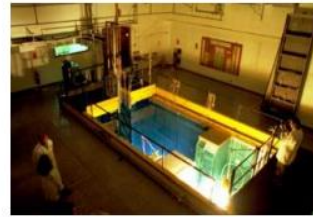




Materiais dos
Reatores
Nucleares

MATERIAIS DE APLICAÇÃO NA ENGENHARIA NUCLEAR



Profs. Arnaldo Andrade
e Raquel Lobo



Ipen



E-mail USP:

raquellobo@usp.br

ÁTOMO

Á  TOMO
 (NEGAÇÃO) (DIVISÃO)

AQUILO QUE NÃO SE DIVIDE

Busca do Princípio Universal na Grécia Antiga

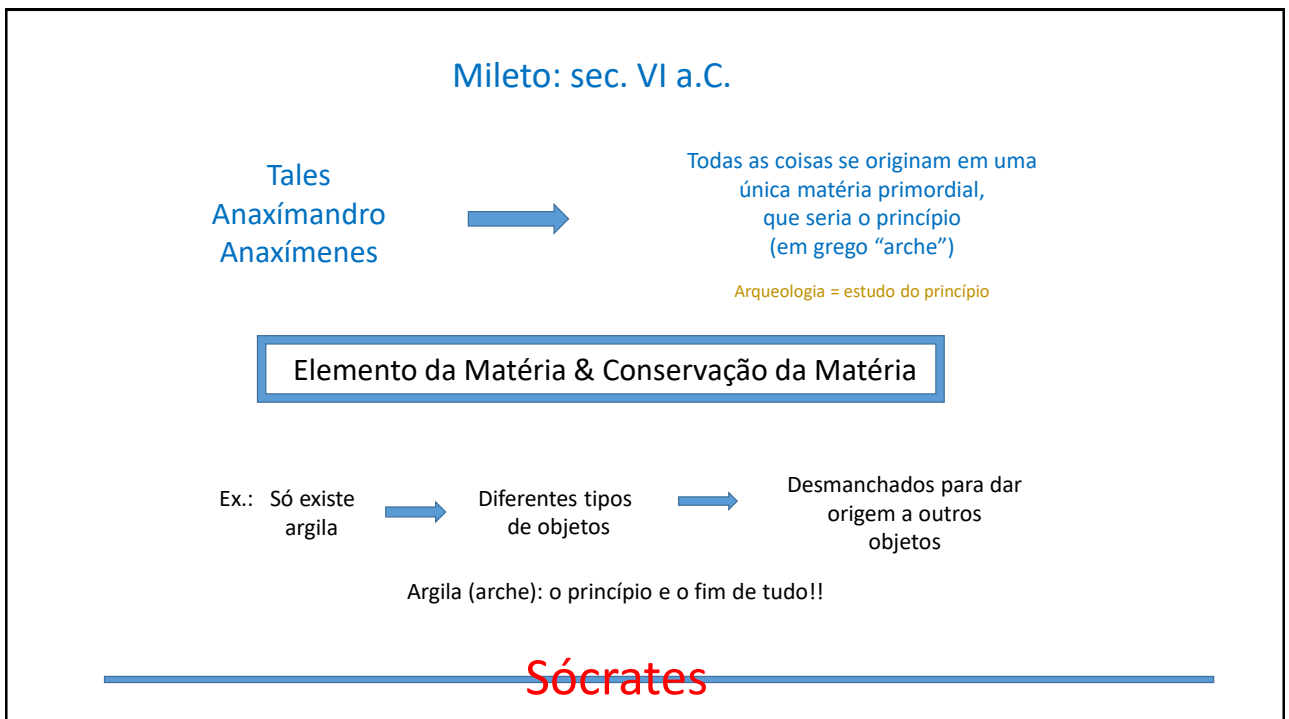
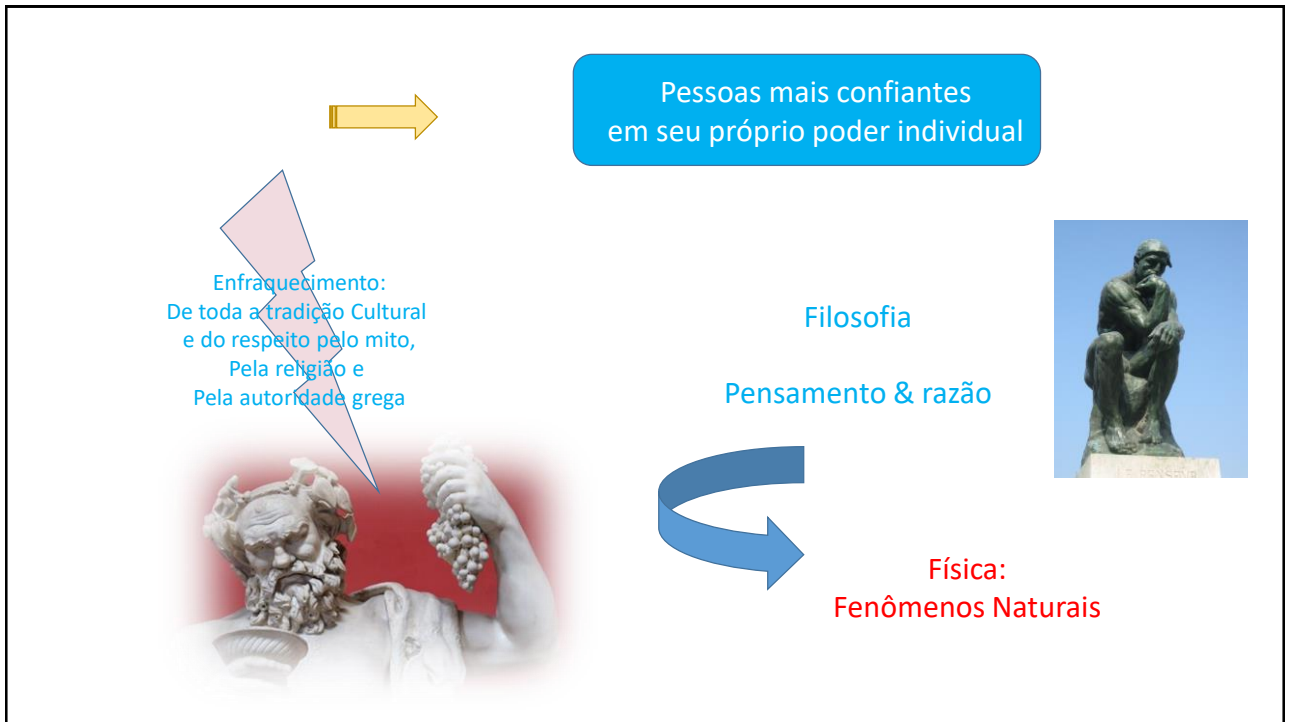
Século
IX – VI a.C.

