تجسير
لدراسات العلوم الإنسانية والاجتماعية البينية

تاريخ الاستلام: 05 فبراير 2025 | تاريخ التحكيم: 04 مارس 2025 | تاريخ القبول: 24 مارس 2025

OPEN ACCESS

ترجمة

إبستيمولوجيا الأبحاث متعددة التخصصات: تغيُّر النماذج الفلسفية للعلوم *

تأليف: ميكي بون وصوفي فان بالين**

ترجمة: باسل المسالمة

أستاذ مساعد، قسم اللغة الإنجليزية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة دمشق–سوريا

basselalmasalmeh@gmail.com

ملخص

من المسلَّم به عمومًا في سياسة العلم أنّ حل المشكلات القائمة على العلم يتطلَّب بحثًا متعدد التخصصات. فعلى سبيل المثال، يستثمر صانعو السياسات في تمويل برامج مثل أفق 2020، التي تهدف إلى تحفيز الأبحاث متعددة التخصصات. ومع ذلك، فإنّ العمليات المعرفية التي تؤدي إلى الوصول إلى بحث فعّال متعدد التخصصات لا تُفهم جيدًا. يهدف هذا المقال إلى التوصّل إلى إبستيمولوجيا خاص بالأبحاث متعددة التخصصات (IDR)، وبوجه خاص الأبحاث متعددة التخصصات التي تهدف إلى حل مشكلات "العالم الواقعي". ثمة تركيز على مسألة: لماذا يواجه الباحثون صعوبات معرفية وإدراكية في إجراء الأبحاث متعددة التخصصات. واستنادًا إلى دراسة الأدب التربوي، نستنتج أنّ التعليم العالي يفتقد الأفكار الواضحة حول إبستيمولوجيا الأبحاث متعددة التخصصات، وبالتالي حول كيفية تعليمها. يُعتقَد أنّ الافتقار إلى الاهتمام الفلسفي في إبستيمولوجيا الأبحاث متعددة التخصصات يرجع إلى الأنموذج "الفلسفي" للعلم (الذي يُسمّى "الأنموذج الفيزيائي للعلم")، الذي يمنعنا من التعرُّف على التحديات المعرفية الجدّية في الأبحاث متعددة التخصصات في فلسفة العلم، إضافةً إلى تعليم العلم والبحث العلمي. وهذا الأنموذج الفلسفي البديل المقترح (المسمّى "أنموذجا هندسيا للعلم") يقتضي وجود افتراضات فلسفية مسبقة بديلة فيما يتعلّق بجوانب مثل هدف العلم، وطبيعة المعرفة، والمعايير المعرفية والبراغماتية

* نُشِر المقال الأصل باللغة الإنجليزية، انظر:
Mieke Boon, Sophie Van Baalen, "Epistemology for interdisciplinary research – shifting philosophical paradigms of science," Euro Jnl Phil Sci, Vol. 9, No.16 (2019), https://doi.org/10.1007/s13194-018-0242-4
وقد مُنحت مجلة تجسير حق ترجمته إلى اللغة العربية. تُرجم المقال بسبب أهمية العلاقة بين الإبستيمولوجيا والأبحاث متعددة التخصصات. لا يزال التعليم العالي والبحث العلمي يفتقران إلى بناء إبستيمولوجيا خاص بالأبحاث متعددة التخصصات، ويواجهان مشكلات في تدريسه. تُبنى التخصصات العلمية على المعرفة، وهذه المعرفة محددة من خلال خصوصيات كل فرع معرفي. ولفهم كيفية بناء المعرفة يلجأ الباحثون إلى استخدام أدوات معرفية يطلقون عليها "سقّالات ما وراء إدراكية" تساعدهم في أداء المهام المتعلّقة بالمعرفة، وفهم آلية إنتاجها وتحليلها. تُعَدُّ الأبحاث متعددة التخصصات ضرورية للارتقاء بالمعرفة العلمية، إذ يمكن للباحثين الجمع بين معارفهم وخبراتهم لتطوير نظريات ونماذج جديدة تساعد في تفسير الظواهر العلمية المعقدة. لا شك أنّ ثمة صعوبات معرفية تواجه الباحثين أثناء إجراء الأبحاث متعددة التخصصات. يناقش المقال كون هذه الصعوبات ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالمعتقدات الفلسفية السائدة حول العلم. ولفهم علاقة المعرفة بالعلم والبحث العلمي، يبحث المؤلّف في أنموذجين (فيزيائي وهندسي)، إذ يمنعنا الأول من إدراك التحديات المعرفية التي تواجهنا حين ننتقل إلى الأبحاث البينية، في حين يساعدنا الثاني على رؤية المعرفة كمجموعة من الأدوات التي تساعدنا في إجراء المهام المطلوبة والوصول إلى الأبحاث المفيدة.

