

صندوق داروين الأسود

تحدي الكيمياء الحيوية لنظرية التطور

إلى زوجتي (سيلة) ...

المؤلف

صندوق داروين الأسود

تحدي الكيمياء الحيوية لنظرية التطور

د. مايكل بيهي

أستاذ العلوم البيولوجية بجامعة ليهاي

ترجمة:

د. مؤمن الحسن - د. أسامة إبراهيم - د. زيد الهبري

وآخرون

مراجعة:

د. موسى إدريس

مركز براهين للأبحاث والدراسات

Braheen Center for Research and Studies



Darwin's Black Box

The Biochemical Challenge to Evolution

صندوق داروين الأسود

تحدي الكيمياء الحيوية لنظرية التطور

Michael J. Behe

د. مايكل بيهي

ترجمة: د. مؤمن الحسن – د. أسامة إبراهيم – د. زيد الهبري وآخرون

مراجعة: د. موسى إدريس

الطبعة الثانية: يناير ٢٠١٨

مقاس الكتاب: ٢٤×١٧

عدد الصفحات: ٤١٦

الترقيم الدولي: ٩٧٨-٩٧٧-٨٥١٦٥-١-٧

الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبر بالضرورة عن وجهة نظر (مركز براهين)، وإنما بالأحرى عن وجهة نظر المؤلف.

مركز براهين للأبحاث والدراسات

أرقام المبيعات: ٠١٠٦٤٨٠٠٠٩٤ (٠٠٢) - ٠١٠١٥٥٧٧٤٦٠ (٠٠٢)

بريد المبيعات: sales@braheen.com

صفحات المبيعات: braheen_books  braheen.bookstore 

يمنع نسخ أو استعمال أي جزء من هذا الكتاب بأية وسيلة تصويرية أو إلكترونية أو ميكانيكية، ويشمل ذلك التصوير الفوتوغرافي والتسجيل على أشرطة أو أقراص مضغوطة أو استخدام أي وسيلة نشر أخرى، بما في ذلك حفظ المعلومات واسترجاعها، دون إذن خطي من الناشر.

Arabic Language Translation Copyright © 2018 by Braheen Center

Darwin's Black Box: The Biochemical Challenge to Evolution?

by **Michael J. Behe**

Published by arrangement with **Simon & Schuster**, Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with **Braheen Center** and is not the responsibility of **Simon & Schuster**. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder **Simon & Schuster**.

Braheen Center for Research and Studies, Ltd.

عن المؤلف

د. مايكل بيهي هو أستاذ العلوم البيولوجية بجامعة ليهاي في بنسلفانيا، وزميل أقدم في مركز الثقافة والعلوم التابع لمعهد ديسكفري. حصل على الدكتوراه في الكيمياء الحيوية عام ١٩٧٨م من جامعة بنسلفانيا، وأتبع ذلك بأبحاث ما بعد الدكتوراه في قواعد الدنا DNA حتى عام ١٩٨٢م في المعاهد القومية للصحة NIH. عمل بيهي من عام ١٩٨٢م كمدرس مساعد للكيمياء في كوينز كوليدج بمدينة نيويورك، لينتقل أخيرا للعمل في جامعة ليهاي عام ١٩٨٥م، والتي ظل يعمل فيها إلى الآن.

خلال حياته العملية، كتب أكثر من ٤٠ ورقة علمية متخصصة نشرت في مجلات الكيمياء الحيوية المحكمة. وألف بيهي خلال رحلته كتابين فقط، هما (صندوق داروين الأسود: تحدي الكيمياء الحيوية للتطور) و(حافة التطور: البحث عن حدود الداروينية). وفيهما يتبنى بيهي معارضة الأساس الذي تقوم عليه نظرية التطور، والتأسيس لمفهوم التعقيد غير القابل للاختزال، والذي لا يمكن تفسيره إلا في إطار نظرية التصميم الذكي. قدم بيهي عمله حول الأنظمة غير القابلة للاختزال في العديد من الجامعات الرفيعة في أمريكا وكندا وبريطانيا، وأجرى حوله العديد من المناظرات.

لماذا هذا الكتاب؟!

يقول داروين في كتابه (أصل الأنواع): "إذا أمكن إثبات وجود عضو معقد لا يرجح تكونه عبر العديد من التعديلات الطفيفة المتوالية، تنهار نظرتي انهياراً كاملاً". وبالرغم من أن هذه الجرأة قد تحسب في صالح داروين، إلا أنها ستحسب ضد مؤيديه الحاليين. فالخلية التي كانت تبدو لدى داروين ومعاصريه كبقعة بروتوبلازمية بسيطة، أصبح البيولوجيين الآن —مع الثورة البيوتكنولوجية الحديثة— يرونها كمصنع معقد من الآلات الجزيئية. فهل سيعيد الداروينيون النظر في نظرية داروين على ضوء المعطيات الجديدة؟ أم أنهم سيلوون عنق الحقائق للإبقاء على الدوجما المادية الطبيعية القابعة وراء أفكاره؟

حسنًا... لعل أحدهم سيغرد خارج السرب، وسيفضل اتباع الدليل عن اتباع الكثرة.

طوال فترة دراسته وحتى بعد تخرجه وحصوله على الدكتوراه —في ١٩٧٨م—، لم يكن لدى بيهي سبب للشك في الداروينية. ولكنه حين بدأ الانتباه لذلك التعقيد المذهل الموجود في الماكينات الجزيئية التي يتعامل معها بشكل دوري كمختص في الكيمياء الحيوية، تغيرت الصورة لديه. بدأ بيهي الشك في صلاحية التفسير الدارويني لنشأة وتنوع الحياة مع بداية تعامله مع السوط البكتيري، وازداد شكه بعد أن وجد أن هناك عدد من العلماء —على عكس ما يشاع— لديهم اعتراضات علمية على النظرية. فهو بعد أن قرأ كتاب عالم الجينات د. مايكل دنتون (التطور: نظرية في أزمة)، لم يكن من السهل عليه إطلاقاً تجاوز الأمر والسير في حياته العملية التي كانت تسير على ما يرام قبل ذلك. قرر بيهي بعد قراءته لكتاب دنتون العودة لفحص الأدلة بشكل أوسع، وخرج من فحصه بنتيجة ستصبح فيما بعد أحد أركان النظرية الجديدة التي من شأنها أن تحل محل التطور الدارويني، وستصبح أيضاً السبب في كتابته لهذا الكتاب؛ (التعقيد غير القابل للاختزال).

تقتضي نظرية داروين —كما هو واضح من النقل السابق من كلام واضع النظرية— أن أي

عضو معقد قد نشأ في مسيرة التطور، نشأ عن طريق عدة تعديلات متعاقبة، أي أن مجموع التعديلات التي أنشأت العضو المعقد قابلة للاختزال أو التدرج. ولكن حينما أمعن بيهي النظر في السوط البكتيري، لم يكن هناك أي سبب يدعو للشك في أن هذا النظام قد يكون قابلاً للاختزال، فإنك إن أزلت منه أي جزء، لن يستمر في عمله. وبالتالي؛ نحن أمام هذا النظام الذي انتظره داروين لكي يعلن انهيار نظريته.

لم يصدق بيهي نفسه، وقال وقتها أنه لا بد أن يكون مخطئاً، ولا بد أن يكون لدى أحد ما تفسير مقبول لكيفية نشوء مثل هذه الأشياء. ولكنه صعق حينما لم يجد أي تخمين حتى لدى أي أحد. أسقط في يديه، وشعر أنه قد خدع طوال هذه السنوات التي كان يصدق فيها أن الداروينية هي التفسير غير القابل للنقاش. ثم ما لبث أن عاد مرة أخرى لفحص مفهومه بشكل أوسع، ولمشاورة من استطاع أن يصل إليه من العلماء، ليجد العديد من الأمثلة التي يصعب حصرها، والتي تصب في نفس الاتجاه، وليجد أن تلك الأنظمة لا يمكن تفسيرها في ضوء التطور التدريجي، وإنما يتحتم رؤيتها في ضوء التصميم الذكي. في النهاية، كللت جهوده في بداية أغسطس ١٩٩٦م بنشر الكتاب.

نشرت (نيو يورك تايمز New York Times) مراجعة للكتاب قبل نشره بأسبوع، وظهرت بعد ذلك عدة مراجعات للكتاب في المجلات الشهيرة كـ (Nature) و (التايمز Time) و (وول ستريت جورنال Wall Street Journal) و (ساينس Science) وغيرها من المجلات المختصة والشعبية، وصنفته مجلتي (وورلد ماجزين World magazine) و (ناشيونال ريفيو National Review) من ضمن أهم ١٠٠ كتاب في القرن العشرين. وحقق الكتاب مبيعات عالية وانتشار واسع، ولقي حفاوة بالغة، وعداء منقطع النظير.

مئات المقالات الناقدة في أشهر المجلات والدوريات، وانتقادات من العديد من العلماء البارزين، ومناظرات في العديد من الجامعات الأمريكية والأوروبية. الكل يحاول أن يرد، ولا

أحد يأتي بتفسير مقبول لكيفية نشأة الأنظمة غير القابلة للاختزال في الإطار الدارويني. بل ووصل الأمر إلى صدور بيان من الجامعة التي يعمل بها بيهي (جامعة ليهاي)، تتبرأ فيه من أفكار بيهي عن التعقيد غير القابل للاختزال والتصميم الذكي. ولكن كل ذلك كان رد فعل طبيعي ومتوقع، فالتعصب للداروينية هو السمة المميزة للساحة العلمية، وما فعله بيهي ليس سهلا على الإطلاق. لكن من غير الطبيعي أن يصل هذا العداء إلى اجترار نظرية التصميم الذكي إلى ساحة القضاء. فبدلاً من أن يستمر النقاش بين النظريات المتعارضة في المقالات والكتب والمعامل والأبحاث، حاول الداروينيون إنهاء الأمر من خلال حكم قضائي.

قررت إدارة منطقة مدارس مدينة دوفر في ولاية بنسلفانيا قراءة بيان على طلاب البيولوجيا في المدرسة مفاده أن نظرية التطور ليست النظرية الوحيدة التي تحاول تفسير نشأة وتنوع الحياة، وأن هناك نظرية أخرى تدعى بالتصميم الذكي، وأن الطلاب إذا رغبوا في التوسع عن الأمر يمكنهم الرجوع إلى كتاب (الباندا والناس) الموجود في مكتبة المدرسة. كان البيان كفيلاً لمعارض بيهي ونظرية التصميم لمحاولة استصدار حكم قضائي ليس ببطلان تصرف إدارة المدرسة، ولكن بأن نظرية التصميم الذكي ليست نظرية علمية. واشترك في ذلك كينيث ميلر (أستاذ البيولوجيا بجامعة براون وشاهد الادعاء الأول) مع المركز القومي لتدريس العلوم NCSE (الهيئة الاستشارية للادعاء، وأشد المعارضين لوجود أي معارضة علمية لنظرية التطور). وبالرغم من سخافة تدخل القضاء في تحديد ماهية النظريات العلمية، ولكن بالفعل أصدر القاضي حكمه في ٢٠ ديسمبر ٢٠٠٥م بأن نظرية التصميم الذكي ليست نظرية علمية. فكان ماذا؟!!

يقول بيهي في مقاله (هل التصميم الذكي علم أم لا؟!!) الذي نشره ردا على حكم القاضي: "بعد يوم من إصدار حكم القاضي، في ٢١ ديسمبر ٢٠٠٥م، وكما كان الأمر يسري سابقاً، تسير الخلية بتعقيد مدهش وآلية وظيفية، والتي كان سيتم إدراك حقيقة كونها مصممة في أي سياق آخر. في ٢١ ديسمبر ٢٠٠٥، وكما كان الأمر يسري سابقاً، لا يوجد أي

تفسير للآلية الجزئية في الحياة بخلاف التصميم إلا التكهنات الحاملة والقصص المختلقة".

مشكلة ماهية تحديد العلوم، أو الفصل بين العلم والعلم الكاذب، أو Demarcation problem، هي أحد أصعب المشاكل في مجال فلسفة العلم، فمجرد محاولة أحد القضاة -الذي ليس له علاقة لا بالممارسة العلمية ولا بفلسفة العلوم- التدخل في الأمر، فضلاً عن حسمه، هي محاولة محكوم عليها بالفشل قبل أن تبدأ.

المفهوم الذي أتى به يبهي هنا في هذا الكتاب؛ التعقيد غير القابل للاختزال، أريك الداروينيون أشد الإرباك، والكارثة أن شاهده الأكبر على سقوط النظرية بثبوت مفهومه، هو واضع النظرية نفسه. فمن الآلات الجزئية المعقدة في الخلية، وصولاً إلى العقل البشري، يفشل التطور التدريجي عن طريق الانتقاء العامل من خلال الطفرات تماماً في التفسير، ويتحتم علينا الاستعانة بمفهوم التصميم الذكي (الترتيب الغائي المتعمد للأجزاء عالية التعقيد للحصول على النظم البيولوجية) لكي نستطيع فهم نشأة وتنوع الحياة.

وإن كان من كلمة أخيرة قبل النهاية، فهي الشكر لكل أفراد فريق العمل الذي ساهم في خروج الطبعة الأولى من هذا الكتاب، وكذلك للقراء الذين راسلونا منذ صدور الطبعة الأولى معبرين عن فرحتهم بظهور الترجمة العربية. والاعتذار لمن لم يستطيعوا الحصول على الطبعة الأولى وانتظروا هذه الطبعة كثيراً، ولعل محاولتنا تجويد هذه الطبعة قدر الإمكان تكون شافعا لنا عندهم. ثم النصيحة لمن قرأ ولمن سيقراً، القليل من التأني قبل الحكم لن يضرك في شيء.

مركز براهين

مقدمة

ظاهرة جزئية

لقد بات من المألوف، بل من المتبدل تقريباً، أن نقول: إنَّ العلمَ قد قطعَ خطواتٍ كبيرةً في فهم الطبيعة، فقد بلغ فهمنا لقوانين الفيزياء درجة تسمح لمسابير الفضاء بالسفر دون أن تضلَّ طريقها لتصور عوالم بعيدة عن الأرض مليارات الأميال، أما الحواسيبُ والهواتفُ والأضواءُ الكهربائيةُ وغيرها من الأمثلة فتقف شاهدة على تسخير العلم والتكنولوجيا لقوى الطبيعة، وأما اللقاحات والمحاصيل وفيرة الإنتاج فقد صدت هجمات العدوين القديمين للبشرية - المرض والجوع - على الأقل في بعض نواحي العالم، ويعلن كل أسبوع تقريباً عن اكتشافات في البيولوجيا الجزيئية تعزز الأمل بالشفاء من الأمراض الوراثية وغيرها.

ومع كل ذلك فإنَّ فهمَ كيفية عمل الأشياء لا يكافئ معرفة من أين جاءت، إذ يمكننا على سبيل المثال توقع حركة الكواكب في النظام الشمسي بدقة بالغة، ولكن يبقى أصل النظام الشمسي موضع جدل (أي السؤال عن كيفية تشكل الشمس والكواكب وأقمارها منذ البداية)^(١)، قد يحل العلم الأحجية في نهاية الأمر، ولكن المسألة قائمة لأنَّ فهم أصل الشيء مختلف عن فهم عمله اليومي.

إن سيطرة العلم على الطبيعة قد دفعت الكثيرين لافتراض قدرة العلم أيضاً على تفسير أصل الطبيعة والحياة (بل حتى افتراض وجوب أن يكون قادراً على ذلك)، وما افترضه داروين من إمكانية تفسير الحياة بالانتقاء الطبيعي الذي يعمل على التنوع الحيوي، لقي قبولاً واسعاً في الأوساط المثقفة لأكثر من قرن، رغم أنَّ الآليات الأساسية للحياة بقيت غامضة من حينها وحتى بضعة عقود سابقة.

اكتشف العلم الحديث في النهاية أنَّ الحياةَ ظاهرةً جزئية: أي أنَّ كلَّ الأحياء مكونة من جزيئات هي بمثابة الصواميل والبراغي، والتروس والبكرات، للأنظمة الحيوية. وبالتأكيد نجد في المستويات الأعلى صوراً حيوية معقدة (مثل دوران الدم)، ولكن التفاصيل النهائية للحياة

تكمن في مجال الجزئيات الحيوية، لذلك وَضِع علم الكيمياء الحيوية (الذي يدرس هذه الجزئيات) على عاتقه مهمة استكشاف الأساس الجزيئي العميق للحياة.

تولى علم الكيمياء الحيوية منذ منتصف الخمسينيات عبء تفسير علم الحياة على المستوى الجزيئي، ولئن جهل دارون سبب الاختلافات بين الأنواع (رغم أنها من مطالب نظريته) فإنَّ علمَ الكيمياء الحيوية تعرّف على الأساس الجزيئي للتنوع، ومقابل عجز علم القرن التاسع عشر عن معرفة آلية الرؤية أو المناعة أو الحركة نجد أنَّ الكيمياء الحيوية الحديثة قد عرفت الجزئيات التي تمكّن من أداء هذه الوظائف وغيرها.

كان التوقع السائد في الماضي أن يكون أساس الحياة بسيطاً جداً، ولكنها توقعات مُنيت بالخيبة، إذ أثبتت الحركة والرؤية وغيرها من الوظائف أنها ليست أقلّ تعقيداً من كاميرات التلفاز والسيارات. لقد أحرز العلم تقدماً كبيراً في فهم كيفية عمل كيمياء الحياة، ولكنه وقف عاجزاً أمام تفسير أصل أناقة وتعقيد الأنظمة الحيوية على المستوى الجزيئي. ولم تحدث عملياً أيّة محاولة لتفسير نشوء أنظمة حيوية جزيئية معقدة معينة فضلاً عن وجود أيّ تقدم في هذا المجال.

أكد العديد من العلماء بقوة أنَّ التفسيرات متاحة بسهولة أو ستكون متاحة عاجلاً أو آجلاً، ولكن لم تحظ هذه التأكيدات بسند حقيقيّ في المنشورات العلمية الاحترافية، والأهم من ذلك وجود أسباب تفرض ذاتها "اعتماداً على بنية الأنظمة الحيوية نفسها" تدفعنا للاعتقاد بأنّ أي تفسير دارويني لآليات الحياة سيظل تفسيراً مراوفاً (elusive).

مصطلح التطور كلمة مرنة^(٢) قد يستخدمها شخص بمعنى بسيط كالتغير عبر الزمن، ويستخدمها آخر بمعنى تحدر كل أشكال الحياة من سلف مشترك دون تحديد آليات التغيير. وفي معناه الكامل -أي من وجهة نظر بيولوجية- يعتبر التطور عملية ظهرت فيها الحياة من مادة غير حية ثم تطورت كلياً بوسيلة طبيعية، وهذا هو المعنى الذي اعتمده داروين لكلمة

تطور وهو ما تعنيه كلمة تطور في الوسط العلمي وهو ما سنستخدمه خلال هذا الكتاب كله.

اعتذار عن التفاصيل

قدم سانتا كلوز (بابا نويل) قبل عدة سنوات هدية لولدي الأكبر: دراجة بلاستيكية ثلاثية العجلات بمناسبة عيد الميلاد، ولكن لسوء الحظ بسبب كثرة مشاغل بابا نويل لم يكن لديه الوقت ليخرجها من العلبة ويركبها قبل أن يرحل، وهكذا أصبح تركيبها مهمتي كأب، فأخرجتُ قطع الدراجة من علبتها وفتحت ورقة تعليمات التركيب وتنهدت إذ كانت ٦ صفحات من التعليمات المفصلة: أخرج البراغي المختلفة ذات الأنواع الثمانية وضمها جنبًا إلى جنب، أدخل برغيين من قياس ١,٥ إنش عبر المسكة في قصبه الدراجة، أدخل القصبه عبر الفتحة المربعة في جسم الدراجة وهكذا، ورغم أن قراءة التعليمات كانت ضد رغبتني ولكني أعرف أنه لا يمكن قراءتها بسرعة واستخلاص الزبدة كما أفعل بصحيفة، فالغاية كلها تكمن في التفاصيل، وهكذا شمرت عن ساعدي وفتحت زجاجة مرطبات وجلست للعمل، وبعد عدة ساعات جمعت أجزاء الدراجة، حيث قرأت خلال العملية كل تعليمة أكثر من مرة حتى تثبت في ذهني، ونفذت بالضبط المهام الواردة فيها.

