أهم خمس أفكار في العلوم

تشارلز وين و آرثر ويجنز

التعليقات الكرتونية لسيدني هاريس

مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم
MOHAMMED BIN RASHID
AL MAKTOUM FOUNDATION

كلمات عربية

أهم خمس أفكار في العلوم

رسالة مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم

عزيزي القارئ:

في عصر يتسم بالمعرفة والمعلوماتية والانفتاح على الآخر، تنظر مؤسسة محمد ابن راشد آل مكتوم إلى الترجمة على أنها الوسيلة المثلى لاستيعاب المعارف العالمية، فهي من أهم أدوات النهضة المنشودة، وتؤمن المؤسسة بأن إحياء حركة الترجمة، وجعلها محركاً فاعلاً من محركات التنمية واقتصاد المعرفة في الوطن العربي، مشروع بالغ الأهمية ولا ينبغي الإمعان في تأخيره.

فمتوسط ما تترجمه المؤسسات الثقافية ودور النشر العربية مجتمعة، في العام الواحد، لا يتعدى كتاباً واحداً لكل مليون شخص، بينما تترجم دول منفردة في العالم أضعاف ما تترجمه الدول العربية جميعها.

أطلقت المؤسسة برنامج «ترجم»، بهدف إثراء المكتبة العربية بأفضل ما قدّمه الفكر العالمي من معارف وعلوم، عبر نقلها إلى العربية، والعمل على إظهار الوجه الحضاري للأمة عن طريق ترجمة الإبداعات العربية إلى لغات العالم.

ومن التباشير الأولى لهذا البرنامج إطلاق خطة لترجمة ألف كتاب من اللغات العالمية إلى اللغة العربية خلال ثلاث سنوات، أي بمعدل كتاب في اليوم الواحد.

وتأمل مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم في أن يكون هذا البرنامج الاستراتيجي تجسيدا عملياً لرسالة المؤسسة المتمثلة في تمكين الأجيال القادمة من ابتكار وتطوير حلول مستدامة لمواجهة التحديات، عن طريق نشر المعرفة، ورعاية الأفكار الخلاقة التي تقود إلى إبداعات حقيقية، إضافة إلى بناء جسور الحوار بين الشعوب والحضارات.

للمزيد من المعلومات عن برنامج «ترجم» والبرامج الأخرى المنضوية تحت قطاع الثقافة، يمكن زيارة موقع المؤسسة www.mbrfoundation.ae

مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم

عن المؤسسة:

انطلقت مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم بمبادرة كريمة من صاحب السمو الشيخ محمد بن راشد آل مكتوم نائب رئيس دولة الإمارات العربية المتحدة رئيس مجلس الوزراء حاكم دبي، وقد أعلن صاحب السمو عن تأسيسها، لأول مرة، في كلمته أمام المنتدى الاقتصادي العالمي في البحر الميت - الأردن في أيار/مايو 2007. وتحظى هذه المؤسسة باهتمام ودعم كبيرين من سموه، وقد قام بتخصيص وقفٍ لها قدره 37 مليار درهم (10 مليارات دولار).

وتسعى مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم، كما أراد لها مؤسسها، إلى تمكين الأجيال الشابة في الوطن العربي، من امتلاك المعرفة وتوظيفها بأفضل وجه ممكن لمواجهة تحديات التنمية، وابتكار حلول مستدامة مستمدة من الواقع، للتعامل مع التحديات التي تواجه مجتمعاتهم.

مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم
MOHAMMED BIN RASHID
AL MAKTOUM FOUNDATION

أهم خمس أفكار في العلوم

تأليف: تشارلز وين وآرثر ويجنز

ترجمة: مها قرشي
مراجعة: مجدي عبد الواحد عنبة

مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم
MOHAMMED BIN RASHID
AL MAKTOUM FOUNDATION

كلمات عربية

أهم خمس أفكار في العلوم

تشارلز وين وآرثر ويجنز

The Five Biggest Ideas in Science

Charles M. Wynn and Arthur W. Wiggins

الطبعة الأولى ٢٠٠٨
ISBN 978 977 6263 20 8
جميع الحقوق محفوظة للناشر

كلمات عربية للترجمة والنشر
٤٣ شارع ابن قتيبة، حي الزهور، مدينة نصر، القاهرة ١١٤٧١
جمهورية مصر العربية
تليفون: ٢٢٧٢٧٤٣١ ٢٠٢+ **فاكس:** ٢٢٧٠٦٣٥١ ٢٠٢+
البريد الإليكتروني: kalematarabia@kalematarabia.com
الموقع الإليكتروني: http://www.kalematarabia.com

مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم
البريد الإليكتروني: tarjem@mbrfoundation.ae
الموقع الإليكتروني: www.mbrfoundation.ae

ويجنز، آرثر
أهم خمس أفكار في العلوم / تشارلز وين وآرثر ويجنز . - القاهرة : كلمات عربية للترجمة والنشر، ٢٠٠٨
٢٠٨ص، ١٥,٢×٢٢,٨سم
تدمك: ٨ ٢٠ ٦٢٦٣ ٩٧٧ ٩٧٨
1- العلوم - نظريات
أ- العنوان

٣٣٠

إن مؤسسة محمد بن راشد آل مكتوم وكلمات عربية للترجمة والنشر غير مسؤولتين عن آراء وأفكار المؤلف. وتعبر الآراء الواردة في هذا الكتاب عن آراء المؤلف وليس بالضرورة أن تعبر عن آراء المؤسسة والدار.

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 © 2008 by Kalemat Arabia
The Five Biggest Ideas in Science
Copyright © 1997 by Charles M. Wynn and Arthur W. Wiggins
All cartoons copyright © by Sidney Harris, except the cartoon on page 137 © 1984 *The New Yorker,* published by permission.
The cartoons on pages 8, 22, 37, 46, 53, 63, 68, 70, 72, 75, 78, 84, 86, 94, 96, 120, 129, 146, and 147 first appeared in *American Scientist* © 1988, 1981, 1987, 1981, 1977, 1981, 1984, 1981, 1975, 1980, 1984, 1977, 1989, 1981, 1986, 1978, 1976, 1983, and 1976, respectively.
The cartoon on page 11 first appeared in *Today's Chemist* © 1990.
The cartoons on pages 20, 61, 64, and 110 first appeared in *Science* © 1980, 1982, 1980, and 1990, respectively.
The cartoons on page 27 first appeared in *Clinical Chemistry News* © 1980.
The cartoon on page 74 first appeared in *Physics Today* © 1991.
The cartoon on page 89 first appeared in the *New York Times* © 1982.
The cartoon on page 133 first appeared in *Fantasy and Science Fiction* © 1991.
All Rights Reserved. This translation published under license.

المحتويات

مقدمة	٧
١- الطريق نحو الاكتشاف	١١
٢- الفكرة المهمة الأولى	٢٥
٣- الفكرة المهمة الثانية	٤٣
٤- الفكرة المهمة الثالثة	٥٩
٥- الفكرة المهمة الرابعة	٧٧
٦- الفكرة المهمة الخامسة	٩٣
٧- منهج العلم	١١٩
٨- تحليل المنفعة والمخاطر	١٣١
الخاتمة	١٥٣
مجلدات الأفكار	١٥٧
قراءات إضافية	٢٠١

مقدمة

هل يمكن لخمس أفكار رئيسية فحسب أن تفتح الباب لفهم وتقدير وتقييم عالم العلوم؟ الإجابة هي نعم، يمكن للأفكار الخمس التي ستعرض في هذا الكتاب، إذا درست كمجموعة واحدة؛ أن تقوم بهذا الدور على أحسن وجه. اختيرت هذه الأفكار الخمس لقدرتها على تفسير الظواهر، وهي تقدم مسحًا شاملًا للعلوم.

كل فكرة من هذه الأفكار تقدم إجابة العلم المؤقتة عن سؤال متعلق بالظاهرة الطبيعية والصناعية. وقد استخدمنا مصطلح «مؤقت» لأن العلم — كما سنرى — عبارة عن بحث «لا ينتهي» عن إجابات يمكنها كشف أسرار الكون. يكشف هذا الكتاب بعض الأسرار ويدعوك لاكتشاف عملية التفكير المنطقي التي هي جوهر العلم نفسه.

وبدءًا بالبحث عن وحدات البناء الأساسية في الكون (بشكل أساسي، الذرات)، سنقوم باكتشاف سلوك الأنواع المختلفة للذرات التي تشكل هذا الكون. ثم نواصل الرحلة لنتأمل في أحوال الكون في الماضي والحاضر والمستقبل وندرس طبيعة كوكبنا. وفي نهاية المطاف سوف ندرس الحياة على كوكب الأرض من منظور الجزيئات. وها هي قائمتنا التي تشمل الأفكار الخمس المهمة والأسئلة التي تجيب عنها:

سؤال: هل وحدات البناء الأساسية للمادة موجودة؟ وإن كانت الإجابة نعم، فكيف تبدو؟

الإجابة: الفكرة المهمة الأولى: **النموذج الفيزيائي للذرة.**

سؤال: ما هي العلاقة — إن وجدت — بين الأنواع المختلفة للذرات التي تعتبر وحدات البناء الأساسية في الكون؟

