الفصل الثالث

الموجهات
Heuristics

لقد قدمنا حتى الآن رؤيتين للاكتشاف. إحداهما تركز على ما يسمى "لحظة وجدتها Eureka Moment"، وكلاهما يتوافق بشكل جيد مع الرؤية "الرومانسية" للإبداع، وتؤيد ما يسمى بفكرة الفرضية الاستدلالية "hypothetico-deductive" للعلوم، وحسب هذه الفكرة فإن العلوم تعمل من خلال التوصل إلى الافتراضات- كيف، لا ندري، بل نحن حتى كفلاسفة لا نهتم بالأمر!- واستخلاص النتائج التجريبية منها والتي تخضع بعد ذلك للاختبار التجريبي. والفكرة الأخرى تضع الفرضيات تحت الملاحظة، وتشجع ما أسميناه بالفكرة "الاستقرائية inductive"، والتي نقوم من خلالها بحشد عدد كبير من الملاحظات التي تم جمعها في ظروف مختلفة، ومن ثم نقوم باستقراء نظرية منها، غير أن كلا الرؤيتين غير واف.

إذاً، هناك بديل ثالث، وهو الذي يعترف بأن الاكتشاف العلمي ليس مجرد قفزة إبداعية، أو نوعاً من انفتاح أو إضاءة البصيرة الذي يظهر فجأة، - كما أنه لا يتعلق بعملية جمع الملاحظات التي تتسم بالبطء والدقة. وتقوم هذه الرؤية

على فكرة أنه بإمكاننا أن نحدد خطوات معينة للاكتشاف، خطوات معينة يقوم بها العلماء تجعل الأمر عقلانياً وقادراً على لعب دور في تفسير الكيفية التي تتم بها الاكتشافات، وبالتالي الكيفية التي تعمل بها العلوم، وتأتي هذه الخطوات تحت مظلة ما يعرف بالموجهات Heuristics.

الموجهات Heuristics: خطوات نحو الاكتشاف

كلمة الموجه Heuristics مشتقة من الكلمة اليونانية heurisko وتعني أجدُ، ولعلك لا تريد أن تفاجأ بمعرفة أن هذه الكلمة لها صلة بالكلمة التي استخدمها صديقنا أرخيدس Archimedes عندما اندفع خارجاً من الحمام. ولكن، بينما ارتبطت كلمة وجدتها Eureka بإشراق لحظة العبقرية، فإن كلمة heurisko تُفهم على أنها دراسة الأساليب والطرق التي تستخدم في الاكتشاف وحل المشكلات. فالاستنباط يقع في مساحة ما بين الرسمية الصارمة للمنطق، والإلهام الذي يبدو عشوائياً وغير عقلاني.

خلال الخمسين عاماً الماضية أو نحوها، كُتب الكثير جداً عن حل المشكلات، وأغلب هذه الكتابات استلهمت أفكارها مما كتبه جورج بوليا George Polya، الذي ألف كتاباً مشهوراً بعنوان كيف تحلها *How to Solve It* (١٩٥٧). فقد كان بوليا معنياً بشكل أساس بحل المسائل الرياضية، واكتشاف الأدلة والبراهين للنظريات الرياضية، ولعل أسلوبه العام لا يبدو مهماً من الوهلة الأولى:

١- افهم المشكلة.

٢- ضع خطة.

٣- طبق الخطة.

٤- راجع عملك.

فهم المشكلة؟ طبعاً! ضع خطة ثم طبقها؟ من الذي فكر فيها؟ ذكي جداً! حسناً، ربما أكون هزلياً إلى حد ما هنا. لقد قدم بوليا مجموعة من الموجهات المثيرة للاهتمام، مثل إيجاد مشكلة مماثلة للمشكلة التي تريد حلها، أو ربما تحاول تعميم مشكلتك ثم تقوم بحل التعميم، أو تحاول، كما سنلاحظ بعد قليل بشكل واضح، أن تجد مشكلة تم حلها للتو ولها صلة بمشكلتك. ومنذ عهد بوليا بدأت دراسة الموجهات في الانتشار بشكل كبير. ففي علم النفس، على سبيل المثال، تم استخدام الموجهات في تفسير الأحكام أو القرارات التي نطلقها أو نتخذها بشكل يومي في ظل غياب المعلومات الكاملة، أو في أوضاع معقدة تصبح فيها القواعد العادية لما يعرف بنظريات الحكم، غير ملائمة. بعض هذه القواعد يشمل قوانين نظرية الاحتمالات، إذ إن الاستهانة بهذه الإجراءات التوجيهية اليومية، تؤدي إلى ما يعرف "بالتحامل أو الانحياز الإدراكي Cognitive Biases".

ولذلك، يمكن تقديم هذه القواعد من خلال اتباع الإجراءات التالية:

١- الناس في الغالب غير حساسين تجاه حجم العينة التي يدرسونها؛ ولذلك يقعون فيما يعرف "بمغالطة الحد الأدنى base rate fallacy"، على سبيل المثال.

٢- ينتهكون قوانين معينة للاحتمالات (كالقانون الذي يعنى باحتمال الحادثتين اللتين تقعان معاً في وقت واحد)، وبشكل أكثر عمومية.

٣- يصبح الناس فريسة لعدة أنواع من التحيز ترتبط بخلفياتهم وإلمامهم بالحادثة التي تخضع للتقييم.

كمثال لرقم (١) فكر في الأحجية Conundrum البسيطة التالية، هناك مرض يصاب به شخص واحد من كل ألف شخص من السكان، ولحسن الحظ هناك اختبار جديد قد تم تطويره لهذا المرض، ولكنه غير دقيق بشكل تام، ففي كل مائة حالة يقوم باختبارها يخطئ في تشخيص إصابة خمسة أشخاص بالمرض، في

حين أن هؤلاء الأشخاص الخمسة غير مصابين بالمرض، أي أن هذا الاختبار لديه معدل إيجابي خاطئ ٥٪ (false positive rate). والآن، أجرِ هذا الاختبار لنفسك وستجد النتيجة إيجابية. هل يجب أن تشعر بالقلق؟ ما هي فرصة إصابتك فعلاً بالمرض؟ إذا كنت تعتقد أن النسبة عالية إلى حد ما، ربما تصل إلى ٩٥٪، إذاً لست وحدك. ففي إحدى الحالات الدراسية التي شملت ٦٠ شخصاً أعطوا هذه المسألة، تراوحت إجاباتهم بين ٠٫٩٥٪ و٩٩٪. حيث ٢٧ ممن قاموا بحل المسألة أجابوا بنسبة ٩٥٪، ومتوسط الإجابات كان ٥٦٪. بينما ١١ فقط ممن شملهم الاستطلاع أعطوا الإجابة الصحيحة، والتي يمكن احتسابها باستخدام نظرية الاحتمالات، وهي ٢٪. ولذلك هذا ليس اختباراً جيداً!

بطبيعة الحال هذا الاختبار يؤدي وظيفة تشخيصية معينة، طالما أن الفحص يزيد فرصة اختيار الشخص المصاب بالمرض إلى عشرين ضعفاً. هذه زيادة كبيرة، ولكنها ليست كبيرة كما يعتقد الكثير من الناس. وعند النظر فيما إذا كان الشخص الذي أظهر نتيجة إيجابية في الاختبار مصاباً فعلاً بالمرض، يميل الناس أولاً إلى تجاهل المعلومة التي تقول إن ١/ ١٠٠٠ فقط من السكان يصابون بالمرض. هذا يعرف بالحد الأدنى base rate وحقيقة أن هذا الحد الأدنى صغير مقارنة بالمعدل الإيجابي الخاطئ، تقود إلى تقديرات بعيدة كل البعد عن الموضوع.

