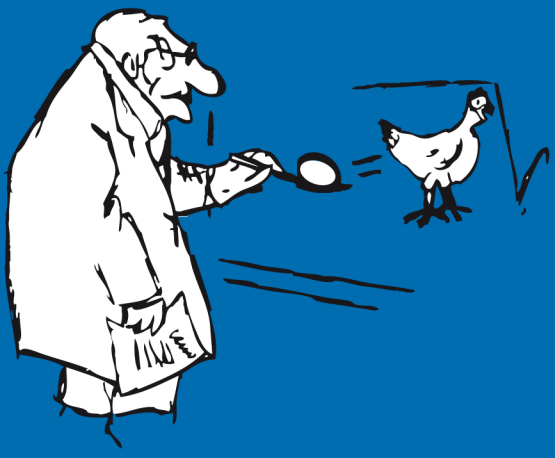


أكبر خمس مشكلات في العلوم

آرثر ويجنز و تشارلز وين

التعليقات الكرتونية لسيدني هاريس

أكبر خمس مشكلات في العلوم

أكبر خمس مشكلات في العلوم

تأليف: آرثر ويجنز وتشارلز وين

ترجمة
محمد العوجي

مراجعة
مجدي عبد الواحد عنبة

كلمات عربية

أكبر خمس مشكلات في العلوم

The Five Biggest Unsolved Problems in Science

آرثر ويجنز وتشارلز وين

Arthur W. Wiggins and Charles M. Wynn

الطبعة الثانية ١٤٣٢هـ-٢٠١١م
رقم إيداع ١٣٥٤٣/٢٠٠٩
جميع الحقوق محفوظة للناشر كلمات عربية للترجمة والنشر
(شركة ذات مسئولية محدودة)

كلمات عربية للترجمة والنشر
إن كلمات عربية للترجمة والنشر غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره
وإنما يعبّر الكتاب عن آراء مؤلفه.
ص.ب. ٥٠، مدينة نصر ١١٧٦٨، القاهرة
جمهورية مصر العربية
تليفون: ٢٢٧٢٧٤٣١ ٢٠٢+ **فاكس:** ٢٢٧٠٦٣٥١ ٢٠٢+
البريد الإليكتروني: kalimatarabia@kalimatarabia.com
الموقع الإليكتروني: http://www.kalimatarabia.com

ويجنز، آرثر و.
أكبر خمس مشكلات في العلوم / آرثر و. ويجنز، تشارلز م. وين . - القاهرة : كلمات عربية للترجمة والنشر، ٢٠٠٩
٢٨٨ص، ١٥,٢×٢٢,٨سم
تدمك: ٧ ٣٠ ٦٢٦٣ ٩٧٧ ٩٧٨
١- العلوم - تجارب
٢- العلوم - بحوث
أ- وين، تشارلز م. (مؤلف مشارك)
ب- العنوان
٥٠٧/٢٤

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

Arabic Language Translation Copyright © 2009-2011
Kalimat Arabia
This translation published under license.
© 2003 by Arthur W. Wiggins and Charles M. Wynn.
All cartoons © by Sidney Harris.
All Rights Reserved.

المحتويات

مــقدمة	٧
١- العلوم في الميزان	٩
٢- الفيزياء	٢٥
٣- الكيمياء	٥٧
٤- علم الأحياء	٩٩
٥- الجيولوجيا	١٣٧
٦- علم الفلك	١٦٩
ملفات المشكلات	٢٠٧
مجلدات الأفكار	٢٢١
مصادر للتعمق	٢٧٧
مصادر الصور	٢٨٥

مقدمة

ها نحن البشر، نسكن فوق قطعة صخرية كبيرة تسمى كوكبًا يدور حول مفاعل اندماج نووي يسمى نجمًا، وهذا النجم ليس إلا واحدًا ضمن مجموعة ضخمة من النجوم تسمى المجرة، والمجرة هي جزء من مجموعات من المجرات التي يتألف منها الكون. ومع أن الحياة على الأرض ليست حكرًا علينا بل يشاركنا فيها عدد كبير من الكائنات الحية الأخرى على هذا الكوكب، فيبدو أننا وحدنا الذين نمتلك القدرات العقلية التي تؤهل للسعي والوصول إلى فهمٍ عام للكون ومكوناته. و«العلم» هو الاسم الذي نطلقه على مجموع جهودنا ومساعينا لفهم طبيعة الكون. وصحيح أن التوصل إلى هذا الفهم لم يكن بالأمر اليسير كما أنه بعيد كل البعد عن أن يوصف بالكمال، إلا أننا، على ما يبدو، نواصل إحراز التقدم.

الكتاب الذي بين يدي القارئ الآن هو الكتاب الثالث من الثلاثية التي تتناول مسألة فهم الكون؛ في كتابنا الأول الذي حمل عنوان: «أهم خمس أفكار في العلوم» ناقشنا الأفكار الأساسية التي يمنحها العلماء قدرًا كبيرًا من الثقة لوجود دليل تجريبي على صحتها. وفي كتابنا الثاني: «الطفرات العلمية الزائفة: عندما يُطْمَس العلم الحقيقي ويسود العلم الزائف» ناقشنا الأفكار التي لا يثق بها العلماء إلا قليلًا أو تلك التي لا يثقون بها على الإطلاق لعدم وجود دليل تجريبي يثبت صحتها. أما في هذا الكتاب، فسنحاول إطلاعك على المشكلات الكبرى التي لم تحل بعد والتي لا يزال العلماء يعملون على التوصل إلى حل لها. ومع أننا سنرى في هذا الكتاب الكثير من الأدلة التجريبية فإنها ليست كافية؛ لأنه لا يوجد فرضية واحدة فيما يخص هذه المشكلات يمكنها أن تثبت صحتها كما ينبغي. وسوف ننظر إلى الأحداث والمعارف التي قادت إلى

هذه المشكلات المستعصية، ثم سنعرض أحدث ما توصل إليه العلماء لحلها. وسيُدخِل سيدني هاريس Sidney Harris، رسام الكاريكاتير العلمي الأول في أمريكا جوًّا من البهجة على المناقشات بحسه الفكاهي المعروف به، وهو لا يشرح الأفكار فقط بل يسلط عليها الضوء من منظور جديد أيضًا.

جرى اختيار هذه المشكلات المستعصية — مشكلة واحدة من كل فرع من الفروع الكبرى للعلوم الطبيعية — بناءً على قوتها التفسيرية وصعوبتها ومجالها وآثارها بعيدة المدى. وإضافة إلى مناقشة أكبر المشكلات المستعصية فقد أدرجنا فصلًا أسميناه «مجلدات المشكلات»، وهو نظرة سريعة على مجموعة من المشكلات الأخرى في كل مجال، فقد تزداد أهمية أي من تلك المشكلات حين نعلم المزيد عنها. كذلك أدرجنا فصلًا آخر بعنوان «مجلدات الأفكار» يحتوي على تفاصيل إضافية عن خلفيات بعض المشكلات المستعصية.

وأخيرًا، أضفنا قسمًا بعنوان «مصادر للتعمق»، أدرجنا فيه مصادر للمعلومات التي يمكن أن تساعدك في معرفة المزيد عن الموضوعات التي ربما تجدها أكثر جاذبية لك.

ونود في هذا المقام أن نشكر كيت برادفورد Kate Bradford — كبيرة المحررين في شركة وايلي — التي كانت أول من تخيلت الفكرة الرئيسية، ونود أن نشكر أيضًا وكيلة أعمالنا لويزا كيتز Louise Ketz على تشجيعها الذي كان يأتي في وقته المناسب.

لقد أصبح العلم مثل تلك الغوريلا التي تزن ثمانمائة رطل، وترمز إلى القوة الجبارة، ولا يمكن كبح جماحها. ولما كان تتبع وملاحقة المعرفة العلمية أمرًا يستنفد قدرًا هائلًا من الوقت والجهد والمقدرة العقلية، فإن التطبيقات التكنولوجية للمعرفة العلمية تستلزم بالمثل مواردَ ضخمة ذات صناعات عملاقة تُخَلَّق أثناء هذه التطبيقات. والمشكلة في أمر الغوريلا ذات الثمانمائة رطل هي أن المرء يجب أن يراقبها باحتراس. ونحن نتمنى أن يساعد هذا الكتاب في توضيح إلى أين يتجه العلم بحيث يمكننا جميعًا الاحتراس من هذه الغوريلا.

آرثر ويجنز، تشارلز وين، سيدني هاريس

الفصل الأول

العلوم في الميزان

«إن علامة العقل المتعلم هي الرضا بمدى الدقة التي تسلم بها طبيعة الموضوع وليس السعي وراء الدقة المتناهية عندما لا يكون متاحًا سوى القيمة التقريبية.»

أرسطو

العلم ليس مرادفًا للتكنولوجيا

العلم والتكنولوجيا وجهان لعملة واحدة، أليس كذلك؟

الإجابة: نعم، ليس كذلك.

فمع أن التكنولوجيا التي تهيمن على الثقافة الحديثة مستمدة من المعرفة التي قدمها العلم عن الكون، فإن كلًّا من العلم والتكنولوجيا ينبعان نتيجة دوافع مختلفة تمام الاختلاف. ولكي نستبين هذا الأمر سنضع الاختلافات الأساسية بين العلم والتكنولوجيا في منظورها السليم: ففي حين يرجع السبب الأساسي في ممارسة العلم إلى الرغبة الجوهرية للبشر في معرفة الكون وفهمه، نجد أن السعي الحثيث وراء التكنولوجيا يرجع إلى الرغبة الجوهرية للبشر في التأثير على الحياة البشرية. وربما يتخذ ذلك التأثير شكل كسب قوت اليوم أو مساعدة الآخرين أو حتى استخدام القوة ضد الآخرين لتحقيق مصلحة شخصية.

وفي حين يجد الأفراد أنفسهم يمارسون العلم «المحض» والعلم «التطبيقي» في آن واحد، نجد أن المؤسسات العلمية تستمر في أبحاثها دون أن يكون واجبًا عليها النظر إلى المنتجات النهائية القائمة على هذه الأبحاث. فذات يوم تحدث

ويليام جلادستون William Gladstone وزير المالية البريطاني في القرن التاسع عشر مع مايكل فاراداي Michael Faraday عن اكتشاف فاراداي الرئيسي الذي ربط بين القوة الكهربية والقوة المغناطيسية بقوله: «كل هذا حسن، لكن ما قيمة هذا الاكتشاف؟» فأجابه فاراداي: «سيدي، أنا لا أعلم الآن لكنك ستفرض عليه الضرائب يومًا ما.» وها قد جاء اليوم الذي نجد فيه ما يقرب من نصف ثروات الدول المتقدمة يُحْصَل عليها نتيجة لربط فاراداي الطاقة الكهربية بالمغناطيسية.

قبل ترجمة الأفكار العلمية إلى تكنولوجيا، هناك أمور إضافية يجب أن تؤخذ في الاعتبار؛ فإلى جانب مسألة أي الآلات التي «يمكن» تصميمهما، هناك

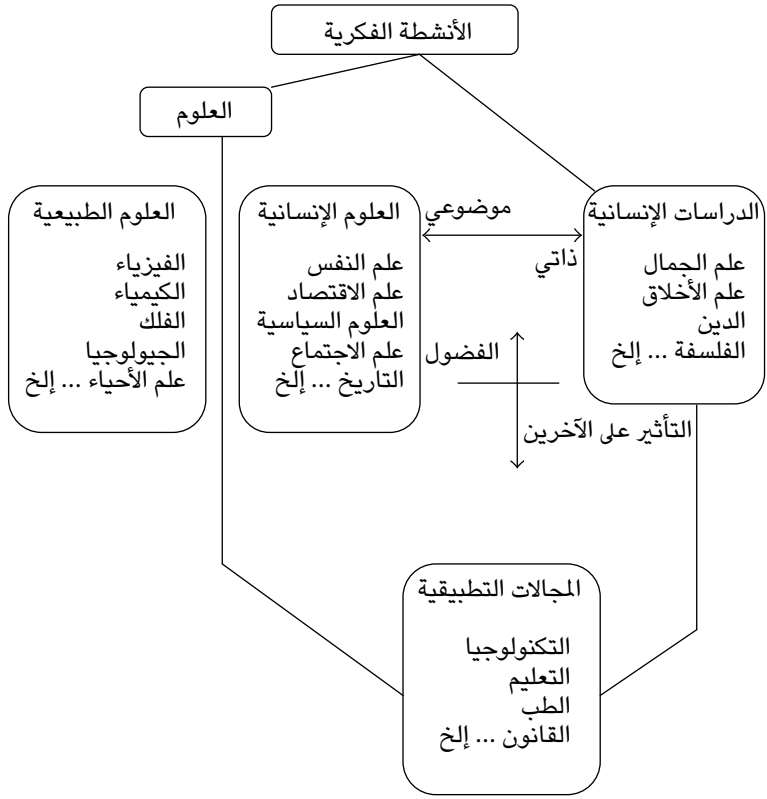
مسألة أخرى وهي: ما الذي «يجب» أن يُنتج؟ ولعل علم الأخلاق هو المجال المناسب لمناقشة هذه المسألة الأخيرة، وعلم الأخلاق هو أحد فروع العلوم التي تتناول الأنشطة الفكرية البشرية والتي تندرج تحت اسم الدراسات الإنسانية. والموضوعية هي الفارق الرئيسي بين العلوم الطبيعية والدراسات الإنسانية؛ إذ تبذل العلوم الطبيعية جهدًا كبيرًا من أجل دراسة طريقة عمل الكون بطريقة موضوعية قدر المستطاع، في حين لا تهدف الدراسات الإنسانية لتحقيق مثل هذا الهدف وهو أيضًا ليس من متطلباتها. ويمكننا إعادة صياغة العبارة التي كتبتها مارجريت وولف هانجرفورد Margaret Wolfe Hungerford (الروائية الأيرلندية في القرن التاسع عشر) عندما كتبت تقول: «الجمال يكمن في عين ناظره.» بالقول: «الجمال وكذلك الحق والعدل والإنصاف جميعها تكمن في عين من ينظر إليها.»

إن العلم بعيد كل البعد عن أن يوصف بأنه كيان جامد يصعب عليه التعامل مع أوجه مختلفة؛ فالعلوم الطبيعية مثلًا تدرس البيئة التي تحيط بنا وفي الوقت نفسه تدرس البشر فيما يخص تشابههم الوظيفي مع أشكال الحياة الأخرى، في حين تدرس العلوم الإنسانية السلوكيات العقلية والانفعالية للبشر والأعراف التي تحددها التفاعلات الاجتماعية والسياسية والاقتصادية بين البشر. ويعرض (الشكل ١-١) تمثيلًا بيانيًّا لهذه العلاقات.

وفي حين يساعد هذا التصور المنظّم في فهم العلاقات بوجه عام، فإن العالم الحقيقي أعقد من ذلك بكثير؛ فعلم الأخلاق يساعدنا في تحديد الموضوعات التي يتعين بحثها، وأي مناهج البحث التي يمكن أن نستخدمها، وأي التطبيقات التي ينبغي أن نتجنبها، لا لشيء سوى لأنها قد تمثل خطرًا جسيمًا على خير البشرية ومصلحتها. إضافة إلى ذلك فإن للاقتصاد والعلوم السياسية دورًا رئيسيًّا إذ إن العلوم لا يمكنها أن تدرس سوى ما تقبله الثقافة السائدة من ناحية معدات الإنتاج الرأسمالية والعمالة والقبول السياسي.

خطوات المنهج العلمي

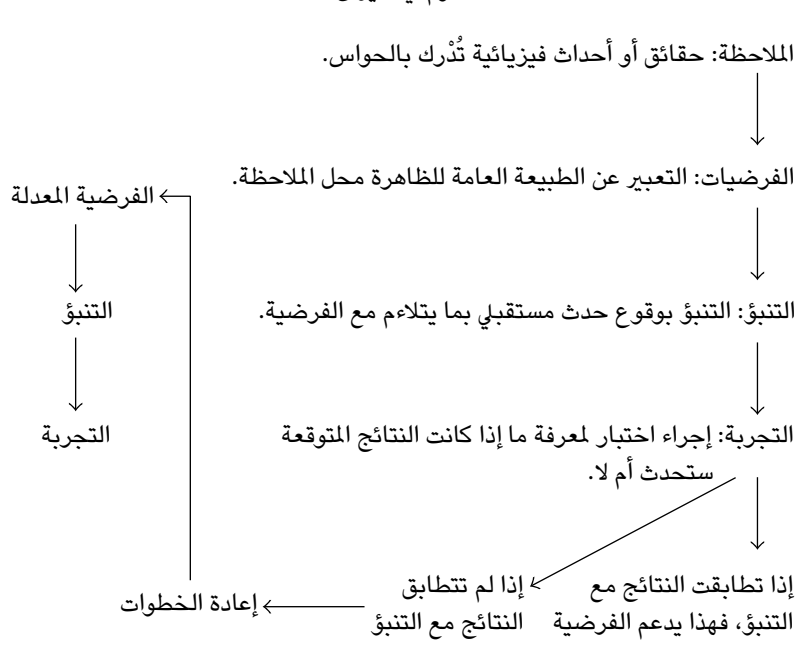
إن نجاح العلوم في تحليل الطريقة التي يعمل بها الكون هو نتيجة للتفاعل الديناميكي بين الملاحظات والأفكار. هذه العملية التفاعلية تعرف باسم المنهج



شكل ١-١: الأنشطة الفكرية.

العلمي. (انظر الشكل ١-٢) في مرحلة «الملاحظة»، تدرك الحواس البشرية بعض الظواهر المحددة سواء كان ذلك باستخدام أدوات مساعدة أو من دون استخدامها. وفي حين أن العلوم الطبيعية بها الكثير من موضوعات البحث المتشابهة التي يمكن ملاحظتها (ذرات الكربون على سبيل المثال)، نجد أن العلوم الإنسانية لا تحتوي إلا على عدد صغير من الموضوعات التي تختلف بعضها عن بعض بوضوح (ومثال ذلك البشر بل حتى التوائم المتطابقة).

في عمليات التفكير الإنساني تُجْمَع البيانات أولًا قبل أن يبدأ العقل — أثناء سعيه للتوصل إلى نظام مرتب — في تكوين أنماط وتفسيرات، وهذه العملية تسمى مرحلة «الفرضيات». إن المنطق الذي يستخدم ملاحظات محددة لتكوين



شكل ١-٢: وصف عام للمنهج العلمي.

فرضية عامة هو استنتاج استقرائي، ويقوم هذا المنطق على التعميم، ولذلك فإن الاستنتاجات القائمة عليه تتصف بقدر هائل من عدم المصداقية بالمقارنة مع الأنواع الأخرى من الاستنتاجات. وفي حين يميل بعض الناس إلى التسرع في الحكم واستباق الأمور، فإن هذا الأمر لا يجوز في المنهج العلمي؛ لأن المراحل المتعاقبة من المنهج تعيد الفرضية إلى الواقع.

غالبًا ما تُصاغ الفرضية كوحدة واحدة أو كجزء بلغة مختلفة عن تلك المستخدمة في حديثنا اليومي، هذه اللغة هي اللغة المستخدمة في الرياضيات. ولأن المهارات الرياضية تتطلب قدرًا كبيرًا من الجهد لاكتسابها، فإن شرح الفرضيات العلمية لغير المتخصصين في الرياضيات يتطلب ترجمة المفاهيم الرياضية إلى لغة الحياة اليومية، غير أن معنى الفرضية قد يتأثر — للأسف — أثناء عملية الترجمة هذه.

وبمجرد صياغة الفرضية، يمكن استخدامها للتنبؤ ببعض الأحداث المستقبلية التي من المتوقع أن تحدث بطريقة معينة إذا كانت الفرضية صحيحة. وهذا «التنبؤ» يمكن أن يُستمد من الفرضية عن طريق استخدام

الاستنتاج الاستنباطي. على سبيل المثال، يقول القانون الثاني لنيوتن: إن القوة = الكتلة × العجلة. لذا فإذا كانت الكتلة = ٣ وحدات، والعجلة = ٥ وحدات، إذن تكون القوة ١٥ وحدة. ومن المناسب أن تُنَفَّذ هذه المرحلة عن طريق أجهزة الحاسب الآلي حيث إنها تعمل على أساس الاستدلال الاستنباطي.

أما المرحلة التالية بعد «التنبؤ» فهي القيام بالتجربة لنرى هل سيدعم هذا التنبؤ الدليل أم لا. وهنا يجدر القول إنه ربما يكون من اليسير تصميم بعض التجارب غير أن تنفيذ أغلب التجارب يواجه صعوبات جمة في معظم الأحيان؛ فحتى إذا ما توفرت الأدوات العلمية — الدقيقة والباهظة الثمن التي تتطلب عددًا كبيرًا من العاملين — والتي عن طريقها يُحْصَل على عدد هائل من البيانات المفيدة، فكثيرًا ما يكون من العسير الحصول على التمويل اللازم، وبعد ذلك تكون هناك صعوبة في استثمار الجهد والوقت اللذين تحتاجهما هذه المرحلة من أجل فهم وتفسير تلك الكمية الهائلة من المعلومات التي حُصِلَ عليها. وفي حين تمتلك العلوم الطبيعية ميزة القدرة على عزل الشيء محل الدراسة عن أي شيء آخر (تأمّل أنابيب الاختبار)، فإنه يتعين على العلوم الإنسانية أن تتناول بالدراسة عددًا كبيرًا من المتغيرات في آن واحد، يجري التوصل إليها تدريجيًّا من خلال عقول أناس مختلفين لدى كل منهم مفاهيمه الخاصة (تأمل الاستقصاءات).

وبمجرد اكتمال مرحلة التجربة، تُقارن النتيجة مع التنبؤ؛ وبما أن الفرضية تتصف بالعموم في حين تكون نتائج التجربة محددة، فإن النتيجة التي تتوافق فيها التجربة مع التنبؤ لا تثبت صحة الفرضية بل تدعمها فحسب. وعلى الجانب الآخر إذا لم تتوافق نتائج التجربة مع التنبؤ فلا بد أن تكون بعض جوانب الفرضية خاطئة. ويطلق على هذه الخاصية في المنهج العلمي اسم قابلية الدحض والتفنيد Falsifiability وهي من الشروط الأساسية التي يجب أن تتصف بها الفرضية، وكما قال ألبرت أينشتاين ذات يوم: «لا يستطيع أي عدد من التجارب إثبات صوابي، ولكن يمكن لتجربة واحدة إثبات خطئي.»

عندما يتبين أن الفرضية خاطئة في بعض جوانبها ينبغي إعادة صياغة الفرضية وتعديلها إما تعديلًا طفيفًا، أو تغييرها جذريًّا، أو التخلي عنها تمامًا. على أن تحديد كم التغيير المناسب الذي يجب إحداثه قد يكون من المهام العسيرة للغاية. وعلى أية حال فإن الفرضيات المعدلة يجب أن تمر بالخطوات

نفسها مرارًا وتكرارًا؛ فعند مقارنة نتائج التجربة بالتنبؤ إما أن تثبت هذه الفرضيات نجاحها أو تفشل.

هناك جانب آخر للمنهج العلمي يحافظ على استمرار هذه العملية في التقدم وهو التكرار replication، ويعني هذا الجانب أن أي ملاحظ لديه الخبرة والأدوات الكافية يجب أن يكون قادرًا على تكرار التجارب أو التنبؤات السابقة لكي يحصل على نتائج مشابهة. وبمعنى آخر فإن العلم يشهد إعادة التحقق من الفرضيات والنظريات السابقة على نحو مستمر؛ فعلى سبيل المثال حاول فريق من العلماء في مختبر بيركلي بجامعة كاليفورنيا تخليق عنصر جديد عن طريق قصف أهداف من الرصاص بشعاع حاد من أيونات الكريبتون ثم تحليل العناصر الناتجة، بعدها أعلن علماء بيركلي اكتشافهم للعنصر رقم ١١٨ وذلك عام ١٩٩٩.

ويعد تخليق عنصر جديد أمرًا ذا أهمية كبيرة ويرجع ذلك إلى خصائص ذلك العنصر المختلفة والجديدة. وفي حالة العنصر ١١٨، فقد كان تخليق العنصر من شأنه أن يؤدي إلى دعم الأفكار السابقة بشأن استقرار العناصر الثقيلة. مع ذلك فقد عجز علماء في مختبرات أخرى (مثل مختبر GSI في ألمانيا، ومختبر GANIL في فرنسا، ومختبر RIKEN في اليابان) عن تخليق العنصر ١١٨ نفسه. وهنا أعاد فريق كبير من مختبر بيركلي التجربة لكنه فشل أيضًا في الحصول على النتائج نفسها التي أعلنت من قبل. وعندئذ أعاد فريق بيركلي تحليل بيانات التجربة الأصلية باستخدام شفرات برمجية معدلة غير أنهم عجزوا أيضًا عن إثبات وجود العنصر ١١٨، ومن ثم تراجعوا عن النتائج التي أعلنوها من قبل. وتشير هذه العملية التنقيحية إلى أن سعي العلم نحو فهم الكون هو — ويجب أن يكون — أمر لا يتوقف عند حد.

أحيانًا يُعاد التحقق من التنبؤات والتجارب؛ ففي فبراير عام ٢٠٠١، أعلن مختبر بروكهافن القومي في نيويورك عن نتيجة قائمة على تجارب أجريت على خاصية تعرف باسم العزم المغناطيسي للميون magnetic moment of muon (الميون هو جسيم سالب الشحنة شبيه بالإلكترون، ولكنه ذو كتلة أكبر بكثير) بحيث أوضحت هذه النتيجة أن مقدار العزم المغناطيسي للميون جاء أكبر قليلًا من تنبؤ النموذج القياسي لفيزياء الجسيمات (ستجد في الفصل الثاني المزيد من التفاصيل عن هذا النموذج). ولما كان تنبؤ النموذج القياسي

قد جرى التوصل إليه بعد مطابقة خصائص كثير من الجسيمات المشابهة للميون فإن الاختلاف في عزم الميون المغناطيسي يدل ضمنيًّا على وجود عيوب في النموذج القياسي.

كان التنبؤ بمقدار العزم المغناطيسي للميون نتيجة عمليات حسابية معقدة ومطولة قامت بها مجموعات مستقلة من العلماء في اليابان ونيويورك عام ١٩٩٥. وفي نوفمبر ٢٠٠١ أعاد فريق من علماء الفيزياء الفرنسيين إجراء هذه الحسابات واكتشفوا فيها استخدام إشارة سالبة خاطئة في أحد الحدود الرياضية، ونشروا النتائج التي توصلوا إليها على الإنترنت. نتيجة لذلك أعادت مجموعة بروكهافن التحقق من عملياتهم الحسابية واعترفوا بالخطأ، ونشروا النتائج المصححة، وكانت النتيجة النهائية هي تقليل الاختلاف بين التنبؤ والتجربة. ومن هنا نستطيع القول إنّ أي نموذج قياسي في الواقع ينتظره تحديات مستقبلية يجب أن يصمد أمامها إذ إن البحث العلمي مستمر ولا يقف عند نقطة ما.

الخطوات التطبيقية للمنهج العلمي

لنلق نظرة على أحد الأمثلة القديمة التي تجسد الخطوات التي يتبعها المنهج العلمي:

الملاحظة: قبل قليل من حلول القرن العشرين لاحظ العالم جوزيف جون طومسون J. J. Thomson، الذي كان يعمل مديرًا لمعامل كافنديش Cavendish في إنجلترا، وجود شعاع ضوء في أنبوب أشعة مهبطية (الأنبوب السابق على أنبوب التلفاز) ولأن هذا الشعاع (١) انحرف تجاه الصفائح الكهربية ذات الشحنات الموجبة. (٢) وصل إلى هدفه متسببًا في ومضات متفرقة من الضوء. إذن يجب أن يكون هذا الشعاع محتويًا على جسيمات سالبة الشحنة، سماها فيما بعد عالم الفيزياء الأيرلندي جورج فيتزجرالد George FitzGrald «إلكترونات» في تعليقاته على تجربة طومسون (وقد استعمل كلمة الإلكترون قبل ذلك عالم فيزياء أيرلندي آخر يدعى جورج ستوني George Stoney باعتبارها وحدة الشحنة الكهربية).