الإجابة: الفكرة المهمة الثانية: القانون الدوري في **الكيمياء.**

سؤال: ما هو مصدر ذرات الكون وما هو مصيرها؟

الإجابة: الفكرة المهمة الثالثة: **نظرية الانفجار العظيم في علم الفلك.**

سؤال: كيف تترتب مادة الكون في كوكب الأرض؟

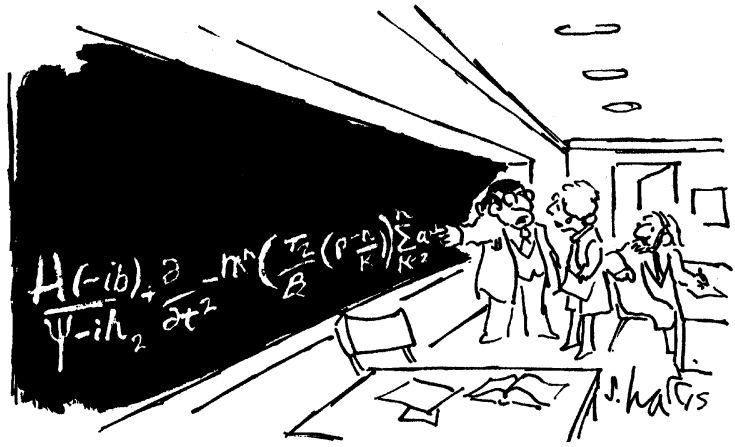
الإجابة: الفكرة المهمة الرابعة: **نظرية الألواح التكتونية في علم الجيولوجيا.**

سؤال: كيف توجد الحياة على سطح الأرض وكيف تتطور؟

الإجابة: الفكرة المهمة الخامسة: **نظرية التطور في علم الأحياء.**

تعتبر تلك الأفكار وغيرها من الأفكار العلمية الأخرى مجرد أفكار إلى أن يأتي أحد ويقرر إذا كانت ستطبق أم لا وكيفية تطبيقها وقياس المنافع المحتملة من فعل مُقترح بالمقارنة بالأخطار الوارد حدوثها. وسوف نعرض لك الكيفية التي يمكنك أن تستخدم بها تحليل المنفعة والمخاطر من أجل تقييم التطبيقات المحتملة للأفكار العلمية والكشف عن قدرتها المحتملة لأن تسفر عن تغييرات ما.

وأخيرًا، ستكتشف مجموعة من مجلدات الأفكار حول العديد من الموضوعات المتنوعة التي ترتبط بالأفكار الخمس المهمة. وستجد في نهاية كل فصل مجلدات الأفكار ذات الصلة بهذا الفصل.



«ولكن هذه هي الصورة المبسطة للمعادلة لكي يفهمها العامة»

أمدنا سيدني هاريس Sidney Harris — الذي يأتي على رأس قائمة رسامي الكاريكاتير العلمي في الولايات المتحدة — بتعليقات كاريكاتيرية لتأكيد ما نقره من حقائق وتوضيح معانيها، ويستقي أسلوبه المرح — كغيره من أساليب المرح — من الأشياء غير المتوقعة والمتناقضة، إن أسلوبه يفاجئنا ويدفعنا إلى تكوين وجهة نظر جديدة. ويتطلب فهم أسلوب سيدني المرح خلفية كافية وفهمًا واضحًا للموضوع المعروض؛ لكي تستطيع إدراك الأشياء غير المتوقعة والمتناقضة. وسنعرض لك الخلفية والفهم الواضح لتستمتع بالطرفة أيما استمتاع. نتمنى لك قراءة سعيدة ممتعة.

تشالز وين وليمانتك، كونتيكت
آرثر ويجنر بلومفيلد هيلز، ميتشيجان
سيدني هاريس نيو هيفين، كونتيكت

الفصل الأول

الطريق نحو الاكتشاف

منهج العلم

الافتراض K-9

التفكير على النحو الذي يفكر به العالم أمر لا يتطلب منطقًا غاية في الدقة أو التعقيد أو خارقًا للعادة. إليك هذا المثال السهل:

إذا كنت قد اشتريت منذ بضعة أشهر كلبًا اسمه دومينو، فلا بد أنك قد تعرفت عليه جيدًا خلال هذه الشهور. وقد كنت تراقب تصرفاته في ظل الأحوال الجوية المختلفة. إن دومينو يفضل البقاء خارج المنزل معظم الوقت، ولكن، وقبل هبوب العاصفة بوقت قصير، لاحظت أنه يبدأ في النباح وأنه يريد دخول المنزل. والآن أصبح رد فعلك على هذا النوع من النباح أن تقوم أولًا بغلق النوافذ ثم تدخل كلبك داخل المنزل. إذن، ها هو الكلب قد نجح في تدريبك! وفي يوم من الأيام، بدأ الكلب ينبح فافترضت هبوب عاصفة وأغلقت النوافذ، ولكن عندما خرجت من المنزل لفك رباطه فوجئت بأن السماء صافية والرياح معتدلة إلى حد كبير، ولكنك لاحظت أن هناك كلبًا كبيرًا يتسلل الآن مبتعدًا عند ظهورك في المكان. من الآن فصاعدًا ستدرك أن نباح دومينو «قبل العاصفة» بمنزلة جهاز إنذار يتنبأ في أغلب الأحوال بهبوب عاصفة وأحيانًا يومئ بدفاعه عن منطقة نفوذه.

تتشابه طريقتك في فهم تصرفات دومينو مع تلك التي يستخدمها العلماء. ففي بادئ الأمر قمت «بالملاحظة» مستشعرًا على نحو ما (بالنظر أو بالسمع أو بالإحساس أو بالتذوق أو بالشم) نمط سير الأحداث: نباح الكلب دومينو بطريقة معينة في أوقات محددة.

وبعد ذلك قمت بتشكيل «فرضية» متوصلًا إلى تنبؤ عام حول الطبيعة الأساسية للظاهرة التي لوحظت: عندما يبدأ دومينو في نباحه على هذا النحو، تهب العاصفة.

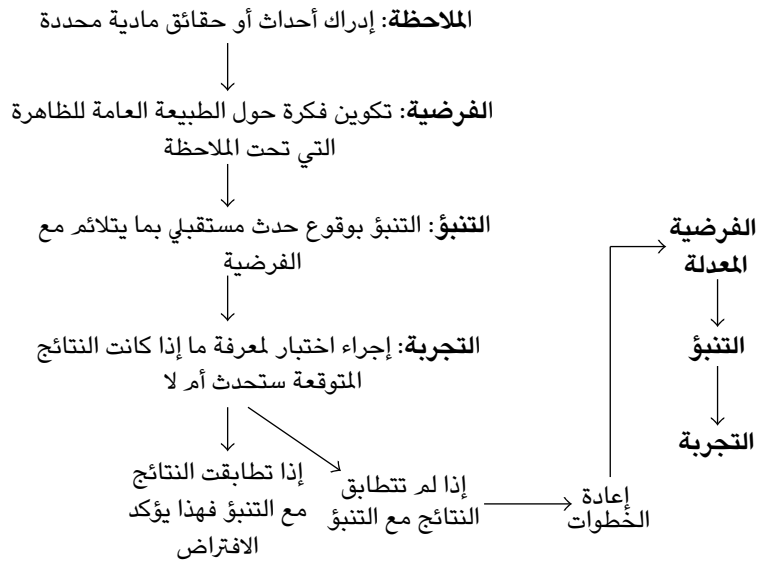
ثم أصبح لك «تنبؤ» إذ تقوم بتطبيق فرضيتك على موقف سيحدث في زمن لاحق: فإذا نبح دومينو بالطريقة التي ينبح بها قبل هبوب العاصفة، إذن فالسماء توشك أن تمطر.

وأخيرًا فإنك قد أجريت تجربة — أو اختبارًا لما سبق أن تنبأت بوقوعه — وذلك بتوقعك الحدوث الفعلي للظاهرة المتنبأ بحدوثها لكي تحدد ما إذا كان التنبؤ صحيحًا أم خاطئًا. ولأن التجربة أسفرت عن نتائج (عدم نزول المطر بعد سماع النباح) وهو ما يختلف عن التنبؤ، فلا بد من مراجعة أو تعديل الفرضية

لتوضيح نتائج التجربة، ثم تقوم بإعادة الخطوات مستخدمًا الفرضية المعدلة (انظر الشكل ١-١).

K-9 نظريات وقوانين

بمجرد تعديل الفرضية، ينبح دومينو الآن عندما يشعر بالخوف من شيء ما، يمكن وضع تنبؤات جديدة وإجراء تجارب جديدة لفحص هذه التنبؤات. تكتسب الفرضية المصداقية والثقة في كل مرة تؤيد التجربة فيها التنبؤات. وبعد إجراء عدة اختبارات ناجحة للفرضية يمكن أن نطلق عليها حينئذ اسم «نظرية» («نظرية دومينو أخرى» في هذه الحالة). تقوم النظريات دائمًا بشرح قانونٍ ما، وهو عبارة عن توضيح لبعض صور استدامة حدوث الأشياء في ظل نفس الظروف في الطبيعة. ويمكن أن تفترض النظريات السبب أو الأسباب الكامنة خلف استدامة القانون، مثلما يُفسر قانون عن تكرار نباح الكلب دومينو وتكرار سقوط الأمطار، عن طريق نظرية تقول بأن الكلب ينبح لشعوره بالخوف.



شكل ١-١: الطريقة العلمية.

وبالطبع، في يوم ما قد يصدر هذا النوع من النباح نتيجة حدوث أي كسر في بيت دومينو! وعندئذ لا بد من إجراء تعديلات طفيفة للفرضية لكي تتناسب مع الاكتشاف الجديد. إذن ما النتائج التي يمكن استخلاصها من الفرضية K-9؟

يبدو الأمر كما لو أنك ...

تراقب ما يحدث طوال الوقت، وتلاحظ على وجه خاص بعضًا من الأمور التي تراقبها لأنها تبدو متلائمة مع بعضها البعض بطريقة أو بأخرى. وهذا النموذج أو التفسير أو العلاقة الواضحة هي الفرضية التي تدور حول الظاهرة محل الدراسة؛ إن الفرضية مؤقتة بطبيعتها: فيبدو الأمر كما لو أنه كلما ينبح دومينو بهذه الطريقة، تهب العاصفة.

أراهن أنه ...

