



# Física para Biotecnologia 2



**Ígnez Caracelli**  
**ignez@df.ufscar.br**



*São Carlos, 18 de março de 2019.*

**1**



## Conteúdo

<b>1 Física das Radiações</b>	}	<b>P1</b>	<b>01/04/2019</b>
<b>2 Ondas</b>			
<b>3 Princípios Física quântica</b>	}	<b>P2</b>	<b>13/05/2019</b>
<b>4 Interações atômicas e moleculares</b>			
<b>5 Métodos experimentais e teóricos para análises de sistemas biológicos</b>	}	<b>P3</b>	<b>24/06/2019</b>
		<b>Sub Parcial</b>	<b>01/07/2018</b>



## Radiações



Departamento de  
**Física**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

**Ignéz Caracelli**  
***ignez@ufscar.br***



3



## Conceitos

átomos    núcleo do átomo    elétron  
próton    neutrino  
pósitron

modelo de átomo

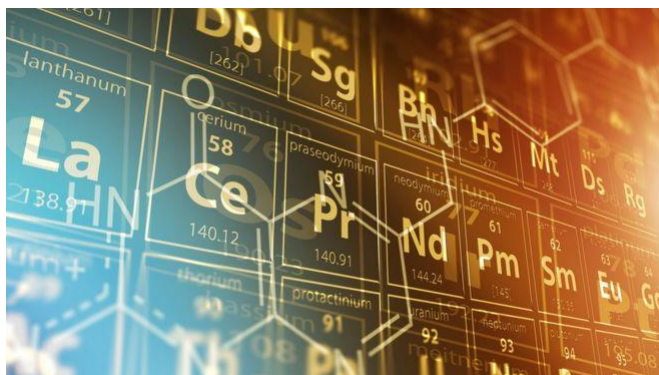
partículas    alfa    beta

radiação    raios X    raios  $\gamma$

4



## 2019: Ano Internacional da

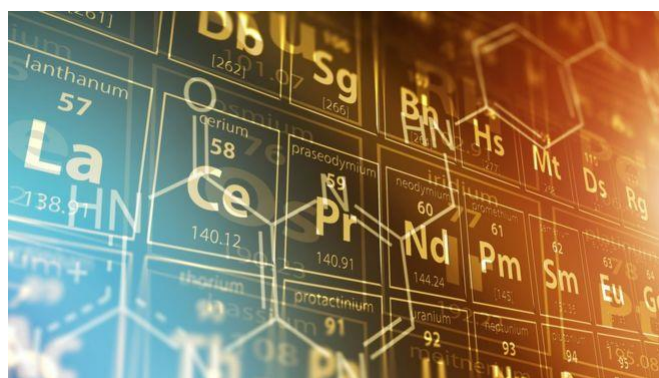


## tabela periódica

5



## Tabela periódica



*A tabela periódica dos elementos químicos ajudou a sistematizar e a organizar o conhecimento científico*

6



## Introdução Modelo de Átomo Um pouco de história



**Ignéz Caracelli**  
**ignez@ufscar.br**



7



## Demócrito – 370 aC

### **Atomic Theory:**

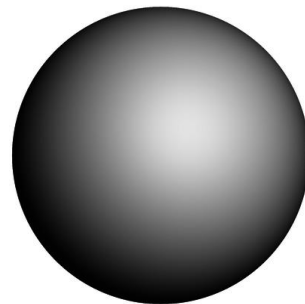
1. All matter consists of invisible particles called atoms.
2. Atoms are indestructible.
3. Atoms are solid but invisible.
4. Atoms are homogeneous.
5. Atoms differ in size, shape, mass, position, and arrangement.

### **Atomic Description:**

Democritus created the **first atomic model**.

It was simply a round sphere with no electrons, protons, or neutrons.

His contribution helped people with understanding the idea of an atom.



<https://media.timetoast.com/timelines/scientist-contributing-to-the-atomic-theory-and-their-model>

8



## John Dalton – 1823

### **Atomic Theory:**

He proposed that all matter was composed of atoms, indivisible and indestructible building blocks.

While all atoms of an element were identical, different elements had atoms of differing size and mass.

### **Atomic Model Description:**

It is often referred to as the billiard ball model. He defined an atom to be a ball like structure, the concepts of atomic nucleus and electrons were unknown at the time.

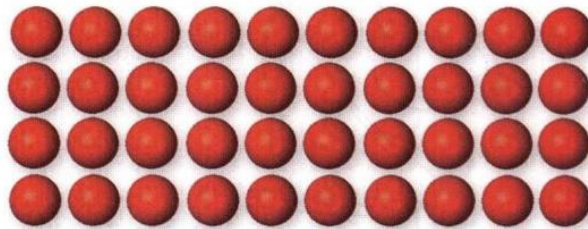
If you asked Dalton to draw the diagram of an atom, he would've drawn a circle.

billiard ball model

9 <https://media.timetoast.com/timelines/scientist-contributing-to-the-atomic-theory-and-their-model>



## John Dalton – 1823



Átomos de um mesmo elemento, tal como imaginados por Dalton.

Contrariamente, átomos de elementos diferentes teriam tamanhos e massas diferentes:



Átomos de elementos diferentes, segundo Dalton.

10



## John Dalton – 1823



- Modelo “Bola de bilhar”
- Esfera maciça indestrutível, indivisível, indestrutível.
- Esfera homogênea

11



## Dimitri Mendeleev – 1869

### Atomic Theory:

Mendeleev is known for his work on the Periodic Law and creation of the first Periodic table.

The Periodic Law states that when elements are arranged according to their atomic number, elements with similar properties will appear at regular intervals.

Reihen	Gruppe I. — R <sup>0</sup>	Gruppe II. — R <sup>0</sup>	Gruppe III. — R <sup>0</sup> <sup>a</sup>	Gruppe IV. RR <sup>a</sup> R <sup>0</sup> <sup>a</sup>	Gruppe V. RR <sup>a</sup> R <sup>0</sup> <sup>a</sup>	Gruppe VI. RR <sup>a</sup> R <sup>0</sup> <sup>a</sup>	Gruppe VII. RR <sup>a</sup> R <sup>0</sup> <sup>a</sup>	Gruppe VIII. — R <sup>0</sup> <sup>a</sup>
1	H=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,5	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	
9	(—)	—	—	—	—	—	—	
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	

<https://media.timetoast.com/timelines/scientist-contributing-to-the-atomic-theory-and-their-model>

12



## Atomic Model Description:

Mendeleev's periodic table was arranged by 63 elements that were based on atomic mass and had many gaps in them because he predicted that it contain undiscovered elements with predictable properties.

## Dimitri Mendeleev – 1869

Period	Gruppo I. R <sup>0</sup>	Gruppo II. RO	Gruppo III. R <sup>0</sup> R <sup>0</sup>	Gruppo IV. R <sup>0</sup> R <sup>0</sup>	Gruppo V. R <sup>0</sup> R <sup>0</sup>	Gruppo VI. R <sup>0</sup> R <sup>0</sup>	Gruppo VII. R <sup>0</sup> R <sup>0</sup>	Gruppo VIII. R <sup>0</sup>
1	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
2	Na=23	Mg=24	Al=27,5	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
3	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fa=56, Co=58, Ni=59, Cu=63.
4	(Ca=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	So=78	Ir=80	
5	Rb=85	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
6	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Ta=125	J=127	
7	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	
8	(—)	—	—	—	—	—	—	
9	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
10	—	—	—	—	—	—	—	
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	

13

<https://media.timetoast.com/timelines/scientist-contributing-to-the-atomic-theory-and-their-model>



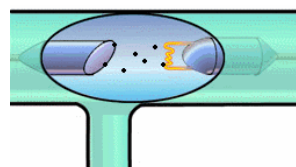
## Roentgen: X-Rays - 1895

In late 1895, a German physicist, W. C. Roentgen was working with a **cathode ray** tube in his laboratory.

He was working with tubes similar to our fluorescent light bulbs.

He evacuated the tube of all air, filled it with a special gas, and passed a high electric voltage through it.

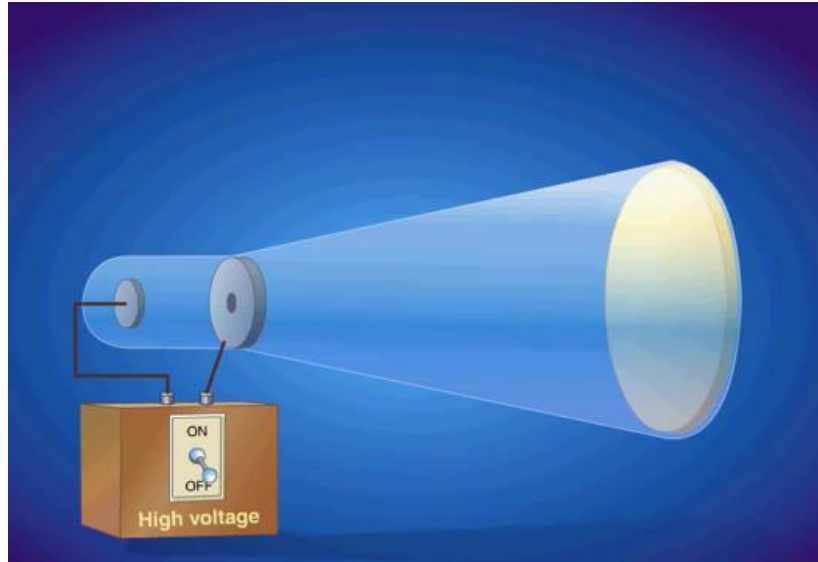
When he did this, the tube would produce a **fluorescent glow**.



14



## Tubo de Raios Catódicos



15



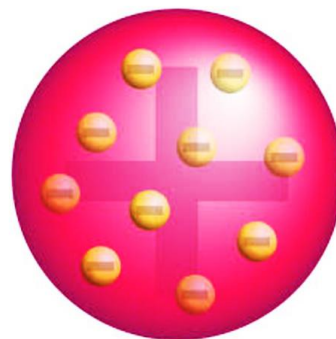
## Electron: J.J.Thomson - 1897

### **Atomic Theory:**

J.J. Thomson discovered electrons by using the cathode ray tubes and noticed that an atom can be divided. Also, he concluded atoms are made of positive cores and negatively charged particles within it.

### **Atomic Model Description:**

A neutral atom is made up of an equal number of positive and negative particles.(the plum-pudding model)



plum-pudding model

16

<https://www.timetoast.com/timelines/development-of-modern-physics>



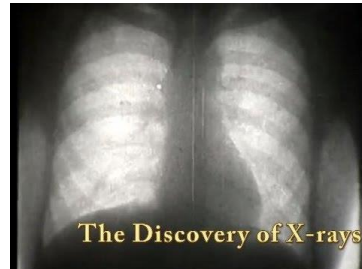


## Roentgen: X-Rays - 1895

He realized that he had produced a previously unknown "invisible light," or ray, that was being emitted from the tube; a ray that was capable of passing through the heavy paper covering the tube.

Through additional experiments, he also found that the new ray would pass through most substances *casting shadows of solid objects* on pieces of film.

He named the new ray X-ray, because in mathematics "X" is used to indicate the unknown quantity.



17



## Becquerel: Uranium Radiation - 1896

While studying the fluorescence of uranium crystals, Becquerel discovers that uranium produces natural radiation.



Henry Becquerel

<https://www.timetoast.com/timelines/development-of-modern-physics>

18



## Becquerel: Uranium Radiation - 1896

In one of the most well-known accidental discoveries in the history of physics, on an overcast day in March 1896, French physicist Henri Becquerel opened a drawer and discovered **spontaneous** radioactivity.

Henri Becquerel was well positioned to make the exciting discovery, which came just a few months after the discovery of x-rays.



Henry Becquerel

19

<https://www.timetoast.com/timelines/development-of-modern-physics>



## Becquerel: Uranium Radiation - 1896

In 1883 Becquerel began studying fluorescence and phosphorescence, a subject his father Edmond Becquerel had been an expert in.

Like his father, Henri was especially interested in uranium and its compounds. He was also skilled in photography.



Henry Becquerel

20

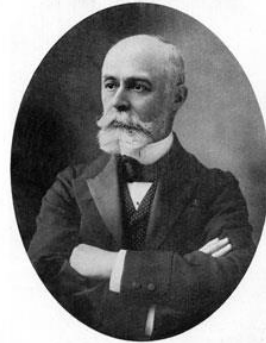
<https://www.timetoast.com/timelines/development-of-modern-physics>



## Becquerel: Uranium Radiation - 1896

Becquerel first heard about Roentgen's discovery in January 1896 at a meeting of the French Academy of Sciences.

After learning about Roentgen's finding, Becquerel began looking for a connection between the phosphorescence he had already been investigating and the newly discovered x-rays.



Henry Becquerel

<https://www.timetoast.com/timelines/development-of-modern-physics>

21



## Becquerel: Uranium Radiation - 1896

Becquerel thought that the phosphorescent *uranium salts* he had been studying *might absorb sunlight and reemit it as x-rays*.

To test this idea (which turned out to be *wrong*), Becquerel wrapped photographic plates in black paper so that sunlight could not reach them.



Henry Becquerel

<https://www.timetoast.com/timelines/development-of-modern-physics>

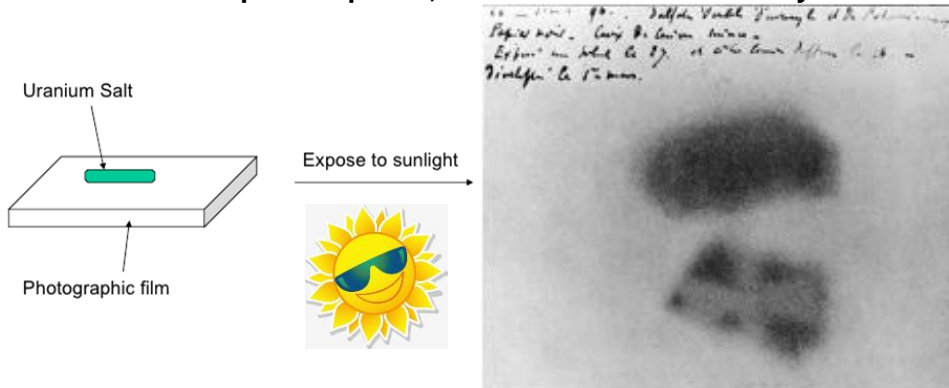
22



## Becquerel: Uranium Radiation - 1896

He then placed the **crystals of uranium salt** on top of the wrapped plates, and put the whole setup outside in the sun.

When he developed the plates, he saw an outline of the crystals.



<https://www.aps.org/publications/apsnews/200803/physicshistory.cfm> **23**



## Becquerel: Uranium Radiation - 1896

Becquerel took this as evidence that his idea was correct, that the phosphorescent uranium salts absorbed sunlight and emitted a penetrating radiation similar to x-rays.



He reported this result at the French Academy of Science meeting on February 24, 1896.

1896

February						
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
5						1
6	2	3	4	5	6	7
7	8	9	10	11	12	13
8	14	15	16	17	18	19
9	20	21	22	23	24	25
	26	27	28	29		

<https://www.aps.org/publications/apsnews/200803/physicshistory.cfm> **24**



## Becquerel: Uranium Radiation - 1896

Seeking further confirmation of what he had found, he planned to continue his experiments.

But the weather in Paris did not cooperate; it became overcast for the next several days in late February.

Thinking he couldn't do any research without bright sunlight, Becquerel put his uranium crystals and photographic plates away in a drawer.



Henry Becquerel



<https://www.aps.org/publications/apsnews/200803/physicshistory.cfm>

25



## Becquerel: Uranium Radiation - 1896

Seeking further confirmation of what he had found, he planned to continue his experiments.

But the weather in Paris did not cooperate; it became overcast for the next several days in late February.

Thinking he couldn't do any research without bright sunlight, Becquerel put his uranium crystals and photographic plates away in a drawer.

