

Universidade de São Paulo Instituto de Física

Da matéria dos átomos aos átomos na matéria

Prof. Manfredo H. Tabacniks 30 de setembro de 2002

Roteiro

Do que é feita a matéria ?

- os elementos
- os elementos dos elementos
- A experiência de Rutherford e o modelo atômico
- os aceleradores
- os aceleradores
- os aceleradores

Os aceleradores na medicina e tecnologia. A análise de materiais

- O método PIXE
- A Espectroscopia Rutherford RBS e ERDA
- SIMS Secondary Ion Mass Spectrometry

Conclusões

Na Grécia antiga, Empédocles (~492 - 432 AC) classificou a matéria em quatro elementos:

água, terra, ar e fogo

Esses 4 elementos eram envoltos por: **amor e ódio**. O amor une os elementos. O ódio os separa. A mistura dos elementos cria todas as coisas.

http://perso.club-internet.fr/molaire1/e_plan.html

Os atomistas gregos

A palavra átomo vem de "a-tomos" (Leucipo de Mileto) que em grego significa indivisível. Demócrito de Abdera (~460-370 AC) ensinava que a matéria era constituída de partículas em movimento perpétuo com as seguintes propriedades:

- invisíveis (muito pequenas)
- indivisíveis
- sólidas (sem espaço vazio interno)
- cercadas de espaço vazio (para se movimentar)
- com infinitas formas (explica a multitude da Natureza)

http://perso.club-internet.fr/molaire1/e_plan.html

Mas os gregos não detinham o monopólio...

It is from a book on the *Bhagavad Gita*: "The phenomenal world or material world is also complete in itself because the twenty-four elements of which this material universe is a temporary manifestation are completely adjusted to produce complete resources which are necessary for the maintenance and subsistence of this universe. There is nothing extraneous, nor is there anything needed. This manifestation has its own time fixed by the energy of the supreme whole, and when its time is complete, these temporary manifestations will be annihilated by the complete arrangement of the complete. There is complete facility for the small complete units, namely the living entities, to realize the complete, and all sorts of incompleteness are experienced due incomplete knowledge of the complete."

Today, We discovered there are 12 particles and the 12 corresponding antiparticles, from which we get **24 building blocks** for all existing matter. Na Índia existia uma filosofia (sistema Vaiseshika) que também afirmava ser a matéria composta por átomos indestrutíveis.

De um livro sobre o *Bhagavad Gita*: O fenomenal mundo material é completo porque os 24 elementos que o compõe são uma manifestação temporária totalmente ajustada para produzir os recursos que são necessários para a manutenção e subsistência desse Universo. Essa manifestação tem seu próprio tempo dado pela energia da entidade suprema e quando esse tempo se completar, essa manifestação temporária será aniquilada....

O "Grande Plano" da alquimia na Idade Média...

...era obter a transmutação dos elementos. Tranformar elementos comuns em metais nobres como o ouro. Apesar das crenças esotéricas e do insucesso, os alquimistas (precursores do químico moderno) desenvolveram os métodos experimentais de observação e classificação dos elementos...

A tabela periódica no tempo (1500AC - 2000)



11 elementos conhecidos em 1500 AC



34 elementos no final do Século 18



15 elementos no final do Século 17



82 elementos final do Século 19



www.uniterra.de/rutherford

O modelo de átomo de John Dalton (1807)

- Em 1807, J. Dalton enuncia a lei das proporções definidas: "Um composto é formado combinando elementos sempre nas mesmas proporções em peso".
- Dalton reconhece na massa uma propriedade atômica fundamental. Concluiu que os átomos eram pequenas esferas sólidas, uniformes, densas e indivisíveis.