بينما تبدو الفرضية مقبولة في وقتها إلا أنها لا بد أن تخضع للاختبار عن طريق وضع تنبؤ يتعلق بحدث مستقبلي. والتنبؤ هو نوع من الرهان بأن الحدث المستقبلي سيتطابق مع الفرضية: أراهن أنه عندما ينبح دومينو في المرة القادمة بهذه الطريقة، فسرعان ما تمطر السماء. وإذا فاز الرهان فإن الجائزة تكون عبارة عن زيادة مصداقية الفرضية. وهناك جائزة أيضًا حتى بخسارة الرهان، وهذه الجائزة عبارة عن زيادة التمعن في الطريقة التي يسير بها الكون.

عندما تتنبأ وتختبر صحة تنبؤك فهذا يعني المجازفة وخصوصًا أن الفرضية يمكن أن يثبت خطؤها. ومع ذلك فإن لم تقم بوضع التنبؤات واختبارها، فأنت حينئذ ستجازف بأن تؤمن بأفكار خاطئة. ولا بد من المجازفة من أجل تطور العلم، والتنبؤ هو المجازفة التي تحافظ على استمرارية تطور العلم.

من المهم تذكر أن التنبؤات التي تظهر صحتها لا تُثبت (بل لا تستطيع إثبات) صحة الفرضية. تقدم هذه التنبؤات فحسب تأييدًا إضافيًّا للاعتقاد في صحة الفرضية. تذكر المثال الذي سبق ذكره حول نباح دومينو عند حدوث ضرر ما ببيته.

يُعْرَف هذا التسلسل العام للأحداث — كما هو موضح بالشكل (١-١) — بمنهج العلم أو المنهج العلمي.

هل يوجد منهج بالفعل؟

يرى البعض أنه لا يوجد منهج واحد منفرد للعلم، ويقولون بأن مثل هذه المناقشات تجعل الأمر يبدو كما لو كان المرء يمكنه بسهولة تطبيق هذه الخطوات بالترتيب للتوصل إلى اكتشافات وحل أي مشكلة علمية. ومما لا شك فيه أن العمل الذي يقوم به العلماء في الواقع لا يجري فيه التمسك كثيرًا بمثل هذه الشكليات؛ فلا يجري دائمًا إنجازه بطريقة منظمة ومنطقية واضحة، وهو عمل يتضمن إبداعًا فكريًّا وخلق صور عقلية لما لم يوجد من قبل قط وكذلك استنباط واختبار المشاعر البديهية التي تؤكد صحة فكرة ما دون أي دليل يثبتها.

ولهذا فمن فضلك لا تعتقد أن المنهج العلمي عبارة عن نوع من الإجراءات الآلية. بالرغم من أن أنصار الذكاء الاصطناعي يأملون في اختراع آلة يمكن أن تبرمج اختيار الملاحظات المناسبة أو الفعل التخيلي المتضمن في تكوين الفرضية، بينما يقول آخرون إن ثمة شيئًا ما في نشاط المخ يتجاوز ذلك الموجود في أية آلة.

يرى البعض أن العلم لا يبدأ بالملاحظات أو «الحقائق» ولكنه يبدأ بالمشاكل. صحيح أن العالِم قد لا يلاحظ حقيقة ما إلا إذا كان يفكر بشأن مسألة بعينها ولكن، على النقيض، فإن الملاحظة أو الحقيقة الواحدة قد تكون غير مألوفة على النحو الكافي الذي يجعلها تجبر العين ألا تخطئها ثم «تخلق» المشكلة. وبالإضافة إلى ذلك فإن ما يجري ملاحظته لا يعتمد فحسب على ما سوف يُرى وإنما أيضًا على ما رآه الملاحظ من قبل.

وبالرغم من أن هذه الآراء تستحق الإطراء والإعجاب فإن المنهج العلمي سيستخدم طوال هذا الكتاب ليصف التقدم العلمي وصفًا دقيقًا وعلى نحو منطقي. إنه لمن النادر — إن لم يكن مستحيلًا — التوصل إلى الاكتشافات العلمية — بالرغم من ضخامة عدد تلك الاكتشافات — بتطبيق مجموعة من القواعد المنطقية على حقائق معروفة، ودائمًا يصبح من الممكن «بعد» التوصل إلى الاكتشاف ربط الأمور ببعضها لرسم الطريق المنطقي الذي قاد إلى الاكتشاف.

ولنضرب لك هذا المثال: يقول الدكتور روبين كوك Dr. Robin Cook — مؤلف كتاب «Coma» الذي حاز لقب الأكثر مبيعًا: إن استخدام المنهج العلمي قد قاده إلى تحقيق النجاح لأول كتبه وأفلامه. يقول كوك: «خططت للأمر برمته سواء فيما يخص نسخ الكتاب ذات الأغلفة المجلدة أو النسخ ذات الأغلفة الورقية أو الفيلم.» فهو قرر أن يؤلف كتابًا يحظى بقدر الإمكان بأوسع قاعدة من القراء. قام «بملاحظة» قائمة الكتب الأكثر مبيعًا التي نشرتها صحيفة نيويورك تايمز خلال عشر سنوات، ثم درسها، ثم قرر في النهاية أن الكتب التي تحتوي على الإثارة والغموض يبدو أنها تحظى بأفضل تاريخ من المبيعات. بدأ بعد ذلك في قراءة الكتب التي بلغ عددها مائتي كتاب. فحص الدكتور كوك وحلل ودوّن العديد من الملاحظات ثم توصل في النهاية إلى «فرضية» بشأن المقومات الأساسية لكتاب يكون من بين أفضل الكتب مبيعًا. طبق كوك معادلته على نحو منهجي حيث «تنبأ» أن المقومات الأساسية التي نسج بها روايته «Coma» ستثمر عن كتاب يكون من بين أفضل الكتب مبيعًا. أما عن نتيجة تجربته فقد كانت نجاحًا قدرت قيمته بعدة ملايين من الدولارات.

النماذج والصناديق السوداء

يمكن أن تأخذ الفرضية شكل «النموذج» الذي يعتبر بمنزلة التصوير أو التمثيل لحقيقة ما، إذ يُخترع النموذج لتفسير ظاهرة تم ملاحظتها، فمثلًا: نماذج الطائرات ونماذج السكك الحديدية ونماذج السيارات ونماذج القوارب تعتبر جميعها أمثلة لنماذج مادية تتشابه مع مثيلاتها في العالم الواقعي وإن كانت تختلف عنها في الحجم والمادة والتعقيد وما إلى ذلك. ويُلاحَظ أن النماذج المادية تتباين في الدرجة التي تحاكي فيها أشكالها الحقيقية، فعلى سبيل المثال يمكن تمثيل زورق طوربيد بحبة من حبات الفول السوداني تطفو في قناة مائية أو بنموذج مصغر يتم التحكم فيه لاسلكيًّا.

وفي غالب الأمر، تُبتكر النماذج للأشياء التي لا يمكن ملاحظة محتوياتها. على سبيل المثال لمعرفة ما إذا كانت امرأة حامل ستضع طفلًا واحدًا أم توءمًا، كان المرء — قبل اختراع الأشعة بالموجات فوق الصوتية — يقوم بالتنصت وسماع ضربتين منفصلتين من ضربات القلب، ثم يبتكر نموذجًا أو صورة لما في داخل رحم الأم. وقد تعرض أحد مؤلفي هذا الكتاب لمثل هذا الموقف عندما

كان الأطباء والممرضات يتراهنون فيما بينهم — حتى اللحظة الأخيرة — على ما إذا كان سينجب طفلًا واحدًا أم أكثر من طفل، وقد أنجب طفلًا ذكرًا واحدًا.

يُطلق على الشيء الذي لا تراه العين موجود «داخل صندوق أسود». فهدايا أعياد الميلاد نماذج رائعة للصناديق السوداء؛ فقبل فتحها تُهز، ويُضغط عليها، وتُوزن لمعرفة مدى ثقلها وذلك كله من أجل المساعدة في صياغة فرضية بشأن محتويات الهدية.

ربما «تبدو وكأنها كرة بيسبول؛ فهي تدور مثلها، ولها نفس الوزن ... كلا، إنها كرة من الجبن!»

المعلمة والقزم

نضرب الآن مثالًا آخر لفرضيات أخرى حول محتويات صندوق أسود: يتعامل معظم الناس مع تلك الآلة الشيطانية المعروفة باسم الماكينات الأوتوماتيكية لبيع القهوة، ويرجع استخدام الناس لألفاظ وتعبيرات بذيئة عندما يتحدثون عنها إلى أن هذه الأشياء اللعينة لا تنفذ الأوامر كما تُعْطى لها؛ فمثلًا تضع داخل الآلة ثلاثة أرباع دولار لتحصل على كوب من القهوة قيمته خمسة وستون سنتًا، في بعض الأحيان يمر كل شيء على ما يرام فتضع ثلاثة أرباع دولار داخل الآلة ثم تسمع أصواتًا تحرك التروس وتُخرج لك الآلة باقي نقودك في نفس الوقت الذي يخرج فيه الكوب، وتسمع صوت تدفق القهوة كما تفضل أن تتناولها، بنفس كمية الحليب والسكر دون زيادة أو نقصان، وتملأ الكوب إلى حافته. أما في الأحيان الأخرى فيبدو وكأن الآلة لها آراؤها وقراراتها الخاصة التي لا تتأثر بالبشر، فتجدها قد أخذت نقودك ولا يحدث شيء بعد ذلك، أو قد تخرج لك الحساء بدلًا من القهوة أو ترجع لك عشرين سنتًا بدلًا من عشرة سنتات (وهذا نادرًا ما يحدث).

إن الفرضية المقبولة بوجه عام فيما يتعلق بطبيعة ماكينات بيع القهوة هي: يوجد بالماكينة مجموعة من التروس والأنابيب والأدوات، موضوعة بطريقة ما تسمح للعملات المعدنية بتنشيط عملية يخرج بموجبها الكوب من الماكينة ثم يمتلئ. ولن تستطيع وضع فرضية بشأن محتويات الماكينة إذا لم تقم بفتحها، ولذلك فهي تعتبر — بهذا المعنى — صندوقًا أسود.

