

## نشوء الحلزون المضاعف

إن التعاون الذي تمّ بين جيمس واطسون وفرانسيس كريك كان مثلاً على التغيّر الكبير الذي طرأ على دراسة الأحياء. أتبع واطسون الطريقة التقليدية في دراسته، فأنجز القسم الرئيسي منها في كلية العلوم الأحيائية ثم بعد ذلك في دراساته التي أجراها بعد التخرج. أما كريك فقد جاء من خلفية علمية مختلفة تماماً؛ فقد درس الفيزياء وطبق ما تعلّمه على البحث عن طبيعة الحياة. كان غيره من الفيزيائيين والكيميائيين يتبعون نهجاً واحداً، فيدرسون جزيئات الحياة بالإضافة إلى غيرها من الجزيئات. ثم كانت ولادة فرع جديد من الدراسة أطلق عليه اسم بيولوجيا الجزيئات.

لم يقم شخص بتوضيح أهمية ذلك التغيّر مثلما فعل

أحد الكيميائيين الذي كان يعيش بعيداً عن كامبردج، وهو العالم لينوس كارل بولينغ (Linus Carl Pauling) الذي تأسس في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا. بدأ بولينغ حياته ككيميائي ثم أصبح واحداً من اللاعبين الرئيسيين في بيولوجيا الجزيئات. وعندما بدأ واطسون وكريك عملهما في موضوع حمض DNA، أدركا أن منافسهما الأخطر في السباق نحو كشف بنية ذلك الحمض الجزيئية هو بولينغ.

أمضى لينوس بولينغ فترة طويلة من حياته وهو يدرس بنية الجزيئات، واضعاً معرفته في كتب هامة مثل «طبيعة الترابط الكيميائي» /The Nature of Chemical Bond/ (1939). وقد نال جائزة نوبل للكيمياء عام 1954 «لعمله المتعلق بطبيعة الربط الكيميائي وتطبيقه من أجل توضيح بنية المركبات المعقدة».

إن الرابطة الكيميائية الذي يجعل الذرات والجزيئات تلتصق ببعضها يكون نتيجة لشحنات كهربائية تحملها الذرات، بعضها يكون موجباً وبعضها الآخر سالباً. ترتبط الذرات ببعضها عندما تجذب الذرات موجبة الشحنة في جزيء ما ذرات سالبة الشحنة في جزيء آخر، بحيث تكون الذرات الناجمة متحدة بشكل يجعل الشحنات الكهربائية تصبح محايدة في الجزيء كله وفي المناطق المحلية.

يوجد نوعان رئيسيان من الروابط أو الوصلات الكيميائية في الجزيئات الحيوية (البيولوجية): روابط

مزدوجة (ثنائية) أو قوية، وروابط منفردة (أحادية) أو ضعيفة (يوجد أيضاً وصلات ثلاثية ولكنها نادرة). في الوصلة الثنائية، تشترك ذرتان من الجزيء بإلكترونين. أما في الوصلة الأحادية تشترك ذرتان بإلكترون واحد. تكون الوصلات الثنائية أقصر من الأحادية وأقل مرونة؛ فذراتهم أقل قدرة على التآرجح أو التقلب بين مختلف الوضعيات.

يزداد الأمر تعقيداً مع ازدياد حجم الجزيء البيولوجي وازدياد عدد وصلاته. ففي الجزيء البيولوجي يمكن أن تتناوب الوصلات الثنائية والوصلات الأحادية، إلا أن تلك الوصلات غير ثابتة. هناك مبدأ يسمى الرنين (resonance)، يقول إن الوصلات في مثل ذلك الجزيء تتآرجح إلى الخلف وإلى الأمام بين الذرات. وتتبادل الوصلة الأحادية المكان مع الوصلة الثنائية، ثم تعودان إلى موضعهما الأصلي. ويتم كل هذا في أصغر جزء من الثانية وعلى مسافات بالغة الصغر تقاس بوحدات أنغستروم (angstrom units). ولإعطاء فكرة عن مدى صغر عالم الوصلات الذرية، فإن وحدة أنغستروم الواحدة تساوي أربعة أجزاء من بليون من الإنش (جزء من 100 مليون من السنتيمتر).

وهنالك أيضاً وصلات أضعف تؤثر فيها الشحنات الكهربائية للذرات ببعضها البعض، منها مثلاً واحدة تدعى الوصلة الهيدروجينية، حيث يشكل فيها بروتين الشحنة

السالبة لذرة هيدروجين وصلة ضعيفة سهلة الكسر مع الشحنة الموجبة لذرة مجاورة. وواحدة أخرى هي قوة فان دير والس (van der Waals force)، سميت على اسم أحد الفيزيائيين الألمانين، وفيها تؤثر الذرات متعاكسة الشحنات على شحنات بعضها البعض الكهربائية بشكل طفيف.

على الرغم من أن لينوس بولينغ قد ساهم في تفسير طبيعة وعمل تلك الروابط، إلا أن أبرز إنجازاته كان في توضيح بنية أحد البروتينات تحديداً وهو حلزون ألفا، حيث كان فهم الرابط الهيدروجيني مفتاحاً هاماً. كانت طريقة اكتشافه لبنية ذلك البروتين مؤثرة - تماماً كالاكتشاف نفسه - عندما بدأ السباق لصيد بنية حمض DNA.

كان السؤال الأول المطروح على بساط البحث حول البروتينات هو ماذا كانت الأحماض الأمينية التي تشكل وحدات بنية البروتينات متجمعة مع بعضها البعض ببساطة أم بطريقة منظمة. في منتصف ثلاثينيات القرن العشرين، كانت الدراسات تشير إلى أنه يوجد بنية منظمة للبروتين، إلا أن طبيعتها لم تكن واضحة. وقد استطاع بولينغ وغيره من الكيميائيين التوصل إلى إجابة ذلك السؤال تقريباً في الوقت نفسه. وكان الجواب هو أن البروتينات هي عبارة عن سلاسل من الحموض الأمينية، تتصل فيها تلك الأحماض بروابط قوية تسمى روابط الببتيد (اشتقت كلمة

ببتيد من اسم أنزيم الببسين الذي يستطيع فصل الروابط وتكسير السلاسل البروتينية). وهكذا، فإنه يمكن تسمية البروتين أيضاً باسم السلسلة متعددة الببتيدات (polypeptide chain).