** قسم الفلسفة، جامعة توينتي، أنسخيديه، هولندا.

لقبول المعرفة، ودور الأدوات التكنولوجية فيها. يفترض هذا الأنموذج الفلسفي البديل إنتاج المعرفة من أجل وظائف معرفية مثل هدف العلم، ويفسّر "المعرفة" (كالنظريات والنماذج والقوانين والمفاهيم) على أنها "أدوات معرفية" يجب أن تسمح بإجراء مهام معرفية يؤديها عملاء معرفيون، بدلًا من تفسير المعرفة على أنها "تمثيلات" لجوانب من العالم تُمثَّل بموضوعية وبمعزل عن الطريقة التي بُنيت فيها. ينطوي الأنموذج الهندسي للعلم على أنّ المعرفة تتشكّل بثبات من خلال آلية بنائها. كما أنّ الطريقة التي تبني فيها "التخصصات"، (أو الميادين) العلمية للمعرفة تسترشد بخصوصيات التخصص، التي يمكن تحليلها من خلال "المنظورات التخصصية". وهذا يعني أنّ المعرفة، و"الاستخدامات المعرفية" للمعرفة، لا يمكن فهمها دون فهم كيفية بناء المعرفة. وعليه، يحتاج الباحثون العلميون إلى ما يُسمّى "سقّالات ما وراء إدراكية" للمساعدة في تحليل كيفية إنشاء "المعرفة" وكيفية إعادة بنائها، وكيف تؤدي التخصصات المتنوعة ذلك بطريقة مختلفة. في الأنموذج الهندسي للعلم، يمكن أيضًا تفسير هذه الدعامات ما وراء الإدراكية على أنها أدوات معرفية، ولكنها في هذه الحالة أدوات توجّه "كيفية" إنتاج المعرفة وتمكينها وتقييدها من حيث التحليل والتعبير (أي شرح الجوانب المعرفية لإجراء الأبحاث). كما تساعد الدعامات ما وراء الإدراكية في الأبحاث متعددة التخصصات في التواصل بين التخصصات، الذي يهدف إلى تحليل كيفية بناء التخصص للمعرفة وكيفية التعبير عنها.

الكلمات المفتاحية: تعددية التخصصات، حل المشكلات، رؤى إبستيمولوجية، مصفوفة تخصصية، كون (Kuhn)، منظورات تخصصية، الأنموذج الهندسي للعلم، علوم هندسية، التعليم العالي، الخبرة، مهارات ما وراء إدراكية، مهارات إدراكية عالية المستوى، سقّالات ما وراء إدراكية

للاقتباس: بون، ميكي وفان بالي، صوفي. "إبستيمولوجيا الأبحاث متعددة التخصصات: تغيُّر النماذج الفلسفية للعلوم"، ترجمة باسل المسالمة، **مجلة تجسير لدراسات العلوم الإنسانية والاجتماعية البينية**، المجلد السابع، العدد 1 (2025): 193-226. https://doi.org/10.29117/tis.2025.0214

© 2025، المسالمة (مترجم)، الجهة المرخص لها: مجلة تجسير، دار نشر جامعة قطر. نُشرت هذه المقالة البحثية وفقًا لشروط Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). تسمح هذه الرخصة بالاستخدام غير التجاري، وتنبغي نسبة العمل إلى صاحبه، مع بيان أي تعديلات عليه. كما تتيح حرية نسخ، وتوزيع، ونقل العمل بأي شكل من الأشكال، أو بأي وسيلة، ومزجه وتحويله والبناء عليه، طالما يُنسب العمل الأصلي إلى المؤلف. https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

Tajseer
for Interdisciplinary Studies in Humanities and Social Sciences

Submitted: 05 February 2025 | Reviewed: 04 March 2025 | Accepted: 24 March 2025

OPEN ACCESS

Translation

Epistemology for Interdisciplinary Research – Shifting Philosophical Paradigms of Science

Authored by: Mieke Boon and Sophie Van Baalen*

Translated by: Bassel Almasalmeh

Associate Professor, English Department, Faculty of Arts and Humanities, Damascus University

basselalmasalmeh@gmail.com

Abstract

In science policy, it is generally acknowledged that science-based problem-solving requires interdisciplinary research. For example, policy makers invest in funding programs such as Horizon 2020 that aim to stimulate interdisciplinary research. Yet the epistemological processes that lead to effective interdisciplinary research are poorly understood. This article aims at an epistemology for interdisciplinary research (IDR), in particular, IDR for solving 'real-world' problems. Focus is on the question why researchers experience cognitive and epistemic difficulties in conducting IDR. Based on a study of educational literature it is concluded that higher-education is missing clear ideas on the epistemology of IDR, and as a consequence, on how to teach it. It is conjectured that the lack of philosophical interest in the epistemology of IDR is due to a philosophical paradigm of science (called a physics paradigm of science), which prevents recognizing severe epistemological challenges of IDR, both in the philosophy of science as well as in science education and research. The proposed alternative philosophical paradigm (called an engineering paradigm of science) entails alternative philosophical presuppositions regarding aspects such as the aim of science, the character of knowledge, the epistemic and pragmatic criteria for accepting knowledge, and the role of technological instruments. This alternative philosophical paradigm assume the production of knowledge for epistemic functions as the aim of science, and interprets 'knowledge' (such as theories, models, laws, and concepts) as epistemic tools that must allow for conducting epistemic tasks by epistemic agents, rather than interpreting knowledge as representations that objectively represent aspects of the world