هذا مثير للقلق إلى حد بعيد، ويثير القلق أكثر عندما ترى أن السؤال أعلاه لم يتم طرحه على مجموعة من العوام، بل تم طرحه على طلاب في السنة الرابعة بكلية الطب، وعشرين من السكان، وعشرين طبيباً، في مقابلات أجريت معهم في مدرسة الطب بهارفارد، حيث إن أربعة طلاب، وثلاثة من السكان، وأربعة من الأطباء فقط أجابوا إجابات صحيحة. وهناك دليل على أنه بسبب هذا التحيز، أخطأ العاملون في الحقل الطبي في التشخيص، ونصحوا باتخاذ إجراءات

متشددة تجاه الحالات التي شملتها هـذه الاختبـارات بمـا في ذلـك الاسـتعجال في تصوير الثدي بالأشعة السينية.

وهذا مثال آخر لرقم (٢)، تأمل السيناريو التـالي، لينـدا Linda في الحاديـة والثلاثين مـن عمرهـا، غـير متزوجـة، صـريحة ومتألقـة، متخصصـة في الفلسـفة (طبعـاً!). وعنـدما كانـت طالبـة، كانـت مهتمـة جـداً بقـضايا التمييـز والعدالـة الاجتماعية، كما شاركت أيضاً في مظاهرات مناوئة للحـرب. طُلـب مـن المعنـيين ترتيب العبارات التالية حسب احتمال كـل منهـا، مـستخدمين الـرقم ١ لأكثرهـا احتمالاً، والرقم ٨ لأضعف الاحتمالات:

أ) ليندا معلمة في مدرسة ابتدائية.

ب) ليندا تعمل في مكتبة وتأخذ دروساً في اليوغا.

ج) ليندا ناشطة في الحركة النسوية.

د) ليندا تعمل في مجال علم النفس الاجتماعي.

هـ) ليندا عضو في جمعية النساء الناخبات.

و) ليندا موظفة في بنك.

ز) ليندا مندوبة مبيعات لدى شركة تأمين.

ح) ليندا موظفة في بنك وناشطة في الحركة النسوية.

في أي مرتبة تضع العبارة الأخيرة (ح) ؟ هل تضعها في ترتيب أقل أم أكثر احتمالاً من العبارة (و)؟

يتبين أن متوسط ترتيب الادعاء المشترك بأن لُيندا موظفة في بنـك وناشـطة في الحركة النسوية كان أعلى مـن العبـارة الأخـرى لُينـدا موظفـة في بنـك. وهـذا مخالف لما يعرف بقاعدة الاقتران Conjunction Rule في نظريـة الاحتمـالات، والـتي

تقول إن احتمال وقوع حادثتين معاً لا يمكن أن يكون أكبر من احتمال وقوع إحدى الحادثتين منفردة. وكما هو الحال في مسألة 'معدل الحد الأدنى'، تم عرض مسألة ليندا على ثلاث مجموعات تختلف في مستويات تقدمها في مجال الإحصاء:

١- مجموعة من طلاب جامعة بريتش كولومبيا British Colombia وجامعة ستانفورد Stanford، وهؤلاء ليست لديهم خلفية عن الاحتمالات أو الإحصاء.

٢- مجموعة من طلاب الدراسات العليا في تخصص علم النفس والتربية والطب، وقد تلقى هؤلاء عدة فصول دراسية في الإحصاء، وكانوا جميعاً على إطلاع جيد بالمفاهيم الأساسية للاحتمالات.

٣- مجموعة من طلاب الدراسات العليا في برنامج علوم مهارات اتخاذ القرار في مدرسة إدارة الأعمال بجامعة ستانفورد Stanford، وقد تلقى هؤلاء عدة فصول دراسية متقدمة في الاحتمالات والإحصاء. الأجوبة التي أتت من المجموعات الثلاث لم تتضمن أي اختلافات ذات دلالات إحصائية مهمة، أي أنه لا حاجة على ما يبدو للانشغال بما إذا كان الذين شاركوا في حل المسألة قد تلقوا فصولاً دراسية متقدمة في الاحتمالات أم لا.

إن المنهج الذي يستخدمه الناس في هذه الحالات هو منهج يعرف بـ 'موجه التمثيل representativeness heuristic'، وحسب هذا المنهج، النتائج التي يتم استخلاصها تعتمد على توقع أن عينة صغيرة ستمثل المجتمع الأم أفضل تمثيل. هذا هو الإرشاد الذي قيل أنه يقف وراء القرارات التي تم التوصل إليها في حالة ليندا على سبيل المثال؛ ولذلك يدعى أن:

الشخص الذي يتبع هذا الموجه يستطيع تقييم احتمال وقوع الحادثة غير مؤكدة الحدوث، أو العينة، لدرجة أنها:

١- تكون مشابهة في خصائصها الأساسية للمجتمع الذي تنتمي إليه، و:

٢- تعكس المميزات البارزة للعملية التي تتم من خلالها. والفرضية التي نطرحها هنا هي أنه في حالات كثيرة يحكم على الحادثة أ بأنها أكثر احتمالاً من الحادثة ب حينما تكون أ أكثر تمثيلاً من ب. وبعبارة أخرى، ترتيب الأحداث على أساس احتمالاتها الذاتية يتوافق مع ترتيبها على أساس التمثيل[17].

ولذلك، بدلاً من إضاعة الجهد بين ثنايا نظرية الاحتمالات، على الناس أن يتأملوا العبارة (ح) السابقة، ويقرروا ما إذا كانت ليندا موظفة في بنك وهي في ذات الوقت ناشطة في الحركة النسوية أكثر تمثيلاً لشخص لديه خلفية كخلفيتها، من أن تكون موظفة في بنك فقط؛ ومن ثم يقومون بتقييم الاحتمال على هذا الأساس. لاحظ أن عامل التمثيل هذا قد نشأ على أساس بعض الاعتبارات ذات الصلة بالتشابه، سنعود لهذا الموضوع في الجزء التالي.

يعتقد البعض أن هذا التحيز موجود في كل مكان وهو بمثابة جرس الإنذار:

بما أن حكم البشر شيء لا غنى عنه في كثير من المشكلات التي نمر بها في حياتنا، فإن التضارب بين المفهوم الحدسي للاحتمالات والبنية المنطقية لهذا المفهوم أمر مزعج. فمن ناحية، لا نستطيع أن نتخلى عن الإرشاد الذي نستخدمه لدراسة الغموض وعدم الوضوح؛ لأن الكثير من المعارف في عالمنا مرتبطة بتطبيقاتها العملية. ومن ناحية أخرى، لا يمكننا تحدي قوانين الاحتمالات؛ لأنها تحتفظ بحقائق هامة حول العالم... ومشكلتنا تكمن في الاحتفاظ بما هو مفيد وصحيح في الحجة الحدسية intuitive judgment، وفي ذات الوقت تصحيح الأخطاء، ومعالجة التحيز الذي يتعرض له[18].