إن المعلومات التي نجمت عن دراسات علم البلورات بمساعدة الأشعة السينية دلت على أن سلسلة البروتين غالباً ما يكون لها بنية ملتفة. وقد استطاع بولينغ، بمساعدة زميله روبرت كوراي (Robert Corey)، تحديد طبيعة ذلك الالتفاف بشكل دقيق. وقد كان للطريقة التي اتبعوها في عملهم دوراً حاسماً. فعوضاً عن تطبيق تقنيات مجردة، قاما بصنع نماذج معدنية بالغة الدقة لوحداث الببتيد التي تشكل السلسلة البروتينية. فاستخدما أشكالاً معدنية صغيرة قاما بقصها بدقة لتأخذ أشكال العناصر المختلفة التي تكوّن البروتين، ثم قاما بتجميع تلك الأشكال بطريقة تشبه طريقة تجميع أحجية الصور المقطوعة. كان يتوجب عليهما صنع النماذج الفولاذية بدقة وبمهارة كبيرة لأن أي خطأ حتى ولو كان بحدود جزء من الإنش من شأنه أن يفسد نتائج عملهما. وقد فسر بولينغ انتقاله إلى تطبيق هذا الأسلوب الفيزيائي قائلاً:

«كانت المعالجة التحليلية شديدة التعقيد لدرجة تعيق تنفيذ العمل بنجاح، فكانت طريقة تصميم نموذج هي الطريقة الوحيدة الممكنة».



لينوس بولنغ (يسار الصورة) ومساعدته روبرت كوري مع نموذج لجزء اكتشف بولنغ حلزون ألفا، وهو الوضع النسبي لذرات البروتين متعدد الببتيدات.

وقد كان لاستخدام بولينغ تلك النماذج تأثيراً كبيراً على واطسون وكريك عندما بدأ عملهما من أجل اكتشاف بنية الحمض النووي منقوص الأوكسجين DNA بعد ذلك بسنوات .

عرف بولينغ أن الببتيدات في سلسلة البروتين مرتبطة بوصلات مزدوجة بين ذرة الكربون لأحد الببتيدات مع ذرة نيتروجين للببتيد التالي على الخط نفسه . وكانت نماذج الببتيدات التي صنعها وهو وكوري منفذة بطريقة تراعي تلك الناحية .

تحقق الإنجاز الكبير عندما انتقل بولينغ من كاليفورنيا للعمل كأستاذ زائر في جامعة أوكسفورد عام 1948 . ووفقاً لما رواه ، فإن ربيع بريطانيا الشديد البرودة أصابه بالمرض وأقعده طريح الفراش . ونتيجة لملله أثناء مرضه ، أخذ يسلي نفسه برسم صور تخيل فيها كيف من الممكن أن يكون شكل السلسلة متعددة الببتيدات إذا كانت مسطحة تماماً ، وكل ذراتها على مستوٍ واحد . وعندما نظر إلى المخطط ، أدرك أن البنية التي يريد التوصل إليها لسلسلة وحدات الببتيد لم تكن مسطحة ، وإنما كانت على الأغلب ملتفة بشكل لولبي - أي كالحلزون . وعندما طوى الورقة ليصنع شكلاً حلزونياً مشابهاً ، وجد أن البنية الجزيئية الملتفة للسلسلة يمكن أن ترتبط ببعضها بواسطة وصلات هيدروجينية بين ذرة هيدروجين في ببتيد ما وذرة أوكسجين في الببتيد الذي يبعد وحدتين أو ثلاث وحدات في السلسلة .

خلال السنوات القليلة التالية عمل بولينغ وكوري على تحسين اختراعهما كي يكون علمياً لا لبس فيه. بعد ذلك نشرا عملهما في مقالة قصيرة في صحيفة الجمعية الأمريكية الكيميائية في تشرين الأول/أكتوبر عام 1950. وعرضا فيها رسماً لسلسلة ببتيدات ملتفة نحو اليمين، بحيث تحتوي كل لفة كاملة للولب على 3,6 وحدات ببتيدية تماماً. وحينها أعطى بولينغ لوضع الببتيدات المتعددة اسماً هو: حلزون ألفا.

وفي شهر نيسان من عام 1951، نشر بولينغ وكوري سبعة أبحاث علمية أخرى توسعوا فيها باكتشافهما. فقد فسرت تلك الأبحاث بنية بعض البروتينات كالشعر والريش والحريير والعضلات والأوتار والهيموغلوبين. كما قاما بتحليل شكلين آخرين للبروتينات، أحدهما هو الشكل الذي أطلقا عليه اسم «الرقاقة المثنية» وهي عبارة عن بنية مسطحة ومكونة من عدة طبقات وجدا أنها جزء من بنية عدة بروتينات.

كما عرض بولينغ وكوري بنية الكولاجين؛ وهو بروتين مرن ومتين موجود في العظام والأوتار والأنياب وقرنية العين. وقد افترضوا أن الكولاجين له حلزون ثلاثي الجدلات - وقد تبين لاحقاً أن هذا الافتراض خاطئ تماماً.

لقد كان لأبحاث بولينغ وكوري حول البروتينات تأثير هائل على البيولوجيين، بمن فيهم واطسون وكريك. وقد

قال كريك لاحقاً إن عمل بولينغ قد علمه عدة دروس، منها أهمية إنشاء نماذج من أجل تحديد البنية الجزيئية، وضرورة الجرأة عند وضع النظريات في علم بيولوجيا الجزيئات. أما بالنسبة لواطسون، فقد كان لتلك الأبحاث تأثيراً نفسياً قوياً عليه.

كتب واطسون في كتابه «الحلزون المضاعف» أنه خلال احتدام المنافسة من أجل الوصول إلى بنية الحمض النووي منقوص الأوكسجين DNA، كان يتخيل نفسه دائماً كمنافس لبولينغ، فقد قال:

«لم يكن هنالك شخص مثل لينوس في كل العالم. إذ تجمع شخصيته بين العقل الهائل والابتسامة العريضة المعديّة».

ثم كتب واطسون وصفاً ساخرًا لاجتماع حضره في كاليفورنيا قام بولينغ فيه بعرض افتراضي لبنية حمض الـ DNA قال: إنه «مبهر وملهي بالخدع»، إلا أن ذلك الوصف كان تخيلياً بكليته، لأن واطسون لم يحضر بالفعل ذلك الاجتماع؛ وكان كل هدفه من ذلك الوصف المساس بسمعة بولينغ.

