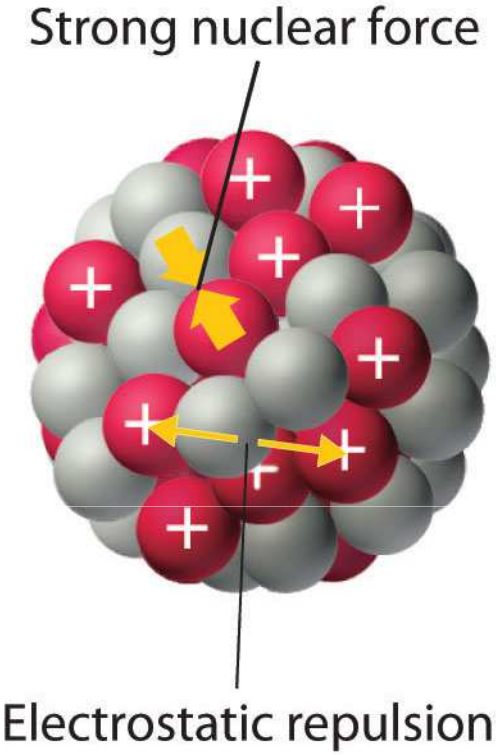
Metales | Metaloides | No metales | Gases nobles

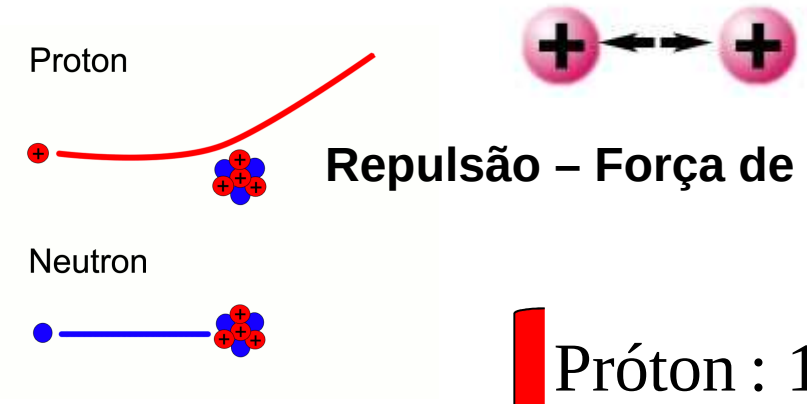
(1) Base en peso atómico carbono de 12 ( ) indica el más estable o el de isótopo más conocido.

O **próton** tem uma **única carga positiva "+e"** e o **elétron** tem uma **única carga negativa "-e"** onde: $e = 1.6 \times 10^{-19} C$

O **nêutron não tem carga elétrica**, ou seja, é **eletricamente neutro**.

Como o nêutron não tem carga, não interage **eletricamente** com outras partículas e é difícil de ser detectado.





Repulsão – Força de Coulomb

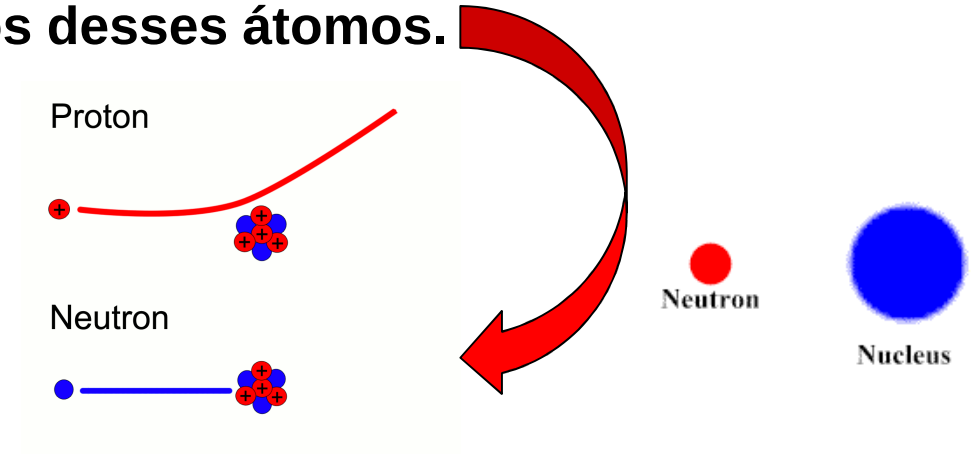
MASSA

$$\text{Próton}: 1.6726 \times 10^{-27} Kg \rightarrow \text{u} = 1.007276$$

$$\text{Nêutron}: 1.6750 \times 10^{-27} Kg \rightarrow \text{u} = 1.008665$$

$$\text{Elétron}: 9.109 \times 10^{-31} Kg \rightarrow \text{u} = 5.486 \times 10^{-4}$$

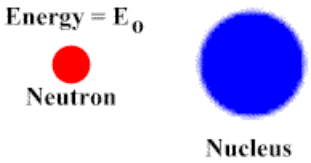
Os **nêutrons** são **partículas sem carga elétrica** e portanto **não interagem com elétrons** atômicos na matéria que atravessam, **mas interagem com os núcleos desses átomos.**



captura de nêutrons

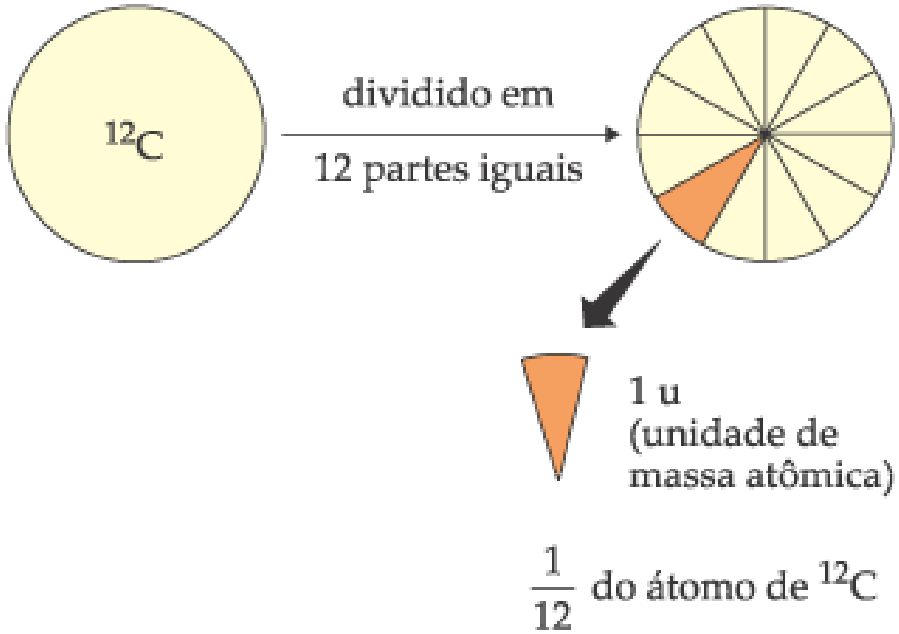
A **força nuclear**, que leva a essas interações, é de **muito curto alcance**, o que significa que **os nêutrons têm que passar muito perto de um núcleo** para que uma interação ocorra.

Espalhamento inelástico de nêutrons



Devido ao **pequeno tamanho do núcleo** em relação ao átomo, os **nêutrons têm uma baixa probabilidade de interação**, e por isso têm **forte poder de penetração na matéria**.