الفرضية: بما أن الذرات لا تحمل شحنة (أي: متعادلة)، ووجد طومسون جسيمات سالبة الشحنة فيها، فقد استنتج أنّ الذرات لا بد أن تحتوي أيضًا على شحنات موجبة. وقد قدم طومسون عام ١٩٠٣ تفسيرًا بأن الشحنة الموجبة تتخلل جميع أرجاء الذرة، في حين أن الإلكترونات سالبة الشحنة توجد بشكل دائم داخل المادة الموجبة، ويشبه ذلك توزيع حبات الزبيب في حلوى البودنج. ولهذا سُمِّيَ بنموذج البودنج لطومسون.

التنبؤ: كان إرنست رذرفورد Ernest Rutherford خبيرًا في الجسيمات الموجبة الشحنة التي تُعرف بجسيمات ألفا، وفي بداية القرن العشرين تنبأ إرنست أنه إذا أطلقت هذه الجسيمات على ذرات تحتوي على الجسيمات الموجبة المتفرقة — التي تتخلل الذرة بأكملها حسب نموذج طومسون — فإن معظم هذه الجسيمات سيتخذ مسارًا مستقيمًا وبعضها سينحرف بمقدار بسيط.

التجربة: عام ١٩٠٩ أعدّ هانز جيجر Hanz Geiger وإرنست مارسدن Ernest Marsden جهازًا لإسقاط جسيمات ألفا على صحيفة رقيقة من ذرات الذهب وكانت النتائج مختلفة تمامًا عما توقعاه. فقد انحرفت بعض جسيمات ألفا بزوايا كبيرة بل ارتد البعض الآخر منها إلى الخلف. وقال رذرفورد تعقيبًا على ذلك: «كان الأمر مدهشًا فقد كان بمنزلة إطلاق قذيفة من عيار ١٥ بوصة على ورقة رقيقة فلم تنفذ خلالها بل ارتدت إليك لتصيبك.»

التعديل: حلَّ نموذج النظام الشمسي لرذرفورد، الذي تتكثف به الشحنة الموجبة داخل نواة صغيرة نسبيًّا في منتصف الذرة وتتحرك الإلكترونات (التي تشبه الكواكب) في مدارات دائرية حول النواة (التي تشبه الشمس)، محل نموذج البودينج لطومسون. بعد ذلك وفي القرن العشرين، وكنتيجة للتجارب المتتابعة، فقد حلت نماذج أخرى محل نموذج رذرفورد. فعندما تتعارض نتائج التجارب مع ما تتنبأ به الفرضية، عندئذ يحين الوقت لتعديل الفرضية.

وبالمثل، ففي الوقت الذي كان تحليل إسحاق نيوتن للحركة، وفرضيات جيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwell الخاصة بالطاقة الكهربية

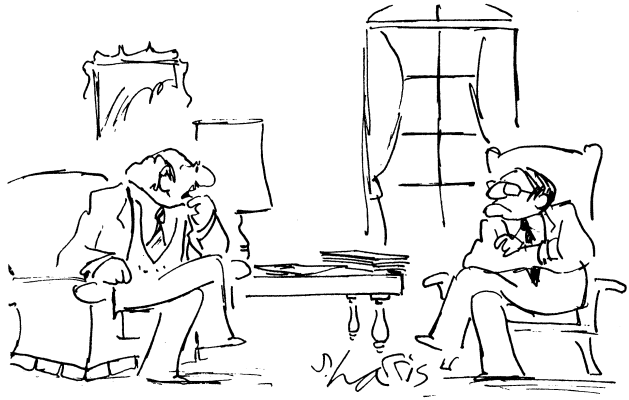
والمغناطيسية يعتبران الزمان والمكان مطلقين، ويا لها من فكرة جذابة! أثبتت النظرية النسبية الخاصة لأينشتاين غير ذلك؛ فقد جعلت هذين المطلقين كميتين نسبيتين مخالفة بذلك الحدس ومتعارضة مع الفلسفة الشائعة آنذاك، ولكن السبب الرئيس الذي حمل الجميع على قبول نظرية النسبية هو توافق الدليل التجريبي مع ما تنبأت به النظرية.

على أنه مع شيوع فكرة ما وشهرة مؤيديها، وعدم جاذبية النظرية الجديدة، والآراء السياسية لواضع النظرية أو صعوبة فهم فكرة النظرية، فإن العامل الأهم هو أن الدليل التجريبي هو الفيصل.

تعقيدات

إن المنهج العلمي الذي قدمناه هنا هو تصوير عقلاني للطريقة التي تستخدمها العلوم بالفعل. ولكي تُجرى العملية بهذه المثالية بحيث تفوق في دقتها وبراعتها تلك العمليات التي تحدث في حياتنا اليومية، سيكون هناك حاجة إلى عدد كبير من الناس، وربما تنقضي فترات زمنية طويلة بين خطوات المنهج التي لا تحدث وفقًا لنظام متعاقب ومتسلسل. على أن العودة إلى الماضي والنظر في مراحل التطور العلمي يمنحانا رفاهية إدراك هذه المراحل بعد انقضائها.

هناك بعض العوامل التي تزيد من صعوبة هذا الأمر، وفي مقدمتها أن العلم يضع بعض الافتراضات الفلسفية التي يرفضها بعض الفلاسفة؛ فالعلم على سبيل المثال يفترض وجود حقيقة موضوعية لا تعتمد في شيء على من يلاحظها. ولولا هذه الموضوعية لكان من الممكن أن تختلف الملاحظات والنتائج المتماثلة من معمل لآخر، وما كان للباحثين أن يتفق بعضهم مع بعض حول أي فرضية. فضلًا عن ذلك فإن العلوم تفترض أن الكون كان — ولا يزال — يسير وفقًا لقوانين ثابتة ومحددة، وأن هذه القوانين ليست عصية على عقول البشر. فإذا لم يكن هناك نمط للمبادئ الحاكمة للكون، أو إذا لم يكن في وسعنا فهم هذه المبادئ، لما كان من الممكن أن تخرج إلى النور أي من هذه الفرضيات التي هي نتاج جهد العلماء. وبالنظر إلى أن فهمنا وإدراكنا لهذه القوانين في نمو مطرد، وباتت التجارب تؤكد صحة التنبؤات المبنية على أساس هذه القوانين، فإنه يتراءى لنا أن هذه الافتراضات مقبولة.



«أعتقد أنني أمعنت في التفكير أكثر منك، وتجاربي الذهنية تدحض تجاربك الفكرية»

ولأن الفرضيات العلمية تتناول أحداثًا تجري خلال مدة زمنية طويلة، فالكثير منها يتناول أحداثًا ماضية لا يمكن التحقق منها تجريبيًّا بطريقة مباشرة، ولهذا يكون الحل المتبع عادة لهذه المشكلة هو فحص هذه الفرضيات والتحقق من صحتها باستخدام علوم متعددة في محاولة إلى الوصول إلى اتفاق مشترك. ومثال ذلك تلك الفرضية التي تقول إنّ عمر الأرض يتجاوز ٤ بليون سنة، فقد دعم صحة هذه الفرضية قياسات علماء الفلك لزيادة الهليوم في باطن الشمس، ودعم صحتها أيضًا قياسات علماء الجيولوجيا لحركات الألواح التكتونية وكذلك من قياسات علماء الأحياء لنمو الشعاب المرجانية.

ونظرًا لعدم توافر نتائج تجريبية لبعض الظواهر (كتلك الظواهر التي حدثت في الماضي السحيق ولم يكن هناك بشر يلاحظونها ليتناولونها بالدراسة، أو تلك التي تحدث في مناطق من الكون لا يمكن الوصول إليها)، فيمكن عندئذ تقديم أكثر من فرضية لتفسير تلك الظواهر. جرى التعامل مع هذا الموقف الصعب والحرج — المتمثل في وجود فرضيات متعددة والمقترن مع استحالة وجود دليل تجريبي يؤيد أو يدحض هذه الفرضيات — عن طريق أحد مبادئ التبسيط العلمي الذي يعرف باسم شفرة أوكام Ockham’s Razor نسبة إلى الفيلسوف البريطاني ويليام الأوكامي William of Ockham (١٢٨٥–١٣٤٩) الذي كان راهبًا فرانسيسكانيًّا وكان كثيرًا ما يستخدم في كتاباته الفلسفية مبدأ شاع في العصور الوسطى وهو: «البحث في أكثر من اتجاه لا يكون إلا

أينشتاين مبسطًا

عند الضرورة.» وقد ظهر هذا المبدأ في الأوساط العسكرية بصورة أكثر بساطة حيث أصبح عبارة عن المفردة KISS وهي مفردة جامعة للحروف الأولى لعبارة Keep It Simple, Stupid أي: لتجعل الأمر بسيطًا أيها الغبي، أو عبارة Keep IT Short and Sweet أي: لتجعل الأمر موجزًا ولطيفًا. وبصرف النظر عن الصيغة، فإن هذا المبدأ يرشدنا في حالة افتقارنا للدليل التجريبي؛ بمعنى أنه إذا كانت هناك فرضيات كثيرة، ولا يمكن القيام بأية تجربة للاختيار بينها، فيجب اختيار أبسط فرضية.

لقد أثبتت التجارب أن هذا المبدأ حكيم. فعلى سبيل المثال، عام ١٩٧١، رصد القمر الصناعي أوهورو Uhuru، الذي يقيس الأشعة السينية، أن كوكبة الدجاجة Constellation Cygnus الموجودة في نصف الكرة السماوية الشمالي تنبعث منها أشعة سينية قوية من نجم سُمي فيما بعد باسم (الدجاجة إكس-١) Cygnus X-1. لم يكن هناك مصدر واضح لهذه الأشعة التي ثبت فيما بعد أنها تنبعث من مكان يبدو أنه فارغ بالقرب من النجم الفائق العملاق المعروف باسم HDE 226868، الذي يبعد عن الأرض ٨,٠٠٠ سنة ضوئية. (انظر مجلد الأفكار ١٤ الذي يحمل عنوان «فهرسة أسماء النجوم» للحصول على تفسير لتسمية النجم HDE). فأحد الفرضيات التي وضعت لتفسير هذه النتيجة هي أن النجم HDE 226868 له نجم مصاحب لا يمكن رؤيته باستخدام أي تلسكوب بصري، وأن هذا الشبح جذب الكتلة التي انفصلت عن النجم HDE 226868. ونظرًا لانجذاب هذه المادة نحو النجم غير المرئي، ازدادت درجة

حرارته، مما أدى لانبعاث هذه الأشعة السينية. وإذا أردنا أن نضع فرضية أخرى غير هذه فإن الفرضية الجديدة ستتطلب على الأقل وجود جسمين غير مرئيين يتفاعلان مع النجم HDE 226868 وهذان الجسمان هما نجم صغير جدًّا لا يمكن رؤيته، ونجم نيوتروني يدور حوله (والنجم النيتروني يقصد به قلب أي نجم أكمل دورة حياته ثم انكمش وأصبح كرة نيوترونية). وفي حال وقوع هذه الأجسام الثلاثة في ترتيب محدد، عندئذ تنبعث أشعة سينية مشابهة لتلك التي رُصِدَت.

ولما كان من الصعب جدًّا إخضاع نجم (الدجاجة إكس-١) إلى الاختبار المباشر بسبب المسافة الشاسعة التي تفصل بينه وبيننا على الأرض، ناهيك عن أن جميع إشعاعاته انبعثت منذ ٨,٠٠٠ سنة ضوئية، كان لا بد أن نختار إحدى الفرضيتين السابقتين، فأيّهما نختار؟ بناء على الدعم التجريبي يمكن اختيار كلٍّ منهما. ولكن باستخدام شفرة أوكام، يكون أبسط التفاسير الذي يفترض وجود جسم واحد هو الفرضية التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار. لذلك، أصبح نجم الدجاجة إكس-١ أول مثال مسجل لنجم مصاحب غير مرئي يعرف باسم الثقب الأسود black hole. ونتيجة لذلك، اكْتُشِفَ أكثر من ٣٠ نجمًا من أمثال هذا النجم في ظل ظروف مماثلة.

على أن مبدأ شفرة أوكام لا ينبغي أن يستخدم إلا عندما يكون من الصعب دعم إثبات الفرض بدليل تجريبي. ويقوم هذا المبدأ على اختيار أبسط الفرضيات التي تتفق مع الملاحظات. وليس معنى ذلك أن هذا المبدأ يمكن أن يستبعد الفرضيات الأخرى التي يُثبت الدليل صحتها مهما بلغت درجة تعقيدها، كما أن هذا المبدأ لا يمكنه أن يُنَحِّي الدليل التجريبي جانبًا؛ إذ إنه من المؤكد أن مبدأ شفرة أوكام محبب إلى نفوس العلماء بدرجة أقل من الدليل التجريبي الدامغ، غير أنهم في بعض الأحيان يلجأون إليه لأنه ليس أمامهم غيره.

المشكلات المستعصية

والآن بعد أن رأيت إلى أي مدى تتوافق العلوم مع النظام العام للنشاط العقلي الإنساني وكيفية عملها، يمكنك الآن إدراك أن طريق العلم مفتوح ويتيح لك أن تسير في مسارات عديدة ومختلفة من أجل الوصول إلى فهم أفضل

للكون. فهناك ظواهر جديدة تُرصد، والفرضيات الموجودة بالفعل لا تقدم أي معلومات حول هذه الظواهر. لذا يصوغ العلماء فرضيات جديدة حتى تحل الأفكار الفعالة محل هذا النقص في المعلومات، ومن ثم تصبح التنبؤات أفضل من ذي قبل، كما تُصَمَّم أجهزة مبتكرة لاستخدامها في التجارب. تؤدي كل هذه النشاطات إلى وضع فرضيات تظهر طريقة عمل الكون على نحو أكثر دقة، فالهدف الرئيس من هذه الأنشطة هو فهم الكون ابتداء من أبسط التفاصيل حتى أوسعها وأعقدها.

على أنه يمكن أن يُنْظَر إلى الفرضيات العلمية باعتبارها إجابات على الأسئلة أو المشكلات التي تتعلق بالكون. وفي هذا الكتاب نهدف إلى بحث واستكشاف أكبر خمس مشكلات لم يتوصل العلماء إلى حلول لها حتى الآن. وكلمة «أكبر» التي وصفنا بها المشكلات تعني أن هذه المشكلات تمتلك أكبر قوة تفسيرية، وأنها أصعب مشكلات تواجه العلماء، وأن لها أعمق التأثيرات، وأنها أكثر أهمية فيما يخص فهمنا للكون، وأنها تمتلك أكثر التطبيقات التي يمكن تطويرها في المستقبل. وسيقتصر بحثنا على الأمور التي تمثل أكبر مشكلة في كل علم من العلوم الطبيعية الخمسة، وسنحاول وصف نوع التطور الذي يمكن أن نتوقعه من كل حل لكل من هذه المشكلات. فمن المؤكد أن العلوم الإنسانية والدراسات الإنسانية والمجالات التطبيقية تحتوي على مشكلات مستعصية مهمة هي الأخرى (مثل طبيعة الوعي)، ولكن مثل هذه المشكلات لا تقع في نطاق بحث هذا الكتاب.

وفيما يلي المشكلات التي وقع اختيارنا عليها لتكون أكبر المشكلات المستعصية التي نرشحها لكل علم من العلوم الطبيعية الخمسة، إضافة إلى الأسباب التي أدت بنا لاختيارها.

الفيزياء: تُعدّ الخصائص المرتبطة بحركة الكتلة، مثل السرعة والعجلة وكمية التحرك وطاقة الحركة وطاقة الوضع من الخصائص التي يمكننا فهمها فهمًا جيدًا. على أن طبيعة الكتلة نفسها من الخصائص غير المفهومة إذ إن هذه الخاصية تميز معظم — وليس كل — الجسيمات الأساسية في الكون. وتعد أكبر مشكلة مستعصية في الفيزياء هي: لماذا لبعض الجسيمات كتلة والبعض الآخر عديم الكتلة؟

الكيمياء: لقد دُرِست التفاعلات الكيميائية لكل من الكائنات الحية والكائنات غير الحية دراسة مكثفة وحققت دراستها نجاحًا مبهرًا. وتعد أكبر مشكلة مستعصية في الكيمياء هي: ما سلسلة التفاعل الكيميائي التي استطاعت الذرة من خلالها تكوين أول كائن حي؟

علم الأحياء: نجح العلماء حديثًا في رسم خريطة الجينوم أي المخطط الجزيئي للعديد من الكائنات الحية. فالجينوم قد فك شفرة المعلومات الخاصة بالبروتينات الأولية المكونة للحياة أو ما يسمى بالبروتيوم proteome. وتعد أكبر مشكلة مستعصية في علم الأحياء هي: ما البنية الكاملة للبروتيوم وما وظيفته؟

الجيولوجيا: يصف نموذج الألواح التكتونية التفاعلات التي تحدث بين طبقات الأرض البعيدة عن المركز. ولكن الظواهر الجوية للأرض، وخاصة أحوال الطقس، تبدو عقبة أمام المحاولات التي تسعى لصياغة نماذج تؤدي إلى تنبؤات أكثر دقة. وتعد أكبر مشكلة مستعصية في الجيولوجيا هي: هل يمكن التنبؤ بالطقس على المدى الطويل بدقة؟

علم الفلك: على الرغم من إدراك جوانب عديدة عن البنية العامة للكون، فإننا لا نزال لم نستوعب فهم ديناميكيات هذه البنية فهمًا كبيرًا. لقد أقرت بعض الاكتشافات الحديثة أن معدل تمدد الكون يتزايد وهذا يجعل من الممكن استمرار عملية تمدد الكون إلى الأبد. لذا، فتعد أكبر مشكلة مستعصية في علم الفلك هي: لماذا يتمدد الكون أسرع وأسرع؟

وأنت تقرأ صفحات الكتاب سوف تظهر أمامك أسئلة أخرى عديدة وشيقة مرتبطة بهذه المشكلات، وربما تصبح بعض هذه الأسئلة هي أكبر الأسئلة في المستقبل. وسوف نناقش هذه الأسئلة باختصار في مجلدات الأفكار في نهاية الكتاب.

قال ويليام هارفي William Harvey الطبيب البريطاني في القرن السابع عشر الذي اكتشف طبيعة الدورة الدموية: «إن كل ما حصلناه من معارف لا يساوي شيئًا بالمقارنة بما لم نعرفه بعد.» فكن مستعدًّا، فالأسئلة الجديدة تظهر قبل الإجابة عن الأسئلة القديمة، وكلما ازدادت دائرة ضوء العلوم زاد محيط الظلام الذي يعترض طريقها.

الفصل الثاني

الفيزياء

لماذا تحتوي بعض الجسيمات على كتلة ولا يحتوي البعض الآخر على كتلة؟

سيأتي يوم على العملاق ذي الوجه الطفولي ليظهر فيه بوجهه الحقيقي.

ويليام شكسبير
من مسرحية ترويلوس وكريسيدا

الفيزياء هي دراسة خصائص المادة سواء أكانت ساكنة أم متحركة، وهي أيضًا دراسة الصور المختلفة للطاقة. وهناك أمور قد أحطنا بها فهمًا كالخصائص المرتبطة بالحركة مثل السرعة والعجلة وكمية الحركة والطاقة الحركية والطاقة الكامنة. على أن هناك أمورًا لا تزال غير مفهومة مثل طبيعة الكتلة. وتعد الكتلة إحدى الخصائص المميزة لمعظم صور المادة. وفي الحقيقة، يمثل أصل الكتلة أكبر المشكلات المستعصية في علم الفيزياء حاليًّا.

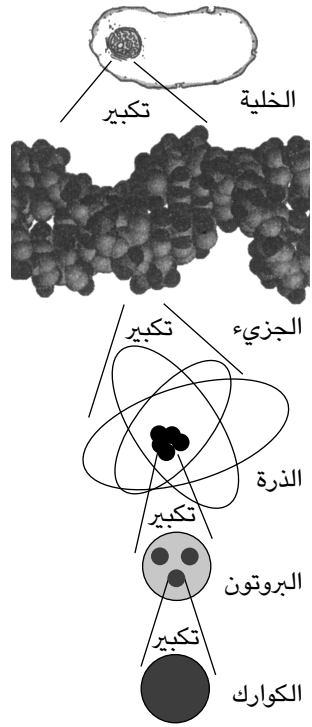
الكتلة

إن حقيقة وجود الكتلة من الأمور التي نألفها جميعًا، فالكتلة أمر واضح وبديهي، وكلنا يلمسها على نحو متفاوت فبعضنا كتلته كبيرة للغاية والبعض الآخر كتلته صغيرة للغاية؛ فالكتلة هي التي تجعل سحب سيارة معطلة

أصعب من سحب عربة أطفال. وتشدّ الجاذبية الكتلة نحو الأرض بقوة، ولولا ذلك لما ثبتنا على كوكب الأرض.

ومع كل ذلك يبقى أمر «أصل» الكتلة محيرًا، فمعظم — ولكن ليس كل — الجسيمات الأساسية في الكون لها كتلة. والسؤال إذن: لماذا نجد بعض الجسيمات لها كتلة في حين أن جسيمات أخرى ليست لها كتلة؟ وما الذي «يمنح» الكتلة لبعض الجسيمات ولا يمنحها للبعض الآخر؟ وحتى في الجسيمات ذات الكتلة هناك تباين، فإننا نجد جسيمات كتلتها أكبر من كتلة جسيمات أخرى، فما السبب؟ فهل الجسيمات عديمة الكتلة ينقصها شيء آخر غير الكتلة؟ ربما تكمن إجابة جميع هذه الأسئلة في شيء يطلق عليه مجال هيجز Higgs Field. على أننا نحتاج لأن نتزود ببعض المعلومات الأساسية قبل أن يصير بإمكاننا فهم واستيعاب مجال هيجز.

نستهل هذا الأمر بقولنا إننا نعلم جميعًا أن كتلة الجسم مرتبطة بمقدار المادة التي يحتوي عليها، ونحن نمتلك في الوقت نفسه معرفة كبيرة بمكونات المادة: فهي تتكون من مجموعات من الذرات. ولكن ترى مما تتكون الذرة؟ إنها تتكون من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات. ولكن ترى مما تتكون الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات؟ الإجابة على هذا السؤال هي أن الإلكترون هو أصغر صورة ممكنة (أي أنه لا يتكون من «أي شيء آخر») غير أن البروتونات والنيترونات ليست كذلك، فكلاهما يتركب من الكواركات



شكل ٢-١: وحدات البناء الأساسية للمادة.

quarks، ومن هنا نستطيع القول إنّ الإلكترونات والكواركات هي ما يمكن أن نطلق عليها بحق وحدات أولية أساسية.

وقبل أن نناقش المسألة المستعصية لطبيعة الكتلة يجب علينا أولًا أن نعرف من أين تأتي الكواركات. (انظر الشكل ٢-١). وفي أثناء ذلك سيتصادف أن نتقابل مع بضعة جسيمات أولية أخرى، وسوف نرى أن المجالات يُنظر إليها باعتبارها أكثر أولية من الجسيمات نفسها، وسوف نتعرض بالبحث لأحد أفضل نظريات المجال الفيزيائية وهي نظرية النموذج القياسي. وبعد ذلك سنعرض قصور هذه النظرية المتمثل في أنها لا تحدد بالضبط مصدر الكتلة، علاوة على أنها تتجاهل الجاذبية برمتها. وأخيرًا سنستكشف النظريات التي يمكن أن تحل محل نظرية النموذج القياسي والتي قد تساعدنا على حل مشكلة أصل الكتلة.

الكوارك هو وحدة البناء الأولية وليست الذرة

لمعرفة المزيد عن الكواركات، يجب علينا أولًا أن نلقي نظرة على الذرة. ففي بداية القرن العشرين أدى اكتشاف إرنست رذرفورد لجسيم ألفا إلى اكتشاف النواة (انظر الفصل الأول)، ولكن لم يكن هذا إلا البداية فقط. فقد كشفت أبحاث علماء الفيزياء — سواء التجريبية أو النظرية — تفاصيل أكثر وأدق بشأن وحدات البناء الأساسية للكون. فقبل عام ١٩٢٠، اكتشفت بنية الذرة واتضح أنها تحتوي على نواة وهذه النواة تحتوي على بروتونات موجبة الشحنة، ونيوترونات متعادلة (مع أنه آنذاك لم يكن هناك دليل تجريبي على وجود النيوترونات)، وإلكترونات تدور حول النواة.

ولكن سرعان ما تهاوى هذا التصور؛ فعام ١٩٠٠، عندما كان عالم الفيزياء الألماني ماكس بلانك يحاول تفسير انبعاث الضوء من الأجسام الساخنة، أدرك أن الطاقة الضوئية تنبعث على هيئة حزم أسماها الكمات quantum (جمع كم Quanta) ولا ينبعث بأي كمية مثلما كان يظن من قبل. (فكر في قطعة السجق الواحدة وفي قطع السجق المجدولة معًا.) ووقتها أيقن بلانك أن علم الرياضيات هو الذي سيحل هذه المشكلة. وبعد خمسة أعوام فقط أي عام ١٩٠٥م أعاد ألبرت أينشتاين النظر في فكرة الكم التي وضعها بلانك، وأوضح أنه إذا كان الضوء فعلًا ذا طبيعة كمية فإن شرح غموض مسألة التأثير الكهروضوئي سيكون أمرًا سهلًا. ولكن ما التأثير الكهروضوئي؟

يظهر التأثير الكهروضوئي عندما يسقط الضوء على معدن، ويؤدي هذا الضوء إلى انبعاث إلكترونات على الفور من هذا المعدن، ولكن إذا كان تردد الضوء منخفضًا فلن تنبعث أي إلكترونات بصرف النظر عن كثافة مصدر الضوء. وقد أوضح أينشتاين أن الضوء يعمل كجسيم فهو يمنح كل طاقته لأحد الإلكترونات مما يحرر ذلك الإلكترون. وهكذا فسرت العلاقة التي أوجدها بلانك بين الطاقة والتردد أنه عند انخفاض التردد الضوئي لن تنبعث إلكترونات، أي أن فوتونات الضوء لا تحتوى على الطاقة الكافية لتحرير الإلكترونات، وهنا يظهر سلوك الضوء كجسيم أكثر منه كموجة.

في العشرينيات من القرن العشرين، اتسع نطاق فكرة الكم لتشمل الذرات، ونتيجة لذلك ظهر النموذج الميكانيكي الكمي للذرة Quantum Mechanical

Model of the Atom. وقد عكست هذه النظرية موقف الضوء عن طريق معاملة إليكترونات الذرة ذات الخصائص الشبيهة بالجسيمات كما لو أن لها خصائص موجية. أما تنبؤات هذه النظرية بشأن ألوان الضوء المنبعث للذرات المثارة فقد توافقت مع الدليل الذي حُصل عليه عن طريق منظار التحليل الطيفي، وهكذا نجحت هذه النظرية تجريبيًّا، ومن ثم أصبح التناظر مكتملًا، بمعنى أن الضوء يمكن أن يظهر كموجات أو جسيمات، وكذلك الإلكترون (أو البروتون أو النيوترون) يمكن أن يظهر كجسيم أو موجة، ويعتمد كل هذا على نوع التجربة التي نقوم بها.

