

عموميات

١ مقدمة (Introduction)

موضوع تاريخ العلوم (history of science) موضوع شيق و مثير. فالعلوم في حد ذاتها هي مجموعة من المفاهيم و المعارف المتناسقة التي تم تحصيلها عن طريق المنهجية العلمية (scientific method). ويعنى التاريخ من جهة أخرى بتسلسل الأحداث و وضعها في إطارها الزمني. فيمكن تعريف تاريخ العلوم على أنه دراسة تطور المفاهيم العلمية و الشخصيات التي ساهمت في ذلك و وضع الكل في إطاره الزمني المناسب. من النتائج المرجوة من وراء هذا فهم الأسباب التي أدت إلى ظهور هذه المفاهيم و الهدف منها.

من بين العلوم التي سنركز عليها: الفيزياء (physics) و الكيمياء (chemistry). سيقترن مجهودنا على متابعة تطور أهم مفاهيمها الأساسية إلى غاية العقود الأولى من القرن العشرين. قبل التطرق على عجالة للمحاور الكبرى، سنخصص فسحة من الوقت لشرح المغزى من وراء دراسة تاريخ العلوم و العراقيل التي يمكن أن تواجهنا لإتمام ذلك. لنتطرق بعدها لمفهوم المنهجية العلمية، أهميتها و تاريخ تطورها. سنناقش أيضا أهمية الرياضيات (mathematics) في صياغة القوانين والسبب من وراء ذلك.

٢ لماذا ندرس تاريخ العلوم؟ (Why?)

نبدأ هذه الفقرة بمقولة نيوتن (Newton 1642-1726):

“If I have seen further, it is only by standing on the shoulders of giants.”

«إن توصلت لشيء، فذلك لأنني أقف على أكتاف العمالقة.»

هذه المقولة تلخص ما نحاول قوله بطريقة جميلة. ينقسم هدف معظم الدراسات التاريخية إلى شطرين هما و جهان لعملة واحدة: التعلم من قصص النجاح و الناجحين لإتخاذها قدوة، و الأهم من ذلك تجنب تكرار أخطاء الفاشلين. فجوهر الإنسان (القطرة) لا يتغير مما يجعلنا عرضة لإرتكاب نفس الأخطاء. زيادة على الأهداف المتعلقة بدراسة التاريخ بصفة عامة، نضيف الهدف الأنف الذكر: إضافة الطابع التاريخي للمفاهيم العلمية (scientific concepts). فقد تمنحنا هذه الإضافة زاوية جديدة للنظر إلى هذه المفاهيم مما قد يعزز فهمنا لها.

نستطيع أن نضع هذا النقاش في إطار فلسفي كالآتي. من التساؤلات الفلسفية التقليدية: أيهما أهم: السؤال أم الجواب؟ عندما نعيد النظر في هذا السؤال نلاحظ أنه يهمل عنصرا قد يكون الأهم: كيفية الوصول إلى الجواب. فالكتب و الدروس الحديثة تقدم الجواب ثم السؤال، أو في بعض الأحيان الجواب فقط. فالمغيب الأكبر هو طريقة الوصول إلى الجواب: التاريخ. وهاهنا تتجلى أهداف دراسة

تاريخ العلوم أي ملء هذا الفراغ. نحن نعيش مؤخرًا إهتمامًا متجددًا بتاريخ العلوم، ويمكن للقارئ المهتم تصفح الموقع الإلكتروني:

<https://arxiv.org/list/physics.hist-ph/recent>

ليجد بعض المقالات الحديثة في هذا المجال.

٣ بعض العوائق (Some Possible Issues)

نبدأ مرة أخرى بمقولة تلخص المشكل الأساسي الذي يواجه أي دارس للتاريخ، يقول **جوليان بارنس** (-1946 Julian Barnes):

“History: the lies of the victors, the self-delusions of the defeated.”

«التاريخ: كذبة المنتصر، و خداع الذات للمنهزم.»

فأهم عقبة نواجهها هي غلبة عاطفة الكاتب على جزء كبير من التاريخ المدون. وزاد الطين بلة، الإهمال أو الحذف الذي طال بعض أطراف التاريخ وذلك لأهداف متنوعة. ما يظهر جليًا عند مناقشة الأسبقية أو مساهمات مختلف الحضارات في تقدم الإنسانية. أضف إلى ذلك، أن الإنسانية عرفت حوادث تدمير بعض تاريخها المكتوب عن قصد أو عن غير قصد. من أشهر هذه الحوادث حادثة تدمير مكتبة الإسكندرية في العهد القديم و بيت الحكمة في بغداد. يمكن للقارئ المهتم الإطلاع على قائمة لبعض حوادث تدمير المكتبات في الموقع الإلكتروني التالي:

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_destroyed_libraries

٤ لمحة سريعة (A Sneak Peek)

الفيزياء (physics) هي كلمة ذات أصل إغريقي وتعني الطبيعة (nature). إعتنت الفيزياء في البداية بدراسة الظواهر الطبيعية بصفة عامة. و لهذا سميت **فلسفة الطبيعة** (philosophy of nature) حتى نهاية القرن التاسع عشر. حديثًا، يمكن تعريف الفيزياء على أنها دراسة المادة (matter) و الطاقة (energy) و الزمان-مكان (spacetime) و العلاقة بينهم. في المقابل، تهتم **الكيمياء** (chemistry) بدراسة طبيعة المادة و تحولاتها. ظهرت الكيمياء إلى الوجود عندما بدأ العلماء في تنقية الخيمياء (alchemy) من الأكاذيب و الخرافات حوالي منتصف القرن السابع عشر (1660).