يبدو أن بغضي للتعليمات ظاهرة منتشرة، فعلى الرغم من أن معظم الأسر تمتلك مسجل أشرطة فيديو إلا أن معظمهم لا يمكنهم برمجته. ورغم أن هذه العجائب التقنية قد أرفق معها تعليمات تشغيل كاملة، إلا أن فكرة الدراسة المملة لكل علم يحتاجه فهم كتيب التعليمات تجعل معظم الناس يدفعون هذا العمل لأقرب صبي في العاشرة من عمره.

لسوء الحظ أن معظم الكيمياء الحيوية يشبه دليل التعليمات، ووجه التشابه أن الأهمية تكمن في التفاصيل، فطالب الكيمياء الحيوية الذي يتصفح سريعًا كتابًا في تخصصه سيجلس في الامتحان بلا شك محققًا في سقف القاعة وجبينه يتصبب عرقًا، فتصفح كتاب في الكيمياء

الحيوية لا يؤهل الطالب لأسئلة من نوع "وضح بالتفصيل آلية حلمهة رابط الببتيد بأنزيم التريسين مؤلِّياً اهتماماً خاصاً بدور طاقة ارتباط الحالة الانتقالية"، ورغم وجود العديد من المبادئ العامة للكيمياء الحيوية التي تساعد الإنسان على فهم الصورة العامة لكيمياء الحياة، إلا أن المبادئ العامة لا تأخذك إلى تلك المرحلة. ولو حملت إجازة في الهندسة فإنّ هذا لا يغنيك عن متابعة كتاب تعليمات تجميع الدراجة، ولا يمكن لشهادتك أن تساعدك مباشرة في برجة جهاز تسجيل الفيديو.

لسوء الحظ يدرك الكثيرون الدقة الحرجة للكيمياء الحيوية؛ فالذين يعانون من فقر الدم المنجلي ويتحملون الألم في حياتهم التي قصّر المرض أمدها، يعلمون أهمية التفصيل الصغير الذي غير واحدًا من ١٤٦ حمضًا أمينيًا في واحد من عشرات آلاف البروتينات الموجودة في أجسامهم. ومثلهم آباء الأطفال الذين ماتوا بسبب (التاي-ساكس Tay-Sachs) أو التليف الكيسي أو المرضى الذين يعانون من السكري أو الناعور يعلمون تمامًا ما هي أهمية التفاصيل في الكيمياء الحيوية.

وهكذا فإنني كمؤلف أسعى ليقراً الناس كتابي، تواجهني معضلة، وهي أن الغالبية لا يفضلون قراءة التفاصيل، وبالمقابل فإنّ قصة تأثير علم الكيمياء الحيوية على نظرية التطور تعتمد كلياً على التفاصيل. وبالتالي فأنا عليّ أن أكتب نوعاً من الكتب لا يحب الناس قراءته، لأقنعهم بالأفكار التي دفعني للكتابة. ولكن لا بد من التعرف على التعقيد قبل تقدير قيمته، ولذلك فإنني أعتذر لقارئ الكريم وأطلب منه الصبر فهناك الكثير من التفاصيل في هذا الكتاب.

قسمت الكتاب إلى ثلاثة أقسام:

القسم الأول: يقدم نظرة عامة للموضوع ويبين لماذا يجب مناقشة التطور على المستوى الجزئي "مجال علم الكيمياء الحيوية"، ويخلو هذا القسم تقريباً من التفاصيل التقنية إلا ما

يتسلل منها خلال مناقشة العين.

القسم الثاني: يحوي "فصول الأمثلة" حيث توجد معظم التعقيدات الفنية.

القسم الثالث: مناقشة غير تقنية لمضامين اكتشافات الكيمياء الحيوية.

إذًا، يقتصر وجود المادة الصعبة على القسم الثاني غالبًا، ولكني أكثر في من استخدام القياس على الأمور المألوفة من مواضيع الحياة اليومية لأوصل الفكرة للقراء، وقللت في هذا القسم أيضًا من تفاصيل وصف الأنظمة الكيميائية الحيوية المعقدة، وأبعدت الفقرات التي تحوي الكم الأكبر من التفاصيل "المتخمة بالمصطلحات التقنية المؤذية للعين" خارج النص العادي بالعلامة □ لأشجع القارئ، فبعض القراء قد يتابع مباشرة وعمق الفصل الثاني، بينما يتمنى آخرون تصفحه بسرعة أو تخطي بعض الفقرات ثم يعودون لها عندما يتأهبون لتقبل المزيد. وبالنسبة لأولئك الذين يريدون فهمًا أعمق للكيمياء الحيوية فقد وضعت ملحقاتًا مختصرة بعض مواضيع الكيمياء الحيوية العامة، وأشجع الذين يريدون كل التفاصيل أن يستعبروا كتابًا تمهيدًا عن الكيمياء الحيوية من المكتبة.

مايكل بيبي

القسم الأول
فُتْحُ الصُّنْدُوقِ

الفصل الأول
بيولوجيا متناهية الصغر

حدود فكرة

يدور هذا الكتاب حول فكرة التطور الدارويني التي دُفعت لأقصى حدودها من خلال اكتشافات الكيمياء الحيوية، تلك الكيمياء التي تُعنى بدراسة الأسس المطلقة للحياة؛ الجزيئات التي تشكل الخلايا والنسج، وتخفز التفاعلات الكيميائية للهضم والاصطناع الضوئي والمناعة وغيرها.^(١) وما التقدم الهائل الذي أُنجزته الكيمياء الحيوية منذ منتصف الخمسينيات إلا رحلة هائلة تعبّر عن قوة العلم في فهم العالم، فأثمرت العديد من الفوائد العملية في الطب والزراعة؛ ولكن لهذه المعرفة ثمن يستحق سداده، فإزالة أساسات البناء تعرضه للسقوط، ومع اكتشاف أسس العلوم وجب علينا التحلّي عن الطرق القديمة لفهم العالم، أو مراجعتها بعمق، أو حصرها في جزءٍ محدودٍ من الطبيعة. فهل هذا ما سيحدث لنظرية التطور بالانتقاء الطبيعي؟

ككثير من الأفكار العظيمة، نجد فكرة داروين بسيطة على نحو أنيق. لاحظ داروين وجود التنوعات في الكائنات؛ فبعض الأفراد أكبر من بعض، وبعضها أسرع، وبعضها أبهت لوناً من بعض، وهكذا. ثم تفكر بأنّ مخزونات الطعام تعجز عن كفاية كلّ الكائنات التي تولد، والكائنات التي تملك بالصدفة تنوعاً يعطيها ميزةً في معركة الحياة تميل إلى البقاء والتكاثر متفوقة على الكائنات الأقلّ تكيفاً. وإذا كان هذا التنوع قابلاً للتوريث فإنّ ميزات هذا النوع قد تتغيّر عبر الزمن، وقد تحصل تغيرات هائلة عبر فتراتٍ طويلةٍ.

اعتقد معظم العلماء ولأكثر من قرنٍ بأنّ كلّ الحياة—أو على الأقلّ كل ميزات المثيرة للاهتمام—تتجثّ عملياً عن طريق عمل الانتقاء الطبيعي على التنوعات العشوائية، واستعملت فكرة داروين لشرح منقار العصفور وحافر الحصان، ولون العث، والحشرات الخادمة، وتوزع الحياة حول العالم وعبر العصور. وقد وسّع بعض العلماء استعمال النظرية لتفسر سلوك البشر: لماذا تنجح بعض المجموعات في اختبارات الذكاء أفضل من مجموعات أخرى، ولماذا يعزف المبشرون

المتدينون عن الزواج وإنجاب الأطفال. لم يبقَ شيء مطلقاً - لا عضو ولا فكرة، لا منطق ولا تفكير - إلا وكان موضع اجترار للأفكار التطورية.

وبعد قرابة قرن ونصف من طرح داروين لنظريته نجحت بيولوجية التطور بقوة في تحليل أنماط الحياة التي نراها حولنا، وبدا بالنسبة للكثيرين أنّ انتصارها تام، لكن لا يجري العمل الحقيقي للحياة على مستوى الحيوان أو العضو الكامل، فالأجزاء الأكثر أهمية من الكائنات الحية هي أشياء أصغر من أن ترى، إذ تكمن الحياة في التفاصيل، والجزيئات هي ما يقود تفاصيل الحياة. قد تشرح فكرة داروين حوافر الحصان، لكن هل تشرح أساس الحياة؟

تقدّم العلم في بداية الخمسينيات إلى النقطة التي أمكنَ عندها تحديد أشكال وخصائص عدة جزيئات هي من مكونات الكائنات الحية، كذلك أُميط اللثام ببطءٍ وبدقّةٍ عن بني مزيد من الجزيئات البيولوجية، واستنتجت كيفية عملها من التجارب المستفيضة، وأظهرت النتائج التراكمية بوضوحٍ دقيقٍ أنّ الحياة تعتمد على آلاتٍ مصنوعةٍ من جزيئات، إذ تنقل آلات جزيئية الحمولة من مكان إلى آخر في الخلية عبر (طرق سريعة) مشكّلةٍ من جزيئات أخرى؛ في حين تعمل جزيئات أخرى ككوابل وحبال وبكرات للحفاظ على شكل الخلية؛ وتشغل آلات مفاتيحاً خلويةً وتطفئها فتقتل الخلية أحياناً أو تدعم نموها واستمرارها؛ وهناك آلات تأخذ طاقتها من الشمس فتقبض طاقة الفوتونات وتخزنها في مواد كيميائية؛ وهناك آلات كهربائية تسمح للتيار بالجريان عبر الأعصاب؛ وهناك آلات تصنّع آلات جزيئية أخرى بالإضافة إلى تصنيع نفسها. تسبح الخلية باستعمال الآلات وتُنسخ نفسها بالآلات وتضمّ الطعام بالآلات. باختصار تتحكم آلات جزيئية عالية التعقيد بكلّ عملية خلوية، وبالتالي فإنّ تفاصيل الحياة معايرة بدقة، وآلة الحياة بالغة التعقيد.

هل يمكن لكلّ الحياة أن تتناسب مع نظرية التطور لداروين؟ يصعب على العامّة الفصل بين الحقيقة والتخمين لأنّ وسائل الإعلام الشعبية تحبّ نشر قصصٍ مثيرةٍ ولأنّ بعض

العلماء يستمتع بافتراض الآفاق البعيدة لاكتشافاتهم. أما لمعرفة الدليل الحقيقي فيجب أن تتعمق في المجالات والكتب المنشورة من قبل المجتمع العلمي نفسه، حيث تسجل المنشورات العلمية التجارب مستقاةً من المصدر الأول مباشرة، وهذه التقارير خالية عمومًا من التخيلات الجارحة التي تظهر في التقارير التالية بعدها. وكما ستلاحظ لاحقًا إن بحثت عن المنشورات العلمية عن التطور وركزت بحثك على السؤال عن كيفية تطور الآلات الجزيئية -والتي هي أسس الحياة- فستجد صمغًا مطبقًا ومربيا، فقد شلّ تعقيد أساس الحياة محاولة العلم لتفسيرها، ومازالت الآلات الجزيئية ترفع حاجزًا منيعًا أمام امتداد الداروينية العالمية، ولمعرفة السبب سأدرس في هذا الكتاب العديد من الآلات الجزيئية المدهشة، ثمّ أسأل إن كان بالإمكان تفسيرها يومًا بالانتقاء الطبيعي والطفرة العشوائية.

التطور موضوع مثير للجدل، فمن الضروري توجيه عدّة أسئلة أساسية في بداية الكتاب، حيث يعتقد الكثيرون بأنّ التشكيك في التطور الدارويني يرادف التأكيد على اعتناق مذهب الخلقية، ومن الشائع أنّ الخلقية تتضمن الاعتقاد بأنّ الأرض تشكلت منذ حوالي ١٠ آلاف سنة فقط، وهو تفسير حربيّ للتوراة ما زال يلقي رواجًا. وليعلم أنه ليس لدي سبب يجعلني أشك في أنّ الكون عمره بلايين السنين كما قال الفيزيائيون، بل إنّني أجد فكرة الانحدار المشترك -اشترك كل الكائنات في سلف مشترك- مقنعة نوعًا ما، وليس لدي سبب معيّن للشك فيها، وأحترم جدًّا عمل زملائي الذين درسوا تطوّر الكائنات وسلوكها ضمن إطار تطوريّ، وأعتقد بأنّ علماء البيولوجيا التطورية قد أسهموا إسهامًا كبيرًا في فهمنا للعالم، وأنّ الآلية الداروينية -الانتقاء الطبيعي القائم على التنوعات- قد تشرح العديد من الأشياء، لكنني لا أعتقد أنّها تفسّر الحياة الجزيئية، كما أنّني لا أرى مفاجأة في أنّ العلم الجديد الخاصّ بالأشياء الصغيرة جدًّا ربما سيغير الطريقة التي ننظر بها إلى تلك الأشياء.

تاريخ وجيز للبيولوجيا

عندما تمضي الأمور بسلاسة في حياتنا، يميل معظمنا إلى الاعتقاد بأن المجتمع الذي نعيش فيه طبيعيّ وبأن أفكارنا حول العالم صحيحة بديها. ومن الصعب تصوّر كيف عاش أناس آخرون في أماكن وأزمنة مختلفة بطريقة عيشهم المختلفة أو كيف اعتقدوا الأشياء التي اعتقدوها. لكن أثناء فترات الاضطراب عندما يتم التشكيك بالحقائق المحكّمة، قد يبدو بأنّه لا شيء في العالم منطقيّ وذو معنى. يمكن للتاريخ أن يذكّرنا أثناء تلك الأوقات بأنّ البحث عن معرفة موثوقة طريق طويل وعملية صعبة لم تصل بعد إلى نهاية. ولغاية رسم صورة كاملة تمكنا من رؤية التطور الدارويني عبرها سأخصّ بإيجاز شديد عبر الصفحات القليلة التالية تاريخ البيولوجيا. بطريقة ما، كان هذا التاريخ سلسلة من الصناديق السوداء كلّما فتحنا أحدها وجدنا صندوقاً آخر.

الصندوق الأسود مصطلح لجهاز يعمل شيئاً؛ لكن الأعمال الداخلية خفية؛ أحياناً لأنّ الأعمال لا يمكن رؤيتها، وأحياناً لأنّها فقط غير قابلة للإدراك. والحواشيب تعطي مثلاً جيداً عن الصندوق الأسود فمعظمنا يستعمل هذه الآلات البديعة دون أدنى فكرة عن كيفية عملها، فنقوم بمعالجة الكلمات أو رسم المخططات أو لعب الألعاب جاهلين ما يحدث تحت الصندوق الخارجي. حتى إذا أزلنا الغطاء فإنّ قلّة منا يمكنه أن يميّز شيئاً في أدغال القطع الداخلية. فلا يوجد رابط بسيط يمكن ملاحظته أو يمكن إدراكه بين أجزاء الحاسوب والأشياء التي ينجزها.

تصور أنّ حاسوباً ذا بطارية مديدة نقل عبر الزمن ألف سنة إلى قصر الملك آرثر. كيف سيتفاعل أناس ذلك العصر مع حاسوب يعمل؟ سينتاب معظمهم الفرع، لكن ربما يريد شخص ما أن يفهم هذا الشيء، فيلاحظ بأنّ أحرفاً تظهر على الشاشة عندما يلمس المفاتيح، وأنّ بعض توليفات الأحرف -الموافقة لأوامر حاسوبية- قد تجعل الشاشة تتغير.

وبعد وهلة، ستتضح العديد من الأوامر. ربما سيعتقد أجدادنا من العصور الوسطى بأنهم قد فكّوا سرّ الحاسوب، لكنّ في النهاية سيزيل شخص ما الغطاء، وينظر إلى التصميم الداخلي للحاسوب. وفجأة يبدو جلياً أنّ نظرية (كيف يعمل الحاسوب) كانت ساذجةً للغاية، وأن الصندوق الأسود الذي فكّت شفرته ببطءٍ سيتكشف عن صندوقٍ أسودٍ آخر.

في العصور القديمة كانت كلّ البيولوجية صندوقاً أسوداً لأنّه لم يفهم أحد حتى المستوى الأولي لكيفية عمل الكائنات الحية. فالقدماء الذين نظروا إلى النبات أو الحيوان وتساءلوا كيف تعمل الأشياء في ظل تقنية متخلفة، كانوا حقاً في الظلام.

بدأ الباحثون البيولوجيون الأوائل بالطريقة التي لديهم فقط وهي العين المجردة^(٢)، فوصفت عدد من الكتب منذ حوالي ٤٠٠ قبل الميلاد – المنسوبة لأبقراط أبو الطب – أعراض بعض الأمراض الشائعة، ونسبت المرض إلى الغذاء وإلى أسباب فيزيائية أخرى، بدلاً من القول بأنّها من أفعال الآلهة. ورغم أنّ هذه الكتابات كانت مجرد بداية إلا أن القدماء ظلوا ضائعين بخصوص تكوين الكائنات الحية. فاعتقدوا أنّ كلّ المادة مكونة من أربعة عناصر: التراب والهواء والنار والماء. واعتقدوا بأنّ الأجسام الحية مكونة من أربعة أخلاط – الدم والبلغم والمرّة الصفراء والمرّة السوداء – وتنشأ كل الأمراض عن زيادة في أحد الأخلاط.

لقد كان أعظم البيولوجيين اليونانيين هو أيضاً أعظم فلاسفتهم؛ أرسطو. ولد أرسطو وأبقراط ما زال حيّاً، واعتقد أرسطو – بخلاف كلّ من قبله تقريباً – بأنّ معرفة الطبيعة تتطلب رصدًا منهجيّاً، وميز عبر الفحص الدقيق كميةً مذهلةً من الترتيب ضمن العالم الحي، وتعد هذه خطوة أولية هامة. حيث جمع أرسطو الحيوانات ضمن فئتين عامتين – الحيوانات ذوات الدم، والحيوانات بلا دم – وهو ما يقارب التصنيف الحديث إلى فقاريات ولافقاريات. وضمن الفقاريات ميز أصناف الثدييات والطيور والأسماك، كما وضع البرمائيات والزواحف في مجموعة واحدة والأفاعي في صنف منفصل. ورغم أنّ مشاهداته لم تكن مؤيدة بالأدوات، ظل كثير من

تفكير أرسطو سليماً وترسخ مع المعرفة المكتسبة خلال آلاف السنين التالية لموته.

كان هناك عدة باحثين بيولوجيين فقط في الألفية التالية لأرسطو. كان (جالينوس) أحدهم، وهو طبيب في القرن الثاني بعد الميلاد في روما. لاحظ جالينوس أنّ المشاهدة الدقيقة لخارج الحيوانات والنباتات وداخلها (عبر التشريح)، رغم أنّه ضروري، إلاّ أنّه غير كافٍ لفهم البيولوجيا، فحاول مثلاً فهم وظيفة الأعضاء الحيوانية. ورغم أنّه عرف بأنّ القلب يضخ الدم إلاّ أنّه لم يستطع أن يجربنا أنّ الدم يدور ويعود إلى القلب بمجرد النظر فقط.

اعتقد جالينوس خطأً أنّ الدم يضخ لتروية الأنسجة، وأنّ الدم الجديد يصنع بشكل مستمرار ويعاد تزويد القلب به، واستمر تعليم فكرته قرابة ١٥٠٠ سنة.

استمر ذلك الاعتقاد الخطأ إلى أن قام رجل إنجليزي في القرن السابع عشر (ويليام هارفي) بطرح نظرية تنصّ على أنّ الدم يتدفق باستمرار في اتجاه واحد صانعاً دائرةً كاملةً، حيث أنه يعود إلى القلب من جديد. وحسب هارفي بأنّه إذا ضخ القلب فقط أونصتين من الدم بالضربة فإنّه سيضخ في ساعة واحدة ٥٤٠ باوند من الدم (بمعدل ٧٢ ضربة بالدقيقة) وهو ثلاثة أضعاف وزن الإنسان، وبما أنّ صنع هذه الكمية من الدم في وقت قصير جداً واضح الاستحالة، فإنّ الدم يجب أن يعاد استعماله. لقد كان تفكير هارفي المنطقي -بمساعدة الأرقام العربية التي كانت ما تزال جديدةً والتي جعلت الحساب سهلاً- في تأييد نشاط غير مشاهد، شيئاً غير مسبوق، إذ مهّد بهذا للفكر البيولوجي الحديث.

ازدادت سرعة البحث العلمي في العصور الوسطى، والمثال المذكور عن أرسطو تبعه عدد متزايد من الطبيعيين (Naturalists)، فوصفت العديد من النباتات من قبل علماء النبات الأوائل (برونفيلس وبوك وفوكس وفاليريوس كوردوس)، وتطور التصوير العلمي عندما رسم (رونديليت) الحياة الحيوانية بالتفصيل، ونشر الموسوعيون مثل (كونراد جيسنر) مجلدات ضخمة تلخص كلّ المعرفة البيولوجية، ووسّع (لينوس) عمل (أرسطو) في التصنيف توسعة

كبيرة، فاخترع مجموعات الصنف والرتبة والجنس والنوع، وأظهرت دراسات البيولوجيا المقارنة العديد من التشابهات بين فروع الحياة المختلفة، وبدأ نقاش فكرة السلف المشترك.