لنتأمل المحاولة الأكاديمية التالية لحل هذا اللغز:

المعلمة: النموذج الذي أفترضه للماكينة الآلية لبيع القهوة التي وصفتها الآن هو أن هناك قزمًا يعيش داخلها، تقوم العملات المعدنية بتنشيطه بطريقة ما. وتذكر أن هذه الآلة صندوق أسود، ولذا فالنظر بداخلها ممنوع.

الطالب: حسنًا، ولكن هذا سخف. لن يقبل أحد هذه الفرضية، سيشعر القزم بالجوع بعد حين.

المعلمة: حسنًا، عندما يتضور من الجوع، لن يكون أداؤه على نفس المستوى المطلوب الذي لاحظته، ولكن الشركة نظرت إلى هذه النقطة بعين الاعتبار وتأكدت من تزويده بذلك الطعام الذي يتناول مثيله رواد الفضاء وبالكمية الكافية من القهوة التي يمكن أن يشربها.

الطالب: سوف أفصل مقبس الكهرباء وأرى ما إذا كانت الآلة ستواصل عملها أم لا. يجب أن يستطيع القزم الموجود داخل الآلة تشغيلها بنفسه.

المعلمة: دون وجود ضوء الكهرباء، سيكون الظلام دامسًا بداخل الآلة. وهكذا فبدون الكهرباء لن يكون هناك قهوة، ولكن ستبقى فرضيتي صحيحة.

الطالب: ما سأقوله سيبدو غريبًا، ولكن تذكري أنكِ من بدأ هذه المناقشة، سوف أحقن الغاز المسيل للدموع في فتحة إدخال العملات المعدنية، سيسعل القزم عندئذ.

المعلمة: إن القزم مزود بقناع واقٍ ضد الغازات المسيلة للدموع.

الطالب: سأقوم بعزف موسيقى نشاز تجعله يصرخ طالبًا النجدة.

المعلمة: إنه أصم.

ويمكن الاستمرار أكثر وأكثر في هذا. هل يمكنك إقناع الأستاذة بتغيير فرضيتها؟ هيا حاول. لاحظ أن الأستاذة اضطرت إلى إجراء عدد من التعديلات على فرضيتها الأصلية. وستلاحظ مثل هذا الإدخال للتحسينات على الفرضية مرة تلو الأخرى خلال مناقشة أي من الأفكار المهمة.

وعند هذا الحد، لن يكون لديك دليل تجريبي حاسم بوسعه مساعدتك في تحديد ما إذا كان النموذج الميكانيكي المحض أكثر ملاءمة أم النموذج الميكانيكي الذي يديره القزم الأصم الذي يتناول طعام رواد الفضاء والمزود بقناع ضد الغازات المسيلة للدموع.

شفرة أوكام

تختبر الفرضية اختبارًا إضافيًّا — في حالات مثل حالة آلة القهوة الأوتوماتيكية — للتبسيط، يعرف باسم شفرة أوكام Occam's Razor نسبة إلى الفيلسوف الإنجليزي وليام الأوكامي William of Occam، إذ ينص هذا الاختبار على أن «الفرضية المقبولة لا بد أن تكون أبسط فرضية تفسر أية ظاهرة محل الدراسة.» ومع ذلك يمكن تبرير وجود التعقيد ولكن هذا لا يجب أن يحدث إلا بالدليل التجريبي المناسب. وإذا طبقنا هذا الاختبار على آلة القهوة، فسنجد أن القزم الأصم الذي يتناول طعام رواد الفضاء والمزود بقناع ضد الغاز المسيل للدموع؛ مسألة غاية في التعقيد.

وإدراكًا للقصور في منهج العلم والميل إلى التبسيط الذي تعبر عنه شفرة أوكام، ربما يجوز للمرء أن يتوقع أن تكون الأعمال العلمية هشة ومؤقتة وربما تكون مفرطة في التبسيط. حقًّا، إن الوصول إلى فهم كامل لطريقة عمل الكون بأكمله يظل هو الهدف الذي يصعب على العلم تحقيقه، ولكن الفهم الجزئي الذي تحقق حتى الآن قد شجع التطور التكنولوجي الذي أدى بدوره إلى تغيير شامل وجذري للثقافة على كوكب الأرض، وأعاد تشكيل سطحها في مئات الأعوام الماضية.

أينشتين مُبسَّطًا

مجالات العلم

ستختبر في هذا الكتاب ما يعد أكثر الفرضيات أهمية في العلوم. وقبل التوغل في هذا الأمر، يجب عليك اكتساب المقدرة على وزن الأمور بدقة فيما يتعلق بمختلف المجالات العلمية من خلال دراسة مجموعة من الأجسام التي درسها العلماء.

إن العالَم المألوف بالنسبة لك هو العالم الذي تدركه بحواسك، أي هو العالم الذي يكون فيه بوسعك أن تسمعه وتشمه وتتذوقه وتراه وتشعر به. ولتقوية وزيادة قدرات حواسك يمكنك الاستعانة بأدوات مختلفة تساعدك على إجراء الملاحظات على أجزاء من هذا العالم. على سبيل المثال، جعلت الميكروسكوبات الضوئية رؤية الأجسام المتناهية الصغر أمرًا ممكنًا، على أنه يوجد حد لحجم

الجسم الذي يمكنك رؤيته بواسطتها. أما الميكروسكوبات الإلكترونية فقد ساعدت على رؤية أجسام ذات حجم أكثر تناهيًا في الصغر إلا أنها لا تستخدم ضوءًا مرئيًّا ولهذا فإنك لا «ترى» تلك الأجسام بالمعنى الحقيقي لكلمة رؤية. يوجد عالَم الأجسام المتناهية في الدقة فيما وراء هذه الحدود، ونقصد بهذه الأجسام الذرات الفردية والجسيمات دون الذرية. وإذا كان من غير الممكن رؤية هذه الأجسام، فربما تتسائل: (١) كيف يمكن للمرء أن يعلم بوجود تلك الأجسام؟ و(٢) كيف يمكن للمرء معرفة أي شيء حول طبيعتها؟ وكيف يؤمن الناس بوجود أشياء لا يأملون في رؤيتها يومًا ما؟

وبالرغم من هذا فهم يؤمنون بوجود هذه الأشياء التي لن تُرى على الإطلاق يومًا ما. يتماثل هذا الإيمان مع الإيمان بالعمل الداخلي للماكينة الأوتوماتيكية لبيع القهوة أو بهدية عيد ميلاد لم تُفتح بعد. تُعتبر الذرة نموذجًا للصندوق الأسود الذي يمكن وصف محتواه الداخلي بمساعدة بعض الملاحظات المناسبة والمبتكرة، كما سيتضح بعد قليل في هذا الكتاب.

وعلى الجانب الآخر يوجد هناك مجال ذو حجم هائل، إذ يعجز المرء عن فهمه بسهولة حيث لا يمكنه إدراكه إدراكًا مباشرًا؛ إنه مجال في غاية الضخامة أو البعد عنا على نحو يحد بشدة من إمكانية القدرة على ملاحظته أو إجراء التجارب عليه، فهذا الكون الشاسع توجد به كواكبُ ومجموعاتٌ شمسية، ونجوم، وثقوب سوداء، ومجرات أخرى. وإذا لم يكن بوسع المرء أن يقترب القرب الكافي الذي يمكنه من إجراء الملاحظات المفصلة أو التجارب المطلوبة، فكيف يمكن إذن صياغة فرضيات مقبولة؟

يعتمد الإيمان بوجود نماذج محددة للنظام الشمسي والنجوم والمجرات بل والكون نفسه على الملحوظات التي أجريت باستخدام تلسكوبات قوية وأدوات أخرى تزيد من قدرات البشر — عن طريق إرسال مجسات فضائية — وباستخدام طرق أخرى. ثم صيغت بعد ذلك الفرضيات التي تتلاءم مع ما تمت ملاحظته، وقد تتلاءم أكثر من فرضية مع الملحوظات. وفي ظل توافر المزيد من المعلومات يمكن اختيار فرضية بعينها أو صياغة فرضية جديدة.

ولهذا فعلى الرغم من أن هناك كون واحد فقط يمكن دراسته (هل يمكن أن يكون هناك أكثر من كون؟) فيمكن اكتشافه ابتداءً بدراسة عالم الذرات المتناهي في الصغر وانتهاءً بالكون نفسه بجنباته الفسيحة.

لكي تكتسب المقدرة على وزن الأمور بدقة فيما يتعلق بالمجالات التي تدرس الأفكار الخمس الكبرى، يجب عليك ملاحظة الآتي:

- يهتم علم الفلك على نحو أساسي بدراسة تكامل الكون.
- يهتم علم الفيزياء بدراسة كل شيء بدءًا بعالم الجزيئات دون الذرية وحتى الدور الذي تقوم به النجوم والمجرات.
- يهتم علم الكيمياء بدراسة الذرات وتفاعلاتها وإن كانت هذه التفاعلات توجد في جميع أرجاء الكون.
- يهتم علم الجيولوجيا — ربما على نحو يفوق العلوم الأخرى، مستمدًا ذلك من فروع العلوم الأخرى — باستخدام الإدراك المباشر للحواس بالإضافة إلى الفحص الدقيق لما يتجاوز قدرات حواس البشر.
- يهتم علم الأحياء بدراسة الحياة أينما وجدت سواء على كوكب الأرض أو ربما بدراستها إذا وجدت في أي مكان آخر بالكون.

مجلدات الأفكار:

(١) الافتراضات الفلسفية المسبقة للعلم.
(٢) الاكتشاف بطريق الصدفة وتطور العلم.
(٣) تفعيل نظرية شفرة أوكام: المسافرون عبر الزمن.
(٤) الأشياء الكبيرة والصغيرة.

الفصل الثاني

الفكرة المهمة الأولى

النموذج الفيزيائي للذرة: رؤية ما لا يُرى

«الكون مليء بالأشياء الساحرة التي تنتظر في صبر أن تزيد حدةُ ذكائنا.»