في البداية، قرن الإنسان الظواهر الطبيعية (natural phenomena) بالآلهة أو قوى خارقة لا يستطيع فهمها. من بين الأوائل الذين تحدوا هذه التفسيرات الفيلسوف و الرياضي و عالم الفلك **طالس** (Thales of Miletus 564-624 BC) الذي آمن بأن لكل ظاهرة طبيعية تفسير مجرد من تدخل القوى الخارقة. لهذا السبب يلقبه بعض المؤرخين ب: أبي العلوم. من الفلاسفة الذين وافقوه الرأي الفيلسوف **ليوكيبوس** (Leucippus) في النصف الأول من القرن الخامس قبل الميلاد. و ينسب بعض المؤرخين إليه السبق في إقتراح مفهوم الذرة كأصغر مكون للمادة الذي لا نستطيع تجزأته.

كانت الإهتمامات الأولى للإنسان تتعلق بحياته اليومية. فكان الإهتمام بالفلك (Astronomy) لضبط السنة الفلاحية. كما كان للفلك أهمية أخرى تتعلق بالتنجيم و بعض المعتقدات. كما دراس الهندسة (geomerty) بهدف مسح الأراضي و الحساب (calculus and arithmetics) لضبط الضرائب. كما إهتم بالطب (medicine) و الكيمياء التطبيقية (applied chemistry) -إن صح لنا تسميتها كذلك- والتي تتمثل في التعامل مع المعادن (metallurgy) و صناعة الحلي (ornaments) و مواد البناء (building materials) ...

لم يلاحظ الإنسان القديم طوال هذه المدة أهمية الزمن في دراسة الظواهر الطبيعية. من الأوائل الذين شذوا عن هذه القاعدة الفيلسوف **هرقليطس** (Heraclitus of Euphesus 535-475 BC) صاحب مبدأ التغير المستمر:

“Everything changes and nothing remains still ... and ... you cannot step twice into the same stream.”

«كل شيء في تغير دائم و حركة مستمرة و لا تستطيع النزول في نفس النهر مرتين.»

توصل إلى هذا المبدأ نتيجة محاولاته لفهم طبيعة الزمن. بدأ إهتمام الإنسان يتحول تدريجيا من الجانب التطبيقي (application) إلى الجانب النظري (theory) في تعامله مع الظواهر الطبيعية عندما ظهرت و تطورت المدارس الفلسفية. كما أسلفنا سابقا، سنحاول من خلال هذه المسودة أن نتبع ميلاد و تطور بعض المفاهيم العلمية التي يمكننا جمعها في المحاور التالية:

الميكانيك (Mechanics): سنحاول في هذا المحور دراسة تطور بعض المفاهيم الأساسية (fundamental concepts) التي نصادفها في الميكانيك الكلاسيكية (classical mechanics). هدفنا الأساسي هو إضفاء صبغة تاريخية على مبادئ نيوتن للحركة (Newton's laws of motion) و القانون العام للجاذبية (law of universal attraction).

• **مبادئ الحركة:** سنتطرق إلى التطور التاريخي للعناصر الأساسية (fundamental elements) التي تعتمد عليها صياغة قوانين الحركة ألا و هي: الزمان (time)، الفضاء (space) خاصة الفراغ (vacuum)، العطالة (inertia)، كمية الحركة (momentum)، و القوة (force).

• **الجاذبية:** يعتمد تطور مفهوم الجاذبية على تفسير حركة الكواكب (planetary motion) و السقوط الحر (free fall). لهذا السبب سندرس التطور التاريخي لكليهما.

• **مابعد نيوتن:** هناك العديد من المبادئ (principles) و المفاهيم التي تلعب دورا أساسيا (fundamental role) في الميكانيك الكلاسيكية. سنناقش البعض منها -دون التطرق إلى التفاصيل- و التي تتمثل في: الكمون (potential)، و مبادئ الإنحفاظ (conservation laws).

الكيمياء (Chemistry): ستقتصر دراستنا على تاريخ تطور التفسير المقدمة لفهم تركيب المادة (matter building blocks) و الذرة (atom).

الضوء و البصريات (Light and Optics): من العناصر التي سنركز على تطورها التاريخي: كيفية إنتشار الضوء (light propagation) و طبيعته (light nature).

الفيزياء الحديثة (Modern Physics): رغم النجاحات المبهرة للفيزياء الكلاسيكية (تقريبا حتى منتصف القرن التاسع عشر)، إلا أنها وقفت عاجزة أمام تفسير بعض الظواهر التي نذكر منها:

- سرعة الضوء الثابتة في كل المعالم.
- بنية الذرة.