تقدمت البيولوجيا في القرنين السابع عشر والثامن عشر بدمج العلماء أمثلة أرسطو وهارفي للمشاهدة والاستدلال الذكي، لكن ما زال أشد الانتباه وأقوى الاستدلال قاصرين عن بلوغ تلك الأجزاء المهمة وغير المرئية، ورغم أنَّ العينَ البشرية يمكنها أن تميّز الأشياء الصغيرة بمقدار عشر الميلي متر، فإنَّ الكثيرَ من الأفعال في الحياة تحصل على مستوى ميكروي متناهٍ في الصغر، فوصلت البيولوجيا إلى مرحلة مستقرة؛ وكشف فتح صندوق أسود واحد -البنية الضخمة للكائنات- عن صندوق أسود آخر لمستويات أدق من الحياة. ومن أجل أن تتقدم البيولوجيا فإنَّها تحتاج سلسلة من الكشوفات التكنولوجية، وكان المجهر أولها.

صناديق سوداء ضمن صناديق سوداء

عرفت العدسات في العصور القديمة، وبحلول القرن الخامس عشر عرفَ استعمالها في النظارات. وفي القرن السابع عشر وضعت عدسة محدبة وعدسة مقعرة معًا في أنبوب لتشكيل أول مجهر أولي، واستعمل غاليليو أحد أشكاله، فأدهشه اكتشاف العيون المركبة للحشرات، ونظر (ستيلوتي Stelluti) إلى عيون النحل وسوسة الفاكهة ولسانها وعيونها وقرون استشعارها والأجزاء الأخرى، وأكد (مالبيكي) دوران الدم عبر الشعريات ووصف التطور المبكر لقلب جنين الدجاج، وفحص (نحميا غرو Nehemiah Grew) النباتات، وشرّح (سوامينيام Swammeniam) ذبابة مايو، وكان (ليوفينهوك Leeuwenhoek) أول من نظر إلى خلية جرثومية ووصف (روبرت هوك) الخلايا في الفلين والأوراق -رغم أنه لم ينتبه لأهميتها-.

بدأ اكتشاف عالمٍ صغيرٍ جدًّا غير متوقع، وقلب الأفكار الراسخة عن ماهية الكائنات الحية، وكتب مؤرخ العلم (تشارلز سينجر): "هكذا كان التعقيد اللانهائي للكائنات الحية

مزعجًا فلسفيًا، تماما كما كانت عظمة ترتيب العالم الفضائي الذي كشفه (جاليليو) للجيل السابق، لكن هذا التعقيد أخذ وقتًا أطول لكي تدخل مقتضياته إلى العقول البشرية". بمعنى آخر يتطلب اكتشاف بعض الصناديق الجديدة أن نراجع كل نظرياتنا السابقة، وفي مثل هذه الحالات قد يحدث نفور كبير.

طرح (ماتياس شلايدن وثيرودور شوان) النظرية الخلوية للحياة أخيرًا في القرن التاسع عشر. ركز شلايدن عمله على النسيج النباتي، وناقش الأهمية المركزية لبقعة داكنة -النواة- موجودة ضمن كل الخلايا. في حين ركز شوان على النسيج الحيواني، والذي كانت رؤية الخلايا فيه أصعب؛ لكنّه فطن إلى أنّ الحيوانات كانت مشابهة للنباتات في بنيتها الخلوية، فاستنتج بأنّ الخلايا أو مفرزاتها تؤلف الأجسام الكلية للحيوانات والنباتات، وأنّ الخلايا بطريقة ما هي وحدات فردية لها حياتها الخاصّة بها، وكتب: "توضح في النهاية أن الخلايا الفردية هي الإجابة للسؤال عن ماهية القوة الأساسية للأجسام المنظّمة"، وأضاف شلايدن: "صار السؤال الأساسي هو: ما هو أصل هذه المتعضية الصغيرة المدهشة (الخلية)؟"

عمل (شلايدن وشوان) منذ أوائل القرن التاسع عشر إلى وسطه -زمن رحلات داروين وكتابة (أصل الأنواع)-. كانت الخلية بالنسبة لداروين إزاء، كما كانت لكل عالمٍ آخر في ذلك الوقت، صندوقًا أسودًا؛ لكنّه استطاع استنباط الكثير من البيولوجيا فوق مستوى الخلية. فصحيح أن فكرة تطور الحياة ليست من ابتكار داروين، لكنّه ناقشها مناقشة أكثر منهجية، وكانت نظرية كيفية عمل التطور -من خلال الانتقاء الطبيعي العامل على التنوعات- من ابتكاره.

في هذه الأثناء كان العمل على اكتشاف الصندوق الأسود الخلوي يجري على قدم وساق، والبحث في الخلية دفع المجهري إلى أقصى مداه المحدود بطول موجة الضوء، إذ أنه ولسبب فيزيائي لا يمكن لمجهري أن يميّز نقطتين أقرب لبعضهما من نصف طول موجة الضوء الذي

يضيئهما، وبما أنّ طول موجة الضوء المرئي هو عشر طول خلية جرثومية تقريبا، فلم يكن بالإمكان رؤية العديد من التفاصيل الصغيرة والهامة لبنية الخلية بضوء مجهرى، ولم يكن بالإمكان فتح الصندوق الأسود للخلية دون تحسينات تقانية إضافية.

وفي أواخر القرن التاسع عشر ومع تقدم الفيزياء السريع، اكتشف (ج. ج. تومسون) الإلكترون، وتبعه اختراع المجهر الإلكتروني بعد عدة عقود. ولأنّ طول موجة الإلكترون أقصر من طول موجة الطول المرئي، يمكن تمييز أشياء أصغر بكثير إذا أضيئت بالإلكترونات. لكن للمجهر الإلكتروني عدد من الصعوبات العملية، أقلها ميل الحزمة الإلكترونية إلى حرق العينة، لكن تمّ إيجاد طرق لتخطي المشاكل، وشاع المجهر الإلكتروني بعد الحرب العالمية الثانية، فاكتشفت بنى دون خلوية (subcellular) جديدة: فرأينا الثقوب في النواة، والأغشية المضاعفة حول الميتوكوندريا -مصانع طاقة الخلية-. نفس الخلية التي بدت بسيطة جدًا تحت مجهر ضوئيّ ظهرت الآن مختلفة تمامًا، ونفس التساؤل الذي ظهر عند رؤية البنية المفصلة للحشرات ظهر أيضًا لعلماء القرن العشرين عندما شاهدوا تعقيدات الخلية.

سمح هذا المستوى من الاكتشاف للبيولوجيين بالوصول إلى أعظم صندوق أسود. السؤال عن كيفية عمل الحياة الذي لم يقدر داروين ولا معاصروه الإجابة عنه. فقد عرفوا بأنّ العيون للرؤية؛ لكن كيف تتمّ الرؤية بما بالضبط؟ كيف يتخثر الدم؟ وكيف يحارب الجسم المرض؟ والبنى المعقدة التي تم كشفها بالمجهر الإلكتروني كانت نفسها مكونة من مكونات أصغر، فما هي هذه المكونات؟ وكيف تبدو؟ وكيف تعمل؟ ستأخذنا الإجابة عن هذه الأسئلة إلى عالم البيولوجيا وإلى الكيمياء. كما ستعيدنا إلى القرن التاسع عشر.

كيمياء الحياة

من الواضح الجلي أن الأشياء الحيّة مختلفة عن الأشياء غير الحية، فهي تتصرّف بشكلٍ مختلف، كما تبدو بشكلٍ مختلف أيضا: فيمكن تمييز الجلد والشعر بسهولة عن الصخور

والرمال. معظم الأشخاص حتى القرن التاسع عشر اعتقدوا ببساطة بأن الحياة مصنوعة من نوع خاص من المادة، نوعٍ مختلف عن المادة التي تشكل المواد غير الحية. لكن في عام ١٨٢٨م سخن (فريدريك فوهلر) سيانات الأمونيوم ودهش بتشكيل اليوريا -النشادر- وهو منتج فضلات بيولوجية، فحطم اصطناع اليوريا من مادة غير حيّة التمييز السهل بين الحياة واللاحياء، وبدأ بعد ذلك عالم الكيمياء اللاعضوية (جاستس فون ليبغ) دراسة كيمياء الحياة أو الكيمياء الحيوية. أثبت ليبغ بأن حرارة جسم الحيوانات تنتج عن حرق الطعام، وليس لخاصة أساسية للحياة، وصاغ من تجاربه الناجحة فكرة الاستقلاب، حيث يبنى الجسم ويحطم المواد عبر عمليات كيميائية. بلور (إرنست هوبه سايلر) المادة الحمراء من الدم -الهيموغلوبين- وأثبت أنّها ترتبط بالأكسجين من أجل حمل الأخير عبر الجسم. وأثبت (إيميل فيشر) بأنّ الصنف الأكبر من المواد المدعوة "بروتينات" تتركب من عشرين نوعًا فقط من اللبّات -تدعى أحماضًا أمينية- موصولة ضمن سلاسل.

كيف تبدو البروتينات؟ رغم أنّ (إيميل فيشر) أثبت أنّها مصنوعة من الأحماض الأمينية إلا أنّ تفاصيل بنيتها كانت مجهولة، فقد جعلها حجمها في وضع أدنى من أن يصل إليها المجهر الإلكتروني، لكن أصبح واضحًا أنّ البروتينات كانت الآلات الأساسية للحياة، وهي التي تحفز كيمياء الخلية وتبنى بنيتها. فصار من المطلوب إيجاد تقنية جديدة لدراسة بنية البروتين.

استعمل في بداية القرن العشرين التصوير البلوري بالأشعة السينية (x-ray crystallography) لتحديد بني جزيئات صغيرة، وتضمن التصوير البلوري توجيه حزمة من الأشعة السينية إلى بلورة من المادة الكيميائية، تتبعثر الأشعة بعملية تدعى الحيود diffraction، فإذا وضع فلم تصويري خلف البلورة فيمكن عندها تحري الأشعة السينية المتبعثرة بفحص الفلم الذي تعرض لها، ويدل نمط التبعثر -بعد تطبيق عمليات رياضية صعبة- على مكان توضع كل ذرة في الجزيئة. استخدام تقنية التصوير البلوري بالأشعة

السينية مع البروتينات سيظهر لنا بنيتها، لكن هناك مشكلة كبيرة: كلما كانت الذرات أكثر في جزيئة ما ازدادت صعوبة العمليات الرياضية، وكانت مهمة بلورة المادة الكيميائية أصعب في البداية، ونظراً لأن البروتينات تحتوي على ذرات أكثر بعشرات المرات من الجزيئات المفحوصة عادةً بالتصوير البلوري، فقد زاد ذلك في صعوبة المشكلة عشرات المرات؛ لكن بعض الأشخاص يملك من المثابرة أيضاً عشرات أضعاف ما يملك غيرهم.

وفي عام ١٩٥٨م، وبعد عقود من العمل حدد (ج. سي. كيندرو) بنية بروتين الميوغلوبين باستعمال علم البلوريات بالأشعة السينية، أخيراً أظهرت لنا تقنية البنية التفصيلية لواحدة من المكونات الأساسية للحياة. وماذا رأوا؟ مرة أخرى تعقيداً أكبر. قبل تحديد بنية الميوغلوبين كان يعتقد بأن البروتينات ستكون ذات بنية بسيطة ومنظمة مثل بلورات الملح، لكن عند مشاهدة البنية الملفوفة والمعقدة الشبيهة بالكرة للميوغلوبين تدمر (ماكس بيروتر) "هل يمكن أن يكونَ البحث عن الحقيقة النهائية يكشف حقاً عن شيء فظيع جداً ويشبه الأحشاء؟" وترعرع الكيميائيون الحيويون منذ ذلك الحين على حبّ تعقيدات البنية البروتينية. وسهلت التحسينات في الحواسيب والمعدات الأخرى علم البلوريات أكثر مما كان الأمر عليه أيام كندرو، رغم أنه مازال يتطلب جهداً كبيراً.

بنتيجة عمل الأشعة السينية لكندرو على البروتينات وعمل (واطسون وكريك) -الأكثر شهرة- على الدنا DNA، عرف الكيميائيون الحيويون لأول مرة فعلياً شكلَ الجزيئات التي كانوا يعملون عليها، ويمكن أن تؤرخ بداية الكيمياء الحيوية الحديثة -والتي تقدمت بسرعة كبيرة منذ ذلك الحين- إلى ذلك الوقت. فاضت التقدّمات في الفيزياء والكيمياء أيضاً وأنشأت تآزرًا قويًا للبحث في علوم الحياة.

رغم أن علمَ البلوريات بالأشعة السينية يمكنه نظرياً تحديد بنية كل جزيئات الأشياء الحية، لكن المشاكل العملية حدثت من استعماله لعدد صغيرٍ نسبياً من البروتينات والأحماض

النووية، لكن ظهرت تقنيات جديدة تكمل علم البلوريات وتدعمه، وتدعى إحدى التقنيات الهامة لتحديد البنية الطنين المغناطيسي النووي (NMR). مع الـ (NMR) يمكن أن تدرس جزيئة حين تكون في محلول، ولا يجب بلورتها بصعوبة. ومثل علم البلوريات بالأشعة السينية يمكن أن تحدد NMR البنية الدقيقة للبروتينات والأحماض النووية. وكذلك مثل علم البلوريات، للـ (NMR) قيودها التي تجعلها مفيدة فقط مع جزء من البروتينات المعروفة؛ لكن علمي البلوريات بالأشعة السينية والـ (NMR) كانا قادرين على إيجاد بنى بروتينات كافية لإعطاء العلماء فهمًا مفصلاً عما تبدو عليه.

عندما استعمل (ليفينهوك Leeuwenhoek) مجهرًا لرؤية عتة صغيرة جدًا على برغوث صغير، أحم ذلك (جوناثان سويفت) لكتابة قصيدة قصيرة تتنبأ بقافلة لانهاية من الحشرات الأصغر والأصغر: "وهكذا لاحظ عالم الطبيعة برغوثا لديه... براغيث أصغر تقمات عليه... وهذه البراغيث أيضًا حشرات أصغر تأكلها، في سلسلة لا نهاية لها".

سويفت كان مخطئًا؛ السلسلة لا تستمر للأبد، فنحن في أواخر القرن العشرين مع طوفان الأبحاث عن الحياة نرى النهاية في مرمى النظر، والصندوق الأسود الأخير المتبقي كان الخلية، والذي فتح لكشف الجزيئات—أحجار أساس الطبيعة—ولا يمكننا الذهاب أسفل من ذلك. بل إنَّ العمل الذي تمَّ على الإنزيمات والبروتينات الأخرى والأحماض النووية وضح المبادئ عند العمل في المستوى الأساسي للحياة. بقيت العديد من التفاصيل ناقصة ومكانها بحاجة للملء، وبالتأكيد بقيت بعض المفاجئات؛ لكن بعكس العلماء الأوائل الذين نظروا إلى سمكة أو قلب أو خلية وتساءلوا ما هي وما الذي يجعلها تعمل، فإنَّ العلماء المعاصرين راضون عن أن تأثيرات البروتينات والجزيئات الأخرى تعدّ تفسيرات كافية لأسس الحياة. من أرسطو إلى الكيمياء الحيوية الحديثة، تمَّ تقشير شريحة بعد الأخرى حتى تمَّ فتح الخلية (صندوق داروين الأسود).

القفزات الصغيرة والقفزات الكبيرة

افترضْ خندقًا بعرض ٤ أقدام في حديقتك، ويستمر هذا الخندق إلى الأفق بالاتجاهين فاصلاً ملكيتك عن ملكية جارك، فإذا التقيت به يوماً ما في حديقتك وسألته كيف وصل هنا، فلن يكونَ لديك سبب لتشكُّ بجوابه "قفزت فوقَ الخندق"، أما إذا كان الخندق بعرض ٨ أقدام وأعطاك الجواب نفسه، فستكون مدهوشًا بقدرته الرياضية وتساءله أن يقفزَ مجددًا لتشاهده، وإذا رفض بدعوى التواء ركبته فسيكون لديك شكوكك، لكنك لن تكونَ واثقًا إن كان ما يقوله مجرد فبركة. لكن إذا كان الخندق "واديًا بعرض ١٠٠ قدم فلن تتردد ولو للحظة في تكذيب ادعائه بأنه قد قفز من فوق هذا الخندق.

لكن لنفترض أن جارك -شخص ذكي- أثبت صدق ادعاءاته، وقال إنه لم يعبر بقفزة واحدة، بل -كما يصف- يوجد عدد من التلال المنتشرة عبر الأحدود، لا تتعدى المسافة بين الواحدة والأخرى ١٠ أقدام، بمعنى أنه قفز من تلة بالكاد تبعد عن أختها وهكذا ليصل في النهاية إلى جانبك. وبنظرة عابرة تجاه هذا الخندق، تخبر جارك أنك لا ترى أية تلال! مجرد هوة واسعة تفصل الفناء الخاص بك عن بيته. يوافقك الرأي ولكنه يخبرك بأن الأمر استغرق منه سنوات وسنوات حتى يفعله. خلال تلك الفترة برزت التلال بينَ القَيْنَةِ والأخرى في الهوة واستطاع أن يمضي قدما بينما تظهر. وحال تركه للتلة، تنحرف وتتآكل بسرعة كبيرة وتهاوى تمامًا إلى أسفل الأحدود. ورغم أن الشكوك تحوم حول صحة الأمر برمته، لكن ليس من السهل أن تثبت خطأ ما يقول، لذا؛ تغير الموضوع وتحديثه عن البيسبول.

تلك القصة القصيرة تجربنا عدة دروس هامة، أولاً: أن كلمة "قفزة" قدمت تفسيرًا لكيفية عبور الحاجز، لكن قد يتراوح التفسير من كونه مقنعا بالكلية إلى كونه غير كاف، اعتمادا على التفاصيل -مثل مدى اتساع نطاق الحاجز-. ثانيًا: يمكن أن تلقى الرحلات الطويلة قبولاً أكبر إذا تم إيضاحها على أنها سلسلة من القفزات الأقصر بدلا من وثبة واحدة كبيرة.

أما ثالثاً: ففي غياب الأدلة على مثل هذه القفزات الصغيرة، يصعب جداً إثبات صحة أو خطأ شخص يؤكد أن الصخور الموطوءة كانت موجودة في الماضي واختفت بمرور الزمن.

رمزية القفزات عبر الخنادق الضيقة والأحاديث، يمكن تطبيقها بالطبع على (نظرية التطور)، فقد وظّف مصطلح (التطور) لتفسير التغيرات الدقيقة في الكائنات الحية فضلاً عن التغيرات الكبيرة، وغالباً ما تعطى لكليهما مسميات منفصلة، إذ يصف التطور الصغروي (Microevolution) عمومًا التغيرات التي يمكن أن تحدث خلال قفزة أو عدة قفزات قليلة، بينما يصف التطور الكبروي (Macroevolution) التغيرات التي تتطلب قفزات كبيرة.

اقترح داروين أن التغيرات الصغيرة نسبيًا يمكنها أن تحدث أيضًا في الطبيعة، وكان هذا عندما مفاهيمها كبيراً؛ وكان رصد مثل تلك التغيرات تأكيداً يثلج الصدر بشأن صحة حدسه. فقد لاحظ داروين أنواعًا متشابهة—لكن ليست متطابقة—من طيور الشرشير (finches) على جزر جالاباجوس، وقدم تفسيرًا نظريًا مفاده أن تلك الأنواع تنحدر من سلف مشترك. لاحظ مؤخرًا علماء من جامعة برنستون (Princeton) أن متوسط حجم منقار أسراب طير الشرشور يتغير على مدى سنوات قليلة.^(٣) وفي وقت سابق تبين أن مجموع أعداد العث (moths) داكنة اللون بالمقارنة مع العث فاتحة اللون قد تغيرت بفعل تغير البيئة من السخامية إلى النظيفة، وعلى نحو مماثل، فقد تعددت الطيور التي أدخلت لأمريكا الشمالية من قبل المستوطنين الأوروبيين إلى عدة مجموعات متميزة. وفي العقود الأخيرة، أصبح من الممكن إدراك أدلة للتطور الصغروي على المستوى الجزيئي. فمثلاً، تلك الفيروسات التي تسبب مرض الإيدز تقوم بتحويل معاطفها بغية الإفلات من الجهاز المناعي للإنسان. كذلك تمكنت البكتيريا المسببة للأمراض من العودة على هيئة سلالات طورت من قدرتها على مقاومة المضادات الحيوية. وفي هذا الصدد، يمكن ضرب العديد من الأمثلة الأخرى الكثيرة.

