التحليل البُعدي
منطلقاته الإبستمولوجية وفوائده التّكوينية (1)

محمد الطيب سعداني
أستاذ متقاعد بقسم العلوم الفيزيائية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
mohamedens13@gmail.com

"لا تجرينّ أبدا (في العلوم الفيزيائية) عملية حسابية دون المعرفة القبلية لنتيجتها."
جون ويلر (John Wheeler)

1. المقدّمة

من الملاحظات المتقاسَمة بين جل الأساتذة المعنيين بتعليميات العلوم الفيزيائية أنّ الدروس فيها يغلب عليها عمومًا طابع المعالجة الرّياضياتية البحتة للظواهر المدروسة على حساب مدلولها الفيزيائي؛ فهي تكاد تُختزل، في نهاية المطاف، في تطبيق معادلات وقوانين تجريدية دونما اهتمام يُذكر بصلتها بالواقع المادي -موضوع دراسة الفيزياء والكيمياء- ممّا يحول دون أدائها بعض أغراضها التعليمية التربوية، التي في مطلعها، إيقاظ الحس الفيزيائي لدى المتعلمين.

وبديهي ما للرّياضيات والفيزياء من صلة وثيقة، فكلّ أكابر الفيزيائيين يقرّون بذلك، ونكتفي هنا بالاستشهاد بما قاله في هذا السّياق الفيزيائي الشّهير ريتشارد فاينمان Richard Feynman (1918-1988)، الذي كتب: "إنّ القوانين الأساسية في الفيزياء تحتاج إلى الرياضيات.... فليس للفيزياء من لغة سوى الرياضيات". فبواسطة الرياضيات يُنمذج الفيزيائي الظواهر الكونية ويصوغ القوانين التي تحكم الطبيعة، فثمّة صلة وثيقة بين العلمين، صلة تأليفية أو تكوينية. غير أنّ هذا لا يعني أن الفيزياء تنصهر كليًا في الرياضيات، ولا الرياضيات في الفيزياء، فـ"الدّقة الرّياضياتية المبالغ فيها ليست بالمفيدة في الفيزياء"، يوضّح نفس العالِم. ويؤكّد المعنى ذاته بول ديراك Paul Dirac (1902-1984) بقوله: "إنّ فهم معادلة فيزيائية هو غير فهمها بالمعنى الرّياضياتي؛ إنه فهم خصائص حلّها، دون حلّها فعليًا". ويعني هذا أنه من المفضّل تحديد حلّ نوعي كيفي، ولو تقريبي، لمشكلة فيزيائية -ما أمكن ذلك- قبل الشّروع في حسابات مجرّدة معقّدة.

إنّ تغليب الجانب الرّياضياتي (ولربما تكون صفة الحسابي أوفى بالمعنى) المتبنّى عمومًا في تدريس العلوم الفيزيائية مردّه إلى تغليب التفسير على الفهم، أي الجانب التّجريدي على الجانب الحسّي. فإنّه -رغم ما للمفهومين من صلة تلازم وثيقة- إلّا أن أوّلهما يبقى أساسًا ربط المفاهيم فيما بينها بسلسلة سببية بالاستناد إلى نماذج نظرية، وثانيهما امتلاك المفاهيم بصورة ذاتية وجدانية يضمن استيعابها الفعلي من قبل المتعلمين.

ولقد بدا لنا أنّ التحليل البُعدي، أو تحليل الأبعاد، كفيل بأن يسهم، في حالات كثيرة، في تجاوز الإشكال لكونه ينمّي الحسّ الفيزيائي لدى المتعلّمين، ويساعد على تلافي الانفصام بين دروس العلوم الفيزيائية والواقع. غير أنّ مكانة التحليل البعدي في مناهجنا التعليمية للعلوم الفيزيائية في الجزائر، سواء في التعليم الثانوي أو العالي، تبقى، في تقديرنا، دون ما يليق به من العناية، بالنظر إلى أهمّيته التكوينية.