إضطر العلماء للتخلي عن بعض المبادئ التي كانوا يعتقدون أنها أساسية لتقديم تفسير لهذه الظواهر مما أدى إلى ظهور نظريات جديدة: النسبية الخاصة (special relativity) و من بعدها النسبية العامة (general relativity) من جهة، و من جهة أخرى نظرية الفيزياء الكمية (quantum mechanics). سنحاول أن نستعرض المراحل الأولى لظهور و تطور هذه النظريات.

٥ المنهجية العلمية (Scientific Method)

لتتعرف على التسلسل الزمني (timeline) لبعض أهم محطات تطور المنهجية العلمية يمكن الإطلاع على الموقع الإلكتروني:

https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_the_history_of_scientific_method

كما أسلفنا سابقا، يعتمد تحصيل المعارف العلمية (scientific knowledge) على طريقة معينة يطلق عليها اسم **المنهجية العلمية** (scientific method). سنعالج في هذه الفقرة مراحل تطورها عبر التاريخ. لكن قبل ذلك سنبدأ بمعلومة طريفة. حسب دراسة حديثة، يستعمل الطفل الصغير المنهجية العلمية في حياته اليومية أثناء تعلمه الأشياء الجديدة. فالإنسان يولد كأحسن باحث علمي (scientific researcher). يمكن تصفح الموقع التالي لمزيد من المعلومات:

https://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=125575

نظرا لقلة الكتابات التي وصلتنا من الحضارات القديمة، تصعب علينا معرفة تفاصيل المنهجية العلمية آنذاك. و رغم ذلك يمكننا إستنباط أنهم إستعملوا أسلوبا يشبه **المنهج التجريبي** (emperical method) إعتقادا على القليل الذي نجا. لكنهم إفتقدوا عموما **النظريات العقلانية** (rational theories) لتفسير الظواهر الطبيعية. كان الإغريق من السابقين في هذا المجال، حيث قننوا طريقة الوصول إلى هذه النظريات. هذا يظهر جليا في تطوير **أفلاطون** (Plato 427-347 BCE) **لفكر الإستنتاجي أو الإستنباط** (deductive reasoning) الذي استخدمه تلميذه **أرسطو** (Aristotle 322-384 BCE) في أبحاثه.

المنهجية العلمية هي إجابة للتساؤل: «كيف ندرس الظواهر الطبيعية؟» بطبيعة الحال **الملاحظة** هي المنطلق، لكن ما هي الخطوة أو الخطوات الموالية؟

١.٥ العقل هو الأساس (Rational dominated approach)

كما أسلفنا الذكر، كان الإغريق من السابقين في البحث عن تفسير عقلي للظواهر الطبيعية. لكنهم وضعوا ثقة عمياء في قدرات العقل دون التفكير في محدوديتها. فعلى سبيل المثال، كان الاعتقاد السائد آنذاك، أن كون العالم حرفي يعتبر إنقاصا من مكانته. هذه الثقة العمياء أدت إلى الوقوع في العديد من الأخطاء. يعتبر إيمانويل كانت (Immanuel Kant 1724-1804) من الفلاسفة الأوائل الذين لاحظوا وناقشوا محدودية الفكر البشري. هناك أيضا مبرهنات عدم الإكمال (incompleteness theorems) للرياضي كورت غودل (Kurt Gödel 1906-1978) التي تصب في هذا الإتجاه.

١.١.٥ أرسطو (Aristotle 322-384 BCE)

كان أرسطو من الفلاسفة الأوائل الذين روجوا لفكرة أن الملاحظة هي الطريق لاكتشاف قوانين الطبيعة (laws of nature). يمكن تقسيم منهجية أرسطو إلى مرحلتين:

١- الملاحظة (observation).

٢- الإستنباط (deductive reasoning).

تتم الملاحظة عند أرسطو على مرحلتين: جمع المعطيات (data collection) و الإستقراء (induction). عمد أرسطو إلى جمع أكبر عدد من المعطيات لأنه لا يمكن دراسة ظاهرة إنطلاقا من ملاحظة وحيدة. بعد ذلك بحث عن سلاسل من الحوادث المتوالية و المتكررة (patterns) في هذه الملاحظات. ثم استعمل الإستقراء لتحويل هذه الملاحظات إلى المادة الأولية اللازمة للتوضيح العلمي مستعملا الإستنباط لتحقيق ذلك. إشرط أرسطو في إستنباطه:

• ان لا يكون دائريا (circular).

• أن يحتوي على عدد منته من الخطوات من المنطلق -أو المفاهيم الأولية- (premises) إلى المنتهى (conclusion).

إشكالية هذه الطريقة هي كيفية إيجاد و تطوير المفاهيم الأولية. إستعمل أرسطو لهذا الغرض الحدس (intuition) و الإستقراء (induction). و رغم ذلك، لم يعتبر أرسطو هذه المفاهيم الأولية كمعرفة علمية.

