

## 8. DIVULGAÇÃO E VULGARIZAÇÃO

## O MICROSCÓPIO ELECTRÓNICO

Como é sabido, a imagem de um ponto luminoso, produzida por um sistema óptico não é nunca um ponto, mesmo que o sistema óptico fosse isento de todas as aberrações. A imagem é de facto constituída por um círculo luminoso rodeado por anéis luminosos menos intensos. Este facto provém do fenómeno de difracção da luz e resulta da natureza ondulatória desta. O que nos aparece como imagem de um objecto pontual é o pequeno círculo brilhante, conhecido pelo nome de *círculo de Airy*.

Demonstra-se que o raio do círculo de Airy é  $r' = 0,61\lambda / \text{sen } u'$  sendo  $\lambda$  o comprimento de onda da luz emitida e  $u'$  o ângulo formado pelo raio marginal emergente com o eixo do sistema óptico.

Se considerarmos dois pontos luminosos muito próximos, as suas imagens estarão também muito próximas, e, é fácil mostrar que, se os centros dos respectivos discos de Airy distarem menos que os raios dos ditos círculos, não há mínimo sensível de luz entre os dois centros, quer dizer, as duas imagens não aparecem distintas.

Chama-se *poder resolvente* do sistema óptico considerado, a menor distância a que devem estar dois pontos luminosos para que o sistema óptico dê deles imagens distintas. É fácil mostrar que o poder resolvente de um sistema óptico é dado por  $0,61\lambda / n \text{ sen } u$ , sendo  $n$  o índice de refração do meio interposto entre o ponto luminoso e o sistema óptico,  $u$  o ângulo formado pelo raio marginal incidente com o eixo do sistema e  $\lambda$  o comprimento de onda da luz incidente. A quantidade  $n \text{ sen } u$  chama-se *abertura numérica* do sistema. Vê-se que o poder resolvente é tanto menor quanto maior for a abertura numérica.

As objectivas correntes de maior abertura numérica têm uma abertura numérica de 1,40. São as objectivas de imersão em óleo de cedro ( $n=1,5$ ). Podem no entanto obter-se

objectivas com a abertura numérica de 1,65 empregando um meio de imersão de índice muito elevado.

A uma abertura numérica de 1,40 corresponde, com a luz visível, um poder resolvente de 0,20 microns; a uma abertura numérica de 1,65 corresponde o poder resolvente de 0,17 microns. Quer dizer que com o microscópio óptico não podemos nunca esperar distinguir detalhes inferiores àquelas dimensões.

Deve no entanto notar-se que a fórmula anterior se aplica a um objecto luminoso, o que não é o caso corrente em microscopia. No caso do objectos iluminados o poder resolvente é inferior ao indicado. Também, recentes considerações levam a substituir o factor 0,61 por 0,50.

Mas não importa apenas que o sistema óptico tenha separado as imagens. É necessário que o observador as veja como imagens distintas. Ora, está estabelecido que, para que a nossa retina veja dois pontos como pontos distintos é necessário que o ângulo visual deles seja superior a  $1'$  (0,00029 radianos). Quer então dizer que a amplificação necessária do sistema será

$$M = \frac{0,00029}{0,61\lambda / n \text{ sen } u} \times D_v.$$

Sendo  $D_v$  a distância mínima de visão distinta do observador. A este valor da amplificação chama-se *amplificação útil*. Amplificações superiores dão lugar a imagens maiores mas nas quais não se distinguem novos detalhes de objecto. Como regra prática pode dizer-se que, a amplificação útil de um sistema óptico se obtém multiplicando por 1000 a sua abertura numérica. Como resultado final podemos dizer que a amplificação útil de um microscópio visual não ultrapassa 2000.

Procurou-se aumentar a abertura numérica das objectivas, por forma a descer o limite de resolução, utilizando luz ultravioleta, de

menor comprimento de onda. No entanto pouco se tem feito neste sentido em virtude de várias dificuldades de técnica. Em primeiro lugar as lâminas, lamelas e lentes têm de ser feitas em quartzo, pois que o vidro ordinário é praticamente opaco às radiações ultravioletes; outra dificuldade resulta de se não ter encontrado uma substância conveniente para combinar com o quartzo por forma a obter lentes acromáticas, o que implica a utilização de luz monocromática.

A visualização da imagem pode fazer-se graças a um alvo fluorescente, posto que mais geralmente se prefira utilizar a fotografia.

Com o microscópio de luz ultravioleta pode chegar-se a um limite de resolução para o qual a amplificação útil é de 4000.

Para se poder obter amplificações úteis mais elevadas, correspondendo a limites de resoluções inferiores, recorreu-se ao microscópio electrónico. Neste microscópio a luz é substituída por um feixe de electrões (raios catódicos).