في أحد الأيام وبينما كان واطسون يسير مع موريس ويلكينز في رواق جامعة كامبردج أخبره ويلكينز بخبر هام يتعلق باكتشاف جديد كانت فرانكلين قد توصلت إليه للتو.

لم تكتشف روزاليندا فرانكلين بنية حمض الـ DNA،

إلا أن اكتشافها ذلك كان على قدر كبير من الأهمية. فقد اكتشفت أن ألياف الـ DNA تستطيع أن تعطي نوعين بعيدين من نماذج انكسارات الأشعة السينية. وقد وجد ويلكينز أن الألياف معتدلة الرطوبة للـ DNA تعطي نماذج من الانكسارات تظهر أن لها بنية بلورية. ثم اكتشفت فرانكلين أنه إذا أضيف ماء أكثر إلى ألياف الـ DNA فإنها تعطي أشكالاً مختلفة الانكسارات أشعة X-. وقد سمت حمض الـ DNA الأقل رطوبة النوع A- والحمض الأكثر رطوبة النوع B- وقد ثبت أن هذا الاختلاف بين نوعي الـ DNA كان على قدر كبير من الأهمية بالنسبة لعمل واطسون وكريك على تحديد بنية هذا الحمض.

بقيت هناك عدة أسئلة بحاجة للإجابة عليها من أجل تحديد بنية الحمض الريبي النووي منقوص الأوكسجين DNA. أحد هذه الأسئلة كان يتعلق بمكان توضع هيكله الفوسفاتي. إن توضع داخل الجزيء كان يبدو معقولاً. فإذا كانت الأسس تحمل المعلومات الوراثية، فإن إخراجها من ذلك الهيكل سيجعل من الأسهل على تلك الأسس نقل المعلومات داخل الخلية. ثم كان السؤال عن كيفية حمل الأسس للمعلومات الوراثية التي تحكم عمل الخلية. وأخيراً كان من الضروري تحديد كيف تستخدم جزيئات الخلية المعلومات الموجودة في المورثات (الجينات) من أجل صنع البروتينات الضرورية لعمل الخلية.

لم يكن أي من تلك الإجابات معروفاً قبل بدء

واطسون وكريك تعاونهما عام 1952. وكانت تلك الإجابات، حسب اعتقاد الجميع، تكمن في تفسير نماذج انكسارات أشعة X- لحمض الـ DNA. وهنا كان لدى واطسون وكريك (وكذلك لويلكينز وفرانكلين) ميزة في مجال عملهما استطاعا الإفادة منها. إذ كان لدى مخابر أوكسفورد ولندن تجهيزات خاصة بإنكسارات أشعة X- أفضل من تلك التي كانت متوفرة لبولينغ وغيره من الباحثين الأمريكيين. وقد سهلت النماذج الأوضح لإنكسارات الأشعة السينية التي تمّ التوصل إليها في بريطانيا عملية تحديد بنية جزيء حمض الـ DNA.

على كل حال كان بولينغ يعمل جاهداً للتوصل لتلك النتيجة. ومع نهاية عام 1952 علم واطسون وكريك أن بولينغ قد اكتشف بنية الـ DNA، بعد أن تمّ نشر بحث علمي في شهر شباط/فبراير 1953 يصف بنية ذلك الحمض. إلا أنه ثبت لاحقاً أن كل ما ورد في ذلك البحث كان خاطئاً تماماً.

لقد وصف بحث بولينغ حمض الـ DNA على أن له بنية ذات «ثلاث سلاسل، كل سلسلة منها عبارة عن لولب أو حلزون». وتكون المسافة بين النيوكليوتيدات (nucleotides) في كل حلزون (3.4) أنغستروم، ويتكرر كل حلزون بكامله كل (27.2) أنغستروم.

كان الجزء الأهم من البحث يتعلق بوضع بولينغ للأساس الفوسفاتي لبنية الـ DNA في داخل الجزيء.

وكان أحد أسباب قيامه بذلك هو أن وضع الأسس داخل البنية سيجعل الجزيء شاذاً وغريباً. وسبب آخر لذلك هو:

«أنه من الضروري لثبات الجزيء أن تكون الذرات مترابطة ببعضها البعض بشكل جيد».

ولكن سرعان ما اكتشف الجميع - بمن فيهم بولينغ نفسه - أن تلك الفرضية عن بنية الـ DNA تواجه عدة إشكالات رئيسية هامة. كان هناك خللاً في النموذج الذي قدمه بولينغ يتمثل في أن الذرات كانت مرصوفة ببعضها البعض بدرجة شديدة تفوق المتطلبات الكيميائية الأساسية. كما أن هناك خلل آخر لذلك النموذج، وهو أنه صوّر أن ذرات الهيدروجين مرتبطة بقوة بمجموعات الفوسفات. عرف واطسون أن ذرات الهيدروجين لا يمكن أن تكون مرصوفة بتلك الدرجة؛ لأن الحمض يُعرّف بأنه جزيء يستطيع إطلاق ذرات الهيدروجين. وقد أدرك واطسون أن «الحمض النووي الذي عرضه بولينغ لم يكن حمضاً على الإطلاق». وآخر عيب في نموذج بولينغ كان أنه لم يقدم تفسيراً عن كيفية حمل بنية الـ DNA التي افترضها للمعلومات الوراثية ونقلها لها. لقد وردت رواية في كتاب واطسون «الحلزونات المضاعف» عن ردة فعل روزاليند فرانكلين على بحث بولينغ عندما اطلعت على البحث الجديد. فحسب ما ذكره واطسون، أبدت فرانكلين انزعاجها مما ورد في البحث وأخذت تلقي محاضرة على واطسون حول نظرية الحلزون، إذ قالت:

«ليس هناك أي أثر لدليل يسمح للينوس أو لأي أحد غيره أن يفترض وجود بنية حلزونية لحمض الـ DNA».

ثم أضاف واطسون:

«وفجأة نهضت روزي من خلف منضدة المخبر التي تفصل بيننا وتقدمت باتجاهي. وخشية مما قد تفعله من شدة غضبها في تلك اللحظة، قمت بانتزاع بحث بولينغ وأسرت باتجاه الباب المفتوح».

