

Alguns aspectos da observação da natureza

por CÂNDIDO MARCIANO DA SILVA

(Laboratório de Física e Engenharia Nucleares, Sacavém)

No que se segue gostaria de salientar alguns aspectos da mais comum das actividades científicas: a da observação.

Através da observação estabelece-se comunicação com a natureza e dela se recebem informações correspondentes à manifestação de fenómenos naturais. Como parte integrante deste sistema de comunicação, o ser humano impõe restrições na forma e quantidade da informação a trocar entre a natureza e o seu cérebro.

Fácilmente se reconhece que a quase totalidade da nossa percepção do mundo exterior nos vem através dos órgãos de visão e audição. Porém o simples facto de se tratar dum processo de transmissão em série, impõe uma capacidade informativa bastante restrita na audição. A visão é na realidade o principal sistema de comunicação com o mundo exterior, podendo fornecer ao cérebro em cada segundo quantidades enormes de informação. Uma simples fotografia de tamanho reduzido e com uma resolução da ordem de 100 linhas por milímetro tem capacidade para um número da ordem de 10^8 bits⁽¹⁾. Dada a persistência das imagens na retina facilmente se estima que a taxa de transmissão de informação ao cérebro

é bem superior a 10^{10} bits por segundo enquanto por exemplo a televisão comercial transmite cerca de 10^7 e uma ligação telefónica 10^4 . Esta capacidade de transmissão reflete-se naturalmente numa tendência para codificar qualquer mensagem a transmitir ao cérebro de modo que ela possa ser aceite através dos órgãos visuais. Neste contexto o uso generalizado de representações gráficas e de aparelhos de medida que reproduzem em variações geométricas as variações de grandezas físicas, não directamente percebidas pelo homem, permite codificar de forma visual fenómenos bastante complexos.

A evolução da ciência consiste em grande parte no desenvolvimento de métodos de codificação visual através da introdução de novos aparelhos ou técnicas experimentais que «revelam» feições da natureza até então não «observadas», ou que melhor as evidenciam.

(1) Bit = unidade elementar de informação; esta unidade tem como substrato sistemas físicos com dois estados estáveis a que podem ser atribuídos os significados «sim» ou «não»; no caso presente o «grão», que como se sabe limita a resolução, está ou não está sensibilizado.

Seria interessante acompanhar a evolução dos métodos de codificação visual desde a simples contemplação da natureza que dominou a ciência anterior a Galileu, até às técnicas que fazem parte da nossa vida diária, instrumentos de óptica, fotografia, raios X, etc., ou ainda até às téc-

meiros instrumentos ópticos, lupa e microscópio, para a observação do chamado microcosmos, revelou-se um mundo imenso de objectos desconhecidos, muitos deles animados de vida, e cuja observação ajudou o homem na compreensão do seu mundo convencional, isto é, directamente