independent of the way in which it was constructed. The engineering paradigm of science involves that knowledge is indelibly shaped by how it is constructed. Additionally, the way in which scientific disciplines (or fields) construct knowledge is guided by the specificities of the discipline, which can be analyzed in terms of disciplinary perspectives. This implies that knowledge and the epistemic uses of knowledge cannot be understood without at least some understanding of how the knowledge is constructed. Accordingly, scientific researchers need so-called metacognitive scaffolds to assist in analyzing and reconstructing how 'knowledge' is constructed and how different disciplines do this differently. In an engineering paradigm of science, these metacognitive scaffolds can also be interpreted as epistemic tools, but in this case as tools that guide, enable and constrain analyzing and articulating how knowledge is produced (i.e., explaining epistemological aspects of doing research). In interdisciplinary research, metacognitive scaffolds assist interdisciplinary communication aiming to analyze and articulate how the discipline constructs knowledge.

Keywords: Interdisciplinarity; Problem-solving; Epistemological views; Disciplinary matrix; Kuhn; Disciplinary perspectives; Engineering paradigm of science; Engineering sciences; Higher education; Expertise; Metacognitive skills; Higher-order cognitive skills; Metacognitive scaffolds

Cite this article as: Boon, Mieke and Van Baalen, Sophie. "Epistemology for Interdisciplinary Research – Shifting Philosophical Paradigms of Science." trans. Bassel Almasalmeh, *Tajseer Journal for Interdisciplinary Studies in Humanities* https://doi.org/10.29117/tis.2025.0214 .193-226 .*Science*, Vol. 7, Issue 1 (2025), pp *and Social*

© 2025, Almasalmeh (trans.), licensee, Tajseer & QU Press. This article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0), which permits non-commercial use of the material, appropriate credit, and indication if changes in the material were made. You can copy and redistribute the material in any medium or format as well as remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited. https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

1. مقدمة

1.1 خلفية

من المتوقع أن تكون معظم الأبحاث العلمية الحالية في مجال العلوم الطبيعية والطبية والهندسية مفيدة في حل مشكلات محددة في "العالم الحقيقي"، مثل تلك الموجودة في مجال الزراعة والصناعات الغذائية، التكنولوجيا الطبية (الحيوية) والصيدلية، تكنولوجيا المعلومات والاتصالات (ICT)، النقل، الهندسة المدنية والاستدامة، قضايا التنبؤ بالطقس والمناخ، السلامة والطب الشرعي، تكنولوجيا الطاقة والمواد ذات التكنولوجيا العالية (النانو). عادةً ما تكون مشكلات العالم الحقيقي معقدة، ويشدّد فلاسفةُ العلوم على أنَّ هذا الأمر يتطلّب أبحاثًا متعددة التخصصات أو عابرة للتخصصات لحلّها، كما نجد لدى عدد من الفلاسفة[1] (ثمة تأكيد لعقود خلت، خارج نطاق فلسفة العلم، على الحاجة إلى الأبحاث متعددة التخصصات لحل مشكلات العالم الواقعي، فضلًا عن التغيّرات المرتبطة بها في بنية الجامعات وأنظمة التعليم العالي[2]. أفاد هؤلاء المؤلفون أيضًا، المتخصصون في السياسات العلمية ودراسات التعليم، أنّ محاولات تعزيز

1 Jan C. Shmidt, "towards a philosophy of interdisciplinarity," *Poiesis and Praxis,* Vol. 5, No.1 (2008), pp. 53-69; Jan C. Schmidt, "What is a problem? On problem-oriented interdisciplinarity," Poiesis & Praxis, Vol.7, No. 4 (2011), pp.53-69; Uskali Mäki, *"Philosophy of interdisciplinarity. What? Why? How?" European Journal for Philosophy of Science,* Vol. 6, No.3 (2016), pp. 327-342; Henrik Thorén, "The Hammer and the Nail: Interdisciplinarity and Problem Solving in Sustainability Scince," PhD thesis, Lund University (2015), pp.1-356; Henrik Thorén & Johannes Persson, "The Philosophy of Interdisciplinarity: Sustainability Science and Problem-Feeding," *Journal for General Philosophy of Science*, Vol. 44, No.2 (2013), pp. 337-355; David Alvargonzález, "Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, Transdisciplinarity, and the Sciences," International Studies in the Philosophy of Science, Vol. 25, No. 4 (2011), pp.387-403; Wolfgang Krohn, "Interdisciplinary cases and disciplinary knowledge," in: Robert Frodeman, Julie Thompson Klein & Carl Mitcham (eds.), The Oxford Handbook of Interdisciplinarity (Oxford: Oxford University Press, 2010), pp. 32-49; Robert Frodeman, "Introduction," in: Robert Frodeman, Julie Thompson Klein & Carl Mitcham (eds.), The Oxford Handbook of Interdisciplinarity (Oxford: Oxford University Press, 2010), pp. 3-20; Michael O'Rourke, Stephen Crowley, Chad Gonnerman, "On the nature of cross-disciplinary integration: A philosophical framework," *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, Vol. 56 (2016), pp.62-70.