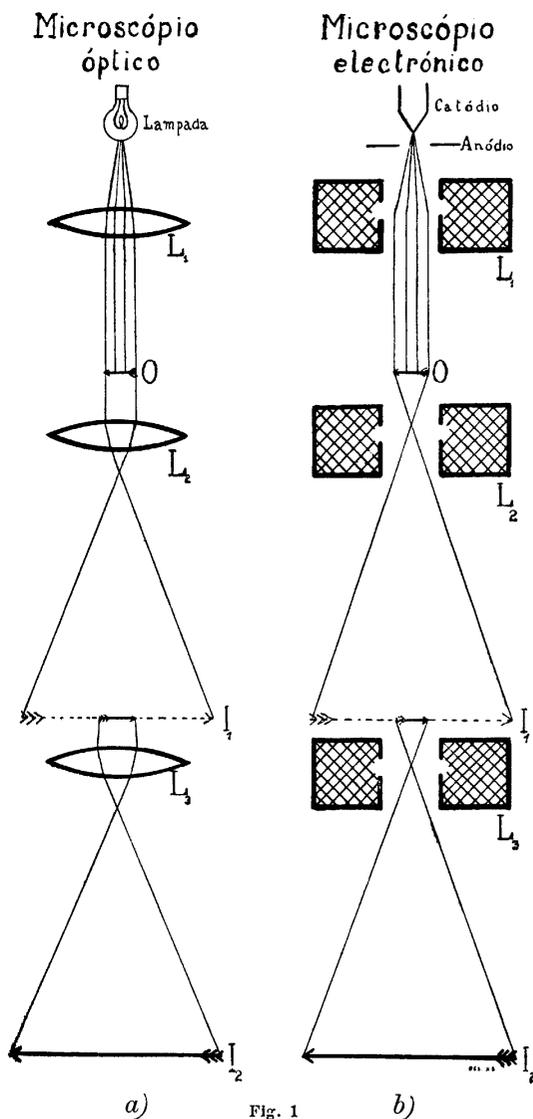
Como é sabido, um electrão em movimento é desviado por um campo eléctrico e por um campo magnético. Pode pois conseguir-se que vários electrões partindo dum determinado ponto em várias direcções sejam desviados por forma a virem reunir-se novamente num outro ponto a que poderemos chamar *imagem electrónica* do primeiro.

Nos microscópios electrónicos em uso tem-se utilizado de preferência campos magnéticos obtidos por meio de bobines percorridas por uma corrente eléctrica. Uma tal bobine constitui o que se chama uma *lente magnética*. Um microscópio electrónico funciona de uma maneira análoga a um microscópio óptico adaptado à fotografia. Esta similitude está indicada na fig. 1.

No microscópio óptico, na figura 1 a), a origem luminosa é constituída por uma lâmpada; os raios luminosos emanados da lâmpada são transformados num feixe paralelo pelo condensador  $L_1$  e dirigidos sobre o objecto  $O$ . A objectiva  $L_2$  dá deste objecto uma imagem real ampliada  $I_1$  de que a ocular

$L_3$  dá uma nova imagem real ampliada  $I_2$  que se forma sobre a chapa fotográfica.

No microscópio electrónico, figura 1 b), a origem luminosa é um fio incandescente (o catódio) que emite electrões. Um anódio com um pequeno orifício central acelera for-



temente os electrões; a diferença de potencial entre o anódio e o catódio é de cerca de 30.000 volts e tem de ser constante (variações inferiores a 1 volt). O feixe electrónico é transformado num feixe paralelo pela lente magnética  $L_1$  (condensador) e vai incidir sobre o objecto  $O$ . Os raios electrónicos passam através do objecto e são diferentemente absor-

vidos conforme a estrutura do objecto e consequente poder de absorção.

Os raios que atravessaram o objecto são desviados pela lente  $L_2$  (objectiva) e vão formar uma imagem electrónica real e ampliada  $I_1$ .

lâmina de colódio extremamente delgada que é facilmente atravessada pelo feixe electrónico.

Sabe-se hoje que o movimento de um feixe de partículas é regido por uma equação análoga à da propagação de uma onda. Por outras palavras, a uma partícula em movi-



Fig. 2

Uma nova lente magnética  $L_3$  (ocular) dá desta imagem uma nova imagem também real e ampliada.

Evidentemente esta imagem electrónica não é visível, mas vai formar-se sobre um alvo fluorescente onde pode ser observada. Substituindo o alvo por uma placa fotográfica pode obter-se uma fotografia da imagem.