وسنحاول في مقالنا هذا إبراز ما للتحليل البعدي من فوائد جمّة على صعيد التربية الفيزيائية للمتعلمين، وما له من قيمة تكوينية في حقل تخصّصهم، وذلك من خلال لمحة تاريخية موجزة عن تطوّر المفهوم عبر التاريخ وعرض أهمّ منطلقاته الإبستمولوجية، باختصار كبير. لكنّنا نودّ استهلال مقالنا برواية ما يحفظه التاريخ، شاهدًا على فعالية التحليل البعدي، بما مكّن أحد العلماء من اكتشافه، في أواخر الأربعينيات من القرن المنصرم، باعتماده منهجية بحث واستقصاء.

2. فعالية التحليل البعدي ونجاعته

ممّا يُذكر دومًا لتأكيد فعالية التحليل البعدي، تمكّن السير جيفري إنغرام تايلور Geoffrey Ingram Taylor (1886-1975)، وهو فيزيائي بريطاني معروف، من تقدير طاقة القنبلة الذّرية الأمريكية الأولى في عام 1950 (اختبار ترينيتي، يوليو)، وكانت آنذاك سرًّا عسكريًا. حدث ذلك بعد نشر صور أظهرت مدى تغيّر نصف قطر السّحابة الذرية التجريبية (على شكل فطر) مع مرور الزّمن. والجدير بالذكر أنّ الصّور لم تكن تحتوي على تفاصيل أخرى تتعلّق بظروف التجربة. غير أنّ قلّة المعلومات هذه لم تمنع تايلور من تقدير تلكم الطّاقة، بارتياب جد مقبول. واللافت للانتباه أنّ تايلور لم يعتمد في إنجازه الكبير هذا إلّا على استعمال منهجية تحليل الأبعاد ببراعة، ومن أجل ذلك عُدّ عمله مثالًا كلاسيكيًا على استخدام أساليب نظرية لاستخلاص معلومات فيزيائية عملية من معطيات تجريبية قليلة.

لقد استخدم تايلور العلاقات بين المتغيرات الفيزيائية المؤثّرة في الانفجار. وافترض أن نصف القطر R للسّحابة الذرية في لحظة معيّنة مرتبط بطاقة الانفجار E، وبالكتلة الحجمية للهواء المحيط ρ، وبالزمن t بعد الانفجار. وخلص في نهاية المطاف إلى العلاقة:

$$R = kE^{\frac{1}{5}}\rho^{\frac{-1}{5}}t^{\frac{2}{5}} = k\left(\frac{Et^2}{\rho}\right)^{\frac{1}{5}}$$ ، حيث k ثابت.

3. مفهوم التحليل البعدي وتطوّره عبر التاريخ

تحليل الأبعاد أداة نظرية أساسية تُستعمل خصوصًا في الفيزياء والكيمياء والهندسة، ومن أهمّ وظائفه: التحقق من تجانس المعادلات المستعملة، وتحديد بُعد مقدار، وتصوّر الشّكل العام لمعادلة فيزيائية، أي الرّبط بين متغيرات مختلفة تصف ظاهرة طبيعية (صوغ فرضيات بسيطة حول العلاقة بين المقادير التي تحكم حالة نظام فيزيائي)، وذلك من غير حاجة إلى معرفة مفصّلة للقوانين أو المبادئ التي تحكمها (أي من غير سند نظري أكثر اكتمالًا)، وبناء مقادير ببعد معيّن، وإجراء تحويلات بين وحدات مختلفة.

وفيما يلي أهمّ المراحل التاريخية لتطوّر المفهوم.

يعود تاريخ تحليل الأبعاد إلى المحاولات الأولى التي قام بها علماء لفهم الظواهر الفيزيائية وربطها بأبعادها في القرنين السّابع والثّامن عشر، كمثل أعمال جاليليو Galileo (1564-1642) في دراسته لسقوط الأجسام، حين بحث في كيفيات التأثير المتبادل بين المقادير الفيزيائية. وبعد جاليليو، نيوتن Newton (1643-1727) الذي أسّس الميكانيكا الكلاسيكية، إذ أدخل مفهومي القوة والتسارع المرتبطين بأبعاد أساسية.