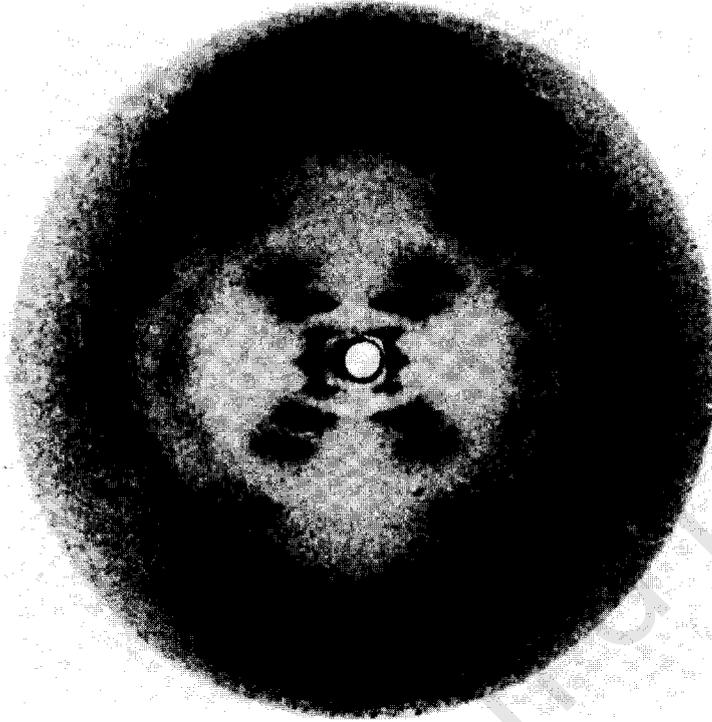
كان هذا تصويراً هزلياً للموقف، خاصة إذا تذكرنا أن طول واطسون كان يزيد عن ستة أقدام وأن فرانكلين كانت قصيرة ونحيلة ولا يمكن أن تشكل تهديداً له بمعنى الكلمة. وقد أصر الكثيرون ممن يدافعون عن فرانكلين بأن واطسون كان يتعمد المبالغة في وصفه ذلك ليضع فرانكلين موضع سخرية.

انتهى ذلك المشهد عندما دخل ويلكينز إلى الغرفة. بعدها غادر الرجلان الغرفة وسارا في رواق المخبر. عندها أخبر واطسون وويلكينز أن فرانكاين كادت أن تهينه، وقد قال واطسون عن تعليق ويلكنز على ما حدث:

«لقد أكد لي وبهدوء أن ذلك من الممكن أن يحدث، لأنها قبل عدة أشهر قامت بتصرف مماثل معه. فقد كادا أن يتقاتلا إثر نقاش حاد بينهما في غرفته».

لقد جلبت تلك القصة التي وردت في كتاب «الحلزون المضاعف» لواطسون الكثير من النقد الثقيل. لذا قام في طبعات كتابه اللاحقة بتقديم اعتذار إلى فرانكلين، إلا أنها لم تكن على قيد الحياة في ذلك الوقت عندما نُشر بحث بولينغ.

نموذج حصلت عليه روزاليند  
فرانكلين لانكسار أشعة X-  
للشكل B من حمض الـ DNA  
في درجة رطوبة عالية.



ذهب واطسون إلى لندن لإطلاع ويلكينز وفرانكلين عليه. والمشهد الذي يصف فيه واطسون هذه الزيارة هو بمثابة واحدة من اللحظات الدراماتيكية المثيرة في كتابه - وذلك ليس بسبب بحث بولينغ وإنما بسبب ما عرفه في تلك الزيارة -. ففي ذلك الاجتماع، أخبر ويلكينز واطسون عن صورة جديدة لانكسار أشعة X- حصلت عليها فرانكلين للنوع B- من حمض الـ DNA. فطلب منه واطسون أن يطلعها عليها. وقد كتب واطسون عن تلك اللحظة:

«في اللحظة التي شاهدت فيها الصورة فتحت فمي باندهاش وأخذ نبضي يتزايد. لقد كان ذلك النموذج أبسط من النماذج السابقة بطريقة لا تصدق. وعلاوة على ذلك، كان من المؤكد أن التصالب الأسود الذي كان يسيطر على

الصورة لا يمكن أن ينشأ إلا عن بنية حلزونية».

وفي رحلة أخرى لواطسون إلى لندن تلبية لدعوة ويلكينز له على العشاء، أكد كريك أنهما كانا على مسافة قريبة من نهاية السباق مع بولينغ. وعن هذا قال واطسون:

«لو أنه طلب من أحد معاونيه أن يأخذ صوراً لحمض الـ DNA، لكانت بنية النوع B- قد اكتشفت في باسادينا، ولاستطاع لينوس التوصل في أقل من أسبوع لبنية ذلك الحمض».

وأثناء رحلة العودة إلى كامبردج، أخذ واطسون وهو في القطار يرسم مخططات للبنية المحتملة للـ DNA، وذلك برسم نماذج بسلسلتين وبثلاث سلاسل. وعندما وصل كان الوقت متأخراً لذا لم يستطع استخدام الباب الرئيسي للكلية للوصول إلى غرفته، فالتف خلف الكلية وتسلق البوابة الخلفية، وفي تلك اللحظة - حسب قوله - التمعت في ذهنه فكرة صنع نماذج ذات سلسلتين. وقد ذكر في هذا الخصوص:

«إن فرانسيس لن يمانع في صنع تلك النماذج، فعلى الرغم من كونه فيزيائياً، فإنه يعلم أن الأشياء الأحيائية (البيولوجية) الهامة تكون زوجية».

لم يوافق كريك في البدء، إلا أن واطسون تابع العمل على بنات حمض الـ DNA الثنائية - والثلاثية - السلاسل، مع التركيز على النماذج ثنائية السلاسل.