٢.١.٥ أبيقور (Epicurus 341-270 BC)

رفض أبيقور جميع الحقائق بإستثناء تلك التي تم إختبارها عن طريق الملاحظة المباشرة (direct observation) و الإستنتاج المنطقي (logical deduction). لأبيقور مبدآن أساسيان في الفيزياء:

١- "That the first concepts be seen and that they not require demonstartion."

«المفاهيم الأولية مدركة و لا تحتاج للإثبات».

٢- “We are to have self-evident concepts, so that we might infer both what is expected, and also what is non-apparent.”

«يجب أن تكون لدينا مفاهيم بديهية حتى يتسنى لنا إستدلال ما هو متوقع و ما هو غير ظاهر».

يشترط أبيقور توفر هذين المبدأين قبل البدء في أي بحث في الفيزياء. من الواضح أن أبيقور وضع هذين المبدأين إستجابة للإشكالية الأنفة الذكر في منهجية أرسطو. فأبيقور يختلف عن أرسطو في كونه يعتبر المفاهيم الأولية أو البديهية كمعرفة علمية عكس أرسطو.

٣.١.٥ مبدأ الشك (Skepticism)

أدى الإعتماد الكلي على العقل في دراسة الظواهر الطبيعية إلى ظهور مبدأ الشك كردة فعل. حيث أنه إذا كان الإستدلال طريقا للوصول إلى المعرفة فلا بد لهذه المعرفة أن تكون قابلة للنقاش. من بين النصوص التي كتبت حول هذا المبدأ كتاب سيكستوس إمبيريكوس (Sextus Empiricus 160-210)، و الذي كان له تأثير كبير على إزدهار مبدأ الشك في أوروبا خلال المراحل الأولى للنهضة العلمية.

٢.٥ أهمية التجربة (Enter the Experiment)

مع توسع رقعة العالم الإسلامي و اتصال المسلمين بالحضارتين البيزنطية و الفارسية و كذا الهندية فيما بعد، ظهرت الحاجة إلى مواكبة هذه الحضارات. قام المسلمون في البداية بترجمة الكتب للإطلاع على مختلف العلوم، ثم قاموا بتقدها و الإضافة عليها. من أهم التساؤلات التي واجهت المسلمين:

- كيف نفرق بين النظريات المتنافسة (competing theories)؟
- كيف نتأكد من علاقة السببية (cause-effect)؟
- ما العمل لمواجهة مبدأ الشك؟

كانت الإجابة دراسة الظواهر الطبيعية في محيط نستطيع التحكم في ظروفه: التجربة (experiment). فكان للعلماء المسلمين السبق في إستعمال التجربة و التقدير الكمي (quantification) في دراسة الظواهر الطبيعية. و مما ساعدهم على ذلك كون معظمهم حرفيين (artisans) مهرة، مما مكنهم من صناعة الأجهزة التي يحتاجون إليها. من العلماء المسلمين الأوائل الذين إستخدموا التجربة جابر بن حيان (Jabir ibn Hayyan 721-815) و الكندي (Alkindus 801-873). هذا التوجه بلغ أوجه عند المسلمين في بداية القرن الحادي عشر.

- قام ابن الهيثم (Alhazen ibn al-Haytham 965-1040) بالجمع بين الملاحظة (observation) و التجربة (experiment) و الحجج المنطقية (rational arguments) في أبحاثه. كما إعتد على التخمين (conjecture) و الشك العلمي (scientific skepticism).

- **شدد البيروني (al-Biruni 973-1048)** على ضرورة تكرار التجربة للتقليل من الأخطاء الناجمة عن القياس (systematic errors) و كذا الأخطاء الناتجة عن الإنسان (human errors). كما إعتبر البيروني أن التجربة هي أساس التحصيل العلمي.
- **عمد ابن سينا (Avecinna 980-1037)** إلى طرح أسئلة عامة أولاً، مستعملاً إياها لتحديد التجربة التي يجب القيام بها.

٣.٥ تقنين المنهجية العلمية (The Scientific Method)

أدى إحتكاك الأوروبيين بالمسلمين أثناء الحروب الصليبية إلى زرع بذور النهضة العلمية في أوروبا. مع سقوط المسلمين في الخلافات و الحروب الداخلية و غزو التتار إنتقل مشعل الحضارة إلى أوروبا.

١.٣.٥ البدايات (The Beginning)

كانت بدايات تعامل الأوروبيين مع أعمال المسلمين ذات شعور مختلط (mixed feelings). فكان تقدم المسلمين واضحاً للعيان من جهة، و كان الأوروبيون يكتفون بالعداوة للمسلمين من جهة أخرى. من نتائج هذا الشعور محاولتهم إحياء الفكر الإغريقي و اعتباره نقطة البداية مع مناقشة هذا الإرث على ضوء أعمال المسلمين.