<https://www.aps.org/publications/apsnews/200803/physicshistory.cfm>

26



## Becquerel: Uranium Radiation - 1896

On March 1, he opened the drawer and developed the plates, expecting to see only a very weak image. Instead, the image was

1896

February								March							
	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat		Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
5							1	10	1	2	3	4	5	6	7
6	2	3	4	5	6	7	8	11	8	9	10	11	12	13	14
7	9	10	11	12	13	14	15	12	15	16	17	18	19	20	21
8	16	17	18	19	20	21	22	13	22	23	24	25	26	27	28
9	23	24	25	26	27	28	29	14	29	30	31				

<https://www.aps.org/publications/apsnews/200803/physicshistory.cfm>

27



## Becquerel: Uranium Radiation - 1896

The next day, March 2, Becquerel reported at the Academy of Sciences that the *uranium salts emitted radiation without any stimulation from sunlight.*

1896

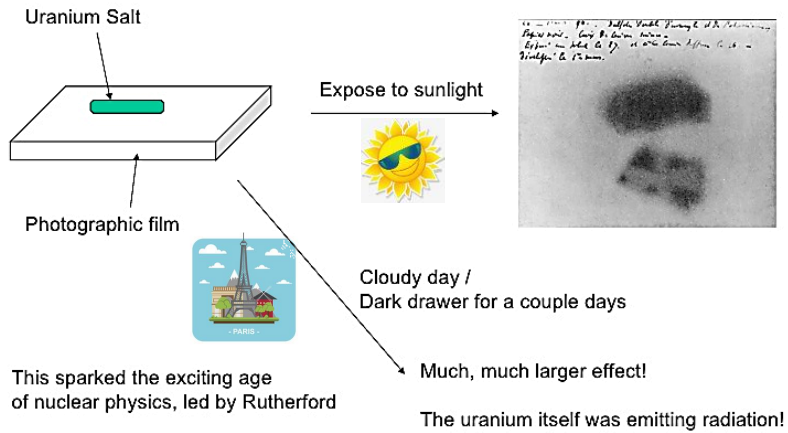
February								March							
	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat		Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat
5							1	10	1	2	3	4	5	6	7
6	2	3	4	5	6	7	8	11	8	9	10	11	12	13	14
7	9	10	11	12	13	14	15	12	15	16	17	18	19	20	21
8	16	17	18	19	20	21	22	13	22	23	24	25	26	27	28
9	23	24	25	26	27	28	29	14	29	30	31				

<https://www.aps.org/publications/apsnews/200803/physicshistory.cfm>

28



Shortly thereafter, radioactivity discovered by Henri Becquerel (1896) (1903 Nobel prize with the Curies)



29



## Pierre and Maria Curie - 1897

Using a device invented by her husband and his brother, that measured extremely low electrical currents, Curie was able to note that uranium electrified the air around it.



Pierre and Marie Curie

<https://www.timetoast.com/timelines/development-of-modern-physics>

30



## Pierre and Maria Curie - 1897

Further investigation showed that the activity of uranium compounds depended upon the amount of uranium present and that **radioactivity was not a result of the interactions between molecules**, but rather came from the atom itself. Using Pitchblende and chalcocite Curie found that Thorium was radioactive as well.



Pierre and Marie Curie

<https://www.timetoast.com/timelines/development-of-modern-physics>

31



## Pierre and Maria Curie - 1897

Descoberta por Antoine Henri Becquerel, a pitchblenda é uma variedade, provavelmente impura, de urânita. Dela é retirado o urânio, que é constituinte de muitas rochas. É extraído do minério, purificado e concentrado sob a forma de um sal de cor amarela, conhecido como "yellowcake".



Pierre and Marie Curie

32





## Pierre and Maria Curie - 1897

Pierre e Marie descobriram o **polônio** e o **rádio**, dois elementos com um poder radioativo maior que o urânio. “Radioativo” e “radioatividade”, inclusive, foram termos cunhado pelos dois cientistas para designar a energia que é liberada espontaneamente por estes elementos.



Pierre and Marie Curie

33



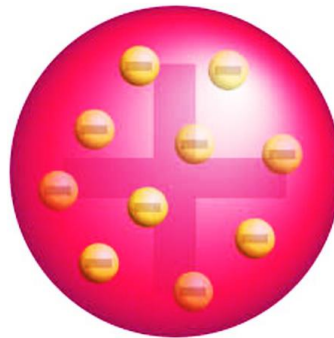
## Electron: J.J.Thomson - 1897

### **Atomic Theory:**

J.J. Thomson discovered electrons by using the cathode ray tubes and noticed that an atom can be divided. Also, he concluded atoms are made of positive cores and negatively charged particles within it.

### **Atomic Model Description:**

A neutral atom is made up of an equal number of positive and negative particles.(the plum-pudding model)



plum-pudding model

34

<https://www.timetoast.com/timelines/development-of-modern-physics>



## Rutherford: Alpha & Beta Rays - 1897

Ernest Rutherford identified the nature of **alpha** and **beta radiations**.

He connected first **alpha radiations** to **helium** and later on identified them to helium nuclei after his discovery of the atom nucleus.

He interpreted also the emission of **beta particles** as the emission of **electrons** discovered a few years before.

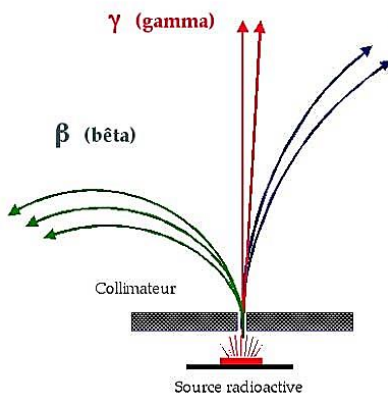
In 1902, he was able to show that a change in the nature of the atom occurred during the emission of alpha and beta rays : atoms were transmuting.

[http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three\\_Radiations.htm](http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three_Radiations.htm)

35



## Rutherford: Alpha & Beta Rays - 1897



### Three radiations

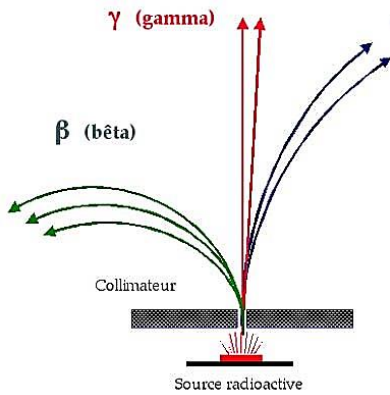
This diagram, copied from an original by Marie Curie, shows the effect a magnetic field can have on different types of radiation.

[http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three\\_Radiations.htm](http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three_Radiations.htm)

36



## Rutherford: Alpha & Beta Rays - 1897



### Three radiations

Magnetic fields curve the trajectory of particles carrying an electric charge.

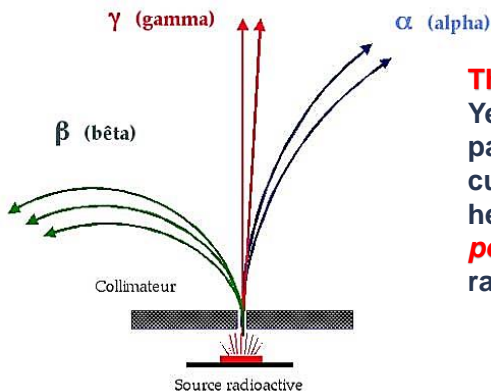
Alpha rays, curving to the right, are positively charged, the beta rays curving to the left are negatively charged, and the unaffected gamma rays are electrically neutral.

[http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three\\_Radiations.htm](http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three_Radiations.htm)

37



## Rutherford: Alpha & Beta Rays - 1897



### Three radiations

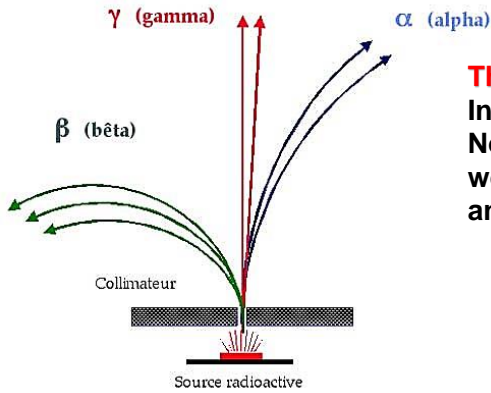
Years later, after 1932, beta particles were observed being curved to the right – this would herald the discovery of the **positron**, and beta-positive radiation.

[http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three\\_Radiations.htm](http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three_Radiations.htm)

38



## Rutherford: Alpha & Beta Rays - 1897



### Three radiations

In 1900, Paul Villard at the Ecole Normale found that gamma rays were simply high-energy photons, and of the same type as X-rays.

[http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three\\_Radiations.htm](http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three_Radiations.htm)

39

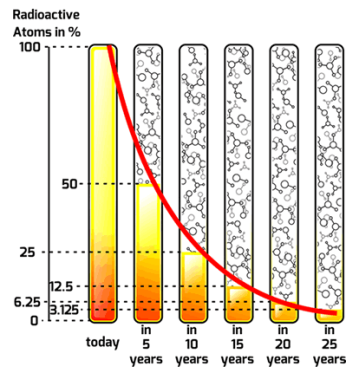


## Alpha & Beta Rays - 1897

Despite being a random phenomenon, radioactivity is governed by a **fundamental mathematical law of decay**.

While in Canada between 1901 and 1903, Ernest Rutherford and his young student Frederick Soddy derived the exponential law of a radioactive decay defined by its **'half life'**.

They proved that the 'half-life' was a characteristic property of such a decay, with **each element** having its own intrinsic half-life.



Radioactive  
Non-radioactive

www.mathwarehouse.com

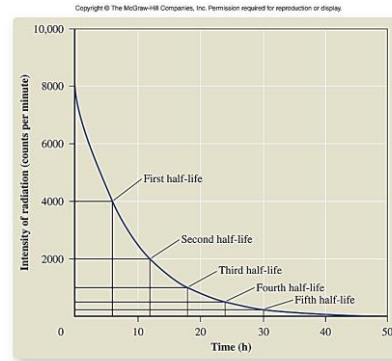
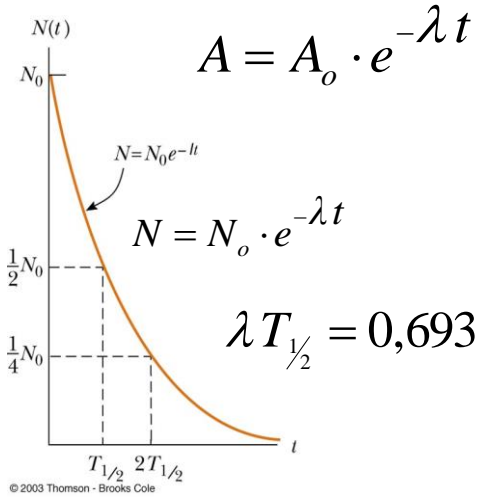
$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

[http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three\\_Radiations.htm](http://www.radioactivity.eu.com/site/pages/Three_Radiations.htm)

40



## law of a radioactive decay



41



## Raios X



**Ignéz Caracelli**  
**ignez@ufscar.br**



42



## Descoberta dos Raios X

### Wilhelm Conrad Roentgen



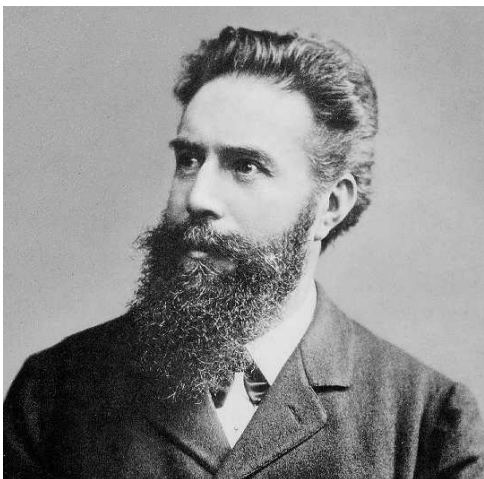
Nasceu em 27 de março de 1845, em Lennep, Alemanha.

Faleceu em 1923.



## Descoberta dos Raios X

### Wilhelm Conrad Roentgen

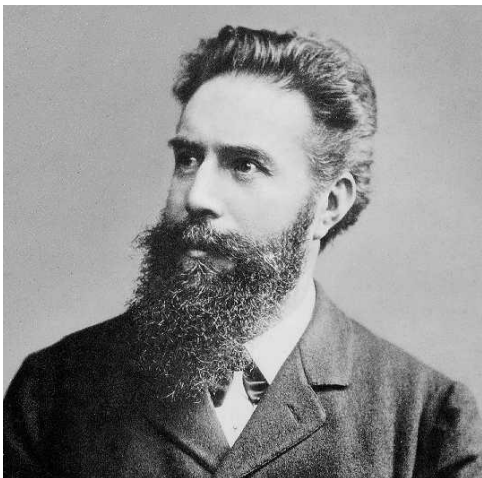


Em 8 de novembro de 1895, Roentgen estava realizando experimentos com descargas elétricas em gases rarefeitos, quando descobriu os raios **X**.



## Descoberta dos Raios X

**Wilhelm Conrad Roentgen**

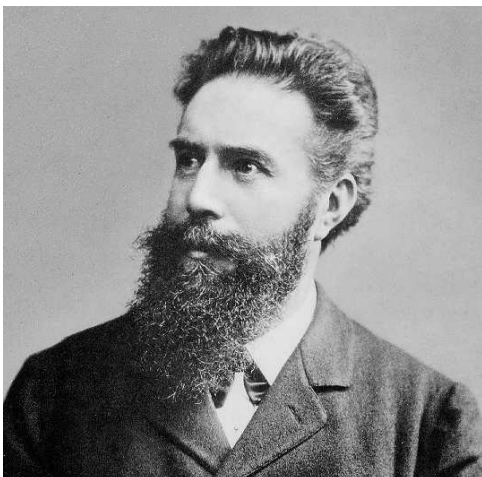


Em três semanas Roentgen investigou quase tudo que sabemos hoje sobre esta radiação, excetuando apenas o fenômeno da difração, que só foi descoberto por volta de 1912.



## Descoberta dos Raios X

**Wilhelm Conrad Roentgen**



Pela descoberta dos raios X, Roentgen ganhou o Prêmio Nobel de 1901.



## Descoberta dos Raios X

Foto recente do laboratório de Roentgen no Instituto de Física de Würzburg.



## Descoberta dos Raios X

Hoje, é um museu mas mostra, mais ou menos, como era seu local de trabalho quando Roentgen descobriu os raios-X.







## Descoberta dos Raios X

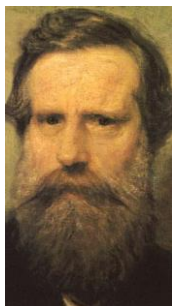
À direita, está a janela cuja cortinas ele fechou para melhor observar a fluorescência de seu detetor.



## Raios X e história

Outros cientistas também produziram essa radiação durante suas experiências, porém não tiveram o mérito de reconhecê-la.

Filmes que estavam guardados nas proximidades de seus equipamentos ficaram inutilizados.



Crookes, por exemplo, achou que os filmes eram de má qualidade.

Sir William Crookes, 1832 – 1919)



## Raios X e história



Comunicado de Roentgen à Comunidade Científica,  
sobre um novo tipo de radiação: Radiação X (28/12/1895)



## Raios X e história

O mérito de Röntgen foi ter investigado com profundidade a natureza da nova radiação, num curto espaço de tempo.

Em seu primeiro, famoso e provisório comunicado (28 de Dezembro de 1895) sobre um novo tipo de radiação, ele publicou o resultado de suas pesquisas científicas.





## Raios X e história

A descoberta de Roentgen valeu-lhe o prêmio Nobel de Física em 1901.