2 كما نجد لدى الفلاسفة وبعض الجهات:
julie thompson klein, *Interdisciplinarity: History, theory, and practice* (Detroit, Wayne State University Press, 1990); Leo Apostel, Guy Berger, Asa Briggs & Guy Michaud, Interdisciplinarity of Teaching and Research in Universities, *Paris: Organization for Economic Cooperation and Development* (1972); Erich Jantsch, "Inter- and transdisciplinary university: A systems approach to education and innovation," *Higher Education*, Vol. 1, No. 1 (1972), pp. 7-37; julie thompson klein, *Crossing Boundaries Knowledge, Disciplinarities, and Interdisciplinarities* (Charlottesville: University Press of Virginia, 1996); julie thompson klein, Conceptual foundations for multidisciplinary thinking (California: Stanford University Press, 1995); John D. Aram, "Concepts of Interdisciplinarity: Configurations of Knowledge and Action," Vol. 57, No. 4 (2004), pp. 379-412; National Academy of Sciences, National Academy of Engineering, Institute of Medicine, Policy and Global Affairs, Committee on Science, E., and Public Policy, Committee on Facilitating Interdisciplinary Research, *Facilitating interdisciplinary research (*Washington, DC: The National Academies Press, 2005); G. Hirsch Hadorn, Christian Pohl & Gabriele Bammer, "Solving problems through transdisciplinary research," in: Robert Frodeman (Ed.), The Oxford Handbook of Interdisciplinarity (Oxford: Oxford University Press, 2010), pp. 431-452; Gabriele Bammer, Disciplining *Interdisciplinarity - Integration and Implementation Sciences for Researching Complex Real-World Problems* (Canberra: Australian National University Press, 2013); and see overviews by Jerry Jacobs and Scott Frickel, "Interdisciplinarity: A Critical Assessment," *Annual Review of Sociology*, Vol. 35, No. 1 (2009), pp. 43-65; William H. Newell, "A Theory of Interdisciplinary Studies," *Issues in Integrative Studies*, Vol. 19 (2001), pp.1-25; William H. Newell, "The state of the field: Interdisciplinary theory," *Issues in Interdisciplinary Studies*, Vol. 31 (2013), pp. 22-43.

الأبحاث متعددة التخصصات في الجامعات، وتدريب طلاب الجامعات على إجراء هذا النوع من الأبحاث لا تؤدي غالبًا إلى النتائج المرجوّة. فالباحثون الذين يتمتعون بخلفية في علم الاجتماع أو السياسة غالبًا ما يفسّرون الصعوبات التي يواجهونها في إنشاء أبحاث متعددة التخصصات وفي التعليم أيضًا من حيث تنظيمها، ويميلون إلى رفض العوامل المعرفية والإدراكية.

تُدرَس الأبحاث متعددة التخصصات في فلسفة العلوم، ولكن مع قليل من الاستثناءات قلّما تُجرى أيّ أبحاث فلسفية حول "سبب الصعوبة البالغة التي نجدها في الأبحاث متعددة التخصصات"[3]. ينطبق الأمر نفسه على الأبحاث التعليمية، التي تُجرى فيها كل من الدراسات المفاهيمية والأبحاث التجريبية في برامج التعليم العالي التي تُدرِّب الطلاب على المقاربات متعددة التخصصات (أو العابرة للتخصصات)، إذ يُولَى اهتمامٌ قليل جدًا أيضًا في هذه الدراسات للصعوبات المعرفية والإدراكية التي يواجهها الباحثون، ولا سيما فيما يتعلّق بمسألة ما إذا كانت القدرة على "إجراء" أبحاث متعددة التخصصات تتطلّب فهمًا خاصًّا للعلوم والمهارات الإدراكية المرتبطة بها.

تتألّفُ أطروحة هذا المقال من جزأين. الجزء الأول هو أنّ إهمال الصعوبات الإدراكية والمعرفية في "إجراء" الأبحاث متعددة التخصصات، يرجع إلى حدٍّ ما، على الأقل، إلى المعتقدات الفلسفية الخاصة بالعلم، التي لا تزال توجّه التعليم العالي للباحثين والمهنيين. تتطلّب معالجة هذا الإدعاء شرحًا نظريًا لصعوبة إجراء الأبحاث متعددة التخصصات، وإظهار أنّ الصعوبات الإدراكية والمعرفية مرتبطة بالافتراضات الفلسفية المسبقة حول العلم، فيما يتعلّق بالموضوعات التقليدية مثل الاختزالية أو التبسيطية، ووحدة العلم، والإبستيمولوجيا بوصفها "دليلًا على الاعتقاد الحقيقي المسوَّغ"، وتمييز سياق الاكتشاف من سياق التسويغ. وللتعامل مع الصعوبات الإدراكية والمعرفية، سوف نجادل بأنه يجب البحث عن بدائل لهذه الافتراضات المسبقة التي تناسب فهمنا على نحو أفضل للأبحاث متعددة التخصصات.