وشهد المفهوم تطوّرا نوعيًا على أيدي فيزيائيين مثل جوزيف فوريي Joseph Fourier (1768-1830)، وجيمس كليرك ماكسويل James Clerck Maxwell (1831-1879). أمّا فوريه، فقد استعمل، وهو يدرس ظاهرة التوصيل الحراري، مفاهيم الأبعاد للتحقق من تجانس معادلاته. وأمّا ماكسويل، فقد واصل هذا النهج من خلال إظهار أهمية تحليل الأبعاد في التحقق من الصيغ وتبسيطها في الفيزياء.

ولقد ترسّخ المفهوم واتخذ شكلًا أكثر دقّة وتجريدًا في أوائل القرن العشرين بفضل علماء الفيزياء آنذاك، مثل اللورد جون ويليام رايليه John William Rayleigh (1842-1919)، الذي استعمل التحليل البعدي لتطوير القوانين الفيزيائية من خلال مقارنة أبعاد المتغيرات، وإيميه فاشي Aimé Vaschy (1857-1899) الذي ذكر لأول مرة، في عام 1892،أنه يمكن اختزال أيّ علاقة بين مقادير فيزيائية إلى علاقة بين مقادير لا أبعاد لها، وإدجار باكنغهام Edgar Buckingham (1867-1940) عالم الرياضيات والفيزياء، الذي وضع عام 1914 النظرية التي أرسى بها بالفعل التّحليل

البعدي كأداة قويّة في حلّ المشكلات الفيزيائية، وعمّم الرمز π على المقادير عديمة الأبعاد. وسنعود إلى هذه النقطة بشيء من البسط حين عرضنا المنطلقات الإبستمولوجية للتحليل البعدي.

وزاد المفهوم في زمننا هذا عمقًا وشمولًا، إذ أصبح تحليل الأبعاد يُستعمل بشكل واسع للتحقّق من تجانس أبعاد المعادلات، وتبسيط النّماذج الفيزيائية، وإنشاء نماذج أوّلية (prototypes) مصغّرة في مجالات عدّة، مثل ميكانيكا الموائع، والهندسة، وعلم الطيران، والفيزياء الفلكية. كما أنه صار من الضّرورة بمكان في بناء معادلات التّشابه (similitude) وتبسيط دراسة الظواهر المعقّدة بواسطة النّمذجة (modeling) والمحاكاة (simulation).

خلاصة القول: إنّ مفهوم تحليل الأبعاد قد تطوّر من طريقة عفوية تلقائية استخدمها الفيزيائيون الأوائل إلى منهجية راسخة ذات دور حاسم في العديد من مجالات العلوم والهندسة.

4. أهمّ المنطلقات الإبستمولوجية (المعرفية) لتحليل الأبعاد

تجد المنطلقات الإبستمولوجية (المعرفية) لتحليل الأبعاد جذورها في مجالات تقاطع علمَي الفيزياء والرياضيات وفلسفة العلوم، التي تُظهر كيف يساعد تحليل الأبعاد على فهم العلاقات بين مقادير فيزيائية وتأسيس قاعدة صلبة من المعارف، دون حاجة إلى اللجوء إلى نمذجة متكاملة شاملة ومعقّدة للظواهر.

ولقد بدا لنا من المفيد، قبل عرض هذه المنطلقات، التذكير ببعض المفاهيم الأساسية في التحليل البعدي: مفاهيم المقدار والبعد والوحدة.

المقدار في الفيزياء هو كل خاصية لظاهرة فيزيائية أو مادة يمكن أن تُقاس أو تُحسب، وقد اصطلح الفيزيائيون على سبعة مقادير قاعدية (مقادير فيزيائية أساسية): الكتلة، والطول، والزمن، وشدة التيار الكهربائي، ودرجة الحرارة الترموديناميكية، وكمية المادة، والشدة الضوئية.

تتمايز هذه المقادير القاعدية فيما بينها بأبعادها، فبُعد مقدار فيزيائي هو حقيقته الفيزيائية التي تميّزه عن المقادير الأخرى. ولكل بُعد من هذه الأبعاد رمز: فالكتلة رمز بُعدها M، والطول رمز بُعده L، والزمن رمز بُعده T، وشدة التيار الكهربائي رمز بُعدها I، ودرجة الحرارة الترموديناميكية رمز بُعدها θ، وكمية المادة رمز بُعدها N، والشدّة الضّوئية رمز بُعدها J.