نبحث نظرية داروين على نطاقٍ ضيقٍ؛ ولكنّ مثلها الآن كمثل لاعِبٍ رياضيٍّ يُؤكِّد أنّ بمقدوره أن يفمَزَ فوقَ حفرةٍ بطول أربعة أقدام؛ أما على مستوى التطورات الكبيرة – الففزرات الكبيرة – فإنَّ هذه النظرية تثير الشك. اتبع كثير من الناس داروين في افتراض إمكانية تقسيم التغيرات الكبيرة إلى خطوات صغيرة معقولة عبر فترات طويلة من الزمن، مع ذلك فلا يبدو أنّ الدليل المقنع الذي يدعم هذا الموقف سيظهر قريباً. رغم ذلك وكما هو الحال بالنسبة لقصة الجار عن هضبات متلاشية، فإنَّه من الصعب حتى الآن تخمين فيما إذا كانت هذه الخطوات الصغيرة المحيرة المهمة يمكن أن توجد.

ومع قيام الكيمياء الحيوية الحديثة أصبح في مقدورنا النظر إلى أصغر مستويات الحياة، ويمكننا الآن عمل تقييمٍ مدروسٍ حول ما إذا كانت هذه الخطوات الصغيرة المزعومة والضرورية لإنشاء تغيراتٍ تطويريةٍ يمكن أن تكون صغيرةً حقاً يوماً ما. في هذا الكتاب سترى أنّ الأودية التي تفصل أشكال الحياة التي نراها لها نظائرها من الأودية التي تفصل الأنظمة البيولوجية على الصعيد المجهرى. وكما هو الحال بالنسبة للأنماط الكسرية في الرياضيات، حيث تتكرر الفكرة الرئيسية حتى عندما ننظر إلى مقاييسٍ أصغر فأصغر، فإنَّ الفجوات التي لا يمكن ردمها تحدث حتى على أصغر مستويات الحياة.

سلسلة من الأعين

دفعت الكيمياء الحيوية بنظرية التطور إلى أقصى حدودها وذلك بفتح الصندوق الأسود الأعظم، ألا وهو الخليّة، والتي سمحت لنا بإدراك طريقة عمل الحياة. إنَّه التعقيد المذهل للبنى العضوية تحت الخلوية، وهو الذي يجبرنا على طرح السؤال: كيف أمكّن لكلِّ هذا أن يتطور؟ ولكي نشعر بوطأة السؤال ونتذوق شيئاً مما ينطوي عليه، دعونا ننظر إلى إحدى الأمثلة عن الأنظمة البيوكيميائية. لا بدّ أن يكون التفسير لهذا المنشأ مواكباً للعلم المعاصر. دعونا نرى كيف تقدّم تفسير العلم لوظيفة واحدة، ألا وهي الرؤية، منذ القرن التاسع عشر

وبعدها فلنسأل كيف لذلك أن يؤثر على مهمتنا في تفسير أصلها.

في القرن التاسع عشر كان تركيب العين معروفاً بتفاصيله، حيث عرف العلماء أن بؤبؤ العين يعمل كمصراعٍ يسمح بدخول الضوء الكافي للرؤية أثناء وجود أشعة الشمس الباهرة أو ظلمة الليل الخالكة. تجمع عدسة العين هذا الضوء وتركزه على شبكية العين لتشكيل صورة واضحة، وتعطيها عضلات العين إمكانية التحرك بسرعة. قد تتسبب الألوان المختلفة من الضوء والأطوال الموجية المختلفة في صورة غير واضحة إلا أن عدسة العين تغير من كثافة سطحها لتصحح هذا الانحراف اللوني. أبهرت هذه الوسائل المعقدة كل شخص على دراية بها. كما علم علماء القرن التاسع عشر أنه إذا افتقر شخص ما إلى إحدى سمات العين العديدة المتكاملة فإن النتيجة ستكون خسارة فادحة في الرؤية أو العمى التام. وقد استنتجوا أن العين يمكنها العمل فقط إذا كانت سليمة إلى حد ما.

علم تشارلز داروين بشأن العين أيضاً وقد تعامل في كتابه (أصل الأنواع) مع العديد من الاعتراضات حول نظرية التطور بواسطة الانتقاء الطبيعي، وناقش مشكلة العين في فقرة في كتابه أصاب حين عنوانها "أعضاء متقنة جداً ومعقدة". في رأي داروين، التطور لا يستطيع بناء عضو معقد في خطوة واحدة أو بضع خطوات، فابتكارات جذرية كالعين قد تتطلب أجيالاً من المتعضيات (Organisms) لتجميع التغييرات النافعة ببطء في عملية تدريجية.

أدرك داروين أنه إذا أمكن لعضو واحد معقد كالعين أن يتشكل فجأة في جيل واحد فإن هذا سيكون بمثابة المعجزة. ولسوء حظه تبين أن التطور التدريجي للعين البشرية مستحيل بطريقة ما لوجود العديد من المظاهر المعقدة التي بدت غير معتمدة على بعضها البعض. ولكي تصدق نظرية التطور بطريقة ما كان على داروين أن يقنع العامة بأن الأعضاء المعقدة يمكن أن تتشكل خطوة بخطوة.

لقد نجح داروين ببراعة. وبذكاء منه لم يحاول أن يكشف طريقاً حقيقياً من الممكن أن

يكون التطور قد سلكه ليشكل عينا بل على العكس أشار إلى مختلف أنواع العين للحيوانات الحالية - المتراوحة من بسيطة إلى معقدة - واقترح بأن تطور عين الإنسان قد تكون استدعت أعضاء مشابهة كمراحل وسطية.

فيما يلي إعادة صياغة لحجة داروين:

على الرغم من أن البشر يمتلكون أعيناً معقدة تشبه الكاميرا إلا أن العديد من الحيوانات تتدبر أموراً بما هو أقل من ذلك، فبعض الكائنات الدقيقة تمتلك فقط مجموعة بسيطة من الخلايا الصبغية - ليس أكثر من مجرد بقعة حساسة للضوء - وبالكاد يمكننا القول أن هذا المكون البسيط يمكنه أن يمنح الرؤية، إلا أن بإمكانه فعلاً الإحساس بالضوء والعمق، وهي تلائم احتياجات الكائن الذي يمتلكها. أما الأعضاء الحساسة للضوء لبعض نجوم البحر فأعقد من ذلك بشكل أو بآخر، فأعينها واقعة في منطقة منخفضة، وبما أن انحناء هذا الانخفاض يحجب الضوء من بعض الجهات، فيستطيع الحيوان أن يستشعر الجهة التي يأتي منها الضوء، كما أن إحساس العين بالاتجاه يتحسن كلما ازدادت درجة الانحناء أكثر وأكثر، إلا أن زيادة درجة الانحناء تقلل من كمية الضوء الذي يدخل إلى العين، وبالتالي تنخفض حساسيتها، ولزيادة الحساسية يمكن وضع مادة هلامية في التجويف لتعمل كعدسة، وبعض الحيوانات الحالية لها أعين كهذه العدسات الأولية. ومع التحسين التدريجي يصبح بإمكان العدسة أن تعطي صورة أوضح لتلائم متطلبات بيئة الحيوان.

وباستخدام منطق كهذا استطاع داروين إقناع قرائه أن أيّ طريق تطوري يمكنه أن ينطلق من أبسط بقعة حساسة للضوء ليصل إلى عين إنسان معقدة تشبه الكاميرا؛ لكن السؤال حول كيف حدثت الرؤية بقي مبهماً آنذاك. أقنع داروين الكثير من قرائه أن العين الحالية تطورت تدريجياً من بنية أبسط؛ لكنه لم يحاول أن يشرح النقطة التي بدأ منها الإبصار، بل على العكس من ذلك صرف داروين الأنظار عن هذا السؤال حول المنشأ الأولي للعين بقوله: "إن معرفة آلية امتلاك عصب حساسيته للضوء ليست بأهم عندنا من معرفة أصل الحياة نفسها".⁽⁴⁾

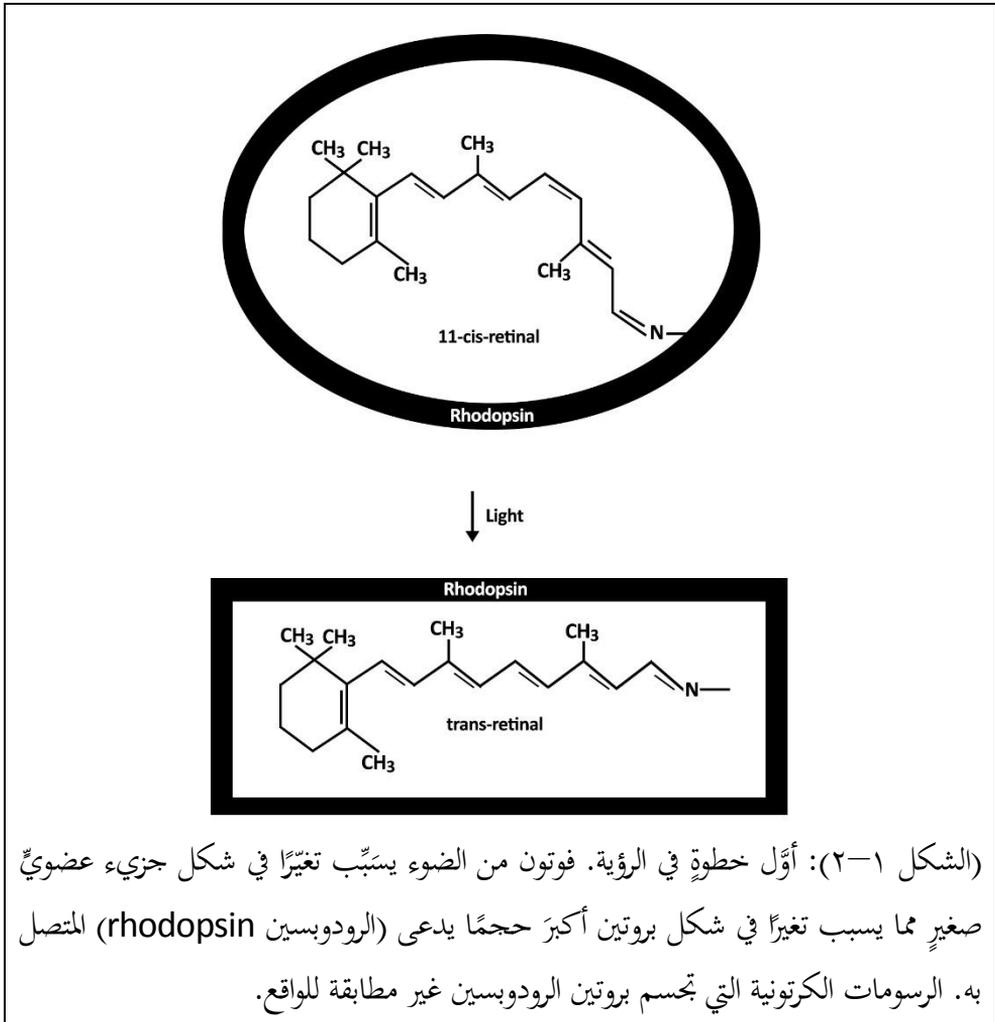
كان لديه سبب مقنع لتجنب هذا السؤال: لأنَّ إجابته تفوق علمَ القرن التاسع عشر. إذ ببساطة لم يكن بالإمكان معرفة آلية عمل العين حينها - أي ماذا يحدث عندما يصطدم فوتون ضوئي بشبكية العين-. بل لم يكن بالإمكان الإجابة عن أيِّ سؤالٍ حول الآليات الأساسية للحياة في ذلك الوقت. فأسئلة من نمط: كيف يمكن لعضلات الحيوان أن تسبب الحركة؟ وكيف يعمل التركيب الضوئي؟ وكيف تستخرج الطاقة من الطعام؟ وكيف يقاوم الجسم العدوى؟ لم يكن يعرفها أحد.

الكيمياء الحيوية للرؤية

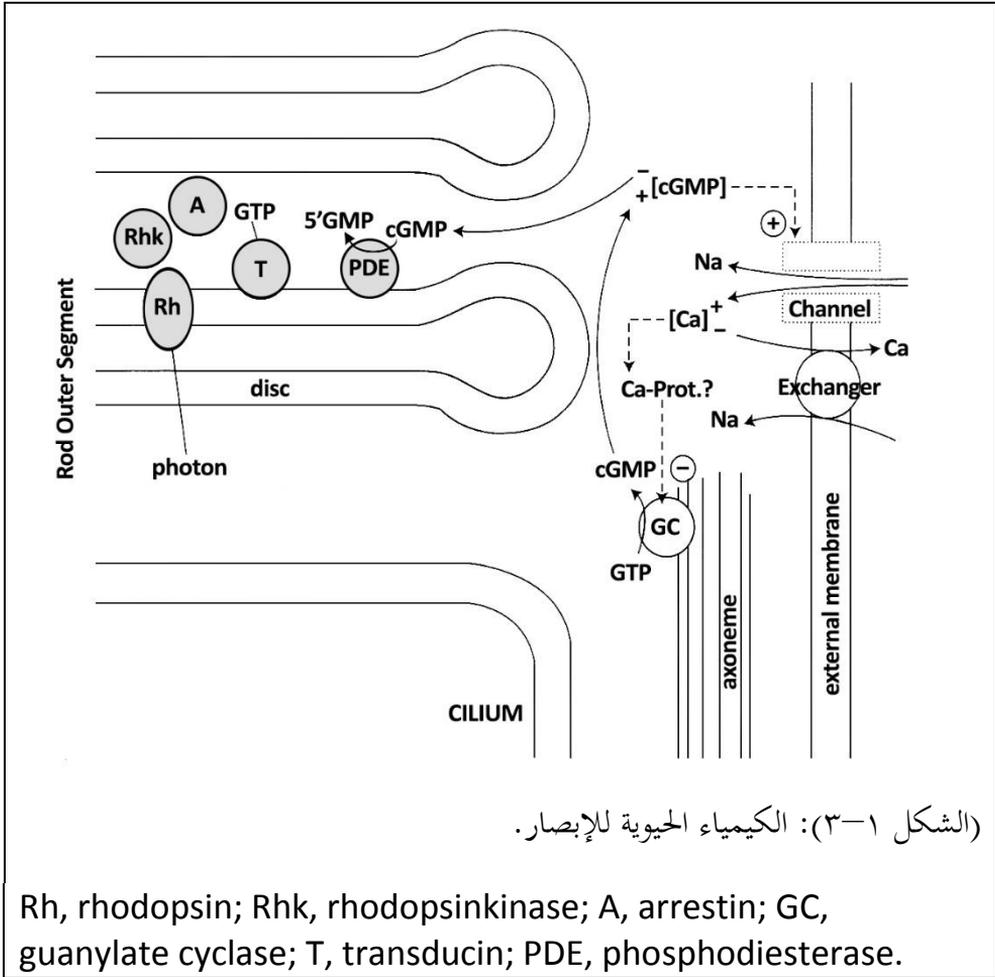
بالنسبة لداروين كانت حاسة البصر بمثابة صندوق أسود؛ لكن بعد العمل الشاق والمتراكم لجهود الكثير من علماء الكيمياء الحيوية فإننا الآن نقرب من حل المسألة.^(٥) ستزودك الفقرات الخمس التالية برسمٍ كيميائيٍّ حيويٍّ عن طريقة عمل العين. (ملاحظة: الفقرات التقنية مشار إليها ب □ عند بدايتها ونهايتها، فلا يصبك الإحباط بسبب الأسماء الغريبة للمكونات، إنما هي مجرد مسميات ليست أكثر إبهامًا من المكرن -الكاربراتير- أو أكثر غرابة من دليل استعمال السيارة لشخص يقرأه أول مرة). أما القراء المشغوفون بالمزيد من التفاصيل، فبإمكانهم إيجاد الكثير من المعلومات في كتب الكيمياء الحيوية الدراسية، وأمَّا غيرهم فربما يود التقدم بسرعة أو الانتقال سريعًا إلى الأشكال (١-٢ و ١-٣) أو إلى الخلاصة.

□ عندما يصطدم الضوء بالشبكية يتفاعل فوتون مع جزيء يدعى (الجزيء الشبكي بالوضع المقرون في الموضع ١١: ١١-cis-retinal) فيعاد ترتيبه خلال بضعة أجزاء بيكو من الثانية إلى (الوضع المفروق trans-retinal) -والبيكو ثانية هي تقريبًا الوقت الذي يستغرقه الضوء ليقطع مسافة شعرة واحدة من الإنسان-. إنَّ التغيير في شكل الجزيء الشبكي يجبر بروتين (الرودوبسين rhodopsin) على أن يغيّر شكله، والذي يكون على ارتباطٍ وثيقٍ بشبكية

العين، وهذا التحوّل البنيويّ يغيّر من سلوكه، وسنسميه الآن بعد هذا التحوّل (ميتارودوبسين ٢: metarhodopsin II)، ويكون ملتصقا ببروتين آخر يدعى (ترانسديوسين transducin)، وهذا الـ (transducin) على ارتباط وثيق بجزء آخر يدعى (GDP) [حتى قبل انقلاب الـ (rodopsin)]. عندما يتفاعل هذان البروتينان (ميتارودوبسين ٢ و ترانسديوسين) تزال جزيئة الـ (GDP) وترتبط جزيئةً أخرى تدعى (GTP) ببروتين (transducin). يذكر أن جزيء GTP ذو صلة بجزء GDP ولكنه مختلف عنه اختلافا مهما.



هذه التوليفة الآن (GTP–transducin–metarhodopsin II) ترتبط بروتين يدعى (فوسفو دي إستراز) يتوضع في الغشاء الداخلي للخلية، وبهذا الارتباط مع بروتين (metarhodopsin II) ومكملاته فإنه يكتسب القدرة الكيميائية لكسر جزيء يدعى (cGMP) وهو قريب كيميائي للجزئين GTP و GDP-. في البداية هناك العديد من جزيئات الـ (cGMP) في الخلية، لكن الـ (phosphodiesterase) ينقص من تركيزها، كما ينقص سحب السدادة من مستوى المياه في حوض الاستحمام.



هنالك بروتين غشائي آخر يرتبط بـ(cGMP) يدعى القناة الشاردية، والتي تعمل كبوابة منظمة لعدد شوارد الصوديوم في الخلية، وعادة ما تَسْمَح هذه القناة بتدفق شوارد الصوديوم إلى داخل الخلية، في مقابل أن يضحَّها بروتين آخر إلى خارج الخلية مرَّةً أخرى بالقوة. يبقى العمل الشائبي للقناة الأيونية والمضخة مستوى شوارد الصوديوم في الخلية ضمن نطاق ضيق. عندما تنقص كمية الـ(cGMP) بفعل الـ(phosphodiesterase) الذي يشطره، فإنَّ هذه القناة الشاردية تغلق، مما يسبِّب نقصاً في التركيز الخلوي لشوارد الصوديوم ذات الشحنة الموجبة، مسبباً اختلالاً في توازن الشحنات عبر غشاء الخلية، ما يؤدي في النهاية لنشوء تيار ينقل عبر العصب البصري إلى الدماغ، وعندما يفسَّر المخَّ الإشارة تكون النتيجة هي الإبصار.

لو كان هذا التفاعل المذكور في الأعلى فقط هو الوحيد الذي يعمل في الخلية لاستنفذت ذخيرتها من شوارد الصوديوم والـ(cGMP) والـ(cis-retinal-١١) بسرعة، إلا أن شيئاً ما يجب أن يوقف البروتين الذي يعمل، ويعيد الخلية إلى حالتها الطبيعية؛ وتقوم بهذه الوظيفة بضع آليات:

أولاً: في الظلام تسمح القناة الشاردية للكالسيوم—بالإضافة إلى شوارد الصوديوم— بالتدفق إلى داخل الخلية، ومن ثمَّ يضحَّ الكالسيوم خارجاً بواسطة بروتين آخر، مما يحافظ على تركيز ثابتٍ منه، لكن عندما تهبط مستويات الـ cGMP مغلقةً بذلك القناة الشاردية، سينخفِض تركيز شوارد الكالسيوم أيضاً، فيتباطأ أنزيم الـ(phosphodiesterase) الذي يحزِّب الـ(cGMP).