A lei foi "provada" com resultados inadequados. Alguns compostos eram não estequiométricos:

incerteza experimental > lei

Tabela periódica de Mendeleïev (1869)

Pesos atômicos determinados pelo método de Cannizzaro



	Gruppe I.	Gruppe II.	Gruppe III.	Gruppe IV.	Gruppe V.	Gruppe VI.	Gruppe VII.	Gruppe VIII.
	-	-	-	RH ⁴	RH ³	RH ²	RH	-
Reihen	R ² O	RO	R ² O ³	RO ²	R ² O ⁵	RO ³	R ² O ⁷	RO ⁴
1	<u>H</u> = 1							
2	<u>Li</u> =7	<u>Be</u> =9,4	<u>B</u> = 11	<u>C</u> = 12	<u>N</u> = 14	<u>0</u> =16	<u>F</u> = 19	
3	<u>Na</u> =23	<u>Mg</u> =24	<u>A1</u> = 27,3	<u>Si</u> = 28	$\underline{P} = 31$	<u>S</u> =32	<u>C1</u> = 35,5	
4	<u>K</u> = 39	<u>Ca</u> =40	$= 44 _{Sc}$	<u>Ti</u> =48	$\underline{V} = 51$	<u>Cr</u> = 52	<u>Mn</u> = 55	<u>Fe</u> = 56, <u>Co</u> =59 Ni=59, Cu=63
5	$(\underline{Cu} = 63)$	<u>Zn</u> = 65	$\frac{Ga}{2} = 68$	^{Ge} = 72	<u>As</u> =75	<u>Se</u> =78	$\underline{Br} = 80$	
6	<u>Rb</u> = 85	<u>Sr</u> = 87	? <u>Yt</u> = 88	<u>Zr</u> = 90	<u>Nb</u> = 94	<u>Mo</u> =96	= 100	<u>Ru</u> =104, <u>Rh</u> =104 <u>Pd</u> =106, <u>Ag</u> =108
7	<u>Ag</u> =108	$\underline{Cd} = 112$	<u>In</u> = 113	<u>Sn</u> = 118	<u>Sb</u> = 122	<u>Te</u> = 125	$\underline{J} = 127$	
8	Cs = 133	<u>Ba</u> =137	? <u>Di</u> =138	? <u>Ce</u> = 140	-	'-		·
9	(-)	-	-	-	-	-	-	
10	-	-	? <u>Er</u> = 178	? <u>La</u> =180	<u>Ta</u> = 182	<u>W</u> = 184	-	<u>Os</u> =195, <u>Ir</u> =197, <u>Pt</u> =198, <u>Au</u> =199
11	(<u>Au</u> = 199)	$\underline{Hg} = 200$	<u>T1</u> = 204	<u>Pb</u> = 207	<u>Bi</u> =208		-	
12	-	-	-	Th = 231	•	U = 240	-	

A experiência de Rutherford (1909) Atirando alfas em finas folhas de ouro (0,086 μm)









http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/AtomicStructure/Rutherford-Model.html

Entendendo a experiência de Rutherford







Relatado por Masden e Geiger em 1909

- Praticamente todas as partículas α atravessavam a folha como se ela nem existisse.
- Algumas partículas α eram desviadas de poucos graus (1 grau em média).
- 1 em 8000 partículas eram desviadas em ângulo maior que 90 graus.

http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/AtomicStructure/Rutherford-Model.html

Qual era o problema?

O modelo em vigor era o do átomo de Thompson

Elétrons pontuais imersos num fluido positivo preferencialmente na superfície.



DOIS ANOS DEPOIS

o modelo planetário (1911) o átomo de Bohr







como funciona? o que tem dentro? para que serve?



1931 - 280 kV Acelerador Cockcroft-Walton

Gamov, em 1928, mostra teoricamente que que uma partícula alfa com baixa energia poderia tunelar a barreira coulombiana com uma pequena, mas razoável chance de penetrar no núcleo.

Um microscópio focado numa pequena tela cintilante é operado pelo próprio Ernest Walton, 28 e revela a primeira evidência de uma desintegração artificial.

Como funciona um acelerador ?

Objetivo: transferir energia cinética a uma partícula (carregada)

 $\frac{d\phi_B}{dt}$

- campo elétrico $\vec{F} = q.\vec{E}$
- campo magnético variável $\varepsilon = -$
- onda eletromagnética







Como funciona um cíclotron





Max constrói e opera o primeiro grande acelerador

 $J\,/\,\psi~CHARM$

Quark !



As máquinas foram ficando maiores e mais complicadas:

Câmara de bolhas em hidrogênio líquido, com 2.03 m de diâmetro. Brookhaven National Laboratory, EUA.

Volume de hidrogênio líquido: 1500 litros Campo magnético: 20 400 gauss Potência : 4 MW Peso total: 450 t

As máquinas foram ficando maiores e mais complicadas:

Acelerador linear injetor do Bevatron, Lawrence - Berkeley, EUA

As máquinas foram ficando maiores e mais complicadas:

1000

Bevatron, 6 GeV. Berkeley, EUA.