في تلك الأثناء، كان واطسون وكريك ينتظران انتهاء ورشة مخبر كافنديش من صنع الأشكال المعدنية التي تمثل الفوسفات والأسس الأخرى اللازمة لعمل نموذج للـ DNA. وكما ذكر واطسون عن تلك الفترة، فقد كان يستخدم أشكالاً من الورق المقوى لحمض الـ DNA لها هيكل فوسفاتي بداخلها، لأن وضعه خارجها سيبرز «المشكلة الكريهة» المتعلقة بكيفية تثبيت الأسس داخل الجزيء. وكان هناك احتمالاً اقترحه واطسون، وهو أن الأسس البورينية يمكن أن تشكل أزواجاً مع بعضها البعض، وكذلك أسس البيريميدين تشكل أزواجاً بالطريقة نفسها - والغوانين مع الغوانين... وهلم جرا. ولكن كريك رفض هذا النموذج لعدة أسباب. أحدها أن سلسلتي الأسس ستسيران في الاتجاه نفسه، وهذا لا يتناسب مع الدليل الذي حصلنا عليه من انكسارات أشعة X- وسبب آخر هو أن مثل هذا النموذج لا يشرح نسبة الواحد - إلى - واحد (1 - 1) التي ذكرها تشارغاف عن الأسس. فتللك النسب تحدد أن كمية الأدينين هي دائماً نفس كمية الثيمين، وأن كمية الغوانين هي دائماً نفس كمية السيتوسين.

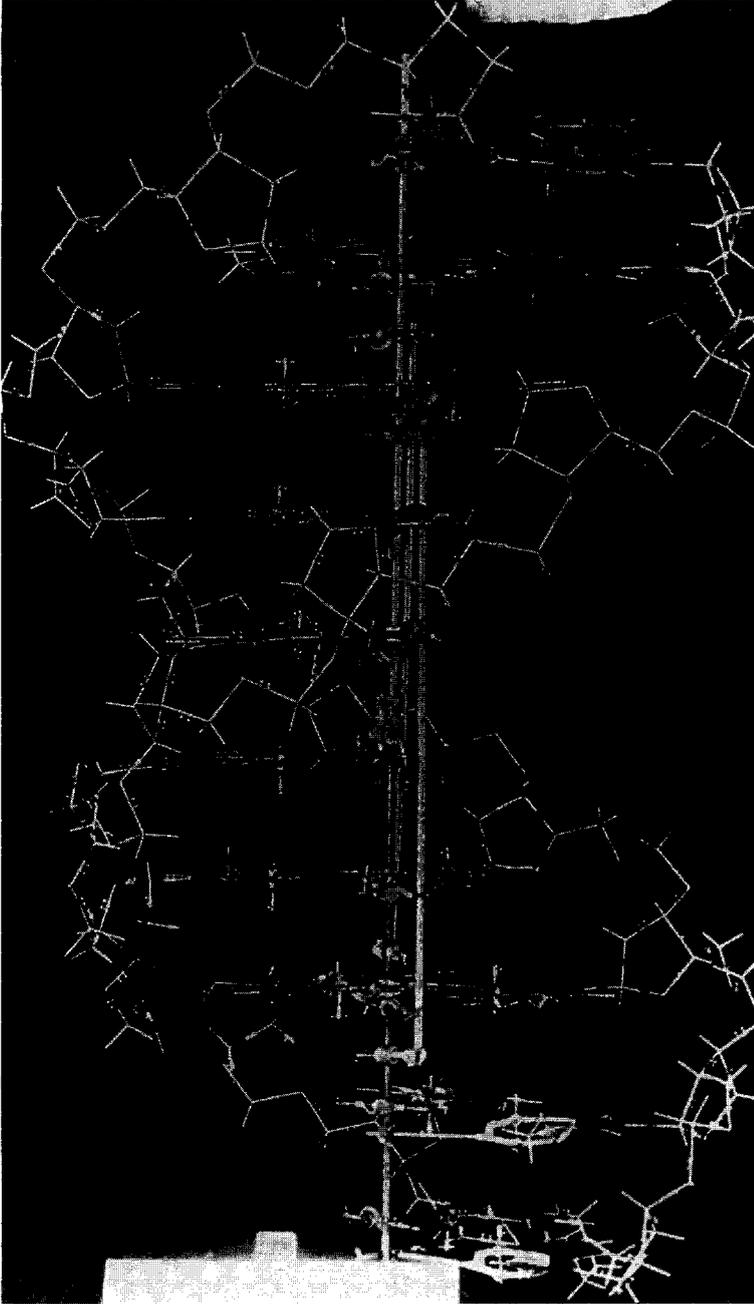
عندما حاول واطسون عمل نموذج من سلسلتين، واجهته عدة مشاكل كبيرة. منها أن الأسس الأربعة كانت لها أشكالاً مختلفة عن بعضها البعض، فإثنان من تلك الأسس كانا كبيرين وإثنان كانا صغيرين. ومشكلة أخرى هي تسلسل الأسس في سلسلة الـ DNA حول بعضم كان

سيعطي نتيجة تتسم بالفوضى. ففي بعض المواضع ستلمس بعض الأسس الكبيرة بعضها البعض مما سيؤدي إلى انتفاخ جزيء الـ DNA ذي السلسلتين وبروزه خارجاً عن موضعه. وفي أماكن أخرى ستقابل الأسس الصغيرة بعضها البعض، بحيث تثني بنية الجزيء وتتغضن باتجاه الداخل.

كانت هناك أيضاً مسألة أخرى تتعلق بكيفية بقاء السلاسل المجدولة ببعضها مرتبطة بواسطة روابط هيدروجينية تصل بين الأسس. وبهذا الخصوص كتب واطسون:

«كان مفهوماً أن عقدة الموضوع أو النقطة الأساسية والحاسمة فيه تتمثل بمعرفة القاعدة التي تحكم الربط الهيدروجيني بين الأسس».

ومن الواضح أنه توصل إلى حل تلك المشكلة بعد عدة أيام، عندما لاحظ أن كل أدينين يستطيع صنع الوصلات الهيدروجينية اللازمة لاتصاله بالأدينين المقابل له في بنية الـ DNA؛ والشئ نفسه ينطبق على الروابط الهيدروجينية بين أزواج الأسس الأخرى. وهكذا توضح لواطسون أن تصويره الأول لجزيء الـ DNA المؤلف من سلسلتين، كل سلسلة منها تحمل التسلسل نفسه من الأسس ومرتبطة ببعضها البعض بواسطة وصلات هيدروجينية تصل بين كل زوجين متماثلين من الأسس، كان خاطئاً وذلك لعدة أسباب. فأحد مشاكل هذه البنية أن هيكل مثل هذا الجزيء ذي السلسلتين سوف ينثني



النموذج الإيضاحي الأول الأصلي للحلزون المضاعف (المزدوج) الذي صنعه واطسون وكريك.

ويتغضن للداخل ويبرز للخارج بسبب الأشكال المختلفة للأسس. ومشكلة أخرى أشار إليها كريك هي أن بنية واطسون المقترحة لا تفسر نسبة أسس الـ DNA التي حددها تشارغاف.