A **unidade de massa atômica**, é uma **unidade de medida de massa utilizada para expressar a massa de partículas atômicas** e é definida como **1/12 da massa de um átomo de carbono-12** em seu estado fundamental.



A **massa atômica é expressa em "u"** e indica quantas vezes a massa de um átomo é maior que 1/12 da massa do átomo de carbono (A =12).

Isso equivale a estabelecer o valor 12u como sendo a massa de um átomo de carbono ${}^{12}_{6}C$ (A=12).

$$1u = 1.660559 \times 10^{-27}\, Kg$$

Dado o valor, em kilogramas, de **uma unidade de massa atômica (1u)**, calcule a massa, em kilogramas, de 1 átomo de carbono (12u) e com esse valor, calcule o número de átomos necessários para obter 12g de carbono-12.

$$1u = 1.660559 \times 10^{-27} Kg$$

Dado o valor, em kilogramas, de uma unidade de massa atômica, calcule a massa, em kilogramas, de 1 átomo de carbono (12u) e com esse valor, calcule o número de átomos necessários para obter 12g de carbono-12.

$$1u = 1.660559 \times 10^{-27} Kg$$

$$12u = 12 \times 1.66 \times 10^{-27} Kg = 19.92 \times 10^{-27} Kg \approx 1.9927 \times 10^{-26} Kg$$

$$1.9927 \times 10^{-26} Kg \times \boxed{6.022 \times 10^{23}} = 12 \times 10^{-3} Kg = 12g \text{ de carbono-12}$$

$$12g \text{ de } {}^{12}C = 6{,}022 \cdot 10^{23} \text{ átomos de Carbono}$$

1 Mol é definido a partir da quantidade de átomos contidos em 12 gramas de carbono-12.

1 Mol de qualquer substância (átomos, moléculas) equivale a:

$$6{,}022 \cdot 10^{23} \text{ átomos ou moléculas de dita substância}$$

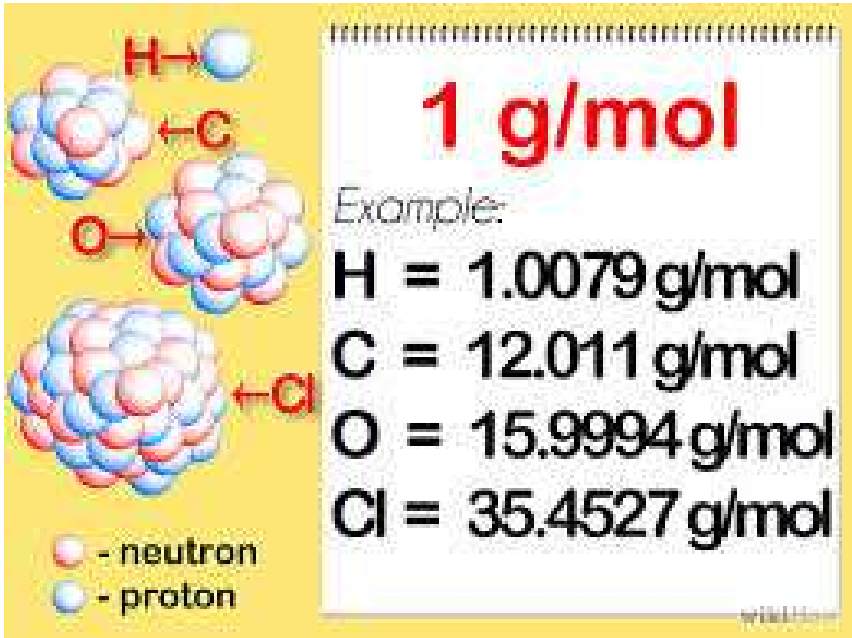
Em um mol de água temos $6{,}022\times10^{23}$ moléculas de H_2O,

ao mesmo tempo, temos, em um mol de água:

$2 \times 6{,}022\times10^{23}$ átomos de H
(ou seja, 2 moles de átomos de hidrógeno)

e

$6{,}022\times10^{23}$ átomos de O (ou seja 1 mol de átomos de oxigênio).



$$1mol \cdot 1u =$$

$$1.660559\times10^{-27}\,Kg \times 6.022\times10^{23} =$$

$$1mol \cdot 1u = 1g \Rightarrow 1u = \frac{1g}{mol}$$

$$16u \cdot 1mol =$$

$$16\times1.660559\times10^{-27}(10^3)g \times 6.022\times10^{23} =$$

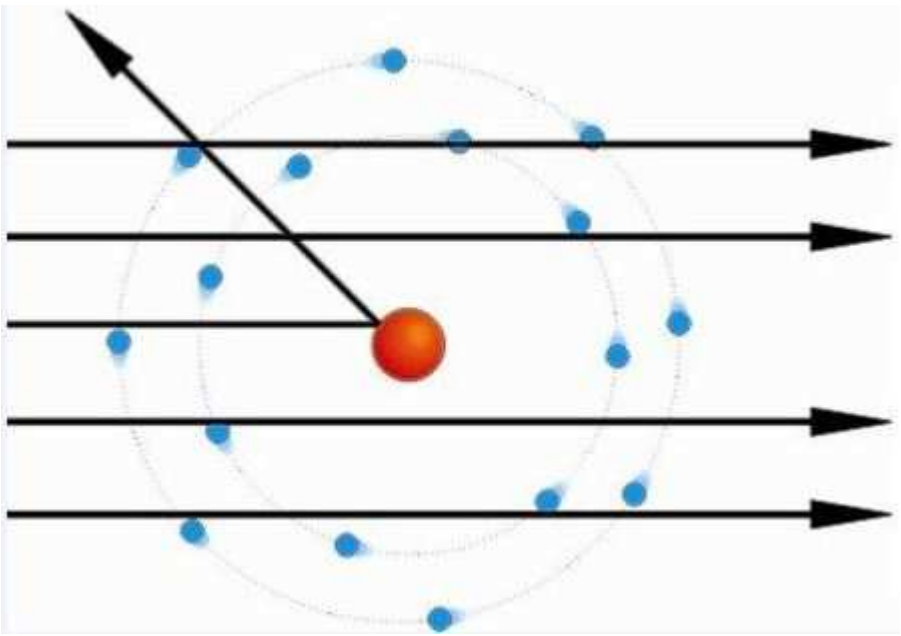
$$15.999g \;\text{ ou }\; 16\text{u} = 15.999\text{g/mol}$$

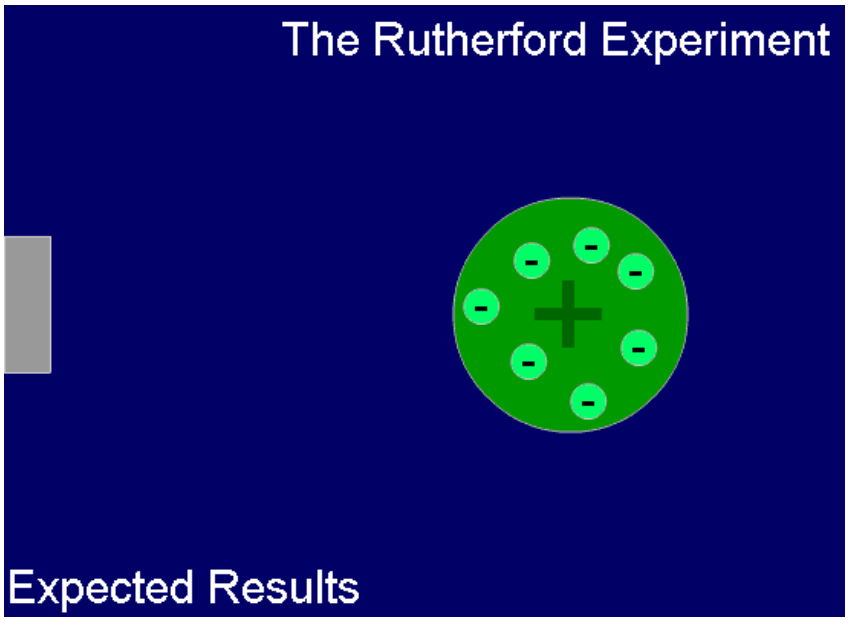
O Tamanho dos Núcleos

(a) Técnica de Rutherford para observar o espalhamento de partículas alfa por um alvo:

- A maioria das partículas atravessava a película (alvo) sem interação (como se estivesse percorrendo o vácuo)

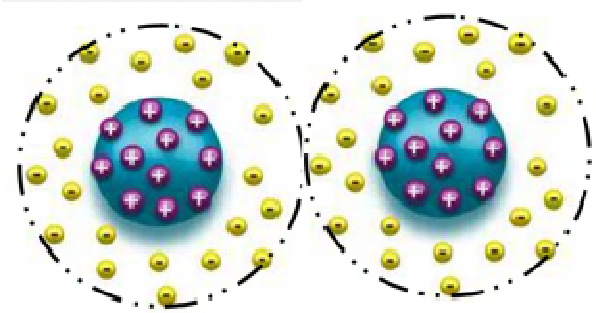
- Partículas eram desviadas a distintos ângulos,
  (incluindo ângulos muito grandes (~180º)).

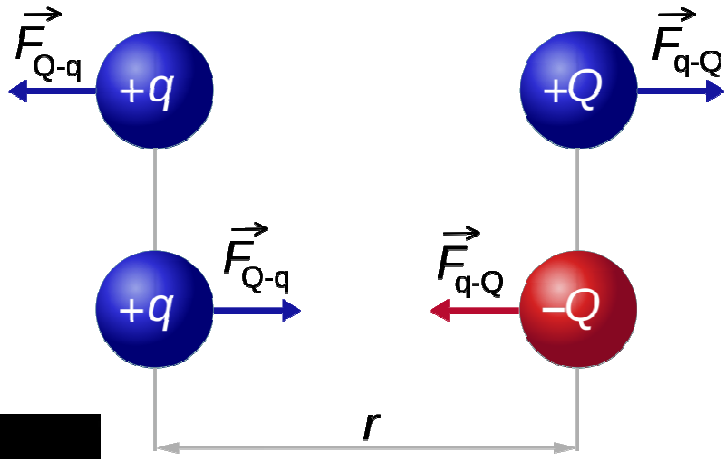




O Tamanho dos Núcleos

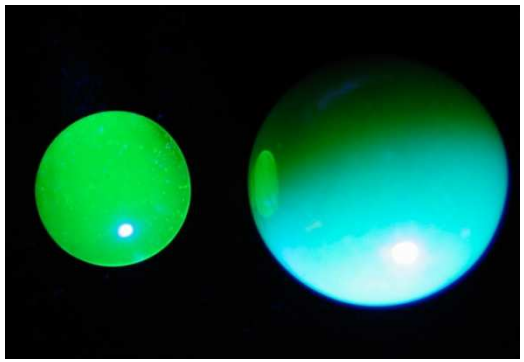
Rutherford encontrou uma expressão para a **distância mínima de aproximação** de uma partícula alfa incidindo contra um núcleo antes de se afastar do núcleo devido à **repulsão Coulombina**.





$$E_C\left({}^4_2He\right)=U_p\left({}^4_2He-{}^{197}_{79}Au\right)$$

$$\frac{1}{2}mv^2=k_e\cdot\frac{q_1q_2}{r}$$



$$|\vec{F}_{Q\text{-}q}|=|\vec{F}_{q\text{-}Q}|=k\,\frac{|q\times Q|}{r^2}$$

Em uma **colisão frontal**, a **energia cinética da partícula alfa incidente** é convertida completamente em **energia potencial elétrica** quando a partícula está momentaneamente parada.

O Tamanho dos Núcleos

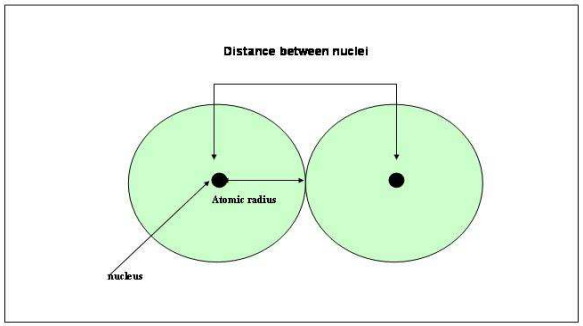
Igualando a energia cinética inicial da partícula alfa (Z=2) com a energia potencial elétrica do sistema quando a partícula alfa é parada temos:

$$\frac{1}{2}mv^2 = k_e \cdot \frac{q_1 q_2}{r} = k_e \cdot \frac{(2e)(Ze)}{d}$$

onde **"d" é a distância de maior aproximação**
Z é o número atômico do núcleo do alvo
e usamos a expressão não relativística para a energia cinética, pois as velocidades das partículas alfa vindas do decaimento radioativo são pequenas se comparadas com "c".

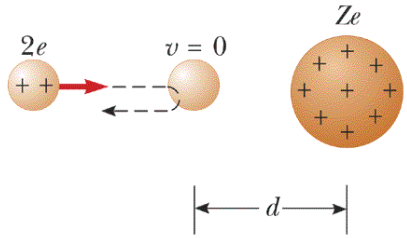
Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 30.1

Resolvendo esta equação para "d" encontramos:



$$d = \frac{4k_e Ze^2}{mv^2}$$

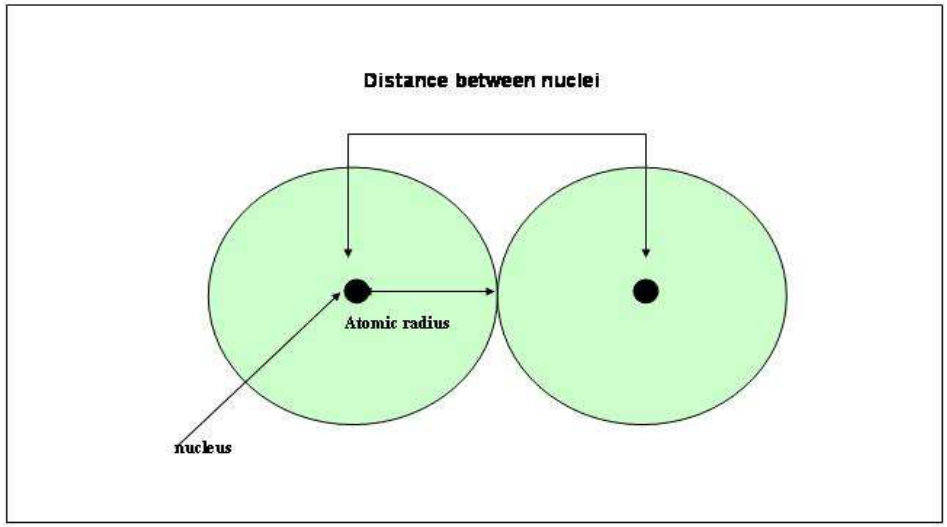
$$k_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \approx 8.99\times10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$



Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

Segundo a fórmula de Rutherford, conhecendo que a energia cinética de uma partícula alfa é da ordem de 5.5 MeV, estime qual seria a distância mínima de aproximação entre uma partícula alfa (A=4) e um núcleo de ouro (Z=79).

$$d = \frac{4k_e Z e^2}{m\mathrm{v}^2}$$



$$k_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \approx 8.99\times10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

$$Z\left({}^{197}Au\right) = 79$$

$$e = 1.6\times10^{-19} C$$

$$m = 4u$$

$$1u = 1.660559\times10^{-27} Kg$$

$$E_C\left({}^4_2He\right) = 5.5MeV = \frac{1}{2}m\mathrm{v}^2$$

$$1J \equiv \frac{Kg\cdot m^2}{s^2}$$

$$1J \rightarrow 6.24\times10^{18} eV$$

$$E = \frac{1}{2} m \mathrm{v}^2 \Rightarrow 5.5 MeV = \frac{1}{2}\left(4 \times 1.66 \times 10^{-27}\right) \cdot \mathrm{v}^2 \Rightarrow \mathrm{v}^2 = \frac{5.5 MeV}{2 \times 1.66 \times 10^{-27} Kg}$$

$$1J \rightarrow 6.24 \times 10^{18} eV$$

$$X \rightarrow 5.5 \times 10^{6} eV \Rightarrow X = \frac{5.5 \times 10^{6} JeV}{6.24 \times 10^{18} eV} \approx 0.9 \times 10^{-12} J \quad \text{ou} \quad \frac{Kgm^2}{s^2}$$

$$0.9 \times 10^{-12}\left(\frac{Kgm^2}{s^2}\right) = \frac{1}{2} \times (4 \times 1.66 \times 10^{-27} Kg) \cdot \left(\mathrm{v}^2\right)$$

$$\mathrm{v}^2 = \frac{0.9 \times 10^{-12}\left(\frac{kgm^2}{s^2}\right)}{2 \times 1.66 \times 10^{-27} Kg} \approx 2.7 \times 10^{14} \frac{m^2}{s^2} \Rightarrow \mathrm{v} \approx 1.64 \times 10^{7} \frac{m}{s}$$

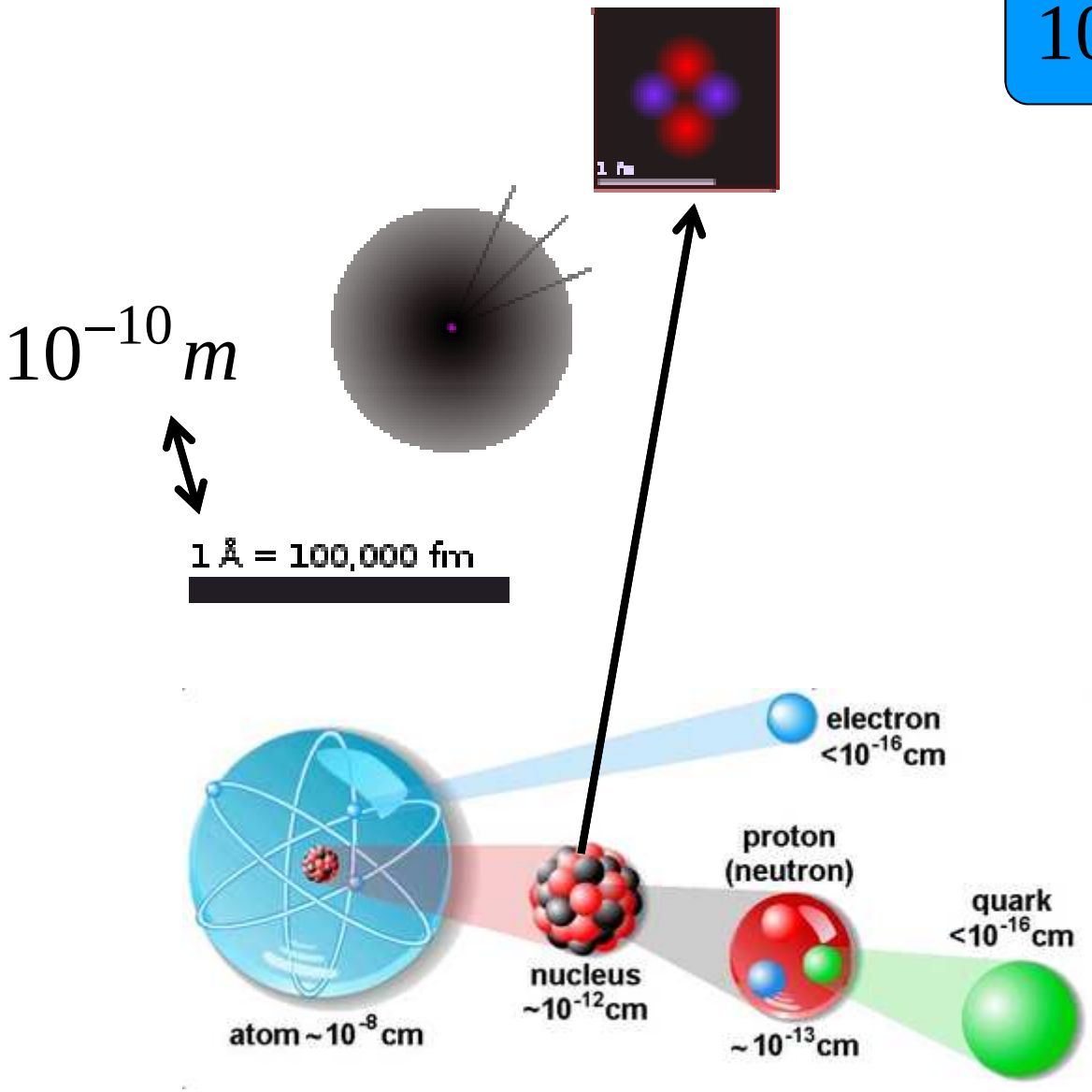
$$d = \frac{4 k_e Z e^2}{m \mathrm{v}^2}$$

$$k_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \approx 8.99 \times 10^{9} \frac{Nm^2}{C^2}; \quad Z\left({}^{197}Au\right) = 79; \quad e = 1.6 \times 10^{-19} C; \quad m = 4 \times 1.66 \times 10^{-27} Kg$$

$$d = \frac{4 \times 8.99 \times 10^{9}\left(\frac{\left(Kgm/s^2\right) m^2}{C^2}\right) \times 79 \times \left(1.6 \times 10^{-19} C\right)^2}{4 \times 1.66 \times 10^{-27} Kg \times \left(1.64 \times 10^{7} \frac{m}{s}\right)^2} \approx 4{,}07 \times 10^{-14} m$$

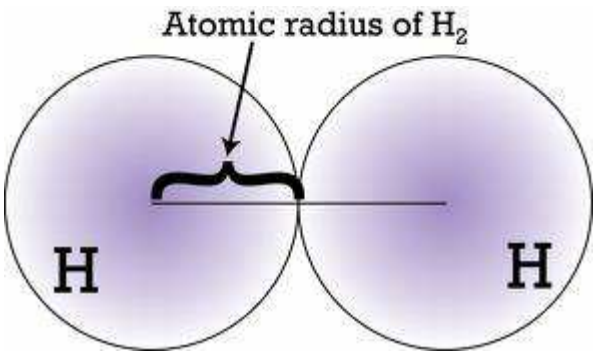
A partir desses resultados, Rutherford concluiu que a carga positiva em um átomo estava concentrada em uma pequena esfera chamada de núcleo, cujo raio era da ordem de (e inclusive menor que):

