

## **Notas para a apresentação dos hologramas:**

### **Folha 2**

-> Imagem representando um holograma analisado no laboratório de feixes de iões do ITN

### **Folha 3**

-> O que se pretende estudar. No que diz respeito à composição dos hologramas, pretende-se saber quais os elementos que os compõem, quais as proporções em que estes elementos estão presentes e quais as espessuras das várias camadas que constituem os hologramas.

Em relação ao estudo da alteração estrutural, pretende-se avaliar o efeito da incidência de um feixe de partículas  $\alpha$  no material.

### **Folha 4**

-> Como estudar? Utilizando o acelerador de Van de Graff do laboratório de feixes de iões do ITN, através das técnicas de RBS e PIXE.

### **Folha 5**

-> A imagem representa o acelerador de partículas, um acelerador electrostático de 3MV(Mega Volt), e as três linhas disponíveis no laboratório, nomeadamente, a linha de PIXE, linha da micro-sonda e linha de RBS/Channeling (canalização iónica). O magnete analisador “conduz” o feixe de partículas vindo do acelerador para uma das 3 linhas de experiências.

### **Folha 6**

> Fotografia das 3 linhas existentes no laboratório:

Esquerda – linha de Pixe;

Meio – Linha da micro-sonda com o magnete deflector de 90°;

Direita – Linha de RBS/Channeling.

### **Folha 7**

-> Funcionamento do acelerador. O acelerador de Van de Graaff existente no laboratório de feixes de iões do ITN é um acelerador electrostático de 3MV. É essencialmente composto por um tanque de pressão, um terminal, uma coluna de suporte, um sistema de coroa e um voltímetro gerador. Sendo um acelerador electrostático, o seu funcionamento baseia-se no facto de uma partícula com carga  $q$ , sujeita a um potencial  $V$ , sofrer uma aceleração e portanto adquirir uma energia cinética  $E = q V$ .

A base do acelerador (na proximidade do motor e da polia inferior) encontra-se à massa (0V), tal como a polia desta extremidade e a parte interior da correia. O mesmo não acontece com a parte exterior da correia onde são “depositadas” as cargas eléctricas positivas.

A correia (feita de material isolante) é portanto o elemento responsável pelo transporte das cargas positivas entre os terminais de baixa e alta tensão. Este elemento

circula por acção do motor situado na base do acelerador que imprime à polia um movimento de rotação.

As cargas são “depositadas” na correia através de um pente localizado sob a correia, perto da polia inferior. Desta forma, devido à fricção (electrostática), os electrões da correia são atraídos e conseqüentemente a correia fica carregada positivamente. Assim sendo, as cargas positivas são transportadas em direcção ao terminal de alta tensão. Neste terminal existe um outro pente metálico (sistema de coroa) que se encontra electricamente ligado ao terminal do acelerador. Deste modo, os electrões presentes no terminal são atraídos para a correia, neutralizando as cargas positivas da correia e deixando o terminal carregado positivamente.

O terminal do acelerador está colocado na extremidade de uma coluna contendo anéis equipotenciais separados entre si por isoladores cerâmicos. Estes anéis estão ligados entre si através de resistências de  $1G\Omega$ , estabelecendo uma queda de tensão progressiva entre o terminal e a massa.

O feixe de iões é produzido pela fonte de iões, onde um determinado gás (H ou He) é ionizado através de um oscilador de radiofrequência (100MHz). A fonte de iões localiza-se na parte final do tubo do acelerador junto ao terminal.

A extracção dos iões da fonte é feita através da aplicação de uma tensão positiva no eléctrodo da fonte. Como cargas do mesmo sinal se repelem, os iões tendem a abandonar a fonte, sendo focados e acelerados ao longo do tubo (que se encontra em vácuo) através do potencial estabelecido entre os extremos – o terminal e a massa.

Ao sair do tubo do acelerador, o feixe de iões encontra o magnete analisador que os deflecte para uma das 3 linhas, por forma a serem utilizados em experiências de PIXE, na micro-sonda ou de RBS.

## Folha 8

-> Princípio Físico de RBS (Rutherford BackScattering). Consiste na colisão elástica (conservação do momento e da energia) entre uma partícula incidente e um átomo alvo em repouso. Ocorre a transferência de energia do projectil para o alvo. O valor da energia transferida depende da natureza do núcleo alvo. Devido ao facto de o núcleo alvo ter uma massa superior à do projectil, ocorre a dispersão do projectil segundo um ângulo  $\theta$ . Diz-se que o projectil é retrodisperso (backscattered).

## Folha 9

-> O princípio da análise pela técnica de RBS baseia-se na detecção das partículas retrodispersas. Da conservação do momento e da energia, obtemos o factor que relaciona a energia inicial do projectil incidente com a energia do projectil retrodisperso, o factor cinemático K.

$$E_f/E_i = K = [(M_1 \cos\theta + (M_2^2 - M_1^2 \sin^2\theta)^{1/2}) / (M_1 + M_2)]^2$$

Vemos desta expressão que, para melhorar a resolução em massa (diferença de massa entre dois elementos) e detectar uma maior variação na perda de energia do projectil, o melhor para detectar as partículas retrodispersas é  $180^\circ$ , isto é, estas partículas assim retrodispersas “transmitem” a melhor informação sobre a amostra a analisar. Através da informação dada pelo factor cinemático e outros (poderes de paragem do projectil no material, secção eficaz de retrodispersão (probabilidade de

ocorrência), consegue-se obter a identificação dos elementos na amostra, a sua distribuição em profundidade e a estequiometria desses elementos na amostra.