ثم خرج حل هاتين المشكلتين سريعاً. ففي صباح يوم السبت الواقع في 28 شباط/فبراير كان واطسون يحرك نماذجه الكرتونية على مكتبه، وفجأة، حسب ما ذكر لاحقاً:

«أدركت أن زوجاً من الأدينين والثايمين يرتبطان ببعضهما بواسطة وصلتين هيدروجينيتين بطريقة مطابقة في الشكل لزوج من الغوانين والسيتوسين يرتبطان كذلك ببعضهما البعض بواسطة وصلتين هيدروجينيتين على الأقل».

ثم أضاف:

«لقد بدا أن كل الروابط الهيدروجينية تتشكل بصورة طبيعية، ولم يكن هناك من داع للتلاعب أو المراوغة لجعل النوعين من أزواج الأسس تتطابق في الشكل».

عندما اطلع كريك على ما توصل إليه واطسون أدرك على الفور أن هذا الاكتشاف يتماشى مع النسبة التي حددها تشارغاف. وقد قدم واطسون اكتشافاً حاسماً آخرًا - يتعلق بطريقة إتصال الأسس بعمودها الفقري الفوسفاتي - وهو أن تسلسل الأسس في العمودين الفقريين يتم باتجاهات متعاكسة. وقد كتب كريك حول هذا بعد سنوات:

«لقد كانت تلك هي النقطة الحاسمة، فالسلاسل تأتي بشكل مزدوج (ثنائي) وليس ثلاثي في الجزيء، وإحدى السلسلتين تتجه صعوداً بينما تتجه الثانية نزولاً».

بعد ذلك أضاف طالب أمريكي شاب يعمل مع واطسون ويدعى جيرى دونوهيو (Jerry Donohue) فكرة هامة وحاسمة أيضاً في هذا الخصوص. فقد عُرف للتو أن الأسس تأتي في شكلين تعرف بالإجمال باسم الممائلات الكيميائية (أي تتماثل في التركيب والتفاعلات)، الأول يدعى الكيتون والثاني الإينول. ويتمثل الفرق بينهما في موضع ذرة هيدروجين واحدة فقط، إلا أن هذا الاختلاف كاف لتغيير حجم الأساس. في نموذج واطسون الأصلي، كان لدى الأسس شكل الإينول فقط. فأطلع دونوهيو واطسون على دليل علمي جديد عن كون الأسس لها على الأغلب الشكل الكيتوني. وقد دعمت هذه المعلومة حالة ارتباط الأساس الأدينيني - البيوريني في جزيء الـ DNA. وإن وجود الأسس في الشكل الكيتوني يعني أن وصلة السيتوسين - الغوانين ثلاثية بينما تكون وصلة الأدينين - الثيمين ثنائية، وبهذا الشكل تتوافق الأزواج دائماً بشكل صحيح.

والآن، أصبح لدى واطسون وكريك نموذجهما الجديد: سلسلتان من الـ DNA، ملتفتان كحلزوني ألفا بقطر 20 وحدة أنغستروم، بحيث تقوما بدورة كاملة كل 34 وحدة أنغستروم، بينما تتباعد الأسس في كل سلسلة 3,4 وحدة أنغستروم. ويمكن تصوّر هذه البنية كخط

السكة الحديدية، حيث تشكل السلسلتان الفوسفاتيتان خطي السكة بينما تشكل الأسس القضبان العرضية التي تربط بين الخطين. وتلتف هذه البنية باتجاه اليمين حول خط مركزي وهمي.

لقد سمح هذا النموذج لجزيء الـ DNA أن يعيد إنتاج نفسه. فهاتان السلسلتان يمكن أن تنفصلا مما يسمح لكل بيورين التزاوج مع البيريميدين المناسب وذلك لإنتاج سلسلة جديدة مطابقة للسلسلة الأصلية.

لقد كانت فكرة هذا النموذج على ما يرام على ما وصلت إليه، إلا أن واطسون وكريك كانا يدركان أنهما لن ينتهيا من العمل قبل صنع نموذج كامل يتوافق مع كل المتطلبات الكيميائية والبنوية المفروضة. ومع ذلك، فقد ذهب كريك إلى ناديه المفضل في مساء ذلك اليوم لسمع الجميع «أنا وجدنا سر الحياة». وقد أطلق كريك لاحقاً على منزل العائلة في كامبردج اسم الحلزون الذهبي، ووضع لولباً مصنوعاً من النحاس أمام المنزل.

أما بالنسبة لواطسون، فإنه يسترجع ذكرياته في هذا الخصوص قائلاً:

«لقد بدا أمراً لا يصدق أن تُحل مسألة بنية حمض الـ DNA، وأن الحل كان مثيراً لدرجة كبيرة، وأن اسمينا سيرتبطا بالحلزون المضاعف مثل ارتباط اسم بولينغ بحلزون ألفا».

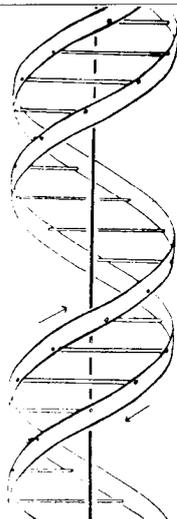
بعد عدة سنوات، طُلب من واطسون أن يدلي بحديث

أمام ناد صغير للعلماء في كامبردج. وبعد أن تناول عدة كؤوس من الشراب، قال كلمته بشكل مترابط حتى النهاية. وكل ما استطاع قوله عن النموذج هو «إنه جميل جداً، كما ترون، جميل جداً».

كان ذلك بعد عدة سنوات، أما في حين نشر نبأ بنية الحلزون المضاعف، فقد انتظر واطسون وكريك بفارغ الصبر انتهاء ورشة جامعة كامبردج من صنع النماذج الجزيئية الدقيقة لكافة مكونات حمض الـ DNA اللازمة. وفي 7 آذار/مارس انهاء من إنشاء نموذج تام بطول يزيد عن ستة أقدام لجزيء الحمض الريبي النووي منقوص الأوكسجين DNA.