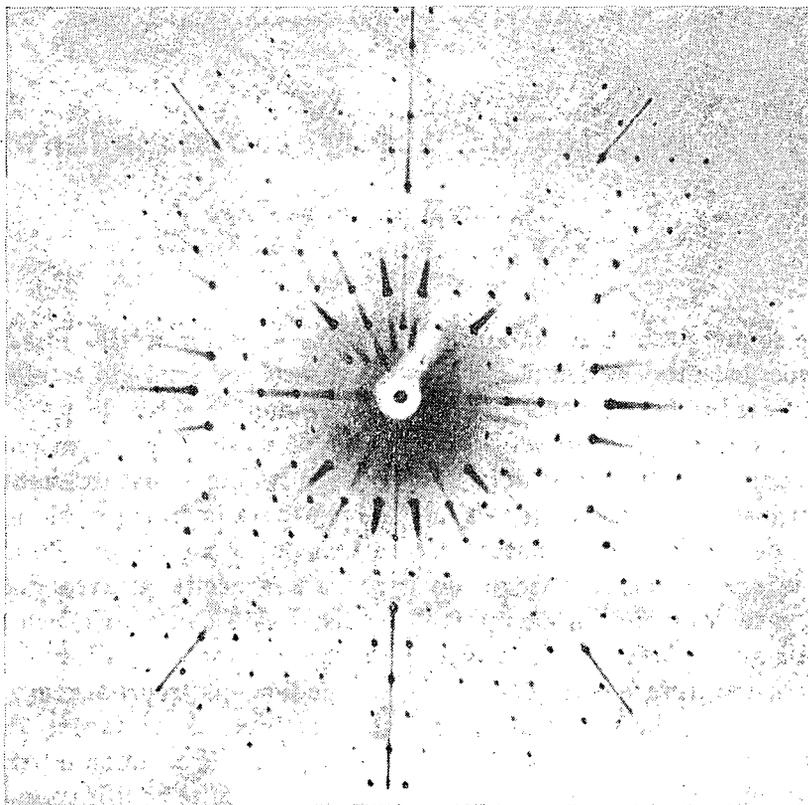


Fig. 1 — Figura de difracção produzida durante a iluminação dum cristal com raios X. A determinação da posição e intensidade de cada mancha permite deduzir as posições dos diversos átomos que constituem a malha cristalina. (Cedido por A. L. Vieira, Laboratório de Técnicas-Físico-Químicas Aplicadas à Mineralogia e Petrologia).

nicas já mais elaboradas e menos comuns, que fazem parte da fronteira do conhecimento onde se processa a investigação científica.

Um dos aspectos interessantes desta evolução envolve o esforço porfiado do ser humano na observação de objectos de dimensões sucessivamente mais reduzidas. Quando se desenvolveram os pri-

detectável com os seus órgãos de percepção. Estes instrumentos têm no entanto limitações naturais que não permitem a observação de objectos muito pequenos.

Como se sabe não se podem detectar na sua forma geométrica objectos ou detalhes dum objecto, cujas dimensões sejam muito inferiores ao comprimento de onda da luz utilizada para os iluminar,

da mesma forma que uma roda de automóvel não pode detectar irregularidades da estrada cujas dimensões sejam muito inferiores ao seu diâmetro. Para observar tais objectos teríamos de os iluminar com uma radiação de comprimento de onda bastante inferior ao da luz visível. Efectivamente o microscópio electrónico realiza esse objectivo e estende o domínio observável no microcosmos. No entanto mesmo esta extensão fica muito aquém das dimensões de objectos que sabemos existir: moléculas, átomos, partículas elementares (electrão, protão, neutrão, etc.). Para ver tais objectos, isto é, analisar a sua forma e dimensões, vemo-nos forçados a iluminá-los com raios X ou mesmo com raios gama bastante energéticos ou ainda com feixes de electrões ou de protões. Estas radiações têm ou comportam-se como tendo um comprimento de onda que é tanto mais pequeno quanto maior for a energia da respectiva partícula. Consequentemente, aumentando suficientemente a energia consegue-se fazer com que o comprimento de onda seja da ordem de grandeza ou inferior às dimensões dos objectos a observar. Porém aqui surgem dois problemas importantes. Por um lado o resultado desta iluminação não só não é detectável pela vista humana como não forma uma imagem convencional, isto é, uma figura geométrica semelhante ao objecto iluminado; o resultado necessita de ser analisado e reduzido a uma forma que traduza a geometria original. Por outro lado existe um problema de intensidade «luminosa» pois estas radiações nem sempre se podem produzir em quantidades copiosas. Todos nós sabemos quão fácil é registar 10^8 bits numa chapa fotográfica quando tiramos habitualmente uma fotografia. Não nos podemos no entanto esquecer que se o Sol é a nossa fonte luminosa ele produz cerca de 10^{18} fotões por segundo sobre cada centímetro quadrado do objecto que se fotografa. Já te-