إيدين فيلبوتس

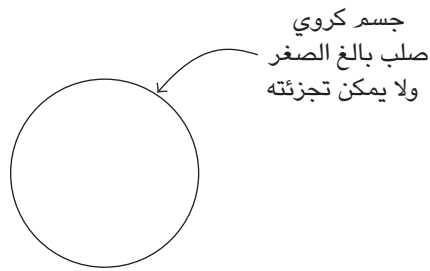
ستبدأ دراسة العلم في رحاب عالم متناهٍ في الصغر. لنفترض أنك كنت تطهو وجبة شهية (خليط من اللحم أو السمك مع الخضروات) ويجب أن تضيف قطعًا من الجزر طبقًا لوصفة الطهي. ربما تتحمس وتستمر في التقطيع إلى أجزاء صغيرة جدًّا حتى تصل إلى الحجم الذي لا يستطيع معه السكين أن يقطعه أكثر من ذلك. وعندئذ يتبادر سؤال إلى ذهنك وهو: هل هناك حد لعملية التقطيع أم يمكن أن تستمر — ولو من حيث المبدأ — إلى ما لا نهاية؟ إنه ليس بالسؤال الجديد.

أرسطو في مواجهة ديموقريطس

استنتج الفيلسوف اليوناني أرسطو (٣٨٤–٣٢٢ ق.م) طبيعة الأشياء من خلال مجموعة من المبادئ التي بدت له بديهية ولا تحتاج إلى دليل لإثباتها. قالت فرضيته إن المادة متصلة، أي يمكن أن تنقسم إلى جزيئات أصغر منها إلى ما لا نهاية ودون أي حدود. واستند موقفه الأساسي على أنه لا يوجد هيكل نهائي كامن للمادة.

ونأتي الآن إلى فيلسوف يوناني آخر، ديموقريطس Democritus (٤٦٠–٣٧٠ ق.م) يقال إنه فكر كالآتي: بينما كان يسير على الشاطئ تساءل عما إذا كانت مياه البحر متصلة أم منفصلة. فهو يدرك أن الرمال تبدو متصلة إذا نظرنا إليها من مسافة بعيدة ولكن كلما اقتربنا يتضح لنا أنها ليست إلا «حبيبات» صغيرة جدًّا. وبالمثل، تخيل ديموقريطس أن ماء البحر يمكن أن ينقسم إلى قطرات مياه أصغر فأصغر. وفي النهاية إلى «حبيبات» مياه. ولهذا آمن بوجهة النظر القائلة بأن المادة منفصلة وليست متصلة، أي أن هناك حد لا يمكن بعده أن تنقسم المادة لأكثر من ذلك.

وهكذا يوجد — طبقًا لديموقريطس — هيكل نهائي كامن للمادة. وأطلق على أصغر وحدة للمادة اسم «ذرة» Atom (مشتقة من اللفظ اليوناني a tomos أي «لا يمكن تقطيعه») وهي وحدة أساسية شعر بأنها غير قابلة للانقسام (لا يمكن تفتيتها إلى جزيئات أصغر). لم تفترض فرضية ديموقريطس وجود الذرات فحسب، بل وافترضت كذلك أشكال تلك الذرات: تخيل ديموقريطس أن ذرات الماء قد تكون كرات دائرية في حين قد يكون لذرات النار حواف حادة. كان الشكل الكروي المبين في الشكل رقم (٢–١) هو أبسط الأشكال الذرية التي عرضها ديموقريطس (وأكثرها تناسقًا) كما أنه هو النموذج الذي سنبدأ بدراسته.



شكل ٢–١: نموذج ديموقريطس للذرة.

تسوية النزاعات العلمية

على أي أساس يمكن حل الخلاف الدائر حول قضية اتصال وانفصال المادة؟ لم تكن التجارب في عصر أرسطو وديموقريطس تستخدم بأي طريقة منهجية

للفصل بين الفرضيات البديلة. كانت الملاحظات تقود إلى صياغة الفرضيات إلا أن الأمر في الغالب كان يتوقف عند هذا الحد. وكانت تساور الفلاسفةَ اليونانيين الشكوكُ حيال التجارب العلمية أو كانوا غير مبالين بها بالمرة، فهم كانوا يفضلون تطوير الأفكار عن طريق التفكير العقلي فحسب.

« إن أكثر ما يروق لكوني عالمًا فيلسوفًا هو أني لست مضطرًا إلى تلويث يداي »

ونتيجة لهذا كان قَبول أية فرضية يعتمد على «مرجعية» الفيلسوف، فكانت الفرضية تلقى أكبر قدر من القبول عندما يتمتع الفيلسوف بمقدرة عظيمة على الإقناع. ولما كان أرسطو يحظى «بمرجعية» تفوق ما يحظى به ديموقريطس، فقد نُظر إلى فرضياته على أنها أفضل من فرضيات ديموقريطس.

وخلال الألفي عام التالية، استمر العلم يرزح تحت سيطرة أصحاب «المرجعية» الذين لم يحدثوا سوى نذر يسير من التغييرات في المنهج الكلي للعلم. وفي نهاية المطاف، بدأت طريقة تفكير الناس تتغير شيئًا فشيئًا نحو المزيد من الاستقلالية، وأعيد النظر في أعمال أرسطو وديموقريطس. ثم ظهرت في القرن الخامس عشر والسادس عشر المؤسسات العلمية والمجتمعات المثقفة التي مهدت الطريق لحدوث تغيير جذري في الطريقة التي يُطَبَّق بها العلم. عبر فرانسيس باكون Francis Bacon وآخرون في كتاباتهم عن الأساس الفلسفي لهذه الثورة العلمية، وحثونا على عدم أخذ أي مبدأ على أنه شيء بديهي وأن يصبح الإخضاع للتجربة هو المحك الذي تُختبر به مصداقية الفرضية.

دالتون وكرات البلياردو

استُخدم هذا المنهج القائم على الاختبار بواسطة جون دالتون John Dalton الكيميائي الإنجليزي الذي استطاع عام ١٨٠٣م أن يقدم دليلًا مؤيدًا بالتجربة على صحة اعتقاد ديموقريطس في الذرات. لاحظ دالتون أن المواد، التي تعرف باسم «المركبات» تتكون دائمًا من مادتين بسيطتين أو أكثر، وتعرف باسم العناصر؛ دائمًا ما تحتوي على هذه العناصر بنفس التناسب في الكتلة، وتكوين هذه العناصر من حيث الكتلة ثابت. وتعرف هذه العلاقة باسم «قانون التركيب بنسب ثابتة».

تذكر أن النظريات عادة ما تعطي تفسيرًا للقوانين. ولكي يقدم دالتون تفسيرًا لقانون «التركيب بنسب ثابتة»، قام بإعادة إحياء مبدأ ديموقريطس وقال: إن العناصر تتألف من جزيئات غاية في الصغر وغير قابلة للتفتيت أو الانقسام تعرف باسم الذرات. تخيل دالتون أن تلك الذرات تشبه صورة مصغرة من كرات البلياردو.

افترض دالتون بالإضافة إلى ذلك أن ذرة عنصر ما لها كتلتها الثابتة. وتمكن دالتون من خلال نظريته عن الذرات أن يقدم تفسيرًا للعلاقة بين كتل العناصر في المُركب الواحد. استنتج دالتون أنه إذا كان المركب يتميز بأن العناصر المكونة له ذات نسبة كتلة ثابتة، وإذا كانت كل ذرة من ذرات العنصر الواحد لها نفس الكتلة، عندئذ لا بد أن تكون نسبة كتل مكونات المركب ثابتة على نحو دائم. (فإذا كان حجم كل وحدة متحدة في تكوين المركب متغيرًا، فهذا يعني أن نسبة الكتلة في المركبات ستكون هي الأخرى متغيرة، أي أنها لن تكون ثابتة).

استغرق الأمر حوالي ألفي سنة قبل أن يقبل العلماء بوجود نموذج ذري للمادة، ولا يعني هذا أن نموذج دالتون هو النموذج الذي يتصوره العلماء اليوم في عقولهم؛ حيث إن الذرات على قدر من التعقيد أكبر بكثير من كرات البلياردو.

نموذج البودينج لطومسون

قدم عالم الفيزياء الإنجليزي «جوزيف جون طومسون» — الذي كان يعمل في مختبر كافينديش الشهير بجامعة كامبريدج — عام ١٨٩٨م الدليل على وجود بناء ذري أكثر تعقيدًا. قام طومسون بعدد من «الملاحظات» بعد استخدامه

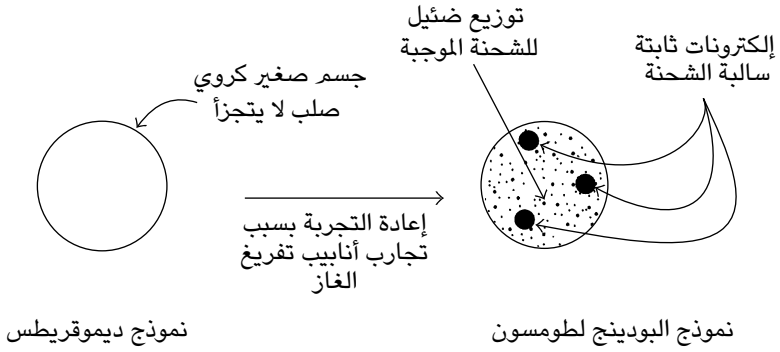
لأنابيب تفريغ الغاز (وهي أنابيب زجاجية يُفرغ معظم الهواء بها وتحتوي على قطبين معدنيين في طرفيها). كان يحاول فهم طبيعة الشعاع المتوهج الغريب الذي ينبعث داخل الأنبوبة عند توصيل التيار الكهربائي. وقد أطلق على هذه الأشعة اسم «أشعة المهبط» لأن مصدرها هو القطب السالب في الأنبوب الذي يعرف بالمهبط.