شاهد موريس ويلكنز النموذج وأعجب به. أما لينوس بولينغ الذي علم بأمر البنية المقترحة عن طريق رسالة وصلته من جمعية الزمالة العلمية، فقد توجه إلى كامبردج في الأسبوع الأول من نيسان/أبريل وشاهد النموذج ثم وافق على كون النموذج يبدو صحيحاً. وقد تم إرسال بحث واطسون وكريك من أجل نشره في مجلة «الطبيعة» في الثاني من نيسان إلا أنه لم ينشر إلا في الخامس والعشرين منه. وقد حوى البحث جملة هامة بشكل خاص تقول:

«لم تفتنا ملاحظة أن التزاوج المحدد الذي افترضناه قدم على الفور تنطبقاً محتملاً مع آلية المادة الوراثية».



This figure is purely diagrammatic. The two ribbons symbolize the two phosphate—sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases holding the chains together. The vertical line marks the fibre axis

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 its water content is rather 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 purine 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

2

صورة المقال الذي نشر في مجلة الطبيعة عام 1953 وفيه شرح للحلزون المضاعف كما شرحه واطسون وكريك أول مرة.

لقد كان لذلك البحث تأثيراً كبيراً، وذلك حسبما ذكره كريك بعد مرور خمسة وعشرين عاماً على نشره. لقد اقتنع كثير من العلماء أنه لو لم يكتشف واطسون وكريك ذلك الاكتشاف بتلك الطريقة «لظهر ذلك الاكتشاف بطريقة هزيلة ولما كان له ذلك التأثير:

ثم أضاف كريك على ذلك:

«وبدلاً من الاعتقاد أن واطسون وكريك قد صنعا بنية الـ DNA، أستطيع أن أؤكد أن تلك البنية هي التي صنعتها. وخلاصة القول، فقد كنت مجهولاً كلياً في ذلك الوقت، وكان واطسون معروفاً في معظم الأوساط على أنه ذكي ولامع ولكن ليس إلى الدرجة التي تجعل من صوته مسموعاً».

أحد الأمثلة المدهشة عن كيفية تغيير ذلك الاختراع لحياتيهما هو اهتمام أحد استوديوهات هوليوود بعمل فيلم كامل عن واطسون - كريك. لقد أدرك كريك أن أي فيلم بالطبع يحتاج لمجموعة كبيرة من الشخصيات - الشاب الأمريكي المندفع والإنكليزي كثير الكلام:

«ولهذا لا بد أن يكون عبقرياً، لأن العباقرة إما أن يكونوا من الذين يتكلمون كل الوقت أو الذين لا يتكلمون بالمرّة... وأفضل ما في الأمر وجود امرأة متحررة (روزاليند فرانكلين) كانت تبدو وكأنها تعامل بطريقة غير عادلة».

كان مركز صناعة الفيلم في جنوبي كاليفورنيا، وقد أبدت عدة استوديوهات اهتمامها في تقديم فيلم عن

اكتشاف الحلزون المضاعف. وقد أراد جيم واطسون صنع الفيلم، أما فرانسيس كريك فقد عارض في البداية إلا أنه غير رأيه فيما بعد. وقد نصحهما بعض الأصدقاء بصياغة عقد يغطي كافة الاحتمالات، بما فيها المشاركة في الأرباح التي قد يدرها نجاح موسيقى الفيلم المرحة أو الأرباح الناجمة عن نجاح قصة الفيلم الكوميدية. وقد عين واطسون وكريك وكيلاً لهما ومحامياً من هوليوود. ولكن كريك تنبأ أن الفيلم لن يتم لأنه لم يكن في القصة بعض الجنس والعنف المطلوبين لنجاح الأفلام السينمائية.

ثبت أن ما تنبأ به كريك كان صحيحاً، خاصة فيما يتعلق بشروط الأفلام الهوليوودية. أما مؤسسة الإذاعة والتلفزيون البريطانية فقد أنتجت فيلماً وثائقياً عنهما في أواخر ثمانينيات القرن العشرين. لعب دور كريك الممثل تيم بيغوت (Tim Piggott) وقام بدور كريك الممثل جيف غولديلام (Jeff Goldblum). عرض ذلك الفيلم في الولايات المتحدة تحت اسم «الحلزون المضاعف». كانت أحد أخطاء الفيلم، حسب ما ذكره كريك لاحقاً، أنه لم يظهر أن «الحلزون المزدوج ليس النهاية وإنما البداية، بسبب كل الأفكار التي تضمنها حول تناسخ المورثات (الجينات) والفريضات المتعلقة بالبروتينات، وغيرها» - تلك الأفكار التي حرص كريك على متابعتها من ضمن أعماله اللاحقة -.



واطسون وكريك عام 1953 أثناء إعلانهما عن اكتشاف بنية الـ DNA الجزيئية.

في البحث الثاني الذي قام واطسون وكريك بنشره بعد أسابيع من نشر البحث الأول الذي يشرح بنية الـ DNA، ركزا على بعض الخطوط الرئيسية لاكتشافهما. فقد ذكرا أن:

«أي تسلسل لإشباع الأسس يمكن أن يتلاءم في بنية الجزيء. ففي الجزيء الطويل يظهر احتمال حدوث عدة تغيرات أساسية، لذا يبدو أن التسلسل الدقيق والمضبوط للأسس هو الشيفرة التي تحمل المعلومات الوراثية. وإذا حصلنا على الترتيب الفعلي للأسس في واحد من إشباع السلسلة، فإنه يمكننا عندها كتابة الترتيب الصحيح والمضبوط للأسس الموجودة في الشفع الثاني، وذلك بسبب الترتيب الزوجي الدقيق».

ثم قاما بكتابة بحث يشرح إحدى السمات الرئيسية الهامة للمورثات: وهو أن التحول أو التغيير يمكن أن يحدث (التغيير الأحيائي). إن هذه التحولات أو التغييرات التي قد تطرأ على الـ DNA يمكن أن تسبب أمراضاً وراثية. إلا أنها تساهم أيضاً في عملية النشوء، بما فيها نشوء أنواع جديدة. «إن التحول المستمر قد يكون نتيجة قاعدة تتكرر بالصدفة في واحدة من تلك الأشكال التي تكون على الأرجح أقل تكراراً» وفقاً لما ذكرناه. فعلى سبيل المثال، إن الأدينين يتزاوج مع الثيمين عادة، إلا أن انتقال ذرة هيدروجين واحدة سيمكنه من التزاوج مع الغوانين، مشكلاً بذلك سلسلة مختلفة من الـ DNA. كان هذا القول مجرد تخمين عندما كتب أول مرة، ولكن في غضون سنوات ثبت أنه صحيح.