- **قام روبرت جروسيتيست (Robert Grosseteste 1175-1253)** بنقد منهجية أرسطو على ضوء أعمال المسلمين. أصبح بذلك أول الأوروبيين الذين فهموا الطبيعة المزدوجة (dual nature) لمنهجية أرسطو: إستخلاص القوانين العامة من ملاحظات خاصة ثم توقع أمور خاصة من هذه القوانين. سمي جروسيتيست هذه المنهجية **التحليل و التركيب (resolution and composition)**. لكنه اشترط التأكد من صحة ما توصل إليه من معرفة باستعمال التجربة.
- **إعتماداً على أفكار جروسيتيست قام روجر بيكون (Roger Bacon 1219-1292)** بإنشاء منهجيته العلمية التي تعتمد على سلسلة متكررة من **الملاحظة (observation) و الفرضية (hypothesis) و التجربة (experimentation)** ثم اللجوء إلى **التأكد المستقل (independent verification)**. كما ناقش مواطن الخطأ المرتبطة بالإنسان. كما كان من الأوائل الذين نادوا إلى تضافر **الرياضيات (mathematics) و التجربة (experiment)** لتطوير معارفنا.
- **إقترح وليام الأوكامي (William of Ockham 1285-1347)** مبدأه المسمى **شفرة أوكام (Occam's Razor)** للاختيار بين النظريات المتنافسة. ينص هذا المبدأ على أن:

«أبسط السبل لحل مشكلة هو الحل الصحيح لها».

“Entities must not be multiplied beyond necessity.”

يستعمل هذا المبدأ كأداة إستطلاع في البحث العلمي لأنه كلما قلت المبادئ التي بنيت عليها النظرية كلما سهل التحقق منها. رغم أن هذا المبدأ ينسب لوليام الأوكامي إلا أنه استعمل من قبله. نذكر على سبيل المثال ابن الهيثم.

٢.٣.٥ مبدأ الشك من جديد (Skepticism reloaded)

في سنة 1562 انتشر في أوروبا مبدأ الشك (skepticism) نتيجة لظهور نسخته لاتينية لكتاب سيكستوس إمبيريكوس (Sextus Empiricus 160-210).

- ناقش فرنسيسكو سانتشاز (Francisco Sanches 1550-1623) سلبيات منهجيات البحث المتوفرة آنذاك وخلص إلى النتيجة:

«نحن لا نعرف شيئاً» (Nothing is known).

- نظر فرانسيس بيكون (Francis Bacon 1561-1626) إلى إشكالية الشك من زاوية أخرى حيث نقل الشك من النتيجة إلى الفرضيات:

«إذا انطلقنا من أمور يقينية سنصل إلى نتائج مشكوك فيها، لكن إن كانت بدايتنا مشكوك فيها فإننا سنحصل على نتائج يقينية».

“If a man will begin with certainties, he shall end in doubts; but if he will be content to begin with doubts, he shall end in certainties.”

استعمل بيكون التجربة للتخلص من النظريات البديلة و إلتزم في أعماله بالمنهج التجريبي. لكنه لم يعط الفرضية (hypothesis) المكانة المناسبة مما جعل إنتاجه العلمي ضعيفاً.

- تختلف الطريقة التي تعامل معها رنيه ديكارت (René Descartes 1596-1650) مع الشك جوهرياً عن طريقة بيكون السالف ذكرها. حاول ديكارت إيجاد طريقة للقضاء نهائياً على الشك. يعتقد ديكارت أن فطرة الإنسان تحوي على مفاهيم أساسية (first principles)، و أضاف أن بذور العلم (seeds of science) توجد بداخلنا. يعتبر ديكارت هذه المفاهيم الأساسية يقينية (certainties).

٢.٣.٥ المنهجية العلمية المثالية؟ (An ideal Scientific Theory?)

مع تقدم النهضة الأوروبية أصبح إيجاد تعريف أدق للمنهجية العلمية أمراً ضرورياً.

- كان غاليليو غاليلي (Galileo Galilei 1564-1642) من الأوائل الذين إستعملوا الرياضيات كوسيلة للإثبات العلمي، كما أنه إستعمل التجارب الفكرية (thought experiments).

• مع نجاح إسحاق نيوتن (Isaac Newton 1624-1726) في أعماله، أصبحت منهجيته العلمية محل إهتمام. لقد فضل نيوتن النهج التجريبي ونادى بحصر أسباب الظواهر الطبيعية في الأسباب الصحيحة و الكافية. كما ساعد نيوتن على إبراز دور الفرضية (hypothesis) و التنبؤ (prediction) في المنهجية العلمية.

• رغم أن المسلمين كانوا الأوائل في إكتشاف أهمية إعادة التجربة (repeatability) ، كان على الأوروبيين إنتظار روبرت بويل (Robert Boyle 1627-1691) و أعماله لإعادة إكتشاف هذه الأهمية.

رغم وجود شبه إجماع على تعريف المنهجية العلمية، لم يترجم هذا الإجماع إلى تعريف صريح حتى بداية القرن التاسع عشر. فيما يلي نظرة هانز أورستد (Hans Oersted 1777-1851) حيال المنهجية العلمية:

“In order to achieve completeness in our knowledge of nature, we must start from two extremes, from experience and from the intellect itself. ... The former method must conclude with natural laws, which it has been abstracted from experience, while the latter must begin with principles, and gradually, as it develops more and more, it becomes ever more detailed.”