كان مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج Heisenberg هو أحد النتائج التي ترتبت على نظرية ميكانيكا الكم، ويقول هذا المبدأ إن هناك نهاية رياضية لحاصل ضرب دالّتين إحداهما تعبر عن عدم اليقين في موضع الجسيم وتعبر الأخرى عن عدم اليقين في كمية تحركه، ونهاية رياضية تعادل حاصل الضرب لدالتين إحداهما تعبر عن عدم اليقين في الطاقة وتعبر الأخرى عن عدم اليقين في الزمن. ويعني هذا المبدأ أنه كلما حددنا موضع الإلكترون على نحو أكثر دقة ترتب على ذلك أن تحديدنا لكمية تحركه سيكون أقل دقة، والعكس صحيح. وهذا المبدأ الذي ينطبق على جسيمات الذرة لا يكون له تأثير ملحوظ في الأشياء ذات الحجم الكبير، على أن النتائج الفلسفية المترتبة على هذا المبدأ كثيرة جدًّا: فهو يعني أن هناك حدودًا لمعرفتنا، وهو أمر وجد كثير من العلماء — بما فيهم أينشتاين — صعوبة في تقبله. ومع ذلك فلا بد أن نتقبل هذا المبدأ لأنه قائم على فرضية صحيحة.

بعد ذلك كان يجب أن يحدث تكامل بين ميكانيكا الكم والفكرة الثورية الأخرى التي ظهرت في بداية القرن العشرين ألا وهي نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين. وعام ١٩٢٨ تمكن عالم الفيزياء البريطاني بول أندريان موريس ديراك P. A. M. Dirac من التوفيق بين هاتين النظريتين في المعادلة التي تعرف باسم معادلة ديراك. ولم تكن هذه المعادلة الجديدة شاملة فحسب بل تسببت في الوقت نفسه وعلى نحو غير مقصود في التوصل إلى معلومات جديدة أضيفت إلى علم الفيزياء؛ فقد تنبأت بوجود جسيم جديد مماثل للإلكترون ولكن الفرق هو أن هذا الجسيم شحنته هي +١ في حين أن الإلكترون شحنته هي −١.

وأطلق على هذا الجسيم اسم مضاد الإلكترون أو البوزيترون positron (أي الإلكترون الموجب).

الأشعة الكونية تنقذ الموقف

تعد التنبؤات التي تفترض وجود جسيمات جديدة هي مجرد مرحلة ويجب أن تكتمل عن طريق الدليل التجريبي. ونظرًا لغياب الدليل على وجود البوزيترون، فقد كان هناك شك في وجوده. على أنه في مطلع ثلاثينيات القرن العشرين بدأ عالم الفيزياء الأمريكي كارل د. أندرسون Carl D. Anderson في استخدام طريقة جديدة لدراسة المادة، وهي الجسيمات المعروفة باسم الأشعة الكونية. ويذكر أن أعظم المكونات لهذه الأشعة الكونية هو البروتونات، كما تشكل جسيمات ألفا نسبة في تكوينها (وجسيمات ألفا هي نواة ذرة الهيليوم وتتكون من ٢ بروتون و٢ نيوترون متحدين). وهذه الأشعة الكونية يمكن النظر إليها باعتبارها ضوءًا ذا ترددات متباينة. وتمثل هذه الجسيمات نطاقًا واسعًا من الطاقات، وهي تسقط على الأرض من جميع الاتجاهات، وتتسارع حتى يصل معدل الإسقاط إلى جسيم في كل ثانية. ومع أن الشمس تعد مصدرًا كبيرًا للأشعة الكونية فقد لوحظ وجود جسيمات لأشعة كونية أكثر وأنشط قادمة من جهات أخرى غير الشمس.

ويجب أن نعرف أن الأشعة الكونية غير مرئية، وأن تأثيرها على المادة ضئيل جدًّا وتصعب ملاحظته. ولكن مع ذلك تمكن أندرسون من استخدام تقنيتين لاستكشاف الجسيمات: المجال المغناطيسي، والغرفة الغيمية التي اخترعها الفيزيائي البريطاني تشارلز ويلسون (وهي جهاز يمكّن من رؤية مسارات الجسيمات المشحونة ومن تسجيل هذه المسارات بالتصوير)؛ فالمجال المغناطيسي جعل مسارات الجسيمات المشحونة تنحني داخل الغرفة الغيمية المحتوية على هواء نظيف ومشبع ببخار الماء. وجعلت الجسيمات التي تتحرك بسرعة داخل الغرفة جزيئات الهواء تتأين. وهكذا تعمل جزيئات الهواء المتأينة كنقاط تجمع لبخار الماء وتكوِّن سحبًا، وهذه السحب تسمح بملاحظة المسارات تمامًا كما يحدث في الغلاف الجوي للأرض عندما نرى ذيل الدخان الناتج عن طائرة، مع أن الطائرة نفسها قد لا تكون واضحة للعين.

أجرى أندرسون تجاربه في ولاية كلورادو حيث يعمل الارتفاع الكبير على تقليل تأثير الغلاف الجوي لكوكب الأرض على الأشعة الكونية القادمة للأرض. وأظهرت إحدى الصور أحد المسارات الذي اتجه في عكس اتجاه مسار الإلكترون مما يدلل على وجود البوزيترون. وأوضحت التجربة أن كل الجسيمات تقريبًا لها جسيمات قرينة مضادة لها في الشحنة، وتتمايز عنها في أمور في غاية الدقة. (انظر مجلد الأفكار ١، المادة المضادة).

وبالنظر إلى أن فرضية ديراك قد تنبأت بوجود البوزيترون، فإن اكتشاف البوزيترونات دعم معادلته الكمية النسبية (سميت بذلك لأنه أدخل تعديلات على ميكانيكا الكم بعد إضافة نظرية النسبية الخاصة إليها). بالإضافة إلى ذلك اكتشف أندرسون شيئًا آخر أحدث إرباكًا أكبر، فقد لاحظ مسارات لجسيمين جديدين يحتوي كل منهما على كتلة أكبر ٢٠٠ مرة من كتلة الإلكترون، كان أحدهما موجب الشحنة والآخر سالب الشحنة، وقد أطلق عليهما اسم الميون والميون المضاد. وقد أدى اكتشاف هذين الجسيمين، وكذلك خصائصهما، إلى حدوث ارتباك كبير لأن الميونات لم يكن لها موضع يمكن تحديده بوضوح في منظومة المادة. ولعل الذعر الذي أصاب الوسط الفيزيقي قد تجسد في رد فعل ايزيدور ايزاك رابي I. I. Rabi عالم الفيزياء الحاصل على جائزة نوبل تعقيبًا على سماعه للمرة الأولى عن إعلان اكتشاف الميون فقد علق بقوله: «من ذا الذي فعل هذا؟!»

القوى الأربع

وكما لو أن هذه الجسيمات الجديدة لم تتسبب فيما يكفي من الارتباك، فقد اكتشفت في ثلاثينيات القرن العشرين قوى جديدة أيضًا، فإضافة إلى القوتين المعروفتين بالفعل وهما الجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية، اكتشفت قوتان جديدتان وهما القوة النووية القوية التي أبقت على البروتونات والنيوترونات داخل النواة، والقوة النووية الضعيفة المسئولة عن بعض عمليات تحلل الإشعاع النووي. وما يثير الانتباه هو أن كلًّا من القوة النووية القوية والقوة النووية الضعيفة يصل إلى أقصى قوته في مساحات صغيرة جدًّا، بل إن هذه القوة تتلاشي نهائيًّا إذا تباعدت الجسيمات بعضها عن بعض بمقدار أكبر من مقدار

«جسيمات، جسيمات، جسيمات»

المسافات النووية. ولذلك لا نتمكن من رؤيتها لأن هذه القوى تعمل في مساحات من الدقة بمكان حيث لا يمكن الوصول إليها.

وفي ثلاثينيات القرن العشرين صاغ عالم الفيزياء الإيطالي إنريكو فيرمي Enrico Fermi نظريته عن القوة النووية الضعيفة التي تنبأت بوجود جسيم آخر. كان هذا الجسيم متعادلًا كهربيًّا وكانت وظيفته نقل الطاقة المفقودة أثناء إحدى عمليات التحلل الإشعاعي التي تُرْصَد، وأطلق فيرمي على هذا الجسيم اسم «الجسيم المتعادل الصغير» أو النيوترينو neutrino. وكان النيوترينو تقريبًا جسيمًا شبحيًّا (لأن كتلته تكاد تقترب من الصفر) يتفاعل مع المادة العادية تفاعلًا غير متسلسل، لدرجة أنه قد يستغرق ثماني سنوات ضوئية (أكبر من ضعف المسافة بين الشمس وأقرب نجم) لتجميع نصف النيوترينوات في مجموعة. ومع ذلك فقد اكْتُشِفَت النيوترينوات تجريبيًّا على يد عالِمَي الفيزياء

الأمريكيين فريدريك رينيز Frederick Reines وكلايد كووان Clyde Cowan وكان ذلك عام ١٩٥٣. وكأن هذا هو ما كان يحتاجه علماء الفيزياء: جسيم آخر!

أيهما أصعب: تجزئة الجسيم أم فصل مكوناته؟

كان العلماء في حاجة كبيرة إلى أدوات تجريبية لاستكشاف هذه الجسيمات الجديدة، غير أن الأشعة الكونية التي استخدموها اتصفت بقدر هائل من الاعتماد على الصدفة المحضة نظرًا لتنوع محتواها من الطاقة تنوعًا واسعًا جدًّا، إضافة إلى أن مصادرها كانت عشوائية، لذا صُمِّمَت آلات حديثة في بداية الثلاثينيات من القرن العشرين لاستخدامها في تنفيذ تجارب خاضعة لنظام وليست عشوائية، استخدمت فيها حزم من الجسيمات ذات محتوى معروف من الطاقة. وأصبحت هذه الآلات التي سميت مسرعات الجسيمات Particle accelerators هي الأداة الأساسية لفيزياء الجسيمات (تعرف أيضًا بفيزياء الطاقات العالية) وأصبحت أهميتها للفيزياء كأهمية المجهر لعلم الأحياء والتليسكوب لعلم الفلك.

صُمِّمَ نوعان آخران من المسرعات وكانا مختلفين اختلافًا جذريًّا عمّا سبقهما من مسرعات وهما المسرع الخطي linear accelerator والمسرع الدائري circular accelerator. وفي المسرع الخطي، تُسَرَّع الإلكترونات بواسطة المجالات الكهربية عبر مسار فارغ طويل (يبلغ طول نموذج جامعة ستانفورد على سبيل المثال أكثر من ٢ ميل.) وحتى تصطدم الإلكترونات مع أهدافها، تُوَجَّه بواسطة مجالات مغناطيسية ثم يسجل الباحثون نتائج هذا التصادم.

أما في المسرع الدائري (السيلكترون) فتُسَرَّع الجسيمات المشحونة في الفجوة التي تقع بين نصفي المسرع الدائري (يكون كل من هذين النصفين على شكل حرف D) وتعتمد مسارات الجسيمات هنا على المجالات المغناطيسية. وتنتقل الجسيمات في أقواس أوسع عندما تصبح أكثر نشاطًا. وعندما تصل إلى أقصى طاقة تنحرف خارج المسرع الدائري وتدخل في المنطقة المستهدفة التي تحدث فيها التصادمات، ثم يبحث العلماء المواد الناتجة عن التصادم. (انظر مجلد الأفكار ٢، بعنوان المسرعات). وقد حاول إرنست لورانس Ernest

O. Lawrence مخترع المسرع الدائري أن يبني مسرعات دائرية أكبر ولكنه واجه صعوبات كثيرة أوقفت محاولاته.

الشئون الدولية تعرقل تقدم الفيزياء

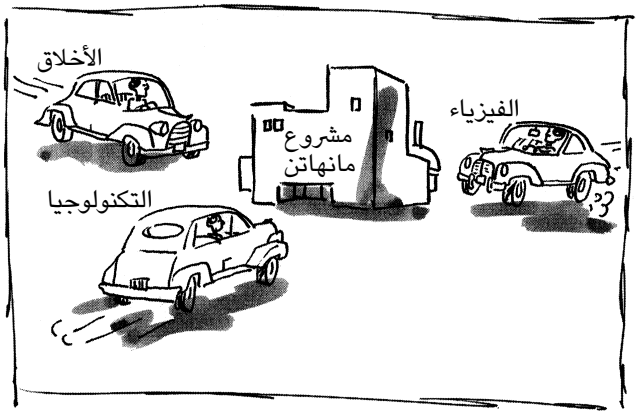
شهدت ثلاثينيات القرن العشرين اضطرابًا آخر تمثل في نشوب الحرب العالمية الثانية.

فإلى جانب عقبة تقلص تمويل الأبحاث انشغل السواد الأعظم من علماء الفيزياء بالجهود الحربية، وانضم معظمهم للعمل في مشروع مانهاتن الذي انطلق عام ١٩٤١. في البداية كانت أهداف هذا المشروع هي بحث الطاقة الناتجة عن انشطار النواة في الذرات الكبيرة مثل اليورانيوم لمعرفة إمكانية استخدام هذه الطاقة الناجمة عن الانشطار لصناعة سلاح فتاك، وكانت هناك عجلة لإنهاء هذا العمل قبل أن ينجح العلماء الألمان النازيون في صنع مثل هذا السلاح. (هناك مسرحية اسمها «كوبنهاجن» للمؤلف مايكل فراين تعرض مشاريع القنبلة النووية لألمانيا والحلفاء عن طريق العلاقة بين العالمين نيلز بور وفيرنر هايزنبرج).

وفي حين أن الجزء الخاص بالفيزياء في هذه المهمة كان يكمن في فهم النواة وأبعادها، تضمن الجزء الخاص بالتكنولوجيا تحويل هذه المعرفة إلى أداة تفجيرية. ولكن الجانب الأخلاقي احتل الصدارة، عندما هُزم الألمان، مع أنهم لم يطوروا أبدًا مثل هذه القنبلة، فبعد أن استسلمت ألمانيا عام ١٩٤٥، ترك بعض العلماء في الولايات المتحدة العمل في مشروع مانهاتن، ولكن استمر البعض الآخر حتى طوروا القنبلة الذرية والقنبلة الهيدروجينية، وأدى تطوير هذه الأسلحة إلى عواقب امتدت آثارها حتى يومنا هذا.

الفيزياء تستأنف تقدمها

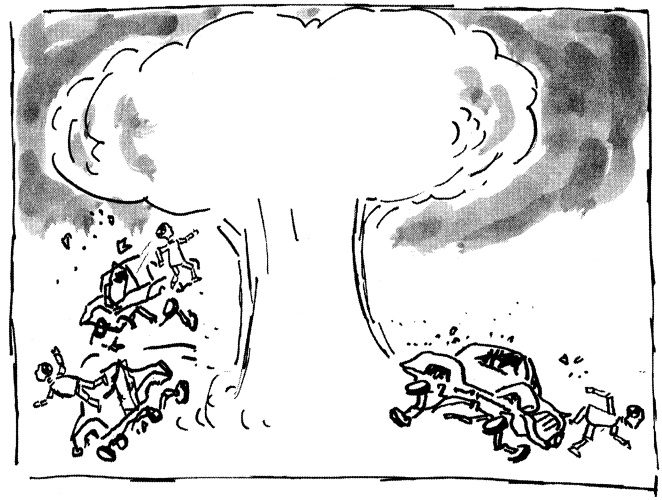
بعد انتهاء الحرب عاد السباق لاكتشاف جسيمات جديدة، وكان المسرع هو الأداة المفضلة لدى العلماء لتلك الاكتشافات. فقد أرسلت الجسيمات لتصطدم بالأهداف، وحُلِّلَت أجزاء الجسيمات الناتجة عن التصادم بمنتهى الدقة. وباستخدام الطاقات المنخفضة نسبيًّا — التي كانت متاحة في ذلك



الوقت — التحمت البروتونات بالأنوية الكبيرة وأنتجت أنوية أكبر حجمًا ولكن أقل عمرًا، واحتوت بعض هذه الأنوية الكبيرة على مواد إشعاعية وتحللت إلى أنوية صغيرة وجسيمات أخرى. وفضلًا عن ذلك فإن الأنوية الكبيرة أدت إلى زيادة حجم الجدول الدوري للعناصر مما أسعد علماء الكيمياء، في حين لم تحصل الفيزياء على جسيمات جديدة.

لذلك استمر بناء مُسَرِّعات أكبر أنتجت جسيمات أنشط. ونظرًا للتكافؤ بين الكتلة والطاقة (معادلة أينشتاين الشهيرة: الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء) فإن أكثر التصادمات نشاطًا بإمكانها إنتاج جسيمات أكبر حجمًا. على أنه بعد التوصل إلى طاقات أعلى، أصبحت المسرعات مصدرًا لاكتشافات ناجحة، فقد أظهرت الغرفة الغيمية صورًا لمسارات جديدة للجسيمات لم تُرَ من قبل، وهي البيونات المشحونة pions (π^+, π^-) والكاوونات المشحونة kaons (K^+, K^-)، والبيونات والكاوونات ذات الشحنة المتعادلة، وجسيم لمدا lambda، وجسيم سيجما sigma إلى جانب الكثير من الجسيمات الأخرى. ومع عدم استقرار هذه الجسيمات وتحللها بعد مدة قصيرة إلى جسيمات مألوفة فإن هذه الجسيمات أشارت إلى أن المادة لا تزال لديها الكثير من المفاجآت.

اشتعل سباق الجسيمات، وشرع العلماء في استعمال عدد أكبر من المسرعات الدائرية التي شهدت تطورًا في تصميمها. وعن طريق أداة تسمى السنكروترون synchrotron، سُرِّعَ المجال بواسطة المسرع السنكروتروني لضمان إطلاق الجسيمات بثبات. وفيه حلت غرفة الفقاعات Bubble Chamber محل الغرفة



الغيمية، حيث يساعد تكوين الفقاقيع في هيدروجين سائل جرى تسخينه على درجة حرارة هائلة في جعل مسارات الجسيمات مرئية. ولكن بدا الأمر كأنه بحث عن إبرة داخل كومة قش. وقد خصص أحد الطلاب الخريجين مشروع تخرجه — الذي أشرف عليه أحد مؤلفي هذا الكتاب — لهذا الأمر وحلّل ٢٤٠,٠٠٠ صورة من غرفة الفقاعات بواقع صورة في كل مرة، يا له من صبور!

كانت نتيجة جميع هذه الجهود هي تصور حدوث انفجار افتراضي للجسيمات: وقد اكتشف أكثر من ١٠٠ جسيم. وتعقيبًا على ذلك، قال الحاصل على جائزة نوبل إنريكو فيرمي لتلميذه ليون ليدرمان Leon Lederman (الذي حصل أيضًا على جائزة نوبل فيما بعد): «يا فتى، لو كان بإمكاني تذكر أسماء كل هذه الجسيمات لكنت أصبحت من علماء النبات.»

اللجوء إلى الكواركات

لقد أدى اكتشاف هذه المجموعة الكبيرة من الجسيمات إلى خلق حالة في الفيزياء يمكن مقارنتها بما واجهته الكيمياء قبل ظهور الجدول الدوري بواسطة ديمتري مندليف عام ١٨٦٩؛ فقد كان لا بد من وجود بنية تحتية، ولكن ما البنية التحتية هذه؟ ابتكر علماء الفيزياء تنظيمات متنوعة للجسيمات على المستوى النظري بحثًا عن أنماط داخل تنظيم هذه الجسيمات، وقد سميت الجسيمات

ذات الكتلة الثقيلة والمتوسطة بالهدرونات hadrons، وقُسِّمَت الهدرونات فيما بعد إلى باريونات baryons وميزونات mesons، وشاركت جميع الهدرونات في التفاعلات القوية، أما الجسيمات ضئيلة الكتلة فقد أطلق عليها اسم اللبتونات leptons وقد شاركت في التفاعلات الكهرومغناطيسية والتفاعلات الضعيفة. ولكن مثلما كانت هناك حاجة لوجود الإلكترونات والبروتونات والنيوترونات لنتمكن من تفسير مجموعة العناصر، كانت أيضًا هناك حاجة ضرورية لشيء ما يكون أوليًّا لا ينقسم لوحدات أصغر، وذلك من أجل تفسير جميع هذه الجسيمات.

عام ١٩٦٤ قدم عالما الفيزياء الأمريكيان موراي جيل-مان Murray Gell-Mann وجورج زويج George Zweig تخطيطًا جديدًا يمكن فيه تمثيل جميع الهدرونات بوصفها مركبات يتكون كل مركب منها من ثلاثة جسيمات أصغر منه ومضادات جسيمات مناظرة لها. وقد أطلق جيل-مان على هذه الجسيمات الدقيقة الجديدة اسم الكواركات، وذلك بعد قراءته لسطر في رواية بعنوان Finnegan's wake لجيمس جويس يقول: «ثلاثة كواركات لفرقة السيد مارك.» ولقد أطلق على هذه الكواركات الثلاثة (الأولى) اسم كوارك صاعد (ص) وكوارك هابط (هـ) وكوارك غريب (غ)، وحملت شحنات كهربية كسرية وهي +٢/٣، و-١/٣، و-١/٣ على التوالي، مع شحنات معاكسة لمضادات الكواركات المناظرة.

وباستخدام هذا النموذج يمكن تكوين البروتونات والنيوترونات من ثلاثة كواركات: صاعد صاعد هابط وصاعد هابط هابط على الترتيب. إضافة إلى ذلك أمكن تكوين مجموعة كبيرة من الميزونات الجديدة من أزواج الكواركات ومضادات الكواركات. فعلى سبيل المثال، يتكون البيون السالب من كوارك هابط ومضاد كوارك صاعد. وفي هذه التجربة ظهرت فكرة الكوارك كفكرة مبدئية، ومع ذلك فقد استطاع هذا النموذج حل مشكلة تنظيم هذه المجموعة الكبيرة من الجسيمات بطريقة رياضية، حيث كانت فكرة الكواركات محل شك نظرًا لأن أحدًا لم يكن قد لاحظها حتى ذلك الحين.

من الناحية التجريبية كانت البروتونات والنيوترونات مجرد كتل مبهمة تشبه الذرة كما صورها نموذج البودينج لطومسون. على أن البروتونات والنيوترونات اتصفتا بأنهما أصغر حجمًا بكثير ولم تكن هناك إمكانية

لاستكشافهما بواسطة إطلاق جسيمات ألفا على الذرات كما فعل رذرفورد، فقد كانت جسيمات ألفا كبيرة جدًّا ولم تساعد في كشف أي شيء.

درس فريق من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا في ستانفورد يعمل في مسرع ستانفورد الخطي النواة عن طريق إطلاق إلكترونات على الهيدروجين والديوتيريوم deuterium (الديوتيريوم هو النظير الأثقل للهيدروجين وتحتوي نواته على بروتون واحد ونيوترون واحد). وقاس الفريق زاوية الإلكترونات وطاقتها بعد التصادم. وباستخدام طاقات إلكترونية منخفضة كان انتشار الإلكترونات الناتج متوافقًا مع البروتونات والنيوترونات، التي لكونها بنيات «لينة» جعلت معدل انحراف الإلكترون بعد الاصطدام بها ضئيلًا جدًّا، ولكن عندما استخدم أعضاء الفريق طاقات إلكترونية عالية للغاية وجدوا أن بعض الإلكترونات فقدت معظم طاقتها الأولية وانتشرت على مجال واسع بزوايا كبيرة. وعلى غرار العمل الذي قام به رذرفورد أثناء قيامه بالخطوات الأولى لتحديد هوية النواة، فسر عالما الفيزياء الأمريكيان ريتشارد فيليبس فينمان Richard P. Feynman وجيمس بيوركن James Bjorken بيانات انتشار الإلكترون بأنه مؤشر لوجود بنية داخلية للبروتونات والإلكترونات، أي الكواركات. إذن فقد آن الأوان لأخذ فرضية الكواركات مأخذ الجد.

توحيد النظريات

تتسم الفيزياء بنزعتها الشديدة نحو تبسيط الأمور عن طريق دمج النظريات. فقبل نهاية القرن التاسع عشر أدى اعتراف جيمس كلارك ماكسويل بأن الطاقة الكهربية والطاقة المغناطيسية هما وجهان لظاهرة واحدة إلى دمج هاتين الطاقتين، وجرى نحت اسم جديد يجمع هاتين الطاقتين هو الطاقة الكهرومغناطيسية. وفي الخمسينيات من القرن العشرين دمج عالما الفيزياء الأمريكيان ريتشارد فيليبس فينمان وجوليان شوينجر Julian Schwinger وعالم الفيزياء الياباني سين-إيتيرو تومونجا Sin-Itiro Tomonaga — كل يعمل على حدة — النظرية الكهرومغناطيسية مع نظرية ميكانيكا الكم وتوصلا في النهاية إلى نظرية الديناميكا الكهربية الكمومية quantum electro-dynamics التي تعرف اختصارًا باسم نظرية QED. وفي هذه النظرية تتفاعل

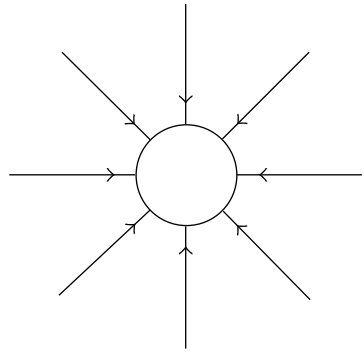
الإلكترونات بعضها مع بعض عن طريق تبادل فوتونات الضوء، غير أن الفوتونات لا يمكن ملاحظتها لأن الإلكترونات تقوم بعمليات إطلاق وامتصاص هذه الفوتونات داخل منطقة تخضع لمبدأ اللايقين لهايزنبرج. ونظرًا لعدم القدرة على ملاحظتها فقد أطلق عليها اسم الفوتونات الافتراضية.

وبينما كان يجري التحقق من الكواركات تجريبيًّا في أواخر ستينيات القرن العشرين كان يُعَدّ لمشروع جديد لتوحيد النظريات، وكانت تتضمن هذه النظرية اثنين من التفاعلات الأساسية الأربعة. فقد صاغ العلماء فينبيرج Steven Weinberg وشلدون جلاشو Sheldon Glashow في أمريكا وعالم الفيزياء الباكستاني محمد عبد السلام في تريستي بإيطاليا نظرية دُمِجَت فيها التفاعلات الكهرومغناطيسية والتفاعلات النووية الضعيفة في نظرية واحدة عرفت باسم نظرية التفاعلات الكهروضعيفة Electroweak interactions. ويذكر أنه إلى جانب قدرة هذه النظرية على تفسير الظواهر الملاحظة بالفعل بشكل أعم، فقد أضافت إلى قائمة الجسيمات عن طريق التنبؤ بوجود جسيمات جديدة، من بين هذه الجسيمات ذلك الجسيم المتعادل والكهروضعيف التفاعل الذي يسمى الآن Z^0، والجسيمان W^+ وW^-، وجسيم آخر ضخم يسمى جسيم هيجز (سوف نناقش هذا الجسيم مناقشة أوفى بعد ذلك).

عام ١٩٧٣ حدث تطور نظري جديد، فقد عُرِضَت نظرية مجال كمي للتفاعل النووي القوي لأول مرة على يد موراي جيل-مان وعالم الفيزياء الألماني هارالد فريتش Harald Fritszch. وكانت هذه النظرية، التي أطلق عليها اسم نظرية الديناميكا اللونية الكمومية quantum chromodynamics التي تعرف اختصارًا باسم نظرية QCD، وهي تشبه نظرية الديناميكا الكهربية الكمومية حيث تتفاعل الجسيمات والكواركات الأساسية عن طريق تبادل جسيمات افتراضية عديمة الكتلة (في نطاق اللايقين) تسمى الجلونات gluons، ونظرًا لعدم رؤية الجلون فإننا لا نزال بحاجة إلى دليل يثبت وجوده.

النموذج القياسي

بحلول منتصف سبعينيات القرن العشرين، كان قد جرى استيعاب التطورات النظرية والتجريبية ولُخِّصَت في نظرية واحدة سميت بالنموذج القياسي



شكل ٢-٢: مخطط مجال الجاذبية.

standard model. والاستدلال الرياضي — وهو ليس موضوع هذا الكتاب — يشكل أساس الكثير من هذه الأفكار، لذا عليك أن تفطن إلى أن هذا النموذج يحمل في طياته الكثير من المصاعب الرياضية.