- يُلاحَظ أنّ المقادير القاعدية يُرمز إليها بأحرف كبيرة، وأنّ بُعد مقدار G يكتب [G] أو dimG .

تتولّد عن هذه المقادير القاعدية كل المقادير الفرعية الأخرى بواسطة الجداء: $[G]= M^{\alpha}L^{\beta}T^{\gamma}\theta^{\delta}I^{\varepsilon}J^{\xi}N^{\eta}$

حيث القوى $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \xi, \eta$ أعداد صحيحة سالبة أو منعدمة أو موجبة، وتسمّى القوى البُعدية.

- في هذه العلاقة يعوّض كل حدّ بالمقدار الأساسي الموافق، وتسمّى المعادلة الحاصلة بمعادلة الأبعاد.

والبُعد غير الوحدة؛ فالوحدة مقدار عددي حقيقي محدّد، متفق عليه، يُستخدم لتقدير قياس مقادير فيزيائية من نفس طبيعته تقديرًا كمّيًا، ومقارنتها ببعضها البعض. ويمكن تعريف وحدة قياس انطلاقًا من بعض الثوابت الأساسية أو من خلال المعيار المعتمد.

يتكوّن النّظام الدولي للوحدات من سبع وحدات أساسية، وهي: المتر ورمزه m، الكيلوجرام ورمزه kg، الثانية ورمزها s، الأمبير ورمزه A ، الكلفن ورمزه K، الشمعة ورمزها cd، والمول (وحدة كمية المادة) ورمزه mol.

وليس التحليل البعدي مجرّد تقنية إجرائية يُستعان بها في بعض الحالات دونما سند نظري متين، كلّا، إنّه يرتكز على جملة من المبادئ المنطقية والرّياضية، منها:

1.4. مبدأ اللّاتغير(invariance) أو الثابتية

هو من المبادئ الإبستمولوجية (المعرفية) الأساسية التي يستند إليها التحليل البعدي، ومفاده استقلالية القوانين عن منظومة الوحدات -المختارة اعتباطيًا- للتعبير عن المقادير الفيزيائية. فالقوانين الفيزيائية مستقلة عن أنظمة الوحدات المستخدمة، أي عن اصطلاحات القياس المتفق عليها، فهي لا تتغيّر تبعًا لها، إنها تتصف باللاتغير، ممّا يضفي عليها صفتي العالمية (universality) والعموم (generality)، ما يعني أنها لا تنحصر في سياقات محدودة. فالمعادلة الفيزيائية، الصالحة في نظام من وحدات، صالحة في أيّ نظام آخر متّسق من وحدات أخرى، ممّا يسمح بإنشاء نماذج تجريدية. ولهذا صلة وثيقة بالموضوعية العلمية، التي تفرض أن تظلّ القوانين الفيزيائية محفوظة وإن تغيّر الإطار المرجعي، مما يضمن أن تبقى النتائج المحصّلة قابلة للتطبيق -في سياقات مختلفة- دونما تغيير في العلاقات الأساسية.

2.4. مبدأ تجانس الأبعاد

الأساس الإبستمولوجي الآخر هو مبدأ التجانس البعدي في المعادلات، الذي يوجب أن تكون لكل من حدّي المعادلة (المعادلة الفيزيائية) الأبعاد ذاتها. ومن القواعد الأساسية في تحليل الأبعاد أنّه لا يمكن جمع أو طرح أو مقارنة إلّا مقادير فيزيائية من البعد ذاته؛ فيمكن -على سبيل المثال- إضافة طول إلى طول آخر، لكن من غير الممكن إضافة طول إلى كتلة. أمّا الضرب والقسمة بين أبعاد مختلفة فهما جائزان.