CERN: Large Hadron Collider, (50 + 50) GeV Large Electron-positron Collider, Super Proton Synchrotron

evessin

Particle Explosion, Close, Marten & Sutton. Oxford Univ. Press. 1987.

FRANCE

A pesquisa em Física Nuclear e a construção de aceleradores no Brasil acompanha a tendência mundial



Betatron - Instalado pelo Prof. Marcelo Damy de Souza, na USP em 1948. Acelerava elétrons até 24 MeV.

Acelerador Van der Graaff

Projetado e construído no Brasil pelo Prof. O. Sala. Funcionou no IFUSP a partir de 1955. Acelerava H⁺, He⁺ até 3.5 MeV.





Acelerador linear de elétrons, de 70MeV instalado em 1967 pelo Prof. Goldemberg no IFUSP. Doado pela U. de Stanford, funcionou até meados de 1980. No canto à esquerda vê-se o injetor de elétrons.



Painel de controle do acelerador linear do IFUSP.



Acelerador Pelletron

Instalado no IFUSP em 1972. Tensão máxima no terminal é de 8 MV. Este é um acelerador tipo tandem, em que se injetam íons negativos, cuja carga é trocada no terminal, resultando em "dupla" aceleração. Foi a primeira máquina do tipo construída no mundo.

Mícrotron

Acelerador Mícrotron em construção no Departamento de Física Experimental sob coordenação do Prof. M.N. Martins. Deverá acelerar elétrons até 30 MeV.



Como funciona um Pelletron ?



Um acelerador e seus acessórios





Pesquisa básica em Física Nuclear

• Estrutura da Matéria

Física Nuclear Aplicada

- Armas
- Medicina
- Modificação de Materiais
- Caracterização de Materiais

The Use of High-Energy Protons in Cancer Therapy Dr. Reinhard W. Schulte Loma Linda University Medical Center













No Centro de Aceleradores Cíclotron (CAC) estão instalados dois aceleradores do tipo Cíclotron isócrono. O mais moderno é uma máquina de última geração que acelera prótons para produção de radioisótopos para serem utilizados em medicina nuclear: ⁶⁷Ga, ²⁰¹Tl, ¹¹¹In, ¹²³I e ¹⁸F. Tais radioisótopos permitem diagnósticos de alta resolução, usando ¹⁸F, para tomografia por emissão de pósitrons.

Interação de feixe de íons com a matéria - MeV



Interação de feixe de íons com a matéria - keV



Modificação de materiais: Implantação de íons



Implantador de íons 300kV da UFRGS

Implantar íons para

- Inibir corrosão em metais
- Modificar polímeros
- Modificar semicondutores



Implantador de íons 300kV do Hahn Meintner Institut, Alemanha, doado para o IFUSP.

Um exemplo de implantação de íons

Studies on Ni-ion implantation in Al

Shape Memory Alloys and Ion Implantation

Institute de Physique de la Matière Complexe (IPMC)

At room temperature, Nickel (Ni) is practically insoluble in Aluminium (Al). Therefore, already very small concentrations of Ni should lead to precipitation of the Al₃Ni phase. Ion implantation is a powerful technique to introduce in a controlled manner an otherwise insoluble element in deep layers of a crystal lattice. In our case Nickel ions are implanted into pure Al. Using high energy ions, the layer reached by the particles can be located deep enough to avoid image forces of the nearby surface.



Implantando íons em polímeros



Papaleo, UFRGS

Métodos analíticos nucleares

Rutherford Backscattering Spectrometry, RBS



Elastic Recoil Detection Analysis, ERDA





Particle Induced X-ray Emission, PIXE



Proton Induced Gamma-ray Emission, PIGE

LAMFI - Laboratório de Análise de Materiais por Feixes Iônicos

Acelerador, Pelletron tipo tandem, 1.7MeV. feixes de H⁺, He⁺, He⁺⁺, Li⁺ e outros. Análises PIXE, RBS, NRA e ERDA







PIXE - Particle Induced X-ray Emission





Detector de raios X Si(Li)

Radiação Eletromagnética raio X característico (keV)