والأساس الذي يقوم عليه النموذج القياسي هو فكرة أن وحدات البناء الأساسية للكون هي المجالات وليس الجسيمات. ويذكر أن المجالات قد ظهرت في الأصل لتتعامل مع مسألة التأثير عن بعد، فكيف يؤثر جسم على جسم آخر في حين أنهما متباعدان ولا توجد مادة بينهما؟ وقد أجاب نيوتن على هذا السؤال بالقول إن كلا الجسمين يستخدم قوة تؤثر على الآخر.

ولكي نستطيع فهم المجالات يجب أن نذهب بهذه الفكرة المجردة إلى مستوى أبعد: أَزِحْ أحد الجسمين، والآن تخيل أن الجسم المتبقي يمكنه التأثير على أي جسم يتصادف مروره. وهذا التأثير هو المجال الذي يستخدمه الجسم الذي لا يزال موجودًا. وإذا كان الأمر كذلك، فهناك احتمال أن يكون «المجال» بمنزلة «قوة»؛ فالمجال الجذبي، على سبيل المثال، يُرْسَم غالبًا على شكل أسهم تشير باتجاه الكتلة، كما يتضح في الشكل ٢-٢. ومن المعروف أن الفضاء لا يحتوي على خطوط أو أسهم فيزيائية، غير أن أي جسم حقيقي عندما يوجد في أي نقطة سيشعر بقوة، وستتجه هذه القوة في الاتجاه الذي تظهره الأسهم.

وبالطريقة نفسها تحيط خطوط المجال الكهربي بالشحنات الكهربية، وتحيط خطوط المجال المغناطيسي بالمغنطيسات. ونظرًا لأن برادة الحديد تتمتع بطاقة مغناطيسية قوية جدًّا، فقد ساعدت النماذج الفيزيائية وصور

الكتب التي تعرض نماذج من برادة الحديد المحيطة بالمغنطيسات في جعل المجالات المغناطيسية تبدو وكأنها شيء ملموس.

ومع أن فكرة المجال بدأت كأداة تخيلية فإنها الآن تقوم بدور محوري في الفيزياء، ويري النموذج القياسي ما يأتي:

- المجالات هي وحدات البناء الأساسية للكون.
- تَنْتُج الحزم الصغيرة للطاقة (الكواركات أو اللبتونات) عندما تُطبق المبادئ الكمية على المجالات.
- تحدث التفاعلات بين الجسيمات عن طريق تبادل حزم طاقة أخرى (البوزونات bosons)، وهذه البوزونات لا يمكن ملاحظتها نظرًا لاعتبارات مبدأ اللايقين.

لذلك، بُدِّلَت صورة خطوط القوة المغناطيسية التي تقر بوجود قوة بين الجسيمات بعملية تفاعلية تتضمن تبادل حزم الطاقة الافتراضية (التي كانت تعرف سابقًا باسم الموجات) بين حزم كمومية لطاقة المجال (التي كانت تعرف سابقًا باسم الجسيمات). ونتيجة لذلك فقد تغيرت الاعتقادات السابقة جذريًّا.

يتضمن النموذج القياسي نوعين من التفاعلات، وهما التفاعل القوي والتفاعل الكهروضعيف.

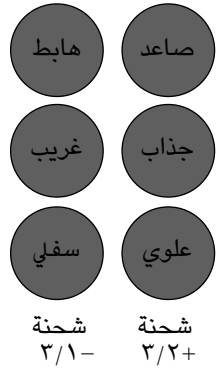
(١) التفاعل القوي: يطلق اسم الكواركات على الجسيمات التي تنتج عن تطبيق المبادئ الكمية على مجموعة من المجالات. وتوجد هناك ستة كواركات معروفة حتى الآن (بالإضافة إلى مضادات الكواركات التي تصاحبها) وتصنف في ثلاث عائلات كما هو موضح في الشكل ٢-٣. وقد لقبت هذه العائلات كالآتي:

العائلة الأولى: صاعد وهابط up and down.

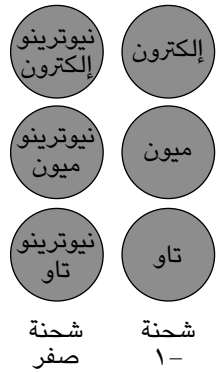
العائلة الثانية: جذاب وغريب charm and strange.

العائلة الثالثة: علوي وسفلي top and bottom.

تتفاعل الكواركات بعضها مع بعض عن طريق التفاعل القوي، ويتضمن هذا التفاعل تبادل الجسيمات الافتراضية التي تسمى بالجلونات.



شكل ٢-٣: الكواركات.



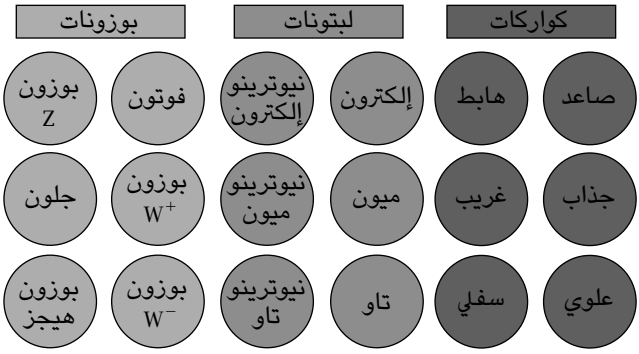
شكل ٢-٤: اللبتونات.

(٢) التفاعل الكهروضعيف: يطلق اسم اللبتونات على الجسيمات التي تَنتج عن تطبيق المبادئ الكمية على مجموعة أخرى من المجالات. يوجد ست لبتونات (ومضادات لبتونات مماثلة) وتصنف في ثلاث عائلات كما هو موضح في الشكل ٢-٤. وقد لقبت هذه العائلات كالآتي:

العائلة الأولى: الإلكترون ونيوترينو الإلكترون.

العائلة الثانية: الميزون ونيوترينو الميون.

العائلة الثالثة: التاو ونيوترينو التاو.



شكل ٢-٥: الجسيمات الأساسية.

تتفاعل اللبتونات عن طريق تبادل جسيمات افتراضية تسمى الفوتونات، وجسيمان W، وجسيم Z.

باختصار، يوضح الشكل ٢-٥ الجسيمات الأساسية وحاملات التفاعل.

يتضمن الجدول الآتي كلًّا من هذه الجسيمات ومداراته وشحناته وكتلته. لاحظ النطاق الواسع للكتل أثناء مشاهدتك لعمود الكتل، سنتعرض لذلك بالتفصيل بعد ذلك.

ووفقًا للنموذج القياسي ها هي الطريقة التي تعمل بها الذرة: تترابط البروتونات والنيوترونات في النواة بواسطة تبادل جلونات افتراضية بين الكواركات التي تكوِّن هذه البروتونات والنيوترونات. ثم تترابط الإلكترونات مع البروتونات في النواة بواسطة تبادل فوتونات افتراضية. لاحظ وجود ثلاث عائلات من الكواركات ويماثلها بالضبط ثلاث عائلات من اللبتونات. لا أحد يعرف لماذا توجد ثلاث عائلات تحديدًا من الكواركات واللبتونات. وتعد العائلة الأولى في كل من الكواركات واللبتونات مستقرة وتشكل كل الطاقة التي تحيط بنا. ولكنّ العائلتين الأخريين غير مستقرتين وبعد وقت قصير يتحللان داخل المجموعات المستقرة. وإذا كنت تتساءل عن إمكانية وجود عائلات أخرى من الكواركات واللبتونات فلم تُكْتَشَف بعد، ففي الحقيقة يوجد دليلان تجريبيان يشيران إلى أن عدد هذه العائلات هو ثلاثة فقط. يعتمد الدليل الأول على نتائج المسرع عام ١٩٩٨ بشأن عدد النيوترينوات في جسيم معين (جسيم

الجسيمات الأساسية وكتلها

الجسيمات	كتلة تقريبية (وحدات جيجا إلكترون فولت*)
الفرميونات	
كوارك صاعد	٥×١٠^{-٣}
كوارك هابط	٩×١٠^{-٣}
إلكترون	$٠,٥١ \times ١٠^{-٣}$
إلكترون نيوترينو	$< ٧,٢ \times ١٠^{-٩}$
كوارك جذاب	١,٣٥
كوارك غريب	٠,١٧٥
ميون	٠,١٠٦
ميون نيوترينو	$< ٢,٧ \times ١٠^{-٤}$
كوارك علوي	١٧٤
كوارك سفلي	٤,٥
تاو	١,٧٨
تاو نيوترينو	$< ٣ \times ١٠^{-٢}$
البوزونات	
الفوتون	صفر
W^+ و W^-	٨٠,٢
Z	٩١,٢
جلون	صفر
هيجز (لا يوجد دليل على وجوده بعد)	من ٦٣ إلى ٨٠٠

*حُدِّدَت الكتلة وفقًا إلى وحدات الطاقة المعروفة باسم جيجا إلكترون فولت GeV وهي تساوي بلايين من الإلكترون فولت، وقد جرى التوصل إليها وفقا لمعادلة أينشتاين: الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء.

لمدا صفر)، واعتمد الدليل الآخر على بيانات فلكية (سنتعرض لهذا الموضوع بالتفصيل في القسم التالي).

يتضح من الجدول أن جميع الجسيمات لها كتلة باستثناء الجلونات والفوتونات التي كتلتها صفر. وتفسر الكتلة الصفرية للفوتون المدى الطويل للتفاعل الكهرومغناطيسي لأن ناقله يمكنه أن ينتقل بسرعة الضوء، ويملك التفاعل الضعيف مدى أقصر كثيرًا لأن جسيماته الناقلة تحتوي على كتلة أساسية ولا يمكنها أن تنتقل بنفس سرعة الفوتونات. وتخضع جميع

الكواركات واللبتونات لمجموعة من القواعد الإحصائية أَعَدّها العالمان فيرمي وديراك، وتسمى هذه القواعد بالفرميونات fermions. ويُتَحَكّم في ناقلات التفاعل بواسطة مجموعة أخرى من القواعد أعدها عالم الفيزياء الهندي ساتيندراناث بوز Satyendranath Bose وأينشتاين، وتسمى هذه القواعد بالبوزونات bosons. (انظر مجلد الأفكار ٣، الفرميونات والبوزونات).

اختبار النموذج القياسي

أُعْلن عن النموذج القياسي لأول مرة عام ١٩٧٤، وفي ذلك الحين لم تكن سبعة جسيمات قد اكتشفت تنبأت بها هذه النظرية. وفي أثناء العشرين عامًا التالية من البحث التجريبي اكتشفت جميع الجسيمات ماعدا جسيمات هيجز، وذلك من خلال تجارب متتالية وباستخدام مسرعات أكثر نشاطًا.

وإلى جانب القيام بملاحظات على الجسيمات نفسها، اخْتُبِرَت تجريبيًّا الكثير من خصائص الجسيم التي تنبأ بها النموذج القياسي، وكان هناك توافق ملحوظ بين التنبؤ والتجربة. وتعتبر إزاحة لامب Lamb shift أحد الأمثلة على ذلك. فعام ١٩٤٧، قاس عالم الفيزياء الأمريكي ويليس لامب Willis Lamb التباين في تردد الإشعاع المتص أو المنبعث عندما يعمل الهيدروجين تحولًا بين مستويين من الطاقة قريبين للغاية من حيث المسافة. بعد ذلك، وباستخدام النموذج القياسي، كان التنبؤ بأن تردد الضوء المنبعث بواسطة هذا التحول سيكون ١٠٥٧,٨٦٠ +/− ٠,٠٠٩ ميجاهرتز، وعندما قاس لامب التردد كانت النتيجة ١٠٥٧,٨٤٥ +/− ٠,٠٠٩ ميجاهرتز. ويتضح من ذلك أن الاختلاف بين القيمتين هو حوالي جزء من الـ ١٠٠,٠٠٠ فقط. وعندما تؤخذ الفروق اللايقينية في الاعتبار يتوافق التنبؤ مع التجربة جوهريًّا. وقد حدث هذا التوافق الملحوظ في الكثير من التنبؤات والتجارب التي حدثت في ظل النموذج القياسي، الذي يقدم النظرية مع دعم تجريبي قوي.

يتطلب البحث عن المزيد من الجسيمات الكبيرة إلى مسرعات أضخم. على أن الفيزياء لجأت — لأسباب اقتصادية — إلى استخدام طرق اختبار منخفضة التكاليف. فكما استخدم كارل أندرسون الأشعة الكونية التي تحدث بصورة طبيعية كمصادر عالية الطاقة للجسيم، حاول علماء الفيزياء البحث

عن ظهور طبيعي للجسيمات عالية الطاقة التي تحدث عنها النموذج القياسي. وكانت المرة الوحيدة التي ظهرت فيها هذه الجسيمات عالية الطاقة بصورة طبيعية هي أثناء اللحظات الأولى من الانفجار الكبير عندما بدأت كل مادة الكون وطاقته في التمدد؛ فقد كانت الظروف المناخية خلال الجزء الأول من الثانية لأول كرة نار للانفجار الكبير حارة وكثيفة. وفي ظل هذه الظروف وُجِدَت جميع عائلات الجسيمات الأساسية، لذا فقد وفرت اللحظات الأولى من الانفجار الكبير مختبرًا هائلًا لاختبار النموذج القياسي. ومع صعوبة العودة إلى تلك الفترة فإننا من الممكن أن نتنبأ بالظروف الحالية ومقارنتها بالتجربة الواقعية.

كثيرًا ما كان عالم الجسيمات والفيزياء الفلكية ديفيد شرام David Schramm يردد القول الآتي الذي اقتبسه من عالم الفيزياء السوفييتي ياكوف زلدوفيتش Iacov Zeldovich: «الكون هو مُسَرِّع الرجل الفقير، حيث التجارب لا تحتاج إلى مال لإجرائها، وكل ما علينا فعله هو جمع البيانات التجريبية وتفسيرها تفسيرًا صحيحًا.» على سبيل المثال، إذا كان يوجد «أربع» عائلات من الجسيمات الأساسية فسنجد أن مقدار الهليوم الذي تكوَّن أثناء الدقائق الأولى لتمدد الانفجار الكبير كان سيشكل أكثر من ٢٦٪ من الكون الموجود حاليًا. وأنه إذا كان هناك ثلاث عائلات من الجسيمات الأساسية فسنجد أن مقدار الهليوم الذي تكوَّن كان سيشكل ٢٥٪ فقط من الكون. وحيث إننا قد اكتشفنا أن مقدار الهيليوم في الكون هو ٢٥٪، فإن تضمن النموذج القياسي لثلاث عائلات بالضبط من الكواركات واللبتونات يلقى دعمًا تجريبيًّا قويًّا.

إن التشابه بين فيزياء الطاقة العالية والفيزياء الفلكية قد قدم أفكارًا مثمرة فيما يخص تحليل اللحظات الأولى للانفجار الكبير. على سبيل المثال، إن دمج ثلاثة ثوابت أساسية كونية (ثابت بلانك، وسرعة الضوء، وثابت قوة الجاذبية) بطرق عديدة ينتج عنه الحد الأدنى من قيم الكميات الأساسية مثل الزمن والكتلة والطاقة. وتسمى هذه الكميات مقاييس بلانك Plank’s scales، وهي كما يأتي:

الزمن: $١٠^{-٤٣}$ ثانية الطول: $١٠^{-٣٥}$ ملي الطاقة: $١٠^{٩}$ جول

على أنه إذا رُكِّزَت طاقة بلانك Planck energy في كتلة حجمها هو طول بلانك Planck length مكعبًا، فسنجد أن الكتلة المكافئة (الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء) الموجودة في هذا الحيز الصغير ستكون كثيفة للغاية لدرجة أن الضوء لن يستطيع المرور خلالها وسينعزل عن باقي العالم، أي سيكون ثقبًا أسود. وإذا نظرنا إلى الأمر من هذه الزاوية فسنجد أنه لن يكون هناك أي معنى للمسافات والأزمنة إذا كانت قيمها أصغر من قيم مقاييس بلانك، فهذا هو المستوى الذي يكون تحته قيمة الزمان والمكان مجرد «رغوة كمية» Quantum foam حيث لا يمكن إخضاعها لأي قانون من قوانين الفيزياء.

يقدم الاستدلال المبني على مقاييس بلانك صورة محتملة لبداية الكون؛ فقد جرى إخضاع التقلب الكمي تحت المجهري quantum fluctuation إلى مرحلة تضخمية من التمدد الهائل والسريع، وحدثت بعض التحولات أثناء هذا التمدد، أما القوى الأربع فقد «تجمدت» في ظل برودة درجة الحرارة، وهذه العملية تشبه الطريقة التي تتحول بها المياه السائلة إلى ثلج. ويمكن القول إنّه إذا كانت التفاعلات مع مجال هيجز تحدد كتل الجسيمات، فربما تصبح هذه الكتل ثابتة لكن بقيم عشوائية، بناء على تفاصيل عملية التبريد. وإذا كان الحال كذلك فربما تكون أكوان عديدة قد تكونت بالطريقة نفسها، ولكن مع وجود اختلاف طفيف في قيم كتل الجسيمات الأساسية. انظر مجلدات الأفكار للحصول على المزيد من المعلومات حول هذا الموضوع.

الجانب المظلم في النموذج القياسي

يواجه النموذج القياسي اعتراضات عديدة. يستند الاعتراض الأول على أسس رياضية، فغالبًا يتطلب حل معادلات النموذج القياسي المتعلقة بخصائص الجسيم لإجراء عملية رياضية تقريبية تسمى الاضطراب perturbation. وفيه تُحَدَّد قيمة أي كمية بأي مستوى مرغوب من الدقة عن طريق زيادة عدد الحدود الرياضية في متسلسلة محددة رياضيًّا بناءً على قوى كبيرة متتالية من كمية ما يطلق عليها اسم القيمة الوسيطة parameter. ومادامت هذه القيمة صغيرة تصبح الحدود الرياضية المتتالية في السلسلة أصغر، لذا قد لا تكون

هناك حاجة لحدود كثيرة للحصول على الدقة المطلوبة. على أنه نظرًا لأنه ليست جميع القيم الوسيطة صغيرة، تتطلب بعض العمليات الحسابية حدودًا كثيرة. وعلاوة على ذلك، غالبًا تظهر نتائج لانهائية على نحو غير متوقع في العمليات الحسابية التي تتضمن النموذج القياسي. ويلزم هنا استخدام عملية رياضية بارعة تعرف باسم إعادة الاستنظام renormalization لتجنب هذه الانحرافات المربكة. وتتضمن إعادة الاستنظام طرح سلسلة لانهائية واحدة من سلسلة أخرى والإبقاء على الحدود الرياضية التي تتوافق مع النتيجة المعروفة فقط.

ينتقد الكثير من علماء الفيزياء النظريين النموذج القياسي بسبب هذه الصعوبات الرياضية معتبرين أن هذا النموذج غير منظم. ربما يكون عدم رضا الفيزياء مرتبطًا بالافتراض الفلسفي الذي يقول إنه لا يجب معرفة الكون فقط، بل معرفتنا يجب أن تكون بسيطة رياضيًّا ومرتبة وتامة في ذاتها. ومع ذلك فلا تؤثر هذه الانتقادات على مدى التوافق الملحوظ بين التنبؤ والتجربة الذي يقدمه النموذج القياسي، كما أنها لا تقلل من أهمية تفسير النموذج القياسي للعديد من الظواهر الكونية. على أن هذه الانتقادات هي ما تدفع العلماء إلى البحث عن نظرية أفضل.

على مستوى علميٍّ أعمق يتضمن النموذج القياسي نقطة ضعف جوهرية، ويشار إليها بمصطلح انكسار التماثل الكهروضعيف electroweak symme-try breaking؛ بمعنى أن البوزون عديم الكتلة ينقل الجزء الكهرومغناطيسي من التفاعل الكهروضعيف. ومن أجل المحافظة على التماثل فإن الجزء الضعيف من التفاعل الكهروضعيف يجب أن ينقله أيضًا بوزون عديم الكتلة. غير أن هذا لا يحدث؛ إذ إن ناقلات التفاعل الضعيف هي جسيمان W وجسيم Z ويحتوي كل منهما على كتلة كبيرة على نحو يجعلهما يفوقان معظم الكواركات. وهكذا انكسر التماثل في حين لا يملك النموذج القياسي تفسيرًا لهذه النتيجة.

وكانت أكثر الانتقادات خطورة للنموذج القياسي تتعلق بالجاذبية وأصل الكتلة، فالنموذج القياسي يتجاهل الجاذبية تمامًا، كما أنه يتطلب قياس كتلة الجسيم وشحناته والكثير من الخصائص الأخرى بشكل تجريبي لكي تُبَدَّل في المعادلات. وأيًّا ما كانت النظرية التي ستحل محل النموذج القياسي فيجب

عليها أن تتعامل مع هذه المشكلات، ومع ذلك فمن المؤكد أن هذه النظرية الجديدة ستتفق مع النموذج القياسي في بعض الجوانب، وخاصة تلك الجوانب التي تتوافق فيها التنبؤات مع الواقع توافقًا كبيرًا.

مشكلة أصل الكتلة أو مشكلة مجال هيجز

على أساس رياضي بحت افترض عالم الفيزياء الاسكتلندي بيتر هيجز Peter Higgs وعلماء آخرون عام ١٩٦٤ وجود مجال نافذ أُطلق عليه فيما بعد اسم مجال هيجز. وتكتسب جميع الجسيمات التي تتفاعل مع مجال هيجز كتلة نتيجة لتفاعلها مع هذا المجال، أو بمعنى آخر، تتكون الكتلة كلها نتيجة لهذا التفاعل.

لقد شُبِّهَت آلية منح الكتلة هنا بالجنود الذين يخوضون في الوحل، حيث يزداد حجم هؤلاء الجنود نتيجة لالتصاق الوحل بهم أثناء السير. وهناك تشبيه آخر وهو حفلة الكوكتيل التي يتوزع فيها الضيوف بانتظام حول غرفة ما، وعندما تدخل شخصية مهمة جدًّا، يلتف حولها أقرب جاراتها وهذا يزيد من كتلتها. وكلما زادت أهمية الشخصية زاد الالتفاف حولها من كتلتها.

ووفقًا لهذه النظرية تحتوي الجسيمات المختلفة على أزواج مختلفة مع مجال هيجز، مما يمنح كتلًا كبيرة لجسيمات W وجسيم Z، وكتلة صفرية للفوتون والجلون. لذا، فإذا كانت آلية مجال هيجز تمنح الكتلة حقًّا إلى الجسيمات الأساسية فهي بذلك تقدم على الأقل إجابة جزئية للمشكلة المستعصية المتعلقة بأصل الكتلة.

ولكن كيف يمكننا التأكد من أن مجال هيجز حقيقي وليس مجرد صورة رياضية؟ والإجابة هي أنه يمكن لهزة أو صدمة كبيرة — مثل وقوع تصادم قوي للغاية بين بعض الجسيمات داخل حدود الوحل الكوني المعروف بمجال هيجز — أن تحدث اهتزازًا لهذا الوحل، ويمكن تسجيل هذا الاهتزاز. ومن المؤكد وجود جسيم هيجز وهذا الجسيم «ينقل» مجال هيجز بالطريقة نفسها التي «ينقل» بها الفوتون المجال الكهرومغناطيسي.

وتقول أبسط الفرضيات إنه لا يوجد إلا جسيم هيجز واحد هو الذي ينقل تفاعلات هيجز، وتقول أعقد الفرضيات إنه يوجد الكثير من جسيمات

هيجز، ولكن يبقى جسيم واحد يعد أخفَّ الجسيمات، ومن المحتمل أن يكون هذا الجسيم الخفيف في نطاق المسرعات الحالية.

لعدة سنوات بحث معمل CERN (المعمل الأوربي لفيزياء الجسيم في جينيف بسويسرا) عن جسيم هيجز في مُسَرِّع يعرف باسم مسرع مصادم البوزيترون الإلكتروني الكبير Large Electron Positron collider ويعرف اختصارًا بالرمز LEP. سُجِّلَ حدوث أحد الأمور المحتملة وإن كانت غير متوقعة عند ١١٥ جيجا إلكترون فولت (انظر جدول كتل الجسيم السابق)، ولكن هناك حاجة لبيانات أكثر لضمان أن الخلفية لم تتدخل في النتائج. عام ٢٠٠١، أغلق معمل CERN هذا المسرع لكي يبني مسرعًا أنشط باستخدام النفق نفسه. وقد سُمِّيَ هذا المسرع بمسرع مصادم الهادرون الكبير Large Hadron Collider ويعرف اختصارًا بالرمز LHC. ويحتوي هذا المسرع على طاقة كافية لتجعله أكثر فعالية (تصل طاقته إلى ٨٠٠٠ جيجا إلكترون فولت/حزمة). ويذكر أنه منذ مارس ٢٠٠١، بدأ مسرع فيرمي Fermi National Accelerator Laboratory في باتافيا بولاية إلينوي في البحث عن جسيم هيجز في التيفاترون Tevatron الخاص به (١٠٠٠ جيجا إلكترون فولت/حزمة)، ولكن الأحداث التي كان من المتوقع أن تدلنا على جسيم هيجز كانت متباعدة وغير ثابتة، وربما يستغرق الأمر وقتًا طويلًا للحصول على بيانات كافية وذات أهمية إحصائية. أقر الرئيس الأمريكي جورج بوش الأب الصادوم الفائق ذا الموصلية الفائقة Superconducting Super Collider الذي يعرف اختصارًا بالرمز SSC عام ١٩٨٧، وكان الهدف الرئيسي لهذا المتصادم هو البحث عن جسيم هيجز، ودُعِّم هذا المسرع بطاقة كبيرة (٢٠,٠٠٠ جيجا إلكترون فولت/حزمة) من أجل هذه المهمة. ولكن مع ذلك فقد أوقف الكونجرس الأمريكي العمل بهذا المتصادم عام ١٩٩٣.

وإذا حاولنا التنبؤ بنتائج البحث عن جسيم هيجز، وإذا اكتشف جسيم هيجز وكانت كتلته في نطاق قدرة المسرع الحالي، فيمكن للنموذج القياسي أن يمتد ليشمل آثاره. ومع ذلك فلن يحل هذا الأمر مشكلة أصل الكتلة أو يبدد جميع صعوبات النموذج القياسي، ولكن فلتكن هذه هي البداية.

ولكن إذا جرى الوصول إلى جسيم هيجز وتعدتْ كتلتُه النطاقَ المتوقع، فيجب أن يتوقف النموذج القياسي لأنه يتنبأ بأحداث تتخطى نسبة احتمال

«تقولين إن هذا الجسيم الذي يدعى بوزون هيجز مفقود ...»

ظهورها ١٠٠٪. وسوف يتطلب هذا الموقف إصلاحًا جوهريًّا للنموذج القياسي أو إحلاله بنظرية أخرى.

أما إذا جرى الوصول إلى الكثير من جسيمات هيجز فستوجد حاجة إلى نظريات تتخطى حدود النموذج القياسي.

أما إذا لم يُكْتَشف جسيم هيجز فسيتطلب الأمر مرة أخرى إحلالًا للنموذج القياسي، وسنناقش تلك النظريات التي ربما تحل محل النموذج القياسي في القسم التالي.

لذلك يعد اكتشاف جسيم هيجز أمرًا حاسمًا لبداية فهم النمط المعقد لكتل الجسيمات. ومع ذلك فبعض النظريات تعتقد أن مجال هيجز هو مجرد شيء ثانوي ولن يحل مشكلتنا الأساسية وهي أصل الكتلة، فقد وُصف جسيم هيجز بأنه بساط الجهل الذي يُجرف تحته المشكلات الجوهرية للنموذج القياسي.