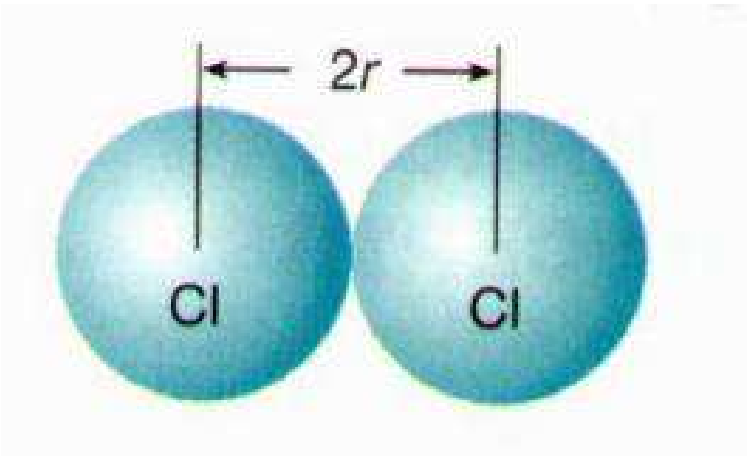
$$10^{-12} cm \text{ ou } 10^{-14} m$$



As experiências, mostram que a maioria dos núcleos têm simetria aproximadamente esférica, com um raio médio dado por:

$$r = r_0 A^{1/3} \quad \text{onde} \quad r_0 = 1.2\, fm \quad \left(1\text{fm} \equiv 10^{-15} m\right)$$

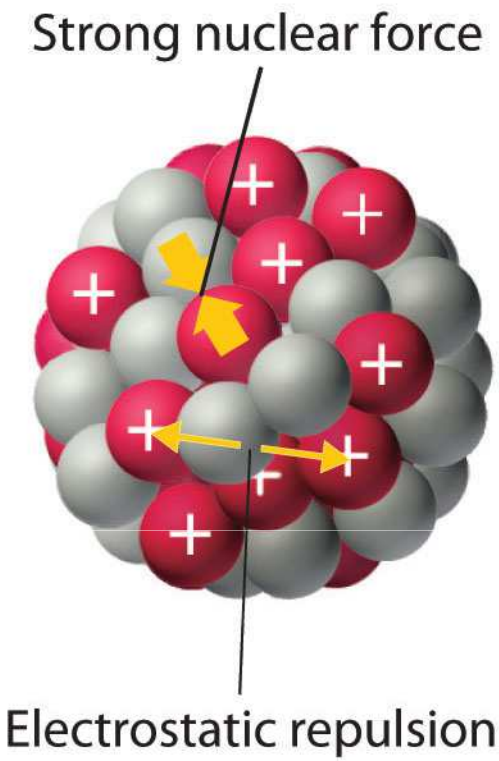




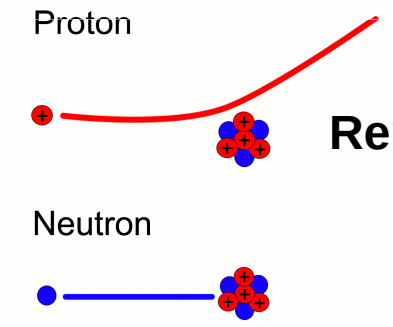
O próton tem uma única carga positiva “+e” e o elétron tem uma única carga negativa “-e” onde:

$$e = 1.6 \times 10^{-19} C$$

O **nêutron não tem carga elétrica**, ou seja, é **eletricamente neutro**.



Como o nêutron não tem carga,
não interage eletricamente com outras partículas e é difícil de ser detectado (e é altamente ionizante).



Repulsão – Força de Coulomb

$$\text{Próton}: 1.6726 \times 10^{-27} Kg \rightarrow \text{u} = 1.007276 \rightarrow 938{,}28 \text{MeV/c}^2$$

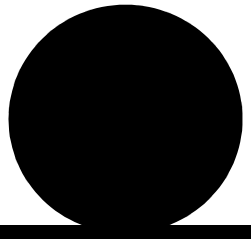
$$\text{Nêutron}: 1.6750 \times 10^{-27} Kg \rightarrow \text{u} = 1.008665 \rightarrow 939{,}57 \text{MeV/c}^2$$

$$\text{Elétron}: 9.109 \times 10^{-31} Kg \rightarrow \text{u} = 5.486 \times 10^{-4} \rightarrow 0.511 \text{MeV/c}^2$$

Qual é a energia cinética, potencial e total do sistema?

$$\mathrm{v} = 0$$

$$\mathrm{h} = 0$$



$$E_C = \frac{1}{2} m \mathrm{v}^2$$

U=mgh

E=U+T

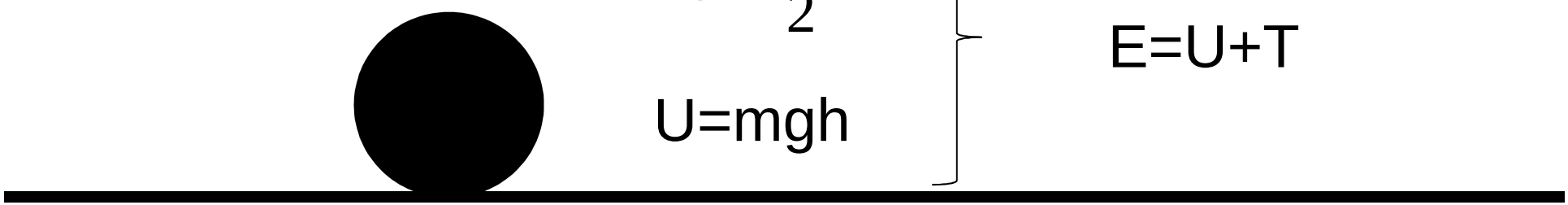
Na Mecânica Clássica

um corpo em repouso pode ter energia mecânica igual a zero.

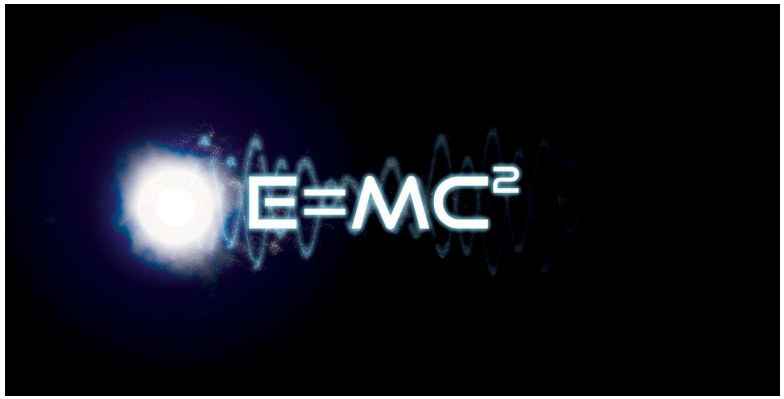
$$\mathrm{v} = 0$$

$$\mathrm{h} = 0$$

$$\left.\begin{array}{l} E_C = \dfrac{1}{2} m v^2 \\ \\ \mathrm{U=mgh} \end{array}\right\} \quad \mathrm{E=U+T}$$



A expressão



significa que <u>uma certa quantidade de massa implica uma quantidade de energia mesmo que a massa esteja em repouso</u>.