وعلى الرغم من كون هذا المبدأ يُعدّ، في كثير من الأحيان، بديهية مسلّمًا بها تُطبّق بالفطرة، إلّا أنّ الواقع ليس كذلك؛ إذ يتطلّب تطبيقه الميداني يقظةً منهجية متجددة ودائمة، تحول دون قبول علاقات ليست لها دلالة فيزيائية، وتسمح بالتفطن، في الحين، إلى الأخطاء المفهومية، ومن ثمّ، تلافي الوقوع فيها.

3.4. مبدأ الاختزالية (reductionism)

الاختزالية في العلوم الفيزيائية منهجٌ إبستمولوجي يعتمد على تفسير الظواهر المعقّدة عن طريق تجزئتها إلى عناصر أساسية، أو إرجاعها إلى مستويات أبسط من التحليل. وتجدر الإشارة إلى أنّ لهذا المنهج دورًا مركزيًا في تطوير العلم الحديث.

وفي سياق الحديث عن مبدأ الاختزالية، لا بد -في مقامنا هذا- من ذكر نظرية أعطت التحليل البعدي أُسسه النظرية، وجعلت منه أداةً قوية لتحليل المشكلات الفيزيائية عند أهل الاختصاص، ورسّخته سلوكًا ملازمًا لديهم؛ وهي نظرية باكنغهام، المعروفة أيضًا باسم نظرية π (Pi)، أو باسم نظرية فاشي-باكنغهام، التي -وإن قوبلت بادئ الأمر ببعض من الحذر والتحفظات- فإنّها اليوم تُعدّ من النظريات الأساسية في التحليل البعدي.

والاختزالية من الأسس المنهجية في بناء نظرية باكنغهام، التي تنصّ على أنّه يمكن اختزال أي معادلة فيزيائية تتضمّن عددًا من المتغيرات البعدية المستقلة إلى معادلة بين عدد أقلّ من متغيرات لا أبعاد لها. ويفضي ذلك، في نهاية المطاف، إلى صيغة مكافئة أبسط. فإذا كانت المعادلة الفيزيائية تعني n متغيرًا مستقلًّا مُعبّرًا عنها بـk من الأبعاد الأساسية، فمن الممكن اختزال المعادلة إلى m $(m = n - k)$ مجموعة بلا أبعاد، تُسمّى المجموعات π، كفيلة بوصف النظام الفيزيائي المدروس، ممّا يسمح بإنشاء نماذج مجردة تتجاوز تجارب السّياقات المحلية المحدودة.

ونذكر، بدون الخوض في التفاصيل، أنّ تطبيق نظرية باكنغهام ينطوي على مراحل أهمها:

1- حصر المتغيرات $(x_1, x_2, x_3 \ldots\ldots x_n)$ المرجّح أن لها تأثيرًا في الظاهرة المدروسة: n متغيرًا؛

2- تحديد k عدد الأبعاد الأساسية للمتغيرات المرجّحة (أساسًا ثلاثة: L الطول،T الزمن، M الكتلة، وهي الأبعاد الثلاثة المستعملة حصرًا في كل الميكانيكا الكلاسيكية يُضاف إليها، لتغطية مجالي الكهرباء والكهرباء المغناطيسية، بُعد الشدة الكهربائية I).

3- تحديد m عدد مجموعات π اللابعدية المستقلة الذي يمكن أن يكوّن والذي يساوي: $m = n - k$.

4- اختيار k متغيرًا متكرّرًا (عدد المتغيرات المتكررة يساوي عدد الأبعاد الأساسية في المشكلة) من بين المتغيرات البدئية n.

يجب أن تغطّي المتغيرات المتكررة كلّ الأبعاد وأن تكون مستقلة عن بعضها البعض. يراعى عادة في اختيار المتغيرات المتكررة أن يأخذ أحدها في الحسبان الجانب الهندسي، وثانيهما الجانب الحركي، وثالثها خاصية متعلقة بالنظام المدروس.

ملاحظة: اختيار المتغيرات المتكررة ليس فريدًا، فهناك عدد من الاختيارات الممكنة بشرط مراعاة المعايير المذكورة.

5- تشكيل مجموعات بلا أبعاد بالتعبير عن كل متغير متبقٍ بدلالة المتغيرات المتكررة والأبعاد الأساسية ثمّ التوليف بين المتغيرات للحصول على مجموعات بلا أبعاد π.