remos alguma dificuldade embora mínima se quisermos tirar uma fotografia à luz, por exemplo, duma lâmpada de tungsténio de 100 Watts embora ela emita um total de cerca de 10^{17} fotões por segundo. O problema é diferente se utilizarmos um feixe de protões para iluminarmos um núcleo atómico. Aqui uma intensidade de feixe da ordem de $1\mu\text{A}$, já é excessivamente grande para uma vasta gama de observações no núcleo e também não é muito fácil conseguir feixes mais intensos do que cerca de $100\mu\text{A}$, cuja resolução em energia, isto é, em comprimento de onda seja conveniente para observações desse tipo. Ainda com um feixe da ordem de $1\mu\text{A}$, que corresponde a cerca de 10^{15} partículas incidentes por segundo, apenas cerca de 10^4 produzem interações com os núcleos atómicos da amostra iluminada. Apenas com o intuito de dar uma ordem de grandeza, um observador nestas condições espera tipicamente cerca de 10^4 segundos para acumular cerca de 10^5 bits que lhe permitam uma informação estatisticamente significativa. Se o observador pretender cerca de 10^6 bits teria de trabalhar cerca de 3000 horas, isto é, cerca de 10 horas em cada dia útil durante um ano. E mesmo assim os 10^6 bits que numa fotografia produziriam uma imagem de resolução muito modesta comparável à dada por uma televisão sem tons de cinzento, ainda terão de ser analisados para se lhes retirar a exígua informação que contenham acerca da forma dos núcleos atómicos iluminados⁽¹⁾.

Estes problemas definem portanto uma escala de tempo para a observação que se vai juntar ao tempo necessário para a análise e redução da informação obtida.

(1) A informação obtida da iluminação dos núcleos atómicos é mais rica do ponto de vista dinâmico do que do geométrico. Isto explica que se tenha aprendido muito mais sobre a estrutura energética do núcleo do que da sua forma.

Se quisermos «observar» uma molécula complicada como é a da insulina e a iluminarmos com raios X tudo o que obtemos numa chapa fotográfica onde recebemos os raios X difundidos da amostra é um conjunto de numerosas riscas mais ou menos intensas. O estudo detalhado das posições e intensidades de tais riscas permite, à custa de extenso e laborioso cálculo matemático, deduzir as posições relativas ($\sim 10^{-8}$ cm) e a natureza dos átomos que constituem a molécula. Tal processo de análise e redução da informação contida nas chapas fotográficas pode facilmente levar dois ou três anos; isto é, só conseguimos «ver» a molécula cerca de dois a três anos depois de a termos iluminado, mesmo com a ajuda de computadores que executam todo o trabalho de cálculo. É interessante notar que o desenvolvimento da técnica dos computadores é susceptível de produzir resultados surpreendentes neste campo. Com efeito é já comum os próprios aparelhos de raios X serem controlados por computadores, quando se trata de iluminar uma substância cuja estrutura molecular se queira estudar. Este controle diz respeito não apenas à orientação espacial da amostra como também à detecção da radiação X difundida por ela. Igualmente comum é um computador mostrar num ecran semelhante ao duma televisão a imagem dum objecto cuja descrição detalhada lhe tenha sido fornecida. Se entre os dois sistemas intercalarmos um computador suficientemente potente para realizar num tempo muito curto a laboriosa análise matemática necessária, então poderemos ter imagens das moléculas ao vivo, isto é, obtidas durante a sua iluminação. Resultados bastante prometedores neste sentido têm sido obtidos nos últimos anos. Se no caso dum microscópio vulgar não teríamos dúvida em declarar que se vê o objecto em estudo já não é tão claro no caso do sistema anterior se

devemos ou não dizer que vemos a molécula através do computador.

Mais recuado ainda do conceito habitual de imagem se encontra o caso dos núcleos dos átomos. Com efeito tais objectos são tão pequenos ($\sim 10^{-13}$ cm) que temos que recorrer a grandes aceleradores para produzir feixes de prótons