Se trata de um **<u>conceito ausente na Mecânica Clássica</u>**.

Na **<u>Mecânica Quântica</u>** a energia de repouso de um corpo é o produto da sua massa pelo fator de conversão **(velocidade da luz ao quadrado).**

ou, uma quantidade de energia de um objeto em repouso por unidade da sua própria massa é equivalente à velocidade da luz ao quadrado.

$$\frac{E}{m} = c^2 \quad \text{ou} \quad m = \frac{E}{c^2}\left(\frac{MeV}{c^2}\right)$$

$$E = mc^2 \Rightarrow \frac{E}{m} = c^2 \quad \text{ou} \quad m = \frac{E}{c^2}\left(\frac{MeV}{c^2}\right)$$

Usando esta equivalência podemos representar a massa em termos da unidade MeV/c^2 onde $1u = 931.494\frac{MeV}{c^2} \Rightarrow c^2 = 931.494\frac{MeV}{u}$

Mostre que $E_R = mc^2 = 931.494MeV$

$$1u = \left(1.660559\times10^{-27}Kg\right) \quad \text{e} \quad c^2 = \left(2.99792\times10^{8}\,m/s\right)^2$$

$$E_R = Kg\frac{m^2}{s^2} \quad \text{ou} \quad (\text{J})$$

$$1J \rightarrow 6.24\times10^{18}eV$$

$$E = mc^2 \Rightarrow \frac{E}{m} = c^2 \quad \text{ou} \quad m = \frac{E}{c^2}\left(\frac{MeV}{c^2}\right)$$

Usando esta equivalência podemos representar a massa em termos da unidade MeV/c^2 onde $1u = 931.494\frac{MeV}{c^2} \Rightarrow c^2 = 931.494\frac{MeV}{u}$

$$E_R = mc^2 = \left(1.660559\times10^{-27}\,Kg\right)\left(2.99792\times10^{8}\,m/s\right)^2 =$$

$$E_R = 1.49\times10^{-10}\,Kg\frac{m^2}{s^2} \quad \text{ou} \quad (\text{J})$$

$$1J \rightarrow 6.24\times10^{18}\,eV \Rightarrow E_R = 931.494\,MeV$$

$$E_R = mc^2 = 931.494\,MeV$$

A massa de um núcleo é sempre menor do que a soma das massas dos seus nucleons.

$$\text{Próton}: 1.6726\times10^{-27}\,Kg \rightarrow \text{u} = 1.007276$$

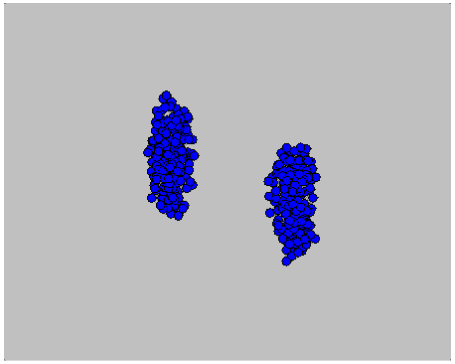
$$\text{Nêutron}: 1.6750\times10^{-27}\,Kg \rightarrow \text{u} = 1.008665$$

$$M(^{12}C) = \boxed{12.011}\ (\text{tabela periódica})$$

$$(6\times1.007276)+(6\times1.008665) = \boxed{12.0956}$$

Como **massa** é uma **manifestação de energia**, **a energia de repouso total do sistema ligado (o núcleo) é menor que a energia de repouso combinada dos nucleons separados.**

Esta diferença de energia é chamada **energia de ligação do núcleo** e representa a **energia que precisa ser fornecida ao núcleo para decompô-lo em suas componentes**



A diferença de massa entre os núcleos separados e o núcleo (ligado) contendo esses nucleons, quando **multiplicada** pelo **quadrado da velocidade da luz** fornece **a energia de ligação do núcleo**. Matematicamente temos:

$$E_l = \Delta m \cdot c^2$$

Podemos calcular a **energia de ligação de qualquer núcleo** $^{A}_{Z}X$

utilizando a expressão:

$$E_l(MeV) = \left[ZM(H) + Nm_n - M\left({}^{A}_{Z}X\right)\right] \times 931{,}494 MeV/u$$

$$\text{onde } M(H): 1.007825 = [(m_p = 1.007276) + (m_{e^-} = 5.486 \times 10^{-4})]$$

$$E_R = mc^2 = \left(1.660559 \times 10^{-27} Kg\right)\left(2.99792 \times 10^{8} m/s\right)^2 =$$

$$E_R = mc^2 = 931.494 MeV$$

Seção 30.2 Energia de Ligação

Exercício 11: Um par de núcleos para os quais Z1=N2 e Z2=N1 são chamados de isóbaros especulares (os números atômicos e os números de nêutrons estão trocados). Podem ser utilizadas medidas da energia de ligação desses núcleos para se obter evidências da independência das forças nucleares em relação à carga (isto é, são iguais as forças nucleares próton-próton, próton-nêutron e nêutron-nêutron).

Calcule a diferença na energia de ligação para os dois isóbaros especulares:

$$^{15}_{8}O \text{ (Massa Atômica } 15.003065\text{u) } e \ ^{15}_{7}N \text{ (Massa Atômica } 15.000108\text{u)}$$

A repulsão elétrica entre oito prótons em vez de sete explica a diferença?

$$E_l(MeV) = \left[ZM(H) + Nm_n - M\left({}^{A}_{Z}X\right)\right] \times 931{,}494 MeV/u$$

$$\text{Próton}: 1.6726 \times 10^{-27} Kg \rightarrow \text{u} = 1.007276$$

$$M(H): 1.007825 = 1.007276 + (5.486 \times 10^{-4})$$

$$\text{Nêutron}: 1.6750 \times 10^{-27} Kg \rightarrow m_n = 1.008665$$

$$E_l(MeV) = \left[ZM(H) + Nm_n - M\left({}^{A}_{Z}X\right)\right] \times 931{,}494 MeV/u$$

Para o ${}^{15}_{8}\mathrm{O}$: $E_l(MeV) =$

$$\left[8(1.007825u) + 7(1.008665u) - 15.003065u\right] \times 931{,}494 MeV/u$$

$$= 111.96 MeV$$

Para o ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$: $E_l(MeV) =$

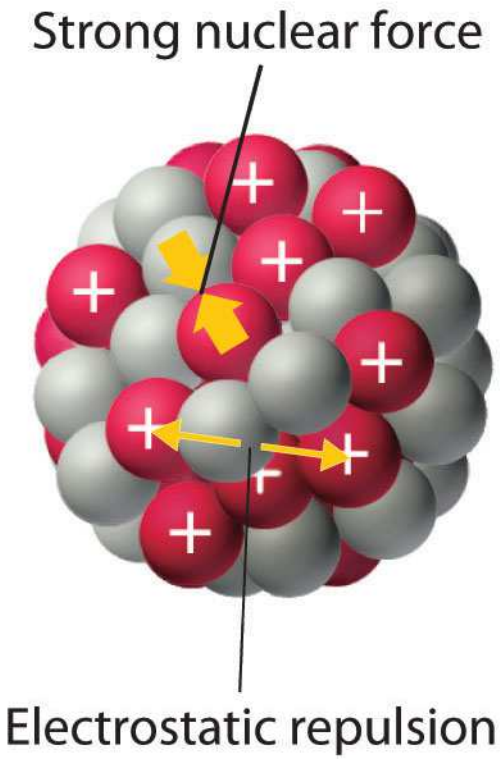
$$\left[7(1.007825u) + 8(1.008665u) - 15.000108u\right] \times 931{,}494 MeV/u$$

$$= 115.49 MeV$$

Portanto a energia de ligação do ${}^{15}_{7}\mathrm{N}$ é maior por 3.54MeV

Tem sentido pelo fato da repulsão Coulombiana ser menor.