6- ربط المجموعات π بعلاقات وظيفية.

7- التحقق التجريبي من أن مجموعات π تُمثل بشكل صحيح الظاهرة الفيزيائية قيد الدراسة.

8- فهم كيفية تأثير المتغيرات المختلفة على سلوك النظام بما يتيحه ذلك من إمكانات للتنبؤ بالنتائج المحتملة لتطوراته في ظل ظروف مختلفة.

إنّ هذه الاختزالية، أي تبسيط المعقّد، تستند إلى فكرة أوّلية مفادها أن العلاقات الكمّية بين المتغيرات التي تصف نظامًا فيزيائيًا -المتوصّل إليها عن طريق التّحليل البعدي- يمكن أن تُفضي إلى اكتشاف القوانين الأساسية التي تتحكّم في النظام، وذلك بدون اللجوء إلى حلّ معادلات تفاضلية معقّدة (تلكم المعادلات التي تفرضها دراسة مكتملة للظاهرة). بعبارة موجزة، يتمثل الأمر في دراسة النظام بصرف النظر عن تعقيد الآليات الواقعية الدّقيقة التي تتحكّم فيه، وفي هذا صورة من الجانب التجريدي الملازم للتفكير العلمي أي التغاضي (إهمال على بيّنة) عن بعض التفاصيل الجزئية للتركيز على الجوانب الأساسية للظاهرة للخلوص، في نهاية المطاف، إلى نمذجة رياضية للواقع.

وغني عن البيان أنّ هدف العلوم الفيزيائية لا يقتصر على وصف الظواهر فقط، ولكنه يطمح إلى فهم آلياتها الأساسية والتنبؤ بسلوكها في ظل تغير الظروف. ومن ثمّ، فإن تبسيط الأنظمة المعقّدة يجعل من الممكن وضع نظريات ليست تفسيرية فحسب، بل تنبؤيه أيضًا. ومرجع هذا الضرب من الاختزال -على الصّعيد الإبستمولوجي- هو مفهوم الاختزال العام في العلم، الذي مسعاه دومًا تبسيط الأنظمة المعقدة إلى عناصر أبسط.

ولا يتّسع المقام هنا للإفاضة في الجدل التقليدي القائم بين الموقف الإبستمولوجي الاختزالي والموقف الشمولي، أو كما يُسمّى عند البعض بالموقف "الكلّاني" (holistic approch) الذي يعيب على الاختزالية إهمالها لظاهرة "البروز" (emergence)، أي ظهور خصائص تنشأ عن التجميع في النظم المعقدة، حيث لا يختزل الكل في مجموع أجزائه. كما ينتقد هذا الموقف ما قد ينجرّ عن التجزئة إلى الأبسط من فقدان في المعنى، ويؤكّد على أنّ للتفاعلات بين أجزاء النظم أدوارًا حاسمة تؤثّر في حالتها، بحيث لا تكتمل دراستها إلّا بأخذ هذه التفاعلات في الحسبان. لكنه -حتى ولو أنّ النّهج الاختزالي لا يكفي وحده لفهم ثراء الواقع بشكل كامل مثلما تدعو إليه النظرية الشمولية- فلا بدّ من الإقرار بأنّ له دورًا مركزيًا في تطوير العلم الحديث، وأنّ قوته تستمدّ من انسجامه مع المنهج العلمي.

4.4. مبدأ التشابه (similarity)

منطلق هذا المبدأ أنّ المجموعات التي لا أبعاد لها تُمكّن من ربط ظواهر مختلفة استنادًا إلى أوجه التشابه بينها. فعدد رينولدز (Reynolds)، على سبيل المثال، بما أنه لا بعد له -أي لا يتوقف على وحدة قياس أو سلالم مطلقة ويتوقّف فقط على نسبة بين قوى- يُعدّ أداة حاسمة للمقارنة بين نُظم ذات أحجام مختلفة. وتُدعى هذه الخاصية بالتشابه الديناميكي، وهذا يعني أنه إذا ما اتّصف نظامان بنفس المجموعة اللابعدية فإنّهما يخضعان للقوانين الفيزيائية ذاتها

بصرف النظر عن حجم الفراغ الذي يشغلانه وتطورهما عبر الزمن وقواهما. وتُعدّ هذه الخاصية الأساس الذي تقوم عليه النّمدجة المعتمدة في علم الطيران، والهندسة الهيدروليكية، والبيوميكانيكا.