Na época - começo do século XX - ocorreu uma revolução no meio médico, trazendo um grande avanço no diagnóstico por imagem.



## Descoberta dos Raios X

Em uma de suas experiências, colocou a mão de sua mulher, Bertha, na frente do filme e obteve a primeira radiografia da história, mostrando os ossos de Dona Bertha e até seu anel de casamento.





## Raios X e história

Durante 15 anos após o descobrimento dos raios X, os físicos começaram a trabalhar com médicos, no desenvolvimento do uso dos raios X no exame do corpo humano, e usar radiografias passou a fazer parte das análises para diagnóstico médico.



## Raios X e história

Lojas de calçados

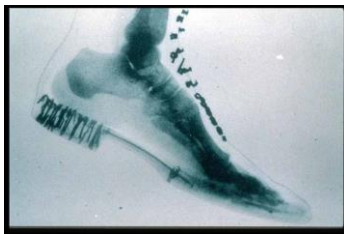


Fig. 1



Fig. 2



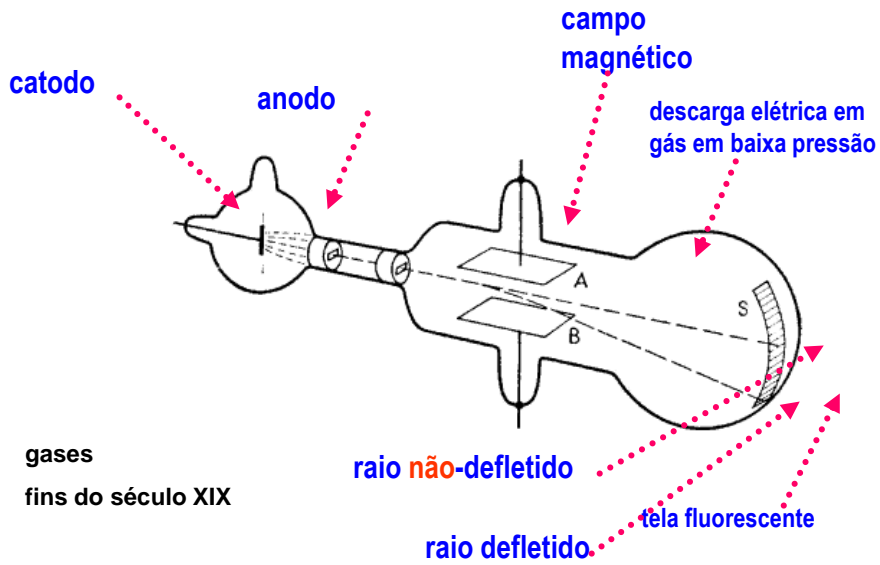
Fig. 3

Fig. 1. The antique x-ray shoe fitter. Fig. 2. Adrian X-ray Shoe Fitter, Inc. Fig. 3. Patrons looked inside to see how their shoes fit—x-ray exposure was anywhere from 5 to 45 seconds long.

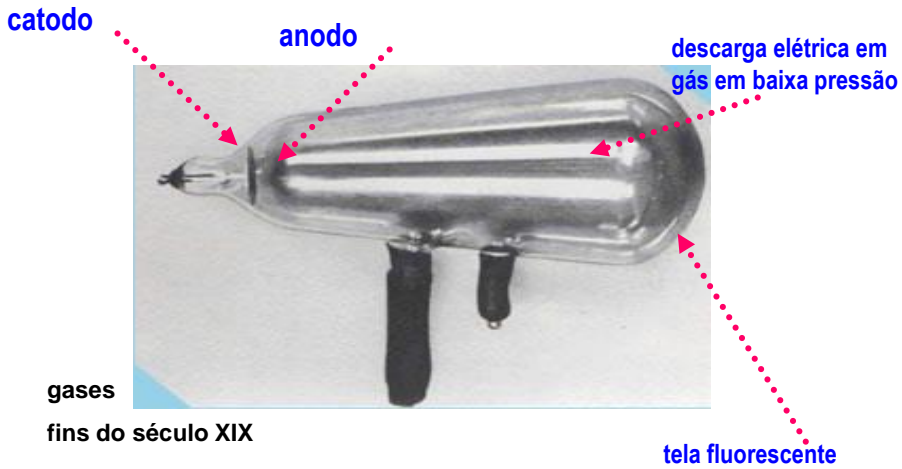
THE PHYSICS TEACHER • Vol. 42, September 2004



# tubo de Raios Catódicos

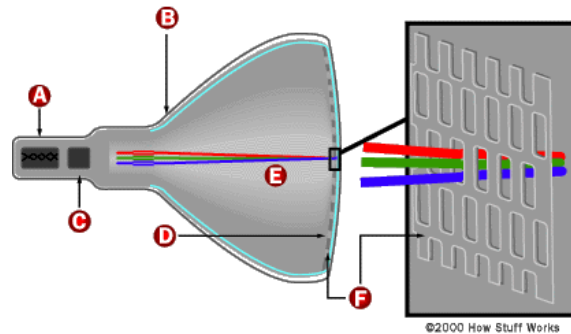


# tubo de Raios Catódicos





## Raios Catódicos (CRT)

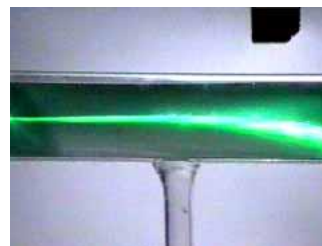


- A catodo  
B revestimento condutivo  
C ânodo  
D tela revestida de fósforo  
E feixe de elétrons  
F máscara de sombra

<http://informatica.hsw.uol.com.br/monitores-de-computador7.htm>



## Tubo de Raios Catódicos



fluorescência

1896 → raios emitidos do catodo

**Thomson** → raios catódicos compostos de partículas carregadas (-)  
com massa  $\sim 1/1800 m_H$

**Millikan** → carga =  $1,601 \times 10^{-19} C$



## Tubo de Raios Catódicos

observava-se que mesmo que o tubo estivesse **blindado** um papel pintado com platino-cianeto de bário fluorescia.

um fio dentro do tubo, gerava uma imagem no papel fluorescente → devia ser uma radiação invisível.



## Raios Catódicos ?

propriedades

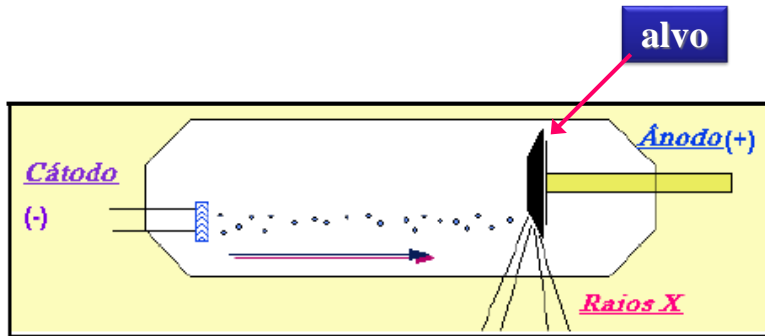
- propagava-se em linha reta → sombras bem delimitadas
- alto poder de penetração
- indiferença à presença de B, E (raios catódicos sensíveis a B e E)
- não verificou reflexão, nem refração



Roentgen:  
deve ser uma OEM



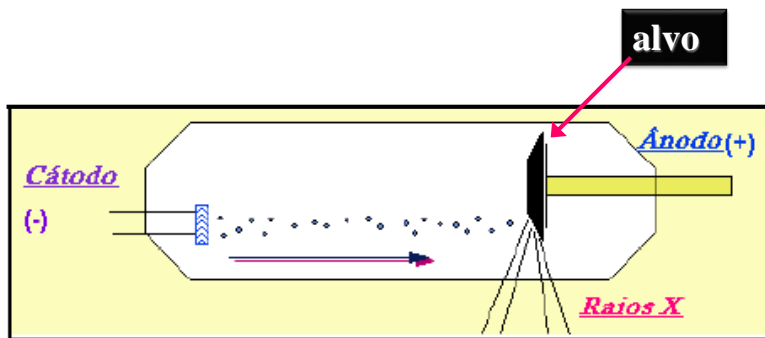
# Raios X - 1895



Roentgen analisava descarga em gases → observa nova espécie de radiação de **poder de penetração** quando bombardeado com raios catódicos ( $e^-$  com  $K$  alto)



# Tubo de Raios X



- ✓  $e^-$  são acelerados a partir do cátodo na direção do alvo
- ✓ intensidade dos raios X → regulada pela corrente de  $e^-$
- ✓ poder de penetração aumenta quando aumenta a ddp aceleradora de  $e^-$





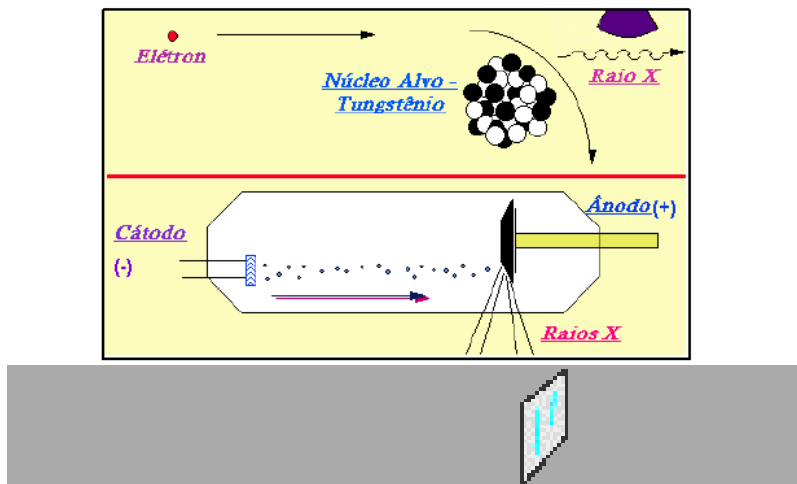
# Tubo de Raios X

- ✓  $e^-$  são acelerados a partir do cátodo na direção do alvo
- ✓ intensidade dos raios X  $\rightarrow$  regulada pela corrente de  $e^-$
- ✓ poder de penetração aumenta quando aumenta a ddp aceleradora de  $e^-$
  
- ✓ a absorção de raios X depende do peso atômico do absorvedor
- ✓ os elementos de elevado peso atômico apresentam absorção mais acentuada que os de baixo peso atômico.
- ✓ não são desviados por campos elétricos ou magnéticos



## Raios X

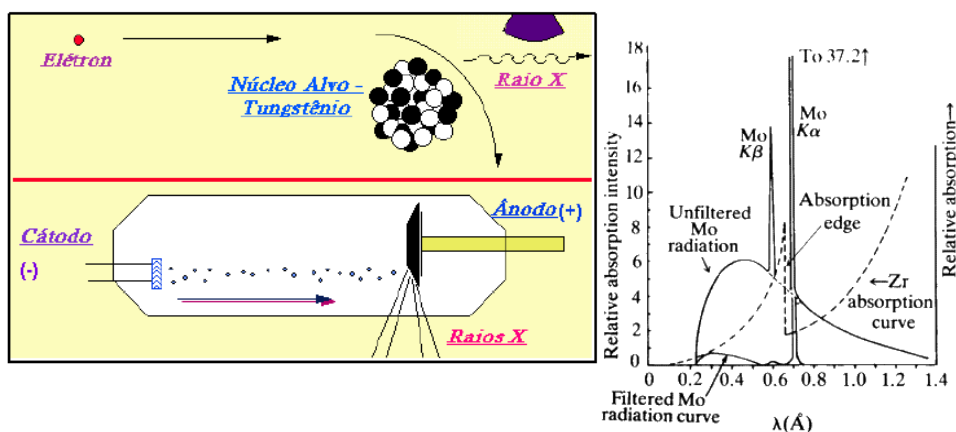
### *Emissão de Raios X - processo extranuclear*





## Raios X

### Emissão de Raios X - processo extranuclear

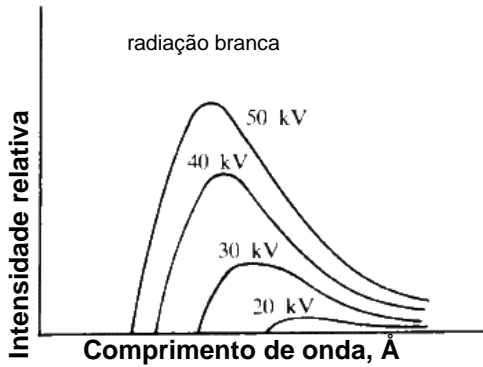


## Obtenção de Raios X

- (1) bombardeamento de alvo metálico com feixe de elétrons de alta energia
- (2) exposição de uma substância a um feixe primário de raios X de forma a gerar um feixe secundário de fluorescência de raios X
- (3) fontes radioativas artificiais cujo processo de decaimento resulta na emissão de raios X (raios  $\gamma$  - emissão nuclear)
- (4) síncrotron (LNLS – [www.lnls.br](http://www.lnls.br))



# Obtenção de Raios X



Os raios X são produzidos acelerando elétrons contra um alvo metálico.

(W, Mo, Cu,..)

A radiação produzida, radiação branca, é também chamada de *Bremsstrahlung*.

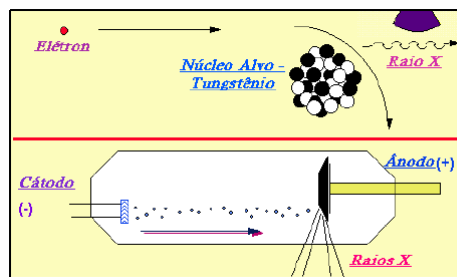
Distribuição de radiação contínua produzida por um tubo de raios X com alvo de tungstênio.

espectro continuo



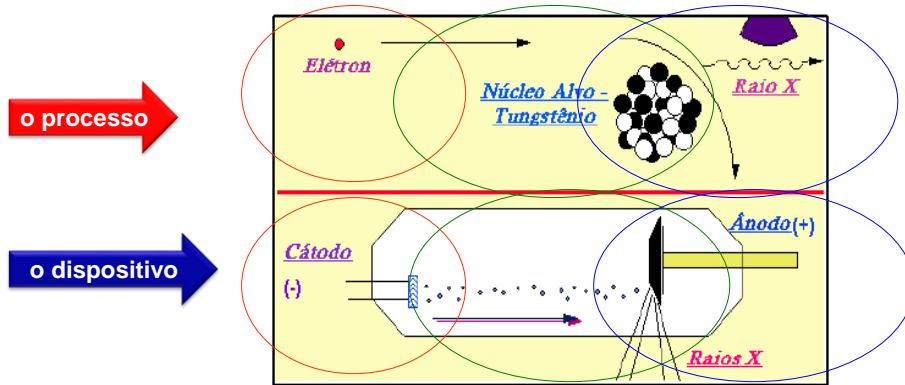
# Obtenção de Raios X

• Emissão de Raios X - processo extranuclear





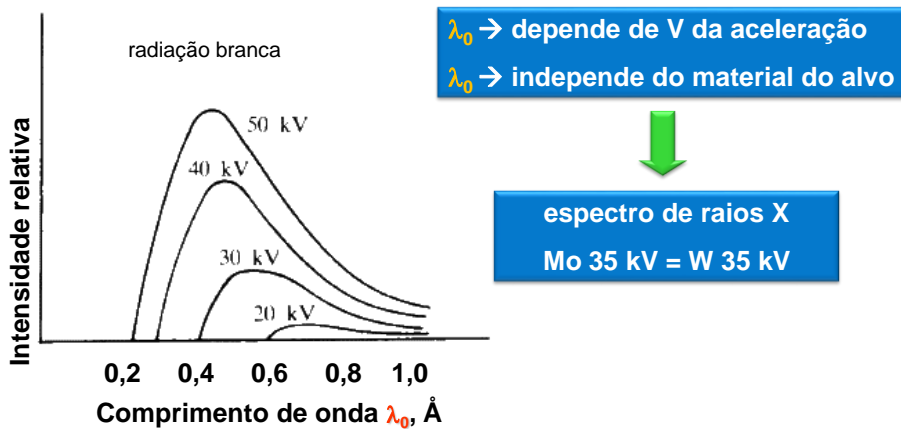
# Obtenção de Raios X



1. elétrons produzidos no cátodo (-) aquecido (ddp)
2. elétrons são acelerados em direção ao ânodo (+) metálico (alvo)
3. depois da colisão → parte da energia do feixe de elétrons é convertida em raios X

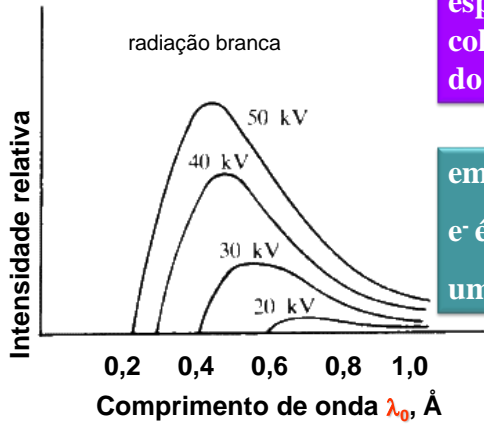


# Espectro Contínuo





# Espectro Contínuo



espectro contínuo resultado da colisão de  $e^-$  do feixe e os átomos do material do alvo.