Porque o núcleo não se desintegra devido às forças eletrostáticas intensamente repulsivas?



Os núcleos são estáveis devido à presença da Força Nuclear de curto alcance.

É uma **força atrativa** que atua **igualmente** sobre todas as partículas nucleares:

- prótons-nêutrons
- prótons-prótons e
- nêutrons-nêutrons

Os **prótons** **atraem-se** mutuamente por meio da **força nuclear** e se **repelem** pela **força de Coulomb**.

A **força nuclear** (de curto alcance) domina a **força de Coulomb** nas pequenas distâncias nucleares.

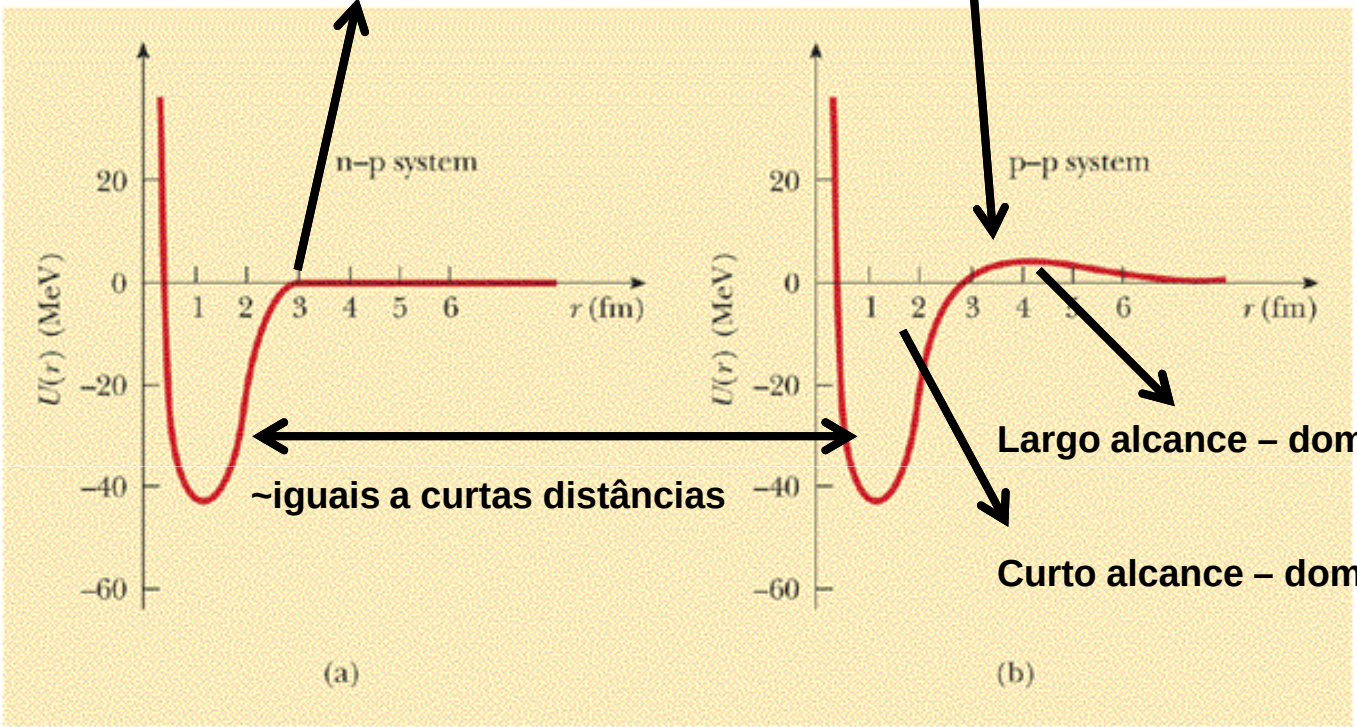
Uma forte componente repulsiva previne os nucleons de se aproximarem além de 0.4fm

Estabilidade Nuclear

Componente repulsiva devido à força de Coulomb

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 30.3

ausência da componente repulsiva



~iguais a curtas distâncias

Largo alcance – domínio repulsivo

Curto alcance – domínio atrativo

Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

(a) **Energia potencial em função da distância de separação** para o sistema **nêutron-próton**. (b) Energia potencial em função da distância de separação para o sistema **próton-próton**. **A diferença nas duas curvas é devido à repulsão de Coulomb no caso da interação próton-próton.**

Existem aproximadamente **260 núcleos estáveis** e centenas de outros núcleos instáveis.

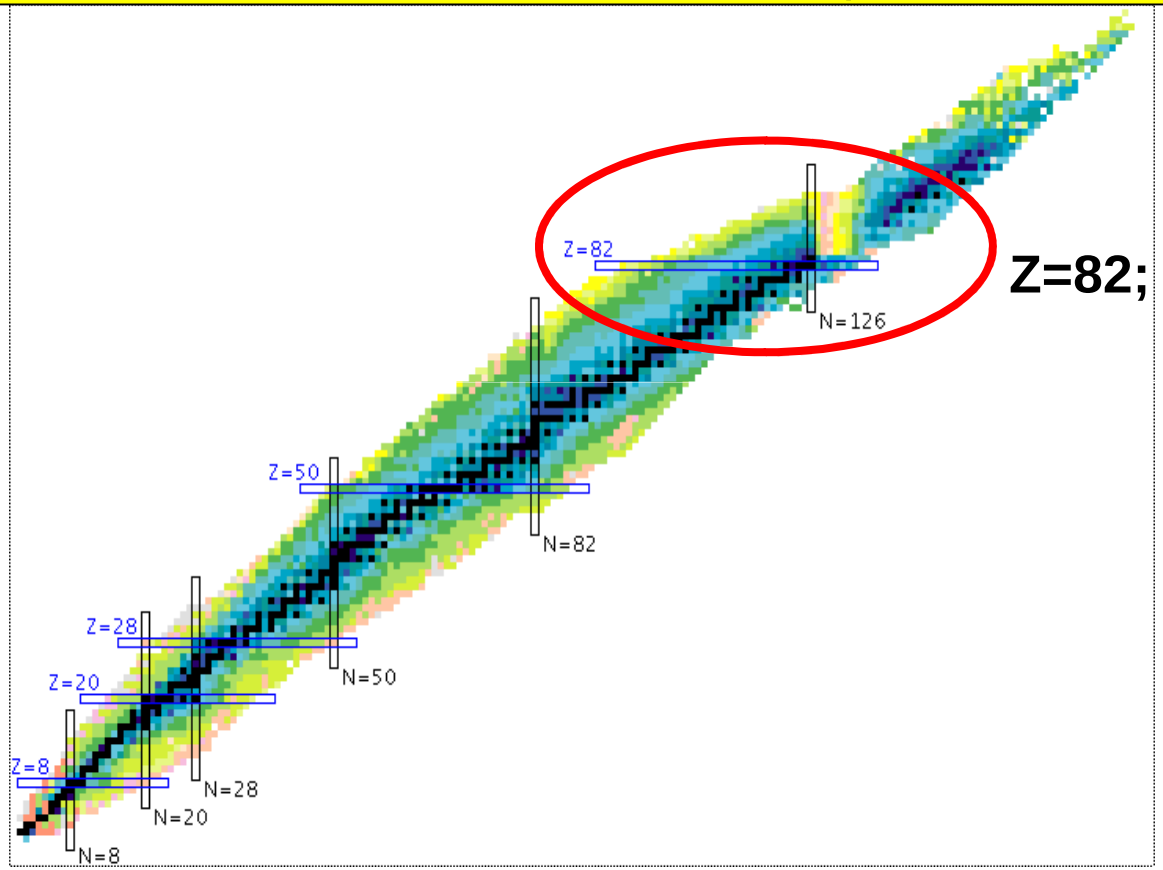
Uma representação gráfica útil na Física Nuclear é um
<u>gráfico de N em função de Z para núcleos estáveis.</u>