الجزء الثاني من فرضيتنا هو أنّ وجهة النظر الفلسفية البديلة للعلم يمكن أن تستند إلى فكرة كون[4] (Kuhn) عن المصفوفات التخصصية، ولا سيما عن النسخة الموسَّعة من العناصر التي تُشكّل المصفوفة. كانت هذه المصفوفة الموسَّعة تُستخدَم للتعبير عن رؤيتين فلسفيتين مختلفتين للعلم، هما "الأنموذج الفيزيائي للعلم" مقابل "الأنموذج الهندسي للعلم"[5]. كانت الغاية من التعبير عن هذه النماذج هي تفسير الطابع المتغيّر للعلوم الطبية الحيوية مثل "بيولوجيا النُّظُم" مقارنةً، على سبيل المثال، بالكيمياء الحيوية الكلاسيكية. ووجد المفكرون أنّ الأنموذج الهندسي للعلم يناسب بيولوجيا النُّظُم على نحو أفضل من الأنموذج الفيزيائي التقليدي. سنعمد من خلال توسيع هذه المقاربة إلى تأكيد أنّ "الأنموذج الهندسي للعلم" يناسب أيضًا على نحو أفضل فهم الأبحاث العلمية متعددة التخصصات في السياقات التي تتناول حل مشكلات "العالم الواقعي". من الممكن أن يعيد الأنموذج الهندسي للعلم أيضًا النظر في الافتراضات المسبقة المرتبطة بالتعليم في البحث متعدد التخصصات، التي سيتم إثباتها وتوضيحها من خلال اقتراح تفسيرات مثرية لبعض المفاهيم ذات الصلة بها، مثل "المنظورات التخصصية" و"المهارات الإدراكية عالية المستوى" (التي تُسمّى أيضًا "مهارات ما وراء إدراكية") و"الأطر المفاهيمية" (ولا سيما ما يُسمّى "الدعامات ما وراء الإدراكية").

3 Miles MacLeod, "What makes interdisciplinarity difficult? Some consequences of domain specificity in interdisciplinary practice," Synthese, Vol. 195 (2016), pp. 1–24; Thorén, the hammer and the nail: interdisciplinarity and problem solving in sustainability science.

4 توماس صموئيل كون (1922-1996): يُعَدُّ من أهم المفكرين الأمريكيين الذين كتبوا عن تاريخ العلوم وفلسفتها، كما أدخل إضافات وأفكارًا مهمة جديدة إلى فلسفة العلوم. (المترجم). Thomas T. Kuhn, *The structure of scientific revolutions* (Chicago:; The University of Chicago Press, 2nd ed., 1970).

5 Mieke Boon, "An engineering paradigm in the biomedical sciences: Knowledge as epistemic tool," *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, Vol. 129, (2017a), pp. 25-39.

يهدف هذا المقال عمومًا إلى تطوير مفردات (وإطار مفاهيمي وفلسفي) يتيح دراسة فلسفية مُفصَّلة للممارسات البحثية متعددة التخصصات، ولا سيما في سياق حل مشكلات "العالم الواقعي"، التي تتطلّب أن نأخذ في الحسبان المهام المعرفية والتحديات الإدراكية على أنها جانب متأصّل في هذه الممارسات، وللإشارة أيضًا إلى اتجاهات تتناول كيفية إسهام فلاسفة العلم في التعليم الأكاديمي. وبعد تطوير هذه المفردات، يُستخدَم الأدب في المجالات العلمية بدءًا من فلسفة العلم، وفلسفة التعليم، ودراسات السياسات العلمية، إلى دراسات العلوم والهندسة في التعليم (العالي).

1.2 البنية

إنّ بنية هذا المقال هي على النحو الآتي. يركّز القسم الثاني على التخصصات العلمية التي تدرس الأبحاث متعددة التخصصات. ويبدو أنّ هذه الدراسات تركّز على الجوانب التنظيمية للأبحاث متعددة التخصصات، ولا تهتم كثيرًا بالصعوبات المعرفية والإدراكية لهذا النوع من الأبحاث على النحو الذي اختبره الباحثون[6]. من الواضح أنّ عدم الاهتمام هذا يرجع إلى تخصص هؤلاء العلماء (على سبيل المثال في السياسة العلمية)، ولكنه ينبع أيضًا من الاقتناع بأنّ التنظيم المناسب للأبحاث متعددة التخصصات يمكن أن يحل مشكلات هذه الأبحاث، وهو اعتقاد يمكن أن نختلف فيه. معظم العلماء يتصوّرون أنّ الأبحاث متعددة التخصصات تهدف إلى "تكامل" المعرفة، وهو ما نَعُدُّه الجزء الأكثر تحديًا من الناحية المعرفية في الأبحاث متعددة التخصصات. سنوضّح ذلك من حيث ثلاث استعارات في الأبحاث متعددة التخصصات.

يتناول القسم الثالث نوع الخبرة التي نحتاج إليها في الأبحاث متعددة التخصصات، ويقدّم رؤى تعليمية ونتائج تجريبية حول تدريب الباحثين العلميين والمهنيين على الأبحاث متعددة التخصصات. كما يركّز هذا القسم على وجهات النظر حول دور المهارات ما وراءالإدراكية. يبدو أنه لم يُبذل كثيرٌ من الجهد لتدريب المهارات ما وراء الإدراكية، وهو ما شرحناه من حيث الآراء الفلسفية السائدة للعلوم التي توجّه تعليم العلوم، التي يسمّيها الباحثون التربويون النقديون وجهة النظر "الوضعية" للعلم.