«لوصول إلى الكمال في معرفتنا للطبيعة، علينا أن نبدأ من النقيضين، التجربة والفكر نفسه. ... يجب أن تخلص الوسيلة الأولى (التجربة) إلى قوانين الطبيعة، التي تستنبط من نتائجها، بينما يجب أن تنطلق الوسيلة الثانية (الفكر) من مبادئ، و بعد تطور هذه المبادئ تدريجياً، تصبح -شيئاً فشيئاً- أكثر تفصيلاً من أي وقت مضى.»

هذه النظرة تطابق إلى حد بعيد نظرنا العصرية حيال المنهجية العلمية. كما أعطى أورستد أمثلة عن مراحل المنهجية العلمية: الملاحظة (observation)، الفرضية (hypothesis)، التجربة (experiment)، الإستنتاج (deduction) في كتابه (First Introduction to General Physics). يمكن تلخيص المنهجية العلمية الحديثة في المخطط الموجود في الموقع الإلكتروني:

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42164616>

رغم النجاحات الباهرة لهذه المنهجية العلمية الحديثة إلا أنها تعاني من بعض نقاط الضعف -إن صح التعبير- التي سنناقشها فيما يلي.

٤.٥ نقد المنهجية العلمية (Some Issues)

لم تكن رحلة العثور على المنهجية العلمية المثلى (optimal scientific method) طريقاً ممهدة كما رأينا. لكن يحق لنا التساؤل: هل حققنا هدفنا و وجدنا المنهجية العلمية المثالية (ideal scientific method)؟ سنحاول أن ننظر بعين الناقد (critic) إلى ما توصلنا إليه بغية العثور على مواطن الضعف (weaknesses).

١.٤.٥ الملاحظة و التجربة (Observation and Experiment)

تعني **الملاحظة** (Observation) بمفهومها العام **جمع المعطيات** (data collection) مهما كان نوعها. من المشاكل التي يمكن أن نصادفها في هذه المرحلة: مدى دقة المعطيات (exactness) و مدى شموليتها (completeness). للحد من تأثير هذه الأخطاء، اتبع الباحثون (scientific researchers) عدة طرائق من أهمها:

- جمع أكبر عدد من المعطيات تحت ظروف مختلفة.
- استعمال التجربة لأن التحكم فيها أسهل.
- استعمال بعض وسائل التحكم في الأخطاء.

من السهولة أن نرى أن ما قمنا به هو زحزحة (shift) المشاكل من مكان إلى آخر. خذ على سبيل المثال التجربة. رغم أنها توفر لنا إمكانية محاكاة (imitate) الظواهر الطبيعية تحت ظروف متحكم فيها، إلا أننا نعتمد على توقعات مبدئية (presumption) لتحديد التجربة التي يجب القيام بها. زد على ذلك أنه يمكن لنا أن نقع فريسة للأخطاء. هناك طرق للحد من تأثير هذه الأخطاء التي تعتمد أساساً على مبادئ الإحصاء (statistics). لمزيد من المعلومات طالع:

https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_control#Controlled_experiments

يتم اللجوء إلى **التجارب العقلية** (thought experiment/gedanken experiment) في بعض الأحيان لمناقشة فرضية أو قانون. هذه التجارب، كما يدل عليه إسمها، عبارة عن تجارب مجردة تعتمد على استعمال المنطق للبحث عن تناقض (contradiction) داخلي في القانون أو الفرضية.

٢.٤.٥ الإستقراء (Induction)

أوجه استعمال الإستقراء في البحث العلمي (scientific research) متعددة. فتارة يستعمل مع الملاحظة لإستخلاص الأسئلة التي نريد الإجابة عنها (أرسطو). و تارة يستخدم كوسيلة من وسائل وضع الفرضيات. و تارة أخرى يستعمل كأداة لتعميم نتائج التجربة. تكمن إشكالية الإستقراء في التساؤل:

«هل تعتبر المعلومات الناتجة عن الإستقراء معرفة أم لا؟»

Does induction lead to knowledge?

يكن مرتبط الفرس في إنعدام تبرير مقنع للعمليتين:

- تعميم خاصية بناء على ملاحظة صحتها عددا من المرات. خذ على سبيل المثال الخاصية: «تتمدد المعادن تحت تأثير الحرارة» (metals expand under heat). لقد عممنا الظاهرة على كل المعادن بعد ملاحظتها في بعض المعادن.
- الإعتقاد بأن القوانين الطبيعية لا تتغير مع الزمن.

كما يستعمل الإستقراء للوصول إلى علاقة السببية (cause and effect) بين حادثتين متلاحقتين زمنياً. لاحظ أن هاته العمليات تقع في قلب المعرفة التي نحصل عليها عن طريق المنهجية العلمية التجريبية. لهذا السبب قال الفيلسوف تشارلي دانبر برود (D. C. Broad 1887-1971):

«الإستقراء هو مجد العلوم و عار الفلسفة».

“Induction is the glory of science and the scandal of philosophy”.