لاحظ طومسون أن الأشعة تنجذب إلى السطح المعدني ذي الشحنة الموجبة وتتنافر مع السطح الآخر ذي الشحنة السالبة، ولذلك استنتج أن الأشعة تحمل شحنة سالبة. (فالشحنات المختلفة تتجاذب، والشحنات المتشابهة تتنافر). حسب طومسون كتلة هذه الجزيئات المتحركة سالبة الشحنة (التي تعرف الآن باسم الإلكترونات)، وتوصل إلى أنها أصغر حوالي ألفي ضعف من حجم كتلة أخف ذرة معروفة، ألا وهي ذرة الهيدروجين. وهكذا تكون الإلكترونات من مكونات الذرة وليست ذرات مشحونة فحسب. ولأن الإلكترونات تنبعث من الأقطاب المعدنية المصنوعة من مجموعة من المواد على قدر كبير من التنوع، استنتج طومسون أن «كل» هذه المواد لا بد وأن تحتوي على إلكترونات.

استنتج طومسون وجود وحدات أصغر للمادة، وهو بهذا الاستنتاج يؤيد فكرة ديموقريطس القائلة بأن المادة غير متصلة، ويعارض وجهة نظر أرسطو القائلة بأن المادة متصلة. وطبقًا لنموذج أرسطو لا ينتج عن انقسام المادة سوى وحدات أصغر وأصغر من نفس المادة، ولكن هذا الانقسام لن ينتج عنه أبدًا جسيمًا بسيطًا كالإلكترون. كما استنتج طومسون كذلك أن الذرات ليست كما افترض ديموقريطس غير قابلة للانقسام. فالذرات يمكن أن تنقسم إلى جزيئات أصغر وبالتحديد إلى إلكترونات، فذرات الذهب تختلف عن ذرات الفضة ولكن كلاهما يحتوي على إلكترونات.

استنتج طومسون أنه إذا كانت المادة بوجه عام لا تحمل شحنات كهربائية مع أن الإلكترونات تحمل شحنة سالبة؛ فلا بد إذن من وجود مادة «موجبة الشحنة» في مكان ما داخل الذرة لكي تعادل شحنة الإلكترون السالبة. ولم يكن طومسون على علم بمكان هذه الشحنة الموجبة بالتحديد ولكنه قرر المحاولة، وقام بصياغة «فرضيته» التي عرفت فيما بعد باسم نموذج طومسون للذرة الشبيه بالبودنج: فالذرة في هذا النموذج كروية الشكل وتتكون من سحابة رقيقة من مادة موجبة الشحنة تتناثر بداخلها بعض الجسيمات سالبة الشحنة

تعرف بالإلكترونات بحيث تشبه في تناثرها الزبيب المتناثر في حلوى البودنج، كما هو موضح بالشكل رقم (٢-٢).



شكل ٢-٢: نموذجا طومسون وديموقريطس.

لاحظ أن نموذج طومسون للذرة أبقى على أحد سمات نموذج ديموقريطس وهي الشكل الكروي للذرة. وقد استمر مبدأ البساطة المعروف باسم شفرة أوكام بسبب غياب أي دليل تجريبي يثبت العكس، وهكذا بقيت فكرة الشكل الكروي، وهو أكثر المجسمات الهندسية ثمانًا.

رذرفورد ونموذج المجموعة الشمسية

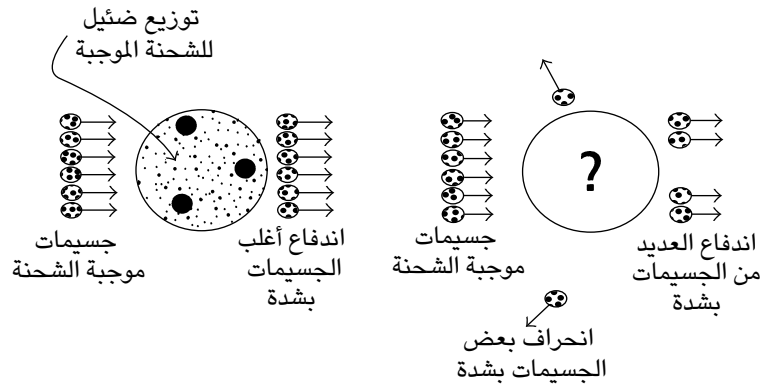
من أجل اختبار نموذج طومسون للذرة الشبيه بالبودنج، كان لا بد من إجراء تقييم قائم على التجربة لبعض التنبؤات التي قامت على أساس النموذج، ولتحقيق هذا الهدف كان لا بد من توافر مسبار تجريبي يمكنه اختراق الذرة. ثم يمكن بعد ذلك التنبؤ بما يجب أن يحدثه المسبار من تأثير، ثم بعد ذلك يمكن إجراء التجربة لمعرفة ما سيحدث بالفعل. ولم يكن تحقيق ذلك بالأمر الهين؛ فالذرة صغيرة جدًّا بحيث يصعب وجود مسابير صغيرة تناسب هذه المهمة.

حُلت هذه المعضلة بواسطة اكتشاف آخر من اكتشافات ذلك العصر (تقريبًا عام ١٩٠٠م) وهو اكتشاف النشاط الإشعاعي. تبين أن بعض المعادن تُطلق عدة أنواع من الأشعة من تلقاء نفسها، وأن إحدى هذه الأشعة المنطلقة من المواد المشعة تحمل شحنة موجبة إذ إنها تتكون من مجموعة من الجزيئات الموجبة التي تعرف باسم «جسيمات ألفا». قرر خليفة طومسون في مختبرات كافينديش

وهو اللورد «ايرنست رذرفورد» استخدام تلك «الطلقات» دون الذرية في محاولة اختراق ذرات الذهب الموجودة في صفيحة رقيقة من الذهب. وباستخدام نموذج البودنج الذي وضعه طومسون، تنبأ رذرفورد (حوالي عام ١٩١١م) بأن جسيمات ألفا — التي هي أثقل من الإلكترونات بمقدار ٧٤٠٠ ضعف — سوف تخترق دون أي انحراف رقاقة الذهب وفقًا لنموذج البودنج الذي قدمه طومسون، بحيث تتوزع الإلكترونات في رقاقة الذهب بالتساوي تقريبًا وتكون أقل تقاربًا فيما بينها، ثم تقوم جسيمات ألفا بإنارة شاشة (شبيهة بشاشة التلفاز) وضعت على الطرف الآخر من الجهاز الذي أجريت عليه التجربة، ثم قام هو ومعاونوه بإعداد الجهاز وإجراء التجربة.

كان رذرفورد على قدر كبير من الثقة في أن معظم جزيئات ألفا سوف تشق طريقها في مسار مستقيم دون أي انحراف، ولكن ما حدث هو أن عددًا كبيرًا من هذه الجزيئات وعلى غير المتوقع قد انحرف بشدة عن المسار المستقيم بل وارتدت بعض هذه الجزيئات عائدة إلى الخلف، إذن فقد حدثت عملية انعكاس لهذه الجزيئات! وعلق رذرفورد على ما حدث قائلًا:

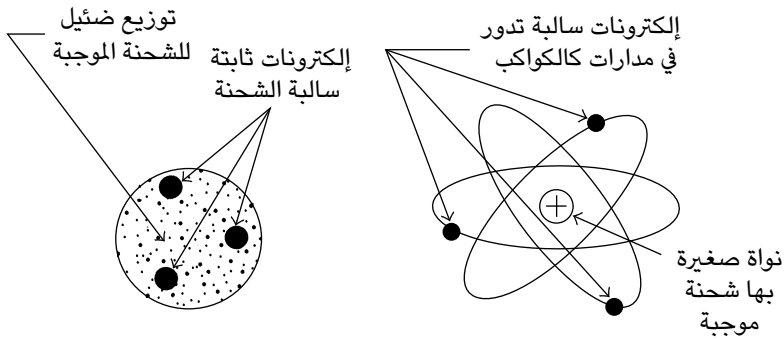
«لقد كان هذا هو أغرب ما تعرضت له طيلة حياتي؛ فقد كان بمثابة إطلاق قذيفة من عيار ١٥ بوصة على ورقة رقيقة فلم تنفذ خلالها وإنما ارتدت إليك.». يوضح الشكل رقم (٢-٣) تنبؤات رذرفورد وتجاربه.



شكل ٢-٣: النتيجة المتنبأ بحدوثها والنتيجة الفعلية لتجربة رذرفورد.

لا تتسبب التجارب التي تسفر عن نتائج غير متوقعة في إفساد التخطيط العلمي لفترة طويلة، إذ يعاود العلماء صياغة الفرضية من جديد. وكما اهتم رذرفورد كثيرًا بمسألة تصحيح ما توصل إليه سلفه، كان مجبرًا على صياغة فرضية جديدة، ولكن ترى أي النماذج يتوافق مع نتائج رذرفورد التجريبية؟

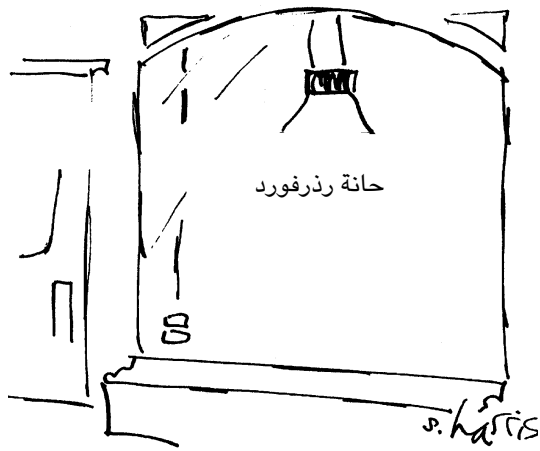
فسر رذرفورد النتائج التي توصل إليها من خلال نموذج المجموعة الشمسية للذرة. استمر وصف الذرة في هذا النموذج على أنها تأخذ الشكل الكروي. وقال رذرفورد إن الذرة تتكون من نواة مركزية صغيرة نسبيًّا تحتوي على كل الشحنة الموجبة ومعظم الكتلة، في حين تتوزع الإلكترونات في معظم الحيز الذي تشغله الذرة وتدور حول النواة (بنفس الطريقة التي تدور بها الكواكب حول الشمس). اعتقد رذرفورد أن الإلكترونات لا بد أن تدور بسرعة حول هذه النواة من الخارج؛ فإذا لم تكن هذه الإلكترونات تتحرك، فسيؤدي الجذب الكهربائي للنواة موجبة الشحنة للإلكترونات سالبة الشحنة إلى تحرك الإلكترونات حول النواة في مسار حلزوني مما يؤدي إلى تدمير الذرة. ونظرًا لأن معظم الحيز في هذا النموذج تشغله الإلكترونات الضعيفة نسبيًّا، فإن معظم الجزيئات التي أطلقت على الذرات كان من المتوقع أن تمر بأكملها في مسار مستقيم بعيدًا عن النواة الصغيرة. أما تلك الجزيئات قليلة العدد والتي يتصادف أن تلمس النواة وهي في طريقها أو تصطدم بها فسوف تنحرف عن مسارها بزوايا كبيرة. يظهر الشكل رقم (٢-٤) مقارنة بين نموذجي طومسون ورذرفورد.