لقد كان هناك كثير من التعليقات حول هذه النتائج، وحول ما إذا كان التحيز منتشراً على نطاق واسع كما يدعي المعلقون أعلاه، وما إذا كان يمتد إلى

التبرير العلمي، على سبيل المثال. وقد جاء في إحدى الإجابات أن ما يجري في هذه الدراسات هو أن المشاركين، وكذلك أغلبنا ضمنياً عندما يتعلق الأمر بالتبريرات اليومية، يستخدمون بعض النماذج غير المعيارية أو الإقرارات (غير معيارية بمعنى أنها لا تتوافق مع قوانين نظرية الاحتمالات). وقد دار نقاش كثيف على سبيل المثال حول هذه القرارات الطبيعية التي أخفق المعنيون بها في أن يأخذوا في الحسبان العلاقة بين حجم العينة والخطأ في أخذ العينة، وهم ببساطة لم يدمجوا هذه العلاقة في النموذج الحدسي الذي وضعوه لمعالجة المشكلة. وبدلاً من ذلك يستخدمون إرشاد "التمثيل"، مستندين في ذلك إلى التوقع بأن تكون عينة صغيرة ممثلة بشكل جيد للمجتمع الأصلي. وقد قيل إن هذا الإجراء الإرشادي على وجه الخصوص يمكن تقسيمه إلى قسمين: موجه إرشادي لبناء نموذج، ووفق هذا الإجراء يجب أن يكون هناك تماثل شديد بين النموذج الأساسي والمميزات الهيكلية للبيانات، وموجه إرشادي للحكم في مدى ملاءمة النتائج، والذي يقول إن النتيجة تكون أكثر قابلية للترجيح إذا كان هيكلها مشابهاً أكثر لهيكل النموذج الأساس المفترض. ومرة أخرى يتجاهل المعنيون بهذا النموذج معدل الحد الأدنى base rate، مثلاً؛ لأنهم ببساطة لا يملكون النماذج المناسبة التي تسمح لهم بمعالجة معلومات معدل الحد الأدنى[19].

إذاً، الفرق بين الشخص العادي الذي يستخدم هذه الموجهات والشخص الذي يعرف نظرية اتخاذ القرار ويعرف تطبيقها أو يعرف قوانين الاحتمالات، هو ببساطة أن الأخير يملك منظومة متكاملة من نماذج الاحتمالات التي يمكنه نشرها لمعالجة المشكلات المعروضة. وفي واقع الأمر، هذه النماذج تتناسب بشكل أفضل مع نوعية المواضيع في المشكلة[20]. نحن لا نقول إن العلماء يستخدمون هذه الأنواع من الموجهات في محاولاتهم للتوصل إلى فرضيات جديدة. بيد أنهم يقومون بشيء

مماثل، لديه نفس الميزة. ونطاق الاكتشاف العلمي بشكل خاص مبني بطريقة معينة، بمعنى أنه ببساطة لا يمكن وصفه بأنه مثل لحظة "وجدتها" أو لمعان العبقرية، ولكنه يدمج خطوات وطرقاً معينة يستخدمها العلماء للوصول إلى ما يريدون.

والقول بأن الاكتشاف شيء "منظم"، بطبيعة الحال، لا يعني أنه يتبع إجراءات ألغوريثمية (algorithmic)، بمعنى أن هناك مجموعة من القواعد وكل ما يجب عمله هو تطبيقها للحصول على نظرية جديدة، ولكن حتى لو لم نكن نملك منطق الاكتشاف، لا يزال بمقدورنا أن نتحدث عن العقلاني الذي يمكن تحديده ووصفه من خلال الاطلاع على حالات دراسية مناسبة. لو كان الأمر كذلك، ربما تتساءل، ماذا عن الإبداع؟ لعل الخط الذي يفصل بين الإبداع والموجهات يمكن استخلاصه من خلال علم النفس. فمن جانب، لدينا الظروف الخاصة- أو ربما العقل الباطن- التي تقود العالم إلى فكرة معينة، بينما في الجانب الآخر، لدينا القرائن أو الارتباطات بين تلك الفكرة والسياق المناسب والذي تشمله الإجراءات التوجيهية التي سأقوم برسمها أدناه. إن مجال الإبداع- والكيفية التي يتوصل العلماء من خلالها إلى الأفكار، تتعلق، على الأقل في جزء منها، بالظروف السابقة. غير أن قدراً كبيراً مما تم حمله على "العبقرية" و"الإبداع" يمكن فهمه على أنه رؤية حكيمة واستغلال لحالة خاصة من الموجهات.

والفكرة العامة هنا، هي أن الاكتشاف أكثر تعقيداً مما تقوله الفكرتان اللتان ناقشناهما في الفصل السابق، ولكن مع ذلك يمكننا تحديد خطوات معينة على كلا المستويين "التجريبي" و"النظري". دعونا نبدأ الآن بأبسط مثال على المستوى التجريبي.

التجريبي: ملاحظة أوجه الشبه بين الظواهر

دعونا على سبيل المثال نتأمل تفسير البرق كعملية تفريغ للشحنات الكهربائية، وهو التفسير الذي تم تقديمه في القرن الثامن عشر. كما أن اختراع الآلات الكهربائية- مثل آلات الاحتكاك، والتي تستخدم في صقل الأجسام أو الأسطوانات الزجاجية من خلال لبادة أو وسادة دوارة، والتي تقوم بتوليد الكهرباء الساكنة (هناك موقع على الإنترنت مفيد في هذا الموضوع وهو www.sparkmuseum.com) – أدى ذلك إلى ملاحظة أن هناك تشابهاً بين الشرر الذي تصدره هذه الآلة والبرق. وفي عام ١٧٤٩م، لاحظ العالم الشهير والسياسي والمناقش المحترف بنيامين فرنكلين Benjamin Franklin، أوجه الشبه ذات الصلة، والتي تشمل:

١- تعطي الضوء.
٢- لون الضوء.
٣- اتجاه غير مستقيم.
٤- حركة سريعة.
٥- موصلة بالمعادن.
٦- فرقعة أو صوت عند التفجير.
٧- تتحمل البقاء في الماء والثلج.
٨- تمزق الأجسام التي تمر من خلالها.
٩- تبيد الحيوانات.
١٠- تذيب المعادن.
١١- تشعل المواد سريعة الاشتعال.
١٢- رائحة كبريتية.

وقد قاد اكتشاف أوجه الشبه هذه فرانكلين إلى وضع افتراضات بأن البرق ما هو إلا شكل من أشكال تفريغ الشحنات الكهربائية. ولدينا هنا شكل واضح من أشكال الاكتشاف، القائم على الخطوات الإرشادية بملاحظة أوجه معينة للشبه بين الظاهرتين اللتين لهما صلة بالموضوع. (وبطبيعة الحال، لا يمكن أن تكون هذه هي القصة الكاملة، حيث إنها تثير سؤالاً آخر يقول: كيف نحدد الظاهرة ذات الصلة؟).

ومن خلال القفز إلى الأمام باتجاه موضوع الفصول التالية، تم وضع فرضيات فرانكلين قيد الاختبار.

الاختبار ١: داليبارد Dalibard وعصاه ذات الأربعين قدماً

هناك عبر الأطلسي، في باريس، داليبارد Dalibard (وهو عالم فرنسي وصديق لفرانكلين)، قام بصنع عصى أو قضيب من المعدن طوله ٤٠ قدماً، قام بتصميمه لجذب البرق إلى أسفل. وحينئذ أمر أحد المحاربين القدامى أن يقترب منه بقضيب معزول من النحاس الأصفر (ومن غير الواضح لماذا لم يقم داليبارد Dalibard بهذا الجزء من الاختبار بنفسه، لعله كان يريد أن يبقى بعيداً حتى يقوم بالملاحظات اللازمة، أو ربما أراد أن يبتعد وحسب!). ومن خلال متابعة شرارة البرق على القضيب، كان هناك لهب ورائحة مما جعل المحارب يهرب مذعوراً، ويستغيث بكاهن البلدة، والذي قام فيما بعد بإنتاج شرر من القضيب. وبعد هذا الإثبات المدوي، أعلن داليبارد Dalibard أن فكرة فرانكلين لم تعد مجرد حدس. وهاهي قد أصبحت حقيقة واقعة. الاختبار التالي يعتبر أكثر شهرة.

