

**ROSALIND FRANKLIN E A  
ESTRUTURA DO  
DNA**

**DÉBORA RAGAZZI REIS E  
TÁLIA SANTANA MACHADO DE ASSIS**

**CONTAGEM, MINAS GERAIS  
DEZEMBRO DE 2024**

**Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas  
Gerais  
Unidade Contagem**

**Rosalind Franklin e a estrutura do DNA**

**Revisores: Dr. André Leão  
Dr. Gabriel Fagundes Camargo**

**Equipe: Débora Ragazzi Reis  
Dra. Tália Santana Machado de Assis**

**Ilustrações: Débora Ragazzi Reis**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de Extensão que tornou possível a realização deste projeto;

Ao Dr. André Leão Moreira, professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Unidade Contagem, pela revisão textual deste material didático;

Ao Dr. Gabriel Fagundes Camargo, professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas, Unidade Contagem, pela participação na primeira etapa de validação deste material.

Desde 1953, sabe-se sobre a estrutura de dupla hélice do DNA. Tal informação revolucionou o mundo da ciência, e desde então, esse conhecimento é transmitido por meio de livros, filmes e outros materiais didáticos. Porém, quem fez essa descoberta? Como se deram as pesquisas para isso? Para essas perguntas, precisamos voltar no tempo...

No dia 25 de julho de 1920, em Londres, o casal Muriel Waley e Ellis Franklin tiveram sua segunda filha: Rosalind Franklin.

A família judaica era rica e influente. O pai de Rosalind, Ellis Franklin, era um banqueiro mercantil e ensinava magnetismo, eletricidade e história no Working Men's College, de onde mais tarde se tornou o vice-diretor.



Eles já possuíam um filho, David Franklin, e depois tiveram mais três filhos: Colin, Roland e Jennifer Franklin.



Desde sempre, Rosalind se mostrou excepcional em suas habilidades. Estudou na St Paul's Girl's School, onde aprimorou seus conhecimentos em Química e Física.

Aos 15 anos, Rosalind já sabia o que queria.

Queria ser cientista!

Seu sonho não agradou muito os pais, pois acreditavam ser uma carreira muito difícil para uma mulher.



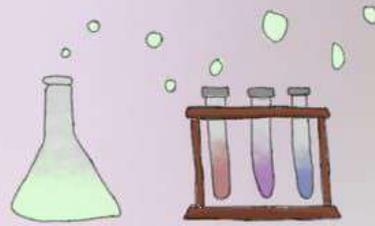
Curiosidade: os pais de Rosalind Franklin ajudaram os

refugiados judeus da Europa que haviam escapados dos nazistas, os dos Kindertransport (operação humanitária que transportou 10.000 crianças judias).

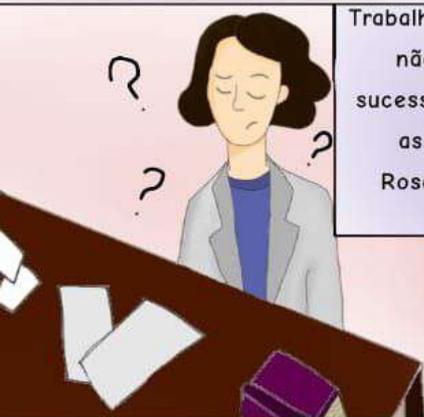


Aos 18 anos, Rosalind se matriculou na Newnham College (universidade feminina que pertence à Universidade de Cambridge) onde estudou química.

Fundada em 1209, a Universidade de Cambridge é uma tradicional instituição de ensino superior pública na Inglaterra. Isaac Newton, Stephen Hawking, Alan Turing e Charles Darwin foram alunos da universidade.



Rosalind se formou em 1941. Um tempo depois, ganhou uma bolsa de pesquisa na mesma universidade, e foi trabalhar no laboratório de Ronald Norrish.

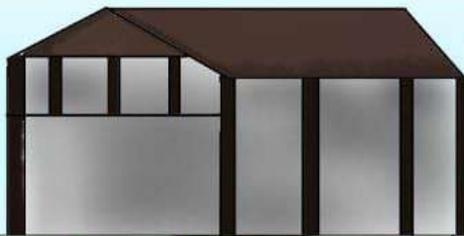


Trabalhando para Norrish, não obteve muito sucesso. Ele reconheceu as habilidades de Rosalind, mas não a apoiou.