Profunda
transformação do
Mundo grego
Devido ao contato
Comercial e cultural
Com outros
povos



Surgiram
novos valores
&
Uma sociedade
mais aberta

Burguesia (comércio)



Filosofia Materialista dos Atomistas

Sec. V a.C.

Leucípo (Mileto)
Demócrito (Abdera)



Existência de um espaço vazio ou vácuo,
no qual se moviam partículas eternas,
imutáveis: **os átomos**



- Princípio material de todas as coisas – eternos
- Admitem uma grande variedade de tipos diferentes de átomos e portanto de princípios da matéria
- Todas as coisas se formam quando os átomos se unem e são destruídas quando seus átomos se separam. Porém esses átomos continuam a existir e vão se reunir, depois, para formar novos objetos

Período posterior a Sócrates

Mais antigo texto atomista original completo que foi conservado:

Epicuro (Samos) - 341-270 a.C. - Escritos conservados, dentre eles uma carta a Heródoto (não é o historiador!) onde resume todas as suas ideias a respeito da natureza.

Titus Lucretius Carus (ou **Lucrecio**) - 98 – 55 a.C.

Livro: *Sobre a natureza das coisas* – Livro escrito em versos, onde o autor apresenta a teoria atomista grega, baseado nas ideias de Epicuro e de Lucrecio

Devem existir corpos materiais que são indivisíveis (átomos) e imutáveis, pois deve haver algo que permaneça sempre igual, quando alguma coisa é destruída ou produzida. Se não existissem coisas indivisíveis e imutáveis na matéria, a matéria poderia ir sendo destruída e desapareceria

Ninguém

havia imaginado a existência de outros mundos, nem que nosso mundo – a Terra e aquilo que está em volta dela – fosse apenas uma pequena região em um universo infinito.

A filosofia atomista rompe completamente com toda a visão de mundo que era aceita na época e tira a Terra e o homem do centro do universo.

O atomismo destrói toda a base da religião, negando a existência de deuses capazes de interferir no mundo e a própria existência de uma alma imortal, que possa ser premiada ou castigada após a morte.

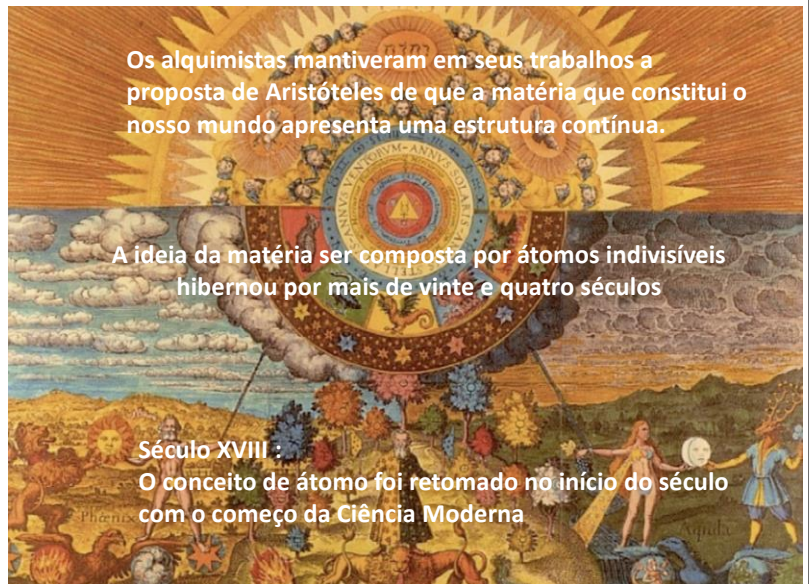
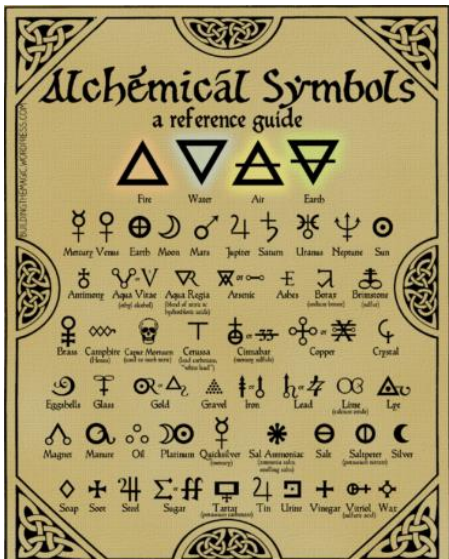
Pensamento Atomista