الاختبار ٢: فرانكلين يُطيِّر طائرة ورقية

لعل أغلبنا سمع بهذه القصة، أو ربما رأى بعض الرسوم أو اللوحات التي تصور فرانكلين وهو يُطيِّر طائرة ورقية، وقد ربط عليها مفتاحاً معدنياً حتى تقوم بجذب البرق إلى أسفل، ويلاحظ الشرر الذي يصدر عنه. دعونا نتأمل هذه الحادثة بمزيد من التفصيل.

عندما قام فرانكلين بنشر فرضياته بأن البرق هو ببساطة شكل من أشكال الكهرباء، قدم أيضاً وصفاً لكيفية اختبار الفرضيات بملاحظة عملية تفريغ الشحنات الكهربائية التي تحدث عندما يلامس البرق قضيباً معدنياً مرتفعاً كالسارية. وقد كان تفكيره الأول هو أن برج الكنيسة ربما يصلح لهذه الحيلة،

ولكن بينما كان ينتظر نصب برج كنيسة يسوع المسيح في فيلادلفيا، خطرت في باله فكرة تقول إنه يمكن أن يحصل على الارتفاع الضروري حسب ظنه باستخدام طائرة ورقية عادية. ونسبة لخلو فيلادلفيا القرن الثامن عشر من المحلات التي تبيع الطائرات الورقية. قام فرنكلين بصنع طائرة من منديل كبير من الحرير وقطعتين متعارضتين من الخشب بطول مناسب، ثم اضطر أن ينتظر حتى تأتي العاصفة الرعدية التالية، ولكن بمجرد أن لاحظ اقتراب العاصفة الرعدية، انطلق إلى الحقول، حيث كانت هناك سقيفة كان يخفي فيها أدواته. ولكن فرانكلين لم يخبر أحداً بالتجربة إلاّ ابنه؛ وذلك خوفاً من السخرية إذا ما فشلت التجربة، حيث يظهر ابنه في اللوحات في صورة صبي صغير، ولكنه في واقع الأمر كان في الحادية والعشرين من العمر، وقد ساعده في رفع الطائرة إلى أعلى.

وفيما يلي رواية لما حدث (على الأطفال الصغار ألا يجربوا هذا في البيت):

بعد أن تم إطلاق الطائرة، مضى وقت طويل قبل أن تظهر أي دلائل على أنها قد تكهربت. فقد مرت فوقها إحدى السحب المبشرة بدون أن تؤثر عليها، ولكن وبعد مدة طويلة، بعد أن كاد ييأس من اختراعه، لاحظ بعض الخيوط السائبة في شريط الخيش تقف منتصبة وكأنها تتجنب الالتماس مع بعضها بعضاً، أو كأنها فصلت من موصل مشترك. لقد لفت هذا المظهر انتباهه، وقام على الفور بمد مفصل أصبعه للمفتاح (ولنترك للقارئ أن يتخيل مقدار السعادة الغامرة التي شعر بها في تلك اللحظة) لقد اكتمل الاكتشاف. لقد لاحظ شرارة كهربائية واضحة. ونجحت تجارب أخرى، حتى قبل أن يبتل الخيط، حتى يجعل الموضوع فوق أي جدال، وعندما بلل المطر الخيط قام بجمع الشرر الكهربائي بوفرة. لقد حدث هذا في يونيو من عام ١٧٥٢م، بعد شهر من تحقق العلماء في فرنسا من نفس النظرية، ولكن قبل أن يسمع عن أي شيء مما قاموا به[21].

سعادة غامرة بالفعل! هناك شيئان جديران بالملاحظة في هذه الحادثة، سنعود إليهما في الفصول اللاحقة. لاحظ أن التجربة بدت وكأنها فاشلة في البداية. وحسب بعض الرؤى التي سنقوم بدراستها بشيء من التفصيل في الفصل التالي، ربما كان ينبغي على فرانكلين أن يخلص إلى أن فرضيته ليست صحيحة. غير أنه لم يفعل، ولكنه لاحظ عن قرب أكثر ولاحظ أنه عندما كان الخيط مبتلاً، حصل على نتيجة ملفتة للنظر (الماء موصل جيد للكهرباء). في بعض الحالات يجب أن تكون الظروف مناسبة حتى تحصل على أفضل نتيجة، أو أي نتيجة، وهو ما يعني أنه إذا لم نشاهد ما كنا نتوقع، فقد تكون الظروف حينئذ غير مناسبة، بدلاً من أن تكون الفرضية خاطئة.

وقد لعبت عملية ملاحظة أوجه الشبه على المستويين التجريبي والنظري دوراً قوياً كخطوة توجيهية في اكتشاف النظريات الجديدة.

التجريبي/ النظري: أوجه الشبه والاتحاد

فيما يلي سنرى كيف نتتبع أوجه الشبه على جميع المستويات، من مستوى الظاهرة إلى أعلى مستوى نظري. ففي عام ١٨١٩م، اكتشف العالم الدنمركي أورستد Oersted أنه عندما تم تقريب إبرة مغناطيسية من سلك يحمل تيار كهربائي، انحرفت الإبرة. عالم الفيزياء الفرنسي أمبير Ampere (الذي منح اسمه لوحدة التيار) أثبت أن الأسلاك التي تحمل التيار الكهربائي يمكن أن تقوم بدور المغنطيس، كما أن مواطنه أراغو Arago استخدم هذا السلك لمغنطة قطعة من الحديد. هذه الملاحظات أشارت كلها إلى وجود علاقة وثيقة بين الكهرباء والمغناطيسية. وفي عام ١٨٣١م، قام كل من فرداي Faraday في المملكة المتحدة وهنري Henry في الولايات المتحدة كل على حده، قاما باكتشاف مفاده أن تمرير

المغنطيس بالقرب من سلك يمكن أن يُحدث فيه تياراً كهربائياً. كما قدم فرداي فكرة أن الكهرباء والمغناطيسية تحدثان تأثيرهما من خلال خطوط للقوة تنتشر في حيز المكان، وقد أدى هذا إلى فكرة المجالات المغناطيسية والكهربية (لقد قمت بضغط قدر كبير من الأحداث التاريخية هنا!).

وقد قام ماكسويل Maxwell وهو أحد عمالقة العلوم في القرن التاسع عشر بتوحيد هذين المجالين الدراسيين من خلال تطوير مجموعة جديدة من قوانين الكهرومغناطيسية، تجسدت في مجموعة معادلاته الشهيرة. وحسب هذه القوانين، تماما كما تنتج المجالات المغناطيسية المتغيرة مجالات كهربائية، فإن المجالات الكهربائية المتغيرة تنتج مجالات مغناطيسية. وحينئذ خمن ماكسويل أن تذبذب المجالين الكهربائي والمغناطيسي في الزوايا اليمني لكل منهما سيستمر عبر المجال. وعندما قام ماكسويل بحساب السرعة التي يسير بها هذا المجال الكهرومغناطيسي، وجد أنها مساوية لسرعة الضوء، وهو ما قاده إلى اقتراح مفاده أن الضوء عبارة عن موجة كهرومغناطيسية. وفي عام ١٨٨٤م، قام هيرتز Hertz (وهو عالم آخر عظيم أُعطي اسمه لواحدة من الوحدات الهامة في حياتنا المعاصرة)، قام بإعادة صياغة معادلات ماكسويل، وكشف بشكل كامل عن التماثل الأساسي بين الكهرباء والمغناطيسية. وبعد أربع سنوات، قام ببناء تجارب لتعزيز أحد تنبؤات نظرية ماكسويل، وهو بالتحديد النبوءة التي تقول إن الموجات الكهرومغناطيسية الأخرى يجب أن تسير هي الأخرى بسرعة الضوء، كموجات الراديو. سنعود لدراسة ملاحظات هيرتز في الفصل الخامس.