ثانياً: يعيد بروتين (Guanylate Cyclase) اصطناع الـ(cGMP) عندما تبدأ مستويات الكالسيوم بالانخفاض.

ثالثاً: في غضون ذلك، يكون بروتين الـ(metarhodopsin II) قد عدل كيميائياً بواسطة أنزيم يدعى (rhodopsin kinase)، ومن ثمَّ يرتبط الردوبسين المعدل ببروتين آخر يدعى

(Arrestin)، والذي يَمْنَعُ الرودوبسين من تنشيط المزيد من الـ (Transducin). إذاً فالخلية تحتوي على آلياتٍ تحدّ من الإشارة المضخمة التي بدأت بفوتون واحد.

في النهاية ينفصل (Trans-retinal) عن الرودوبسين، ويجب إعادة تحويله إلى (cis-retinal-11) وربطه مرّةً أخرى بالرودوبسين لكي يعودَ إلى نقطة البداية من أجل دورة بصرية أخرى. ولإنجاز ذلك أولاً يعدّل الـ Trans-retinal كيميائيًا بواسطة إنزيم يدعى (trans-retinol)، وهو عبارة عن شكّلٍ يحتوي على ذرتي هيدروجين إضافيتين، ثمّ يقوم إنزيم آخر بتحويل الجزيء إلى cis-retinol-11 ليقوم إنزيم ثالث في النهاية بنزع ذرتي الهيدروجين المضافتين سابقًا ليتشكّل cis-retinal-11 وتكتمل الدورة. □

إنّ الشرح السابق إنّما هو مجرد نظرةٍ عامّةٍ سطحيةٍ للكيمياء الحيوية للرؤية، لكنه رغم ذلك في نهاية المطاف هو مستوى التفسير الذي يجدر بعلم الأحياء أن يسعى نحوه. فالفهم الجيد لأية وظيفة يستدعي فهم كلّ خطوة ذات صلةٍ بها فهمًا جيدًا، وطالما أن الخطوات ذات الصلة بالعملية الحيوية تحدث في نهاية المطاف على الصعيد الجزيئي، فإن على التفسير المرضية للظواهر الحيوية، كالإبصار أو الهضم أو المناعة، أن تتضمن تفسيرها جزيئيًا.

أما الآن وقد فتح الصندوق الأسود للإبصار، فلم يعد كافيًا للتفسير التطوري لتلك القوّة (قوة الإبصار) أن تؤخذ البنى التشريحية فقطً لكامل العين في الاعتبار، كما فعل داروين في القرن التاسع عشر - وكما يستمر مرّوجو التطور بعملهم حتى اليوم - . إنّ كلّ الخطوات التشريحية والبنوية التي اعتقد داروين أنّها بسيطة تتضمن في الواقع عمليات بيوكيميائية معقدة تعقيدًا مذهلاً لا يمكن التحايل عليه بحيل لغوية. لقد تبين الآن أنّ قفزات داروين المجازية من تلةٍ لأخرى في العديد من الحالات ما هي إلا قفزات هائلة بين آلات مصممة بعناية - مسافات تتطلب استخدام حوامة هيلوكبتر لكي تقطع الرحلة الواحدة - .

ولذا فإنّ الكيمياء الحيوية تشكّل تحدّيًا على المستوى الصغير لداروين، فالتشريح ببساطة

شديدة ليس له علاقة بمسألة التطور وحدوثه على المستوى الجزيئي، وكذلك الأمر بالنسبة للسجل الأحفوري. لم يعد مهمًا بعد الآن وجود فجوات كبيرة في السجل الأحفوري، أو فيما إذا كان السجل متعاقبًا كتعاقب رؤساء الولايات المتحدة (واحدًا تلو الآخر). وإذا ما كان هناك فجوات فليس مهمًا إن كان بالإمكان تفسيرها تفسيرًا يقبل التصديق.^(٦) فليس لدى السجل الأحفوري ما يخبرنا به فيما إذا كان تفاعل (II-cis-retinal) مع الرودوبسين و transducin والفوسفودي إستراز يمكن أن يتطور خطوة بخطوة. فلا النماذج البيولوجية المهمة تفعل ذلك، ولا البيولوجيا السكانية، ولا حتى التفسيرات التقليدية المقدمة من نظرية التطور حول الأعضاء البدائية أو وفرة الأنواع. ونحن لا نقول بهذا لكي يفهم منّا أنّ الطفرات ما هي إلا أسطورة، أو أنّ الداروينية قد فشلت في شرح أيّ شيء — فهي تشرح التطور الصغير شرحًا جميلًا للغاية—، أو أنّ الظواهر واسعة النطاق كعلم وراثه الجماعات لا تهمنا. لا، فنحن معنيون بها.

لم يكن علماء البيولوجيا التطورية معنيون بالتفاصيل الجزيئية للحياة حتى فترة قريبة لأنّ المعلومات حولها قليلة جدًا، أما الآن فقد فتح الصندوق الأسود للخليّة، وعلينا شرح هذا العالم متناهي الصغر والذي نقيف اليوم أمامه.

الكالفنية CALVINISM

يبدو أنّ من خصائص العقل البشريّ حين ييصر صندوقًا أسود قيد العمل، فإنّه يتخيّل أنّ محتوياته ستكون بسيطة. يمكننا رؤية مثالٍ جميلٍ في أعمدّة القصص المصورة Calvin and Hobbes، إذ دائما ما يقفز (كالفن) مع دمية النمر خاصته (هوبس) في صندوق، ويسافران في الزمن، أو يحوّل شكله إلى أشكال حيوانية، أو يصنع نسخة ثانية من نفسه. إنّ فتى صغيرًا مثل (كالفن) يتخيّل بسهولة أنّ الصندوق يمكنه الطيران كطائرة — أو شيء ما — لأنّ (كالفن) لا يعلم كيف تعمل الطائرة.

في بعض الحالات يميل العلماء الراشدون إلى الأمامي مثلما مال الطفل الصغير (كالفن)، فعلى سبيل المثال، كان هناك اعتقاد سائد منذ قرونٍ مضتُ أن الحشراتِ وباقي الحيوانات الصغيرة تظهر مباشرةً من بقايا الطعام الفاسد، وقد كان من السهولةِ بمكان أن تؤمنَ بذلك الاعتقادِ السائدِ حوْلَ تلك الكائنات ذات التركيبِ البسيطِ جدًّا (ظنَّ علماء الطبيعة قبل اختراع المجهرِ أنَّ الحشراتِ لا تتمتلك أعضاءً داخليةً). ولكنْ مع تَقَدُّم علم البيولوجيا، أظهرت التجارب الدقيقة أنَّ الطعامَ الحميَّ لا تتكاثر فيه ضروب الحياة، فانحسرت نظرية التولّد العفويِّ وانزوت في نطاق ضيق حيث لا يستطيع العلم كشف ما يجري فيه حقيقة. وكان المقصود بهذا في القرن التاسع عشر هو الخلية، إذ عندما نضع (الحليب، البيرة، البول) في عبواتٍ مغلقةٍ لعدَّةِ أيام، فحتى المغلقة بإحكام منها ستتعكر دائماً لنمؤ شيءٍ فيها.

أظهرت مجاهر القرنين التاسع عشر والثامن عشر أن النّمؤ كان صغيراً جداً، ويبدو أنه خلايا حية، ولذا بدأ من المعقول أن تظهر كائنات بسيطة عفويّاً في السوائل.

لقد كان مفتاح إقناع الناس هو توصيف الخلية على أنها "بسيطة"، حتى إنَّ أحد المدافعين الأساسيين عن نظرية التوالد العفوي في منتصف القرن التاسع عشر (إرنست هيكل Ernst Haeckel) والمعجب المتحمس لداروين والمتلهّف لنشر نظرية التطور، قد آمن من النظرة المحدودة للخلايا التي يوفرها المجهر بأنَّ الخلية كانت "تكتلّ مزيجٍ قطعٍ صغيرةٍ بسيطةٍ من جزيئات الكربون الألبوميني".^(٧) ولا تختلف كثيراً عن حلوى هلامية بحجم مجهري. لقد بدأ لهيكل أن هذا الشكل البسيط من الحياة لا يَجْمَل مكوناتٍ في داخله، ويمكن إنتاجه ببساطةٍ من مواد غير حية. بالطبع نحن الآن نعرف أكثر من ذلك.

هذه محاكاة صغيرة: إنَّ تصوّر داروين عن الإبصار بالنسبة لفهْمنا هو كفهم (هيكل) لأصل الحياة. وفي كلا الحالتين حاول كلا العلمان الشهيران من القرن التاسع عشر أن يشرّحا البيولوجيا الدقيقة التي كانت مخفيةً عنهما، وكلاهما قام بذلك بافتراض أن ما داخل الصندوق

لابدَّ وأنَّ يكونَ بسيطاً، وقد أثبتَ الزَّمنَ خطأهما.

في النصف الأوَّل من القرن التاسع عشر لم تكن العديد من فروع البيولوجيا تتواصل فيما بينها^(٨)، وكنتيجة لذلك فقد طوَّرت كلٌّ من علم الجنينات، وعلم التصنيف، وعلم المستحاثات، وعلم التشريح المقارن، وعلم الجنين، وعلومٍ أخرى وجهةً نظره حولَ معنى التطور. فكان لنظرية التطور حتمًا أن تأخذ معانٍ مختلفةً طبقًا للمبادئ المختلفة، ومن ثمَّ بدأت النظرية المتماسكة للتطور الدارويني بالضياع، لكن في منتصف القرن العشرين، نظَّم رواد مجالاتٍ عدَّة سلسلة لقاءاتٍ من مختلف الاختصاصات لكي يوحِّدوا وجهات نظرهم في نظريَّة متماسكةٍ مؤسَّسة على مبادئ التطور الدارويني، وقد أطلقوا على النتيجة التي خرجوا بها (التركيبية التطورية)، وسميت النظرية بـ(الداروينية الجديدة). وتعدَّ الداروينية الجديدة أساسَ الفكرة التطورية الحديثة.

فزع واحد من العلوم لم يدع لهذا اللقاء، ولسببٍ وجيه، وهو أنَّه لم يكن قد وجدَ بعد، فقد جاءت بداية الكيمياء الحيوية الحديثة بعد الانطلاق الرسمي للداروينية الجديدة، وكما كان لزاماً إعادة تفسير البيولوجيا بعد اكتشاف تعقيد الحياة المجهرية، فكذلك يجب إعادة النَّظَر في الداروينية الجديدة في ضوء التَّقدُّم الحاصل في الكيمياء الحيوية. إنَّ جميع قواعد العمل العلمي التي كانت جزءًا من طرح التركيب التطوري غير جزيئية، لكنَّ لكي تكون النظرية الداروينية حولَ التطور صحيحةً، فعليها أن تستند إلى البنية الجزيئية للحياة، وهدف هذا الكتاب هو أن يظَّهر عجزها عن ذلك.

ملحق
الكيمياء الحيوية

كيمياء الحياة

سيقدم هذا الملحق للقارئ المهتم نظرةً شاملةً حول المبادئ البيوكيميائية التي أمنت أسس وجود الحياة. من غير الضروري أن تقرأ الملحق لكي تتابع النقاشات المطروحة في الكتاب؛ ولكنه سيضع هذه النقاشات ضمن أطرٍ أكبر. سوف نناقش هنا الخلايا وبنية العديد من صنوف الأجزاء البيولوجية الكبيرة - البروتينات والأحماض النووية - وباختصار الشحوم والكربوهيدرات. سوف نركز بعدها على كيفية التعبير عن المعلومات الجينية وكيفية نقلها. هذا مجال ضيق بالفعل، لذا فإن على الوصف أن يكون مختصراً، وتلخ على من تأسره ميكانيكيات الحياة أن يستعير كتاباً تمهيدياً في الكيمياء الحيوية من المكتبة، فالعالم الصغير المذهل بانتظاره.

الخلايا والأغشية

يتكوّن الجسمُ البشريُّ من مئاتِ التريلونات من الخلايا كما تتكوّن حيوانات أخرى ونباتات من تكديس عدد مهولٍ من الخلايا أيضاً. كلّما صغر حجم المتعضية ينخفض معه عددُ الخلايا. على سبيل المثال تحتوي الدودة الصغيرة (*C. elegans*) على بضعة آلاف فقط من الخلايا.

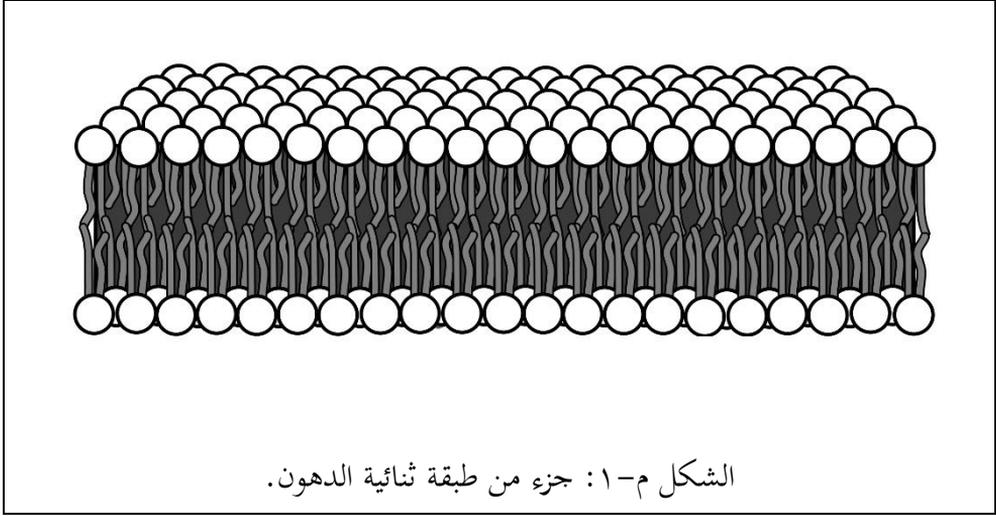
وبينما نزلُ في سلم حجم الكائنات سنصل في النهاية إلى شُعبِ الكائنات وحيد الخلية من الخمائر والجراثيم. ولا يوجد أيُّ شكل للحياة تحت هذا المستوى. إنَّ فحصَ بنيتها الخاصة يفسرُ لنا لماذا تشكل الخلية الوحدة الأساسية للحياة. إنَّ المعلمَ المعرّفَ للخلية هو الغشاء وهو عبارة عن بنية كيميائية تفصل بين عالم الخلية الخارجي وعالمها الداخلي. وبوجود الحماية المقدمة من الغشاء يمكن للخلية أن تحافظ على ظروف داخلها تختلف عن الظروف المحيطة بها. على سبيل المثال يمكن للخلايا أن تركز المغذيات في داخلها بحيث تكون متوفرة لإنتاج الطاقة وأن تمنع خروج وانجراف المركبات البنوية المصنعة حديثاً إلى الخارج، وفي غياب

الغشاء فإنَّ طيِّقًا واسعًا من التفاعلات الاستقلابية الضرورية للحفاظ على الحياة سيتبدد. يتكون الغشاء الحلويُّ من جزئيات مذذبة الألفة (مزدوجة الألفة) نحو الماء، مشابهة بذلك الصابون والمطهرات المستخدمة في تنظيف المنزل. إنَّ الكلمة (مزدوج الألفة amphiphilic) مشتقة من الجذر الإغريقي الذي يعني (يجبهما كلاهما). إنَّ الجزئية ذات الألفة المزدوجة تحب بيئتين مختلفتين: الماء والزيت، وإنَّ شكل الجزئيات مشابه إلى حدِّ كبير حلوى المصاص مع عودين خارجين منها من ذات الجهة لتشبه كرة الحلوى. غالبًا ما تتألف العيدان من سلاسل هيدروكربونية -مصنوعة من ذرات من الكربون والهيدروجين- وكأيِّ هيدروكربون آخر كالبنزين فإنَّها لا تمتزج مع الماء، وهذا هو القسم المحب للزيت من الجزئية. ومثل هذا مناطق من الجزئية تسمى بالكارهة للماء من الجذر اليوناني (hydrophobic) (الخوف من الماء). إنَّ الجزئية المشكَّلة للكورة في حلوى المصاص هذه مكونة عموماً من مجموعة كيميائية -مثل ملح الطعام أو السكر- تستمتع بوجودها في الماء؛ ومن أجزاء تُدعى بالمناطق المحبة للماء (hydrophilic) من الجذر المحب للماء، ويرتبط كلا القسمين من الجزئية المكونة للغشاء مع بعضهما كتوأمن سيامين، وعليهما أن يبقيا معاً بالرغم من اختلاف الصفات، ولكنَّ إنَّ كان هناك قسم واحد من الجزئية يريد البقاء في الماء والأخر يريد الخروج منه، فكيف لهذه الجزئية أن تستقر؟

تتخلص الجزئيات ثنائية الألفة من ورطتها هذه من خلال الارتباط مع بعضها البعض بجزئيات أخرى ثنائية الألفة، وعندما يرتبط عدد كبير من الجزئيات ثنائية الألفة فإنَّ الذيل الكاره للماء يحتشد لطرد الماء بينما تقابل الرؤوس المحبة للماء صفحة الماء، وهي طريقة فعالة للذبول لكي تحصن نفسها ضدَّ الماء بينما تسمح للمجموعات المحبة للماء بالوصول إلى الماء ولتشكل على هذا صفيحة ثنائية الطبقة (الشكل م-١)، ويدعى بالشحم ثنائي الطبقة. وإذا ما بقيت الصفيحة ثنائية الطبقة مسطحة فإنَّ الهيدروكربونات في أطرافها ستبقى

معرضة للماء ولذا تنغلق الصفيحة على بعضها مثل فقاعة الصابون.

بما أنَّ منتصف الغشاء الثنائي زيتي، فإنَّ العديد من الجزيئات التي تفضل البيئة المائية بشكل كبير - كالألاح والسكريات - لن تقدر على المرور عبر الغشاء. وبهذا نحصل على بنية معزولة داخليًا، ويمكنها أن تكون مختلفة عن البيئة الخارجية - وهي الخطوة الأولى في صناعة الخلية -.



في العالم الحيّ نوعان أساسيان ومختلفان من الخلايا: الخلايا حقيقيات النوى والتي تحتوي غشاءً ثانيًا مختلفًا عن الغشاء الخلوي، يعزل نواة الخلية، وهناك الخلايا بدائيات النوى والتي لا تملك هذا الغشاء الثاني.^(١) تكون الخلايا بدائيات النوى وحيدة الخلية دائمًا وهي أبسطُ دومًا من الحقيقيات من عدة مناح.

هناك القليل فقط من المعالم، بالإضافة إلى الغشاء الخلوي، التي تبرز في صور بدائيات النوى^(٢)، أوَّلها النوية، إنَّ كتلة الدنا الخلوي - الحمض الريبي النووي منزوع الأوكسجين - تتموضع بارتياح في منتصف السيتوبلازما - المحتوى السائل للخلية -. وبالإضافة إلى الغشاء تملك البدائيات بنيةً ثانيةً تحيط بالخلية تُدعى الجدار الخلوي - بخلاف الغشاء الخلوي -

وإنَّ هذا الجدار الخلويّ مصنوع من عديدات السكاكر المتصلبة والتي تسمَّحُ بمرور المغذيات والجزيئات الصغيرة بحرية، وهو يَمْنَحُ الخلية متانة ميكانيكية ويمنع تَمزُّقها عند الضغط، وهناك العديد من البنى التي تبرز من الغشاء في العديد من الخلايا البدائية، وللشعر المشابه للأهداب وظيفة غير معلومة تمامًا، ويستخدم السوط البكتيري للحركة، حيث يدور السوط بسرعة كالمروحة محرِّكا الخلية إلى الأمام.

النوع الثاني من الخلايا وهو حقيقيات النوى والتي تشكل كلَّ المتعضيات عديدات الخلايا بالإضافة لبعض المتعضيات وحيدات الخلية كالخمائر. وتحتوي هذه الخلايا مناطق تحت خلوية منفصلة عن السيتوبلازما بأغشيتها الخاصة تدعى بالعضيات لأنَّها تذكر بالأعضاء الموجودة في جسم الحيوان. تسمح تلك العضيات -للخلايا حقيقية النوى- بتنفيذ مهامٍ معيَّنة في أجزاء متخصصة، وإنَّ أول عضية متخصصة هي النواة والتي تحتوي على الدنا الخلوي، والغشاء المحيط بها هو بنية متخصصة جدًّا ومثقبة بثقوب كبيرة ذات ثمانية جوانب تدعى الثقوب النووية، تلك الثقوب ليست خاملةً، فهي تعد الحارس الأمين النشط. لا يمكن للجزيئات الكبيرة -مثل البروتينات- عبور الثقوب النووية دون كلمة السر الصحيحة، وهذا ما يبقي الجزيئات السيتوبلازمية خارج النواة، والجزيئات النووية داخلها.