يناقش القسم الرابع أولًا ادعاء أنّ الآراء الفلسفية التقليدية للعلم لا تفسّر "استخدامات" العلم على النحو الكافي، أي كيف "تُولِّد" الأبحاثُ العلمية المعرفةَ العلمية وكيف "تُطبِّقها" (أو، بوجه أعم، "الموارد المعرفية") لحل مشكلات العالم الواقعي. يتضح ذلك من حقيقة أنّ فلسفة العلم التقليدية تهتم كثيرًا بـ"وحدة العلم" مع النظر في الوقت نفسه إلى البحث متعدد التخصصات على أنه وسيلة لتحقيق الوحدة، ولكن ليس على أنه مسألة ذات صلة بالدراسة الفلسفية.

ومن ثَمَّ، سننتقل إلى الجزء الثاني من فرضيتنا، بدءًا من فكرة أنّ فلسفة العلم تؤكد وجهات النظر الفلسفية للعلم – التي نسمّيها النماذج "الفلسفية" للعلوم – وتُحدد الموضوعات التي تستحق الدراسة الفلسفية وكيفية دراستها. ونناقش أنّ الأنموذج الفيزيائي للعلم كان مهيمنًا في الفلسفة التقليدية للعلم، وهذا ما عزّز ربما وجهة نظر العلم في تعليم العلوم والبحث العلمي التي تهيمن عليها الفيزياء، وتعرقل الآن الأبحاث متعددة التخصصات؛ لأنها تنطوي على عدم فعالية الإبستيمولوجيا التي تُخفي أيضًا صعوبات إبستيمولوجية وإدراكية. يأتي مزيدٌ من الإبستيمولوجيا البديلة المناسبة من "أنموذج هندسي للعلم". وسنقدّم مخططًا لمصفوفة كون (Kuhn) الموسَّعة، التي تُستخدَم على أنها إطار مفاهيمي لتحليل الآراء الفلسفية للعلم، والآراء الفلسفية للنموذجين الفلسفيين اللذين يَنتُجان عن "استخدام" هذه المصفوفة على أنها إطارٌ للتعبير عن الآراء الفلسفية للعلم[7]. ثمة أمرٌ أساسي هنا وهو الفرق بين العلم الذي يُرى على أنه تسلسل هرمي مُوحَّد، أو شبكة من النظريات (في الأنموذج الفيزيائي)، مقابل "المعرفة" التي تُرى على أنها أدوات معرفية بُنيت وشُكّلت في إطار

6 MacLeod, "What makes interdisciplinarity difficult? Some consequences of domain specificity in interdisciplinary practice."

7 Boon, "An engineering paradigm in the biomedical sciences: Knowledge as epistemic tool."

التخصصات العلمية، إذ يجب بناء أدوات معرفية لتكون مناسبة لاستخدامها على أنها موارد معرفية في أداء المهام المعرفية، تؤدي إلى نتائج معرفية جديدة في عمليات بحث علمي مستمرة (في الأنموذج الهندسي). وبعدئذٍ، يُقال إنّ الطريقة التي تُبنى بها "المعرفة" يحددها "المنظور التخصصي"، الذي يُجري الخبراء أبحاثهم في إطاره. اقتُرِحَت فكرة كون (Kuhn) التقليدية لـ"المصفوفات التخصصية" على أنها إطار عمل لتحليل المنظورات التخصصية لفروع المعرفة.

إنّ قبول الفكرة المطروحة في الأنموذج الهندسي بأنّ "النتائج المعرفية" كالنماذج العلمية تُشكَّل من خلال منظور تخصصي محدد لتخصص نُطلق عليه (D_A)، ومن ثَمَّ تستلزم بثبات خصائص التخصص – بدلًا من أن تكون النماذج العلمية أكثر أو أقل موضوعية، أو تمثيلات "حرفية" لجوانب من العالم، كما هي الحال في المثل المعرفي الأعلى للأنموذج الفيزيائي – الذي من شأنه أن يفسّر سبب لماذا لا تتحدث عادةً نتائج المعرفة عن نفسها في التخصص (D_A)، ولا يمكن أن يفهمها أو يستخدمها الخبراء في تخصص آخر (D_B) بطريقة مباشرة. ويخلص إلى الآتي: (أ) تشير الإبستيمولوجيا التي تَنتُج عن الأنموذج الهندسي إلى أسباب أساسية للصعوبات المعرفية والإدراكية التي نهدف إلى تفسيرها، و(ب) أنّ هذا التفسير لا يمكن التعرُّف عليه بسهولة ولا تقديره في الأنموذج الفيزيائي للعلم.