هذا السرد التاريخي المختصر يشتمل على سلسلة من أوجه الشبه التي تمت ملاحظتها على مستوى الملاحظة والمستوى النظري، والتي دفعت، أولاً إلى توحيد الكهرباء والمغناطيسية، ثم فيما بعد تماثل الضوء مع المجال

الكهرومغناطيسي. إن ملاحظة هذا التشابه النظري رفيع المستوى أصبح أمراً في غاية الأهمية بالنسبة للعلوم في القرن العشرين. وبطبيعة الحال، هذه التطورات تعتمد على أي شيء يمكن اعتباره متشابهاً مع ماذا- وهناك مقولة مشهورة تقول إنه يمكن جعل أي شيء يبدو مشابهاً لأي شيء آخر! من خلال صياغة النظريات بطرق معينة، بحيث تكون بعض الصور الرياضية للمعادلات واضحة، فإن النظريات التي تبدو مختلفة بشكل واضح، يمكن أن تبدو متشابهة من حيث خصائص التشابه فيها (إذا كان الشيء يبدو مشابهاً تماماً عند عكسه من خلال المرآة ، يقال إنه تشابه بالانعكاس، ونوعية الخصائص التي تمت الإشارة إليها هي من هذه الفئة، ولكن تم التعبير عنها بطرق رياضية عالية المستوى). وعلى هذه الأسس،لاحظ وينبيرج Weinberg وسلام Salam وغلاشو Glashow بعض أوجه الشبه بين الكهرومغناطيسية (في شكلها الكمي الحديث، الذي يعرف بإلكترودينامیکا الكم quantum electrodynamics) (أو الكهروتحريك الكم) والقوة النووية الضعيفة، المسئولة عن (التحلل الإشعاعي radioactive decay). هذه النظرية الموحدة الجديدة، والتي تعرف بنظرية إلكترويك Electroweak (أو الكهروضعيفة)، تنبأت بوجود ثلاثة جسيمات جديدة في الطبيعة، ثم تم اكتشاف هذه الجسيمات في عام ١٩٨٣م والذي وجد ترحيباً كبيراً كتأكيد هام للنظرية (حيث منحت جائزة نوبل لكل من وينبيرج Weinberg وسلام Salam وغلاشو Glashow). والخطوة التالية كانت السعي لتحقيق توحيد مشابه مع القوة النووية القوية، المسئولة عن تماسك النواة مع بعضها البعض، والتي تترك فقط الجاذبية الأرضية، ولكنها تخرج القوة إلى دورات التوليف (synthesis turns) حتى تتحول إلى مسألة مختلفة كلياً.

النظري: التطابق

النظريات بشكل عام لا تندفع هكذا فجأة إلى ذهن العالم، كما جعلتنا الرؤية الرومانسية نعتقد، ولا تظهر بشكل نموذجي أو بشكل استقرائي أو غيره، بل تأتي من خلال الملاحظة، بصرف النظر عن عدد الملاحظات أو اختلاف الظروف التي أحاطت بها. وكما ذكرت في حالتي أرخميدس ومولبس، الأسس مجهزة بشكل جيد والعالم يقوم باستدعاء سلسلة من المعارف من خلفيته، كسياق مناسب يصوغ فيه الفرضية الجديدة. ولكن يمكن القول بأنه يمكننا أن نقدم ادعاءً أقوى من ذلك الادعاء ونصر على أنه في كثير من الحالات يتم بناء نظريات جديدة في أعقاب نظريات قديمة. والفكرة هي أن التقدم العلمي هو في الأساس عملية تراكمية، والنظريات الجديدة تبنى من نظريات سابقة. هذه فرضية مستمرة عن التقدم العلمي، ويبدو أنها تتعارض مع ما نعرفه من تاريخ العلوم، خصوصاً وأن العلم في بعض الأحيان يخضع لتغيير جذري، وهذه التغييرات تسمى عادة "الثورات"، ولهذا السبب لدينا "الثورة الكمية Quantum Revolution" في بدايات القرن العشرين، "وثورة أينشتاين Einsteinian Revolution" والتي قدمت فيها نظرية النسبية relativity theory، غير أن أم هذه الثورات كلها هي "الثورة العلمية Scientific Revolution" في القرن السابع عشر، والتي ارتبطت بعلماء من أمثال نيوتن Newton، وحتى "ثورة الحمض النووي DNA Revolution" في الأحياء. كيف يمكن للتطور العلمي أن يكون شأناً تراكمياً بشكل أساس، بينما في واجهة هذه الثورة هناك نظريات جديدة يتم بناؤها بشكل أو بآخر على أساس النظريات السابقة؟

قال البعض لا يمكن ذلك. كون Kuhn على سبيل المثال، أصر من خلال عمله الذي ترك أثراً كبيراً في فلسفة العلوم، أصر على أن الثورات العلمية تتسم بالاقتحام المفاجئ والمثير، والتغييرات التي تقع في هذه الحالة لا تشمل النظريات

وحدها، ولكن أيضاً كل ما يعد "حقيقة" أو حتى منهج علمي. وعنوان كتاب كون الشهير "تركيبة الثورات العلمية" *The Structure of Scientific Revolutions* يبين التركيز الأساس: حالما أن مجالاً علمياً معيناً – كالفيزياء أو علم النفس، أو علم الأحياء الدقيقة أو غيرها- يصبح منظماً بما فيه الكفاية، بحيث يكون هناك اتفاق على نطاق واسع حول ماهية المشكلات الأساسية، وكيفية معالجتها، وما هي الإجراءات التي يمكن اعتبارها حلاً لهذه المشكلات، وهكذا، ويمكن وصفها بأنها تتبع نموذجاً معيناً أو "مصفوفة معرفية" disciplinary matrix. وهذا يضع قواعد اللعبة كما كانت في الشروط التي أشرنا إليها سابقاً لتحديد المشكلات الأساسية في المجال، والمنهجية التي سيتم استخدامها عند معالجة هذه المشكلات، والمعايير اللازمة لتحديد الوقت الذي تم حلها فيه وهكذا. العاملون الجدد في هذا المجال يجب إقناعهم بالنموذج من خلال تعليمهم وتدريبهم، وما أسماه كون بالعلوم العادية "normal science" يمكن أن يتم ضمن النموذج / المصفوفة المعرفية disciplinary matrix، ومع التركيز بشكل أساس على حل المشكلة.