هناك أيضًا عدد من العضيات الأخرى التي بقيت في السيتوبلازما، حيث تشكل الميتوكوندريا "مصنع الطاقة" الخلوية، وهي متخصصة في التفاعلات الكيميائية التي تحول المغذيات المحملة بالسرعات الحرارية إلى أشكال من الطاقة الكيماوية التي يمكن استخدامها مباشرة؛ وتمتلك الميتوكوندريا غشاءين. تولد الجزيئات المغذية المستقلبة تفاوتًا بين حمضية المساحة المغلقة بواسطة الغشاء الداخلي والمساحة المغلقة بواسطة الغشاء الخارجي، وإنَّ التدفق المضبوط للحمض بين الغشاءين يولد الطاقة، تماما كما يتدفق الماء من السد ليولد الكهرباء.

والليزومات (الجسيمات الحالة) عضيات صغيرة محددة بأغشية مفردة، وهي ببساطة أكياس

ملأى بالإزيمات التي تفكك الجزيئات التي انتهت فائدتها. كما تُوضع الجزيئات المعدَّة للتحلل في الليوزومات عبر نواقل مغلّفة (انظر الفصل الخامس). إنّ الحموضة في الليوزومات أكبر من مائة إلى ألف مرة من حموضة السيتوبلازما، والحموضة هي من تفتح طيات البروتين المُلتفّ بإحكام فيسهل مهاجمة البنية المنفردة من قبل الإنزيمات المحللة.

أما الشبكة البطائيَّة الداخليَّة (ER)، فهي جهاز غشائيّ مسطح كثير التلافيف ينقسم إلى مكونين مختلفين: الشبكة الخشنة والشبكة الناعمة؛ وتكتسب الشبكة الخشنة شكلها هذا لارتباط عدد هائل من الريبوزومات بها. أما الريبوزومات فهي الآلات الخلوية التي تصنع البروتينات. في حين تركب الشبكة الناعمة الجزيئات الشحمية الدسمة، أما جهاز جولجي، المسمى على اسم العالم (Camillo Golgi) الذي كان أوَّل من لاحظ وجوده، فهو تكس من الأغشية المسطحة، ويحصل فيه التعديل على البروتينات التي تصنع على الشبكة الخشنة.

يمكن للخلية أن تأخذ أشكالاً تختلف جذرياً عن الشكل المكور -النفطة مثلاً-، ويمكنها أن تغير من شكلها استجابة لتغيرات البيئة المحيطة. يدعم الهيكل الخلوي شكل الخلية، وهو الإطار البنيوي للخلية كما يوحي اسمه، ويتكون من ثلاث مواد بنيوية أساسية وهي: النيبات الدقيقة، الخيطات -الخيوط الدقيقة-، والخيوط المتوسطة. تؤدي النيبات الدقيقة العديد من الوظائف، ومن بينها تشكيل مغزل الانقسام الفتيلي mitotic spindle -وهو الجهاز الذي يدفع نسختي الصبغيات إلى الخليتين البنيتين خلال الانقسام الخلوي-، كما تشكل أيضاً العمود الفقري لأهداب الخلايا حقيقية النوى والتي تشبه المجذاف الذي يحيك الخلية ضمن بيئتها، كما يمكن للنيبات الدقيقة أن تعمل كسكة حديدية تخدم المحركات الجزيئية التي تنقل حمولات إلى أماكن بعيدة في الخلية. أما الخيطات فهي أدق من النيبات، ومصنوعة من بروتين الأكتين الذي يعد مكوناً أساسياً في العضلات؛ تملك الخيطات ببعضها وتمتد وتقلص وتنزل على بعضها، وهذا ما يعطي الخلية شكلها حيث ينحني

الغشاء الخلوي في أماكن محددة. أما الخيوط المتوسطة والتي تكون أغلظ من الخيوط ولكن أرفع من النيبات الدقيقة فتقوم بدور داعم للبنية فقط - كالدعامات الفولاذية - وهي الأكثر تنوعاً بين بنى الهيكل الخلوي.

جميع الخلايا حقيقية النوى تقريباً تملك العضيات التي أسلفنا ذكرها، لكن الخلايا النباتية تملك عضيات أخرى إضافية هي صانعة اليخضور، وهو مكان القيام بعملية التركيب الضوئي. تشبه صانعة اليخضور الميتوكوندريا من نواح عديدة، فكلاهما مسؤول عن توليد الطاقة في الخلية، لكن صانعات اليخضور تحتوي على صبغ الكلوروفيل الذي يعمل كهوائي مستقبل للضوء ثم يمرر طاقته إلى العديد من الآلات الجزيئية المعقدة التي تنتج اختلافاً في الحمضية عبر غشاء الصانعة. كما تملك الخلايا النباتية مساحة كبيرة واضحة مغلقة بغشاء تدعى الفجوة، وهي مخزن المخلفات والمغذيات والأصبغة، ولها دور بنيوي أيضاً، وتشغل الفجوة حوالي 90% من حجم خلايا بعض النباتات، ويكون ضغطها الحلولي مرتفع، وهذا الضغط يدفع باتجاه الجدران الخلوية بقوة مما يزيد قساوتها.

البنية البروتينية

رغم أنّ الخلية والعضيات التي ذكرت في الأعلى دقيقة الحجم بمعاييرنا المعتادة؛ ولكنها تعد بنى كبيرة إذا ما قورنت بالوحدات البنائية المكونة لها، وتلك الوحدات البنائية المكونة للخلية والبنى تحت الخلوية مكونة في النهاية من ذرات مرتبطة ببعضها مشكّلةً الجزيئات. تتشكل الرابطة الكيميائية أو الرابطة التساهمية عندما تقدم كل واحدة من الذرتين المتشاركتين إلكترونات تشاركه مع الأخرى، ومن خلال مشاركة الإلكترونات السلبية فإنّ الذرات تبدي شحنتها الإيجابية في النواة بشكل أوضح، أما الجزيئة فتتكون من ذرتين (أو أكثر) مرتبطتين ببعضهما تساهمياً.

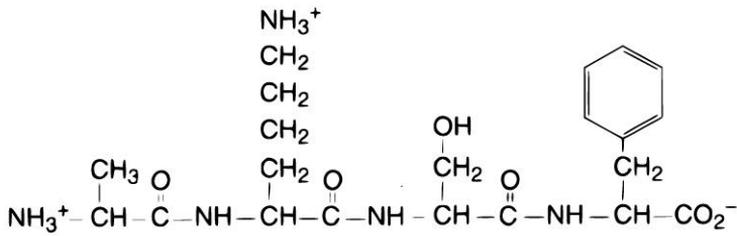
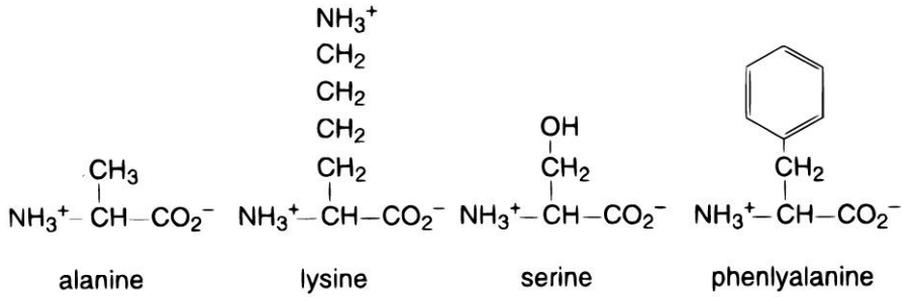
إنّهُ لأمر مفاجئ أنّ نجد أنّ عدد أنواع الذرات الداخلة في الجزيئات الحيوية قليل جداً،

فتقريبًا جميع الجزئيات الحيوية مكونة من ٦ أنواع من الذرات فقط، وهي (الكربون، O، والنيتروجين، والهيدروجين، H، والفوسفور، P، والكبريت، S)، كما أنّ هناك عناصر أخرى تظهر كأيونات في الجسم مثل (الكالسيوم، المغنيزيوم، البوتاسيوم، والحديد). إنّ الأيونات هي أجزاء مشحونة تنتشر في الماء بحريّة عالية، يمكن لذرات الـ (C, H, O, N, P, S) أن ترتبط ببعضها، حيث يمكن للكربون أن يرتبط مع ٤ ذرات مختلفة في وقت واحد، وكذلك الفوسفور الحيوي يرتبط مع الأوكسجين غالبًا، ويمكن للنيتروجين أن يكون ثلاث روابط—أو أربعة في حالات خاصة—، ويمكن للأوكسجين والكبريت أن يشكلوا روابط ثنائية. أما الهيدروجين فيمكنه تشكيل رابطة واحدة فقط مع ذرة أخرى. ويعد الكربون فريدًا بين العناصر من حيث ثبات روابطه مع ذرات الكربون الأخرى وتشكيله للسلاسل، يستخدم الكربون في منتصف السلسلة رابطتين للارتباط بكربون عن يمينه وآخر عن شماله، وهذا يترك له رابطتين أخريين يمكنه أن يرتبط من خلالهما مع ذرات أخرى، النيتروجين مثلًا، أو مع سلسلة أخرى من ذرات الكربون أيضًا. إنّ عدد الجزئيات التي يمكن بناؤها من الكربون ومن العناصر البيولوجية الأخرى كبير بالفعل، لكن الأنظمة البيولوجية على أي حال لا تستخدم عددًا كبيرًا من الجزئيات المختلفة تمامًا عن بعضها البعض، بل إنّ عددًا محدودًا من الجزئيات يكون الجزئيات الحيوية الكُبرى مثل البروتينات والأحماض النووية والسكريات المتعددة، وجميعها تتكون بدءًا من جزئيات محدودة مرتبطة مع بعضها البعض بشكلٍ مختلفٍ، وهذا ما يمكن تشبيهه باصطناع عددٍ هائلٍ من الكلمات المختلفة والجمل بدءًا من ٢٦ حرفًا أبجديًا.

إنّ الوحدات المكونة للبروتينات تدعى الأحماض الأمينية، وهي عبارة عن ٢٠ حمضًا أمينيًا مختلفًا تؤلف نظريًا جميع البروتينات وفق بنية مشتركة. من الجهة اليسار للجزئية توجد مجموعة كيميائية تضم النيتروجين وتدعى "أمين"، ومن الجهة اليمنى ترتبط بـ "أمين" آخر عبر ذرة كربون مركزية، وهي مجموعة الكربوكسيل. كما يرتبط بذرة الكربون المركزية بالإضافة إلى

الهيدروجين مجموعة أخرى تدعى السلسلة الجانبية (الشكل م-٢). تختلف السلسلة الجانبية من حمض أميني إلى آخر، وهي التي تمنح الحمض الأميني خواصه المميزة.

يمكن أن نقسم الأحماض الأمينية إلى العديد من الأقسام. القسم الأول يحتوي على السلاسل الهيدروكربونية حيث تكون السلسلة الجانبية مكونة من الكربون و الهيدروجين فقط، وتكون هذه السلسلة زيتية - كالبنتزين - وتفضل عدم الاحتكاك مع الماء. والمجموعة التالية هي الأحماض الأمينية المشحونة كهربائياً، ٣ منها مشحونة إيجابياً و ٢ مشحونان سلبياً، وتفضل السلسلة المشحونة أن تكون في وسط مائي. مجموعة أخرى هي الأحماض الأمينية القطبية وبالرغم من أن الجزيئات القطبية غير مشحونة بشحنة كاملة، لكن ذراتها تمتلك شحنة جزئية، وهذا ما يظهر عندما تكون الذرة أقوى سحباً للإلكترونات من شريكها في الرابطة، مما يجعل الإلكترون أقرب منها، وإن الذرة التي تمتلك حصة إلكترونية أكبر ستحمل شحنة وصفات سالبة إلى حد ما، بينما ستمتلك الذرة التي ينقصها إلكترونات شحنة إيجابية جزئية، يمكن للتداخل بين السلاسل الجانبية ذات الشحنة السلبية والشحنة الإيجابية، وبين السلاسل الجانبية القطبية المشحونة جزئياً بالإيجاب والمشحونة جزئياً بالسلب، أن يلعب دوراً مهماً في بنية البروتينات.



(الشكل م-٢): (الأعلى) أربعة أحماض أمينية، والأحماض الأمينية تختلف فقط في سلسلتها الجانبية. (الأسفل) الحموض الأمينية الأربعة وقد ارتبطت كيميائياً. البروتينات هي سلاسل طويلة من الأحماض الأمينية المرتبطة مع بعضها كيميائياً.

خلال تركيب البروتينات يرتبط كل حمضين أمينين بتفاعل المجموعة الأمينية من الأول مع المجموعة الكربوكسيلية من الثاني، فيتشكل نوع جديد من الروابط يدعى الروابط الببتيدية (الشكل م-٢). ستحتفظ الجزيئة الجديدة بمجموعة أمينية حرة من طرف ومجموعة كربوكسيلية من الطرف المقابل، ولذا يمكن أن تنضم أحماض أمينية أخرى لتشكيل روابط ببتيدية أخرى، ويمكن لهذه العملية أن تتكرر لانهائياً حتى يحتوي الجزيء الكبير على المئات أو الآلاف من (ثمالات) الأحماض الأمينية المتشكلة -الشمالة هي الجزء المنضم للسلسلة بعد التفاعل الكيميائي الذي يربط بين حمضين أمينين- وتعرف مثل هذه الجزيئات الكبيرة باسم عديدات الببتيد أو البروتينات.

يحتوي البروتين عادة ما بين الـ (٥٠ إلى ٣٠٠٠) ثمالة حمض أميني، ويدعى التسلسل الأولي للأحماض الأمينية في البروتين بالبنية الأولية، وسيظل البروتين المكتمل يملك نهايات حرة من المجموعة الأمينية التي يرمز لها عادة بالنهاية الطرفية (N) ومجموعة كربوكسيلية حرة تدعى النهاية الطرفية (C). يكتب التسلسل الأميني عادة بدءاً من الطرف (N) إلى الطرف (C). تسمى الذرات المرتبطة خطياً بدءاً من النهاية الطرفية N إلى النهاية الطرفية C بالعمود الفقري للبروتين، وهذا يشمل كل الذرات باستثناء الموجودة على السلاسل الجانبية.

لن يتحول البروتين حديث الاصطناع كسلسلة حرة، ففي عملية مثيرة للاهتمام، تنطوي جميع البروتينات تقريباً لتشكيل بُنى دقيقة ومميزة يمكن أن تكون مختلفة تماماً بين البروتينات المختلفة، ويحدث هذا أوتوماتيكياً نتيجة التأثيرات المختلفة كالتجاذب بين السلاسل المشحونة سلبيًا والمشحونة إيجابياً، أو تجمع السلاسل الجانبية الكارهة للماء مع بعضها لكي تخرج الماء من بينها، أو استبعاد السلاسل الجانبية الكبيرة من المساحات الضيقة وهكذا. وفي نهاية عملية التطوي، والتي تأخذ في معظم الحالات من ثانية إلى دقيقة، يمكن أن ينطوي بروتينان مختلفان إلى بنيتين دقيقتين ومختلفتين عن بعضهما البعض كاختلاف مفك الشد عن المنشار، وكما الأدوات المنزلية، إذا ما طرأ خلل في الشكل فمن المستحيل أن تؤدي البروتينات وظائفها.

عندما تنطوي البروتينات فإنها لا تتكوم على بعضها فجأة، كما يفعل الخيط في يدك عندما تكومه، بل هناك قواعد تنظم هذا الفعل. قبل أن ينطوي البروتين فإن ذرات عموده الفقري القطبية—أي ذرات الأوكسجين والنترجين والهيدروجين الموجودة في كل رابطة ببتيدية—ستشكل ما يُدعى بالرابطة الهيدروجينية مع جزيئات الماء، وتقام الرابطة الهيدروجينية عندما يكون أكسجين الببتيد المشحون جزئياً أو النترجين مرتبط ارتباطاً وثيقاً مع ذرات الهيدروجين في الماء والمشحونة جزئياً بشحنة موجبة. على أي حال، عندما ينطوي البروتين فإن عليه أن

يخرج كل الماء تقريبا، لتستطيع السلاسل الجانبية الزيتية أن تجتمع بفعالية، وهذا أمر مُشكل، إذ إن على الذرات القطبية أن تجد شركاء لها يملكون شحنات مقابلة داخل البروتين المنطوي، وإلا فإنَّ البروتين لن ينطوي.

هناك طريقتان يمكن للبروتين أن يحلَّ بهما المشكلة. الأولى: يمكن لأجزاء من البروتين أن تشكل بنية تدعى الحلزون ألفا (α)، وفي هذه الحالة فإنَّ العمود الفقري للبروتين سيلتف على نفسه، وإنَّ هندسة الالتفاف هذه تجعل من ذرات الأوكسجين الموجودة في المجموعات الببتيدية تقابل مباشرة ذرات الهيدروجين من المجموعات الببتيدية في أربع ثمالاتٍ أمينية على امتداد طول السلسلة مشكلة معها روابط هيدروجينية، وتكون الرابطة الهيدروجينية التالية مع الثمالات الأربع التي خلفها وهكذا. عادة ما يكون حلزون (α) مكونا من (٥ إلى ٢٥) حمضاً أمينياً، ويسمح الحلزون α للبروتين بالتطوي والانضغاط، مع تشكيل روابط هيدروجينية بين ذراته الببتيدية. وهناك بنية أخرى تسمح بتنظيم الروابط الهيدروجينية بين الذرات الببتيدية تدعى الصفيحة أو الطية بيتا (β)، وفي هذه البنية يكون العمود الفقري للبروتين كالصفيحة المثنية، لأعلى وأسفل، وتلتصق الذرات الببتيدية على سطح المنحدر وفق اتجاه السلسلة، ومن ثم تلتف السلسلة راجعة. ترتبط ذرات الأوكسجين في المجموعة الببتيدية (من الشريط الراجع) بروابط هيدروجينية مع المجموعات الببتيدية من الشريط السابق. وكما في الحلزون (α) تسمح الصفائح (β) لذرات الهيكل العمودي القطبية بأن تشكل الروابط الهيدروجينية.

تعرف الحلزونات (α) والصفائح (β) بأنها البنية الثانوية للبروتينات، ويملك البروتين النمطي ما بين ٤٠-٥٠ بالمئة من الثمالات الأمينية الداخلة في تلك الحلزونات أو الصفائح. أمَّا الأحماض المتبقية فسوف تدخل بدورها بين أقسام البنية الثانوية أو تشكل بني غير منتظمة.

تتموضع الحلزونات والصفائح متكدة مقابل بعضها لتشكل في معظم الحالات بروتينا

كرويا، وتدعى الطريقة التي تتكدس بها عناصر البنية الثانوية بالبنية الثالثة للبروتين، وتأتي القوة الدافعة لتكدس الحلزونات والصفائح من الطبيعة الزيتية للعديد من الأحماض الأمينية. كما تنفصل الزيوت عن الماء بطبقة مميزة، تتكاتف السلاسل الكارهة للماء مشكلةً منطقةً خاليةً من الماء في داخل البروتين. على أي حال، لتذكر بأن بعض السلاسل الجانبية البروتينية إما أن تكون مستقطبةً أو مشحونةً وتفضل البقاء في الماء، ومن هنا تتوفر المعلومات التي تقود بروتينا معينا لينطوي لبنية محددة، حيث أن نمط السلاسل الجانبية المستقطبة أو الزيتية في تسلسل الأحماض الأمينية يملئ الحاجة لأن تنطوي السلاسل البروتينية بحيث تكون معظم المجموعات الكارهة للماء في الداخل البروتيني ومعظم المجموعات المحبة للماء نحو الخارج.

هناك عامل آخر يساهم أيضًا في تطوي البروتين، ففي جميع البروتينات المنطوية تكون بعض السلاسل القطبية مطمورةً لا مفر؛ فإذا ما كانت الذرات القطبية غير قادرة على إيجاد شريك تشكل معه روابط هيدروجينية فعندئذ يضطرب اتزان البروتين، لكن في معظم البروتينات، تشكل حوالي 90% من السلاسل القطبية المطمورة روابط هيدروجينية مع ذرات الهيكل البروتيني أو مع سلاسل جانبية أخرى في نمط يسمى (ارتبط قدر استطاعتك). ويحتاج تطوي البروتين نمطًا لتكثيف مجموعاته المحبة للماء والكارهة للماء لتشكيل شبكة من الروابط الهيدروجينية، ويمكن تمثيله بلعبة تركيبية ثلاثية الأبعاد.