Esse homem é teimoso, arrogante, sensível às críticas e quase perverso em suas discussões! Eu o desprezo completamente!

Mas, em 1942...



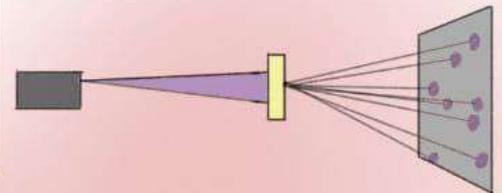
Agora que eu desisti da bolsa no laboratório de Norrish, fui nomeada assistente de pesquisa na BCURA!

A BCURA (Associação Britânica de Pesquisa e Utilização de Carvão) foi uma associação sem fins lucrativos de empresas industriais constituída em 1938.

Na BCURA, Rosalind fez diversas pesquisas com carvão e obteve ótimos resultados. Seus estudos foram sobre como prever o desempenho do carvão como combustível e a produção de dispositivos de guerra (como máscaras de gás).



De 1946 a 1950, Rosalind trabalhou em Paris, usando a técnica de difração dos raios-X para análise de materiais cristalinos.

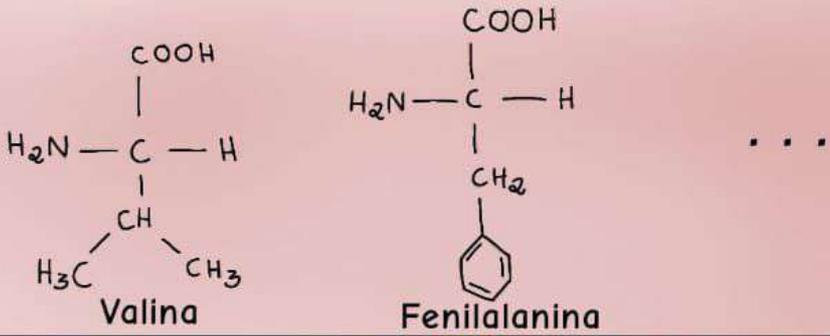


**KING'S**  
*College*  
**LONDON**

Em 1951, Franklin se juntou a equipe de biofísicos do King's College Medical Research Council. King's College London é uma universidade pública de pesquisa em Londres, Inglaterra.

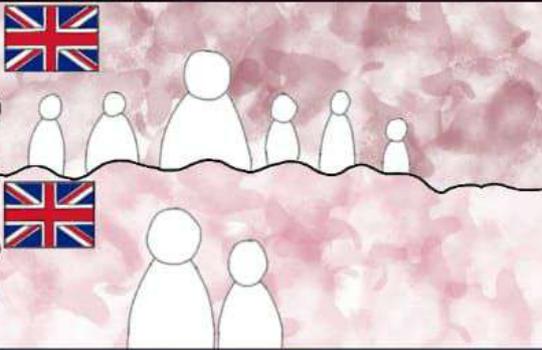
Bom, agora é a minha vez de contar a história. Antes de falar sobre meus estudos na KCL, vou explicar o contexto em que vivia a ciência naquela época.

Todas as proteínas do nosso corpo são formadas por aminoácidos. Existem 20 tipos deles. As possíveis recombinações entre aminoácidos determinam a forma e a função da proteína.



Antes da década de 1950, não se sabia como as nossas células encaixavam os aminoácidos para a produção das proteínas. Alguns estudiosos suspeitavam que a chave para essa pergunta estava no DNA.

Logo, uma corrida por uma explicação começou. Alguns cientistas se destacavam...



Mas ninguém sabia como era a estrutura do DNA!

Muitos acreditavam que Linus Pauling seria o primeiro a descobrir a estrutura do DNA.

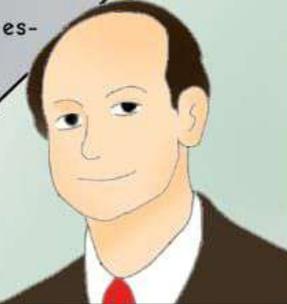
Ou, quem sabe, talvez Maurice Wilkins e seu grupo descobrissem.