• Partícula incidente

Características

- Medidas absolutas em átomos/ cm²
- Alta sensibilidade 1µg/g (ppm)
- Alta resolução para elementos vizinhos
- Eficiente para elementos mais pesados que Al
- Rápido (~10 min)

Os raios-x e a Lei de Moseley



Aplicações do PIXE

Análise multielementar de amostras ambientais

- Física da Poluição do Ar
- Anéis de crescimento de árvores

Análise de materiais e filmes finos em geral



50Å Ta	
100Å FeMn	
50Å NiFe	
22Å Cu	
75Å NiFe	
50Å Ta	
substrato	

RBS - Rutherford Backscattering Spectrometry



Detetor de Energia das partículas



Partícula espalhada

Partícula leve

Cinemática (ângulos traseiros) Perda de energia

0

Características Método absoluto e com boa descrição teórica Concentração e perfil em profundidade Medida absoluta em átomos/ cm^2 Sensibilidade < 10¹² Au/cm² Sensível a topografia da interface Rápido (10 min)

um espectro RBS didático





SIMS - Secondary Ion Mass Spectrometry



Detection Limits in Si

O₂⁺ Primar Positin	y Ion Beam ve Ions	Cs+ Primar Negati	y Ion Beam ve Ions	Cs+ Primary Ion Beam Positive Ions (MCs+)	
Element	DL (atoms/cm²)	Element	DL (atoms/cm ³)	Element	DL (atoms/cm³)
He	5E+17	Н	1E+17	Ar	1E+17*
Li	<1E+13	В	1E+15	-	-
В	2E+13	C	1E+16	-	-
Na	5E+13	Z	1E+15	-	-
Mg	<1E+13	0	5E+16	-	-
AI	2E+13	F	5E+15	-	-
к	<1E+13	Р	5E+14	-	-
Ca	1E+13	S	1E+15	-	-
Ti	2E+13	CI	5E+15	-	-
Cr	2E+13	Cu	2E+15	-	-
Mn	2E+13	As	5E+13 – 2E+15	-	-
Fe	1E+14 – 2E+15	Ge	2E+15	-	-
Ni	1E+15	Sb	1E+14 – 2E+15	-	-
Cu	2E+14	Au	5E+13	-	-
Zn	5E+15	-	-	-	-
As	5E+16	-	-	-	-
Мо	2E+14	-	-	-	-
In	5E+13	-	-	-	-
Та	5E+15	-	-	-	-
w	5E+14	-	-	-	-

* Assuming Callevel is below 1E+15 at/cm

ERDA - Elastic Recoil Detection Analysis



Características

Concentração e perfil em profundidade Medida absoluta em átomos/cm² Muito eficiente para Z abaixo de Si (até H) Rápido (10 min)

Arranjo experimental



Câmara 30B no Pelletron 30B CISP - Detertor de ionização sensível à posição Gas: P10 Pressão: 20 torr Janela: 80 μg/cm² polipropileno



HEAVY ERDA ANALYSIS FOR H TO SI IN HEAVY SUBSTRATES N. Added, J.F.D. Chubaci, R. Liguori Neto, M.A. Rizzutto and M.H. Tabacniks Instituto de Física - Universidade de São Paulo



Espectros biparamétricos ΔE x E (amostras de ITN - Portugal): a) Au (10 A)/Al N O (1000 A)/ Ta (10A) sobre Si B) Au (10 A)/Al N O (100 A)/ Ta (10A) sobre Si Impact of accelerator-based analytical techniques on the knowledge and conservation of cultural heritage

> Jean-Claude Dran Centre de recherche et de restauration des Musées de France CNRS UMR 171 Paris





Merovingian emerald







330

110

550

Bindant Energy

0.

990

770

Semiconductor

Measurements & Process Controls







experight 2000 Chelles Darw & Accelatory







Analytical Resolution versus Detection Limit



Analytical Spot Size

Algumas referências

- http://www.eaglabs.com/tutorial.htm
- http://particleadventure.org/particleadventure/index.html
- http://www.aventuradasparticulas.ift.unesp.br/
- http://www-sci.lib.uci.edu/HSG/GradPhysics.html
- http://www.if.usp.br/lamfi
- http://www.lnls.br
- Particle Explosion, Close, Marten & Sutton. Oxford Univ. Press. 1987.