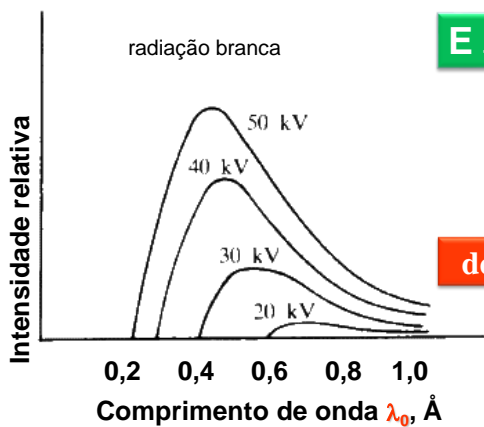
em cada colisão  $\rightarrow$   
 $e^-$  é desacelerado e  
um fóton de raios X é produzido

$$E_{\text{fóton}} = \Delta K_e$$

$$E_{\text{fóton1}} \neq E_{\text{fóton2}} \neq \dots$$



# Espectro Contínuo



$E_{\text{fóton}}$ : dentro de um intervalo

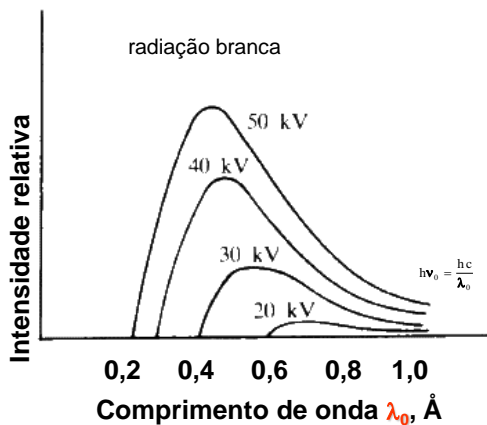
$E_{\text{máxima fóton}}$  ?

desaceleração instantânea do  $e^-$

$$E_{\text{fóton}} = h\nu_0$$



# Espectro Contínuo



$$E_{\text{fóton}} = h\nu_0$$

$$h\nu_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$$

OEM

$$h\nu_0 = Ve$$

$h \rightarrow$  constante de Planck

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$



# Espectro Contínuo

$$h\nu_0 = Ve$$

$\Rightarrow$   $K_e$  de todos os  $e^-$  do feixe



Lei de Duane-Hunt



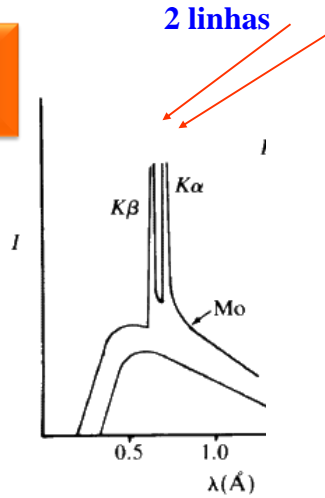
$$\lambda_0 = \frac{12,398}{V}$$

$V$  (V);  $\lambda$  (Å)



# Espectro de Raios X

contínuo +  
linhas



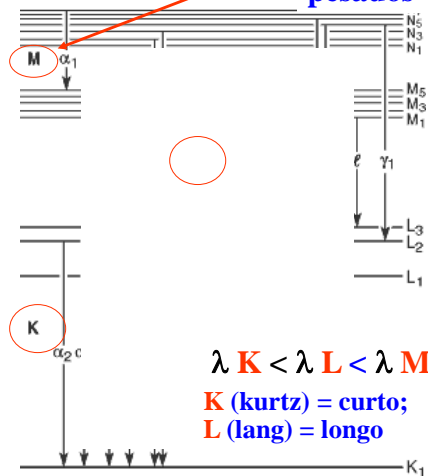
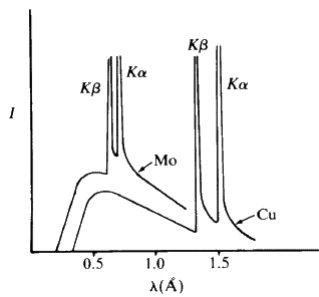
comportamento do Mo  $\rightarrow$  típico para elementos com  $Z > 23$



# Espectro de Raios X

elementos  
mais  
pesados

contínuo +  
linhas

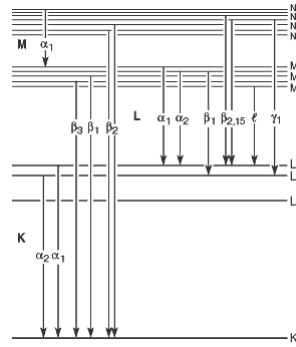
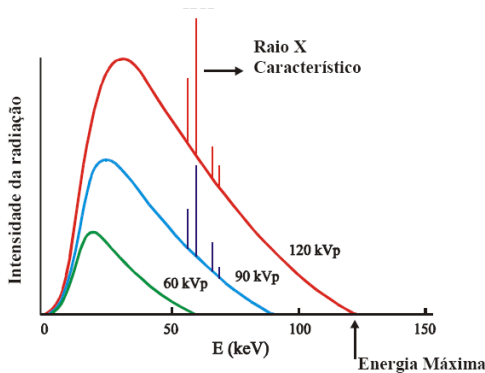


comportamento do Mo  $\rightarrow$  típico para elementos com  $Z > 23$



# Espectro de Raios X - Linhas

- Por que????



# Espectro de Raios X - Linhas

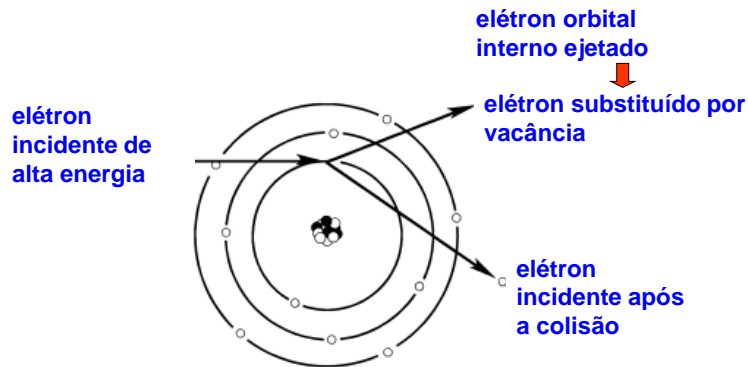
- Por que????

elétrons (alto K) provenientes do cátodo removem elétrons mais internos dos orbitais mais próximos dos átomos do alvo.





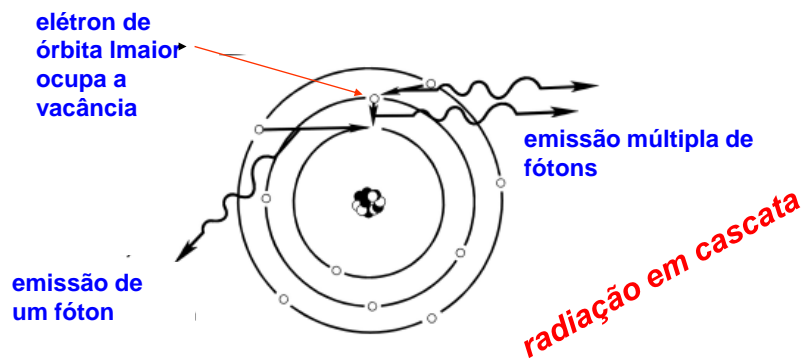
## Espectro de Raios X - Linhas



**Emissão de Raios X - processo extranuclear**



## Espectro de Raios X - Linhas



**Geração de radiação característica:**

- ejeção dos elétrons orbitais
- emissão de fótons de raios X característicos → linhas



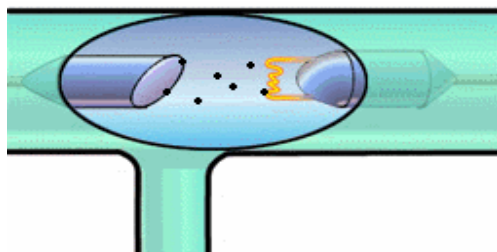
## Espectro de Raios X - Linhas

Para todos os elementos (menos os mais leves):

- a)  $\lambda_{\text{característico}}$  independente do estado físico e químico do elemento, porque as transições responsáveis por essas linhas não envolvem elétrons que participam das ligações químicas.
- b) a posição das linhas características  $K_{\alpha}$  do Mo, é sempre a mesma independentemente se o material do alvo é o metal puro, seu sulfeto ou óxido.



## Tubo de Raios X



<http://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod05/index.html>

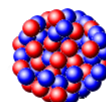


# Raios X e Raios $\gamma$

origem:

raios X  $\rightarrow$  processos **extranucleares**

raios  $\gamma$   $\rightarrow$  processos **nucleares**



Conceitos Básicos,  
Partículas  $\alpha$  e  $\beta$



**Ígnez Caracelli**  
[ignez@ufscar.br](mailto:ignez@ufscar.br)





## Definições

### **Radiação**

*é a energia em trânsito na forma de partículas de alta velocidade e ondas eletromagnéticas.*

87



## Definições

### **Radiação ionizante**

*é a radiação com energia suficiente para durante a interação com um átomo, conseguir remover elétrons de suas órbitas, fazendo com que o átomo se torne carregado ou ionizado.  
(exemplos: raios gama, nêutrons, raios X)*

88



## Definições

### **Radiação não-ionizante**

*é radiação sem energia suficiente para separar ou remover elétrons das moléculas ou átomos. Exemplos disso são a luz visível, ondas de rádio e televisão, ultra-violeta (UV) e microondas com um grande espectro de energias.*

89



## Definições

### **Radioatividade**

*é a transformação espontânea de um átomo instável e que muitas vezes resulta na emissão de radiação.*

- ➔ *Este processo é designado por transformação, decaimento ou desintegração de um átomo.*
- ➔ *Estas emissões são coletivamente chamadas de radiações ionizantes.*

90



## Definições

### Ionização

*é uma característica particular da radiação produzida quando elementos radioativos decaem.*



*Estas radiações são de tão alta energia que, quando interagem com materiais, que podem remover elétrons dos átomos do material.*

91



## O Desenvolvimento da Física Nuclear

### 1896

O nascimento da física nuclear

***Becquerel** descobriu a radioatividade em compostos de urânio.*

***Rutherford** mostrou que havia três tipos de radiação:*

$\alpha$  (núcleo de He)

$\beta$  (elétrons)

$\gamma$  (fótons de alta energia)

92



## O Desenvolvimento da Física Nuclear

**1911**

*Rutherford, Geiger & Marsden realizaram experimentos de espalhamento*

- ➔ *Estabeleceram a natureza pontual da massa do núcleo.*
- ➔ *A força nuclear era um novo tipo de força.*

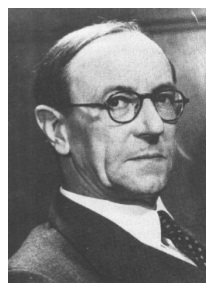
93



## O Desenvolvimento da Física Nuclear

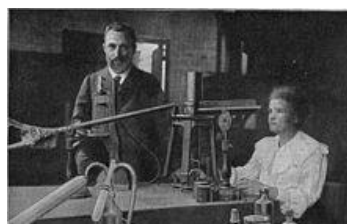
**1932**

*Chadwick descobriu o nêutron.*



**1933**

*Marie e Pierre Curie descobriram a radioatividade artificial.*



94



## Algumas propriedades do núcleo

Todos os núcleos são compostos de prótons (**p**) e nêutrons (**n**).

A exceção ocorre com o H, que tem apenas um próton.



**X** é o símbolo químico do elemento

95



## Algumas propriedades do núcleo

Todos os núcleos são compostos de prótons (**p**) e nêutrons (**n**).

A exceção ocorre com o hidrogênio, que tem apenas um próton.



**Z** é o número atômico

**Z** = número de prótons no núcleo.

96





## Algumas propriedades do núcleo

Todos os núcleos são compostos de prótons (**p**) e nêutrons (**n**).

A exceção ocorre com o hidrogênio, que tem apenas um próton.



**N** é o número de nêutrons no núcleo

**A** é o número de massa dos núcleons no núcleo

$$A = Z + N$$

97



## Algumas propriedades do núcleo

Todos os núcleos são compostos de prótons (**p**) e nêutrons (**n**).

A exceção ocorre com o hidrogênio, que tem apenas um próton.



**A** é o número de massa dos núcleons

número de massa  $\neq$  massa

núcleons = nome dos prótons e

nêutrons.

98



## Exemplo

Considere o alumínio.

Escreva as propriedades do alumínio utilizando a notação ao lado.



Escreva o número de massa, o número atômico, número de prótons e número de nêutrons.

99



## Exemplo 1

### Tabela Periódica dos Elementos

Massas atômicas em parênteses são aquelas do isótopo mais estável ou comum

Nota: Os símbolos de subgrupo 1-10 foram adotados em 1984 pela International Union of Pure and Applied Chemistry (União Internacional de Química Pura e Aplicada). Os nomes dos elementos 112-118 são os equivalentes latino desses números.



100



## Exemplo 1

Considere o alumínio.

Escreva as propriedades do alumínio utilizando a notação ao lado.

Escreva o número de massa, o número atômico, número de prótons e número de nêutrons.



	5 B Boro 10,811	6 C Carbono 12,0107	7 N Nitrogênio 14,0067
12 IIB	13 Al Alumínio 26,981538	14 Si Silício 28,0855	15 P Fósforo 30,9737
30	31 Ga Gálio 69,723	32 Ge Germânio 72,630	33 As Arsênio 74,9216

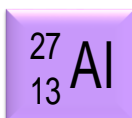
101



## Exemplo 1 - Resposta

Considere o alumínio.

Escreva as propriedades do alumínio utilizando a notação.