Os núcleos leves são estáveis para números iguais (ou aproximadamente iguais) de prótons e nêutrons. Isto é se N~Z

Os núcleos mais pesados são estáveis para N>Z.

À medida que aumenta o número de prótons, aumenta a intensidade da força de Coulomb, que tende a desintegrar o núcleo.

Consequentemente são necessários mais nêutrons para estabilizar o núcleo.



Z=82; N=160

$^{208}_{82}Pb$

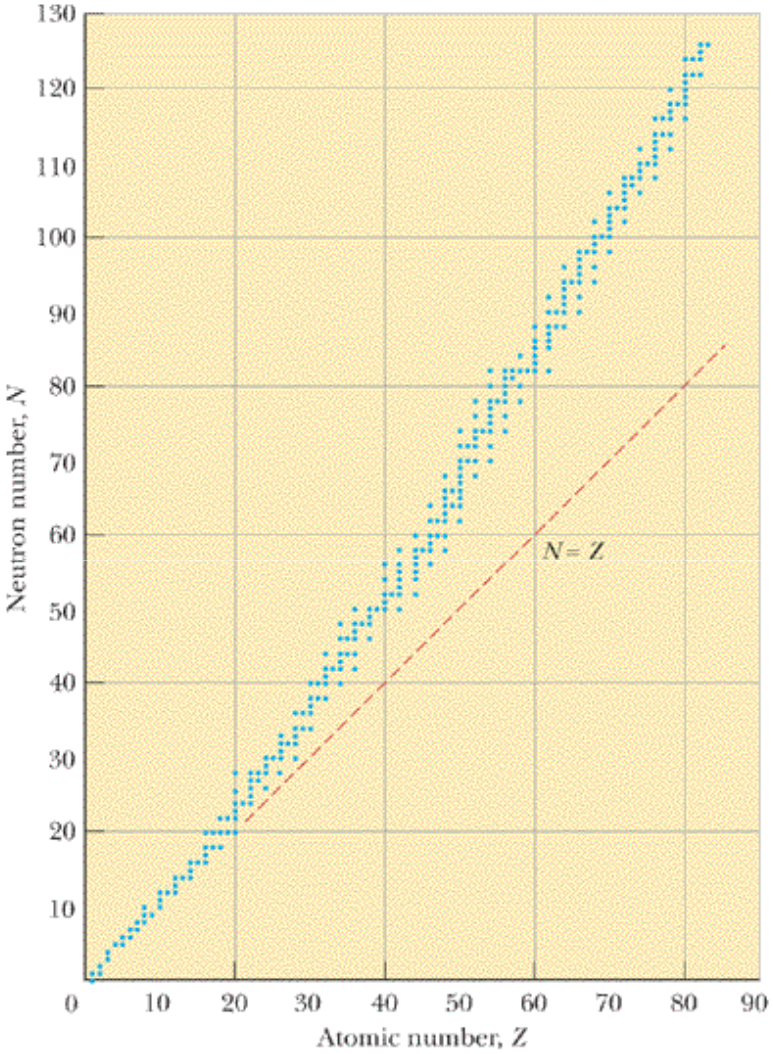
Z=8; N=8

$^{16}_{8}O$

Finalmente, quando Z=83, as forças repulsivas entre os prótons não podem ser compensadas pela adição de mais nêutrons.

Elementos que contêm mais de 83 prótons não têm núcleos estáveis.

Serway/Jewett; Principles of Physics, 3/e
Figure 30.4



Harcourt, Inc. items and derived items copyright © 2002 by Harcourt, Inc.

Número de nêutrons N em função do número de prótons Z para núcleos estáveis (pontos). A linha tracejada corresponde à condição N=Z

- **A maioria dos núcleos estáveis têm valores pares de A.**

- Certas combinações de valores de Z e N correspondem a uma elevada estabilidade nuclear.

- Estes valores de Z e N são chamados de **<u>números mágicos</u>**

Z ou N=2, 8, 20, 28, 50, 82, 126

Por exemplo o núcleo do Hélio (He) (dois prótons Z=2 e dois nêutros N=2) é muito estável, assim como o chumbo (com Z=82 e N=126).

Isso se deve ao fato de uma **<u>estrutura nuclear quantizada</u>**, ao igual que ocorre com a estrutura eletrônica,

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS

- Alkali metals
- Alkaline earth metals
- Transition metals
- Post-transition metals
- Metalloids
- Nonmetals
- Halogens
- Noble gases
- Lanthanides
- Actinides

IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIIIB			IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA
1 H 1.0079																	2 He 4.0026
3 Li 6.941	4 Be 9.0122											5 B 10.811	6 C 12.011	7 N 14.007	8 O 15.999	9 F 18.998	10 Ne 20.180
11 Na 22.990	12 Mg 24.305											13 Al 26.982	14 Si 28.086	15 P 30.974	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948
19 K 39.098	20 Ca 40.078	21 Sc 44.956	22 Ti 47.867	23 V 50.942	24 Cr 51.996	25 Mn 54.938	26 Fe 55.845	27 Co 58.933	28 Ni 58.693	29 Cu 63.546	30 Zn 65.39	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.922	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.80
37 Rb 85.468	38 Sr 87.62	39 Y 88.906	40 Zr 91.224	41 Nb 92.906	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.91	46 Pd 106.42	47 Ag 107.87	48 Cd 112.41	49 In 114.82	50 Sn 118.71	51 Sb 121.76	52 Te 127.60	53 I 126.90	54 Xe 131.29
55 Cs 132.91	56 Ba 137.33	57-71 La-Lu	72 Hf 178.49	73 Ta 180.95	74 W 183.84	75 Re 186.21	76 Os 190.23	77 Ir 192.22	78 Pt 195.08	79 Au 196.97	80 Hg 200.59	81 Tl 204.38	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
87 Fr (223)	88 Ra (226)	89-103 Ac-Lr	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (277)	109 Mt (268)	110 Uun (281)	111 Uuu (272)	112 Uub (285)		114 Uuq (289)				

57 La 138.91	58 Ce 140.12	59 Pr 140.91	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.96	64 Gd 157.25	65 Tb 158.93	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93	68 Er 167.26	69 Tm 168.93	70 Yb 173.04	71 Lu 174.97
89 Ac (227)	90 Th 232.04	91 Pa 231.04	92 U 238.03	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)