Concepção do Universo



Concepção extremamente original e revolucionária para a época



Século XVIII :

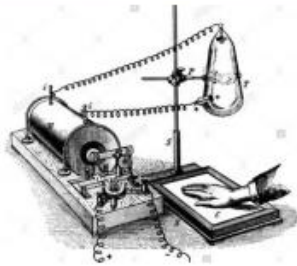
O conceito de átomo foi retomado no início do século com o começo da Ciência Moderna



1895

Wilhelm Röntgen

Descobre "raios penetrantes" produzidos pela descarga elétrica em um gás mantido à baixa pressão (Raios - X)



RAIOS & RADIAÇÃO

Propriedades:

- ★ penetrava com facilidade dentro e através de objetos materiais
- ★ durante emissão, o vidro do tubo onde se dava a descarga elétrica apresentava-se fluorescente



Era perfeitamente natural que se procurasse alguma ligação entre raios-X e fluorescência



Raios-X despertavam muito interesse e até diversão, à medida que se tornava conhecida do público a propriedade de "ver através". (1900)

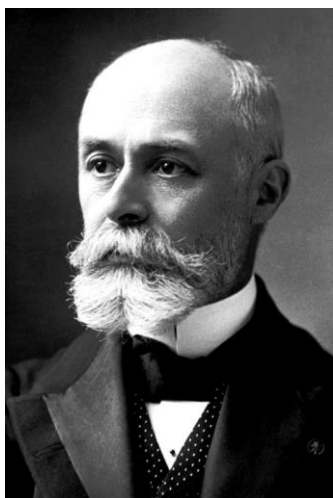


Superman in *Superman: Secret Origin* #6 (October 2010). Art by Gary Frank and Jon Sibal

Publication information	
Publisher	DC Comics
First appearance	<i>Action Comics</i> #1 (cover-dated June 1938; published April 18, 1938)
Created by	Jerry Siegel (writer) Joe Shuster (artist)
In-story information	
Alter ego	Kal-El (birth name) Clark Joseph Kent (adopted name)
Species	Kryptonian
Place of origin	Kryptonopolis (Krypton) Smalville / Metropolis (Earth)
Team affiliations	Justice League Legion of Super-Heroes Superman Family
Partnerships	Supergirl (various) Superboy (various) Superdog (Krypto) Batman Wonder Woman
Abilities	<i>See list</i> [show]



Estrutura do Átomo - Descoberta da Radioatividade



1896 – Henri Becquerel

Ao estudar substâncias fluorescentes (sulfato duplo de uranila e potássio) verificou que emitiam radiações penetrantes, como os raios-X, que eram capazes de atravessar vidro, chapas metálicas e **sensibilizar chapas fotográficas**.

Composto de uranio: emitia uma energia capaz de **ionizar o ar**.

(Qualquer composto de uranio, incluindo os que não eram fluorescente Também sensibilizavam as chapas fotográficas)

Acidentalmente foi descoberto o fenômeno da radioatividade!
Esse fenômeno não tinha nenhuma conexão com o fenômeno da fluorescência



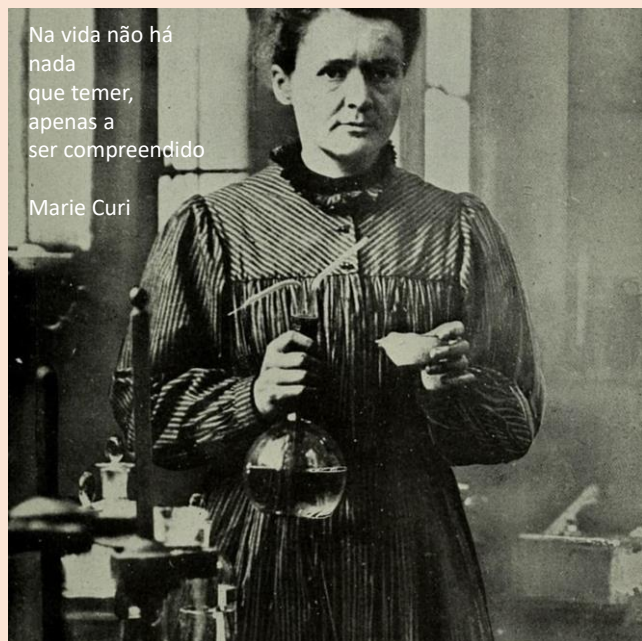
1898 - Radioatividade

Marie Skłodowska Curie e seu marido, Pierre Curie investigaram o mineral pechblenda para determinar qual era a substância responsável pela atividade radioativa

Eles ganharam de presente 100Kg de pechblenda de uma mina em Jachymov, Czechoslovakia. Pelas análises realizadas, encontraram dois novos elementos:

Polônio – anunciado em Julho de 1898

Radio – anunciado em 26 de Dezembro de 1898



Na vida não há nada que temer, apenas a ser compreendido

Marie Curi

Maria Salomee Sklodowska

Nascimento:

07/11/1867 - Varsóvia, Polônia

Polônia, sob domínio da Rússia



Boa educação (pais professores)

1883 – Conclui formação pré-universitária

Trabalhou como governanta, ensinando e cuidando de crianças

1891 – Vai para Paris para obter graduação em Física (1893) & Matemática (1894)

1895 - Casa-se com Pierre Curie (Marie Curie)

1902 - Obtém forma pura de Sal de rádio (0,1g)

1903 - **Premio Nobel de Física** juntamente com Pierre Curie e Henry Becquerel

1906 - Morte de Pierre Curie

1908 - 1ª mulher a dar curso na Sorbone

1911- **Premio Nobel de Química** por ter produzido radio puro



Não conseguiu ser eleita para a Academia Francesa de Ciências



Jornais seguiam sua vida particular - Amizade com o físico Paul Langevin, que havia deixado a esposa... → Adoece e vai se tratar (Inglaterra)

1912 - Ganha Laboratório especialmente Construído pelo Instituto Pasteur



Pesquisa sobre radiação & Aplicações médicas

1914 - Instituto do Rádio da Universidade de Paris
Início da I Guerra Mundial



Irène & Marie

Morte: 04/07/1934 - Sancellemoz (Suíça)

Marie foi vítima dos danos da radiação durante mais da metade da sua vida

Julho de 1898



Polônio (Po)

Dezembro de 1898



Rádio (Ra)

Rádio (do latim científico radium, irradiar)

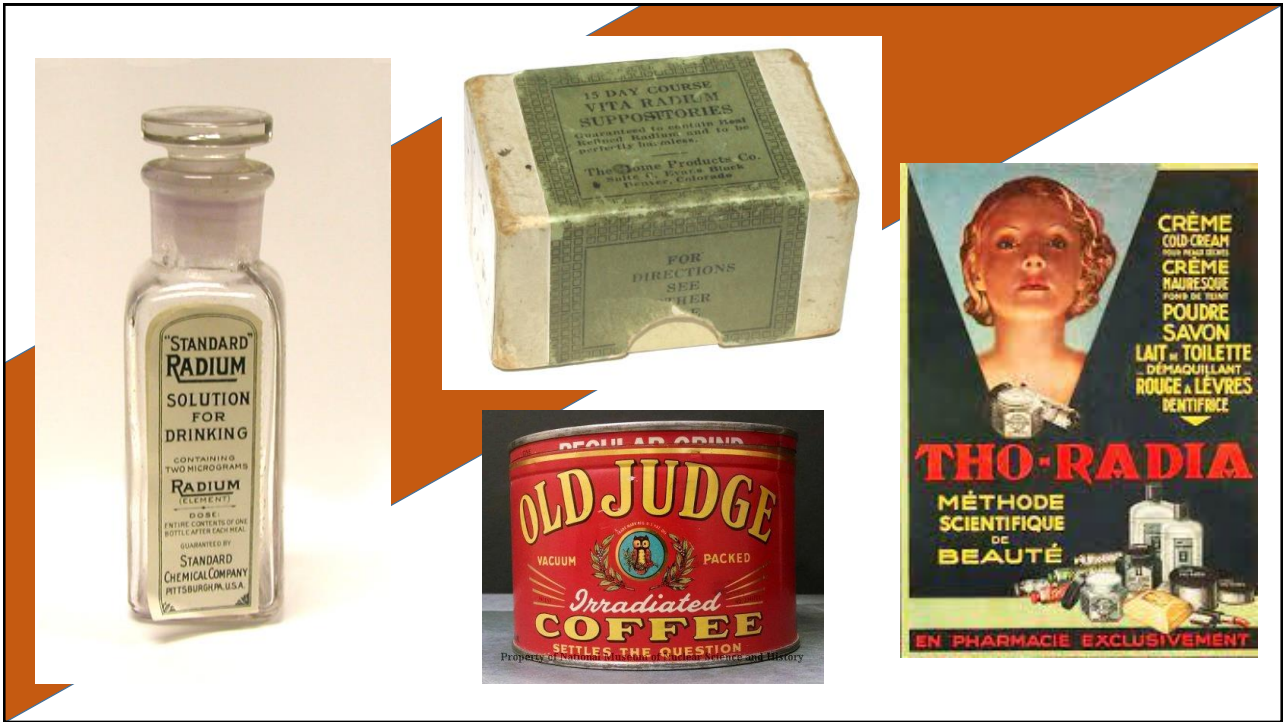


O Radio é um milhão de vezes mais radioativo que o Urânio!!