James Watson e Francis Crick eram cientistas desconhecidos. Ninguém acreditava que eles poderiam fazer tal descoberta.

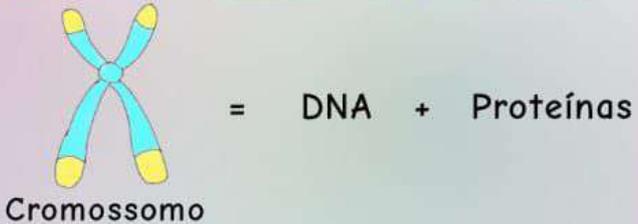
Pauling foi um biólogo molecular. Foi quem criou o Diagrama de Pauling. É muito reconhecido por descobrir estruturas de moléculas, principalmente de proteínas.

Maurice Wilkins foi um biofísico. Nessa época, fazia pesquisas no KCL, usando técnicas de raios-X para descobrir moléculas biológicas.

James Watson e Francis Crick foram biólogos moleculares. Faziam suas pesquisas na Universidade de Cambridge.

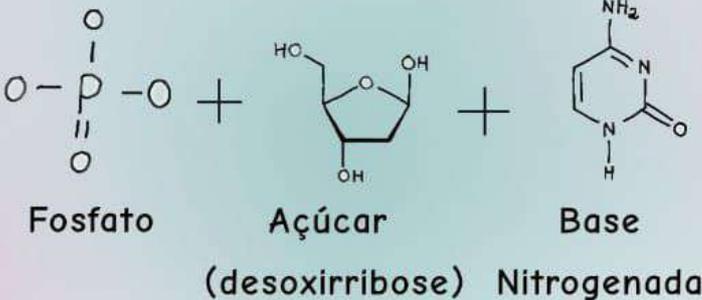


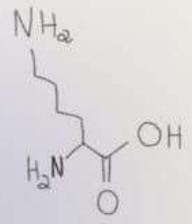
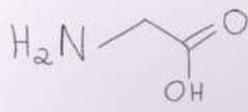
No início do século XX, já sabíamos que nossos genes ficavam armazenados em cromossomos.



Também já tínhamos o conhecimento sobre a composição dos cromossomos e do DNA.

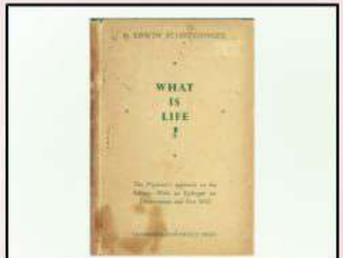
**DNA =**





Pauling, ao invés de acreditar que os genes ficavam armazenados no DNA, pensava que na verdade eles estavam no outro componente dos cromossomos: as proteínas.

Os demais cientistas (Wilkins, Watson e Crick), ao contrário de Pauling, apostaram na ideia de que os genes estavam no DNA.



Foram influenciados pelo livro "O que é a vida?" de Erwin Schrödinger.