أخيرًا، في القسم الخامس، لدى توسّعنا في الأنموذج الهندسي للعلم حيث تُفسَّر الموارد المعرفية (مثل النظريات والنماذج والقوانين والمفاهيم) بأنها "أدوات معرفية" لأداء المهام المعرفية، سنقترح أيضًا تفسير الدعامات ما وراء الإدراكية (التي جرت مناقشتها في هذا المقال) على أنها أدوات معرفية. على غرار الطريقة التي تُفسَّر بها "المعرفة" على أنها أداة معرفية وكيف تسمح وتوجّه وتقيّد، على سبيل المثال، التفكير في جوانب من العالم المادي، فإنّ الدعامات ما وراء الإدراكية التي تُفسَّر على أنها أدوات معرفية تسمح بالتفكير في الجوانب (المعرفية) للممارسة العلمية وتوجّهه وتُقيّده، مثل كيف يُشكِّل المنظور التخصصي للتخصص (D_A) إنتاج "المعرفة" في التخصص (D_A). هذه الفكرة تصويرية إلى حدٍّ ما، ولكنها تهدف إلى جعل الإبستيمولوجيا الناشئة عن الأنموذج الهندسي للعلم معقولة، ولا تفسّر الصعوبات الإبستيمولوجية والإدراكية للأبحاث متعددة التخصصات فحسب، بل تشير أيضًا إلى اتجاهات التخفيف من هذه الصعوبات. وهكذا، فإنّ الإبستيمولوجيا هذه واعدة جدًا أيضًا لتطوير الدعامات المعرفية التي تساعد في التعلُّم وإجراء البحث العلمي.

1.3 المصطلحات

سنستخدم في هذا المقال مصطلحات مثل "معرفة" و"موارد معرفية" و"نتائج معرفية" على نحو متبادل. وكثيرًا ما تُوضَع كلمة "معرفة" في النص بين علامتي اقتباس للإشارة إلى أنها تشمل جميع أنواع المعرفة العلمية الممكنة، مثل المبادئ الأساسية – والمعرفة النظرية والتجريبية للظواهر – والنماذج العلمية، والقوانين، والمفاهيم، و"الأوصاف" الخاصة بالظواهر (غير القابلة للرصد) – والمعرفة العملية بالظواهر (القابلة للرصد) (على سبيل المثال، عن كيفية توليدها أو التأثير فيها من الناحية السببية من خلال الظروف المادية أو التكنولوجية، راجع Boon)[8] – والمعرفة النظرية بعمل الأدوات التكنولوجية وأجهزة القياس (التي غالبًا ما تكون ممثّلة في نماذج الأداة) – والمعرفة بالمنهجيات والإستراتيجيات المعرفية في البحث العلمي.

نهدف في هذا المقال إلى إضافة "المعرفة ما وراء الإدراكية" (أي العنصر الأخير في القائمة المشار إليها أعلاه)، وهي ليست المعرفة عن "العالم الواقعي"، بل عن كيفية التعلّم وكيفية إجراء البحث العلمي. وهذا الأمر يستلزم معرفة بالآراء المعرفية (على سبيل المثال، كما جرى تدريسها في دورات فلسفة العلوم)، فضلًا عن معرفة المنهجيات والاستراتيجيات المعرفية. يُمثَّل

8 Mieke Boon, "Measurements in the engineering sciences: An epistemology of producing knowledge of physical phenomena," In: Nicola Mößner & Alfred Nordmann (Eds.), *Reasoning in measurement* (London and New York: Routledge, 2017c), pp. 203-219.

هذا النوع من المعرفة من خلال ما يُسمّى بالدعامات ما وراء الإدراكية (التي تُسمّى أيضًا المصفوفات أو الأطر)، التي يمكن استخدامها في التعلُّم وإجراء الأبحاث (متعددة التخصصات).

وأخيرًا، "الموارد المعرفية" هي "المعرفة" المستخدَمة في توليد "المعرفة" الجديدة، في حين أنّ "النتائج المعرفية" هي "المعرفة" المتولّدة. يُشار أيضًا إلى النتائج المعرفية باسم "الكيانات المعرفية". يؤكد المصطلحان الأولان أنه في هذا المقال يُعَدُّ البحث العلمي عملية لا تنتهي أبدًا لإنتاج "المعرفة" واستخدامها، في حين يؤكد "الكيان المعرفي" أنّ المعرفة تُستخدَم بـ"طريقة تشبه الأدوات".

يُعبّر الأنموذج الهندسي للعلم المقترح في هذا المقال عن وجهة نظر البحث العلمي، الذي يُنتِجُ فيه الباحثون العلميون "معرفة" يمكن أن تُستخدَم في أداء المهام المعرفية لأغراض معرفية محددة (داخل العلم أو خارجه)، بدلًا من أن يكون العلم هو البحث عن معرفة كاملة وحقيقية.

1. دراسات الأبحاث متعددة التخصصات

1.1 تعريفات الأبحاث متعددة التخصصات ومتجاوزة التخصصات

تُعزَّز الأبحاث متعددة التخصصات وتُجرى وتُدار وتُنظَّم وتُدرَّس من أجل دراسة هذه الجوانب في مجالات علمية بدءًا من دراسات السياسة العلمية، ودراسات الحوكمة، ودراسات العلوم والتكنولوجيا والمجتمع، وتعليم العلوم، والعلوم المعرفية، وفلسفة العلوم، وانتهاءً بالإبستيمولوجيا الاجتماعية.

شدّد جانتش (Jantsch) في السبعينيات من القرن العشرين على دور الجامعات في تحقيق الأهداف الاجتماعية، ودعا من ثَمَّ إلى إصلاح الجامعات والتعليم الجامعي. تتطلّب التغييرات في المجتمع أن تطوّر الجامعة مقاربات متعددة التخصصات على نحو متزايد، ويجب أن تنعكس هذه النُّهُج أيضًا في التعليم الجامعي[9]. كان التركيز الأكاديمي لجانتش هو الهيكل "التنظيمي" للجامعات، وكيف يمكن أن يتحقق تداخل التخصصات لتلبية أهداف المجتمع من خلال إصلاح هذا الهيكل.