تلتصق العديد من الببتيدات ببعضها بنوعية عالية لتشكيل بنية تعمل كوحدة متكاملة، وفي مثل هذه الحالات، من العادة أن نشير إلى السلاسل الببتيدية المرتبطة كبروتين مفرد مكون من العديد من تحت الوحدات. على سبيل المثال فإن الهيموغلوبين (البروتين الحامل للأوكسجين) مكون من أربع عديدات ببتيد، ويكون البروتين المتجمع من تلك السلاسل قادرًا على أداء وظيفته في نقل الأوكسجين، بينما لا تستطيع تلك السلاسل منفردة أن تقوم

بذلك وعليه فإنَّ الوظيفة البيولوجية للبروتين هي نتيجة المعقد رباعي الببتيد. إنَّ الترتيب المحدد للسلاسل عديدة الببتيد في البروتين يدعى البنية الرباعية.

بنية الأحماض النووية

الأحماض النووية مثل البروتينات، هي بوليميرات (مكتورات) مكونة من بضعة وحدات بنائية تدعى النكليوتيدات، ويتكون النكليوتيد بحد ذاته من العديد من الأجزاء، أولها هو السكاكر (الكربوهيدرات) وهو إمَّا أن يكون سكرُ الريبوز كما في رنا أو سكر الريبوز منقوص الأوكسجين كما في الدنا. يرتبط الريبوز فإِنَّهُ مرتبط بواحد من أربع أسس، الأذنين (A) أو السيتوزين (C) أو الجوانين (G) أو اليوراسيل (U). ربما تستخدم الأسس (A,C,G) سكر الريبوز منزوع الأوكسجين، في حين يحل التايمين (T) محل شبيهه اليوراسيل (U)، وبدوره يرتبط السكر (عبر زمرة الهيدروكسيل (OH) على الكربون ٥) بجزء ثالث مختلف هو مجموعة الفوسفات. إنَّ ثنائية السكر-فوسفات في النكليوتيد تتكرر في البوليمير الكبير معطية إياه العمود الفقري مشابهاً بذلك العمود الفقري البروتيني المكون من الأحماض الأمينية، أما الأساس المتبقي فهو يحاكي السلاسل الأمينية الجانبية. وكما كانت السلاسل الجانبية هي من تحدد الحمض الأميني، فإن النكليوتيدات تختلف عن بعضها فقط بالأساس المرتبطة به.

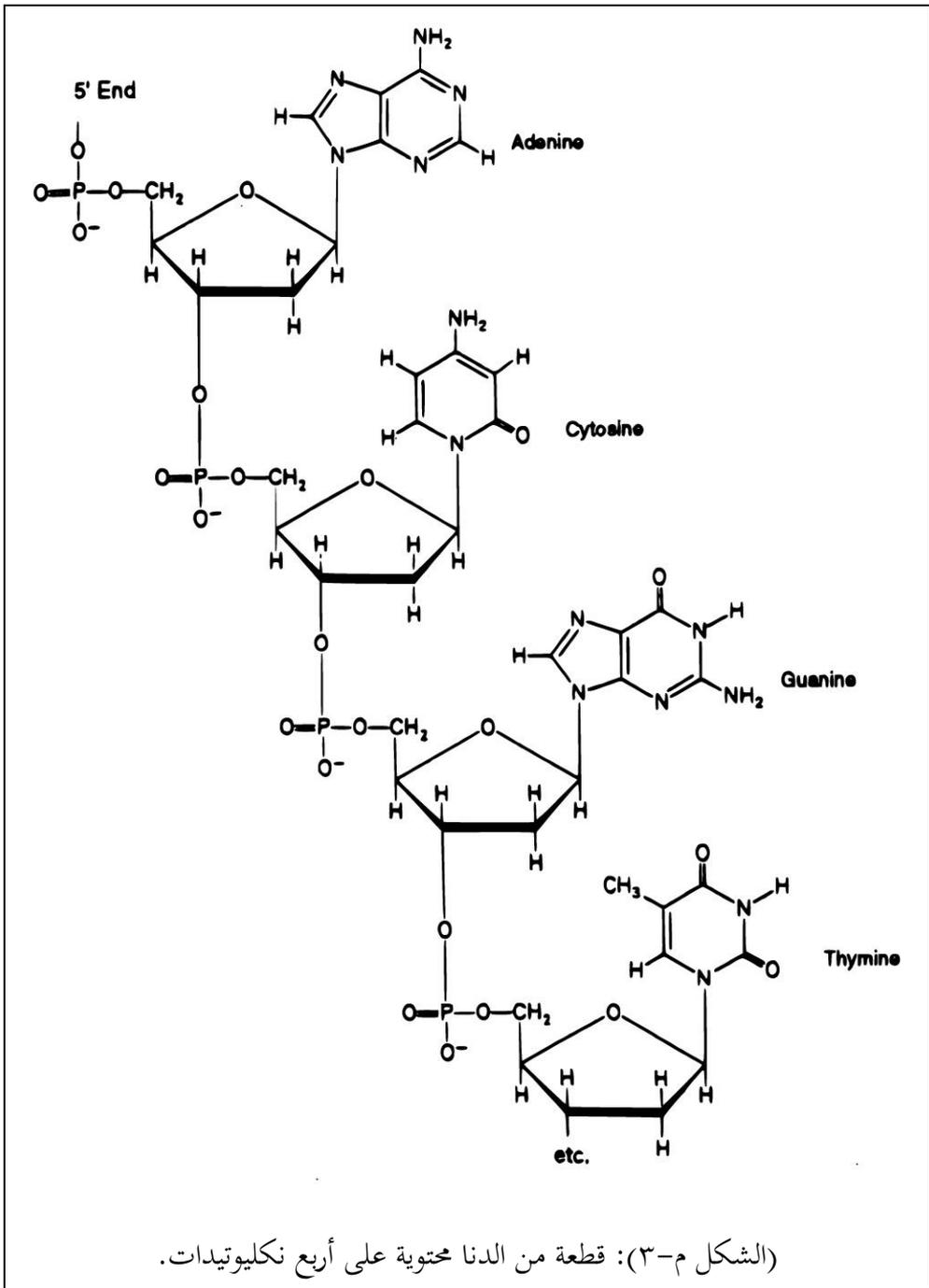
يمكن أن يرتبط نكليوتيدان بالتفاعل بين مجموعة الفوسفات لأحد النكليوتيدين مع الزمرة الهيدروكسيلية رقم ٣ من النكليوتيد الآخر الموجودة على السكر الخاص به (انظر الشكل م-٣). وهذا يترك ثلاث مجموعة فوسفورية حرة على إحدى النهايتين يمكنها فيما بعد أن ترتبط بنكليوتيد آخر، وإنَّ تكرار هذه العملية يولد سلسلةً طويلةً عديدة النكليوتيد. ويتراوح طول الرنا الخلوي بين سبعين إلى خمسمائة ألف نكليوتيد، في حين أنَّ جزيئةً واحدةً من الدنا يتراوح طولها بين عدة آلاف إلى مليارات النكليوتيدات، ويكتب تسلسل عديدات

النكليوتيد اصطلاحاً من النهاية ٥' إلى النهاية ٣'.

يوجد الرنا الخلوي كسلسلة مفردة الطاق، وهناك العديد من أنواع الرنا يدعى الأول بالرنا المرسل (mRNA)، وتعتبر أفراد هذا النوع النسخة الآمنة للمورثات الموجودة في الدنا، حيث تحمل المعلومة الموروثة لترجم في جهاز اصطناع البروتين، فيتربك البروتين.

النوع الثاني هو الرنا الريبوزومي (rRNA)، وهو عديد بيتيد مرتبط بعدد كبير من البروتينات المختلفة ليشكل الريبوزوم، والذي هو الآلة الأساسية لصنع البروتينات. أما آخر نوع من الأنواع الأساسية للرنا فيدعى بالرنا الناقل (tRNA)، وأعضاء هذا الصنف أقصر نوعاً ما، وتتكون من ٧٠ إلى ٩٠ نكليوتيد. ويعمل كوصلة بين الرنا المرسل والبروتين الذي تنتجه الريبوزومات.

يوجد الدنا الخلوي كشرط مضاعف الطاق من سلسلي عديد نكليوتيد ملتفتين - كما هو اللولب المضاعف المشهور - وترتبطان ببعضهما بقوة بالروابط الهيدروجينية، ولنفهم سبب ذلك، علينا أن نأخذ نظرة عن بنية الأسس النكليوتيدية (الشكل م-٣). يمكن للنكليوتيدات أن تنقسم إلى مجموعتين: البورينات (A و G)، والتي تحمل الأسس الأكبر المكونة من حلقتين ملتحمتين، والبيريميديينات (C و T) المكونة من حلقة واحدة. إذا ما كانت (A و T) بالاتجاه الصحيح فيمكنهما أن يشكلا رابطتين هيدروجينيتين بينهما، وكذلك الأمر بالنسبة لـ (C و G) إذ يمكنهما أن يشكلا ٣ روابط هيدروجينية. في الخلية وحيثما تواجدت (G) على الطاق ستجد في مقابلها (C) على الطاق الثاني، وكذلك الأمر متى وجدت (A) ستجد مقابلها (T) على الطاق المقابل والعكس بالعكس.



ولذا فإنَّ شريطين من الدنا يكملان بعضهما، ولغرض التوجه الصحيح لتشكيل الرابطة الهيدروجينية يجب أن يكونَ الطاقان متعاكسي الاتجاه، أحدهما من الطرف ٥' إلى الطرف ٣' - من اليسار إلى اليمين- والآخر من الطرف ٣' إلى الطرف ٥' - من اليمين إلى اليسار-. ويتكون الدنا في الخلايا حقيقية النوى من طاقين خطيين متكاملين، ولكن الدنا في العديد من البكتريا يكون مكوناً -ويا للمفاجأة- من طاقين دائريين متكاملين.

تختلف كمية الدنا في الخلايا بشدة وفق تعقيد المتعضية، إذ تمتلك الجراثيم عددًا من الملايين من النكليوتيدات فقط؛ ولكنَّ كمية الدنا في الخلية حقيقية النواة تتراوح بين ١٠ ملايين في الفطور مثلًا إلى بضعة مئات المليارات في بعض النباتات المزهرة، ويأتي البشر في حدود ثلاثة مليارات نيكليوتيد.

الشحوم وعديدات السكار

هناك صنفان أساسيان من الجزيئات الحيوية وهما الشحومٌ وعديداتُ السكار، وتُعدُّ عديداتُ السكار بوليميرات من جزيئات السكريات أو مشتقاتها، وتلعب أدوارًا مختلفة، فيمكن استخدامها كمواد بناءية، مثل السليلوز الموجود في النباتات الخشبية والأشجار؛ وكمخزن للطاقة مثل الغليكوجين الذي يخزن في الكبد. أما الشحوم فهي ليست بوليميرات مصنوعة من وحدات بناءية مميزة، على خلاف البروتينات والأحماض النووية وعديدات السكار، بل تُصنع كل جزيئة شحمية من المواد الأولية الأساسية، ولا تعد جزيئات كبيرة، ولكن يمكن أن تترافق مع بعضها لتشكيل بنية كبيرة كالأغشية.

الانتساخ TRANSCRIPTION

يُعدُّ الدنا مستودع المعلومات، وهو عديد نكليوتيد، وتخبر المعلومات التي يحملها الخلية كيف تصنع عديدات الببتيد-البروتينات-، لكن كيف تُترجم المعلومة من لغة بوليميرية للغة

أخرى؟ بعد فترة قصيرة من اكتشاف البنية الحلزونية المضاعفة للدنا اقترح الفيزيائي (جورج غامو George Gamow) فكرة غير كيميائية، بأنّ المعلومات مختصرة في رموز، وأنّ التعبير عن تلك المعلومات يتم بعد فكّ تشفير عديد النكليوتيد وترجمة الرسالة إلى عديدات الببتيد، والتي هي مكتوبة بلغة البروتينات.^(٣) ورغم أنّه كان مخطئاً بخصوص الطبيعة الدقيقة للشيفرة، لكن حدس غامو كان كالإلهام.

خلال ستينيات القرن الماضي فكّت الشيفرة عندما أثبت الحائزون على جائزة نوبل (Marshall Nirenberg, Severo Ochoa, H. Gobind Khorana) ومساعدوهم بأنّ ثلاثة نكليوتيدات متتالية ترمز لحمضٍ أمينيٍّ واحد (الشكل م-٤). ونظرًا لوجود ٦٤ توليفة محتملة، إذ لدينا أربعة أنواع من الأسس تتكرر ٣ مرات، فهذا يعني أنّ هناك توافق أكثر مما نحتاج لنشفر عشرين حمضًا أمينيًا، وبما أنّ الخلية تستخدم كلّ الأسس الثلاثة الممكنة - كل الكودونات الممكنة - فإنّ الشيفرة الوراثية متكررة ولا بد، بما يعني أنّ العديد من الكودونات المختلفة ترمز للحمض الأميني نفسه، فمثلًا (ACA، ACC، AUC)، (ACG) جميعها ترمز للحمض الأميني التريونين. ويكون لمعظم الأحماض كودونان أو أكثر، ولكن هناك عدة أحماض يرمز لها كودون واحد، لكن في النهاية يكون مجموع احتمالات ترميز الأحماض الأمينية هو إحدى وستون من أصل أربع وستون، حيث تخصص ثلاثة كودونات لتستخدم كإشارة للتوقف، وحالما تدخل هذه الإشارات جهاز الاصطناع البروتيني تتوقف عملية الإنتاج البروتيني عند تلك النقطة.

إنّ العدد الكبير للخطوات الداخلة في استخراج المعلومات من الدنا يمكن أن تقسم إلى مرحلتين أساسيتين وتدعيان بمرحلتين الانتساخ والترجمة، باختصار، تصنع الخلية في مرحلة الانتساخ نسخة من الرنا عن قطعة الدنا التي نصطلح على تسميتها بالجينة والتي ترمز للبروتينات، أما في الترجمة فتستخدم المعلومات الموجودة في الرنا لإنتاج البروتين.

UUU UUC	Phenylalanine	UCU	UAU UAC Tyrosine	UGU Cysteine
UUA UUG	Leucine	UCC UCA	UAA UAG Stop	UGA Stop UGG Tryptophan
CUU CUC CUA CUG		CCU CCC CCA	CAU CAC Histidine CAA CAG Glutamine	CGU CGC Arginine CGA CGG
AUU AUC AUA	Isoleucine	ACU ACC	AAU AAC Asparagine	AGU Serine
AUG	Methionine	ACA ACG	AAA AAG Lysine	AGA AGG Arginine
GUU GUC GUA	Valine	GCU GCC GCA	GAU Aspartic acid GAC GAA Glutamic acid GAG	GGU GGC Glycine GGA GGG

الشكل م-٤: الأكواد الجينية

يستلزم نسخ الجينات العديد من القرارات، الأول هو أين نبدأ من سلسلة الدنا الطويلة. إنَّ موضع البداية في الغالب يكون معلَّمًا بعدة تسلسلات خاصة من الدنا تدعى (البروموتر promoter). في الخلايا بدائية النوى هناك تسلسل من النكليوتيدات، عادة ما يكون (TCTTGACAT)، يدعى (المنطقة -٣٥) ويأتي قبل ٣٥ نكليوتيد من الجينة، وهناك

تسلسل آخر يكون عادة (TATAAT) ويدعى ب(صندوق Pribnow) ويأتي قبل ٥ إلى ١٠ أسس من موقع بدء النسخ. أما حقيقيات النوى فتمتلك إضافة لإشارات مشابهة لتلك، تسلسلات من الدنا تدعى (المعزز enhancer)، وهو على بعد آلاف أزواج الأسس عن موضع بدء الانتساخ، ويملك تأثيراً مهماً على المعدل الذي تُنتسخُ وفقه الجينة. لكي تبدأ عملية النسخ في بدائيات النوى يجب أن ترتبط العديد من "الوحدات" الأنزيمية التي تشكل أنزيمًا يدعى (رنا بوليميراز) إلى الدنا. يتكون الرنا بوليميراز من ٥ سلاسل عديدة الببتيد. في البدء يرتبط الأنزيم ارتباطاً ضعيفاً، ويتحرك على طول الدنا كالكقطار على السكة، حتى يجد منطقة البروموتر الخاصة بالجينة، حيث تتعرف إحدى الوحدات البروتينية وتدعى (سيجما σ) على تسلسل الدنا في البروموتر، فيستدل الرنا بوليميراز وتنفك σ بعيداً عنه إذ انتهت مهمتها. في غياب σ يرتبط رنا بوليميراز ارتباطاً محكمًا بالدنا، ولا يمكنه التحرك بعدها بحرية، والآن يبدأ عمله، إذ يباعد بين الأزواج على طول حوالي ١٠ أسس من الدنا، فيفصل الطاقان عن بعضهما في تلك المنطقة، وهذا ضروري لتستطيع سلسلة الرنا التي ستتشكل أن تقرأ قالب الدنا بواسطة تشكيل روابط هيدروجينية معه. الآن تربط البوليميراز الريبونوكليوتيد المنشط الذي يقابل الأساس الأول في الدنا، فتبدأ عملية الانتساخ، ومن ثم يربط الريبونوكليوتيد الثاني المقابل للأساس النووي الثاني.

حالما يتكامل أول ريبونوكليوتيدين مع القالب تربط بينهما الرنا بوليميراز كيميائياً، ثم تتحرك متقدمة على طول القالب النووي مباعدة طاقي الدنا أثناء مسيرها. فتجد الريبونوكليوتيد الذي يتمم الموضع الثالث ثم تربطه كيميائياً، وبهذا تكبر السلسلة، حيث تكرر هذه الخطوات على طول الجينة بمعدلٍ عالٍ جداً، حيث تتحرك بما يقارب الـ (٢٠-٥٠) زوج نكليوتيدي في الثانية. تسبب عملية الانتساخ مشكلة، وهي أن حركة البوليميراز إلى الأمام عبر الحزنون النووي الملتف تسبب التفافاً أكبر وأشد. (٤) وهذا ما قد يسبب إبطاء عملية الانتساخ أو

إيقافها تمامًا ما لم يتدخل بروتين آخر يدعى (توبوايزوميراز) يعمل على حلّ التفاف الدنا بمناورة معقدة، إذ يقطع أحد طاقى الدنا المتشابك ممرًا الطاق الدنوي غير المقطوع عبر الطاق المقطوع ومن ثمَّ يعيد التحام القطع.

تتوقف عملية الانتساخ عندما يمر الرنا بوليميراز بتسلسل معين من الدنا. ويكون هذا التسلسل في بدائيات النوى عبارة عن منطقة متناظرة^(٥) بالنسبة لمنتصفها، وتحتوي على حوالي ٦ أو ٧ أزواج من أسس GC، يتلوها منطقة مشابهة غنية بأزواج (AT). تتطلب بعض الجينات (وليس كلها) وجود بروتين إضافي ρ (تقرأ "رو") يفك البوليميراز عن الدنا.

التنظيم الجيني

تحتوي الخلية الجرثومية النمطية على آلاف المورثات، وتحتوي خلية الثدييات على عشرات آلاف المورثات، فكيف يمكن للخلية أن تعرف متى يجب نسخ جينة ما؟ وكيف تُنتقى جينة من بين الآلاف منها؟ تحظى معضلة التنظيم الجيني بالكثير من الدراسة والاهتمام في الأبحاث العلمية.

كُشفت العديد من التفاصيل، ولكن الأكثر ما يزال مجهولًا، وأحد أبسط الأمثلة عن التنظيم الجيني هو تنظيم دورة الحياة الخلوية للمتهم الجراثيم لامدا λ . إنَّ ملتهمات الجراثيم—هي بين الفيروسات كبدائيات النوى بين الخلايا—عبارة عن قطعة من الدنا مغطاة بمعطف بروتيني، ولتضاعف نفسها عليها أن تجدد الخلية الجرثومية الملائمة—لتلتصق بها—ومن ثم تحقن الدنا الخاص بها. إنَّ دنا الملتهم صغير جدًا ويرمز لحوالي ٥٠ جينة فقط، وهذا لا يكفي لآلة التضاعف الخاصة به، ولذا فإنه وبدكاء يختطف آلات المضيف، ويكون بهذا عبارة عن طفيليٍّ غير قادرٍ على تأمين الاكتفاء الكامل لنفسه.