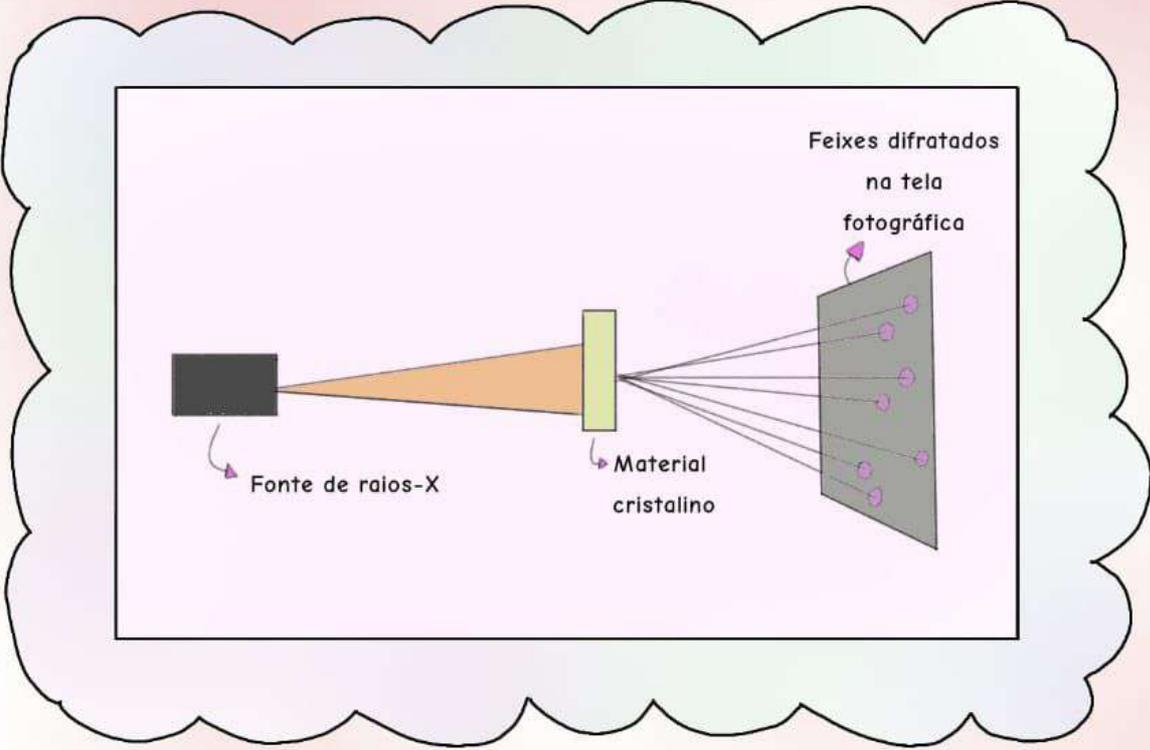
No KCL, Wilkins tinha um método experimental. Em 1947, seu laboratório foi agraciado com muito dinheiro.



Foi um financiamento incrível, o que possibilitou a compra dos aparelhos mais modernos e os materiais com a melhor qualidade.



E, para melhorar, eu cheguei. Em 1951, comecei a fazer parte do grupo de pesquisa de Wilkins no KCL.

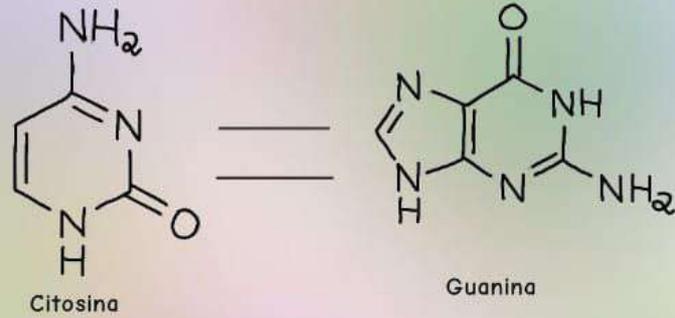
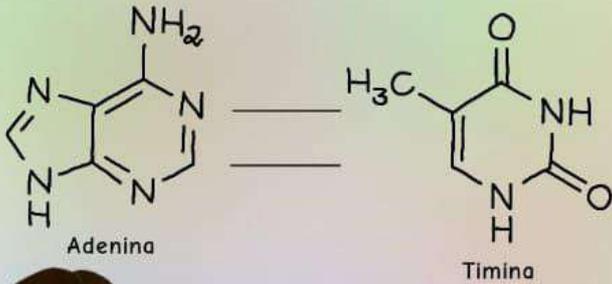


Eu era muito habilidosa em técnicas de cristalografia (difração de raios-X). Usava-as para tirar fotos de moléculas.



Ainda em 1951, o cientista Erwin Chargaff descobriu algo valioso.

Erwin Chargaff foi um bioquímico austríaco emigrado para os EUA durante o período nazista. Seu artigo "A composição do ácido desoxirribonucleico do esperma de salmão" foi crucial para a descoberta da estrutura do DNA.



