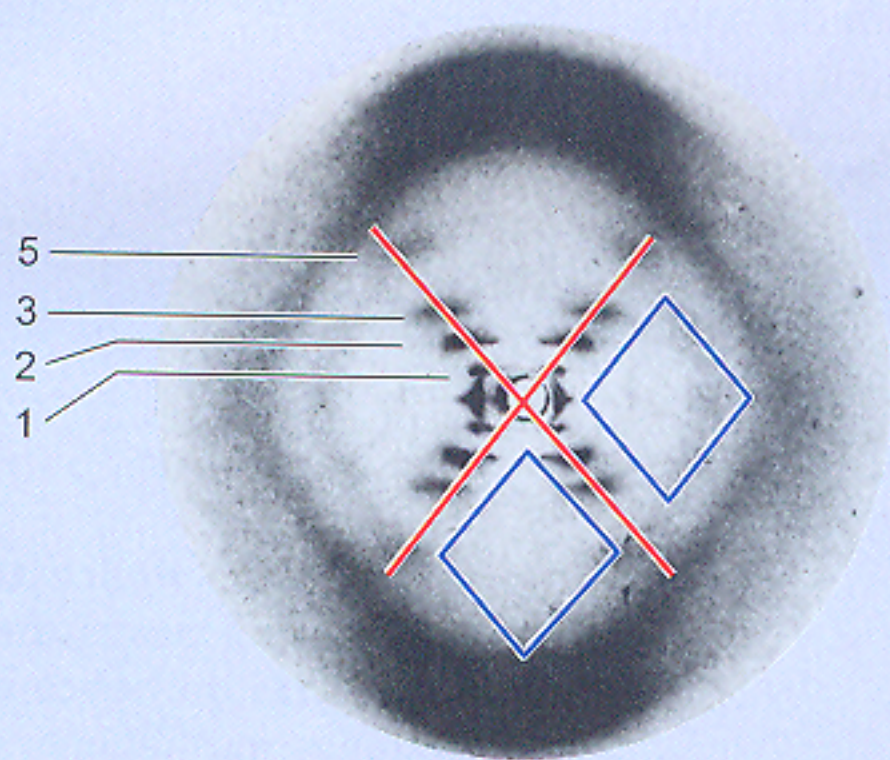


Quadro 4-2 Como pontos em um filme de raios X revelam a estrutura do DNA

Uma das mais duradouras imagens na história da biologia molecular é a famosa fotografia tirada por Rosalind Franklin do padrão de difração de raios X de uma fibra orientada de moléculas de DNA. A imagem de Franklin possui grande significado histórico porque forneceu evidências essenciais que corroboraram o modelo de Watson-Crick para a forma B do DNA. Além disso, Francis Crick, que havia ajudado a desenvolver a teoria da difração de moléculas helicoidais, conseguiu inferir a partir do padrão de pontos que as fitas do DNA estão enroladas uma na outra. À primeira vista, a imagem de Franklin não apresenta nenhuma relação reconhecível com uma dupla-hélice. Como, então, esse misterioso padrão de pontos auxiliou a desvendar a estrutura atômica do material genético?

Como apresentado na figura, a imagem de Franklin consiste em uma “cruz de Malta” central (realçada em vermelho no Quadro 4-2, Fig. 1), composta por pontos amplos (a largura dos pontos reflete distúrbios na fibra). Os pontos são uniformemente espaçados ao longo de linhas de “camadas” horizontais (numeradas na figura). Observe que contando para cima e para baixo a partir do centro da cruz, os pontos na quarta linha de camada estão ausentes. Observe também que a cruz de Malta e as regiões muito escuras no topo e na base da imagem criam uma série de quatro áreas em formato de diamante (dois exemplos disso estão realçados em azul). Como será explicado agora, pode-se entender em termos qualitativos a partir de algumas considerações simples sobre a natureza da difração de onda que este aparente padrão enigmático de pontos corresponde à estrutura da dupla-hélice.