» número de massa  $A = 27$

» número atômico  $Z = 13$

» número de prótons  $p = 13$

» número de nêutrons  $N = 14$

$$(N = A - Z = 27 - 13)$$

102



## Definições: isótopos

**Isótopos** tem:

átomos com **mesmo** número atômico **Z**

**diferente** número de nêutrons **N** e número de massa **A**

103



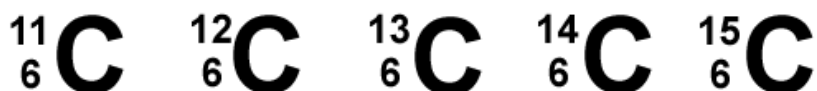
## Exemplo: isótopos

**Isótopos do carbono C** tem:

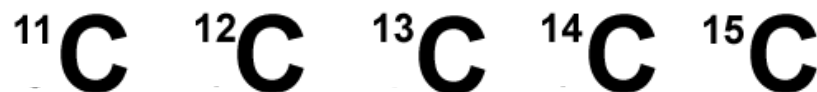
átomos com **mesmo** número atômico **Z = 6**

**diferente** número de nêutrons **N** e número de massa

**A = 11, 12, 13, 14, ou 15.**



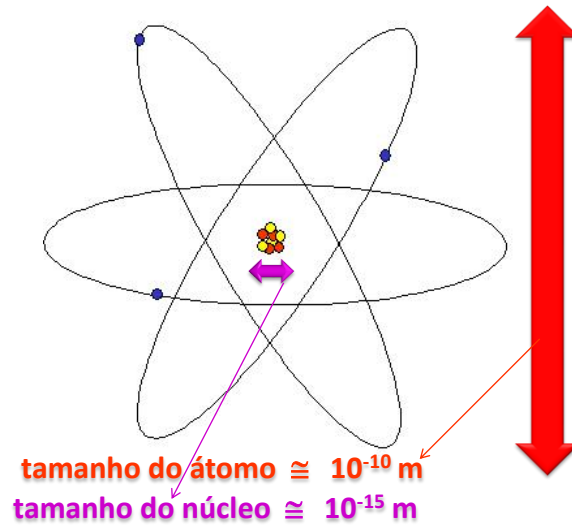
Isótopos do **C** podem ser representados apenas como



104



## o átomo



105



## O átomo (núcleo)

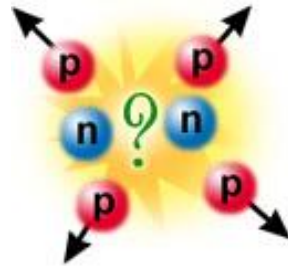


cargas de mesmo sinal se repelem.....

106



## O átomo (núcleo)



cargas de mesmo sinal se repelem.....

107



## Experimentos de Rutherford, Geiger and Marsden

*Em 1911 Rutherford e seus estudantes Geiger e Marsden desenvolveram uma nova técnica para investigar a estrutura da matéria fazendo incidir partículas alfa nos átomos de ouro, e medindo o espalhamento destas partículas*

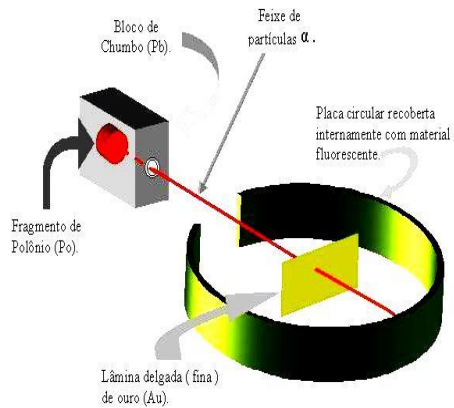


108



## Experimentos de Rutherford, Geiger and Marsden

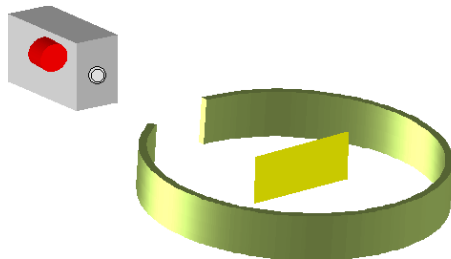
*Em 1911 Rutherford e seus estudantes Geiger e Marsden desenvolveram uma nova técnica para investigar a estrutura da matéria fazendo incidir partículas alfa nos átomos de ouro, e medindo o espalhamento destas partículas*



109



## Experimentos de Rutherford, Geiger and Marsden

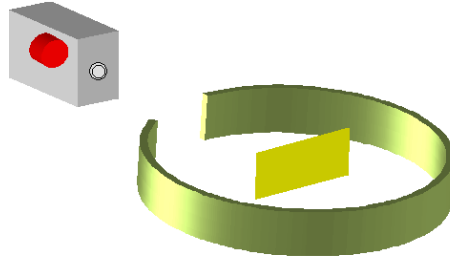


*Os resultados mostraram que muitas partículas alfa eram espalhadas para trás pelas folhas de ouro muito finas em ângulos maiores que  $90^\circ$*

110



## Experimentos de Rutherford, Geiger and Marsden



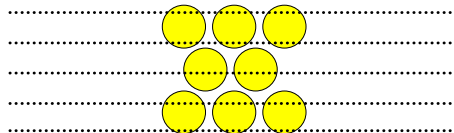
*Os resultados experimentais não eram consistentes com o modelo de Thomson*

111

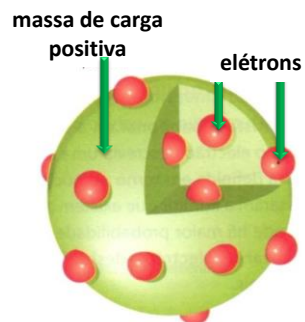


## Experiência de Rutherford

Resultados previstos segundo o modelo de Thomson



**As partículas  $\alpha$   
deveriam atravessar  
as folhas de ouro sem  
sofrer grandes desvios**



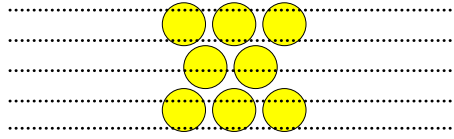
112



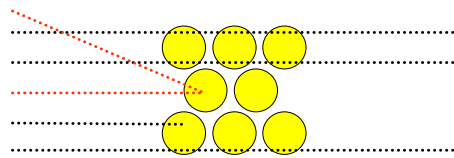


## Experiência de Rutherford

### Resultados previstos segundo o modelo de Thomson



### Resultados obtidos



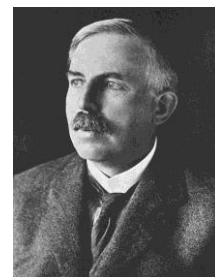
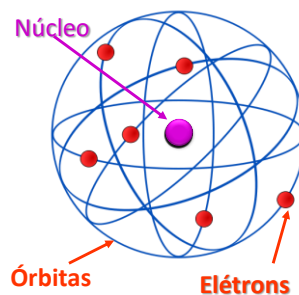
*A maior parte das partículas  $\alpha$  comportava-se como esperado, mas um significativo número delas sofria desvios acentuados*

113



## Modelo Atômico de Rutherford

*Rutherford propôs então que o átomo era uma estrutura praticamente vazia, e não uma esfera maciça e deveria ter um caroço positivamente carregado (**núcleo**) cercado pelos **elétrons negativos**. Geiger e Marsden confirmaram esta idéia em 1913*

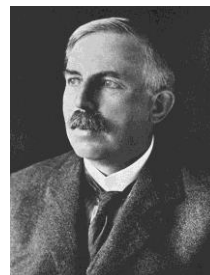
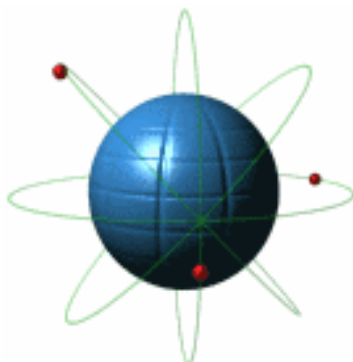


Ernest Rutherford  
(1871-1937)

114



## Modelo Atômico de Rutherford



Ernest Rutherford  
(1871-1937)

*Rutherford também descobriu a existência dos prótons que são partículas com carga positiva que se encontram no núcleo*

115



## Estabilidade Nuclear

*Há forças eletrostáticas repulsivas fortes entre prótons  
Estas forças deverão fazer com que o núcleo se desintegre.*



**cargas de mesmo sinal se repelem.....**

116



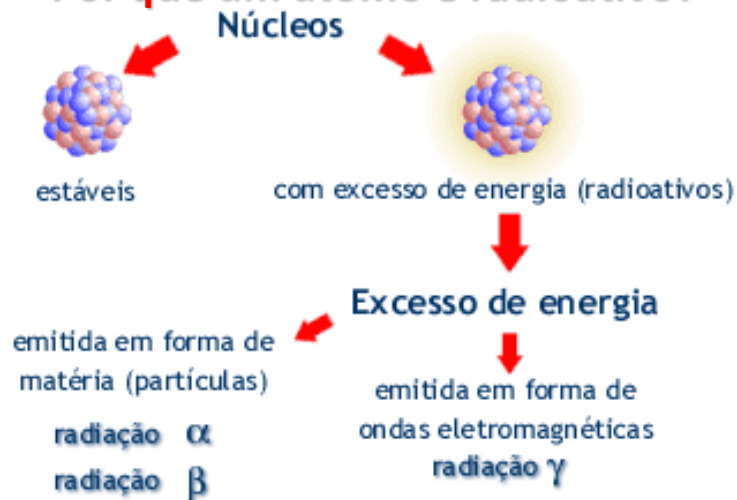
## Estabilidade Nuclear

- ➔ Os núcleos são estáveis devido à presença de uma outra, de curto alcance vigor, o chamado nuclear (ou forte).
- ➔ Há uma força atrativa forte que age entre todas as partículas nucleares.
- ➔ A força nuclear atrativa forte nuclear é mais forte que a força repulsiva de Coulomb.

117



## Por que um átomo é radioativo?

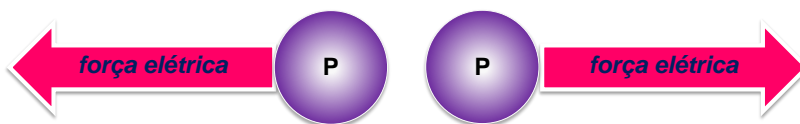


118



## Por que um átomo é radioativo?

- núcleos:



## Por que os prótons não se afastam?

deve haver uma outra força que os mantêm juntos.

Que força é essa?

119



## Força nuclear forte

**interação hadrônica.**

**é uma força de curto alcance.**

120



## Tipos de Forças

Pode-se reduzir todos os tipos de forças a apenas quatro tipos fundamentais:

- *as interações gravitacionais*
- *as interações eletromagnéticas, entre as quais encontramos as forças elétricas,*
- *as interações fracas,*
- *as interações fortes, responsáveis pelas forças nucleares.*

121



## Força nuclear forte

Os prótons e nêutrons em um átomo estão localizados dentro de uma região de **cerca de  $10^{-15}$  m**.

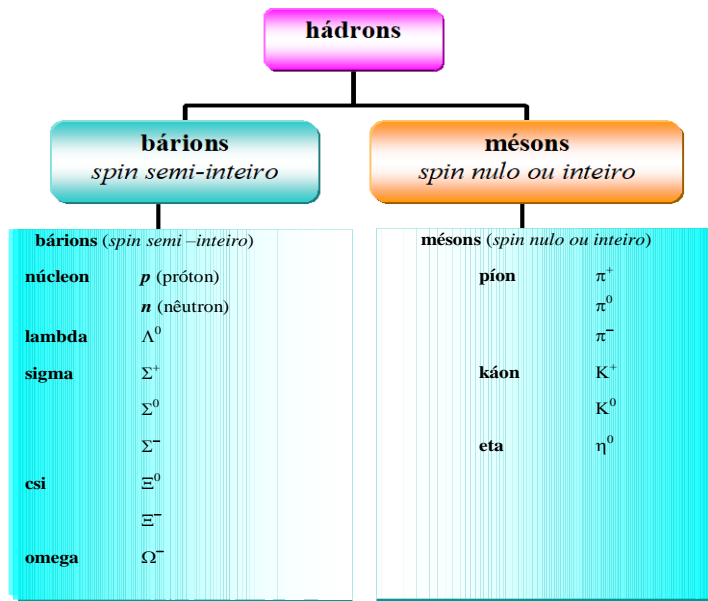
A força de repulsão coulombiana entre prótons a distâncias tão pequenas é muito grande; apesar disso, temos núcleos que são estáveis, e sabemos que para fragmentá-los é necessário bombardeá-los com partículas de energias elevadas.

Portanto as interações fortes devem ser de intensidades ainda maiores que as interações eletromagnéticas, porém são de **curto alcance**.

122



## Interação nuclear forte: hádrons



123



## Interação nuclear fraca: léptons

Os elétrons são classificados como léptons e sofrem interações fracas.

Os **léptons** parecem ser partículas elementares (até abril de 2008), enquanto que os **hádrons** são partículas complexas: são constituídos por quarks.

124



## Interação nuclear fraca: léptons

Os **léptons** pareciam ser partículas elementares ...

Nature, v. **452**, 17 April 2008;

doi:10.1038/nature06855

**Dolev, Heiblum, Umansky, Stern & Mahalu** *Observation of a quarter of an electron charge at the  $\nu = 5/2$  quantum Hall state*  
Weizmann Institute of Science, Israel.

125



## Interação nuclear fraca: léptons

Um elétron se divide em quasipartículas:

- ➔ 'holon' (*que carrega a carga do elétron*)
- ➔ "spinon" (*que carrega o spin do elétron – propriedade quântica relacionada com o magnetismo*)
- ➔ 'orbiton' (*que carrega seu momento orbital, devido ao movimento em torno do núcleo*)

Schlappa, J. *et al.* Nature, 2012, 485, 82–85.  
<http://dx.doi.org/10.1038/nature10974>

126



## Hádrons e quarks

Os hádrons sofrem uma interação forte resultante da interação entre os quarks que os constituem.

Há três tipos de quarks: **up**, **down** e **strange** (representados por **u**, **d** e **s**).

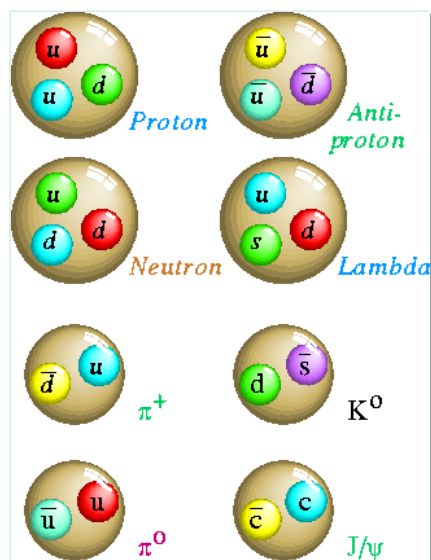
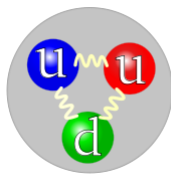
próton → constituído de três quarks: **u**, **u**, **d**

nêutron → constituído de três quarks: **u**, **d**, **d**

127



## Hádrons e quarks

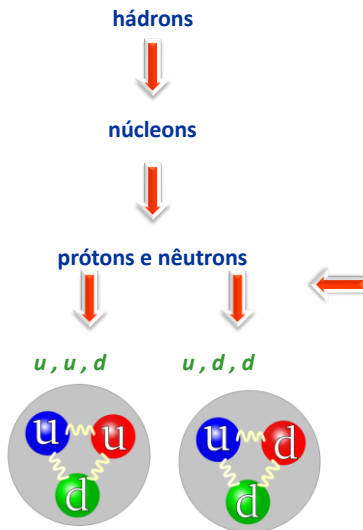


128





## Interação nuclear forte: hádrons



constituídos de quarks

Há 6 tipos de quarks conhecidos como *flavors* (sabores):  
up, down, strange, charm, bottom, e top.

Força entre quarks: *gluons*

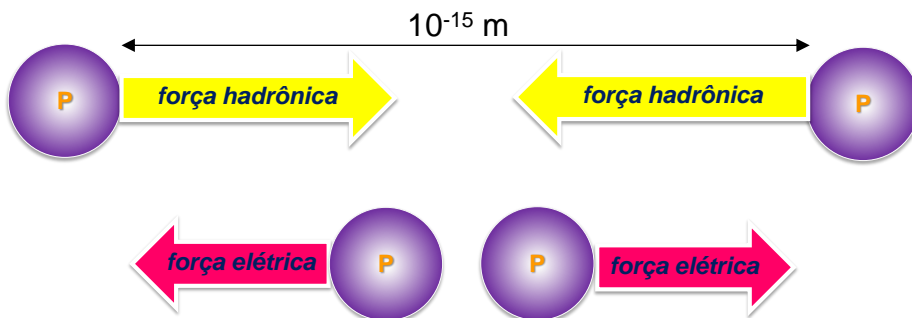
Propriedades: carga elétrica, cor, massa e spin

129



## Hádrons e quarks

Quando os prótons estão muito próximos a interação atrativa hadrônica forte supera a força repulsiva elétrica.