ليست إشكالية الإستقراء بالإشكالية الجديدة حيث يعود تاريخ مناقشتها إلى الحضارات القديمة و كانت من أهم أسباب ظهور مبدأ الشك (skepticism). خذ على سبيل المثال مدرسة شارفاكا (charvaka) الفلسفية في الهند القديمة (ca. 600 BC) و المدرسة البيرونية (Pyrrhonism) الإغريقية لمؤسسها بيرون (Pyrrho of Elis 360-270 BC). غلبت عناصر مبدأ الشك على مناقشة إشكالية الإستقراء خلال مختلف العصور. لكن الأمور أخذت منحاً آخر لما نظر الفيلسوف كارل بوبر (Karl Popper 1902-1994) إلى هذه الإشكالية من زاوية أخرى. صنف بوبر إستخدامنا للإستقراء في البحث العلمي في خانة الأساطير (myth). ففي إعتقاده، يقوم العلماء بالتخمين (conjecture) و النقد (criticism). بنى بوبر نظريته هذه إنطلاقاً مما يلي. يرى بوبر أننا نستعمل طرقاً غير مباشرة (indirect methods) لفحص (test) النظريات العلمية، بالنظر إلى نتائجها (implications). هذا لأن النظريات العلمية هي ذات طبيعة مجردة (abstract in nature). من هذا المنطلق، لا يمكننا أن نثبت صحة نظرية باستعمال التجربة و الملاحظة بينما يمكننا إثبات خطئها. إعتقاداً على الملاحظات الأنفة الذكر، نادى بوبر بإعتبار أي نظرية غير قابلة للدحض (falsifiable) أنها غير علمية، الأمر الذي ناقضه فيه فلاسفة أمثال واسلي سالمون (Wesley Salmon). عاد هذا النقاش إلى الواجهة بعد انتشار نظريات من هذا القبيل خاصة في الفيزياء النظرية (Theoretical Physics).

٣.٤.٥ الفرضية و التوقع (Hypothesis and Prediction)

تعتبر الفرضية المرحلة الأولى في محاولتنا لتفسير ظاهرة ما. تكمن أهمية الفرضية في كونها المهندس الرئيسي للتجربة. فبالإعتماد على الفرضية، نصمم تجربة ثم نقارن نتائجها مع توقعاتنا. يحضرنا في هذا الموقف مقولة فيليب ودلر (Philip Wadler):

«تذكر أنه لا يمكنك إثبات نتيجة إلا إذ إنطلقت من فرضية ما»

“Remember, the way you prove an implication is by assuming the hypothesis.”

تعاني الفرضية من نفس مشاكل أي مجهود عقلي بحت. من بين القواعد التي يمكن إتباعها عند وضع الفرضيات (Schik and Vaughn):

- إمكانية التحقق من الفرضية (testability).
- حصر عدد الفرضيات في الحد الأدنى و الكافي (parsimony).

- إختيار الفرضيات التي يمكن ربطها مع عدة ظواهر (scope).
- إختيار الفرضيات التي يمكن إستعمالها مستقبلا لتفسير ظواهر أخرى (fruitfulness).
- إختيار الفرضيات التي لا تتناقض مع النظريات الموجودة (conservatism).

لا يجب أخذ هذه القواعد كقوانين مطلقة (bullet proof rules). من بين أهم العلاقات التي تبنى عليها الفرضية هي السببية (causality). وضعت على مر العصور قواعد لتوضيح هذه العلاقة من بينها قواعد ميل (Mill's Methods) (John Stuart Mill 1806-1873). لكن هذه القواعد تعاني من نقاط ضعف أهمها أن هذه القواعد تشرح طريقة إختيار سبب وحيد من قائمة لأسباب ممكنة، لكن لا يوجد إقتراح لكيفية إنشاء هذه القائمة كما لا يوجد سبب وجيه لوحداية السبب. رأى بعض المؤرخين أن بعض هذه القواعد نوقشت من طرف ابن سينا. لمزيد من المعلومات طالع الصفحات الإلكترونية:

<http://philosophy.hku.hk/think/sci/mill.php>

https://en.wikipedia.org/wiki/Mill's_Methods

لاحظ أن السببية هي أيضا من العلاقات المهمة عند صياغة النتائج لذلك يمكن الإستعانة بالقواعد نفسها. هناك أيضا الطرق الإحصائية للبت في موضوع السببية. لمزيد من المعلومات طالع:

https://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_control#Controlled_experiments

https://en.wikipedia.org/wiki/Baconian_method

https://en.wikipedia.org/wiki/Bayesian_network

رغم هذه النقائص و الاجتهادات للحد من تأثيرها، إلا أننا يجب أن نتذكر دائما أن القوانين التي نصف بها الطبيعة هي عصاره تفكيرنا ولهذا فهي لا تمثل سوى تقريبا (approximation) لها.

٤.٤.٥ ما بعد المنهج التجريبي (Beyond Emperical method)

أدى التطور السريع للفيزياء و ظهور الفيزياء النظرية (theoretical physics) في بداية القرن العشرين إلى مراجعة تدريجية لقواعد اللعبة.