يمثل تجاهل النموذج القياسي للجاذبية جانبًا آخر لمشكلة الكتلة، وإن أسهل طريق يمكن اتباعه هو ابتكار نظرية كمية جذبية. تعد نظرية النسبية العامة لأينشتاين أفضل نظرية جذبية، لذا فلماذا لا نطبق فقط مبادئ الكم على نظرية النسبية العامة؟ الأمر ليس بهذه السهولة؛ فالنسبية العامة هي نظرية كلاسيكية تدور حول كيفية ارتباط الشكل الهندسي للكون بالكتلة. وهذه النظرية تنجح نجاحًا أفضل مع المسافات الكبيرة، ولم تقم هذه النظرية

بأي تجارب واسعة على الجسيمات التي يقل حجمها عن ١ مليمتر. ويعني ذلك أن قوة الجاذبية تمتد إلى عالم الكائنات الدقيقة. ولكن على الجانب الآخر يُحَوِّل النموذج القياسي المجالات داخل جسيمات منفصلة إلى طاقة كمية ويعمل في نطاق صغير جدًّا. لذا فعندما حاول علماء الفيزياء النظريين تطبيق نظرية الكم على نظرية النسبية العامة أنتجت النظرية نتائج لانهائية لكميات تبدو أنها نهائية بجلاء.

توجد صعوبة أخرى تكمن في الضعف الكبير للجاذبية مقارنة بالقوى الأخرى. ولكي تكون الجاذبية على المستوى نفسه مع التفاعل القوي والتفاعل الكهروضعيف، تحتاج الجاذبية أن تكون بالقوة نفسها. ويشار إلى هذا الأمر بمشكلة التسلسل الهرمي hierarchy problem، حيث توجد فجوة طاقة هائلة بين الطاقات التي ينطبق عليها النموذج القياسي والطاقة التي تصبح عندها الجاذبية الضعيفة مماثلة من حيث القوة للتفاعل القوي والتفاعل الكهروضعيف، ولا أحد يعرف لماذا توجد هذه الفجوة الهائلة في الطاقة.

الحاجة إلى فيزياء جديدة

في الحقيقة لا يوجد دعم تجريبي لأي نظرية سوى نظرية النموذج القياسي. ومع ذلك فنظريات كثيرة تنتظر أن تخضع للاختبار، وفيما يأتي بعض هذه النظريات:

النظريات الموحدة الكبرى Grand Unification Theories ونظرية الكل the theory of everything: تبدو هذه الأسماء مضللة لأنها تَعِد بأكثر مما تستطيع أن تقدمه. وفي حقيقة الأمر فإن هذه الأسماء هي مصطلحات جامعة تشير إلى دمج للنظريات المعروفة في نظرية واحدة وشاملة. فالنظريات الموحدة الكبرى تدمج التفاعل الكهروضعيف بالتفاعل القوي. ولكن نظريات الكل وهي أكثر طموحًا فهي لا تتضمن التفاعل القوي والتفاعل الكهروضعيف فحسب بل تتضمن أيضًا تفاعل الجاذبية. ولكن حتى لو حُدِّثَت هذه النظرية فهي لن تنذر بنهاية العلم، فهناك الكثير من المشكلات الأخرى التي تواجه العلم، وهذا الكتاب مليء بتلك المشكلات.

نظرية إم M-Theory: يقول عالم الفيزياء إدوارد ويتن Edward Witten إن حرف M هنا يرمز إلى الكلمات «سحري» Magical أو «غموض» Mystery أو «غشاء» Membrane. وتتكون هذه النظرية من نظريات جزئية سابقة مثل نظرية الأوتار ونظرية الأوتار الفائقة أو النظرية الغشائية. فبدلًا من معاملة الكواركات واللبتونات كجسيمات أحادية الأبعاد، تقول هذه النظرية إن هذه الجسيمات ثنائية الأبعاد (الخطوط أو الأوتار) أو حتى أبعاد أكثر (غشائيات). تدمج هذه النظريات بين جميع القوى، بما في ذلك الجاذبية، وهذه النظرية لا تتضمن لانهايات مربكة تتطلب إعادة استنظام مثل النموذج القياسي. ونظرًا لأن جميع هذه النظريات تتطلب أكثر من أربعة أبعاد (١٠ و١١ و٢٦ هي أكبر الخيارات حتى الآن)، ربما تتفاوت الأبعاد الإضافية، ما بين أبعاد صغيرة جدًّا لا يمكن قياسها في حدود تقنيات القياس المتوفرة الآن، وبين أبعاد كبيرة للغاية تصل إلى ما لا نهاية. تقول إحدى النظريات إن جميع أبعاد الكون بدأت بالحجم نفسه، ثم انفصلت وتغير حجمها في الوقت الذي استمر فيه التمدد، وتجمدت درجة الحرارة. إن إحدى الصعوبات التي تواجهنا أثناء الاختيار من بين هذه النظريات العديدة في هذه الفئة، هي أن خبرتنا وبديهيتنا لا تستطيع أن تتسع لتتخطى حدود الأبعاد الأربعة التي نعيش فيها.

التناظر الفائق Supersymmetry أو SUSY: إذا كان من الممكن للفرميونات والبوزونات أن نضع أحدهما مكان الآخر، فيجب أن تظل المعادلات التي تصف التفاعلات الأساسية سارية. تستنتج هذه النظرية وجود نظائر فائقة أضخم لجميع الجسيمات الموجودة. وإذا ما وُجِدَت هذه النظائر الفائقة فربما يحتوي واحد أو أكثر من هذه النظائر على كتلة صغيرة بما يكفي للتحول إلى البحث عن بوزون هيجز. ربما تفسر النظائر الفائقة أيضًا المادة المظلمة (انظر الفصل السادس).

القوة اللونية التقنية Technicolor: تنظر هذه النظرية إلى الكواركات واللبتونات على أنها مركبات تتكون من جسيمات صغيرة. وحيث إن هذه النظرية تتنبأ بوجود جسيمات جديدة فيمكن اختبار هذه الفكرة.

نظرية تويستور Twistor Theory: أعيدت في هذه النظرية صياغة كلٍّ من النموذج القياسي ونظرية النسبية العامة، باستخدام أعداد مركبة تمثل المكان والزمان (وهذا من خلال عدد مركب يتحدد من العلاقة $a + ib$ حيث i هو الجذر التربيعي لـ -1 وكلٌّ من a, b أعداد حقيقية). على أن المغزى من وجود الأعداد المركبة في العالم الحقيقي لم يتضح حتى الآن حيث لا يمكن استخدام هذه الأعداد لحساب أو قياس أي كيانات ملموسة.

كالعادة، لتجنب الدخول في معمعة من النظريات المهملة يجب على كل فرض علمي أن يقدم تنبؤات مدعمة بالدليل التجريبي. يكون بعض هذه النظريات الجديدة مجردًا للغاية ولا يؤدي إلى تنبؤات يمكن إخضاعها للتجارب. وبعض هذه النظريات يكون صعبًا للغاية ولا يتيح القيام بعمليات حسابية، وتتطلب نظريات أخرى كميات لا يمكننا الوصول إليها في عالمنا المحيط بنا حتى نتمكن من تطبيق أي قيود بناءً على خبرتنا أو بديهتنا. وسيتطلب توفير الدليل التجريبي — لبعض الجسيمات الضخمة جدًّا المحتملة — أن يكون لدينا مسرع بنفس حجم النظام الشمسي.

ذكر نيلز بور في عشرينيات القرن العشرين أن ميكانيكا الكم يجب أن تتوافق مع الفيزياء الكلاسيكية في حالات تكون فيها النظرية الكلاسيكية دقيقة. وبتطبيق هذا المنطق على هذه الحالة، يجب على أي نظرية جديدة أن تتوافق مع النموذج القياسي خاصة في الحالات التي يُدَعَّم فيها النموذج القياسي بالدليل التجريبي.

هل هناك حاجة إلى لغة جديدة؟

مع أن أوصاف النموذج القياسي والنظريات التي من المتوقع أن تحل محله هي حقائق نظرية محضة فحسب، فلا يجب أن ننخدع. فاللغة التي جرى استخدامها للتعبير عن النموذج القياسي هي لغة رياضية، وهذه اللغة نفسها ربما تكون غير ملائمة، وربما تكون هناك حاجة لمفاهيم رياضية جديدة. على سبيل المثال، فحتى يتمكن نيوتن من تفسير الحركة ابتكر التفاضل والتكامل الذي يمكن أن يُستخدم مع الدوال المتغيرة والأعداد الصغيرة. ونحن نعرف اليوم أن الكون يتكون من دوال غير مستمرة وأعداد كبيرة، ولكن لا يزال

الكثير من المعادلات يصاغ بلغة التفاضل والتكامل. (سنتعرض للمزيد في الفصل الخامس الذي يدور عن التنبؤ بالطقس، والذي يحتوي على صعوبات مماثلة). تتضمن الكثير من النظريات التي تسعى لتحل محل النموذج القياسي مفاهيم رياضية تتصف بمستوى أكثر تعقيدًا من التفاضل والتكامل، مثل الزمرة group والحلقات rings والمثاليات ideals والهياكل الطوبوغرافية topological structures. وينبغي علينا إدراك أن كتابة المعادلات التي تصف وظائف الكون شيء، وحل هذه المعادلات على نحو صحيح فيزيائيًّا شيء آخر.

حل اللغز: كيف ومن وأين ومتى؟

كيف؟ باختصار، نحن لا نزال نجهل من أين حصلت وحدات البناء الأساسية للكون على كتلتها، ونحن غير متأكدين من أننا استطعنا تحديد جميع هذه الوحدات. ومع ذلك فهناك إمكانيات نظرية وتجريبية يمكن أن تساعدنا في فهم تلك الأمور فهمًا أعمق.

مَن؟ على الجانب النظري، هناك الكثير من علماء الفيزياء النظريين الذين يعملون بجد واجتهاد وربما يحقق أي منهم أحد الفتوحات العلمية في أي وقت، ومن أمثلة هؤلاء العلماء إدوارد ويتن Edward Witten، وفرانك ويلكزيك Frank Wilczek، وميشيو كاكو Michio Kaku، و م. ج. دوف M. J. Duff، وروجر بينروز Roger Penrose، وجوردون كين Gordon Kane، ولي سمولين Lee Smolin.

أين ومتى؟ تجريبيًّا، يستمر البحث عن جسيم هيجز في معمل فيرمي، وسوف يستمر البحث في معمل CERN. وربما يجري تصميم وبناء أدوات أخرى بعد ذلك.

ولتتبع هذه التطورات تابع الروابط الموجودة في القسم بعنوان «مصادر للتعمق». من المتوقع أن تكون الاكتشافات المستقبلية مهمة ومفيدة ومدهشة أيضًا.

الفصل الثالث

الكيمياء

بأي سلسلة من سلاسل التفاعل الكيميائي استطاعت الذرة تكوين أول كائن حي؟

من الهراء أن نفكر حاليًّا في أصل الحياة فحسب، فعلى المرء أن يفكر كذلك في أصل المادة.

من خطاب أرسله تشارلز داروين إلى جوزيف دالتون هوكر
٢٩ مارس عام ١٨٦٣

الكيمياء هي دراسة تركيب المواد وتحولاتها، ومع أن العلماء درسوا كلًّا من كيمياء الكائنات الحية وكيمياء الجوامد بشكل موسع ومستفيض، فإن أكبر مشكلة مستعصية في الكيمياء لا تزال هي ذلك التحول الكيميائي من مواد عديمة الحياة إلى هذا النظام المعقد للجزيئات المتفاعلة الذي يظهر تلك السلوكيات التي نطلق عليها اسم الحياة.

الحساء البدائي

إن الخطوات المناسبة لعمل أي وصفة هي وجود مكونات صحيحة ومقادير مناسبة، ثم خلط هذه المكونات والمقادير معًا في ظل درجة حرارة مناسبة ولفترة زمنية مناسبة. وبناءً على الوصفة أي المكونات والمقادير ودرجة الحرارة والزمن يكون الناتج الذي قد يكون كعكة عيد ميلاد أو طبق من الشوفان. أو

قد تستخدم هذه الوصفة لوصف الحساء الكوني البدائي primordial soup الممتلئ ببعض الجزيئات العضوية. فعندما تندمج هذه الجزيئات العضوية الأولية تكوِّن جزيئات مطابقة لها وإن كانت أكبر منها من حيث الحجم تتكون من بروتينات وأحماض نووية. ويذكر أن تكوين مثل هذه الجزيئات المتطابقة الكبيرة في الحجم ينتج عنه خلق الشفرة الوراثية وهو ما يتساوى بالضبط مع خلق الحياة نفسها.

يتناول هذا الفصل الارتباط بين التطور الكيميائي قبل البيولوجي والتطور البيولوجي. فهو يناقش المكونات والمقادير ودرجة الحرارة والزمن والتسلسلات التفاعلية التي أدت إلى التحول الذي حدث منذ ما يقرب من ٣,٨ و٤,٥ مليار سنة، ويناقش أيضًا السؤال كيف استطاع كوكب غير حي إنتاج أول كائن حي.

تطور الأنظمة الكيميائية

في الوقت الذي تمكنت فيه اللبتونات والكواركات من الحصول على كتلتها استمر الانفجار الكبير في التقدم، وأثناء تمدد الكون التحمت الكواركات لتشكل البروتونات والنيوترونات، وحدث اندماج نووي كان كافيًا لإنتاج نواة

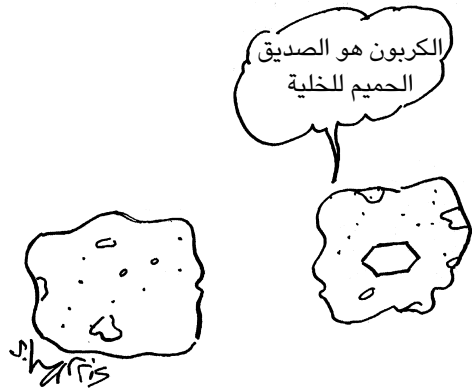
الهليوم الذي يشكل ٢٥٪ من المادة الموجودة في الكون، وجاءت المادة المتبقية المكونة للكون في شكل بروتونات. وبمرور الزمن التحمت السحب الغازية بفعل الجاذبية وكونت المجرات والنجوم، وأُنتجت أنوية ذرية أضخم من الهليوم في مراكز هذه النجوم. وعند انتهاء دورة حياتها انفجرت بعض هذه النجوم وأفرغت الكثير من أنويتها في المادة البين نجمية، حيث استطاع معظمها جذب الإلكترونات وبناء شكل المادة الذي نعرفه ونعشقه وهو الذرات. وبعد ذلك بفترة أطول وجدت الذرات نفسها في سحب كبيرة تسمى السديم nebulae، ثم التحمت هذه السحب بفعل الجاذبية وكونت عددًا أكبر من النجوم إضافة إلى الكثير من الأجسام الصغيرة بما في ذلك كوكب الأرض.

ثم تقاسمت الذرات الإلكترونات مع ذرات أخرى وكونت الجزيء. وهنا جاء دور الكيمياء لتجيب على تساؤلات مثل: هل يمكن دمج ذرات معينة أم لا، وعدد كل من الذرات المشاركة، وسرعة التفاعل، وحجم الطاقة المطلوبة أو المنتجة، والكثير من الاعتبارات المختلفة الأخرى. وتُمَثَّل التغيرات الكيميائية في شكل معادلات:

الذرات والجزيئات المتفاعلة ← (تندمج لتكوين) ذرات وجزيئات

ومع أن الكيمياء استطاعت حل الكثير من الألغاز الخاصة بالتركيبات الذرية والجزيئية، فلا يزال هناك لغز لم يحل بعد وهو: بأي سلسلة من سلاسل التفاعل الكيميائي استطاعت الذرة تكوين أول كائن حي؟

هناك ذرة واحدة تحمل المفتاح إلى حل لغز الأنظمة الحية، وهذه الذرة هي الكربون. وذلك لأن ذرة الكربون لها خصائص مميزة، حيث تتطلب بنية إلكترونات الكربون أن تتقاسم الإلكترونات (أي تكوين رابطة تساهمية) وتكون مجموعة من أربعة روابط، أو أزواج متشاركة من الإلكترونات. وقد تكون هذه الروابط فردية أو زوجية أو ثلاثية. علاوة على ذلك تتحد ذرات الكربون بسهولة مع ذرات الكربون الأخرى. وتؤدي هذه المرونة في التشكيل الهيكلي إلى ظهور جزيئات تأخذ صورًا وأشكالًا متعددة تتفاوت من أشكال بسيطة جدًّا إلى أشكال غاية في التعقيد. تسمى دراسة مركبات الكربون بالكيمياء العضوية organic chemistry نظرًا لوجود اعتقاد في الماضي بأن



الأنظمة الحية (العضوية) هي وحدها التي يمكنها إنتاج مثل هذه الجزيئات، على أننا علمنا فيما بعد أن هذه المركبات يمكن أن تُخَلَّق صناعيًّا أو بواسطة الأنظمة الحية. وربما تكون بدأت الجزيئات المبنية على الكربون كجزيئات بسيطة، وإمكانية تكوين الروابط التي يتمتع بها الكربون هي التي مكنته من تصنيع جزيئات أعقد أدت بدورها إلى هذا النظام المعقد الذي نطلق عليه اسم الحياة. ويمكن تجسيد هذه العملية في شكل معادلة كيميائية يمثل فيها كل سهم سلسلة من التفاعلات الكيميائية:

ذرات بسيطة ← جزيئات بسيطة ← جزيئات معقدة
← جزيئات أعقد ← جزيئات معقدة أكثر فأكثر
← نظام من الجزيئات بالغة التعقيد
← نظام معقد اسمه الحياة

وضع الفرضيات حول أصل الحياة

إننا نتناول مشكلة أصل الحياة باعتبارها أحد الألغاز الخاصة بعلم الكيمياء، على أن هذا العلم لم يكن بكل تأكيد هو الخيار الوحيد لحل هذا اللغز، فشعوب العالم كانت لديها الكثير من الأفكار الأخرى حول نشأة الحياة على

الأرض، وكان الكثير من هذه الأفكار بعيدًا تمامًا عن أفكار الكيمياء. سوف نبدأ الآن بمناقشة تطور بعض الأفكار والاعتقادات المختلفة حول أصل الحياة من وجهة نظر تاريخية، وبعد ذلك سنلقي نظرة على ما توصل إليه علماء الكيمياء بشأن هذه المسألة حتى الآن. وأخيرًا سوف نشرح لماذا تنظر الكيمياء إلى مسألة أصل الحياة كمشكلة مستعصية.

الفرضية الأولى: أصل الحياة يعود لشيء خارق للطبيعة: قبل أن تكون هناك دراسة منظمة للكيمياء أو حتى وجود المنهج العلمي الذي يتطلب وجود الدليل، كانت هناك فرضية شائعة في العالم الغربي بشأن أصل الحياة وهي أن الكائنات الحية تواجدت على الأرض بواسطة قوى خارقة للطبيعة أو قوى إلهية، ويعرف هذا الاعتقاد باسم الخلق الخاص special creation.

وتنشأ معضلة كبيرة نتيجة للاعتقاد بوجود قوى خارقة للطبيعة أو قوى إلهية وهذه المعضلة هي خلط الدين بالعلم؛ فالمعتقدات الدينية مبنية على الإيمان، والإيمان قرار فردي وذاتي. وفي المقابل نجد أن العلم مبني على الدليل الموضوعي. وهكذا فإن العلم والدين مختلفان أحدهما عن الآخر تمام الاختلاف بحيث لا يمكننا مقارنة الأفكار التي يحتوي عليها أحدهما بأفكار الآخر. ومع ذلك فنحن نقوم بهذه المقارنة لا لشيء إلا لأننا في النهاية بشر.

إن الذي يجعل دراسة أصل الحياة مسألة في غاية الصعوبة هو أن أصل الحياة يرجع إلى عصور سحيقة وموغلة في القدم؛ بحيث إن دراسة أي دليل مباشر يعتبر ضربًا من ضروب المستحيل. يتشابه هذا الأمر مع رجل يلعب الجولف بمفرده وبمعزل عن أي شخص آخر، ويصوب هذا الرجل بعصاه الكرة نحو حفرة لا يراها لأنها على مسافة بعيدة منه، وعندما يذهب الرجل إلى الحفرة يكتشف أن الكرة داخل الحفرة، فهل يمكن أن تدخل الكرة الحفرة من ضربة واحدة من كل هذه المسافة البعيدة؟ ربما. على أن هذا الرجل عجز عن العودة بالزمن إلى الماضي حتى يعرف إن كانت الكرة قد دخلت إلى الحفرة من تلقاء نفسها أم بمساعدة شيء آخر.

من الناحية العلمية تذكر المثال الذي ورد في الفصل الأول عن المصدر القوي للأشعة السينية الذي اكتشف قرب نجم HDE 226868 بواسطة القمر الصناعي أوهورو عام ١٩٧١. وبما أن النجم HDE 226868 يبعد عن الأرض بأكثر من ٨,٠٠٠ سنة ضوئية، فمن الصعب إخضاعه للقياس المباشر. لذلك كيف يمكننا معرفة أن الأشعة السينية تشير إلى وجود ثقب أسود وليس إلى شيء آخر كإشارات من كائنات فضائية مثلًا؟ إذا نظرنا إلى هذين التفسيرين على أنهما فرضيتان مختلفتان مع عدم وجود دليل تجريبي على صحة أحدهما، فيجب هنا تطبيق مبدأ البساطة، وبما أن فرض وجود الثقب الأسود هو الفرضية الأبسط هنا، إذن فهذا الأمر سيتطلب تطبيق مبدأ شفرة أوكام لتفضيل أي من الفرضيتين على الأخرى. وبما أن فرضية الثقب الأسود تبدو أبسط من الفرضية الثانية إذ إنها لا تتطلب سوى تطبيق المبادئ الفيزيائية الموجودة بالفعل، لذا فهي الفرضية التي سيجري تفضيلها. وتساعد الاكتشافات المتتالية للعديد من مصادر الأشعة السينية المشابهة في دعم هذا الخيار.

لذلك، فإن العلم يقوم على أسس تجريبية غير معقدة، لذا لا بد على العلماء أن يلتزموا بكافة القواعد العلمية. وإذا كانت هناك حياة في مكان آخر في الكون غير كوكب الأرض، فمن المؤكد أن ذلك كان سيثير مسألة الاعتقادات الدينية وكذلك العلوم. (انظر مجلد الأفكار ٤، الحياة خارج الأرض).

الفرضية الثانية: التوالد التلقائي للكائنات الحية المعقدة Spontaneous Generation: في الماضي، لاحظ الناس الضفادع الصغيرة تقفز حول الجذوع النخرة، والفئران في بالوعات الصرف الصحي وفي القمامة، واليرقات تزحف على اللحوم المتعفنة. وعام ١٦٢٠ أعطى عالم الكيمياء (والمشتغل بالكيمياء القديمة) البلجيكي جان باتيست هيلمونت Jan Baptiste Helmont هذه الوصفة لتكوين الفئران:

> إذا وضعت قطعة من الملابس الداخلية المتسخة بالعرق مع بعض القمح في وعاء مفتوح، فبعد ٢١ يومًا ستتغير الرائحة، وستحول

الخميرة الخارجة من الملابس الداخلية المخترقة لقشر القمح هذا القمح إلى فئران. على أن ما يثير الدهشة هو أن بذور القمح خرج منها فئران من الجنسين، وتتناسل هذه الفئران بنجاح مع الفئران المولودة طبيعيًّا من أبوين، والأكثر من ذلك هو أن الفئران التي خرجت للوجود بعد هذه العملية لم تكن فئرانًا صغيرة بل كانت تامة النمو.

ويطلق اسم التوالد التلقائي وسماه البعض (من جذع شجرة خُلق الضفدع) على الفرضية التي تقول إن الكائنات الحية المعقدة والمتعددة الخلايا يمكن أن تنشأ مباشرة من مواد غير حية، ولكن قبل أن نسخر من أفكار مر عليها ٤٠٠ سنة، يجب علينا أن نتوقف ولو للحظة لندرك أن أفكارنا هي الأخرى ستبدو ساذجة بعد ٤٠٠ سنة.

ولكن بمجرد ظهور الثورة العلمية وتعيين التجربة لتكون الاختبار النهائي للفرضيات، اختبر فرانشيسكو ريدي Francesco Redi — خليفة جاليليو في البلاط المديتشي بفلورنسا نظرية التوالد التلقائي، فعام ١٦٦٨، قام ريدي بتجربة وضع فيها قطعًا من اللحم في أوعية متنوعة، وكان بعض هذه الأوعية مكشوفًا للهواء والبعض محكم الإغلاق، وكان البعض مغطى بنسيج معدني ذا مسام صغيرة لا تسمح بمرور أي شيء سوى الهواء. حلق الذباب حول جميع الأوعية، ولكن بما أن اليرقات ظهرت في الأوعية المكشوفة فقط (وهي الأوعية التي استطاعت الحشرات أن تضع بها بيضها)، فإنه من الواضح أن اليرقات نشأت من الحشرات وليس من اللحم. علاوة على ذلك وجد بيض الحشرات مترسبًا على النسيج المعدني. وفي حين أنك ربما تتخيل أن تجربة ريدي قد تهدم نظرية التوالد التلقائي تمامًا، لكن الحقيقة كانت غير ذلك. فلا يزال يؤمن الكثير من الناس بهذه النظرية إذ إن الأفكار القديمة عنيدة ولا تتغير بسهولة، بل إن ريدي نفسه استمر يؤمن بأن التوالد التلقائي قد يحدث تحت ظروف معينة.

وبعد وقت قصير من تجربة ريدي جاء اختراع أداة تجريبية جديدة وقوية وهي الميكروسكوب. وكان هذا الاختراع نعمة ونقمة في آن واحد، فقد كان نعمة كبيرة لعلم الأحياء، لكنه كان نقمة لعلم الكيمياء إذ أحيا اعتقادات

التوالد التلقائي لأن «الجراثيم» التي عرضها الميكروسكوب بدت وكأنها تنشأ تلقائيًّا.

في حوالي عام ١٨٦٠، تحدى لويس باستير Louis Pasteur أحدث نقلة نوعية في الجدل الدائر حول نظرية التوالد التلقائي. فقد نشر أحد زملائه في الأكاديمية الفرنسية للعلوم وهو فيلكس أرشيميد بوشيه F. A. Pouchet نتائج لتجارب ادعى فيها أن بإمكانه توليد الكائنات الحية تلقائيًّا كلما شاء. ولكن باستير أوضح بعض الأخطاء في الطرق التجريبية التي اتبعها بوشيه، لذا طلب بوشيه من الأكاديمية الفرنسية تقديم جائزة لأي فرد يستطيع إثبات التوالد التلقائي أو دحضه. ومع أن أصدقاء باستير نصحوه بعدم السعي وراء هذه الجائزة لأن الهدف منها كان إحراجه، فإن باستير كان مسلحًا بتجاربه السابقة الخاصة بالتخمر.

نفذ باستير سلسلة من التجارب وصل في نهايتها إلى وضع حساء معقم (خاليًا من الجراثيم) في أنابيب معملية ذات أعناق على شكل حرف S. وساعد هذا الشكل الزجزاجي لأعناق الأنابيب في دخول الهواء ومنع دخول أي ميكروبات. فبقي الحساء معقمًا، وهذا أدى إلى عدم حدوث توالد تلقائي للبكتيريا، وهنا قال باستير:

> أيها السادة، أستطيع أن أشير الآن إلى هذا السائل [كان السائل موجودًا في أنبوبة معملية أمامه على الطاولة] وأن أقول لكم إنني قد أخذت قطرة من الماء من هذا الخلق العظيم، وقد أخذتها مليئة بالعناصر المخصصة لنمو الكائنات الأولية. ثم انتظرتها وشاهدتها وسألتها وتوسلت إليها أن تعيد لي المنظر الجميل لأول مخلوق. ولكني اكتشفت أنها بكماء، نعم بكماء لأن هذه التجارب بدأت من عدة سنوات، وهي بكماء لأنني أبعدتها عن الشيء الوحيد الذي لا يمكن للإنسان إنتاجه، ألا وهو الجراثيم التي تسبح في الهواء، فأبعدتها بذلك عن الحياة، لأن الحياة هي الجرثومة والجرثومة هي الحياة. ولن تقوم لنظرية التوالد التلقائي قائمة بعد هذه التجربة البسيطة.
>
> لا توجد ظروف الآن يمكن من خلالها إثبات أن الكائنات الميكروسكوبية جاءت إلى العالم بدون جراثيم أو بدون أبوين

> مشابهين لها. وهؤلاء الذين يؤكدون عكس ذلك يعيشون في الأوهام وخدعتهم التجارب الفاشلة المليئة بالأخطاء التي ربما لم يدركوها أو لم يعرفوا كيف يتجنبونها.