5.4. مبدأ التساوق والمنهج العلمي

يجدر بالملاحظة أن المنهجية المتبعة في تحليل الأبعاد تتساوق تمامًا والمنهج العلمي، وأنها تستند إلى أنماط التفكير ذاتها من الاستقرائي والاستنتاجي والفرضي الاستنتاجي وغيرها. فالنظرية المركزية التي يستند إليها التحليل البعدي - نظرية باكنغهام مثلًا - منسجمة تمامًا ومراحل المنهج العلمي المنطوية على عدة مراحل، أهمها:

- ملاحظة ظاهرةٍ تطرح إشكالًا، وصوغ هذا الإشكال صوغًا دقيقًا أي تحديد المتغيرات المؤثرة، ذات الدلالة، في الظاهرة المدروسة؛
- وضع فرضيات مختلفة، يمكن أن تكون هذه الفرضيات نوعية أو كمية؛
- اختبار صدقية الفرضيات بالتجريب، ومن ثم تأكيدها أو إبطالها؛
- بناء إطار نظري تجريدي، نموذج أو نظرية، يُمكّن من التفسير والتنبؤ.

وجملة القول إنّ التحليل البُعدي يُعدّ منهجية علمية لدراسة الواقع الفيزيائي تستجيب لمعايير معرفية علمية، مثل القابلية للتزييف (falsifiability)، وهي الميزة الفاصلة بين العلم الحق والعلم الزائف وفق كارل بوبر Karl Popper، فنتائجه يمكن اختبار صدقيتها تجريبيًا. كما تستجيب لمعايير العقلانية لرودولف كارناب Rudolph Carnapp، إذ أنها تستند إلى منطق صوري قوي متماسك وإلى مبدأ الاقتصاد (أو القصد) لويليم الأوكامي William of Occam، الذي يدعو إلى عدم الإكثار من الفرضيات دونما ضرورة ملحة، أي ترجيح الحلّ الأبسط والأقل تعقيدًا عمومًا عند تفسير الظواهر.

مراجع

[1] سعداني، محمد الطيب، مدخل إلى تدريس العلوم الفيزيائية في السنوات الأولى الجامعية، مطبعة الورسم، 2018.

[1] Bridgman, P. W. Dimensional Analysis, New Haven: Yale University Press, 1922.

[2] Gibbings, J. C. Dimensional Analysis, Springer, 2014.

[3] Lemons, Don S. A Student's Guide to Dimensional Analysis, Cambridge University Press, Cambridge, 2017.

[4] Macagno, E. O. Historico-critical review of dimensional analysis. Journal of the Franklin Institue, 292(6), (1971), 391-402.

[5] Santiago, J. G. A First Course in Dimensional Analysis: Simplifying Complex Phenomena Using Physical Insight, The MIT Press, 2019.

[6] Analyse dimensionnelle https://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_dimensionnelle

[7] Hébert, B. La puissance de l'analyse dimensionnelle https://www.youtube.com/watch?v=an3zN3uhDz

[8] Hébert, B. Les 4 utilisations essentielles de l'analyse dimensionnelle https://www.youtube.com/watch?v=_nuMFHPAIE0

[9] Djellal, S. Analyse dimensionnelle, Part 1 (Introduction) https://www.youtube.com/watch?v=WPSyFcqwbgU

[10] Djellal, S. Analyse dimensionnelle, Part 2 (Dimensions, modélisation) https://www.youtube.com/watch?v=fX3foXaLcPU

[11] Djellal, S. Analyse dimensionnelle, Part 3 (Théorème de Vaschy-Buckingham) https://www.youtube.com/watch?v=gqML35S1l_s

[12] Djellal, S. Analyse dimensionnelle, Part 4 (Exemples d'application de Vaschy-Buckingham) https://www.youtube.com/watch?v=43fsc1a0XPE