Como os raios catódicos devem atravessar o objecto este não pode estar colocado sobre uma lâmina de vidro como nas preparações destinadas à observação com o microscópio óptico. Utiliza-se para depor o objecto uma

lâmina de colódio extremamente delgada que é facilmente atravessada pelo feixe electrónico. Sabe-se hoje que o movimento de um feixe de partículas é regido por uma equação análoga à da propagação de uma onda. Por outras palavras, a uma partícula em movimento está associada uma onda cujo comprimento de onda é dado por  $h/mv$  sendo  $h$  a constante de Planck ( $6,55 \times 10^{-27}$  erg. segundo),  $m$  a massa da partícula e  $v$  a sua velocidade. Nestas condições o poder resolvente de um microscópio electrónico tem também um limite inferior. No entanto o comprimento de onda associada a um electrão acelerado por uma diferença de potencial de 30.000 volts é cerca de 100.000 vezes menor do que o comprimento de onda da luz visível o que permite reduzir na mesma proporção o poder resolvente. Pode pois esperar-se

obter ampliações úteis muito mais elevadas que com o microscópio óptico.

Realmente a R. C. A. (Radio Corporation of America) fabrica dois modelos de microscópios electrónicos que dão já uma amplificação útil de 100.000 e em casos particularmente favoráveis de 200.000. Este valor está ainda francamente abaixo da amplificação útil máxima teórica para feixes de electrões acelerados pela tensão de 30.000 volts e podemos legitimamente esperar largos pro-

gressos neste campo. Pode ainda aumentar-se o valor da amplificação útil teórica empregando potenciais aceleradores maiores. Posto que este facto apresente dificuldades técnicas é de supor que elas serão vencidas no futuro.

A fig. 2 representa uma microfotografia obtida com o microscópio electrónico com uma amplificação de 20.000.

A. MARQUES DA SILVA  
EX-1.º ASSISTENTE DA FACULDADE  
DE CIÊNCIAS DE LISBOA

### A ARTE DE CONTAR FOTÕES

Os fenómenos luminosos acompanham por vezes certos fenómenos físico-químicos; assim, entre as reacções químicas existem as chamadas reacções fotoquímicas, ou porque em certos casos é necessário fornecer luz para que a reacção se dê, ou porque noutros a reacção produz luz.

Desta maneira, quem estuda estas reacções, possuindo um dispositivo que permitisse fazer medidas sobre a luz assim fornecida ou emitida, obteria preciosas informações sobre o seu mecanismo; saberia, por exemplo, medir a velocidade de reacção, ou ainda calcular a energia irradiada, isto é, transformada em radiação luminosa.

Ora todos sabem que a natureza da luz é dupla, ao mesmo tempo ondulatória e corpuscular, e que, com este segundo aspecto, se apresenta aparentemente formada por corpúsculos chamados fotões; seria então do maior interesse, no decurso das reacções acima citadas, poder contar o número de fotões emitidos à medida que a reacção se efectua; o número e a cadência da emissão de fotões constituiria uma informação de primeira ordem sobre o mecanismo desta, mais pormenorizada e precisa do que as medidas de doseamento químico.

Para tornar possível tal enumeração de fotões, Audubert e van Dormal (Laboratório de Electroquímica da Sorbonne) conseguiram, em 1933, realizar contadores fotoeléctricos com catódio de iodeto de cobre, de grande

sensibilidade no domínio ultra-violeta entre 2000 e 2850 Angstroms. Estes contadores são cheios de vapor de alcool à pressão de 10mm de mercúrio. O princípio utilizado consiste na produção de descargas eléctricas provocadas pela chegada dos fotões ao catódio. Estas descargas são amplificadas e contadas; a aferição dos contadores é extremamente delicada; em particular, é necessário ter em conta a emissão de electrões com o aparelho em plena obscuridade, ou seja, a produção de descargas na ausência de toda a radiação luminosa, sob a influência de causas diferentes da luz mas que continuam a exercer-se quando o aparelho a recebe. Tais fenómenos necessitam de ser estudados para se determinar a sensibilidade absoluta dos fotocontadores. O seu realizador, R. Audubert, já em 1935 determinara essa sensibilidade por um método relativamente simples, mas aproximado. J. Mattler retomou em 1943 tais determinações duma maneira mais precisa: para isso mediu a 2300 Angstroms, comprimento de onda correspondente a uma grande sensibilidade dos contadores, a energia luminosa (número de fotões) saídos de um monocromatizador de quartzo. Depois de reduzido numa relação conhecida, este feixe incide sobre o catódio do contador, do qual se anota a reacção (número de descargas por minuto). Graças a um engenhoso dispositivo e a múltiplas precauções mecânicas, eléctricas, e térmicas, foi possível