فاز باستير بالجائزة، ولكن لم تقضِ تجربته الناجحة على نظرية التوالد التلقائي تمامًا إذ كانت النظرية تطفو على السطح باستمرار. وكالأساطير، كان لهذه النظرية طابعها الخاص. على أن هناك أمرًا يستوقف المرء وهو وإن كانت تجارب باستير من الناحية العلمية رائعة في التأكيد على أن كل كائن حي قد نشأ من كائن حي سابق، فكيف إذن نشأ أول كائن حي؟

الفرضية الثالثة: أصل الحياة يرجع إلى الفضاء الخارجي: قدم أنكساجوراس Anaxagoras — وهو عالم يوناني عاش في الفترة من ٥٠٠ إلى ٤٢٨ قبل الميلاد — نظرية فلسفية حول ما يعرف باسم «بذور الحياة» التي اعتقد أنها موجودة في جميع الكائنات الحية. جرى النظر إلى هذه الفلسفة باعتبارها بداية لمفهوم البذور الكونية Panspermia الذي يقصد به أن الحياة على سطح الكواكب يرجع أصلها إلى مكان ما في الفضاء. ففي سبعينيات القرن التاسع عشر، قال عالم الفيزياء الاسكتلندي ويليام طومسون William Thomson — المعروف أيضًا باسم اللورد كلفن — الذي وجد الكربون في أحد الأحجار النيزكية:

> عندما تصطدم كتلتان كبيرتان في الفضاء، فمن المؤكد أن جزءًا كبيرًا من كل منهما سوف ينصهر، ومن المؤكد أيضًا أن كميات كبيرة من الحطام الناتج عن هذا الانصهار يجب أن تنطلق في جميع الاتجاهات، والتغير الذي سيطرأ على هذه الشظايا المنطلقة سيكون ضئيلًا، مثله مثل التغير الذي يطرأ على قطع الصخر عند حدوث انهيار صخري أو عندما تُفَجّر بالبارود. فمثلًا إذا اصطدمت الأرض بما عليها من نباتات ومظاهر حياة بجسم آخر يماثلها من حيث الأبعاد، فسوف تتبعثر الكثير من الشظايا التي تحمل بذور النباتات والحيوانات الحية بلا شك عبر الفضاء. من هنا، وبما أننا نؤمن جميعًا بوجود عوالم أخرى عديدة إلى جانب عالمنا، فيجب علينا أن

> نضع في اعتبارنا أنه من الممكن وجود صخور جوية نيزكية لا حصر لها تحمل بذورًا وأشكالًا للحياة وتدور وتتحرك عبر الفضاء. فإذا افترضنا مثلًا أن الأرض لا توجد عليها حياة في الوقت الحاضر، فيمكن لصخرة واحدة من تلك الصخور إذا سقطت على الأرض أن تجعلها مغطاة بالنباتات.

وقد دعم عالم الفيزياء الألماني هيرمان فون هيلمهولتز Hermann von Helmholtz هذه المفاهيم بقوله: «يبدو لي هذا الإجراء منطقيًّا من الناحية العلمية، فإذا فشلت جميع محاولاتنا في إنتاج كائنات حية من مادة غير حية، فيجب أن نسأل أنفسنا إذن هل أنشأ أحد هذه الحياة، وهل الحياة قديمة قدم المادة نفسها، وهل انتقلت البذور من أحد الكواكب إلى كوكب آخر ثم تطورت هذه البذور في كل مكان عند سقوطها على تربة خصبة؟»

مع أن هذه الأفكار التي عبر عنها علماء بارزون في زمانهم كانت مثيرة ومهمة فإنها لم ترتقِ إلى أن تكون فرضيات يمكن من خلالها الوصول إلى تنبؤات ومن ثم إخضاع هذه التنبؤات للتجربة، لذا لم تؤدِ هذه الأفكار إلى أي جديد، على الأقل من منظور المنهج العلمي.

عام ١٩٠٧ كتب العالم السويدي سفانت أرينيوس Svante Arrhenius، وهو حاصل على جائزة نوبل تقديرًا لأعماله المتعلقة بكيمياء الأيونات، كتابًا شهيرًا بعنوان *Worlds in the Making*. افترض أرينيوس في هذا الكتاب أن أي حياة تنشأ أولًا في مكان ما، غالبًا كوكب، ثم تندفع بذور الحياة هذه من الكوكب الذي نشأت عليه إلى كوكب آخر في النظام نفسه الذي يتبعه الكوكب الذي يحمل الحياة، ويتم ذلك بواسطة موجات الضغط الإشعاعي التي تحمل تلك البذور الحياتية من كوكب المنشأ إلى الكوكب الآخر الذي تظهر عليه الحياة فيما بعد. وبالنظر إلى هذه الفكرة كفرضية، وبتطبيقها على نشأة الحياة على الأرض، يمكن أن نتنبأ بأن البذور ستبقى محافظة على خصائصها الحيوية بالرغم من وجود الإشعاع فوق البنفسجي للشمس إلى أن تصل إلى الأرض. ولكن اختبر عدد من العلماء البذور تحت ظروف شبيهة بالفضاء، واكتشفوا أنها لم تستطع المحافظة على خصائصها الحيوية. ونتيجة لذلك توارت نظرية أرينيوس وأصبحت فقط مصدر إلهام لقصص الخيال العلمي.

وكان من أكبر الانتقادات التي وجهت لنظرية البذور الكونية أنها لا تقدم إجابة شافية لسؤال كيف بدأت الحياة، فهي فقط تُلقي بالمشكلة إلى مكان آخر لا يمكننا الوصول إليه. وسوف نستعرض موضوع البذور الكونية بشكل أوفى لاحقًا في هذا الفصل.

الفرضـية الرابعـة: الحياة نشـأت تلقائيًّا عندنا على كوكب الأرض: في عشرينيات القرن العشرين، كان غاز الميثان (CH_4) قد اكْتُشِفَ حديثًا في الأغلفة الجوية لكل من كوكب المشتري والكواكب الغازية العملاقة الأخرى. وافترض عالم الكيمياء الحيوية الروسي ألكسندر إيفانوفيتش أوبارين Aleksandr I. Oparin أن غاز الميثان كان موجودًا أيضًا في الأيام الأولى لنشأة الأرض بالإضافة إلى النشادر (NH_3) والهيدروجين (H_2) والماء (H_2O)، ويبدو أن هذه الغازات كانت بمنزلة المواد الأولية أو المواد الخام اللازمة لبدء الحياة لأنها تحتوي على العناصر الأساسية الموجودة في الكائنات الحية، وهي الكربون والأكسجين والهيدروجين والنيتروجين. وعام ١٩٢٤، نشر أوبارين كتيبًا حول أصل الحياة قال فيه:

> في البدء كانت هناك محاليل بسيطة من المواد العضوية، وكان يجري التحكم في سلوك هذه المواد عن طريق خصائص ذراتها المركبة وترتيب هذه الذرات في البنية الجزيئية. ولكن تدريجيًّا، وكنتيجة لنمو وتعقد الجزيئات، خرجت إلى الوجود خصائص جديدة، وفُرِضَ النظام الكيميائي الغروي colloidal chemical order بناءً على العلاقات العضوية الكيميائية البسيطة. وقد حُدِّدَت هذه الخصائص الجديدة بواسطة الترتيب المكاني والعلاقة المتبادلة للجزيئات، وفي هذه العملية يظهر الترتيب البيولوجي بالفعل. وحُدِّدَ هذا الشكل للتنظيم المادي الذي يميز الكائنات الحية الحالية بواسطة عدة عوامل مثل المنافسة، وسرعة النمو، والصراع على البقاء، وأخيرًا الانتخاب الطبيعي.

درس أوبارين محلولًا من البروتينات واكتشف أن تلك البروتينات الموجودة بالمحلول يمكنها أن تتجاذب وتتكتل مكونة بذلك كتلة هلامية أطلق عليها اسم

coacervates أو كريات صغيرة، وادعى أن بإمكانها القيام بنوع من الأيض. على أن أعمال أوبارين لم تصبح معروفة لدى الغرب إلا في أواخر ثلاثينيات القرن العشرين نظرًا لاندلاع الثورة في روسيا في عشرينيات القرن نفسه.

وفي مقال نشر عام ١٩٢٩ تحدث عالم الكيمياء الحيوية البريطاني جون بوردون ساندرسون هالدين J. B. S. Haldane عن كيفية نشأة الحياة على كوكب الأرض، وقد أشار هالدين في مقاله إلى أحدث التجارب الخاصة بتأثير الأشعة فوق البنفسجية على التفاعلات الكيميائية، وافترض أن الأشعة فوق البنفسجية التي تحيط بالغلاف الجوي الأول للأرض الذي كان يتكون من ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وبخار الماء (H_2O) والنشادر (NH_3) قد تمكنت من إنتاج مواد كيميائية عضوية ربما تكون قد تراكمت في المحيطات وأدت في النهاية إلى ظهور الحساء البدائي. وبعد ذلك كوَّنت التركيبات الكيميائية التالية كائنات حية أولية تستمد غذاءها من الأطعمة العضوية التي تحيط بها. ركز هالدين تركيزًا شديدًا على عملية التكاثر، واعتقد أن الكائنات الحية الأولية تمكنت من إنتاج كائنات أولية تشبه الفيروسات أو الفيرويدات viroids. وانتشرت أفكار هالدين على نطاق واسع واشتهرت آراؤه الفكرية بشكل كبير. وعندما اقترب من نهاية مشواره العلمي سأله أحد الأشخاص عما يمكن أن تقول دراسته الطويلة للطبيعة عن خالق هذه الطبيعة، فتوقف هالدين للتفكير في هذا الأمر — وربما تذكر أن عدد أنواع الخنافس في العالم هو ٣٥٠,٠٠٠ نوع أي حوالي أكثر من ٥٠٪ من عدد أنواع الحشرات — وأجاب السائل بقوله: «إن الخالق — إذا كان هناك خالق — لديه ولع مفرط بالخنافس.»

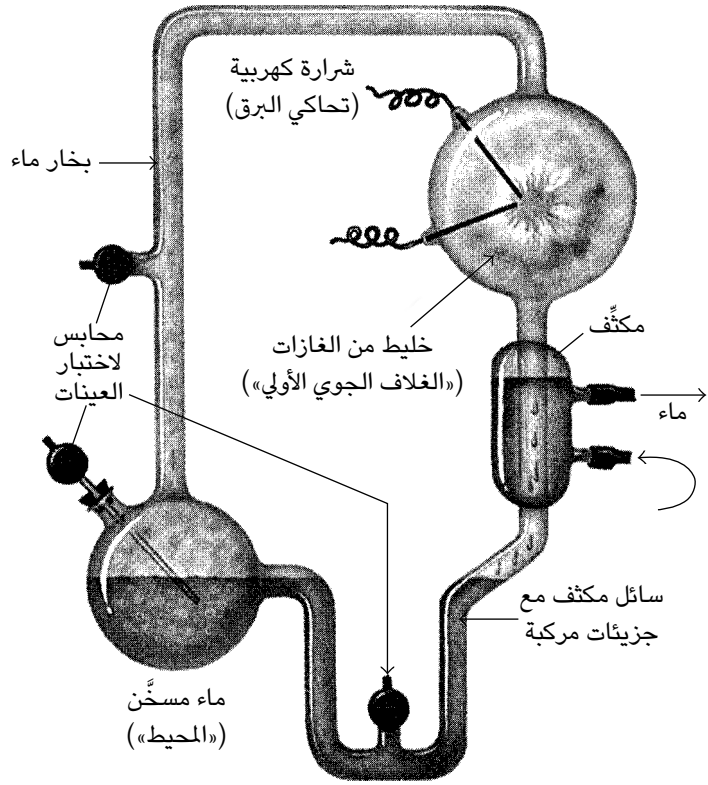
وبما أن أوبارين وهالدين توصلا إلى الأفكار نفسها، كلّ على حدة، فقد دُمِجَت الفرضيتان وأطلق عليهما اسم نظرية أوبارين–هالدين Oparin–Haldane theory. ولكن مع أن أفكارهما كانت منسجمة، فإن هناك اختلافًا جوهريًّا، وهو أن أوبارين ركز على عملية الأيض في حين ركز هالدين على التكاثر، وأدى ذلك إلى تقسيم نظريات أصل الحياة إلى معسكرين.

يقضي المنهج العلمي بأنه بمجرد وضع الفرضية، فالمسألة لم تزد عن مسألة وقت قبل أن يوضع لهذه الفرضية تنبؤ يمكن اختباره بالتجربة العملية، وبعد ذلك تُجرى التجربة المناسبة. قام ستانلي ل. ميلر Stanley L. Miller (وهو تلميذ العالم هارولد يوري Harold Urey الأستاذ بجامعة شيكاغو والحاصل

على جائزة نوبل) بعمل تجربة إبداعية صممت لاختبار نظرية أوبارين هالدين، وكانت المكونات المفترض وجودها في الغلاف الجوي الأول للأرض — وهي الماء والهيدروجين والأمونيا والميثان — معقمة وموضوعة في جهاز ملائم وخاضعة لمفرغات كهربائية تحاكي البرق. (انظر الشكل ٣-١).

وبعد إجراء التجربة لعدة أيام اكتشف ميلر وجود جزيئات عضوية بسيطة في الماء. (انظر الجدول التالي). وكان من بين هذه الجزيئات الأحماض الأمينية، التي تشكل وحدات البناء الأساسية للكائنات الحية. (انظر مجلد الأفكار ٥، الأحماض الأمينية)، ومن بين الأشكال العديدة للأحماض الأمينية الممكن تكونها، لا يظهر إلا مائة حمض أميني تقريبًا في الطبيعة. ويوجد منها عشرون حمضًا في الكائنات الحية، وقد تكونت أربعة من بين تلك العشرين بواسطة التفاعلات الكيميائية العشوائية في جهاز ميلر. وتكونت كميات كبيرة من هذه الجزيئات العضوية البسيطة والمميزة في الوقت نفسه في بضعة أيام فقط.

قدمت هذه النتائج دعمًا تجريبيًّا قويًّا لنظرية أوبارين هالدين، وبالطبع لم تتكون كائنات حية تامة. فمع أن الجزيئات التي كانت موجودة في جهاز ميلر كانت فقط مكونات بسيطة للجزيئات الضرورية للحياة، فإن حقيقة أن الجزيئات تكونت في خلال بضعة أيام قد قدمت دعمًا مهمًّا للنظرية.



شكل ٣-١: جهاز تجارب ميلر.

كان الدعم التجريبي لنظرية أوبارين هالدين حول أصل الحياة جيدًا ولكنه كان ناقصًا في الوقت نفسه؛ لأنه لم تكن قد تكشفت بعد تفاصيل الكيمياء الحيوية للحياة. ولكن بعد مرور عام حدث تطور كبير غيَّر كل شيء، فقد حدد العالمان جيمس واطسون James Watson وفرانسيس كريك Francis Crick البنية الأساسية للجزيء الذي يحمل مفتاح الشفرة الوراثية وهو الحمض النووي الديوكسي ريبوزي deoxyribonucleic acid أو الذي يعرف اختصارًا باسم الدي إن أيه DNA. وفي الوقت الذي بدأ فيه علماء البيولوجيا الجزيئية في تمييز التركيبات المعقدة بين الدي إن أيه، وأر إن أيه RNA وهو الحمض النووي الريبوزى ribonucleic acid، والبروتينات، والجزيئات الأخرى التي تساعد الكائنات الحية على القيام بوظائفها، فقد تكشفت معلومات إضافية

الجزيئات التي تكونت في تجربة ميلر

الجزيء	الصيغة الجزيئية
hydrogen cyanide	CHN
cyanogen	C_2N_2
cyanoacetylene	C_3HN
formaldehyde	CH_2O
acetaldehyde	C_2H_4O
propionaldehyde	C_3H_6O
glycine	$C_2H_5NO_2$
sarcosine	$C_3H_7NO_2$
glycolic acid	$C_2H_4O_3$
alanine	$C_3H_7NO_2$
n-methyl-alanine	$C_4H_9NO_2$
lactic acid	$C_3H_5O_3$
α-aminobutyric acid	$C_4H_9NO_2$
α-aminoisobutyric acid	$C_4H_9NO_2$
formic acid	CH_2O_2
acetic acid	$C_2H_4O_2$
propionic acid	$C_3H_6O_2$
urea	CH_4N_2O
aspartic acid	$C_4H_7NO_4$
iminoaceticpropionic acid	$C_5H_9NO_4$
succinic acid	$C_4H_6O_4$
glutamic acid	$C_5H_9NO_4$

حول التفاعلات الجزيئية. ولأن نظرية أوبارين هالدين الخاصة بأصل الحياة لم تتضمن مجموعة مفصلة من التفاعلات الكيميائية لإنتاج الحياة لأن هذه الجزيئات لم تكن معروفة في ذلك الحين، فقد كان الاعتقاد أن هناك يدًا خفية هي التي قامت بتلك التفاعلات.

من الآن وحتى نهاية هذا الفصل، سوف نناقش الأفكار الحالية الخاصة بالأساس الجزيئي لوظائف الكائنات الحية. وسوف نسلط الضوء ونقتفي أثر أول وأبسط كائن حي. ثم سنلقي بعد ذلك نظرة على الأحوال البيئية وقت تكون الأرض، وسنبحث كيف يمكن أن تكون التفاعلات الكيميائية قد حولت الجزيئات البسيطة في هذا الخليط إلى الآلية الجزيئية التي تتحكم في العالم. وبعد ذلك سوف نستكشف بعض التعقيدات والإشكاليات الأخرى التي تجعل

من أصل الحياة مشكلة مستعصية. وأخيرًا سوف نمضي في بعض السبل التي ربما تقود إلى حل هذه المشكلة.

الحياة الآن: تركيب الخلية

تبدو الحياة ظاهرة معقدة للغاية وفقًا للمنظور الحالي، فبوجود الملايين من الأنواع البيولوجية (بينها ٣٥٠,٠٠٠ نوعٍ من الخنافس)، تجد أنه من الصعب توقع أن يكون أبسط كائن حي لا يزال موجودًا، أو أن يكون متاحًا ويمكننا استخدامه في أبحاثنا. فهذا الأمر بعيد تمامًا. فبعد أربعة ملايين سنة من الطفرات والتناسل والمنافسة على الغذاء والتغيرات البيئية المختلفة، يصبح من البديهي أن نعرف أن أول كائن حي بدائي قد هلك تمامًا منذ زمن بعيد.

أما سؤال ما هي ماهية الحياة بالضبط؟ فعام ١٩٤٧ قال عالم الوراثة البريطاني جون بوردون ساندرسون هالدين: «لن أجيب عن هذا السؤال.» وقد كان محقًّا، لأنه بعد البحث المكثف على بعض الكائنات المعقدة التركيب مثل الفيروسات والفيرويدات والبريونات، وجد علم الأحياء أن صياغة تعريف للحياة أمر صعب؛ لأن الحياة نفسها أمر معقد ودائم التغير.

وقد كان يجري أحيانًا تصنيف الكائنات الحية وفقًا للنشاطات التي تحتاج إلى القيام بها وهذه العمليات هي:

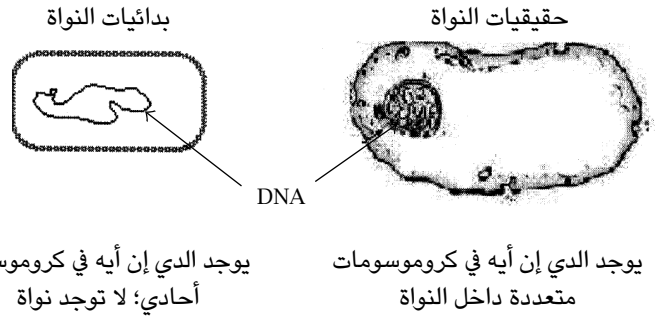
عملية الأيض: وهي الحصول على طاقة واستخدامها ثم التخلص من الفضلات.

النمو والإصلاح: الوصول إلى حجم ملائم وإصلاح النقائص.

الاستجابة للمثيرات: القيام بردود أفعال بناء على الوقائع البيئية الخارجية.

التكاثر: إنتاج نسخة من الكائن نفسه.

أما الآن فيتخذ علم الأحياء الحديث سبيلًا أبسط، وهي فكرة أن «كل كائن حي هو كائن خلوي»، سواء أكان هذا الكائن الحي يتكون من خلية واحدة أم من مجموعة معقدة من الخلايا المتباينة والمتفاعلة. علاوة على ذلك يحيط



شكل ٣-٢: حقيقيات النواة وبدائيات النواة.

بكل خلية غلاف غشائي يفصلها عن بقية العالم، ويوجد داخل هذا الغشاء مجموعة كاملة من التعليمات خاصة بطريقة عمل وتكاثر الخلية، وتُشفَّر هذه المعلومات في جزيء الحمض النووي أو الدي إن أيه.

ولفترة طويلة من الزمن ساد اعتقاد أن هناك نوعين مختلفين فقط من الخلايا وهما حقيقيات النواة eukaryotes وبدائيات النواة prokaryotes. (انظر الشكل ٣-٢). وتختلف هذه الخلايا من حيث موقع العلامات (تحتوي حقيقيات النواة على نواة، ولا تحتوي بدائيات النواة على نواة) والتكاثر (تتكاثر حقيقيات النواة عن طريق انقسام الخلية ويسمى ذلك بالانقسام الخيطي أو الميتوزي mitosis، وتتكاثر بدائيات النواة عن طريق الانقسام الخلوي). ولقد جرى حديثًا اكتشاف طائفة أخرى من الخلايا تسمى خلايا الآركيا archaea. وخلايا الآركيا تشبه بدائيات النواة من الناحية التشريحية، فكلاهما لا يحتوي على نواة، ولكن خلايا الآركيا تحتوي على بعض الجينات التي توجد أيضًا في حقيقيات النواة وجينات أخرى تنفرد بها تمامًا.

يوجد الحمض النووي للآركيا في نواة دائرية واحدة، بخلاف حقيقيّات النواة التي يحتوي حمضها النووي على الكثير من الأنوية. وتتم عملية الأيض في معظم الآركيا بشكل لا هوائي أي لا يتطلب أكسجين anaerobic، ويستطيع أن ينمو بعضها (وتسمى *extremophiles*) في ظروف قاسية لا تتحملها مثيلاتها من الكائنات الأولية. ولقد اكتشفت أنواع منها تتحمل درجات الحرارة تسمى hyperthermophiles، وُجِدَت تعيش في مياه تتعدى درجة

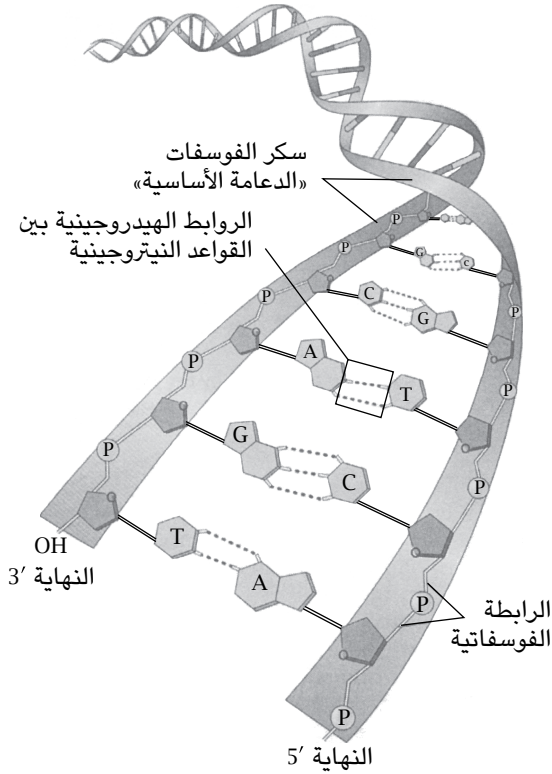
غليانها ١٠٠ درجة مئوية (٢١٢ درجة فهرنهايت)، كما في الينابيع الساخنة في حديقة يلوستون الوطنية Yellowstone National Park، وكذلك بالقرب من الفجوات الحرارية في أعماق البحار التي تسمى بالمدخنات smokers. في حين ينمو البعض الآخر في البيئات الباردة أو المالحة أو الحمضية، مثل البحيرات المتجمدة في القطب الجنوبي، والبحيرات المالحة، والترسيبات المعدنية للفحم. ولقد أثارت دراسة هذه الظواهر اهتمام الكثيرين منذ أواخر سبعينيات القرن الماضي.

ولذا يعتقد العلماء أن الآركيا هي أقدم الخلايا ويُعتقد أنها تسبق حقيقيات النواة وبدائيات النواة. ولذلك قد تكون الآركيا هي الأقرب من حيث الشكل للحياة الأولى عن أي خلية أخرى. فإن افتقاد الآركيا لنواة ولحمض نووي بسيط يجعلها مرشحة جيدة لتكون قريبة من أول وأبسط كائن حي.

وظائف الخلية

ولنتحدث الآن عن الوظائف الجزيئية للخلايا. فعلى المستوى الجزيئي، يحمل جزيء الدي إن أيه الشهير المعلومات الجينية للخلية، (انظر الشكل ٣-٣). والدي إن أيه هو جزيء حلزوني مزدوج طويل نسبيًّا يتكون من نيوكليوتيدات nucleotides متزاوجة. هذا الالتقاء بين النيكليوتيدات يربط قواعد نيوتروجينية متزاوجة ولكن بطرق معينة؛ حيث يرتبط الأدينين Adenine (A) مع الثيامين Thymine (T) فقط، ويرتبط الجوانين Guanine (G) مع السيتوزين Cytosine (C) فقط، وتسمى تلك القواعد بقواعد واطسون-كريك Watson-Crick المتزاوجة. أما باقي النيوكليوتيدات فهي سكر (ديوكسي ريبوز deoxyribose) مرتبط مع فوسفات، وهذا يمثل العمود الفقري لهذا الشكل الحلزوني. (انظر الشكل ٣-٤. لاحظ أنه في الشكل التخطيطي لتوضيح تركيب الجزيئات، عندما تجد المخطط لا يكتب على أركانه اسم ذرة فمعنى ذلك أن هذا الركن به ذرة كربون).

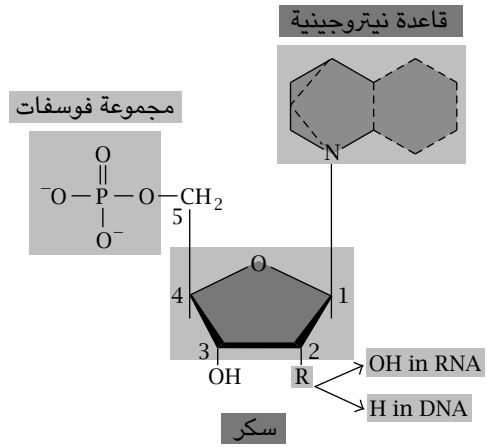
ويبني جزيء الدي إن أيه جزيئات أر إن أيه (الأر إن أيه الرسول messenger والأر إن أيه الناقل transfer والأر إن أيه الرايبوسومي ribosome)



شكل ٣-٣: تركيب جزيء الدي إن أيه.

وهذه الجزيئات هي سلاسل أحادية الشريط من النيوكليوتيدات. تملك نيوكليوتيدات الأر إن أيه تركيبًا مماثلًا لتركيب الدي إن أيه باستثناء أن اليوراسيل uracil (U) يحل محل الثيامين thymine (T). (انظر الشكل ٣-٥).