Já sabíamos sobre os componentes do DNA (fosfato, açúcar e base nitrogenada). Chargaff concluiu que as quantidades de adenina eram iguais às de timina, assim como as de citosina eram iguais às de guanina.

Agora, com mais essa informação valiosa, a corrida continuava...

Até que, no dia 27 de novembro de 1951...

Dra. Franklin! Dra. Franklin!

Ah, Watson e Crick... pois não?

Temos uma teoria incrível sobre a estrutura do DNA!

Algum tempo depois...

Por isso, acreditamos que o DNA possui três hélices!

Claro... aquilo não fazia o menor sentido! Foi ridículo, uma vergonha!

De volta a Cambridge...

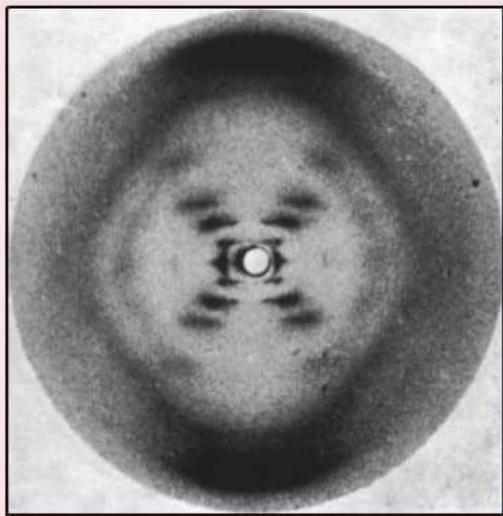
WATSON E CRICK! O que foi aquele fiasco de teoria? Vocês são a vergonha da profissão!

Não quero mais que vocês estudem o DNA. Busquem outra coisa!

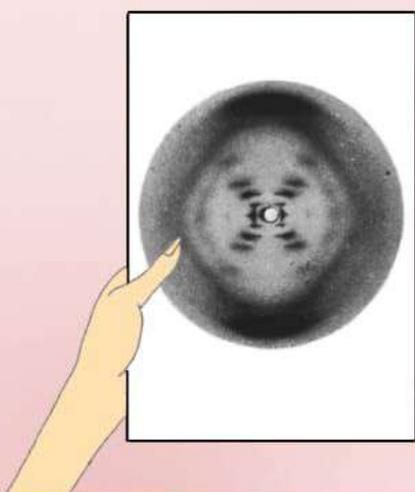
Bom... no ano seguinte, em maio de 1952, eu consegui capturar uma imagem que seria revolucionária para o mundo da ciência.



Essa é a famosa Fotografia 51, capturada por mim.



A cristalografia consiste em olhar um padrão obtido na fotografia e fazer o caminho contrário, analisar qual forma causou aquela imagem. É como se perguntar: "em qual tipo de cristal eu acabei de disparar esse raio-X?"



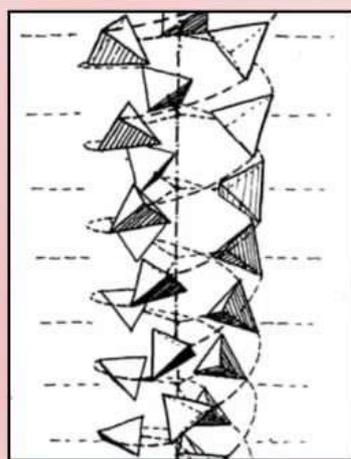
A partir disso, comecei a fazer anotações com que eu havia analisado. Para mim, era claro que DNA era formado por duas fitas, e dentro delas estava a base nitrogenada e, por fora, o fosfato.



Faltava pouquíssimo para eu completar meu estudo, mas a história não acaba por aqui.

Em fevereiro de 1953, Pauling publicou sua teoria sobre a estrutura do DNA.

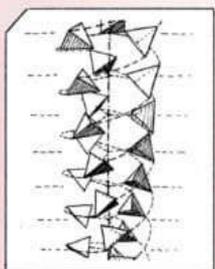
E adivinhem só? Seu modelo continha três fitas! Assim como aquele modelo de Watson e Crick, em 1951.



Antes da publicação do artigo, a dupla Watson e Crick conseguiu o acesso antecipado com o filho de Pauling.