عندما يغزو الملتهم (λ) الخلية، تصنع الخلية في بعض الأحيان العديد من النسخ عن الفيروس

لتنفجر فيما بعد، وهذا ما يدعى بدورة الانحلال الخلوي. وفي حالات أخرى يدخل الفيروس λ الدنا الخاص به في دنا الجرثوم، ليشكل جزيئة واحدة من اثنتين، وهنا يمكن للفيروس أن يستريح بهدوء ويتكاثر بتكاثر دنا الجرثوم عند انقسامه، ويبقى على هذه الحالة، وهذا ما يدعى بالدورة المستديرة lysogenic. وعندما يواجه الجرثوم مشكلة، ربما بعد بضعة أجيال، يتعرض مثلًا لجرعة عالية من الأشعة فوق البنفسجية، ينتقل دنا الفيروس إلى دورة الانحلال الخلوي مشكلا الآلاف من النسخ ومفجرا الخلية، لتنتقل النسخ الجديدة من الملتهمات.

ما الذي يحفز انتقال الفيروس من الدورة المستديرة في الخلية إلى الدورة الحالة للخلية؟

عندما يدخل الدنا الفيروسي إلى الخلية يرتبط الرنا بوليميراز بربوموتر الانتساخ الخاص بالفيروس، إذ أن إحدى أولى المورثات التي يُعبر عنها تعطي أنزيم الدمج (integrase) الذي يدخل الدنا الفيروسي كيميائيا إلى الدنا الجرثومي، ويقوم هذا الأنزيم بقطع الدنا الفيروسي الحلقي في موضع معين يحوي تسلسلا شبيها بموقع آخر على الدنا الجرثومي، ويقطع الدنا الجرثومي أيضا في ذلك الموقع، وهذا ما يترك كلا القطعتين من الدنا بجوار المكمل لها، تملك كل منهما نهايات متكاملة، فتلتصقان بروابط هيدروجينية ويربطهما أخيرا برابطة كيميائية.

هناك أيضا مورثة فيروسية أخرى ترمز للبروتين المدعو (الكاظم repressor) الذي يرتبط بقوة بتسلسل الدنا الفيروسي في الموضع الذي على الرنا بوليميراز أن يرتبط به ليبدأ دورة الانحلال. عندما يرتبط الكاظم هناك فإنه يمنع الرنا بوليميراز أن يرتبط، فتتوقف دورة الانحلال الخلوي. في الحقيقة هناك ٣ مواضع متعاقبة لارتباط الكاظم. يكون ارتباط الكاظم بالموضع الأول أقوى من ارتباطه بالموقع الثاني، وبالثاني أقوى من الثالث، وهذا الثالث يتراكم مع تسلسل بربوموتر المورثة التي ترمز للكاظم بحد ذاته. وهذا الترتيب يسمح للكاظم أن يصنع مرارا وتكرارا حتى يتم شغل الموضع الثالث ليتوقف عندها الاصطناع، وفي هذه اللحظة وإذا

ما انخفض تركيز الكاظم إلى الحد الذي ينفصل فيه عن الموقع الثالث فعندئذ تُشغّل مورثة الكاظم من جديد.

بواسطة هذه الآلية ينظم كاظم فيروس (λ) الإنتاج الخاص به عند وجود بعض المواد الكيماوية أو الأشعة فوق البنفسجية أو أيّة عوامل مدمرة أخرى، حيث تتفعل المورثة المرمرزة للأنزيم المخصص لتدمير الكاظم، فيُتخلص من الكاظم من موقعه الأول، وتتفعل المورثة المرمرزة لبروتين يدعى (Cro)، وهو الذي يرتبط ارتباطاً محكماً بالكاظم الموجود على موضع ارتباط الكاظم الثالث فيوقفه نهائياً ويطلق العنان للملتهم ليدخل في طور الانحلال الخلوي، لتنتسخ جميع المورثات الضرورية لتجهيز نسخ من الدنا الفيروسي وتوضييه في غلافه البروتيني. إنّ التحكم بدورة حياة الملتهم واحدة من أبسط الأمثلة عن التنظيم الجيني، إذ يتضمن تنظيم أنظمة جينية أخرى الحاجة لمجموعات كثيرة من البروتينات خصوصاً في الخلايا حقيقية النوى. وعلى أيّ حال هناك اعتقاد بأن معظم المورثات تُنظم بواسطة أنظمة تحاكي النظام الفيروسي المذكور، مع وجود تحكم ارتجاعي feedback وتعاون من عوامل متعددة ليصار لاختاذ القرار فيما إذا احتجنا لتفعيل جينة أم لا.

الترجمة

حالما تُنتج الرنا تصبح المهمة ترجمة هذه الرسالة إلى بروتين، ويمكن فهم هذه العملية على أكمل وجه بشرحها عند بدائيات النوى.

يرتبط الرنا المنتسخ بجزيئة تُدعى الريبوزوم، والريبوزومات هي جزيئات معقدة جداً مكونة من ٥٢ بروتينا منفصلا -والتي يظهر العديد منها بعدة نسخ-، وثلاثة قطع من الرنا بأطوال هي (١٢٠ و ١٥٤٢ و ٢٩٠٤ نكليوتيد). تكون الريبوزومات منقسمة إلى جزأين كبيرين تدعيان الوحيدة (S٣٠) والوحيدة (S٥٠).^(٦) تتجمع أجزاء الريبوزوم مع بعضها بما يثير الإعجاب، وقد أثبتت التجارب أنّه عندما تكون أجزاء الريبوزوم منفصلةً ثم تخلط تحت

الظروف الصحيحة فإنها تعاود تشكيل الريبوزومات عفويا.

تمتلك الريبوزومات مشكلة أيضاً، إذ على الريبوزوم أن يجد النقطة التي على الـ(mRNA) والتي يبدأ الترجمة منها، وهذا يشبه المشكلة التي صادفناها مع الرنا بوليميراز. في الخلايا بدائية النوى يكونُ الموقع معلماً بتسلسل يدعى تسلسل (شايين دلغارنو Shine-Dalgarno) وهو حوالي ١٠ نكليوتيدات قبل موقع بدء الترجمة. تبدأ العملية عند التسلسل الأول (AUG) الذي يرمز للحمض الأميني الميثيونين، أما في حقيقيات النوى تبدأ العملية ببساطة عند الكود (AUG) من الطرف (٥') من الرنا المرسل (mRNA).

لا تستطيع الريبوزومات الارتباط بالرنا المرسل مباشرة من تلقاء نفسها، بل هناك العديد من العوامل الضرورية. في بدائيات النوى هناك ٣ بروتينات ضرورية تدعى عوامل البدء، وهي مؤشرة كالتالي (IF1 و IF2 و IF3)، ولكي تبدأ الترجمة يجب أن يرتبط (IF1 و IF3) بالوحيدة الريبوزومية (S٣٠) ومن ثمَّ يذهب هذا المعقد ليرتبط بشيئين: (١) بالمعقد المشكل مسبقاً من الرنا الناقل الحامل للحمض الأميني ميثيونين مرتبطاً بـ(IF2) و(٢) بالرنا المرسل في موقع البدء. ومن ثم ترتبط الوحيدة الريبوزومية (S٥٠) بالمعقد المتشكل متسببة بسقوط البروتينات (IF1، IF2، IF3). تبدأ عملية الترجمة في حقيقيات النوى عبر خطوات مشابهة؛ ولكنَّ عددَ عوامل البدء يكون عشرة أو أكثر.

في الخطوة التالية يرتبطُ جزيء آخر من الرنا الناقل (tRNA) بمرافقة بروتين يُدعى عامل الإطالة تو (EF-Tu) حاملاً الحمض الأميني المناسب ومرتبطةً بالريبوزوم. تتشكل الرابطة الببتيدية بين الحمضين الأمينين ويبقيان في الريبوزوم، ويكون الـ(tRNA) الأول قد فقد حمضه الأمينيَّ وارتبطت الثمالتان بروابط تساهمية لكنهما ما تزالان مرتبطين بالرنا الناقل الثاني، وهنا ينفصل (tRNA) الأول من الريبوزوم وينتقل الرنا الناقل الثاني إلى الموضع الذي شغله قبله الرنا الناقل الأول، وتحرك جزيئة الريبوزوم بدقة مسافة ٣ أسس نكليوتيدية عبر

الرنا المرسل، وتتطلب عملية الانتقال هذه بروتينا آخر لغرض ما يدعى (EF-G)، وماتزال وظيفته مجهولة.

تتكرر هذه الخطوات حتى يصل الريبوزوم إلى الثلاثية النكليوتيدية المرزومة لكودون التوقف، وهنا يأتي دور بروتين آخر يدعى عامل التحرر والذي يرتبط بكودون التوقف مانعا الريبوزوم من الحركة. بالإضافة لذلك فإنَّ عاملَ التحرر يغيِّرُ من سلوك الريبوزوم، فبدلاً من أن يتوقف ببساطة منتظراً عامل التحرر ليتحرك، فإنه يقطع سلسلة عديد الببتيد المكتملة من الرنا الناقل الأخير والتي بقيت متصلة به، فيطوف البروتين في الخلية مبتعداً في سائل الخلية، ثم تنفصل الريباسة غير النشطة عن الرنا المرسل إلى وحيدتين تبتعدان لتبدأ بعملية تركيب بروتين آخر في أرجاء الخلية.

هناك عوامل أخرى غفيرة العدد لا يمكن أن نذكرها في هذا الملخص السريع، لكنها ضرورية ليعمل نظام الترجمة، ومنها تلك الأنزيمات التي تضع الأسس الصحيحة في الرنا الناقل الصحيح. هناك العديد من الآليات التي تصحح عملية الترجمة، ويكون دور الطاقة الكيميائية مفصلياً في كل مرحلة منها، والتي تأتي من النكليوتيد المنشط (GTP). على أي حال فإنَّ هذا يلخصُ للقارئ الفكرة التي تقوم عليها عملية التعبير عن المعلومات الوراثية وأيضاً تعرفه بمقدار التعقيد الداخل في عملية التعبير هذه.

تضاعف الدنا

هناك وقت في حياة الخلية تمر فيه بعملية انقسام، وأحد أهم الاعتبارات في انقسام الخلية هو ضمان وصول نسخة سليمة من المعلومات الوراثية، وكثيرة هي الجهود المبذولة للتحرري عن طريقة ذلك.

في العام ١٩٥٧م أظهر (آرثر كومبرج Arthur Komberg) وجود أنزيم يمكنه بلمرة

النكليوتيدات النشطة منزوعة الأكسجين إلى جزيئة دنا جديدة، وكانت نسخة متممة للقلب الذي وضعه في إناء التفاعل حينها، ومن ثم أسمى الأنزيم بدنا بوليميراز (Pol I). ابتهج المجتمع العملي لهذا الاكتشاف، لكن على مر السنين توضح أنّ الأنزيم (Pol I) ليس له دور أساسي في اصطناع الدنا عند انقسام الخلية، بل مهمته إصلاح الدنا المتضرر نتيجة التعرض للأشعة فوق البنفسجية أو المواد الكيماوية المطفرة أو العوامل البيئية المؤذية للخلية المختلفة. واكتُشف أنزيمان آخران هما (Pol II ثم Pol III). وفيما ظل دور الأنزيم (Pol II) مجهولاً، فإنّ دورَ الأنزيم (Pol III) كان محددًا، وهو دور مهم في عملية تضاعف الدنا في الخلايا بدائية النوى.

يتألف هذا الأنزيم (Pol III) من (٧) وحيدات مختلفة تتراوح في الطول من (٣٠٠ إلى ١١٠٠ نكليوتيد). واحدة فقط من هذه الوحيدات تقوم بعملية الربط الكيميائي للنكليوتيدات، أما الباقيات فلهن وظائف متممة مهمة. على سبيل المثال تميل الوحيدة المسؤولة عن البلمرة إلى التخلي عن قالب الدنا بعد ارتباط حوالي (١٠-٥٠ نكليوتيد)، وإذا ما حصل هذا في الخلية فإن على البوليميراز أن يعاود النسخ مئات بل آلاف المرات قبل أن يكتمل التضاعف، وهذا يبطئ عملية التضاعف للغاية، ولكن البوليميراز (Pol III) الكامل ذو السبع وحيدات لا يسقط حتى اكتمال نسخ قالب الدنا الذي يمكن أن يكونَ طوله مليون زوجا من الأسس.

بالإضافة إلى فعالية البوليميراز التي يملكها الأنزيم فهو يمتلك قدرة تدعى النوكلياز بالاتجاه (٣' → ٥')، وهذا يعني أنه يمكنه أن يفكك الدنا المتبلر إلى نكليوتيدات بدءاً من الطرف الحر (٣') متجهًا إلى الطرف (٥'). لكن لماذا يمتلك أنزيم بلمرة الدنا القدرة على تفكيكه؟ تبين أنّ هذه الفعالية ضرورية جدا لضمان دقة عملية النسخ. افترض أنّه أُضيف نكليوتيد خطأً إلى سلسلة الدنا المتنامية، عندئذ سيعود الإنزيم (Pol III) بواسطة هذه الوظيفة ليفكك

الزوج الخاطئ من النكليوتيدات، خصوصاً أن الأزواج المرتبطة بشكل صحيح تكون عصية على الفعالية المفككة التي يملكها هذا الأنزيم، وهذا ما يفسر عدم تأثرها بهذه القدرة، وتدعى هذه القدرة بالتصحيح (proofreading)، ومن دونها ستحصل آلاف الأخطاء التي تخرب نسخة الدنا الناتجة.

يبدأ تضاعف الدنا من تسلسلات محددة تعرف باسم (منشأ التضاعف origin of replication) وتستمر في كلا الاتجاهين في الوقت ذاته على طول الدنا. إنَّ أول مهمة في عملية التضاعف هي انفصال طاقى الدنا الأم عن بعضهما، تماماً كما في الانتساح، وهذه هي مهمة البروتين (DnaA). بعد انفصال الطاقين عن بعضهما يرتبط بروتينان يدعيان (DnaB و DnaC) بالطاقين المنفصلين. وهناك أيضاً بروتينان آخران ضروريان لتنمو الفقاعة الناتجة عن تباعد الطاقين وهما: البروتين الرابط للطاق المفرد SSB، والذي يبقى الطاقين الأم منفصلين ريثما تتم عملية النسخ، وبروتين (جيراز gyrase) يفكك العقد التي تحصل أثناء فكّ طاقى الدنا عن بعضهما.

في هذه المرحلة يمكن أن يبدأ عمل الدنا بوليميراز ولكن هناك العديد من المشاكل التي ستظهر، إذ لا يمكن للـ (DNA بوليميراز) أن يبدأ الاصطناع بربط نكليوتيدين بذات الطريقة التي يعمل بها الـ (RNA بوليميراز)، إذ أن أنزيم الدنا بوليميراز يضيف النكليوتيد فقط إلى نهاية عديد نكليوتيد موجود مسبقاً، ولذا تستخدم الخلية أنزيماً آخر ليقوم بصنع شريط قصير من الرنا على قالب الدنا المنكشف. حيث يمكن لهذا الأنزيم أن يبدأ عملية تركيب الرنا من نكليوتيدين، وحالما تصل سلسلة الرنا إلى حوالي ١٠ نكليوتيدات طولاً يبدأ الدنا بوليميراز بالعمل مستخدماً الرنا كمشروع (primer) مضيفاً النكليوتيدات منزوعة الأوكسجين لطرفه.

تحصل المشكلة الثانية حالما تفتح شوكة التضاعف، إذ يمكن اصطناع طاقٍ جديدٍ من الدنا دون صعوبة حين يقوم البوليمراز بقراءة قلبه من الطرف (٣') إلى الطرف (٥')، وهو حال

جميع أنزيمات البوليميراز، ولكن كيف يتم نسخ الطاق الثاني المتوجه من (٥) إلى (٣)؟ إذا ما تم الأمر مباشرة فإنَّ البوليميراز سيقراً قالب من الطرف (٥) إلى الطرف (٣) وعليه يكون الشريط المصنع ذو اتجاه ٣ إلى ٥. وعلى الرغم من غياب أيِّ سببٍ نظريٍّ يدفعنا للتفكير لماذا لا يمكن لهذا الشيء أن يحدث إلاَّ أنه لا يُعرف أي بوليميراز يقوم باصطناع شريط ذو اتجاه من الطرف ٣ إلى الطرف ٥. بدلا من ذلك، بعد أن يُفتَح الدنا مسافة معينة يُصطنع مشرع من الرنا بالقرب من شوكة التضاعف بالاتجاه (٥) إلى الطرف (٣). على الانتساخ التالي في هذا الطاق المتأخر أن ينتظر حتى تفتَح شوكة التضاعف لمسافة جيدة ومن ثم يأتي مشرع زنوي جديد ليكمل بعده الـ (DNA بوليميراز) عملية الاصطناع الدنوي باتجاه القطعة المركبة. ومن ثم يجب أن تزال قطع الرنا، وتُملأ الفراغات بالدنا ومن ثم يُلصق طرفا قطعتي الدنا. وهذا ما يتطلب عددا من الأنزيمات.

هذا الوصف المذكور أعلاه للتضاعف في الخلايا بدائية النوى قد تجمع بالجهود الكبيرة التي بذلها عدد كبير من المختبرات، وإنَّ تضاعف الدنا في حقيقيات النوى أعقد بكثير، ولذا فإنَّ معلوماتنا عنه أقل بكثير.

شكر مستحق

يرجع الفضل في تطوير الكتاب بشكل كبير إلى الحوارات مع العديد. كل الشكر ل(توم بيثيل Tom Bethell) و(فيليب جونسون Phil Johnson) لتشجيعهم، وتوضيحهم لعالم مثلي حبيس المعامل كيف يمكنه أن ينشر كتابه. أيضا ممتن لمحرر الكتاب بروس نيكولاس Bruce Nichols، لحمايته الكتاب من أن يصبح نصا متخما بالمصطلحات التقنية، ولتوضيحه لي كيف يمكنني ترتيب أجزاء الحجّة لجعلها أكثر سهولة في الفهم. أود أيضا أن أشكر (ديل راتش Del Ratzsch) و(بول نيلسون Paul Nelson) لمساعدتهم لي في ترسيخ الحجّة، ولتوجيهي لتجنب أكبر عدد من المزالق الفلسفية الممكنة. والشكر موصول لزملائي في ليهاي؛ (ليندا لو-كرينز Linda Lowe-Krentz) و(لين كاسميرس Lynne Cassimeris) لتدقيقهم الأجزاء العلمية في فصول الأمثلة. أقدر أيضا مساهمات (بيل ديمبسكي Bill Dembski) و(ستيف ماير Steve Meyer) و(ولتر ريمارين Walter ReMine) و(بيتر فان إنواجن Peter van Inwagen) و(جوناثان ويلز Jonathan Wells)، فالنقاط الجيدة في الكتاب ترجع لمساعداتهم، وأي قصور بقي فهو بسببي.

مسرور لأن أتاحت لي الفرصة لشكر زوجتي (سيلست Celeste) على العام، لدعمها الخفي وتشجيعها، ولتحملها وحدها المهمة الشاقة والمبهجة في نفس الوقت؛ الجري وراء أطفالنا، بينما أقضي أنا الليالي والإجازات في هدوء المكتب أنقر على لوحة المفاتيح. وأعتذر لجريس وبن وكليو وليو وروز وفينسنت ودومينيك وهيلين وجيرارد على عدم المقدرة على الخروج معاهم للرحلات وعدم مشاركتهم في الألعاب، هذا سيتغير الآن.

الفهرس

٦	لماذا هذا الكتاب؟!
١١	مقدمة

الجزء الأول فُتْحِ الصندوق

١٧	الفصل الأول: بيولوجيا متناهية الصغر
٤٣	الفصل الثاني: العزقات والبراغي

القسم الثاني فحص محتويات الصندوق

٧٥	الفصل الثالث: جدف، جدف، جدف قاربك
١٠٤	الفصل الرابع: روب جولديبيرج في الدم
١٣٤	الفصل الخامس: من هنا إلى هناك
١٥٨	الفصل السادس: عالم خطير

١٨٨ الفصل السابع: السحق على الطريق

القسم الثالث بماذا يخبرنا الصندوق!؟

٢١٧ الفصل الثامن: انشر أو تفنى

٢٤٦ الفصل التاسع: التصميم الذكي

٢٧٤ الفصل العاشر: تساؤلات عن التصميم

٣٠٤ الفصل الحادي عشر: علم - فلسفة - دين

٣٣١ الخاتمة: حجة التصميم تصمد لعقد من الزمن

٣٥٤ ملحق: الكيمياء الحيوية

٣٨٢ شكر مستحق

٣٨٤ المراجع



مركز براهين للأبحاث والدراسات
Braheen Center for Research and Studies