المشكلات التي لا يمكن حلها في إطار النموذج، يتم وضعها جانباً على أنها مشكلات شاذة وغير مألوفة. وتتراكم هذه المشكلات الشاذة حتى تصل إلى درجة معينة- حتى يتمكن أحد العلماء الشباب ليس لديه الكثير مما يمكن أن يفقده- ويعلن أن النموذج القديم نموذج مفلس؛ ومن ثم يبدأ في بناء نموذج جديد. وقد أصر كون على أن حل المشكلات الشاذة لا يتطلب نظرية جيدة وحسب، بل نحتاج إلى طريقة جديدة لفعل الأشياء؛ ولذلك فإن ما بدا وكأنه، حسب النموذج القديم، حقائق تحتاج إلى تفسير، يتم رفضها حسب النموذج الجديد؛ ولذلك تأمل الانتقال من فيزياء أرسطو (Aristotelian Physics) إلى فيزياء نيوتن Newtonian Physics وحسب السابق، عندما يتم دفع شيء بعينه، يجب أن

نفسر لماذا يستمر في الحركة (متجاهلين الاحتكاك أو مقاومة الهواء). وقد أدى هذا إلى التوصل لنظريات تقول بأن الأجسام المتحركة يتم دفعها بشكل مستمر من الخلف. ولكن حسب نيوتن، الجسم المتحرك الذي يستمر في الحركة لا يحتاج إلى تفسير على الإطلاق، وإن الذي يحتاج إلى تفسير هي التغييرات التي تحدث للحركة، من خلال تأثيرات القوى. فضلاً عن ذلك، ونسبة لأن الإطار الجديد مختلف كثيراً، بسبب ما الذي يعتبر حقيقية، وما الذي يحتاج إلى تفسير، وما الذي يعتبر تفسيراً، وكيف يتم تبرير النظريات، وما شابه ذلك، فهي في النموذج الجديد ليست مشابهة لنظيراتها في النموذج القديم- وهي ليست متكافئة حسب كون؛ لأنه لا توجد قاعدة مشتركة تعقد عليها المقارنة.

هذا ادعاء متشدد وقد يؤدي إلى تقويض الأسس التي بني عليها التطور العلمي، وعلاوة على ذلك، كيف يمكنك القول بأنه كان هناك تطور من نظرية إلى أخرى عبر الثورة العلمية، إذاً لم يكن هناك إطار عام يمكن من خلاله المقارنة بين النظريتين؟ غير أن كون نفسه تراجع عن هذا الادعاء في الطبعة الأخيرة من كتابه، وقال إن المعايير القياسية للمقارنة، كالبساطة والدعم التجريبي، وغيرها، لا يزال من الممكن تطبيقها، بالرغم من أنه عبّر عن بعض الشكوك حول المعنى التراكمي للتطور.

وهناك آخرون قالوا لو نظرنا إلى ما يسمى بالثورة العلمية عن كثب، يمكن أن نكتشف قدراً كافيا من العموميات، وهو ما يجعلنا نقول لم يكن هناك تطور وحسب، بل أمكننا رؤية كيف تم بناء النظريات اللاحقة على أساس نظريات سبقتها في هذا المجال. وهذه الفكرة تتمثل فيما عرف بمبدأ التناظر العام General Correspondence Principle. وينص هذا المبدأ بشكل عام على أن أي نظرية جديدة مقبولة يجب أن تخضع للمراجعة في إطار النظرية التي سبقتها من خلال وضعها في

الظروف التي تم التحقق فيها من النظرية السابقة من خلال الاختبارات التجريبية[22]. وأبلغ طريقة للتعبير عن ذلك هي القول بأننا دائماً نحتفظ بأفضل ما لدينا. والنظام الدوري للعناصر هو مثال جيد لذلك، والذي بقي بعد الثورة الكمية.

سنعود لهذه الفكرة عندما نتناول موضوع تبني موقف حقيقي تجاه نظرياتنا في الفصل الثامن، ولكن ما علاقة ذلك بالاكتشاف؟ حسناً، الفكرة هي كما يلي: بالرغم من أن هناك بعض الأشياء تتغير على مستوىً عال، ولكن هناك أشياء كثيرة تبقى دون تغيير في المستويات الدنيا، يتم بناء النظريات الجديدة وتكون محتفظة بهذه العناصر نفسها، ثم هناك خطوة توجيهية أخرى، وهي التركيز على هذه العناصر وبناء نظريتك الجديدة على ذلك الأساس. ولكن البراعة هنا تكمن في قدرتك على أن تحدد أي الأجزاء في النظرية القديمة يمكنك الإبقاء عليها عندما تقوم وضع النظرية الجديدة- اختر العناصر المناسبة، وحينئذ ستساعد نفسك لتنال جائزة نوبل!

النظري: عيوب وبصمات

Theoretical: Flaws and Footprints

هناك مناورة أخرى واضحة تسير في الاتجاه المعاكس، إذا جاز التعبير، وتبحث عن العيوب في النظرية، وتبحث عما إذا كان تصحيح هذه العيوب يمكن أن يقود إلى نظرية جديدة في وضع أفضل. ووفق هذه الطريقة، يمكن أن ينظر إلى هذه العيوب على أنها 'بصمات' للنظرية الجديدة.

والعيب الرئيس هو إذا كانت النظرية غير متماسكة داخلياً، وهذا في حد ذاته كاف لإخراج أي نظرية من دائرة المنافسة، وبالفعل، النظريات غير المتماسكة

بشكل عام لا تعني شيئاً أكثر من الأفكار المبدئية لمكتشفيها ولا تجد فرصة للنشر في المجلات العلمية. غير أن هناك مثالاً مشهوراً، وهو نظرية بور Bohr عن الذرة، والتي افترضت أن إلكترونات الذرة تدور حول النواة، ويمكن فقط أن تقفز إلى أعلى من المدار الأدنى إلى المدار الأعلى إذا أدخلت فيها الطاقة، أو تسقط من المدار الأعلى إلى المدار الأسفل إذا خرجت منها الطاقة. الطاقة الداخلة أو الخارجة من النواة، يجب أن تكون مساوية للفرق بين طاقات المدارات، وقام بور بتطبيق النظرية الكمية الجديدة لبلانك Planck ليبين كيف أن هذه الطاقات كانت مساوية كمية معينة من الإشعاع. وقد سمح له ذلك بتفسير أطياف الإشعاعات التي تصدر عندما يتم تسخين عناصر مختلفة، وبدقة أكثر، لتفسير الأسباب التي تجعل هذه الأطياف تشتمل على خطوط غير متصلة (الخطوط التي تصل بين الإلكترونات وهي تتنقل بين المدارات المختلفة). وبالرغم من هذه كانت أول نظرية كمية للذرة، إلاّ أنها تتضمن المبادئ الأساسية للفيزياء ما قبل الكم pre-quantum الكلاسيكية، وينص أحد هذه المبادئ على أن أي شيء يتحرك في شكل دائري، مثل دوران القمر حول الأرض، أو دوران الإلكترونات حول نواة الذرة، تخضع للتعجيل أو التسريع، وتشحن الجسيمات التي تطلق الطاقة بسبب التعجيل (هذه هي الكيفية التي تعمل بها أجهزة التلفزيون والراديو). وحسب هذه النظرية، فإن الإلكترونات التي تدور حول نواة الذرة يجب أن تكون مشعة وتطلق الطاقة بشكل مستمر، وهي بالفعل ستفقد الطاقة بسرعة وتتجه بشكل حلزوني إلى النواة، مما يؤدي إلى عدم وجود الذرات، وبالتالي لم يعد مجال لبور أن يخرج بنظرية! وقد أصر بور ببساطة على أنه في هذه النظرية، الإلكترونات التي في المدرات لا تصدر إشعاعات، غير أنها تصدر الإشعاعات فقط عندما تغير مداراتها، ولكنه لم يقدم تفسيراً عن كيفية توافق هذا مع المبادئ التقليدية التي

استند إليها، وهكذا يظهر عدم التناسق في نظريته: فمن ناحية أراد أن يستخدم مبادئ معينة، ثم حاول أن ينكر هذه المبادئ أو يرفضها من ناحية أخرى.