Eles viram que o modelo de Pauling estava errado, e isso lhes deu mais motivação para desvendar o mistério do DNA.



Ah, se lembram do cientista Wilkins? Eu e ele éramos da mesma universidade, mas não gostávamos um do outro. Ele tinha sentimento de revolta por mim porque eu era a única do laboratório autorizada a pesquisar sobre a molécula de DNA.



Em 1953, Watson visitou o KCL, onde encontrou Wilkins.

Sem a minha permissão, Wilkins mostrou para Watson a Fotografia 51 e os meus relatórios de pesquisa!

Dessa forma, Watson e Crick descobriram como é a estrutura do DNA.

No dia 25 de abril de 1953, James Watson e Francis Crick publicaram na famosa revista Nature o artigo: "Estrutura molecular de ácidos nucleicos: uma estrutura para ácido nucleico desoxirribose". Ali, estava em detalhes a descoberta. E não, não havia créditos para mim. Meu nome foi rapidamente citado nos agradecimentos, mas de forma alguma isso foi justo comigo.

No mesmo ano, eu saí do KCL e fui fazer pesquisas sobre vírus do tabaco em Birkbeck College, outra universidade em Londres. Ali, passei os últimos anos de minha vida. Aos 37 anos, não resisti a um câncer no ovário, que provavelmente foi causado pela minha frequente exposição à radiação.

No. 4856 April 25, 1953

NATURE  
737

## MOLECULAR STRUCTURE OF NUCLEIC ACIDS

A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid

**W**E wish to suggest a structure for the salt of deoxyribose nucleic acid (D.N.A.). This structure has novel features which are of considerable biological interest.

A structure for nucleic acid has already been proposed by Pauling and Corey<sup>1</sup>. They kindly made their manuscript available to us in advance of publication. Their model consists of three intertwined chains, with the phosphates near the fibre axis, and the bases on the outside. In our opinion, this structure is unsatisfactory for two reasons:

(1) We believe that the material which gives the X-ray diagrams is the salt, not the free acid. Without the acidic hydrogen atoms it is not clear what forces would hold the structure together, especially as the negatively charged phosphates near the axis will repel each other. (2) Some of the van der Waals distances appear to be too small.

Another three-chain structure has also been suggested by Fraser (in the press). In his model the phosphates are on the outside and the bases on the inside, linked together by hydrogen bonds. This structure as described is rather ill-defined, and for this reason we shall not comment on it.

We wish to put forward a radically different structure for the salt of deoxyribose nucleic acid. This structure has two helical chains each coiled round the same axis (see diagram). We have made the usual chemical assumption, namely, that each chain consists of phosphate ester groups joining 5-D-deoxy-ribose residues with 3'-5' linkages. The two chains (but not their bases) are related by a dyad perpendicular to the fibre axis. Both chains follow right-handed helices, but owing to the dyad the sequences of the atoms in the two chains run in opposite directions.

Each chain loosely resembles Furberg's model No. 1, that is, the bases are on the inside of the helix and the phosphates on the outside. The configuration of the sugar and the atoms near it is close to Furberg's standard configuration<sup>2</sup>, the sugar being roughly perpendicular to the attached base. There is a residue on each chain every 3-4 Å. in the z-direction. We have assumed an angle of 16° between adjacent residues in the same chain, so that the structure repeats after 10 residues on each chain, that is, after 34 Å. The distance of a phosphorus atom from the fibre axis is 10 Å. As the phosphates are on the outside, cations have easy access to them.

The structure is an open one, and in water contains 10 miller high. At lower water contents we would expect the bases to tilt so that the structure could become more compact.

The novel feature of the structure is the manner in which the two chains are held together by the guanine and pyrimidine bases. The planes of the bases are perpendicular to the fibre axis. They are joined together in pairs, a single base from one chain, being hydrogen-bonded to a single base from the other chain, so

that the two lie side by side with identical z-co-ordinates. One of the pair must be a purine and the other a pyrimidine for bonding to occur. The hydrogen bonds are made as follows: purine position 1 to pyrimidine position 1, purine position 6 to pyrimidine position 6.