- أدى ظهور الفيزياء الكمية (quantum physics) إلى استبدال المبادئ (principles) بالمسلّمات (postulates). فالمبادئ هي أسس توصلنا إليها من خلال التجربة أما المسلّمات هي أسس رياضية تفسر نتائج التجربة دون إمكانية التأكّد المباشر من صحتها.
- أدى النمو البطيء للتقنيات (technology) مقارنة مع العمل النظري إلى إتساع الهوة بين النظريات الفيزيائية و التجربة. بدل انتظار قطار التجربة قرر بعض الفيزيائيين إستعمال أسس أخرى للمضي قدما. من أهمها البساطة (شفرة أو كام) و التناغم الداخلي (غياب التناقضات الداخلية).

رفض بعض الفلاسفة أمثال: توماس كون (Thomas Samuel Kuhn 1922-1996)، بول فييرابند (Paul Karl Feyerabend 1924-1994)، وإمري لاكاتوس (Imre Lakatos 1922-1974) فكرة وحدانية المنهجية العلمية. ففي رأيهم لا توجد هناك منهجية وحيدة ذات الخصائص:

- الصلاحية لكل العلوم.
- تفسر تطور جميع العلوم.

فعلى سبيل المثال لاحظ كون أن العلماء استعملوا على مر العصور سلسلة من النماذج (series of paradigms) أثناء أعمالهم. كما لاحظ غياب أدلة لاستعمال العلماء مبدأ نقض النظريات (falsificationist methodology). هذا يظهر جليا في مقولة ماكس بلانك (Max Planck 1858-1947):

“A new scientific truth does not triumph by convincing its opponents and making them see the light, but rather because its opponents eventually die, and a new generation grows up that is familiar with it.”

«لا تنتصر الحقيقة العلمية الجديدة من خلال إقناع معارضيها وجعلهم يرون نورها، وإنما لأن خصومها يموتون في نهاية المطاف، ويظهر جيل جديد على دراية بها.»

٦ مكانة الرياضيات (Math & Laws of Nature)

عندما نتكلم عن قوانين الطبيعة، وبالأخص قوانين الفيزياء، يذهب تفكيرنا إلى علاقات رياضية (mathematical relations). إذا نظرنا إلى هذه العلاقات من الزاوية البراغماتية (pragmatic point of view)، نلاحظ ما يلي:

- سهولة فهم القوانين لأن لغة الرياضيات هي لغة عالمية.
- سهولة التعامل مع التجربة لأننا نملك نظرة عامة عما نتوقعه.
- هناك علاقة تبادل منافع أو تكافل (symbiosis) بين الرياضيات و الفيزياء خلال عدة مراحل في التاريخ و إلى وقتنا هذا. ساعدت الفيزياء على تطور الرياضيات و في المقابل ساعدت الرياضيات على صياغة أدق و أعم للقوانين الفيزيائية.

التساؤل الذي يطرح نفسه: كيف بدأت هذه العلاقة؟ و ما مدى وصف القوانين الرياضية للحقيقة؟

١.٦ تاريخ العلاقة (The History)

كان فيثاغورس (Pythagoras of Samos 570-495 BC) من الأوائل الذين ربطوا بين الرياضيات و قوانين الطبيعة. فقد صرح أن:

«كل شيء عبارة عن أعداد» (“All is numbers”).

وافقه أرسطو (Aristotle) الرأي حيث قال:

«مبادئ الرياضيات هي مبادئ كل شيء».

“The principles of mathematics are the principles of all things.”

من العلماء المعاصرين الذين ساندوا هذا التوجه **غاليليو غاليلي** (Galileo Galilei) (1564-1642). يظهر هذا جليا في مقولته:

«كتاب الطبيعة مكتوب بلغة الرياضيات».

“The book of nature is written in the language of mathematics.”

أصبحت هذه المقولة مبدأ موجهها (guiding principle) لتعامل الفيزيائيين مع قوانين الطبيعة منذ عهد غاليليو.

٢.٦ الرياضيات و الحقيقة (Mathematics and Reality)

تختلف آراء الفلاسفة و الفيزيائيين فيما يخص حقيقة الأشياء بما فيها قوانين الطبيعة. فالرأي المحافظ (conservative) يؤمن أنه لا توجد حقيقة علمية مطلقة (absolute scientific truth). فقوانيننا لها محدوديتها (limits) و يمكن أن تكون خاطئة.

مع النجاح الباهر لاستعمال الرياضيات في صياغة القوانين، خاصة قوانين الفيزياء الكمية، إنقسم الفيزيائيون إلى مجموعتين:

- **الواقعية العلمية (scientific realism):** يرى أتباع هذا التوجه أننا بصدد وصف الحقيقة. فالحقيقة جزء منا و القوانين التي نكتشفها هي تقريب لها. للمزيد من المعلومات طالع:

<https://plato.stanford.edu/entries/scientific-realism/#MirArg>

- في المقابل، يعتقد المناوئون أن الحقيقة مستقلة عنا. فقوانيننا هي محاولتنا لوصف الطبيعة باستعمال لغتنا.

هناك نقاش متجدد لهذه التوجهات. لمزيد من المعلومات طالع:

<https://arxiv.org/pdf/0704.0646.pdf>

<https://arxiv.org/pdf/0709.4024.pdf>

<https://arxiv.org/pdf/1703.00571.pdf>