### **Folha 10**

-> Tal como foi dito, as partículas retrodispersas possuem uma maior ou menor energia conforme o elemento (e/ou a profundidade) com que colidem. Ao serem detectadas pelo detector, “transmitem” a este a informação sobre a energia que contêm. Através da electrónica associada ao conjunto de detecção estabelece-se uma escala de energia que aparece sob a forma de uma escala de canais (eixo xx), num analisador multicanal (estabelece-se uma correspondência entre um canal e uma energia – calibração em energia). Desta forma é possível determinar qual o elemento (e a profundidade a que esse elemento se encontra na amostra) com o qual o projectil colidiu. No eixo dos yy, temos a escala de contagens que nos indica o número de partículas retrodispersas detectadas com uma determinada energia. Isto é também um indicador da quantidade de um determinado elemento na amostra, com o qual o projectil colidiu. A este gráfico x-y, chamamos espectro e dele podemos tirar a informação sobre os elementos presentes na amostra e a sua distribuição em profundidade na mesma.

### **Folha 11**

-> Princípio físico do PIXE (Particle induced X-ray emission). O feixe de partículas incidentes ao atravessar o material alvo, ioniza-o, conduzindo à formação de lacunas nas camadas electrónicas. Os electrões das camadas mais exteriores vão preencher as camadas mais interiores, libertando energia sob a forma de radiação electromagnética cujo valor é igual à diferença de energia entre a camada exterior e a camada mais interior. A energia desse fóton é característica do elemento que o emitiu. Esses fótons, chamados de radiação X, são detectados, permitindo a identificação dos elementos que constituem a amostra.

### **Folha 12**

-> Exemplo de um espectro de PIXE. Na escala dos xx temos o número dos canais e portanto a energia dos raios X detectados; na escala dos yy temos o número de contagens para uma determinada energia.

### **Folha 13**

-> O feixe incidente de partículas transmite energia ao material constituinte do holograma. Devido ao facto de o material ser essencialmente composto por polímeros, a estrutura do holograma sofre alterações, degradando-se. No espectro, mostra-se a evolução dessa degradação com a carga depositada (quantidade de partículas que atingem o alvo).

### **Folha 14**

-> Após adquirir-se um espectro, há que interpretá-lo, isto é, fazer a sua análise. Esta análise permite quantificar a presença de cada elemento no holograma e desta forma identificar a sua composição. Para tal utiliza-se um programa de computador. Este programa contém os conceitos físicos necessários a uma análise de RBS. O utilizador

introduz um modelo de composição que deve aproximar os valores experimentais. Esse modelo tem o nome de ajuste teórico. O ajuste teórico contém entre outros factores, os elementos que compõem a amostra, as quantidades em que eles estão presentes e a sua distribuição em profundidade na amostra. Este ajuste teórico é constituído por várias iterações (tentativas) que têm como objectivo aproximar o ajuste teórico, o mais possível, aos valores experimentais. Na figura ao lado encontra-se o ajuste teórico parcial para cada elemento. A sobreposição dos parciais tem como resultado o ajuste teórico.

### **Folha 15**

-> Nesta tabela apresenta-se como exemplo, o resultado de uma simulação, isto é, o melhor ajuste teórico conseguido para o primeiro espectro. Vemos então que, teoricamente, a amostra era inicialmente composta por 4 camadas, com diferentes espessuras (  $t(\text{at}/\text{cm}^2)$  e  $t(\text{nm})$  ) e contendo os elementos listados e as proporções apresentadas (  $r$  é a densidade ( $\text{at}/\text{cm}^3$ ) e as proporções em % atómicas ). Na linha final é apresentada a composição da amostra, em que se mostra a quantidade total de cada elemento presente na amostra, sob a forma de uma densidade superficial ( $\text{at}/\text{cm}^2$ ).

### **Folha 16**

> Nas figuras mostra-se novamente uma simulação efectuada para ajustar os valores experimentais obtidos para o espectro final, aquele obtido após um total de  $14.54\mu\text{C}$  de carga depositada.

### **Folha 17**

-> Da mesma forma que para o espectro inicial, apresentam-se na tabela, os parâmetros obtidos para o melhor ajuste do espectro final. Comparem-se os resultados para avaliar a degradação do holograma devido à exposição ao feixe de partículas  $\alpha$ .

### **Folha 18**

-> Na figura mostra-se como exemplo um espectro de PIXE obtido para o holograma. Utilizando esta informação que é quantificada na folha 19, juntamente com a informação fornecida pela análise de RBS, podemos concluir qual a composição dos hologramas.

## **Conclusão**

-> Da análise conjunta obtida pelas técnicas de RBS e PIXE podemos concluir que os principais constituintes dos hologramas são:

- Carbono;
- Oxigénio;
- Sódio;
- Alumínio;
- Azoto;
- Cloro;
- Silício;
- Enxofre;

-Potássio,  
existindo também vestígios de Ferro.

A sensibilidade da técnica de PIXE não permitiu detectar os elementos mais leves, como o sódio, carbono e oxigénio, que aparecem na análise por RBS em grandes quantidades,. Isto é uma indicação de que os hologramas são essencialmente materiais poliméricos (e que conseqüentemente existe também bastante hidrogénio nos hologramas, como é comum com este tipo de materiais).

No que diz respeito à degradação dos hologramas por partículas  $\alpha$ , este efeito é evidente na imagem da folha 13 da apressenta. Como, em que se mostra que houve uma grande alteração do espectro do holograma, mesmo após a injeção de um feixe durante um curto intervalo de tempo, tendo sido depositada uma pequena quantidade de carga pelo feixe de partículas  $\alpha$ .