130



## Modelo Nuclear do Átomo

**Tabela 1 - Propriedades das Partículas Subatômicas**

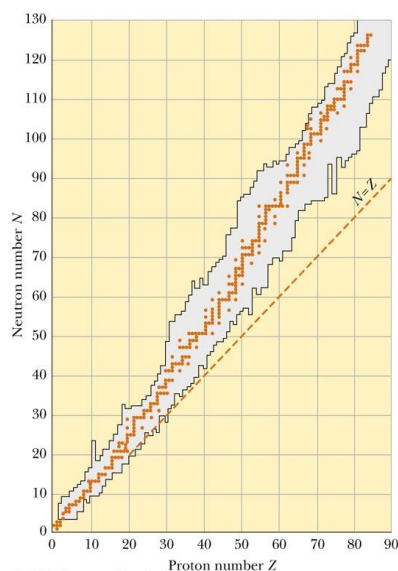
Partícula	símbolo	carga*	massa, kg
elétron	$e^-$	-1	$9,109 \times 10^{-31}$
próton	p	+1	$1,673 \times 10^{-27}$
nêutron	n	0	$1,675 \times 10^{-27}$

\*As cargas são dadas como múltiplos da carga de um próton, que nas unidades SI vale  $1,602 \times 10^{-19}$  C.

131



## Estabilidade Nuclear



Núcleos leves  
são mais  
estáveis se  $N = Z$

Núcleos são  
menos estáveis  
quando  $N > Z$

132

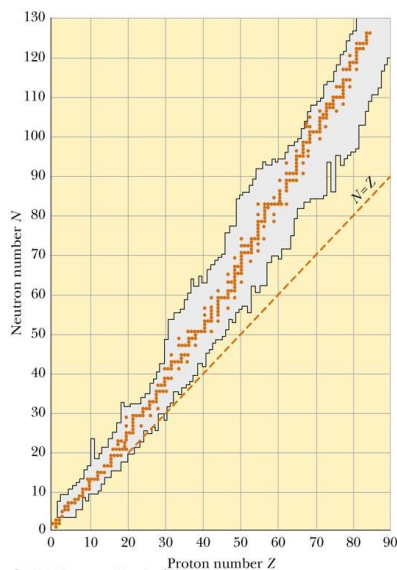


## Estabilidade Nuclear

Núcleos pesados são mais estáveis quando  $N > Z$

À medida que aumenta o número de prótons, aumenta a força de Coulomb, de forma mais núcleons são necessários para manter o núcleo estável.

Não há núcleos estáveis quando  $Z > 83$



133

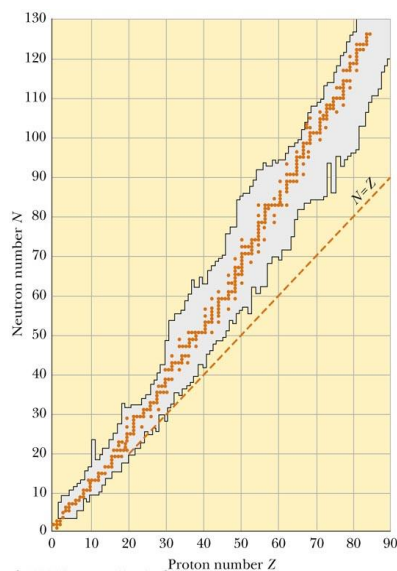
133



## Estabilidade Nuclear

Dos mais de 3000 nuclídeos conhecidos, cerca de **250 são estáveis**.

Os demais se decompõe por um período de tempo, emitindo radiação em um processo de criação de novos nuclídeos.



134

134

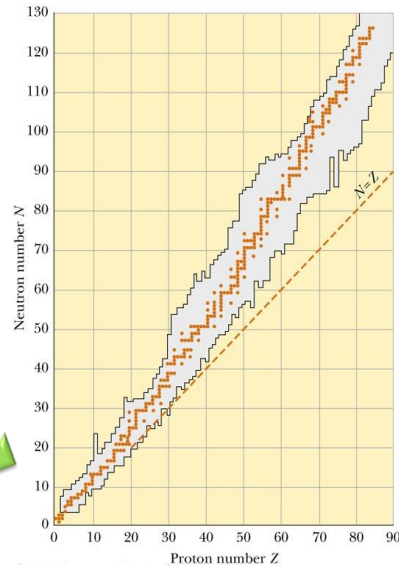


## Estabilidade Nuclear

Os **nuclídeos estáveis** tem  
número de prótons  $\cong$   
número de nêutrons .



elementos **mais leves**  
razão  $N/Z \cong 1$  ( $Z = 1$  to  $20$ )



135

135

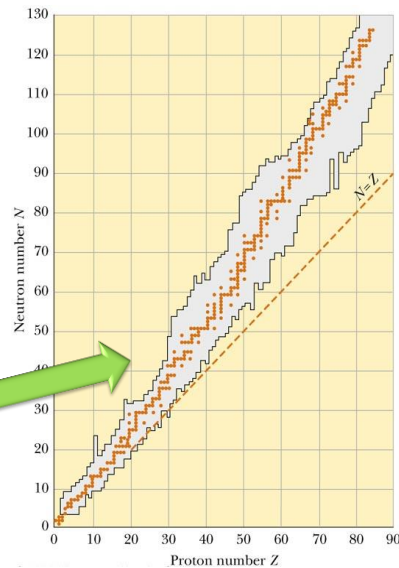


## Estabilidade Nuclear

Os **nuclídeos estáveis** tem  
número de prótons  $\cong$   
número de nêutrons



elementos **mais pesados**  
tem mais nêutrons que  
prótons  
razão  $N/Z > 1$  ( $Z > 20$ )  
 $\Rightarrow$  **não são estáveis**



136

136



## Isótopos

- Os **isótopos** dos elementos são átomos que tem *mesmo o número atômico Z*, mas *diferente número de massa A*.
- $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ 
  - $\Rightarrow Z(^{12}\text{C}) = Z(^{13}\text{C}) = Z(^{14}\text{C}) = 6$
  - $\Rightarrow A(^{12}\text{C}) \neq A(^{13}\text{C}) \neq A(^{14}\text{C})$
- núcleo dos isótopos:
  - número de prótons  $p =$
  - número de nêutrons  $n \neq$



137



## Isótopos

- **isótopos estáveis** → nunca foi observado decaimento espontâneo.
- **isótopos instáveis**
  - são radioativos (radionuclídeos ou radioisótopos)
  - sofrem desintegração espontânea, até tornarem-se isótopos estáveis.

138



## Isótopos - Carbono

- **isótopos estáveis** →  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$
- **isótopos instáveis** →  $^{11}\text{C}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{15}\text{C}$   
(ou radioisótopos)



139



## Radioisótopos naturais e artificiais

$Z = 1 \rightarrow 92$  radioisótopos naturais

$Z > 92$  radioisótopos artificiais

140



## Definições: isótopos e nuclídeos

**Isótopos** são :

- Átomos com mesmo número atômico **Z**
- Número de nêutrons **N** e número de massa **A** diferentes

**Nuclídeos** são :

- Isótopos que existem por um tempo mensurável de tempo e tem um estado de **energia**.
- Um átomo de número atômico particular **Z**, número de massa **A** e número de nêutrons **N**.

141

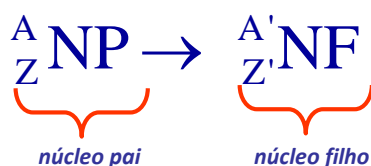


## Radioatividade natural

**Radioatividade:**

Cada núcleo, em processo de transformação, emite um ou mais tipos de radiações, cuja natureza ou naturezas são características das transformações ou no núcleo “pai”. Em certos casos, o nuclídeo “filho” também é radioativo.

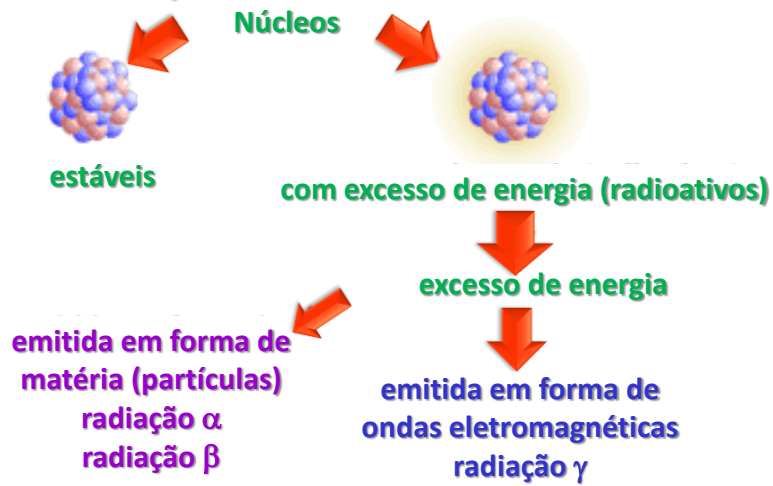
A mudança de um núcleo (pai) (NP) para outro (filho) (NF) é chamada de **desintegração**.



142



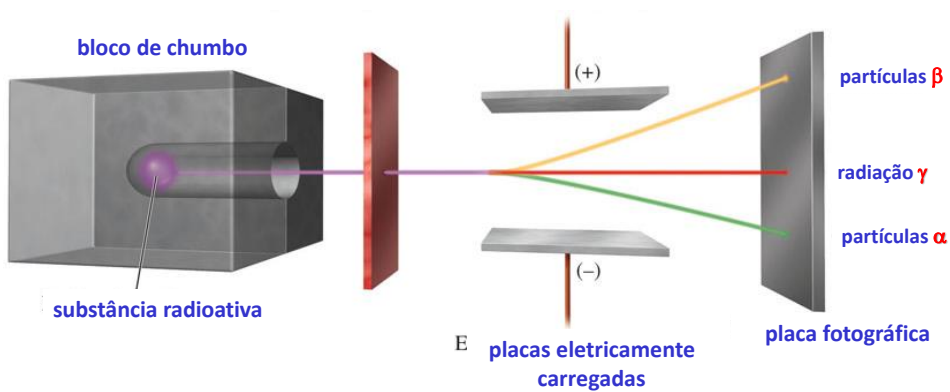
## Porque o átomo é radioativo?



143



## Radiação $\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ tem comportamento diferente

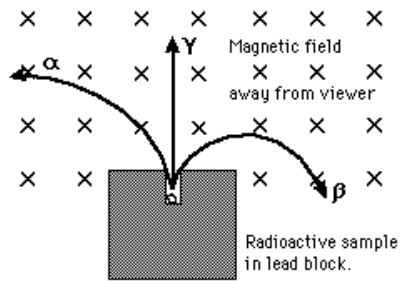


144

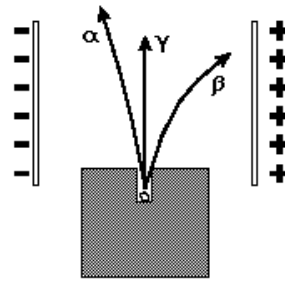




## Radiação $\alpha, \beta, \gamma$ tem comportamento diferente



campo magnético



campo elétrico

145



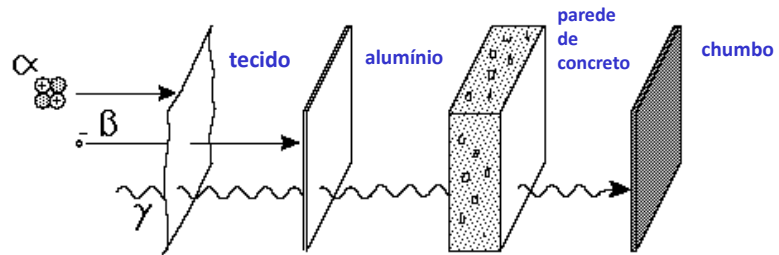
## Propriedades da Radiação

Tipo de radiação	Notação	massa	carga	penetração em Al
<b>alfa</b>	${}^4_2\alpha, {}^4_2\text{He}^{2+}$	4	2+	0.01 mm
<b>beta (elétron)</b>	${}^0_{-1}\beta^-$	~0	1-	0.5 - 1.0 mm
<b>beta (pósitron)</b>	${}^0_{+1}\beta^+$	~0	1+	reage com elétrons
<b>gama</b>	$\gamma$	0	0	50 - 110 mm

146



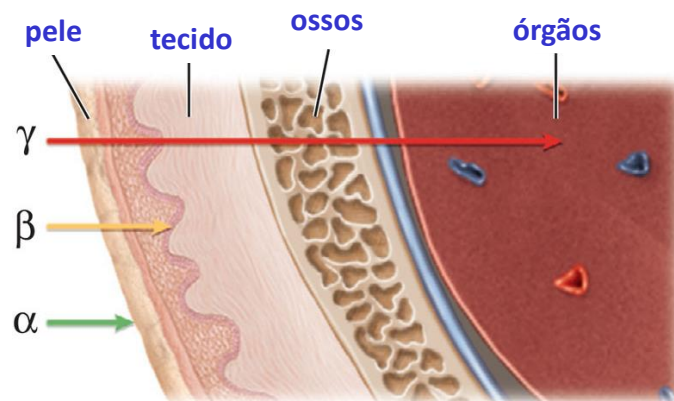
## Penetração na matéria



147



## Propriedades da Radiação no Corpo Humano



148

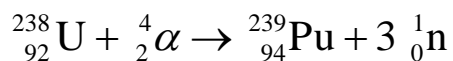
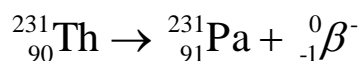
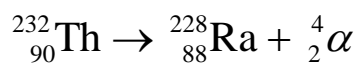


## Reações Nucleares

Duas condições devem ser atingidas no balanço das equações:

1. **Conservação do número de massa A**
2. **Conservação da carga nuclear (número atômico Z)**

Exemplos:



149



## Escala de Energia

A energia nuclear escala utilizada pela maioria dos cientistas é elétrons-volt (**eV**), milhares de elétrons volts (**keV**), e milhões de elétrons-volt (**MeV**).

Um elétron volt é a energia adquirida quando um elétron passa através de uma diferença de potencial 1 volt.

$$1 \text{ eV} = 1,602\ 177\ 33\ (49) \times 10^{-19} \text{ J}$$

150



## Os processos de decaimento – Regras Gerais

- Quando um elemento se transforma em outro elemento, o processo é chamado de **decaimento espontâneo** ou **desintegração** ou **transmutação**
- O número de massa **A** deve ser igual dos dois lados da equação.
- O número atômico **Z** deve ser igual dos dois lados da equação.
- Deve se manter a **conservação de massa-energia e momento**.

151



## Decaimento $\alpha$

decaimento  $\alpha$   
ou  
decaimento alfa  
ou  
desintegração  $\alpha$

152



## Decaimento $\alpha$

**decaimento alfa** → processo radioativo comum encontrado nos isótopos mais pesados.

isótopos com números de massa **A** menores que cerca de 150 ( $Z < 60$ ) raramente emitem partículas  $\alpha$ .

A partícula  $\alpha$  é um núcleo de hélio que tem massa igual a 4 e carga +2.