شكل ٢-٤: مقارنة لنموذجي طومسون ورذرفورد.

بور يرى الضوء

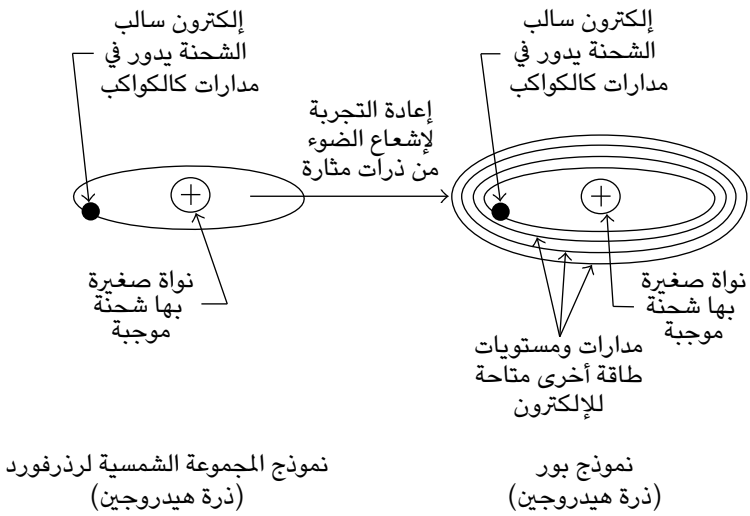
أيضًا لم يستمر نموذج المجموعة الشمسية لرذرفورد طويلًا، وذلك بسبب وجود «ملاحظة» لم يستطع أن يقدم تفسيرًا لها، ألا وهي الضوء الذي تشعه الذرات التي تثيرها عمليات التفريغ الكهربي أو التي تستمد طاقتها من مصادر أخرى. ومما لا شك فيه أنك تألف مثل هذه الأنواع من الإشعاع؛ فهو يستخدم في إضاءة لافتات النيون التي هي عبارة عن أنابيب زجاجية مليئة بغاز النيون. وعند سريان التيار الكهربائي، تتزود ذرات النيون بالطاقة ثم تعيد جزءًا من هذه الطاقة في صورة ضوء ملون مميز.



لم يقدم نموذج المجموعة الشمسية أية آلية تفسر انبعاث مثل هذا الضوء؛ ولذا تحتم إجراء تعديل لهذه الفرضية. وفي عام ١٩١٣م، قام نيلز بور Niels Bohr وهو أحد تلاميذ رذرفورد بصياغة فرضية بوسعها تفسير الإشعاع الضوئي: اعتقد بور أن الإلكترونات في الذرات مقيدة بالدوران في مدارات «محددة» حول النواة، بحيث يتناسب كل مدار من هذه المدارات المسموح للإلكترونات بالدوران فيها مع مستوى الطاقة الذي يدور فيه الإلكترون. وبالنسبة إلى ذرة الهيدروجين التي هي أبسط ذرة إذ تتكون من نواة وإلكترون واحد فقط، كانت «الفرضية» التي صاغها بور كالآتي: للإلكترون عدد من المدارات المحددة يسمح له بالتواجد

فيها ومستويات طاقة محددة مسموح له بالدوران فيها. وعندما تحصل الذرة على الطاقة من مصدر طاقة خارجي — مثل تيار كهربائي — فإنها لا تقبل سوى المقدار المضبوط من الطاقة الذي تحتاجه لإرسال إلكترون من أحد مداراته ذي الطاقة الأقل إلى مدار آخر ذي طاقة أعلى. يتوقف الإلكترون مؤقتًا في المدار ذي الطاقة الأعلى ويبدو كما لو أنه لا يريد أن يتركه، ثم يبدأ بعد ذلك في القفز إلى أسفل بين مستويات الطاقة الأقل حتى يصل في نهاية الأمر إلى أقل مستوى من مستويات الطاقة. والطاقة التي يفقدها الإلكترون وهو يقفز إلى أسفل تنطلق في شكل ضوء يعتمد لونه على فجوة الطاقة التي يمر بها الإلكترون.

وهكذا فإن الإلكترون في ذرة الهيدروجين يتصرف كما لو كان معرضًا لقيود تماثل تلك القيود التي تشعر بها عند استخدامك للمصعد؛ فعندما تستقل مصعدًا من الطابق الأرضي وتضغط على الزر يندفع بك إلى الطابق الذي حددته بالضغط على رقمه، ثم يهبط المصعد ثانية متوقفًا عند طوابق أخرى إذا تم الضغط على زر آخر، ولكنه لا يتوقف أبدًا «بين الطوابق». وفي نهاية المطاف يعود المصعد من جديد إلى الطابق الأرضي. يوضح الشكل رقم (٢-٥) نموذجي رذرفورد وبور.



شكل ٢-٥: نموذجا رذرفورد وبور لذرة الهيدروجين.

تبدو هذه الفرضية غريبة بعض الشيء بما تعرضه من قيود بأن هناك بعض المدارات ومستويات الطاقة هي المسموح بها دون غيرها. قال بور نفسه: «نتفق جميعًا على أن النظرية غريبة، ولكن السؤال الذي نختلف حوله هل هي غريبة إلى الحد الذي يجعل هناك مجالًا لأن تكون صحيحة.» وبرغم غرابتها، فقد بدت الفرضية صحيحة على الأقل في حالة ذرة الهيدروجين. وقد أتاحت الأجزاء الرياضية لهذه الفرضية عمل «تنبؤات» فيما يخص ألوان الضوء المتوقع انبعاثه عندما تفقد الإلكترونات في ذرات الهيدروجين الطاقة وهي تقفز من كل مستوي طاقة أعلى إلى كل مستوي طاقة أقل. وعندما أجريت «التجارب»، شوهدت الألوان المتوقعة. وهكذا أثبتت فرضية بور صحتها في حالة ذرة الهيدروجين. ولكن ماذا عن كل الأنواع الأخرى من الذرات؟

ميكانيكا الكم تخفت الضوء

بُذِلَت المحاولات لتوسيع نطاق «فرضية» بور لتشمل ذرات أخرى بجانب ذرة الهيدروجين. ووُضِعَت التنبؤات حول ألوان الضوء المتوقعة وأُجريت التجارب المتعلقة بهذا الشأن. وللأسف، لم يتم التوصل إلى الألوان المتوقعة.

وتحتم ثانية «إعادة صياغة» الفرضية العلمية. استبدلت في نهاية الأمر فرضية بور بفرضية أخرى أكثر تعقيدًا طورها عدد من الفيزيائيين على مر عدة عقود، وتعرف باسم نموذج ميكانيكا الكم للذرة. يشير مصطلح «الكم» إلى أصغر كمية طاقة يسمح للإلكترون باكتسابها أو فقدها عند المستوى الذري. وتقدم ميكانيكا الكم وصفًا رياضيًّا لخصائص الإلكترون عندما يتحرك كموجة أو على شكل منحني وليس كجسيم.

ألغت فرضية ميكانيكا الكم مبدأ المدارات المحددة في فرضية بور واستبدلتها بهيكل رياضي أكثر تعقيدًا يشتمل على الاحتمالات بدلًا من الأماكن المحددة للإلكترونات. يرى النموذج الميكانيكي الكمي أن الذرة تتكون من نواة مركزية تحتوي على كل من البروتونات (وهي الجسيمات موجبة الشحنة التي اكتشفت عام ١٩١٩م) والنيوترونات (وهي الجزيئات متعادلة الشحنة التي اكتشفت عام ١٩٣٢م) بالإضافة إلى الإلكترونات الموجودة بمكان ما خارج النواة ولها قدر محدد من الطاقة مسموح لها به ولكن ليس لها مدارات محددة تدور فيها حول النواة.

يعني عدم وجود المدارات المحددة أن موقع وسرعة الإلكترون لا يمكن تحديدهما. وهكذا فإن الإلكترونات يمكن وصفها فحسب على أساس وجود مناطق ذات احتمالية كبيرة في احتوائها على الإلكترونات. ومن أجل تبسيط تخيل صورة «المنطقة التي بداخلها يوجد احتمال كبير للعثور على شيء ما»، يمكنك تخيل نباح الكلب دومينو الذي كان يقوم به عندما يتنبأ بسقوط المطر وهو مقيد بحبل طويل مربوط في وتد بمنتصف حديقة منزلك، ستجد الكلب دائم الحركة لأنه يشعر بالضيق عند تقييده، ولكي تعثر على الكلب ينبغي أن يكون لديك طريقة مناسبة لملاحظته. ويمكنك تحقيق ذلك عن طريق استخدام كاميرا فوتوغرافية تصور لقطات له من مكان مناسب فوق سطح الحديقة. لنفترض أنك حصلت على نيجاتيف الأفلام مجمعة فوق بعضها بدلًا من أن تحصل على النيجاتيف المنفصل لكل فيلم. وإذا عجزت عن فصل تلك الأفلام فستحصل على صورة مجمعة لترى مزيجًا من الأماكن التي تواجد بها دومينو. كلما بقي بمكان محدد مدة أطول، زادت درجة ملاحظة صورته الكاملة في هذا الموقع وزاد معها احتمال وجوده في هذه المنطقة.