والإسهاب في كيف استطاع بور أن يفعل ذلك، ويخرج بتفسير ذي معنى للطيف الذي يصدر من عناصر مختلفة قصة معقدة لا يتسع المجال لذكرها، ولكن هذا الخلل الأساس كان أحد العوامل التي دفعت العلماء إلى الخروج بنظرية كمية للذرة أفضل حالاً وأكثر كمالاً منها، وهي التي تعرف الآن بميكانيكا الكم.

النظري: أخذ النماذج على محمل الجد

هناك خطوة إرشادية أخرى لبناء نموذج للنظام أكثر منها نظرية متكاملة، ثم من بعد ذلك أخذ النموذج بشكل جدي على أنه يمثل بعض جوانب النظام على الأقل أو يعالجه بدقة. سنعود مرة أخرى لمناقشة النماذج في الفصل السادس، ولكن عادة ما تبنى النماذج لأن العمل من خلال النظرية الكاملة يكون معقداً؛ ولذلك يتم استخدام التشبيهات التي تسمح للعلماء بالتوصل إلى نتائج ذات مغزى باستخدام موارد محدودة. تأمل مواد المقررات التمهيدية للفيزياء، البندول البسيط مثلاً. من الناحية العملية تقوم ببناء إحدى هذه الأدوات في المعمل من خلال ربط وزن أو صفائح معدنية على شريط، ثم ربط الشريط على مشبك بحامل أو ما شابه ذلك، قبل البدء في أرجحة الوزن أو الصفيحة المعدنية وقياس الطريقة التي تتغير بها دورة التأرجح مع طول الشريط على سبيل المثال. وعندما تأتي لتمثيل هذه الحالة لكي تكتب المعادلات ذات العلاقة، بشكل عام لن تأخذ في الحسبان آثار الاحتكاك بين الشريط والمشبك، أو آثار مقاومة الهواء، وعلاوة على ذلك، لو كنت تفكر في الصيغة القياسية التي تعبر عن العلاقة بين الدورة وطول الشريط، فلن تفكر إلاّ في جعل الوزن يتأرجح في زوايا صغيرة من الاتجاه

العمودي؛ لأنه في الزوايا الأكبر، تتوقف النظرية. وما تفعله هنا هو أنك تقوم ببناء نموذج مبسط للحالة التي تسمح لك بالحصول على نتائج دقيقة إلى حد معقول. وبطبيعة الحال، عملية بناء النموذج ليست بالضرورة أن تجعل الأمر مثالياً للغاية؛ لأن النموذج حينئذ، لن يصلح إطلاقاً لتمثيل الحالة.

وفيما يلي مثال "تقليدي" آخر: وهو نموذج كرة البلياردو للغاز. إن بناء نظرية مقبولة عن كيفية تصرف الغاز مهمة صعبة للغاية؛ لأنه ليس هناك ملايين الملايين من الذرات وحسب، بل كلها تتحرك وفي اتجاهات مختلفة، وتتصادم مع بعضها البعض ومع جدران الوعاء، وتمارس القوى ضد بعضها البعض وضد الجدران. ومن الطرق التي يمكن من خلالها البدء في التعامل مع هذه الحالة أو تمثيلها هو أن تفترض أن الذرات صلبة، مثل كرات البلياردو وكرات البول Pool balls، فعندما تتصادم تثب كل منها إلى يمين الأخرى (وتوصف هذه التصادمات حينئذ بأنها "مرنة")، وليست هناك قوى تؤثر على حركتها على المدى البعيد، وقد أصبحت هذه الطريقة مجدية في فهم الغاز، وقد أصبحت مثالاً قياسياً للنموذج العلمي.

هنا نظام فيزيائي – ذرات الغاز- وتتمثل في النموذج بأي شيء آخر- كرات البلياردو. وهناك مثال آخر، وهو ما يسمى بنموذج "قطرة السائل liquid drop". وفي هذه الحالة يتم تمثيل النواة بقطرة سائل، وهي مثل القطرة، تهتز وترتج وتنقسم إلى أجزاء عندما تضخ فيها الطاقة؛ ولذلك تنقسم نواة الذرة عندما تدخل فيها الطاقة- في شكل جسيمات دون ذرية sub-atomic particles على سبيل المثال. هذه الأنواع من النماذج التي يتم فيها تمثيل شيء معين بشيء آخر- the physical system of interest- تسمى "النماذج المتشابهة analogous models"، لأن كرات البلياردو وقطرة السائل يقال إنها مشابهة لذرات الغاز والنواة على التوالي. وفي

هذه الحالات يكون التشبيه بالأشياء المعروفة لدينا (أو لدى بعضنا ممن ضيعوا شبابهم ولم يحسنوا استغلاله) ككرات البلياردو وقطرة السائل.

ولكن كيف يمكن استخدام هذه النماذج كأدوات إرشادية heuristic devices في الاكتشاف؟ تأمل هذه الفقرة من كتاب دراسي عن الفيزياء النووية، وهي تصف منهج النماذج النووية:

هذا المنهج يتعلق بالبحث حولنا عن نظام فيزيائي، "النموذج" الذي نعرفه جيداً، والذي يشبه النواة في بعض خصائصه. وحينئذ يتم التحقق من فيزياء النموذج، ومن المؤمل أن تكون جميع الخصائص التي يتم اكتشافها مشابهة لخصائص النواة... وبهذه الطريقة عوملت النواة كما لو كانت غازاً أو قطرة سائل أو ذرة أو أشياء أخرى[23].

إذاً، الفكرة هي أننا نقوم ببناء النموذج على أساس نوع من التشابه بين بعض خصائص عناصر النظام وبعض خصائص المادة أو مجموعة المواد التي نصوغ النظام من أجلها. في دراسة شهيرة أجراها هيس Hesse عن النماذج والتناظرات أو التشابهات، وصف هذا "بالتشابه الإيجابي Positive Analogy". والآن هناك بطبيعة الحال بعض الخصائص التي تظهر في النموذج والتي لا تمثل خصائص النموذج الذي نعكف على صياغته: كرات البلياردو ربما تكون ملونة على سبيل المثال، وكرات البول Pool balls قد تكون مرقمة، ولكن ذرات الغاز لا هي بالملونة ولا بالمرقمة. وهذه الخصائص تمثل ما يسميه هيس "بالتشابه السلبي Negative Analogy". ولكن هناك بعض الخصائص تظهر في نموذجنا، ولكننا لسنا متأكدين مما إذا كانت تنتمي إلى النظام الذي نقوم بدراسته أم لا. وقد أخذ هيس هذه الخصائص لصياغة "التشابه المحايد أو الحيادي Neutral Analogy"، وهنا يكمن كل ما يهتم به

الاكتشاف؛ لأنه يمكننا اكتشاف خصائص جديدة للنظام باستكشاف التشابه الحيادي وتحديد ما إذا كانت الخصائص الموجودة في النموذج تدعم هذا النظام.

لنتأمل قطرة السائل مرة أخرى، عندما تتغير حالة السائل، ويتحول إلى بخار، الحرارة لها صلة بالموضوع، وتسمى بالحرارة الكامنة Latent Heat. وهذه الحرارة الكامنة مؤشر تقليدي لتغير الحال، ومستقل عن حجم قطرات السائل، ويظهر هذا بسبب الطبيعة قصيرة المدى للقوى بين الجزيئية enter-molecular forces التي "تتشبع"، بمعنى أنه طالما كان هناك ارتباط بين عدد كاف من الجسيمات المجاورة، فإن وجود أو عدم وجود الجسيمات الأكثر بعداً لا يغير من عملية الارتباط. ويدل هذا ضمنياً على أن الطاقة الكلية تتناسب مع العدد الكلي للجسيمات في النظام، حيث إن كل جسيم لديه قدر محدد من المساهمة في هذه الطاقة. وتتبع التشابه بين قطرة السائل والنواة، يقودنا إلى القول بأن القوى النووية تتشبع بهذه الطريقة، وهو ما ينسجم مع النتائج التجريبية التي تمت ملاحظتها. طاقة الربط داخل النوية ثابتة تقريباً في سلسة واسعة من النويات. ولذلك، نلاحظ هنا كيف أن استكشاف التشابه الحيادي يمكن أن يساعدنا في فهم خصائص النظام الذي نعكف على صياغته.