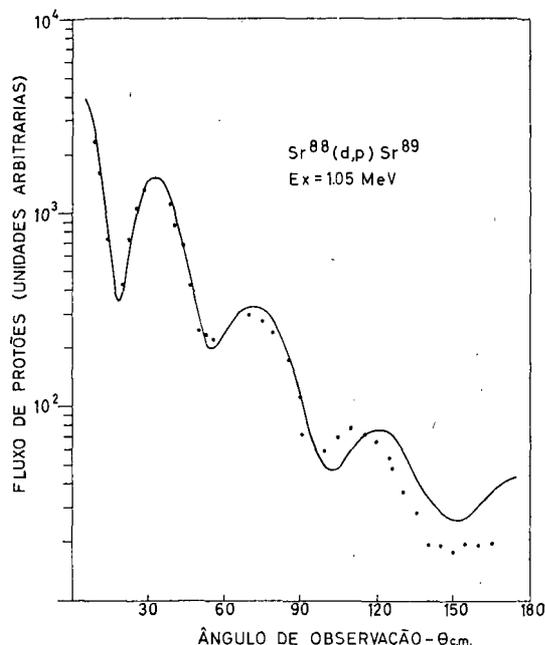


Fig. 2 — Efeito de difração observado quando do bombardeamento de Sr^{88} com deutérons. A linha é o resultado do ajustamento dum modelo teórico aos pontos experimentais. (Cedido por F. D. Santos, Laboratório de Física e Engenharia Nucleares).

ou electrões suficientemente energéticos, já que a obtenção de radiação gama conveniente é geralmente mais difícil ou mesmo impossível.

A iluminação dos núcleos com tais feixes produz fenómenos de difusão cuja análise e estudo ao longo dos últimos 20 anos começam a permitir-nos vislumbrar alguns detalhes embora grosseiros da forma destes objectos. Só agora se começa a poder distinguir directamente uma forma esférica duma forma elipsoidal. E mesmo assim esses vislumbres fazem-se

apenas através de pequenas indicações conseguidas em laboriosos e complexos sistemas experimentais cujo custo é via de regra assombrosamente grande. O custo de cerca de 10^8 - 10^{10} escudos típico de instalações experimentais em construção deve ser comparado com 10^2 escudos preço duma lupa com a qual já conseguimos estender o nosso domínio de observação.

Tais somas astronómicas utilizadas na

pesquisa dessas elusivas percepções da natureza representam um esforço colectivo que os governos das nações investem sem grande esperança dum retorno directo, embora o produto imediato de tais investimentos se manifeste na preparação intelectual e tecnológica da sociedade e possa reverter a curto prazo num benefício económico. São finalmente considerações deste género que limitam a observação da natureza.

Quantificação de um campo

por FILIPE DUARTE SANTOS

(Laboratório de Física e Engenharia Nucleares
e Laboratório de Física da Faculdade de Ciências de Lisboa)

A mecânica quântica não relativista permite uma compreensão unificada e consistente do ponto de vista lógico de um vastíssimo número de fenómenos em física molecular, atómica e nuclear. Esta é a principal razão da sua grande importância na ciência contemporânea. A estrutura de base desta teoria foi lançada entre os anos de 1923 e 1926. Reconheceu-se cedo que esta teoria não podia servir para descrever o comportamento dinâmico de partículas com velocidades próximas da velocidade da luz, deficiência que foi parcialmente superada com o aparecimento da teoria relativista dos electrões de Dirac em 1928. Outra deficiência, talvez mais profunda, resulta da teoria pressupor que o número de partículas num dado sistema é constante, independente do tempo: o integral, estendido a todo o espaço, da distribuição de probabilidade relativa à posição de uma partícula é constante e igual a um. Contudo conhecem-se inúmeros fenómenos nos quais o número de partículas é variável. São exemplos a emissão espontânea de um fóton por um

átomo excitado, na ausência de um campo de radiação exterior e o decaimento nuclear β no qual um neutrão de um núcleo atómico origina um próton, um electrão e um antineutrino. Em física das partículas elementares os processos em que há criação e aniquilação de partículas são frequentíssimos. A teoria quântica dos campos permite incluir a possibilidade destes fenómenos na estrutura da mecânica quântica.

Em mecânica clássica o campo é um conceito que essencialmente permite interpretar a interacção entre dois corpos separados por uma distância finita. Por exemplo, a interacção entre duas cargas eléctricas a e b resulta da interacção da carga a com o campo eléctrico produzido pela carga b . A ideia nova e básica na teoria quântica dos campos é associar a cada tipo de campo uma partícula com uma determinada massa e spin—os quanta do campo. A excitação, ou seja o aumento de energia, do campo corresponde à criação de quanta desse campo.

Para precisar ideias e porque é um