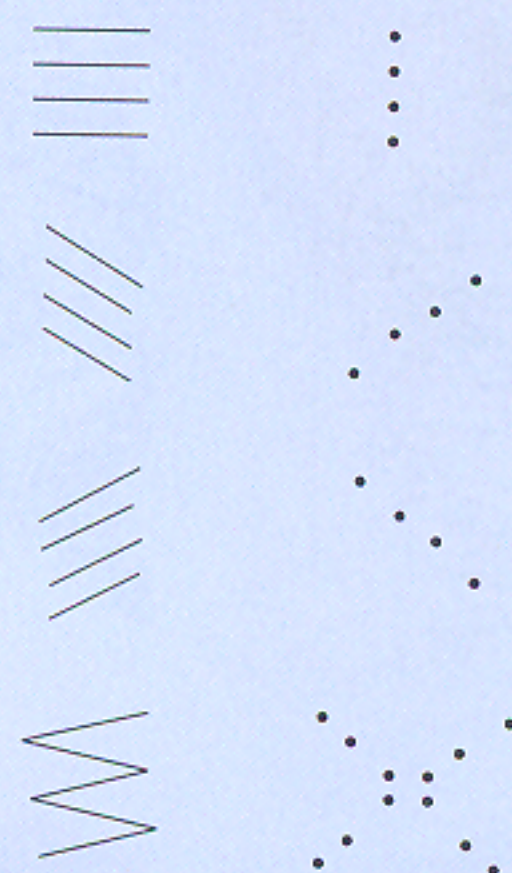
O princípio subjacente à difração dos raios X é de que quando ondas passam por meio de um arranjo periódico, ocorre interferência entre as ondas se o seu comprimento de onda for semelhante à distância repetida do arranjo. (Por isso, os raios X, que possuem um comprimento de onda muito curto de 0,15 nm, são usados para revelar a estrutura atômica.) Se as oscilações das ondas estiverem alinhadas, as ondas reforçam umas às outras (“interferência construtiva”),



QUADRO 4-2 FIGURA 1 Imagem de difração de raio X do DNA feita por Rosalind Franklin, em que se pode observar o padrão em cruz de Malta. (Modificada, com permissão, de Franklin R.E. e Gosling R.G. 1953. *Nature* 171:740–741. © Macmillan.)

Quadro 4-2 (Continuação)

particularmente ao norte e ao sul do centro da cruz, para criar um padrão de quatro diamantes. Em fotografias de resolução maior do que a mostrada aqui, pode-se contar 10 linhas de camadas a partir do centro da cruz para os polos norte e sul. Essa característica do padrão de difração revela que a periodicidade da dupla-hélice (3,4 nm) é 10 vezes a periodicidade atômica, correspondendo a 10 unidades repe-



QUADRO 4-2 FIGURA 2 Padrão de difração de ondas que passam através de linhas paralelas.

mas se as bases de um conjunto de ondas estiverem alinhadas aos picos de outro conjunto de ondas, as ondas cancelam umas às outras (“interferência destrutiva”). Sendo assim, um feixe de ondas passando através de um arranjo que consiste em um conjunto horizontal de linhas geraria uma fileira de pontos perpendiculares (verticais) às linhas (Quadro 4-2, Fig. 2). Agora suponha-se que as linhas horizontais sejam inclinadas. Isso resultaria em uma fileira inclinada de pontos (novamente, perpendiculares à inclinação das linhas). Em seguida, suponha-se que as ondas estejam passando através de dois conjuntos de linhas inclinadas ligadas umas às outras em zigue-zague como na figura: isso resulta em uma cruz composta por duas fileiras inclinadas de pontos.

Agora a atenção é voltada para o DNA. Imagine o esqueleto de uma fita da dupla-hélice projetado em uma superfície plana. Falando livremente, isso criaria uma série conectada de ziques e zagues (ou, mais adequadamente, uma curva sinuóide). Se pensarmos nos ziques como geradores de um conjunto de linhas inclinadas e nos zagues como geradores de outro conjunto, então as ondas passando por meio de ziques e zagues gerarão duas fileiras de pontos que cruzam uma à outra como no exemplo anterior. Essa é a base da cruz de Malta da fotografia de Franklin e, portanto, a cruz revela que o DNA é helicoidal. O conhecimento do comprimento de onda dos raios X e as medidas do espaço entre as linhas de camadas revela ainda que a hélice apresenta uma periodicidade de 3,4 nm. Obviamente que o DNA consiste em dois esqueletos helicoides, e não um. Isso também é revelado na fotografia de Franklin. As hélices do DNA estão desalinhadas por três oitavos de uma repetição helicóide. Esse desalinhamento entre as hélices cria uma interferência destrutiva adicional que elimina a quarta linha de camada. Assim, a quarta linha de camada ausente mostra que o DNA é uma dupla-hélice e diz como as duas hélices estão alinhadas em relação uma à outra.

Finalmente, o esqueleto do DNA não é uma linha lisa como no exemplo imaginário. Em vez disso, ele é granular em nível atômico, consistindo em unidades de açúcar-fosfato. Essa granulosidade resulta em intensidades adicionais,

tidas em um espaço de 0,34 nm. Como há um par de bases por unidade de açúcar-fosfato, a forma B do DNA consiste em 10 pares de bases por período helicoidal (volta da hélice).

Assim, um conhecimento rudimentar da difração de ondas torna possível extrair de um simples padrão de pontos em um filme de raios X as principais características da estrutura do DNA.