كما قلت من قبل، يمكن للنموذج أن يكون فيزيائياً أو تصورياً. وهناك مثال مشهور عن النوع الأول أي الفيزيائي، وهو نموذج كريك وواتسون للحمض النووي Crick and Watson Model of DNA، يكشف عن بنية الحلزون المزدوج double helix من خلال نموذج تم بناؤه من الأسلاك وصفائح الفولاذ[24]. وهو طبعاً أحد الاكتشافات الرئيسية في القرن العشرين، وقد تمت مناقشته بمزيد من التفصيل في كتاب أولباي Olby، الطريق إلى الحلزون المزدوج *The Path to the Double Helix*[25]. والتاريخ (الذي يمكن أن أختصره في هذه العجالة) يشرح بشكل جيد دور وأهمية

المعلومات العامة، والتي يمكننا على أساسها أن نبدأ في إدراك التوافق بين النظريات "القديمة" و"الجديدة". ولذلك، المشكلة الأساسية تكمن في تفسير انتقال المعلومات الجينية، ومن خلال توليفة من الأعمال التجريبية والنظرية تم التعرف على هذا الانتقال بواسطة الحمض النووي الريبي منقوص الأكسجين deoxyribonucleic، وليس بواسطة شكل من أشكال البروتين كما كان يعتقد أصلاً. والمشكلة التالية كانت تكمن في العمل من أجل التعرف على تركيبة الحمض النووي DNA. ومن بين الادعاءات التي تشتهر بها جامعتي "ليدز" هو أن أستبوري Astbury قام بتطوير التقنيات التي تقوم بإنتاج نماذج الأشعة السينية لتفريق الضوء في الأنسجة والبروتينات، وأخيراً في الحمض النووي DNA نفسه، هنا في ليدز Leeds. وقد بني هذا على أعمال الفيزيائي الكبير براغ Bragg، وقد كان هذا أيضاً كما ذكرت في ليدز لبعض الوقت، والذي أثبت أنه باستطاعة الشخص أن يحدد تركيبة الكرستال من خلال دراسة نماذج تفريق الضوء التي تنتج عن تفريق الأشعة السينية عن البلورات. وقد بنى أستبوري على هذا العمل ليبين أن الحمض النووي لديه تركيبة منتظمة بالرغم من أن البيانات التي قدمها كانت بدائية إلى حد كبير بحيث يصعب تحديد طبيعتها.

وقد تم تحسين هذه البيانات بواسطة ويلكينز Wilkins وفرانكلين Franklin، والأخيرة على وجه الخصوص استفادت من معرفتها بتقنيات تفريق الأشعة السينية لإنتاج سلسلة من الصور المفصلة لتفريق الحمض النووي DNA. كما قام بولينج Pauling أيضاً بالجمع بين نماذج تفريق الأشعة السينية مع محاولات لصياغة التركيبات المناسبة، وقد اكتشف أن الكثير من البروتينات تشتمل على أشكال حلزونية. ومحاولته لصياغة تركيبة الحمض النووي DNA لم تنجح، ورفضت فرانكلين كلياً اعتبار الصياغة شكلاً من أشكال الاكتشاف، مصرة على أن على

الشخص أن يبني النموذج بعد أن يتم التعرف على البنية (باستخدام دراسات الأشعة السنية).

كريك وواتسون لم تكن لديهما هذه التحفظات، ومن خلال استخدام بيانات فرانكلين (بطريقة مثيرة للجدل، حيث إن الأنماط الحاسمة للأشعة السينية قدمت لهم بدون إذن منها) إلى جانب فهمهم للقيود الحيوية والفيزيائية، تمكنوا من إنتاج نموذج فيزيائي مبني من سلك وعلبة، وقد نجح هذا النموذج في تفسير البيانات التي قدمتها أنماط فرانكلين لتفريق الأشعة، من خلال افتراض تركيبة الحلزون المزدوج، كما قدم شرحاً لكيفية انتقال المعلومات الجينية، وذلك من خلال التفريق بين الجديلتين وتفريق الحمض النووي DNA من خلال إنشاء الجزء المكمل لكل جديلة[26]. وآلية التفريق المفترضة هذه قد تم التحقق منها بعد ذلك بشكل تجريبي، وفاز كل من كريك وواتسون ويلكينز بجائزة نوبل في عام ١٩٦٢م (ولم تفز فرانكلين للأسف الشديد بالجائزة؛ لأنها توفيت بمرض السرطان وجائزة نوبل لا تمنح للمتوفين).

هذا بالطبع يقف وراء اكتشاف موليس فيما بعد لتفاعل البلمرة التسلسلي Polymerase Chain Reaction (PCR) الذي حصل بموجبه على جائزة نوبل، ولكن كما جرى في حالة موليس، الاكتشاف لم يتم في لحظة لمعان الإلهام أو لحظة وجدتها. وباستخدام هذا الجزء المحدد من التاريخ يمكننا انتزاع ثلاث دعائم متوائمة حول الاكتشاف:

الخلفية المعرفية: أي تركيب مقترح للحمض النووي يجب أن يأخذ في الاعتبار انتقال المعلومات الجينية. لقد كان هناك قدر لا يستهان به من الأعمال التجريبية والنظرية التي يمكن أن يوضع عليها مقترح لهذه التركيبة، ولو تفحصنا الأمر بدقة،

يمكننا إدراك بعض القواسم المشتركة بين هذه المحاولات القديمة واكتشاف ويلكينز وفرانكلين.

التجربة: ويلكينز وفرانكلين استخدما بللوريات الأشعة السينية X-ray crystallography لإثبات أن الحمض النووي DNA لديه تركيبة بللورية منتظمة. ومرة أخرى، بني هذا على أعمال سابقة وتضمن خلطة مهمة من المهارات التجريبية والمعرفة النظرية.

بناء النموذج النظري: اكتشف بولينج التركيب الحلزوني الأساسي لجسيمات البروتين من خلال بناء نماذج تتناسب مع الحقائق التجريبية. ثم جاء كريك وواتسون وطبقا نفس النموذج وقاما ببناء تقنيات لاكتشاف تركيبة الحمض النووي DNA.

وبالجمع بين هذه الأمور الثلاثة، قام كريك وواتسون ببناء نماذج مقيدة بنتائج تجريبية واشتراط أن التركيبة يجب أن تسمح بانتقال المعلومات الجينية. والشيء الهام الذي تجدر ملاحظته هنا من منظور هذا الفصل، هو: أولاً، هذا الاكتشاف لم يكن غير منطقي بالكلية، أو مجرد تخمين، كما قد تزعم الفرضية الاستدلالية Hypothetico-Deductive، وثانياً، أن هذا الاكتشاف لم يتم استنتاجه من الملاحظات، كما أنه لم يتضمن توليفة معقدة من الخطوات التوجيهية المختلفة.

هذا كل شيء عن الاكتشاف. وفي الفصول الثلاثة التالية سنتناول ما يحدث عندما تأخذ فرضياتك أو نظرياتك أو نماذجك وترميها لذئاب التجربة.