O Radio foi usado em grande variedade de aplicações

A Moda da Radiação





Compressa radioativa
"Cosmos Radioactive Pad" (1928)

Reproduzido sob permissão de Oak Ridge Associated Universities
Copyright © 1998



Aplicações superficiais de radio (^{226}Ra) para tratamento de câncer de pele



Produtos com radioatividade adicionada e suas finalidades	
Produto	Emprego
Coquetel fluorescente para bailes e festas	Impressionar os convidados com os efeitos luminosos
Pasta de dentes	Combater queda prematura de dentes, cáries, ativar a digestão bucal e tornar o esmalte brilhante e luminoso
Rioleta de cassino fluorescente	Dificultar fraudes
Cigarros	Prevenir enfermidades pulmonares
Protetor auricular	Manter a higiene e esterilizar o canal auditivo
Sabões	Aumentar a eficiência da lavagem dos tecidos
Lâminas de barbear	Remoção mais confortável dos pelos, amaciando e reduzindo a irritação da pele
Alimentos como cerveja, manteiga, chocolate etc.	Abri o apetite, aumentando a ação digestiva do estômago
Contraceptivos	Matar espermatozoides e esterilizar a vagina, evitando doenças sexualmente transmissíveis
Goma de amido	Aditivo ao sabão, deixar roupas brancas mais brilhantes
Baralho	Tornar o jogo mais emocionante e divertido
Pomada para calçados	Maior durabilidade do brilho

Fonte:

Lima, R. S.; Pimentel, L. C. F.; Afonso, J. C. O Despertar da Radioatividade ao Alvorecer do Século XX. Química Nova na Escola, v. 33, nº 2, 2011.

Radio para Relógios

As Garotas
Do Radium

United States Radium
Corporation factory,
Orange, New Jersey,
1917



The Power of Radium at Your Disposal

Twenty-three years ago radium was unknown. Today, thanks to constant laboratory work, the power of this most unusual of elements is at your disposal. Through the medium of Undark, radium serves you safely and surely. Does Undark really contain radium? Most assuredly. It is radium, combined in exactly the proper manner with zinc sulphide, which gives Undark its ability to shine continuously in the dark.

Manufacturers have been quick to recognize the value of Undark. They apply it to the dial of watches and clocks, to electric push buttons, to the handles of bed room slippers, to house numbers, flashlights, compasses, gasoline gauges, automobiles and many other articles which you frequently wish to see in the dark.

The next time you fumble for a lighting switch, bark your shin on furniture, wonder vainly what time it is because of the dark—remember Undark. It shines in the dark. Dealers can supply you with Undarked articles.

For interesting little folder telling of the production of radium and the uses of Undark address

RADIUM LUMINOUS MATERIAL CORPORATION
 1000 AVENUE C
 NEW YORK CITY
 (Incorporated in U.S.A.)

UNDAK
Radium Luminous Material
Shines in the Dark

To Manufacturers

The number of manufactured articles to which Undark will add increased usefulness is manifold. From radio equipment, to light bulbs, to watches and, when it seems advisable, will carry on experimental work for them. Undark may be applied either as paint, plaster, or as an adhesive. The application of Undark is simple. It is furnished as a powder, which is mixed with an adhesive. The paste thus formed is painted on with a brush. It adheres firmly to any surface.

1917-1926: foi usado em grande variedade de aplicações:

Tinta luminosa para relógios militares e instrumentos.

Garotas da fábrica foram encorajadas a molhar os pincéis em seus lábios

Por brincadeira, pintavam suas unhas, seus dentes e até mesmo suas faces ...

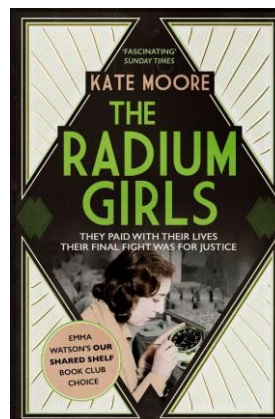
O corpo trata o radio como cálcio → o armazena em seus ossos



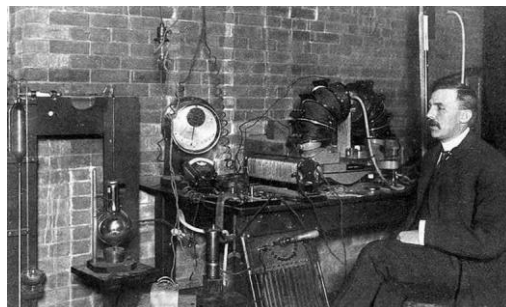
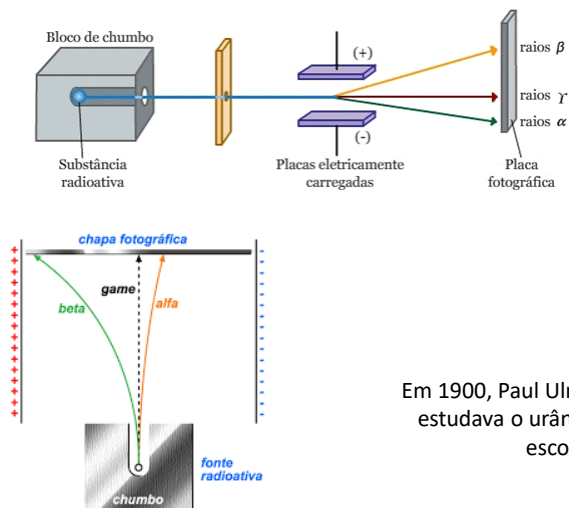
Cinco destas mulheres desafiaram seu empregador em um caso judicial que estabeleceu o direito de trabalhadores individuais processarem seus empregadores em caso de contração de doenças ocupacionais.



O direito individual dos trabalhadores para garantir contra danos da corporação devido a abusos de trabalho foi estabelecido como resultado da ação das Garotas do Rádio.