If it is assumed that the bases only occur in the structure in the most plausible tautomeric forms (that is, with the keto rather than the enol configurations) it is found that only specific pairs of bases can bond together. These pairs are adenine (purine) with thymine (pyrimidine), and guanine (purine) with cytosine (pyrimidine).

In other words, if an adenine forms one member of a pair, on either chain, then on these assumptions the other member must be thymine, similarly for guanine and cytosine. The sequence of bases on a single chain, does not appear to be restricted in any way. However, if only specific pairs of bases can be formed, it follows that if the sequence of bases on one chain, is given, then the sequence on the other chain is automatically determined.

It has been found experimentally<sup>3,4</sup> that the ratio of the amounts of adenine to thymine, and the ratio of guanine to cytosine, are always very close to unity for deoxyribose nucleic acid.

It is probably impossible to build this structure with a ribose sugar in place of the deoxyribose, as the extra oxygen atom would make too close a van der Waals contact.

The previously published X-ray data<sup>5,6</sup> on deoxyribose nucleic acid are insufficient for a rigorous test of our structure. So far as we can tell, it is roughly compatible with the experimental data, but it must be regarded as unproved until it has been checked against more exact results. Some of these are given in time following communications. We were not aware of the details of the results presented here when we devised our structure, which rests mainly though not entirely on published experimental data and stereo-chemical arguments.

It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material.

Full details of the structure, including the conditions assumed in building it, together with a set of co-ordinates for the atoms, will be published elsewhere.

We are much indebted to Dr. Jerry Donohue for constant advice and criticism, especially on interatomic distances. We have also been stimulated by a knowledge of the general nature of the unpublished experimental results and ideas of Dr. M. H. F. Wilkins, Dr. R. E. Franklin and their co-workers at King's College, London. One of us (J.D.W.) was aided by a fellowship from the National Foundation for Infantile Paralysis.

J. D. WATSON  
F. H. C. CRICK

Medical Research Council Unit for the Study of the Molecular Structure of Biological Systems, Cavendish Laboratory, Cambridge. April 2.

<sup>1</sup> Pauling, L., and Corey, R. B. *Nature*, 171, 369 (1953); *Proc. U.S. Nat. Acad. Sci.*, 39, 84 (1953).

<sup>2</sup> Furberg, S. *Acta Chem. Scand.*, 6, 624 (1952).

<sup>3</sup> Chargaff, E. In *References on Nucleic Acids*, S. Brenner, G. and Chargaff, E., *Biochim. et Biophys. Acta*, 9, 402 (1952).

<sup>4</sup> Wyatt, G. R. *J. Gen. Physiol.*, 34, 301 (1952).

<sup>5</sup> Astbury, W. T. *Supp. Ser. Exp. Biol.*, 1, *Nucleic Acids*, 69 (Cassell Univ. Press, 1947).

<sup>6</sup> Wilkins, M. H. F., and Franklin, R. E. *Biochim. et Biophys. Acta*, 10, 102 (1953).

The figure is partly diagrammatic. The two ribbons represent the two deoxyribose-sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases linking the chains together. The vertical line marks the fibre axis.



Em 1972, James Watson, Francis Crick e Maurice Wilkins ganharam o Prêmio Nobel de Fisiologia ou Medicina, por suas "descobertas" sobre o DNA.

Só quinze anos depois da publicação do artigo, a primeira alusão clara das contribuições e descobertas de Rosalind apareceu à medida que se divulgava um relato escrito por Watson, sobre a estrutura de dupla hélice do DNA. Posteriormente, a história real veio à tona, mas, em vida, Rosalind não obteve o devido reconhecimento por sua grande descoberta.

Rosalind Elsie Franklin foi uma das cientistas mais brilhantes do século XX. Além da descoberta da estrutura do DNA, ela fez pesquisas muito importantes sobre a estrutura e organização molecular de vírus, principalmente o vírus do mosaico do tabaco; fez também contribuições para o entendimento das propriedades físicas e químicas do carvão e do grafite; e aprimorou as técnicas de cristalografia de raios-x.

Rosalind foi uma mente brilhante e injustiçada, mas deve ser lembrada por sempre.