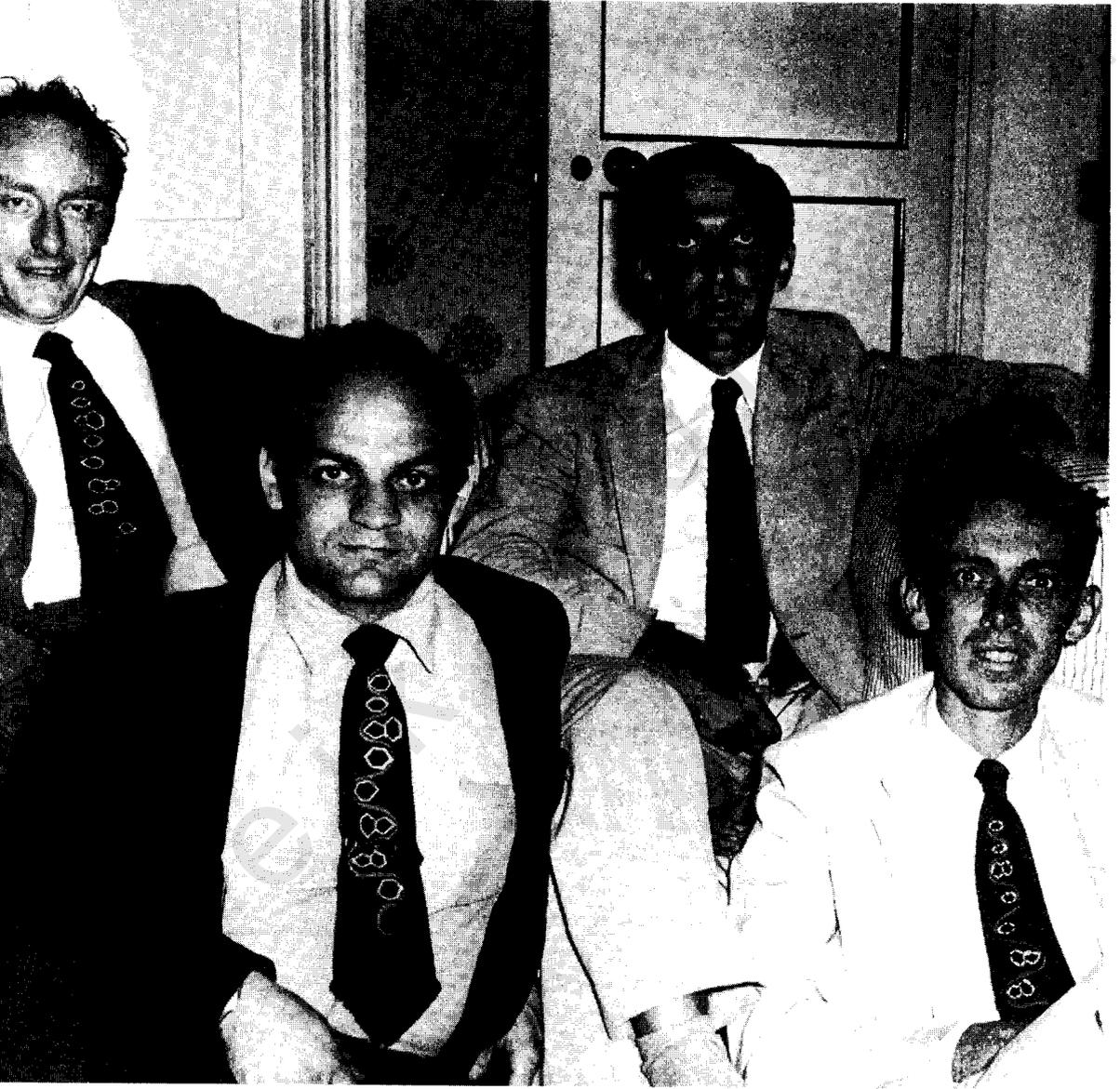
لاحظ واطسون وكريك مشكلة أخرى تتعلق ببنية الـ DNA كان يتوجب عليهما حلها، وهي حسب ما كتبنا:

«بما أن السلسلتين في النموذج الذي قدمناه مجدولتان ببعضهما البعض، فمن الضروري ألا ينفكاً عند فصلهما... لأن مقداراً كبيراً من الإنفكاك سيلزم عندها. وعلى الرغم من أنه من الصعب حالياً مشاهدة كيفية حدوث مثل هذه العمليات دون حدوث تشابك، إلا أننا لا نشعر بأنه من الصعب تخطي هذا العارض».

بعد نشر هذه الأبحاث إضافة إلى العديد غيرها، اتجه واطسون وكريك إلى اتجاهات أخرى مختلفة. فقد تلقى كريك عرضاً للزمالة في معهد بروكلين للبوليتكنيك (Brooklyn Polytechnic Institute) في نيويورك. كان كريك متردداً بعض الشيء في الذهاب إلى بروكلين (الأمر الذي أصبح مادة لنكات كثيرة)، إلا أن حب الاستطلاع لديه وتوقه لمشاهدة الولايات المتحدة جعلته يقبل العرض. أما واطسون فقد ذهب إلى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (California Institute of Technology) الذي عرض عليه منصباً فيه. ولم يعملوا معاً بعد ذلك في أي معهد، إلا أنهما استمرا في تعاونهما وفي الكتابة لبعضهما البعض وفي حضور اللقاءات العلمية، علاوة على الاستمرار في دورهما الكبير في تطوير علم الوراثة الجديد.

جاء التأكيد الأول على صحة بنية الـ DNA التي افترضها من روزاليند فرانكلين، التي نشرت بحثاً ذكرت

فيه أن بنية واطسون - كريك تتوافق مع الدراسات التي قامت بها على انكسارات الأشعة السينية للنوعين A و B لحمض الـ DNA. بعد ذلك، تمت عدة دراسات وأثبتت صحة اكتشافهما. وسرعان ما أقر المجتمع العلمي أن مشكلة بنية الحمض الريبي النووي منقوص الأوكسجين DNA قد تم حلها.



واطسون وكريك مع اثنين من أصدقائهما العلماء في الستينيات. وقد سماوا أنفسهم «RNA Tie Club»، حيث كانوا يرتدون ربطات عنق موحدة عليها رسم لجديلة RNA.