153

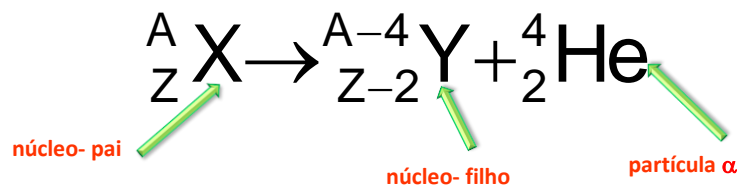


## Decaimento $\alpha$

Quando um núcleo emite uma **partícula alfa** ( $\alpha$ ) perde dois prótons e dois nêutrons ⇒

- número de nêutrons **N** diminui 2
- número atômico **Z** diminui 2
- número de massa **A** diminui 4

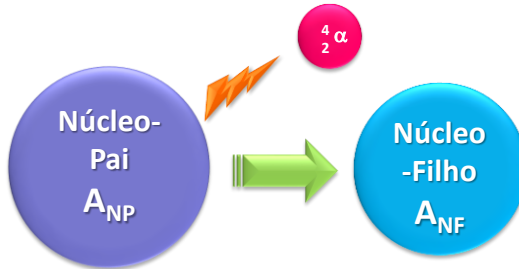
Simbolicamente



154



## Decaimento $\alpha$

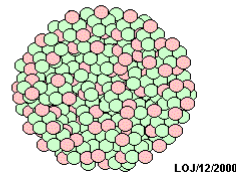


$$A_{NP} = A'_{NF} + 4$$

$$Z_{NP} = Z'_{NF} + 2$$

- Proton
- Neutron

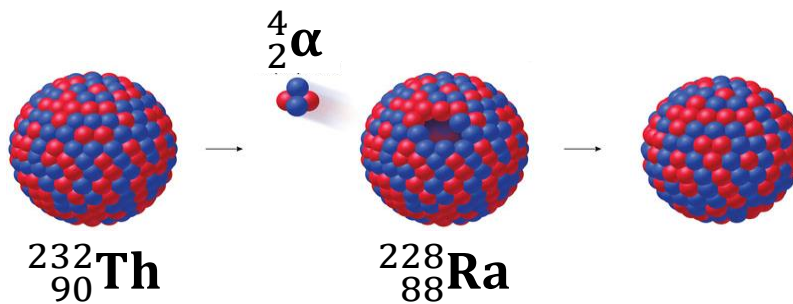
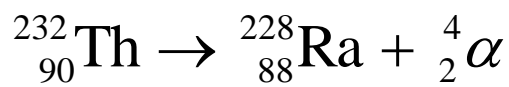
NP  $\rightarrow$  núcleo-pai  
NF  $\rightarrow$  núcleo-filho



155



## Decaimento $\alpha$



156



## Decaimento $\alpha$



Elemento	Símbolo	Número Atômico Z	Massa Molar, g/mol
Actínio	Ac	89	227,03
Alumínio	Al	13	26,98
Cálcio	Ca	20	40,08
Califórnio	Cf	98	251,08
Carbono	C	6	12,01
Cério	Ce	58	140,12
Césio	Cs	55	132,91
<b>Chumbo</b>	<b>Pb</b>	<b>82</b>	<b>207,19</b>
Cloro	Cl	17	35,45
Cobalto	Co	27	58,93
Cobre	Cu	29	63,54
Criptônio	Kr	36	83,80
Crômio	Cr	24	52,00
Cúrio	Cm	96	247,07
Disprósio	Dy	66	162,50
Dúbnio	Db	105	262,11
Einsténio	Es	99	254,09

157



## Decaimento $\alpha$

As partículas  $\alpha$  de um processo de decaimento:

- 77% dos decaimentos:  
partículas monoenergéticas  $\rightarrow$  produz uma partícula alfa com uma **energia de 4,196 MeV**.
- 23% dos decaimentos  $\rightarrow$  produz uma partícula alfa que tem uma **energia de 4,149 MeV** + liberação de **raios gama** de 0,047 MeV.

$$1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$$

eV = unidade de energia = elétron-volt

158



## Decaimento $\alpha$

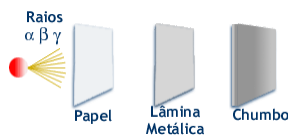
- perdem progressivamente sua energia como resultado das colisões com a matéria, e finalmente se convertem em átomos de hélio pela captura de dois elétrons de suas vizinhanças.

159



## Decaimento $\alpha$

- Sua massa e carga relativamente grandes tornam as **partículas  $\alpha$**  altamente efetivas na produção de pares de íons quando interagem com a matéria que atravessam; esta propriedade torna a sua detecção e medida, fáceis.



160

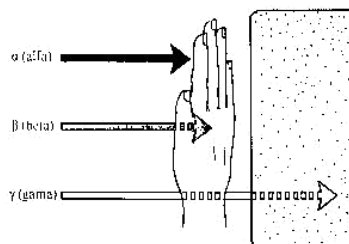




## Decaimento $\alpha$

- Pela sua alta massa e carga, as partículas  $\alpha$  têm um baixo poder de penetração na matéria.

*A identidade de um isótopo que é um emissor de partículas alfa pode geralmente ser estabelecida pela medida do comprimento (ou alcance) sobre o qual as partículas alfa emitidas produzem pares de íons em um meio particular (geralmente o ar).*



A figura procura mostrar os diferentes poderes de penetração das radiações  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$ .

161



## Decaimento $\alpha$

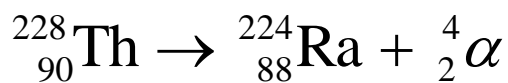
*Alcance da partícula  $\alpha$*

energia (MeV)	alcance (cm)		
	ar	tecido humano	alumínio
1	0,55	$0,33 \times 10^{-2}$	$0,32 \times 10^{-3}$
2	1,04	$0,63 \times 10^{-2}$	$0,61 \times 10^{-3}$
3	1,64	$1,00 \times 10^{-2}$	$0,98 \times 10^{-3}$
4	2,58	$1,55 \times 10^{-2}$	$1,50 \times 10^{-3}$
5	3,50	$2,10 \times 10^{-2}$	$2,06 \times 10^{-3}$

162



## Exemplo decaimento $\alpha$



início

fim



163



## Decaimento $\beta$

decaimento  $\beta$

ou

decaimento beta

ou

desintegração  $\beta$

164



## Decaimento $\beta$ ( $\beta^-$ )

Núcleos que possuem um excesso de nêutrons, podem alcançar a estabilidade pela conversão de um nêutron em um próton e uma partícula  $\beta$ .

São encontrados **três tipos de decaimento  $\beta$** :

- *emissão de elétrons ( $\beta^-$ ),*
- *emissão de pósitrons ( $\beta^+$ )*
- *captura de elétrons.*

165



## Decaimento $\beta$



Qualquer reação nuclear na qual o número atômico  $Z$  varia mas o número de massa  $A$  não, é classificado como um decaimento  $\beta$ .

São encontrados **três tipos de decaimento  $\beta$** :

- *emissão de elétrons ( $\beta^-$ ),*
- *emissão de pósitrons ( $\beta^+$ )*
- *captura de elétrons.*

166



## Decaimento $\beta$

Dois tipos de partículas  $\beta$  são criados pelo decaimento radioativo:

- partículas  $\beta^-$ , são elétrons negativos
- partículas  $\beta^+$  são pósitrons, os quais têm uma existência transitória, possuem a massa de um elétron mas apresentam carga positiva.

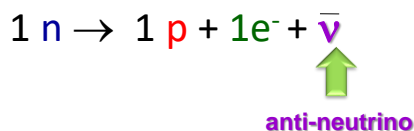
167



## Decaimento $\beta$ e desintegração do n

Tanto o pósitron como o elétron (partícula beta) são formados por **desintegração do nêutron ou do próton**.

Um nêutron (**n**) pode se transformar em um próton (**p** ou **H<sup>+</sup>**) e emitir um elétron (**e<sup>-</sup>** ou  **$\beta^-$** );



168



## Decaimento $\beta$ e desintegração do p

Tanto o pósitron como o elétron (partícula beta) são formados por **desintegração do nêutron ou do próton**.

o próton (**p** ou **H<sup>+</sup>**), pode se transformar em um nêutron (**n**) e emitir um pósitron (**e<sup>+</sup>** ou  **$\beta^+$** ).



neutrino

169



## Pósitron ( $\beta^+$ )

*Comumente criado durante o decaimento, pósitrons são idênticos em tamanho e massa aos elétrons mas tem carga positiva.*

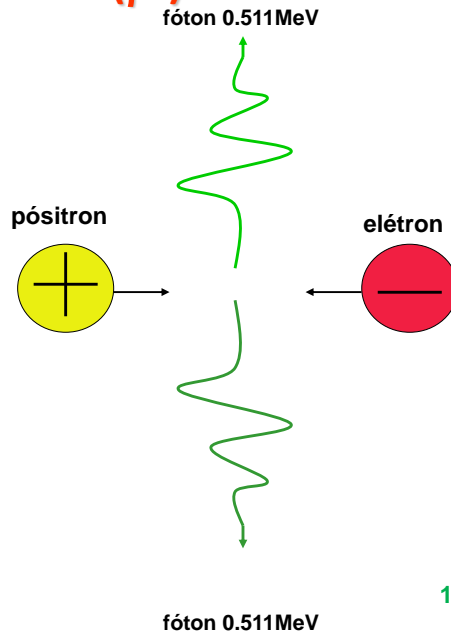
*Quando pósitrons interagem com a matéria, experimentam um forte atração coulombiana, colidem com os elétrons resultando na **aniquilação** dos dois.*

170



## Pósitron ( $\beta^+$ )

A aniquilação resulta na emissão de pelo menos 2 raios gama, com energias entre 0 e 0,511 MeV, para conservação de energia e momento.



171



## O que é o neutrino ( $\nu$ )?

*Neutrino "is the most tiny quantity of reality ever imagined by a human being"*

Neutrino "é a menor quantidade da realidade jamais imaginada por um ser humano "



Frederick Reines

172



## O que é o neutrino ( $\nu$ )?

**Neutrino** é uma partícula subatômica, dificilmente detectada porque sua interação com a matéria é muito fraca, sua carga é neutra e sua massa extremamente pequena.

A sua formação se dá em diversos processos de desintegração em que sofre transição para um estado de energia mais baixa quando o hidrogênio é convertido em hélio no interior do Sol. Neste momento são gerados todos os comprimentos de ondas.

173



## Descoberta do neutrino

No começo de 1900 já se conheciam três tipos de radioatividade:

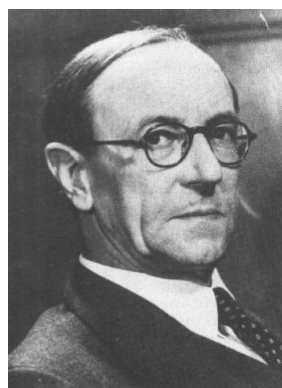
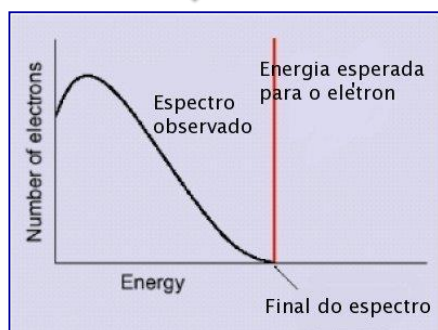
1. **Radioatividade  $\alpha$** : um **núcleo** de  $\text{He}^4$  é emitido pelo núcleo radioativo.
2. **Radioatividade  $\gamma$** : um **fóton** de alta energia (alguns MeV) é emitido pelo núcleo radioativo.
3. **Radioatividade  $\beta$** : um **elétron** é emitido pelo núcleo radioativo.

174



## Descoberta do neutrino

Espectro medido por James Chadwick em 1914



Radioatividade  $\beta$   $\rightarrow$  a energia do elétron tem que ser fixa e igual à diferença de energia do núcleo inicial menos a do núcleo final

175



## O que é o neutrino ( $\nu$ )?

**Wolfgang Pauli** em torno da década de trinta, observou que em vez de ter uma energia de 0,8 MeV, o elétron quando acelerado (emitido), possui uma energia variável entre 0 e 0,8 MeV. (*e não uma energia determinada*)

Considerada uma anomalia, o cientista procurou uma forma de adequar matematicamente a prática e a teoria, pois ambas não eram concordantes.

Em torno de 1931, Pauli encontrou vestígios do que poderia vir a ser outra partícula muito pequena que acompanhava o elétron em sua aceleração. Esta foi denominada de “**neutrino**”.

176





## O que é o neutrino ( $\nu$ )?

Somente em **1956**, é que se comprovou a **existência real do neutrino**, pois sua interação era tão pequena que quase não foi possível sua detecção (Reines e Cowan).



Frederick Reines



Clyde Cowan Jr.

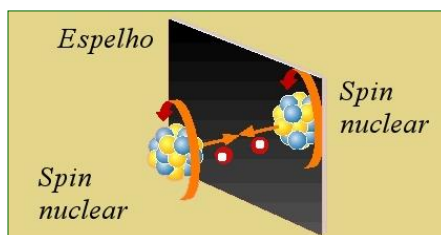
177



## O que é o neutrino ( $\nu$ )?

Somente em **1956**, é que se comprovou a **existência real do neutrino**, pois sua interação era tão pequena que quase não foi possível sua detecção (Reines e Cowan).

Fisicamente, o primeiro detector de neutrinos consistia de um cubo com 400.000 litros de tetracloretileno (antineutrinos, diferindo apenas do spin).



178



## O que é o neutrino ( $\nu$ )?

No início da **década de sessenta**, foi descoberto em laboratório que os prótons e nêutrons compunham-se de **partículas que foram chamadas de quarks**.

179



## O que é o neutrino ( $\nu$ )?

Em meados da **década de oitenta**, os quarks, juntamente com outra classe de partículas subatômicas conhecidas como **léptons**, constituíam os blocos construtores fundamentais de toda matéria.

O neutrino é uma das partículas elementares da **matéria/energia**.

180



## O que é o neutrino ( $\nu$ )?

Pertence à família **dos léptons**, sua massa é **muito pequena** (*antigamente se pensava que podia ser nula*).

O spin do neutrino é  $1/2$ , sua carga elétrica pode ser considerada nula.

Esta partícula é formada em diversos processos de **desintegração beta**, e na **desintegração dos mésons K**.

Pode-se dizer (por enquanto) que existem três tipos de neutrino.

Estão intimamente associados ao elétron, ao tau e ao múon.

181



## Emissão de elétrons $\beta^-$

Quando um núcleo-pai ejeta uma partícula  $\beta^-$ :

- número atômico  $Z$  do NF aumenta de uma unidade
- número de massa  $A$  **permanece o mesmo**

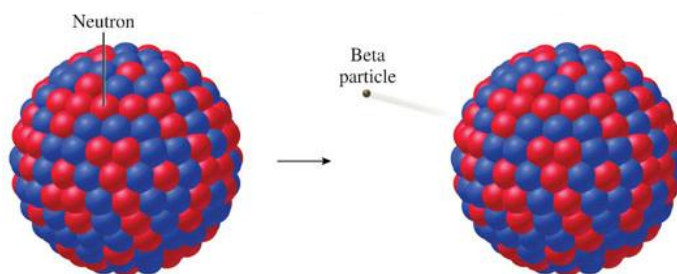
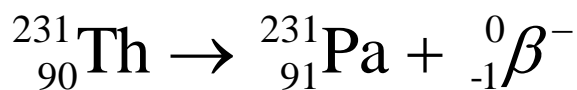
182



## Emissão de elétrons $\beta^-$



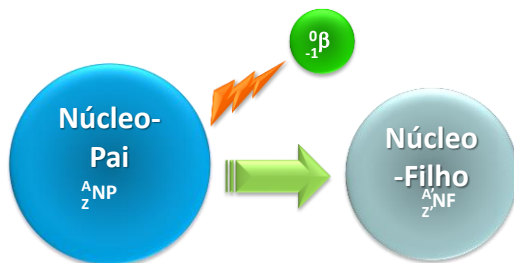
Quando um núcleo emite uma partícula beta (elétron), seu número atômico  $Z$  aumenta uma unidade e seu número de massa  $A$  permanece inalterado.