لا يستطيع الدي إن أيه ثنائي الشريط أن يمر عبر الفتحات الموجودة في غشاء النواة في حقيقيات النواة نظرًا لكبر حجمه، في حين يمر الأر إن أيه أحادي الشريط والأر إن أيه الرسول الصغير الحجم بسهولة. لا تواجه بدائيات النواة هذه المشكلة لأن حمضها النووي لا يوجد داخل نواة. ويُنْسَخ الدي إن أيه عن طريق فصل المنتصف ثم إعادة بناء الأنصاف المتممة للجزيء كنتيجة لانجذاب قواعد واطسون-كريك المتزاوجة بعضها لبعض. وتتطلب كل من وظيفة الانقسام ووظيفة إعادة البناء مساعدة الإنزيمات، عندئذ يبني الأر



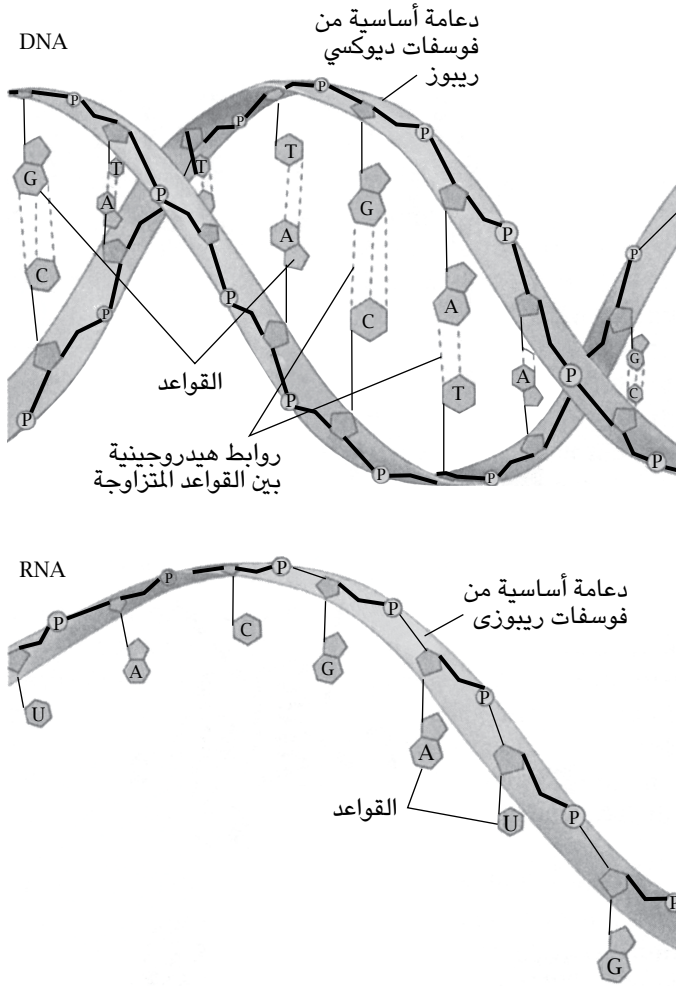
شكل ٣-٤: تركيب النيوكليوتيد.

إن أيه، المنسوخ من الدي إن أيه، البروتينات التي تحتوي على سلسلة طويلة من الأحماض الأمينية. (انظر الشكل ٣-٦).

دي إن أيه ← أر إن أيه ← بروتينات

تقوم البروتينات بوظيفة الخلية عن طريق تمكين أنواع معينة من التفاعلات الكيميائية من الظهور داخل الخلية، وهذه التفاعلات هي التفاعلات التي تبني الأجزاء الضرورية وتهضم الطعام وتخزن الطاقة وتقوم بالوظائف الضرورية الأخرى. (وبالمناسبة، لم نستطع حتى الآن استيعاب تفاصيل النظام التشغيلي للمعادلة دي إن أيه ← أر إن أيه ← بروتينات بشكل كامل وخاصة البروتينات وطياتها، وهذا يشكل أكبر مشكلة في علم الأحياء. انظر الفصل الرابع).

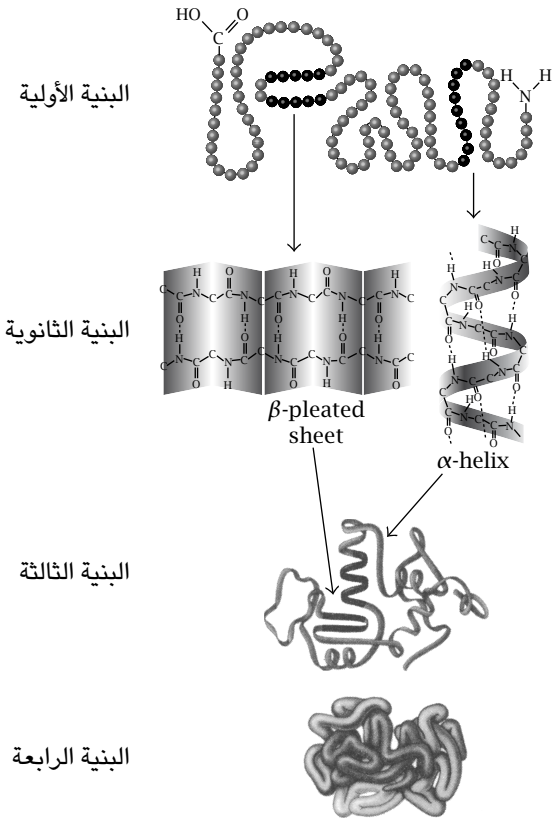
ومن أجل إيضاح وظيفة إنزيمات البروتين، التي تسهل حدوث تفاعلات كيميائية معينة فقط، تأمَّل الطريقة التي يكتسب بها الجسم البشري طاقة وذلك عن طريق تأكسد السكر والدهون، تحدث عملية التأكسد نفسها في العالم الخارجي، فهل رأيت من قبل احتراق السكر الخام، أو شاهدت شحمًا يحترق؟ تتطلب كلتا العمليتين (عمليتي التأكسد) درجات حرارة عالية للغاية، ومع ذلك فدرجة حرارة الجسم البشري تبقى من الداخل معتدلة وهي ٩٨,٦ درجة فهرنهايت (٣٧ درجة مئوية) أثناء حدوث عملية الأكسدة. تساعد البروتينات



شكل ٣-٥: جزيء الدي إن أيه والأر إن أيه.

التي بنيت بواسطة الأر إن أيه في حدوث التفاعلات الكيميائية في درجة حرارة منخفضة، ومع ذلك فالبروتينات لا تتأثر بالتفاعل ولذلك فهي لا تنفد. وبصفة عامة يطلق على هذه الجزيئات اسم المحفزات catalysts.

في حالة الجزيئات البيولوجية، تقوم الإنزيمات بالوظائف التحفيزية، وغالبًا ما تربط الإنزيمات جزيئات مركبة بشكل مؤقت، ومن خلال تقليل سرعة هذه الجزيئات تسمح الإنزيمات للجزيئات بالارتباط بالجزيئات المركبة



شكل ٣-٦: جزيئات البروتين وتركيبها.

الأخرى. وهذا الربط يعمل بآلية تشبه الآلية التي يتحرك بها المفتاح في القفل، فعندما نعود إلى المنزل في وقت متأخر من الليل يكون من الأسهل أن نضع المفتاح في القفل إذا ظل القفل في مكانه. وربما يسرع المحفز أيضًا أو يقلل سرعة الروابط الأخرى للجزيئات ميكانيكيًّا، ثم يحررها. ومن أمثلة المحفزات غير البيولوجية منظم الانبعاثات الضارة (الشكمان) في السيارات. حيث تفكك جسيمات البلاتين platinum أو البالاديوم palladium أو الروديوم rhodium الأكاسيد النيتروجينية وتطلق الأكسجين والنيتروجين، وتمزج أول أكسيد الكربون مع الأكسجين مكونة ثاني أكسيد الكربون، وهناك آلية أخرى وهي فصل الهيدروكربونات غير المحترقة وتكوين ثاني أكسيد كربون وماء.

ولتقريب الصورة، تشبه المحفزات متعهدي مباريات الملاكمة، فهم ينظمون المباريات للملاكمين لكنهم لا يتدخلون في القتال بأنفسهم.

وكما ترى في أشكال الجزيئات، توضح تلك الأشكال أن جميع هذه الجزيئات كبير ومركب ومع ذلك فهي تتكون من وحدات بسيطة. على سبيل المثال، يتكون كل من الدي إن أيه والأر إن أيه من مجموعات من النيوكليوتيدات، وتتكون النيوكليوتيدات من ذرة فوسفات وذرة سكر (ريبوز أو ديوكسي ريبوز) وقاعدة نيتروجينية، وتتكون البروتينات من مجموعات طويلة ومرتبطة من الأحماض الأمينية، ويطلق على كل مجموعة من هذه المجموعات الطويلة المترابطة اسم بوليمر polymer. وتمامًا مثل سور الحديقة الذي يمكن بناؤه بأشكال وأحجام عديدة، بناءً على حجم وشكل الكتل الحجرية التي تكونه، فيمكن أيضًا بناء مجموعة متنوعة من الجزيئات الكبيرة المتعددة الأشكال من جزيئات صغيرة مرتبطة معًا. ويطلق على الجزيئات الأحادية اسم مواحيد monomers (جمع موحود monomer) ويطلق على العملية التي من خلالها تُرْبَط الجزيئات الصغيرة من أجل تكوين جزيئات كبيرة اسم عملية البلمرة.

يعد التكثيف أحد أشكال تفاعلات البلمرة، حيث يرتبط مونومرين في حين يتكثف جزيء ماء بينهما، لذا يرتبط موحودان ويكونان ما يسمى بالدايمر dimer. ويطلق على ثلاثة مواحيد مرتبطة اسم ترايمر trimer، وهكذا. بصفة عامة، عندما يرتبط أكثر من موحودين يطلق على الجزيء الناتج اسم بوليمر. ومن الأمثلة على التكثف غير البيولوجي معالجة الخرسانة، حيث تكون مواحيد السيليكات بلمرات، ويتبخر الماء الزائد، ويغلف خليط الحصى والرمل في شكل بوليمر سيليكات، وهذا يؤدي في النهاية إلى حدوث رابطة قوية جدًّا.

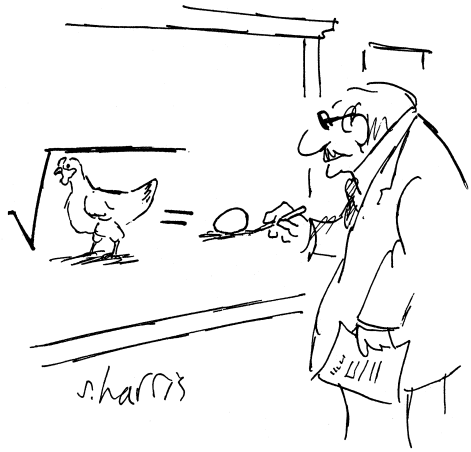
باختصار، يحتوي الدي إن أيه على مخططات جميع البروتينات بما في ذلك الإنزيمات، ويبني الأر إن أيه الإنزيمات التي يحفز بعضها تضاعف الدي إن أيه. ولا يمكن بناء الإنزيمات بدون خرائط دي إن أيه، ولا يمكن أن يُنْسَخ الدي إن أيه بدون إنزيمات، وهذا يشبه تلك المسألة القديمة عن الدجاجة والبيضة: هل جاءت الدجاجة من البيضة أم إن البيضة جاءت من الدجاجة؟

اقترح عالم الكيمياء الحيوية ليزلي أورجل Leslie Orgel في ستينيات القرن العشرين أحد الحلول للخروج من هذا المأزق إذ قال إن الأر إن أيه

يحمل معلومات جينية بما يكفي، غير أنه يستطيع أن يعمل أيضًا كمحفز إنزيمي، وهكذا يمكن له أن يقوم بوظائف كل من الدي إن أيه والبروتينات. ولكن إذا كان الحال كذلك كما يقول ليزلي، فإن أول جزيء عضوي ما كان يجب أن يكون دي إن أيه أو بروتينات، إذ كان من الممكن أن يكون أر إن أيه حيث إن تخليق جزيئات الأر إن أيه أسهل من تخليق الدي إن أيه، وأيضًا قد يمكن أن يتطور الأر إن أيه إلى دي إن أيه.

في سبعينيات القرن العشرين لوحظ أن جميع الوظائف الإنزيمية يمكن التعامل معها بواسطة البروتينات. ولم يحدث أن لوحظ من قبل أن الأر إن أيه يعمل كإنزيم. ومع ذلك ففي بداية الثمانينيات اكتشف عالما البيولوجيا الجزيئية توماس سيتش Thomas Cech وسيدني ألتمان Sidney Altman، أن الأر إن أيه يمكنه أن يعمل كمحفز. وقد جرى التعرف حتى الآن على ما يقرب من ١٠٠ إنزيم أر إن أيه، ويطلق عليها اسم ريبوزيمات ribozymes. ويُلقي هذا الاكتشاف ضوءًا جديدًا تمامًا على مشكلة أصل الحياة. وفي مقال نشر عام ١٩٨٦ في مجلة نيتشر Nature، ابتكر عالم البيولوجيا الجزيئية بجامعة هارفارد والتر جيلبرت Walter Gilbert مصطلح «عالم الأر إن أيه» RNA World، وكتب والتر:

> إذن استمرت المرحلة الأولى من التطور في التقدم، عن طريق قيام جزيئات الأر إن أيه بالأنشطة التحفيزية الضرورية لتجميع أسباب الحياة من حساء النيوكليوتيدات. ثم بعد ذلك تتطور جزيئات الأر إن أيه في أنماط ذاتية النسخ، عن طريق إعادة الاتحاد والطفرة لاستكشاف سبلٍ جديدة ... ثم تطور فيما بعد مجموعة كاملة من الأنشطة الإنزيمية. وفي المرحلة التالية بدأت جزيئات الأر إن أيه في تخليق البروتينات، أولًا عن طريق تطوير جزيئات مكيف الأر إن أيه RNA adaptor التي تستطيع ربط الأحماض الأمينية النشطة، ثم عن طريق ترتيبها وفقًا للأر إن أيه النمطي باستخدام جزيئات أر إن أيه أخرى مثل لب أر إن أيه الريبوسوم، وربما أنتجت البروتينات الأولى، التي تعمل كإنزيمات أفضل من نظائرها من الأر إن أيه، وإنزيمات البروتين هذه تتكون من عناصر بنائية صغيرة.



يوجد هناك بدائل لفرضية عالم الأر إن أيه، ومن أبرز هذه البدائل فرضية البروتين أولًا Protein-first لعالم الكيمياء الحيوية سيدني فوكس Sidney Fox وفرضية عالم الصلصال Clay World لعالم الكيمياء أ. ج. كايرنز سميث A. G. Cairns-Smith. لكن لم تلق هذه النظريات اهتمامًا كبيرًا من جانب الباحثين، وسوف نؤجل مناقشتها حتى نلقي نظرة متعمقة على عالم الأر إن أيه.

بريسول PreSol

سوف نبدأ رحلتنا في الطريق نحو أصل الحياة من الوقت الذي تبلورت فيه لأول مرة وحدات البناء الأساسية وهي الذرات. ولكي نرى كيف حصلت الأرض على ذراتها وخاصة الذرات الكربونية، فيجب علينا العودة بالزمن إلى الوراء، بل إلى الوراء كثيرًا!

منذ زمن بعيد، وفي مكان ما في مجرتنا درب التبانة، كان هناك نجم ولنطلق عليه اسم «بريسول». وقد تكون بريسول بواسطة تكثيف الجاذبية لسحابة كبيرة من الهيدروجين والهليوم المتواجدين بين النجوم. ومثل معظم النجوم تكون بريسول من قلب، وفيه تشد الجاذبية البروتونات نحوها بما يكفي لحدوث الاندماج النووي، ومن غلاف جوي من الغازات ترتفع درجة حرارته بواسطة الطاقة الناتجة من القلب. وخلال الجزء الأول من دورة

حياة بريسول دمج قلبه أنوية الهيدروجين (البروتونات) لتكوين أنوية هليوم (وتسمى جسيمات ألفا)، فتوهج الغلاف الجوي بواسطة الطاقة المنبعثة من هذه العملية.

وبعد فترة نَفَذَت ذرات الهيدروجين من قلب النجم جزئيًّا، وأدى هذا النقص في الوقود إلى انكماش القلب وارتفاع درجة حرارته، مما أدى إلى تمدد واحمرار الغلاف الجوي. في غضون ذلك ارتفعت درجة حرارة القلب المنكمش وبدأ في دمج ثلاث أنوية من الهليوم لتكوين نواة كربون، وتسمى تلك العملية باسم عملية ألفا الثلاثية triple alpha process. ونظرًا لامتلاك النجم بريسول لكتلة كبيرة فقد كانت جاذبيته قوية جدًّا، ولما نفذ الهليوم بسرعة كبيرة انكمش القلب مرة أخرى، وازدادت درجة الحرارة مرة أخرى، ونتيجة لذلك فقد أوجدت تفاعلات الاندماج الجديدة عناصر أثقل من الكربون. يحدث الاندماج في طبقات، ولذلك فإن قلب أي نجم كبير يبدو شبيهًا بالبصلة، مع حدوث تفاعلات اندماج مختلفة في كل طبقة. يتمدد وينكمش الغلاف الجوي إلى حد ما، ولكن لا تستمر هذه العملية بسبب التغيرات التي تحدث للقلب، إذ إن القلب يعمل بنشاط محموم، محاولًا أن يوقف الانكماش الناتج عن الجاذبية، ومن ثم تندمج أنوية أضخم. وعندما تصل عملية الاندماج إلى عنصر الحديد تكون اللعبة قد قاربت على الانتهاء، حيث إن اندماج الحديد لا ينتج عنه طاقة كبيرة، وكذلك اندماج الأنوية الثقيلة. عندما انهار القلب كان الأمر مدهشًا، حيث انفجر بريسول مشتتًا جزءًا من القلب وكل الغلاف الجوي في الوسط الواقع بين النجوم. (ترى، ماذا حدث لما تبقى من القلب؟ الإجابة في الفصل السادس).

وانطلقت مادة تتكون من ٧٠٪ من الهيدروجين و٢٨٪ من الهليوم و٢٪ من العناصر الثقيلة معظمها من الكربون بسرعة فائقة. وفي الوقت الذي قللت فيه الجاذبية من سرعة المادة المنطلقة من بريسول فقد دعمت الوسط الواقع بين النجوم بالأنوية الثقيلة.

في حين أن قصة النجم بريسول تفسر أصل الأنوية الثقيلة التي يملكها نظامنا الشمسي وكوكب الأرض، هناك حقيقة أخرى يجب أن تؤخذ في الاعتبار وهي أن النجوم الكبيرة تكمل دورة حياتها بشكل سريع جدًّا على المستوى الفلكي، حيث تستغرق دورة حياة النجم الكبير من ملايين إلى مئات الملايين

من السنين. ربما كان هناك الآلاف من بريسول قبل تكون نظامنا الشمسي. لذا فسحب الغاز والغبار التي تكثفت بفعل الجاذبية وأدت إلى تكوين نظامنا (الحياة) ربما تكون دُعِّمَت بالأنوية التي تكونت بواسطة الكثير من النجوم السابقة.

نظامنا الشمسي

إن الجزء الأول من قصة الشمس يشبه الجزء الأول من قصة بريسول، باستثناء أن الشمس تملك كتلة أصغر من كتلة النجم بريسول. من المعروف أن عمر النجوم الصغيرة يكون طويلًا لأن كتلتها الصغيرة لا تساعد على حدوث عمليات الاندماج بسرعة كبيرة. ولذلك سوف تبقى الشمس لفترة أطول إذ تقل مخاطر تعرضها للزوال. ومع ذلك فسيكون تركيزنا الرئيسي على كوكب الأرض، ففي الحقيقة كانت عملية تكون الأرض شبيهه بعملية تكون النجم بريسول، باستثناء أن الجسيمات الملتحمة التي كانت على الأرض كانت تحتوي على كتلة صغيرة جدًّا، ولذلك فلم يحدث أي اندماج نووي. فقد تصادمت الجسيمات الملتحمة وتجمعت معًا، وغاصت المواد الثقيلة إلى القلب وطفت المواد الخفيفة إلى السطح.

تصادمت جسيمات الغاز والغبار بعضها مع بعض، وتكتلت معًا من خلال عملية تسمى التنامي accretion، وفي النهاية كانت الأرض في أولى صورها. واستمرت الكتل المتراكمة التي تسمى الكويكبات في الإمطار على سطح الأرض. وربما يكون أحد الكويكبات الكبيرة قد ضرب الأرض وأنتج مادة كونت القمر وجعلت الأرض تدور. وفي النهاية أطلقت الشمس معظم الحطام إلى النظام الشمسي. فأصبحت المنطقة الداخلية للكوكب نظيفة جدًّا، باستثناء التأثيرات التي حدثت من حين لآخر بسبب كرات الثلج التي كانت تسقط على النظام بسبب التصادمات القريبة التي كانت تحدث بين الكواكب الخارجية الضخمة. وكرات الثلج هذه هي ما نطلق عليه الآن اسم المذنبات، وتتكون ذيول هذه المذنبات في الغالب من بخار ماء وثاني أكسيد كربون ناتجين عن تحويل أشعة الشمس للثلج من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية وهو ما يعرف باسم عملية التسامي Sublimation.

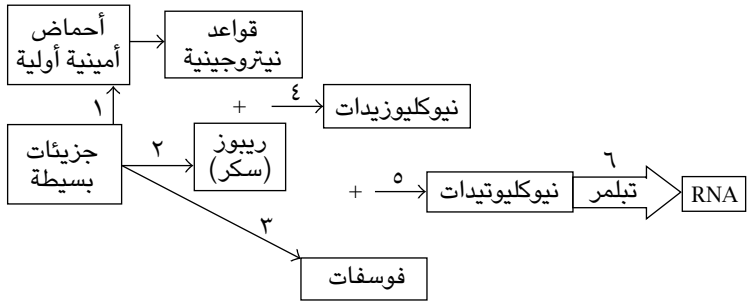
تطور الأر إن أيه

كان سطح كوكب الأرض (الذي كان لا يزال كوكبًا جديدًا) صخريًّا ولم يبرد بعد، وكان لا يزال عرضة لما يسقط عليه من الكويكبات وذيول المذنبات، تلك المواد التي كانت تحتوي على بخار ماء مشبع بالكربون وتحتوي أيضًا على ثاني أكسيد الكربون. وعندما بردت الأرض تكثف الماء وأدى ذلك إلى تكوين المحيطات. ربما يكون قد تكون الغلاف الجوي من الغازات التي أطلقتها البراكين، مثل بخار الماء (H_2O) وثاني أكسيد الكربون (CO_2) والنشادر (NH_3) وغاز الميثان (CH_4) والقليل من الهيدروجين (H_2) الذي لم ينفد حتى الآن نتيجة لضعف الجاذبية على كوكب الأرض. ولم يكن هناك أكسجين (O_2) يذكر، لأنه لو كان هناك أكسجين ولو قليل لكان سيدخل في تفاعلات كيميائية ولن يبقى في الحالة الحرة.

ربما تكون قد بدأت التفاعلات الكيميائية التالية على الأرض في هذا السياق. ولكي تعمل كأساس للحياة كان يجب أن تتم جميع هذه التفاعلات بواسطة الجزيئات المتاحة وتحت الظروف التي سادت هذا الوقت، كما كان يجب أن تكون هذه التفاعلات قوية وشديدة. سوف نتعرض لكل تفاعل من هذه التفاعلات، بدءًا من الجزيئات البسيطة وصولًا إلى الأر إن أيه، باحثين عن الكيفية والمكان الذي ربما يكون حدثت فيه هذه التفاعلات والتأثيرات الإيجابية والسلبية التي أدت إليها. ومن حيث التوقيت فمن المؤكد أن جميع التفاعلات قد بدأت قرب نهاية فترة الإمطار الكويكبي وانتهت قبل تَكَوُّن أقدم بقايا الحفريات، وربما تمتد هذه الفترة من ١٠٠ إلى ٥٠٠ مليون سنة، أو حوالي ١٠[١٦] ثانية.

يوضح الشكل ٣-٧ التفاعلات الكيميائية التي يجب أن تحدث من أجل إنتاج الأر إن أيه.

١- تتفاعل الجزيئات البسيطة كيميائيًّا لتكوين الأحماض الأمينية التي تعد الصورة الأولية للقواعد النيتروجينية: أنتجت تجربة ستانلي ميلر (التي قام بها عام ١٩٥٣) مجموعة متنوعة من الجزيئات العضوية بواسطة عملية كيميائية عشوائية، وكان من بين هذه الجزيئات أحماض أمينية، التي تعد



شكل ٣-٧: التفاعلات الكيميائية التي تقود إلى الأر إن أيه.

الصورة الأولية للقواعد النيتروجينية. وقد تم القيام بتجارب شبيهة ولكن باستخدام مكونات مختلفة وباستخدام أشعة فوق بنفسجية بدلًا من المفرغات الكهربية. ومع ذلك فالنتائج كانت متطابقة؛ فقد تكونت جميع الأحماض الأمينية العشرين الأساسية الموجودة في الكائنات الحية بكميات متنوعة. (انظر مجلد الأفكار ٥، الأحماض الأمينية). ربما تكون بدأت هذه العملية في الغلاف الجوي ثم انتقلت إلى المحيطات، أو ربما تكون قد بدأت في أعماق المحيطات بالقرب من الفتحات المائية الحارة hydrothermal vents (وتسمى المدخنات)، والتي ربما تكون قد ساعدت درجات الحرارة العالية فيها على توفير الطاقة ومن ثم تسريع التفاعلات الكيميائية. ونظرًا لأن الحياة لم تكن بدأت في هذا الوقت فقد تمكنت الجزيئات من التراكم في المحيط ولم تكن هناك كاسحات لتزيحها في هذا الوقت كما يحدث الآن.

٢- تتفاعل الجزيئات البسيطة كيميائيًّا لتكوين الريبوز: بالرغم من ملاحظة هذا التفاعل فإنه لم يُحَدَّد حتى الآن سلسلة التفاعلات الكاملة التي تنتج الريبوز كمنتج رئيسي. أما في حالة التفاعلات التي يكون فيها الريبوز منتجًا ثانويًّا، فإن النتائج في الغالب لا تكون واضحة، كالتفاعلات الشديدة، لبناء قدر كاف من الجزيئات الأولى للحياة. وربما لم يكشف الباحثون بعد النقاب عن التفاعلات الصحيحة لإنتاج الريبوز المطلوب، أو ربما كانت هناك محفزات فريدة غير عضوية أو عضوية ساعدت على حدوث هذه التفاعلات. وبدلًا من الاستمرار على طريقة ميلر وطهي جزيئات بسيطة لتبقى فترات

أطول وأطول من الوقت، قفز الباحثون قفزة أسرع ودمجوا جزيئات متوسطة ليروا كيفية الطريقة التي ستتم بها العملية كلية.

٣- تتفاعل الجزيئات البسيطة كيميائيًّا لتكوين الفوسفات: يكون هذا التفاعل تفاعلًا غير عضوي ومباشر ويتم بسهولة بواسطة ذرات الفسفور الموجودة في الصخور الرسوبية.

٤- تتفاعل القواعد النيتروجينية مع الريبوز كيميائيًّا لتكوين النيوكليوزيدات nucleosides: لقد حقق الباحثون نجاحًا متواضعًا بشأن هذه التفاعلات، ولكن لا يكون التخليق كافيًا بدون استخدام إنزيمات لتحفيز العملية.

٥- تتفاعل النوكليوزيدات والفوسفات كيميائيًّا لتكوين النوكليوتيدات: تتكون بعض النوكليوتيدات بسهولة شديدة، في حين تكون هناك صعوبة بالغة في إنتاج البعض الآخر. ويوجد حجر عثرة آخر وهو تكون مجموعة متنوعة كبيرة من النيوكليوتيدات. ومرة أخرى ربما كانت هناك محفزات غير عضوية أو عضوية ساعدت في هذا التفاعل، وربما تكونت هذه المحفزات على كوكب الأرض أو جاءت من الفضاء على ذيول المذنبات أو النيازك، فطبيعة هذه المحفزات غير معروفة حتى الآن (سوف نتحدث عن ذلك بشكل أوفى فيما بعد). من المحتمل أن تكون حدثت تفاعلات غير إنزيمية، ولكن لم يتمكن الباحثون من تحديدها بعد.