مبدأ عدم اليقين لهايزنبرج

فُسر التخلص من فكرة المدارات المعروفة والمحددة للإلكترونات بأن هناك حدودًا لما يمكن ملاحظته، وهي حدود لا تعتمد على منهج الملاحظة بل هي حدود متأصلة في طبيعة المادة نفسها. وطور هذه الفكرة عالم الفيزياء الألماني فيرنر هايزنبرج Werner Heisenberg عام ١٩٢٧م. يرى مبدأ «عدم اليقين» Uncertainity Principle لهايزنبرج أن هناك حدودًا للدقة التي يمكن بها معرفة بعض خصائص أي جسيم، وأنه ما من طريقة توجد لابتكار منهج لتحديد الموقع الدقيق للإلكترونات في الذرات دون التضحية ببعض الدقة فيما يخص تحديد سرعة تحرك تلك الإلكترونات.

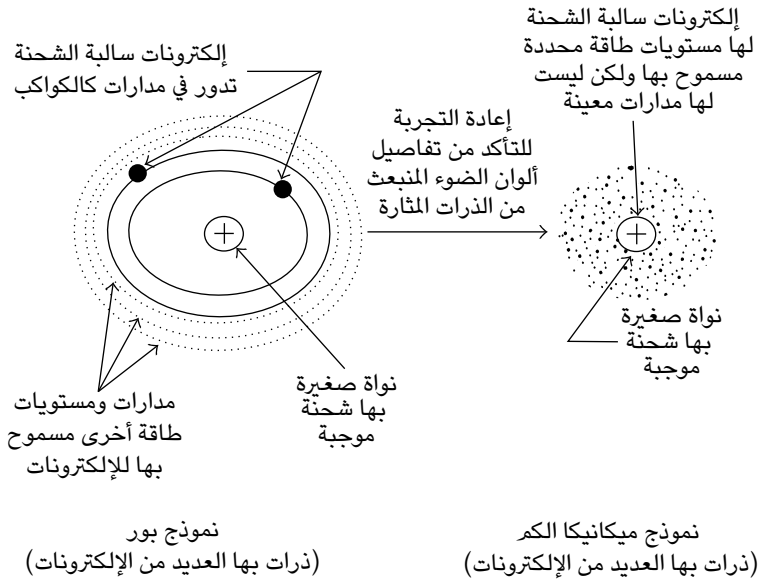
وبالرغم من أن الجانب العشوائي الذي يستعصي فهمه لهذه النظرية يمكن أن يكون صعبًا من الناحية الفلسفية فإننا نجد أن العلماء تمسكوا بها إلى أن فشلوا في تدعيم تنبؤاتها بأدلة تجريبية. إن مقياس الحكم على النموذج الميكانيكي الكمي هو: «هل يجدي هذا النموذج نفعًا؟» والإجابة نعم؛ فألوان

الضوء التي يتنبأ بها النموذج الميكانيكي الكمي تتحقق رؤيتها فعلًا بإجراء التجارب. يوضح شكل (٢-٦) نموذجي بور وميكانيكا الكم.

أنصتوا، أنصتوا، إنه الكوارك!

بداية من ثلاثينيات القرن العشرين، تسبب اكتشاف المزيد من الجسيمات دون الذرية في أن يصبح النموذج الذري لميكانيكا الكم أكثر تعقيدًا. ولم يمض وقت طويل حتى اكتشفت أعداد كبيرة من الجسيمات «الأولية» بحيث كان لكل جسيم منها جسيم مضاد.

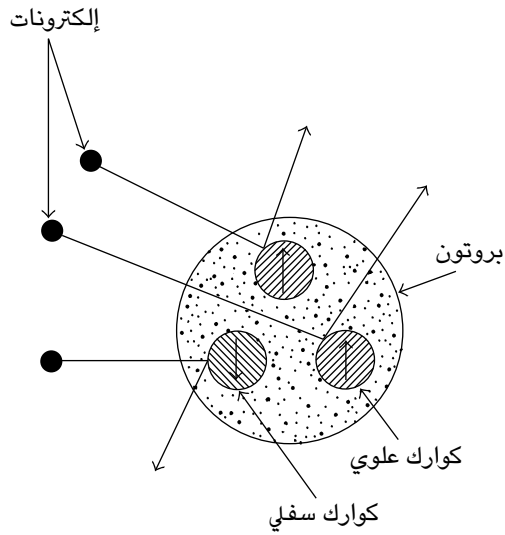
وفي ستينيات القرن العشرين، اقترح علماء في الفيزياء نظرية ترى أن الكثير من هذه الجزيئات تتكون من «بذور أو وحدات أولية» أصغر تسمى الكواركات Quarks. ثم في أواخر عقد الستينيات، تأكدت صحة هذه النظرية بعد إجراء تجربة تتشابه مع تجربة رذرفورد التي تناثرت فيها جزيئات ألفا. وكما لم



شكل ٢-٦: نموذجا بور وميكانيكا الكم للذرة.

يكن رذرفورد «يبحث عن» النواة، لم يكن «البحث عن» الكواركات هو هدف أي من علماء الفيزياء هنري كيندال Kendall وجيروم فريدمان Friedman وريتشارد تيلور Taylor. أطلق هؤلاء العلماء الثلاثة الإلكترونات على البروتونات في ذرات الهيدروجين. ونظرًا لاعتقادهم بأن الشحنة الكهربائية موزعة بانسيابية داخل البروتون، تنبئوا بحدوث تناثر للإلكترونات بسهولة عن البروتونات موضع الهدف، تمامًا كاختراق طلقة الرصاص لقطعة من الخبز. على أن نتائج التجربة كانت مفاجأة بجميع المقاييس حيث اكتشف تناثر الإلكترونات مرارًا على زوايا عريضة كما هو موضح بالشكل (٢-٧) كما لو كانت الإلكترونات تواجه ثلاث قطع صغيرة ولكنها في غاية الصلابة. وفي نهاية المطاف عرفت هذه القطع الصغيرة باسم الكواركات (عدد ٢ كوارك «علوي» وكوارك واحد «سفلي»).

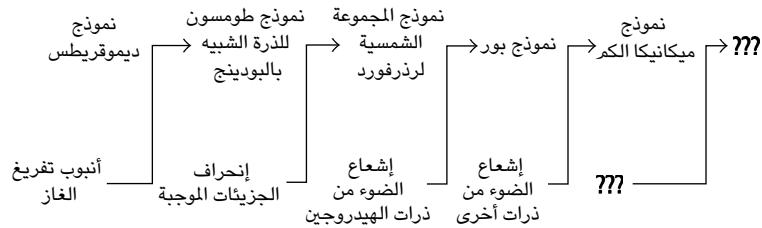
ثم ما لبث أن اقترح وجود أربعة أنواع أخرى من الكواركات. وتبعًا لأحدث نموذج للذرة الذي يعرف باسم النموذج القياسي، يوجد اثنا عشر جزيئًا أساسيًّا للمادة، وهي الأنواع الستة من الكواركات إلى جانب ستة جسيمات يطلق عليها اسم ليبتونات leptons وهي فئة تضم بداخلها الإلكترونات.



إنحراف الإلكترونات عن الكواركات

شكل ٢-٧: التصادم مع الكواركات.

وكما رأينا فقد تغيرت صورة الذرة تغيرًا كبيرًا عن تلك الصورة التي وضعها ديموقريطس. ومع ذلك فلا يوجد ما يدعونا إلى الثقة في أن الكواركات والليبتونات لا تتكون بدورها من جزيئات أصغر. يوضح شكل (٢-٨) النحو الذي تتابعت به النماذج الفزيائية.



شكل ٢-٨: تطور نماذج الذرات.

التحيز للعلم وليس للعلماء

بدأ اكتشاف الذرات بمنافسة بين مرجعية أرسطو ومرجعية ديموقريطس، أما في المنهج العلمي الحديث فإن المرجعية لا تعتمد على الأشخاص وإنما على تفسير

الدليل القائم على التجربة. بالرغم من صحة القول إن العلماء يبدون بمثابة المرجعيات لأنه تصادف أنهم يعرفون الكثير عن ظواهر معينة، بالإضافة إلى أن كثيرًا من الناس يلقون مهمة إجراء التجارب على عاتق آخرين مدربين في مجال العلم؛ فإن الفرضيات بطبيعتها يجب أن تتصف بإمكانية أن يقوم أي شخص تدرب تدريبًا مناسبًا بوضعها موضع الاختبار.

ولعل جوهر المنهج العلمي يكمن في أن الناس غير مضطرين لتصديق قول العالم فيما يخص أراءه العلمية دون إجرائهم لمزيد من الفحص لها. وهكذا لم تعد المرجعية النهائية عملية تعتمد على شخص بعينه وإنما على عملية منطقية.

مجلدات الأفكار:

(٥) الإشعاع الكهرومغناطيسي وتفاعله مع المادة.
(٦) النموذج الموجي مقابل النموذج الجسيمي للضوء.
(٧) الذرة المكبرة: طنين الذباب حول كرات البلياردو.
(٨) قطة شرودنجر: تجربة ذهنية.
(٩) مبدأ عدم اليقين عند هايزنبرج.
(١٠) المادة والمادة المضادة.

(١١) مجهر المسح النفقي: «رؤية» الذرات.
(١٢) القوى الأربع الكبرى في الطبيعة.
(١٣) الكهرباء والمغناطيسية: توءم سيامي.
(١٤) قوانين نيوتن للحركة والجاذبية.
(١٥) نظريات أينشتين النسبية العامة والخاصة.