183



## Emissão de elétrons $\beta^-$



$$\begin{aligned} A_{NP} &= A'_{NF} \\ Z_{NP} &= Z'_{NF} - 1 \end{aligned}$$

184

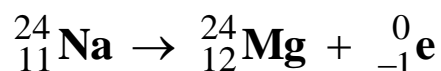


## Emissão de elétrons $\beta^-$



### exemplo:

- o sódio-24 sofre um decaimento  $\beta$ , o núcleo-filho é um átomo de um elemento com número atômico 12 (magnésio), mas com o mesmo número de massa do núcleo-pai:



185



## Emissão de elétrons $\beta^-$

*Alcance da partícula  $\beta$*

energia (MeV)	alcance (cm)		
	ar	tecido humano	alumínio
0,01	0,55	$0,33 \times 10^{-2}$	$0,32 \times 10^{-3}$
0,1	1,04	$0,63 \times 10^{-2}$	$0,61 \times 10^{-3}$
0,5	1,64	$1,00 \times 10^{-2}$	$0,98 \times 10^{-3}$
1,0	2,58	$1,55 \times 10^{-2}$	$1,50 \times 10^{-3}$
2,0	2,58	$1,55 \times 10^{-2}$	$1,50 \times 10^{-3}$
3,0	3,50	$2,10 \times 10^{-2}$	$2,06 \times 10^{-3}$

186

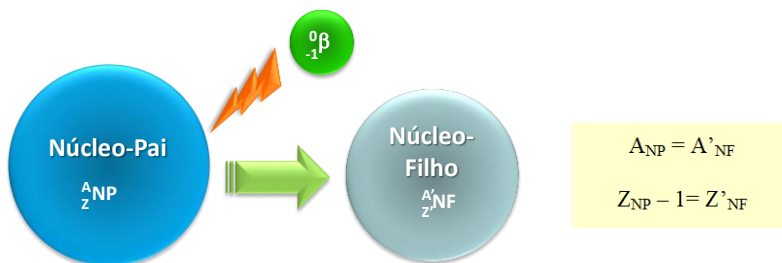


## Captura eletrônica



No processo de captura eletrônica, um núcleo-pai captura um elétron da vizinhança.

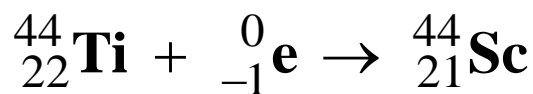
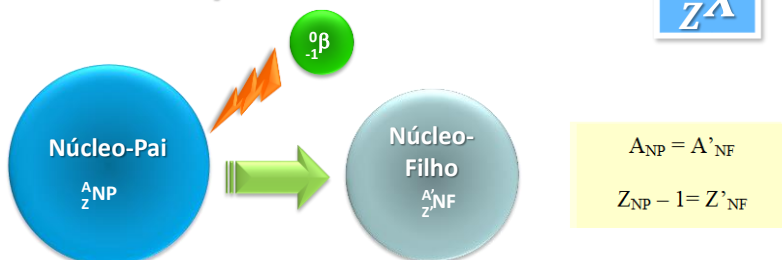
Como resultado, o número atômico decresce de uma unidade mas o número de massa permanece o mesmo.



187



## Captura eletrônica



188



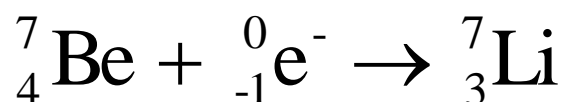
## Captura eletrônica



Um próton e um elétron sem combinam para formar um nêutron.

O número de massa **A** permanece o mesmo, mas o número atômico **Z** diminui uma unidade.

Poucos nuclídeos sofrem essa transformação.



189



## Emissão de pósitrons $\beta^+$

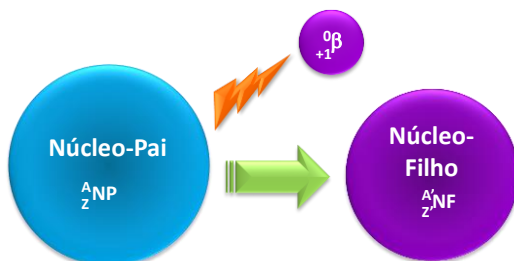
*Na emissão de pósitron ( $\beta^+$ ), o núcleo-pai, ejeta um pósitron. Como resultado, o número atômico decresce de uma unidade mas o número de massa permanece o mesmo.*

*Um pósitron é representado por  $e^+$  ou, de uma forma mais simplificada,  $\beta^+$ ; possui a mesma massa do elétron mas possui uma carga positiva.*

190

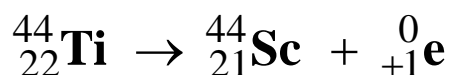


## Emissão de pósitrons $\beta^+$



$$A_{NP} = A'_{NF}$$

$$Z_{NP} = Z'_{NF} + 1$$



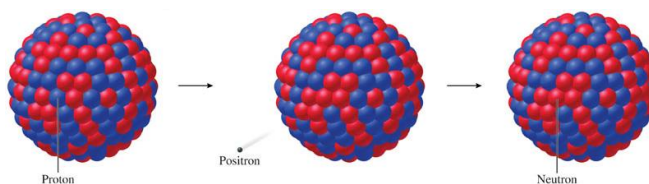
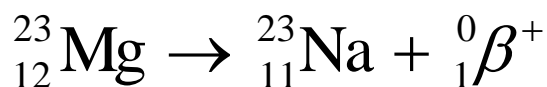
191



## Emissão de pósitrons $\beta^+$



Quando um núcleo emite uma partícula  $\beta^+$  (pósitron) número de massa **A** permanece o mesmo, e o número atômico **Z** diminui uma unidade.



192

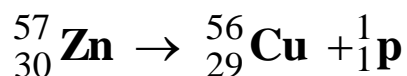




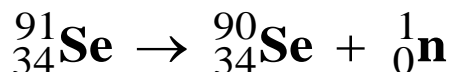
## Emissão de prótons e nêutrons $\frac{A}{Z}X$

Estes dois processos são menos comuns e tendem a ocorrer somente em casos especiais.

A perda de um próton decresce de uma unidade ambos, massa e número atômico.



A perda de um nêutron decresce somente o número de massa de uma unidade:

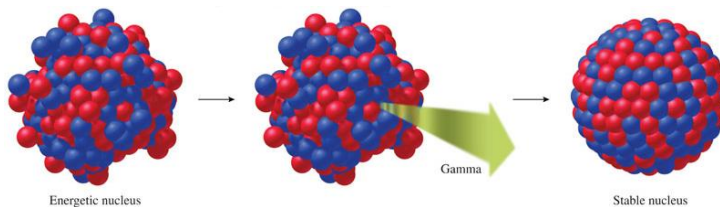


193



## Emissão de radiação gama ( $\gamma$ ) $\frac{A}{Z}X$

Em todas as reações nucleares, o núcleo varia de um estado de maior energia, para outro de menor energia.



Raios gama ( $\gamma$ ) são pura energia eletromagnética. Não há mudança de massa nem de numero atômico.



194



## Decaimento gama

Raios gama são emitidos geralmente quando um núcleo no estado excitado decai para um estado de menor energia.

Da mesma forma que o elétron, “pula” para estados de menor energia, emitindo fótons.

Os estados nucleares resultam de “saltos” feitos por próton ou nêutron.

Os estados nucleares podem ser o resultado de uma colisão violenta ou mais provavelmente de uma emissão alfa ou beta.

195



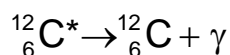
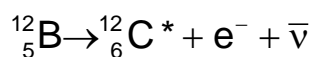
## Decaimento gama



Exemplo de decaimento gama.

O primeiro decaimento é uma emissão beta.

O segundo passo é uma emissão gama.



O C\* indica que o núcleo de carbono está em um estado excitado.

A emissão gama **não** modifica **A** ou **Z**.

196



## Instabilidade Nuclear

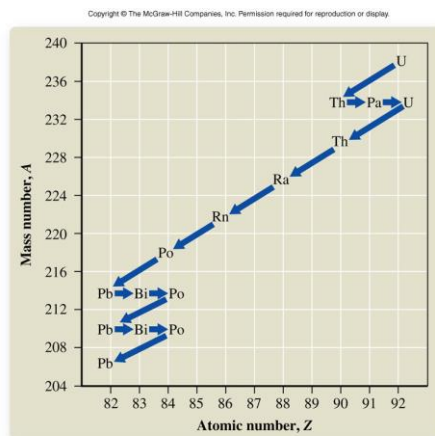
razão para instabilidade nuclear	processo radioativo	radiação emitida	variação na razão N/Z
excesso de massa	decaimento alfa	${}^4_2\alpha$	pequeno aumento
N/Z muito grande	decaimento beta	${}^0_{-1}\beta^-$	diminuição
N/Z muito baixo	emissão de pósitron	${}^0_1\beta^+$	aumento
N/Z muito baixo	captura eletrônica	-	aumento
excitado energeticamente	emissão gama	raios $\gamma$	nenhuma

197



## Séries de decaimento radioativo

- decaimentos  $\alpha$  e  $\beta$  levam à estabilidade do núcleo.
- elementos 83 até 92.



198



## Radioatividade Natural

Classificação dos núcleos:

- **naturais, instáveis**, encontrados na natureza; dão origem à radioatividade natural
- **artificiais**, produzidos em laboratório utilizando-se reações nucleares.

Há 3 séries de radioatividade natural

- Urânio
- Actínio
- Tório

199

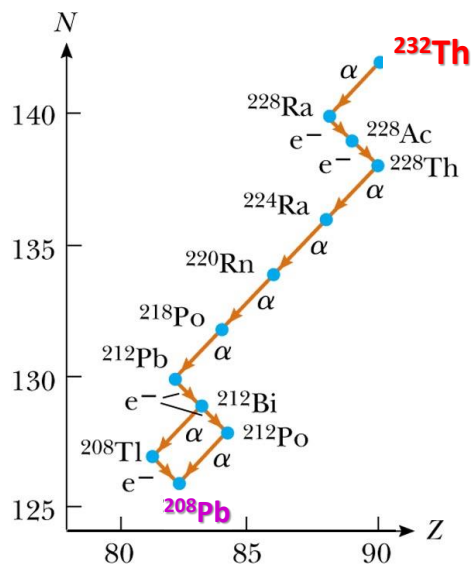


### Serie de Decaimento Radioativo do $^{232}\text{Th}$

A série inicia com  $^{232}\text{Th}$

Ocorre uma série de decaimentos  $\alpha$  e  $\beta$

A série finaliza com o isótopo do chumbo,  $^{208}\text{Pb}$



200



## Series Radioativas naturais



Todos os elementos com  $Z > 84$ ; parte dos que têm  $81 < Z < 83$  e os isótopos radioativos com  $Z < 81$ .

série do urânio  $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb} (4n + 2)$

série do tório  $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb} (4n)$

série do actínio  $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{Pb} (4n + 3)$

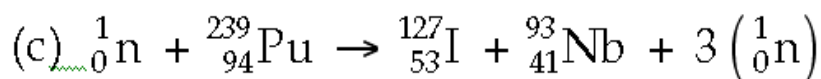
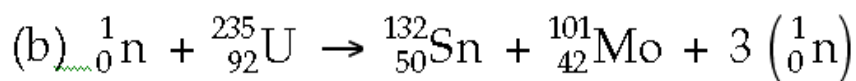
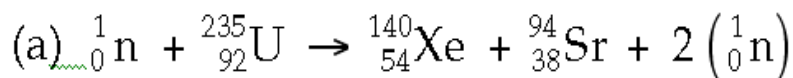
201



## Pergunta



Quais das seguintes reações são possíveis?

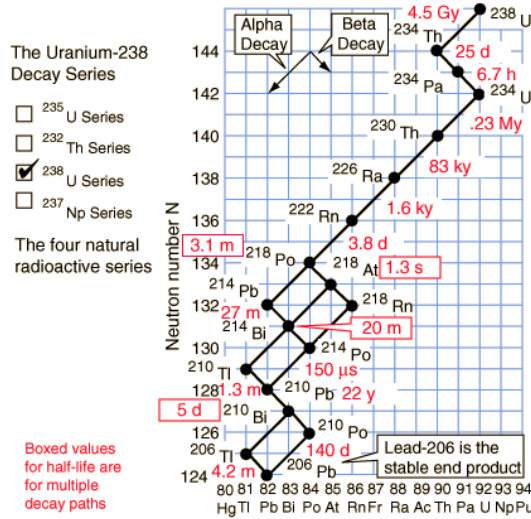


(a) e (b). Nas reações (a) e (b) há conservação da carga e da massa. A reação (c) viola a conservação do número de massa

202



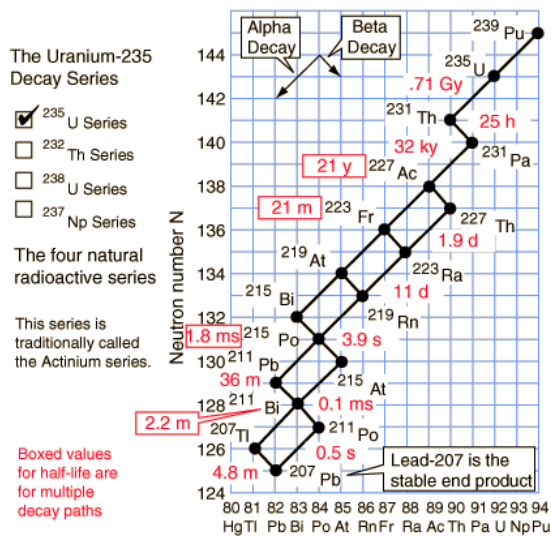
# Série Radioativa do $^{238}\text{U}$



203



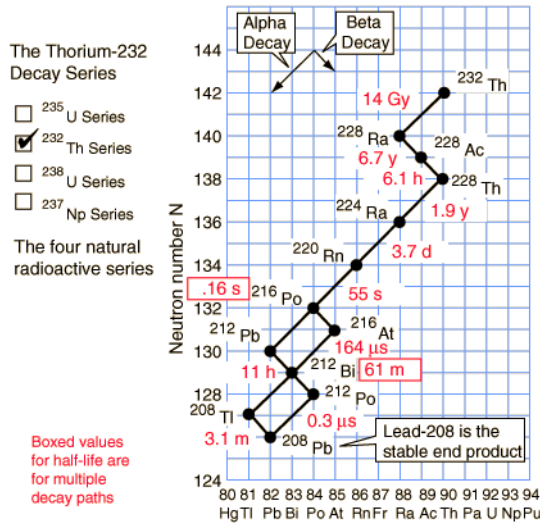
# Série Radioativa do $^{235}\text{U}$



204



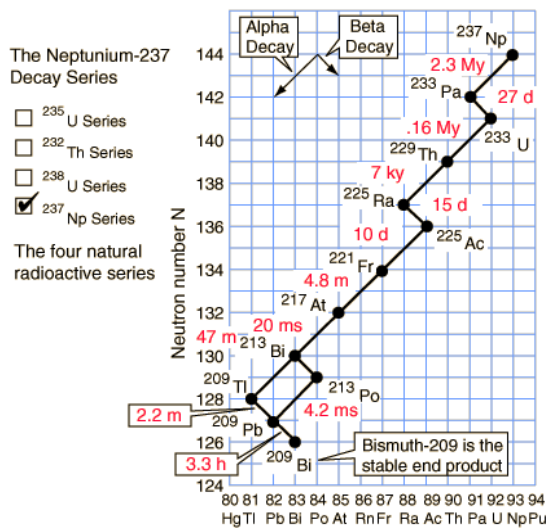
## Série Radioativa do $^{232}\text{Th}$



205



## Série Radioativa do $^{237}\text{Np}$



206