Física Nuclear & Radioatividade

1899 – Ernest Rutherford (α e β)

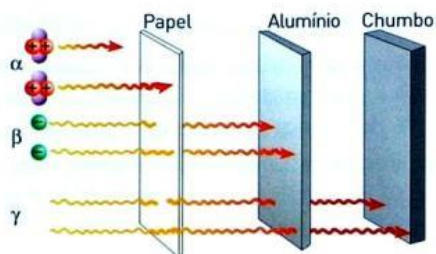
Em 1900, Paul Ulrich Villard descobriu os raios gamas enquanto estudava o urânio e o radio no departamento de química da escola normal da rua d'Ulm, em Paris.



Partículas α : partículas carregada positivamente (átomos de hélio duplamente ionizado)

Partículas β : partículas carregadas negativamente (elétrons movendo-se com velocidade extremamente alta bem próxima da velocidade da luz)

Qual a espessura de alumínio que podia ser atravessada pelas radiações?



Descoberta do Núcleo

Thomson : o e^- era um constituinte do átomo

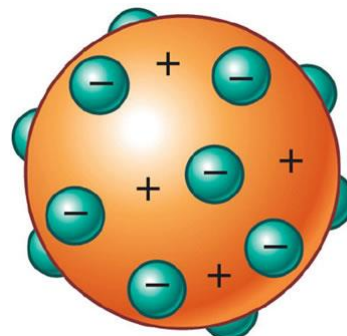
Átomo neutro

Carga positiva = carga negativa

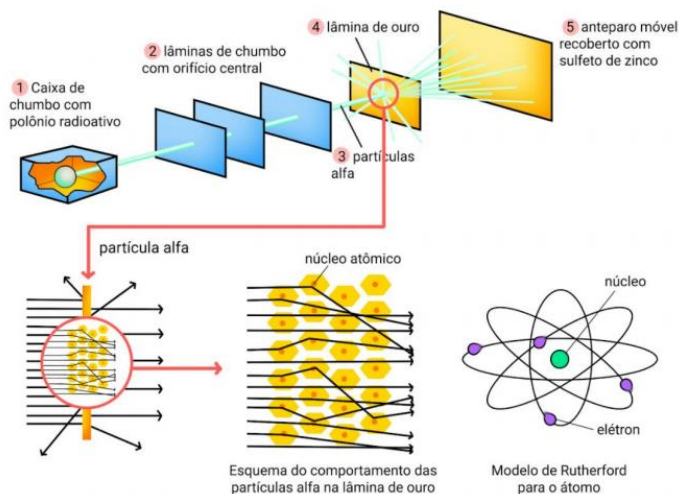
Massa do e^- era muito pequena



Maior parte da massa do átomo era associada a carga positiva



1911 - Ernest Rutherford: mostra que a carga positiva deveria estar concentrada no núcleo do átomo



Carga positiva concentrada
no núcleo



Como manter partículas positivas (mesmo sinal)
em um mesmo espaço?

1920 – Rutherford sugeriu a existência de uma partícula, semelhante aos prótons, mas sem carga elétrica, ou seja uma partícula neutra.

A essa partícula “teórica” foi dado o nome de nêutron.

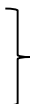
1932 - Chadwick : descoberta do neutron (partícula neutra com massa aproximadamente igual a do próton)

Atualmente:

elétron – partícula elementar

próton (p)

neutron (n)



3 partículas elementares (quarks)

quark up (u)
quark down (d)

próton (uud)

neutron (udd)

quark	Carga elétrica
Up	+ 2/3
down	- 1/3



$$m_e = 9,1 \times 10^{-31} \text{ Kg} = 0,0005488 \text{ u.m.a}$$

$$m_p = 1,67 \times 10^{-27} \text{ Kg} = 1,0073 \text{ u.m.a}$$

$$m_n = 1,0087 \text{ u.m.a}$$

Z = número atômico = número de prótons

N = número de neutrons

$A = Z + N$ número de massa

Massa atômica: $M_a = Z \times m_p + N \times m_n + Z \times m_e$



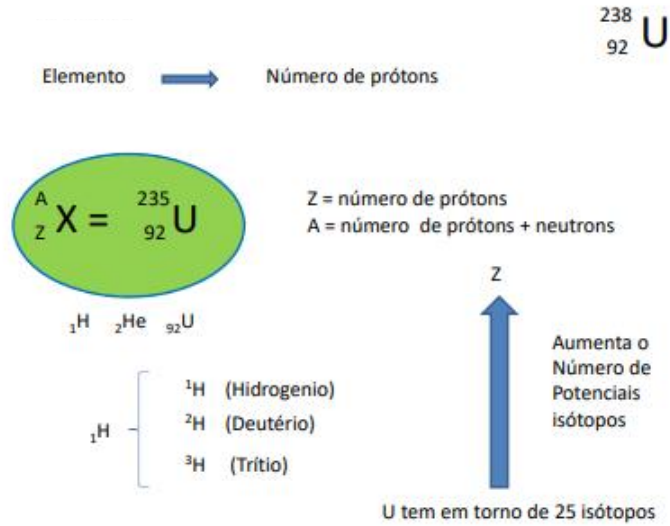
Diâmetro do núcleo:
(ordem de magnitude)