٦- تتبلمر مواحيد النوكليوتيدات لتكوين بلمرات نوكليوتيدات الأر إن أيه: يمكن أن تكون البلمرة عملية صعبة في البيئات الغنية بالمياه، وربما تكون حدثت البلمرة بواسطة التكثيف في مستنقع ضحل أو شاطئ رملي أو ساحل طيني. لم تستطع الجزيئات العضوية الكبيرة الاحتفاظ بخصائصها الحيوية بسبب كثافة الإشعاع فوق البنفسجي، وهذا يفسر المطالبة بإيجاد حماية من نوع ما لكي تحدث البلمرة. إنه لأمر مقنع أن نعلم أن جزيئات بخار الماء في الغلاف الجوي العلوي قد انفصلت بواسطة أشعة الشمس، وهذه العملية تسمى

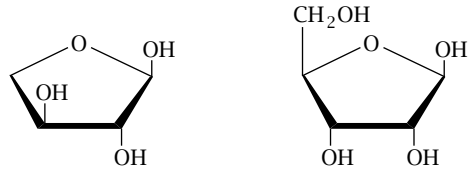
بعملية التفكك الضوئي photodissociation وتنتج هيدروجين وأكسجين. ثم استطاع الهيدروجين أن يفلت من القوة الجاذبية للأرض وتحول الأكسجين وتكونت أول طبقة أوزون للأرض (O_3)، وتحجب هذه الطبقة الأشعة فوق البنفسجية عن سطح الأرض. وكان الأكسجين عاليًا في الغلاف الجوي ولم يدخل في التفاعلات الكيميائية التي كونت الحياة على سطح الأرض، وأدى حجب الأشعة فوق البنفسجية إلى حماية الجزيئات العضوية من التفكك. (استمرت ديناميكيات الغلاف الجوي في التطور، وساعدت في إحداث المشكلة المستعصية الخاصة بالطقس التي سوف نستكشف معالمها في الفصل الخامس).

وهناك احتمال آخر وهو وجود جزيء ينسخ نفسه بنفسه قبل الأر إن أيه، ومن المؤكد أن تخليق هذا الجزيء الافتراضي كان أسهل من تخليق الأر إن أيه، ومع ذلك فقد كان في تركيبه قريبًا من تركيب الأر إن أيه. وهناك مرشحان محتملان وهما:

(١) TNA (الحمض النووي الثريوزي threose nucleic acid) الذي يتكون من سكر رباعي الكربون (الثريوز)، على عكس السكر خماسي الكربون (الريبوز) الذي يكوِّن العمود الفقري للرنا. وربما خُلِّقَ TNA من جزيئات بسيطة في عالم ما قبل الأحياء بشكل أكثر سهولة من الأر إن أيه حيث إن TNA يحتاج إلى قطع ثنائية الكربون في حين يحتاج الريبوز إلى قطع ثنائية وثلاثية الكربون. تكون بلمرات TNA حلزونًا ثنائيًّا تمامًا مثل الدي إن أيه وهذا الحلزون متوافق مع الدي إن أيه والأر إن أيه. (انظر الشكل ٣-٨).

(٢) PNA (الحمض النووي البيبتيدي peptide nucleic acid)، وهنا لا تتكون الدعامة الأساسية من أي سكر بل تتكون من بوليمر من الحمض الأميني N-(٢-أمينو إيثيل) N-(2-aminoethyl) جليسين. ويكون هذا الجزيء أشكالًا ثنائية الحلزون، وتتخلق مكوناته بسهولة بسبب التفاعلات الشديدة بين جزيئات بسيطة، كما يتبلمر هذا الجزيء بسهولة أيضا.

لم يتضح بعد ما إذا كان هناك شيء يسبق الأر إن أيه أم لا، ولا يزال البحث مستمرًّا للإجابة على هذا السؤال.



شكل ٣-٨: جزيئات السكر رباعي الكربون (الثريوز) والسكر خماسي الكربون (الريبوز).

عالم الأر إن أيه

بمجرد وجود الأر إن أيه، يصبح الطريق إلى أول خلية أوضح، ولكن يتبقى هناك خمس مراحل مختلفة في عملية تطور عالم الأر إن أيه.

١- مرحلة النسخ

(أ) يُكَمِّل شريط الأر إن أيه سلسلة (A-U ،C-G) عن طريق جذب القواعد المتزاوجة للأحماض الأمينية بعضها لبعض. ربما تنتج تركيبات عدة، ولكن الأزواج غير المستقرة لن يلتحم بعضها ببعض كما تفعل القواعد المتزاوجة لنموذج واطسون-كريك (AU، GC) ولذلك فسوف تهيمن تلك القواعد.

(ب) ينفصل مكمل الأر إن أيه عن الشريط الأصلي.

(ج) يكوّن المكمل مكمله الخاص، وهذا المكمل يكون مطابقًا للأر إن أيه الأصلي.

(د) تنفصل المكملات الجزيئية وتنتج نسخة من جزيء الأر إن أيه الأصلي ونسخة من جزيء الأر إن أيه التكميلي، وكلا الجزيئين يمكنهما إنتاج نسخ أكثر بالطريقة نفسها.

ولكن تكرار جميع هذه الخطوات في ظروف معملية أمر غير ناجح. فربما تكون قد ساعدت المحفزات في إحداث هذه التفاعلات، أو ربما تكون أسهمت المحفزات غير العضوية الموجودة على هيئة طفيليات مشحونة في هذه العملية عن طريق جذب الجزيئات ووضعها في موضع التفاعل. وهناك احتمال آخر وهو أن تكون قد قامت جزيئات الأر إن أيه الذاتية التحفيز

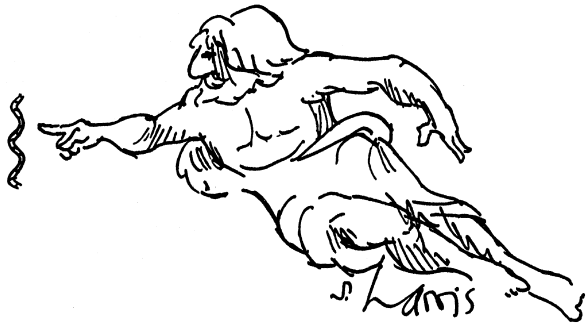
(الريبوزيمات ribozymes) بعمليات التضاعف الضرورية. ومع ذلك فربما كانت هناك محفزات عضوية أخرى ولكنها لم تكتشف بعد. وتوجد صعوبة أخرى متصلة بالطبيعة المزدوجة لجزيئات الأر إن أيه والدي إن أيه الحلزونية. وسوف نتعرض لهذا الموضوع في القسم التالي.

على المستوى الجزيئي، ربما كان النشوء والارتقاء حاضرًا في جميع مراحل تطور عالم الأر إن أيه. وتظهر تنوعات واختلافات أثناء عملية التضاعف نتيجة للطبيعة العشوائية للعملية. ولذلك تتنافس الجزيئات المتنوعة المنتجة على الأحماض الأمينية، وتلك الجزيئات التي كانت أكثر فعالية تجمع أغلب الأحماض الأمينية ومن ثم يكون لها الهيمنة. لاحظ تطابق هذا السيناريو مع عملية النشوء والارتقاء لداروين للتنوع والمنافسة والانتخاب والتضخيم التي تعمل على مستوى الكائنات الحية.

٢- تخليق البروتين بواسطة الأر إن أيه: من المؤكد أن الأر إن أيه الذي خلَّق جزيئات البروتين قد حظي بميزة داروينية ربما عن طريق حلقة التغذية الراجعة غير المباشرة التي لم يُتَعَرَّف على هويتها بعد.

٣- التقسيم إلى مجموعات خلوية: من المؤكد تكون أغشية من بروتينات معقدة أو جزيئات دهنية شحمية فصلت مجموعات الأر إن أيه بعضها عن بعض. وهذا قد يقوي المنافسة بين مجموعات الأر إن أيه وجزيئات البروتين قبل وصولها إلى المرحلة الخلوية. ويشار إلى هذه المجموعات الخلوية باسم الخلايا البدائية أو الأولية protocells.

٤- الربط بين البروتينات والأر إن أيه: بافتراض أن جزيئات الأر إن أيه الأولى هذه قد قُسِّمت إلى جينات، وأن كل واحد من هذه الجينات قد خلَّق نوعًا واحدًا من البروتين، فمن المؤكد أن طول هذه الجينات كان يبلغ ما بين ٧٠ و١٠٠ نيوكليوتيدة. ويبلغ طول الجين البشري حاليًّا الآلاف من النيوكليوتيدات. ربما كان طول البروتين الأول نفسه (البيبتيد peptide) يتراوح ما بين ٢٠ إلى ٣٠ نيوكليوتيدة. وعلى الجانب النظري، لقد قدر الحد الأدنى لعدد الجينات بـ ٢٥٦ جينًا ولذلك فمن المؤكد أن الأر إن أيه الخلوي الأول كان يبلغ طوله ٢٠,٠٠٠ نيوكليوتيدة.



٥- تخزين معلومات الدي إن أيه وتكوين محفزات إنزيم البروتين: في حين يخزن الأر إن أيه المعلومات الجينية بقدر كبير من الفعالية، إلا أن تخزين المعلومات في البنية مزدوجة الحلزون للدي إن أيه يعد أكثر استقرارًا من التخزين في الأر إن أيه أحادي الحلزون. واستمرارًا مع فكرة أن الأر إن أيه يكوِّن الكثير من الجزيئات المختلفة بدوره كمخزن للمعلومات وكمحفز إنزيمي، فذلك يعطي إحساسًا نشوئيًّا (يدل على تدخل نظرية النشوء والارتقاء في الأمر)، فبمجرد تكوين جزيء الأر إن أيه لجزيء دي إن أيه، تحل المعلومات الجينية للدي إن أيه الأعلى محل معلومات الأر إن أيه. إضافة إلى ذلك تقوم إنزيمات البروتين بالوظائف التحفيزية بفعالية أكبر من الأر إن أيه، لذا تحل البروتينات محل الأر إن أيه فيما يتعلق بتلك الوظيفة أيضًا. لذلك أصبحت جزيئات الأر إن أيه العامل الرسول والمترجم والريبوسوم؛ لأن وظائفها الأخرى أوكلت لجزيئات يمكنها القيام بالمهمة بشكل أفضل، يالسرور دارون بهذا! بمجرد أن أصبحت الخلية البدائية قادرة على القيام بعملية الأيض والتكاثر أصبحت خلية تامة النمو، وبدأت الحياة.

بدائل عالم الأر إن أيه

توجد سيناريوهات عديدة أخرى متصلة بالأر إن أيه، منها البروتين أولًا وعالم الصلصال.

البروتين أولًا Protein First: أوضح سيدني فوكس عام ١٩٧٧ أن مخاليط معينة من الأحماض الأمينية، عندما تسّخن بدون ماء، تتبلمر وتكوّن أشباه

بروتينات proteinoids (عديدة الببتيد قصيرة مع بعض الخصائص التحفيزية)، وإذا وُضِعَت أشباه البروتينات هذه في الماء بعد ذلك تكوّن أغشية وتأخذ شكلًا يماثل الخلايا. وقد أطلق فوكس على هذه التركيبات الشبيهة بالخلايا اسم الكرات المكروية michrospheres. ويعتقد أن البروتينات حَفَّزَت تكوين رنا ودنا داخل هذه الكرات المكروية.

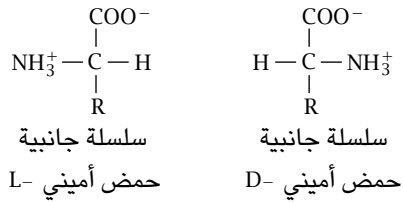
عالم الصلصال Clay World: في هذا الفرض يزود النشاط الإشعاعي الأحماض الأمينية بالطاقة لتتبلمر في صلصال يحتوي على حديد وزنك، وتعمل كمحفزات غير عضوية لتكوين كل من البروتينات والأر إن أيه في الوقت نفسه. قدم هذا المخطط العالم أ. ج. كايرنز سميث عام ١٩٨٢.

لقد اقتصرت جهود البحث على هذه الافتراضات البديلة، ولكن ربما يتغير هذا الوضع إذا اكْتُشِفَ أي دليل قاطع على صحة أحدهم.

تعقيدات

كما رأينا تعد مسألة أصل الحياة عملية معقدة للغاية، فلا يزال هناك الكثير من الأسئلة المبهمة، مثل ماهية ونسب المواد الخام، ودور درجة الحرارة، ومقدار المياه المتوفر، وهل كانت المحفزات موجودة أو لا، وهل كانت المحفزات عضوية أو غير عضوية، ومصدر هذه المحفزات، وما الطرق الكيميائية التي استخدمت، وما إلى ذلك. ولكن تبقى المعضلة الأساسية هي أنه لا يمكننا السفر إلى الوراء عبر الزمن للتحقق من هذه التفاصيل.

ربما مع زيادة الصخب، يوغل بعض الناس عبر الأدغال ويطلبون إجابات بسيطة، مثل النظر للعملية ككل على أنها عملية إحصائية ويضعون تقديرًا لجميع احتمالات الحدوث. لقد قُدِّمَ الكثير من هذه التقديرات، وفسرت هذه التقديرات بشكل مثير من خلال تعليق عالم الفلك فريد هويل Fred Hoyle، الذي قال إنّ إمكانية أن تكون قد تكونت الحياة من جزيئات بسيطة يشبه القول إنّ «الرياح التي تهب على فناء به قطع الحديد الخردة يمكنها تجميع طائرة بوينج ٧٤٧ من المواد الموجودة في الفناء.» إن فكرة تجميع شيء معقد تكنولوجيًّا من مواد خام بسيطة في خطوة واحدة هراء. إضافة إلى ذلك فالعملية بلا ريب ليست بهذه العشوائية؛ فالمحفزات التي تسرع التفاعلات،



شكل ٣-٩: أيسومرات فراغية.

والنظام الداروييني للتنوع والمنافسة والمكافأة وتوسيع الجزيئات الناجحة يجعل الكيمياء ذات فاعلية أكثر من كونها عملية عشوائية.

توجد معضلة أخرى وهي الطبيعة المزدوجة للجزيئات. إن قدرة الكربون على تكوين أربعة روابط تتيح له تكوين أشكال رباعية الأسطح وثلاثية الأبعاد. لذا فيمكن لذرة أحادية الكربون، حتى لو كانت ترتبط مع الذرات نفسها، أن تكوّن جزيئين مختلفين تمامًا يطلق عليهما اسم أيسومرات فراغية stereoisomers. (انظر الشكل ٣-٩). في حين أن هذه الجزيئات هي صور منعكسة بعضها لبعض نظرًا لطبيعتها الثلاثية الأبعاد، إلا أنها غير قابلة للتبادل. فأي فرد حاول أن يضع القفاز الأيسر في اليد اليمنى من قبل بإمكانه أن يدرك ذلك.

ويطلق على هذه الظاهرة التي تحكم الجزيئات اسم عدم التناظر المرئي chirality. ونظرًا لأن الجزيئات صغيرة جدًّا ويصعب رؤيتها، يُحَدَّد عدم التناظر المرئي لها عن طريق تمرير ضوء قطبي داخل محلول من هذه الجزيئات وملاحظة الاتجاه الذي يدور فيه تيار استقطاب الضوء. يخصص الرمز -L للجزيئات التي تدير الضوء إلى الاتجاه الأيسر، ويخصص الرمز -D للجزيئات التي تدير الضوء إلى الاتجاه الأيمن. ويستخدم نظام مصطلحات أعقد لأعقد الجزيئات. ويطلق على مزيج الـ -L والـ -D للمصاوغ الفراغي نفسه اسم راسيمي racemic. إن حقيقة أن الأيسومرات الفراغية توجد على شكل مخاليط تقلل من أهميتها الأكاديمية، باستثناء الحقيقة التي تقضي بأن الأنظمة البيولوجية حساسة جدًّا لعملية عدم التناظر المرئي. على سبيل المثال، يعطي الشكل -L لنوع معين من جزيئات الكيتون ketone يسمى الكارفون

carvone رائحة كرائحة بذور ثمار الكراويا، في حين أن الشكل -D للجزيء نفسه يعطي رائحة كرائحة نبات النعناع.

إن أكثر الأمور أهمية هو أن الجزيئات الموجودة في الأنظمة الحية تحتفظ بعدم تناظرها المرئي. فالبروتينات التي تحتوي على أحماض أمينية -L فقط لا تحتوي على أحماض أمينية -D، والدي إن أيه الذي يحتوي على جزيئات سكر -D فقط لا يحتوي على جزيئات سكر -L. ربما تشير هذه الحقيقة إلى أن الكيمياء قبل الحيوية لها مصدر واحد. ومع ذلك فالتجارب التي أجريت حديثًا تشير إلى أن البيبتيدات المثلية تتضاعف بشكل أكثر من مخاليط الاثنين. لذا فربما يكون الأمر هو أن الأحماض الأمينية -L والسكر -D كان لهما الأغلبية وأوقفا الأعداد المعاكسة لهما خلال عمليات التضاعف.

توجد إشكالية أخرى متعلقة بالبذور الكونية؛ ففي الستينيات من القرن الماضي أعاد عالم الفلك الأمريكي كارل ساجان Carl Sagan مرة أخرى أفكار أرهنيوس وطور الظروف التي يمكن من خلالها أن تنتقل الجزيئات الصغيرة كالبذور عبر الفضاء. وبخلاف الأرض اتضح أن أقمار الكواكب الخارجية (مثل قمر تريتون Triton الخاص بكوكب نبتون الذي يملك غلافًا جويًّا، وقمر يوروبا Europa الخاص بكوكب المشتري الذي به مخزون من المياه الجوفية) ستكون المكان الأمثل في هذا النظام الشمسي لبقاء مثل هذه البذور. إن هذا الأمر لا يساعد على فهم أصل الحياة على الأرض لكنه يضع هدفًا للتعمق في استكشاف الفضاء.

وقد قدم أيضًا عالم الفلك البريطاني الأمريكي توماس جولد Thomas Gold اقتراحًا آخر في الستينيات من القرن الماضي، يتلخص اقتراحه في افتراض أنه إذا كانت قد استكشفت حضارة متقدمة هذا الكوكب في الماضي وتركت بقايا لزيارتها، فقد يكون هذا الحطام لا يزال موجودًا وبالتالي يؤثر على مسار تطور الحياة هنا. لم يكن لهذه النظرية الغريبة والمريبة أي قوة استنتاجية، ولكنها أثرت على التفكير بشأن رحلاتنا الاستكشافية للكواكب الأخرى.

شرع عالما الفلك البريطانيان السير فريد هويل و ن. تشاندرا ويكراماسنج N. Chandra Wickramasinghe في دراسة أطياف الغبار الكوني عام ١٩٧٨،

وأصبحا على اقتناع بأن الأطياف عالية التعقيد تتوافق مع أطياف البكتريا المجمدة والمجففة، ورأى كل منهما أن البكتريا تعيش على جزيئات الغبار في الكواكب الغازية العملاقة وسحب الغبار في الفضاء؛ فعندما تتكثف سحابة كهذه لتكوين نظام شمسي تصبح حبيبات الغبار أنوية للمذنبات وتمطر بكتريا على الكواكب النامية. لا يتضح موقع تطور البكتيريا وكيمياؤها لأول وهلة، ولكن تتيح لنا هذه النظرية على الأقل وقتًا أكبر لتطور الخلية الأولى، على عكس نظرية أوبارين وهالدين التي تعطي مئات الملايين من السنين فقط لعملية التطور.

وقد وجد باحثون آخرون دعمًا لبعض جوانب نظرية هويلي وويكراماسنج، إذ جرى التعرف على أكثر من ١٣٠ جزيئًا مختلفًا من خلال وجود خطوط امتصاص في أطياف ضوء النجوم عبر سحب الغبار. تحتوي الجزيئات الموجودة في سحب الغبار على سكريات والكحول الفينيلي وجزيئات أخرى ذات أهمية بيولوجية. لكن الآلية التي تتكون بها هذه الجزيئات المعقدة في سحب ذات كثافة منخفضة للغاية غير واضحة على الإطلاق. إذا عملت حبة غبار داخل سحابة كمحفز، محتجزة جزيئات بسيطة حتى تتفاعل وتكون جزيئات كبيرة، إذن كيف يفلت الجزيء الكبير؟ تكون التصادمات مع الجسيمات الأخرى عنيفة بما يكفي لفك رابطة المحفز والجزيء. يحتاج هذا اللغز بالتأكيد إلى جهد كبير.

لقد قدمت النيازك أيضًا كميات كبيرة من الجزيئات العضوية؛ فعلى سبيل المثال، اكْتُشِفَ ٧٠ حمضًا أمينيًّا مختلفًا في النيازك. ثمانية من بين هذه الأحماض الأمينية مدرجة في مجموعة الأحماض الأمينية الأساسية العشرين. وهناك نيزك اكتشف في مارشيسون بولاية فيكتوريا بأستراليا عام ١٩٦٩ قدم الكثير من الجزيئات العضوية المعقدة. ووجدت أحماضها الأمينية من النوع L- في الأنظمة البيولوجية هنا على كوكب الأرض.

يجري الآن اختبار مهم للنيازك والغبار بين الكوكبي، وظهرت نتيجة تمهيدية مدهشة وهي أن مركبة الفضاء ستار داست وجدت بالفعل جزيئات ذات كتلة جزيئية مقدارها ٢٠٠٠ وحدة كتلة. وفي حين أن هذه الجزيئات لا يمكن التعرف عليها بدقة، فهذه الجزيئات بالتأكيد ذات قواعد كربونية وسيكون حجمها تقريبًا أكبر ١٠ مرات من أي جزيئات لوحظت حتى الآن.

حل اللغز: كيف ومَن ولماذا؟

كيف؟ هيا بنا نضع أهم فرضيتين قابلتين للاختبار عن أصل الحياة بصيغة منهج التفكير العلمي.

الفرضية الأولى: نظرية البذور الكونية لهويل وويكراماسن

التنبؤ: بما أن البكتريا تعيش على أنوية المذنبات، إذن يمكن أن تكون هناك حياة، أو على أقل تقدير، جزيئات عضوية معقدة في مكان آخر.

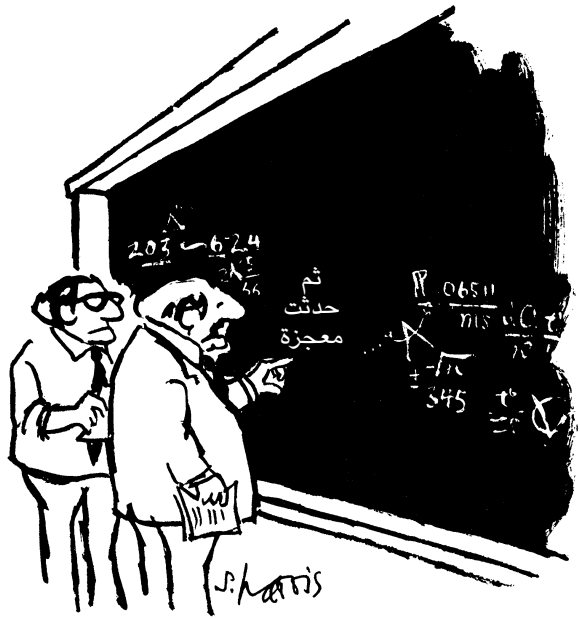
التجربة: بإمكان بعثات الاستكشاف الفضائية التي تجوب المريخ والكواكب الخارجية حل اللغز. وإذا لم تُكْتَشف حياة، إذن فيجب تعديل الفرضية أو التخلي عنها. وإذا اكتشفت حياة، إذن ... وإذا تلقى الباحثون العاملون في مشروع الذكاء الخارجي (SETI) في كاليفورنيا إشارة يبدو أنها صادرة من كائنات حية ذكية، فإن أصل هذه الكائنات الحية سيكون ذا قيمة وأهمية كبيرة. (انظر مجلد الأفكار ٤، الحياة خارج الأرض).

الفرضية الثانية: التوالد التلقائي الجزيئي لأوبارين وهالدين. على أن هذه الفرضية — كما اتضح من مناقشتنا — لا تزال غير كاملة، وهناك تفاصيل عديدة يجب بحثها.

التنبؤ: عندما تتضح تفاصيل الفرضية يجب تحديد بعض سلاسل التفاعلات الشديدة، ويمكن إجراء جميع هذه التفاعلات في المعمل.

التجربة: ينتظر العلماء التنبؤ حتى يمكنهم تصميم اختبارات مناسبة.

مَن؟ من بالتحديد يمكنه أن يسهم في إكمال الفرضية وتنفيذ التجارب المعملية الصعبة؟ هذه قائمة صغيرة بأسماء المرشحين لهذه المهمة: سيدني ألتمان Sidney Altman، ديفيد بارتل David Bartel، رونالد ر. بريكر Ronald R. Breaker، أندري بروك Andre Brock، أ. جراهام كايرنز سميث A. Graham Cairns-Smith، توماس سيتش Thomas Cech، كريستيان دي دوفي Christian de Duvé، مانفريد إيجن Manfred Eigen، أندرو إلنجتون Andrew Ellington، ألبرت إشنموسر Albert Eschenmoser، جيمس ب. فيريس James



«أعتقد أنه لا بد من توضيح ما حدث في الخطوة الثانية»

P. Ferris، إريس فراي Iris Fry، والتر جلبرت Walter Gilbert، هارولد هورويتز Harold Horowitz، وندي جونسون Wendy Johnson، ستيوارت كوفمان Stuart Kauffman، نوم لاهاف Noam Lahav، ب. إي. إتش. مادين B. E. H. Maden، بيتر إي. نيلسن Peter E. Nielsen، هارولد نولر Harold Noller، ليزلي أرجل، Leslie Orgel نورمان بيس Norman Pace، كوروش صاليحي أشتياني Kourosh Salehi-Ashtiani، أورز زتماري Eors Szathmary، ب. ج. أنراو P. J. Unrau، شارلز ويلسون Charles Wilson، أرت زوج Art Zaug. أو ربما يمكن لشخص ما آخر في مكان ما أن يقوم بهذه المهمة مثل مكتب براءات الاختراع السويسري على سبيل المثال. فنحن بحاجة إلى شخص يستطيع أن يفهم الصورة بحجمها الكبير إلى جانب التفاصيل الدقيقة التي تتضمنها تلك الصورة والتي تحتاج لأن تُجْمَع معًا.

لماذا؟ لماذا يعبأ العلماء بإيجاد حل لهذه المشكلات الكبيرة والعويصة كمشكلة أصل الحياة؟ يعد الفضول أحد أكبر الدوافع وراء ذلك، ومع ذلك فهناك دافع آخر أكثر أهمية، وهو أن مؤسسة أصل الحياة The Origin of Life

Foundation, Inc. سوف تمنح جائزة يطلق عليها جائزة أصل الحياة لأي فرد يتمكن من تقديم تفسير منطقي عن ذلك التطور التلقائي للتعليمات الجينية في الطبيعة والتي تمكنت من إنشاء الحياة. تبلغ قيمة الجائزة ١,٣٥ مليون دولار. ولمعرفة المزيد من التفاصيل عن هذه الجائزة، يرجى زيارة الموقع الإلكتروني التالي: *www.us.net/life*.

عام ١٨٦٢ قبل لويس باستير التحدي الكبير مخالفًا بذلك نصيحة أصدقائه، ونجح في حل اللغز ببراعة وفاز بجائزة الأكاديمية الفرنسية للعلوم تقديرًا لجهوده. إن ما نحتاجه اليوم هو لويس باستير القرن الحادي والعشرين.