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

Diâmetro do átomo:
(ordem de magnitude)

$$1 \text{ Angstrom} = 10^{-10} \text{ m}$$

Isótopos



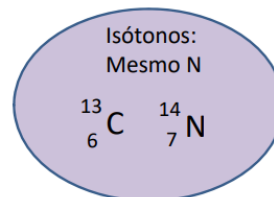
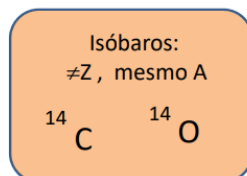
Isótopos

Mesmo elemento, com mesmo número de próton e mesmo número de elétrons

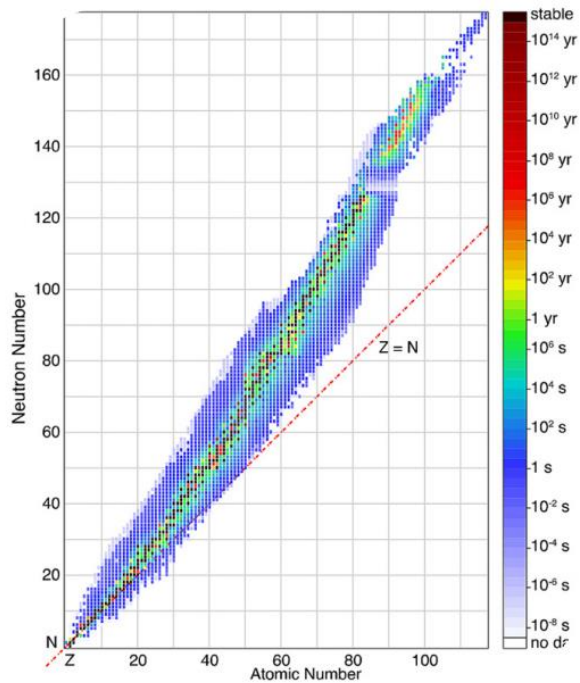


Propriedades químicas idênticas
 $\neq$ Número de neutrons

1675 nuclídeos artificiais;
 264 estáveis e naturais



Estabilidade
dos isótopos
com o aumento
do número
atômico



↑ P + n

Indicação de Estabilidade: n/p

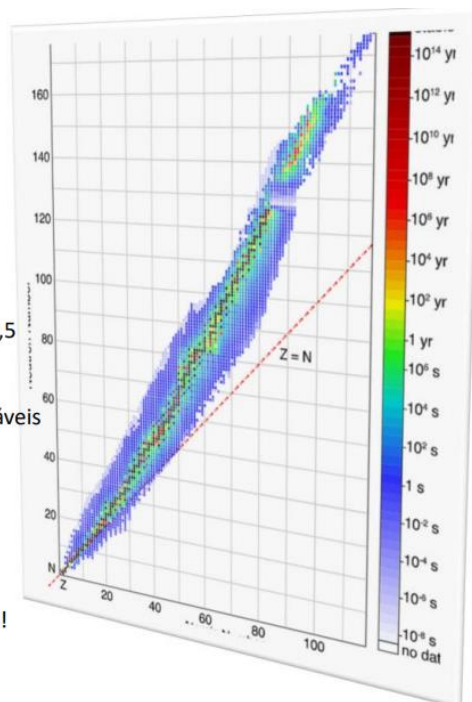
I - Z baixo (~ 20): razão próxima a 1

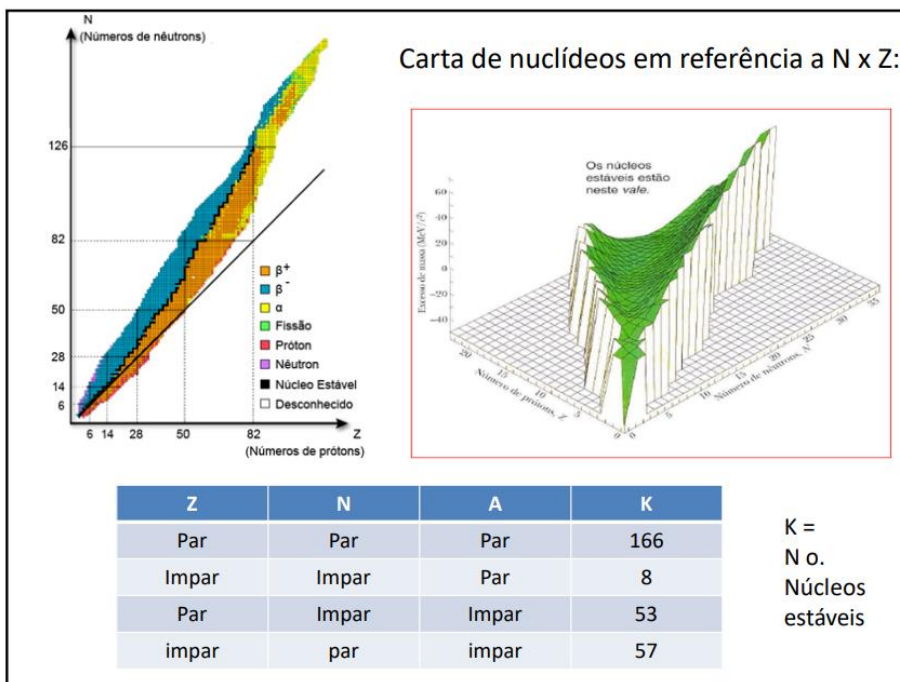
II - Z médio (20-83): razão próxima a 1,5

III - Z maior que 83 (Bismuto):
 $\nexists$ isótopos naturalmente estáveis

Todos são radioativos
 (alguns com meia vida grande)

Po e acima dele, todos são radioativos!!





Massa do Núcleo e Energia de Ligação

$M_{\text{núcleo}} \neq M_{\text{prótons}} + M_{\text{neutrons}}$

Diferença de massa:

$$\Delta m = Z \times m_p + N \times m_n - M_{\text{núcleo}}$$

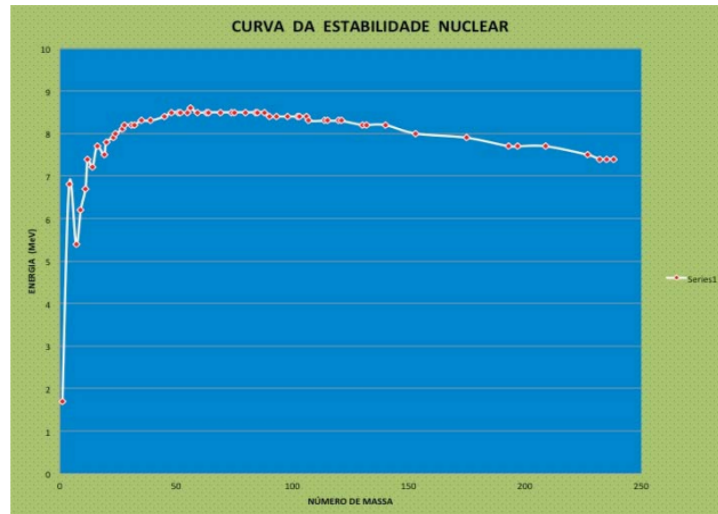
$$\begin{cases} E = m \cdot c^2 \\ \Delta E = \Delta m \cdot c^2 \end{cases}$$

$$\begin{array}{l} {}^4_2\text{He} \quad \Delta m = 0,03 \text{ u.m.a.} \quad \text{ou} \quad \Delta E = 28,29 \text{ MeV} \\ \Delta E/A = 7,07 \text{ MeV} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} {}^{235}_{92}\text{U} \quad \Delta m = 92 \times 1,0078 + 143 \times 1,0086 - 235,0439 \\ \quad \quad \quad = 1,915 \text{ u.m.a.} \quad \Delta E/A = 7,59 \text{ MeV} \end{array}$$

ΔE = Energia liberada no
Processo de formação
(quantidade de massa
que seria convertida
em energia)

$\Delta E / A$  Energia de ligação de cada nucleon em função do número de massa



Forças Nucleares

Força Gravitacional - muito fracas para partículas como prótons e neutrons

Força Eletromagnética repulsiva entre dois prótons - 10^{36} vezes maior que a força atrativa gravitacional



Força Nuclear ou Interação Forte

As forças nucleares intensas entre
próton - neutron,
próton - próton e
neutron - neutron
são iguais.

Forças núcleon - núcleon

Radioatividade

Núcleo estável ou quase estável durante algum tempo se decompõe,
sofre uma reação de desintegração nuclear
ou decaimento nuclear

Substância Radioativa - características:
meia vida e o tipo de radiação emitida

Meia vida: tempo necessário para que metade dos átomos decaia
e se transformem em outra espécie de átomo.

$^{226}_{88}\text{Ra}$ - meia vida: 1600 anos

Lei do Decaimento

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

Integrando :

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

λ = constante de desintegração

Para $t = 1/2$

$$t_{1/2} = 0,693 / \lambda$$

Isótopos	Meia vida – $t_{1/2}$	Constante de Decaimento
Urânio	4,5 E9 anos	1,54 E-10 / anos
Rádio	1.600 anos	4,33 E-4 / anos
Tório	24,5 dias	2,83 E-2 / dias
Protactínio	1,14 min	0,608 / min
Polônio	E-6 s	6,93 E5 / s

Núcleos instáveis ocorrem na natureza - radioatividade natural

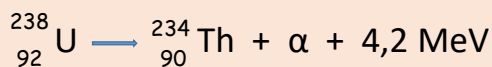
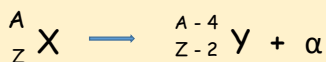
Núcleos instáveis produzidos em laboratório - radioatividade artificial

Radioatividade Natural

Decaimento α : átomo de ${}^4_2\text{He}$ duplamente ionizado

→ Partícula α é o núcleo do átomo de He

Quando uma partícula alfa é ejetada do núcleo, o número atômico diminui em 2 unidades e o número de massa em 4 unidades



Em 1g de urânio, cerca de 12.000 átomos decaem a cada segundo.
Após 4,5E9 anos, metade deles terão decaído!

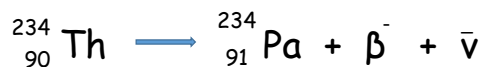
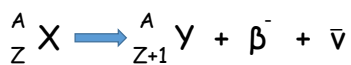
Decaimento β

A radiação β é um e^- $\longrightarrow$ Tem massa ≈ 0 ($m = 0,00055$ u.m.a.)
e carga -1

A emissão de uma partícula β converte um nêutron do núcleo em um próton



Emissão β não altera o número de massa, mas aumenta o número atômico em 1 unidade



Pa = protactínio