أحد أهداف الدراسات في تداخل التخصصات هو التوصّل إلى "تعريف" صحيح للبحث متعدد التخصصات[10]. والتعريف المتفق عليه بالإجماع، الذي جرى وضعه في التسعينيات من القرن العشرين، هو الآتي: "إنه عملية الإجابة عن سؤال، أو حل مشكلة، أو معالجة موضوع واسع النطاق أو **معقد** بحيث يتم التعامل معه بطريقة مناسبة من خلال تخصص واحد أو مهنة واحدة ... يعتمد [البحث متعدد التخصصات] على **منظورات تخصصية**، **ويدمج** رؤاها في **منظور أكثر شمولًا**"[11]. يمكن للتعريفات أن تختلف فيما يتعلّق بجوانب مثل تعريف المشكلة، ومستوى التكامل، والعناصر المتكاملة، على سبيل المثال، ليست القوانين والنظريات فحسب، بل المفاهيم، والأطر النظرية، والمنهجيات، والإجراءات، والأدوات، والبيانات[12]. يتفق معظم المؤلّفين على أنّ "تعقيد" مشكلة ما (إما مشكلة في العلم أو مشكلة في "العالم الواقعي") هو السبب في أنّ البحث متعدد التخصصات ضروري[13].

9 Janstch, "Inter- and Transdisciplinary Unversity."

10 Newelle, "The state of the field," p. 24.

11 Ibid, p. 24.

12 Apostel et al., "Interdisciplinary problems and research in universities"; Klein, *Crossing boundaries*; Sally W. Aboelela, Elaine Larson, Suzanne Bakken, Olveen Carrasquillo, Allan Formicola, Sherry A. Glied, Janet Haas, Kristine M. Gebbie, "Defining interdisciplinary research: conclusions from a critical review of the literature," *Health Services Research*, Vol. 42 (2007), pp. 329-346; Katri Huutoniemi, Julie T. Klein, Henrik Bruun, Janne Hukkinen, Analyzing interdisciplinarity: Typology and indicators, *Research Policy*, Vol. 39, No.1 (2010), p. 79-88.

13 وعلى العكس من ذلك، يؤكد كلاين (1995) أنّ تعقيد المشكلة لا يمكن تعريفه في كثير من الأحيان إلا حين تتم دراستها من منظورات متعددة.

يرى العديد من المؤلّفين أنّ "تجاوز التخصصات" هو شكلٌ أعلى من أشكال تداخل التخصصات بمعنى "أنه يتناول مشكلات أكثر تعقيدًا"، كالمشكلات التي يجري تطوير حلول تكنولوجية لها، والتي تحتاج أيضًا إلى أخذ الجوانب المجتمعية والاقتصادية والأخلاقية وغيرها من الجوانب الإنسانية في الحسبان. وهذه الجوانب تتطلّب عادةً تجاوز حدود التخصصات الأكاديمية[14]. يصرّح أنياس[15]، على سبيل المثال، أنّ "تجاوز التخصصات هو مرحلة أعلى من التفاعل التخصصي. وينطوي هذا التجاوز على إطار شامل ينظّم المعرفة بطريقة جديدة، ويستند إلى التعاون بين مختلف قطاعات المجتمع وأصحاب المصلحة المتعددين لمعالجة القضايا المعقدة حول خطاب جديد". ومع ذلك، فإنّ كثيرًا من الأمثلة التي تمتثل لهذا التعريف لا تزال تُسمّى متعددة التخصصات16، ولا سيما في أدبيات التعليم الهندسي17، وفي الأدب الفلسفي[18].

باختصار، تركّز دراساتٌ كثيرة على العقبات التنظيمية والمؤسسية التي تعترض طريق البحث متعدد التخصصات، بدلًا من العقبات المعرفية والإدراكية[19]. ومع ذلك، فإنّ "تكامل المعرفة" (أو على نطاق أوسع، "الموارد المعرفية") هو محور معظم "تعريفات" البحث متعدد التخصصات ومتجاوز التخصصات، التي تهدف إلى إعطاء التوجيه لـ"تنظيمها". وربما يكون هذا التكامل هو الجزء الأصعب بالنسبة إلى الباحثين، ويتطلّب قدرات أو "خبرات" محددة.

1.2 طرق تنظيم الأبحاث متعددة التخصصات

اقترح العديد من المؤلّفين طرقًا لتحقيق "تنظيم" (داخلي) للأبحاث متعددة التخصصات من خلال تحديد خطوات في

14 Julie Thompson Klein, "A taxonomy of interdisciplinarity," in: Robert Frodeman, Julie Thompson Klein & Carl Mitcham (eds.), *Oxford handbook of interdisciplinarity* (Oxford: Oxford University Press, 2010), pp. 15-30; Hirsch-Hadorn, Pohl & Bammer, "Solving problems through transdisciplinary research"; Alvargonzález, Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, Transdisciplinarity, and the sciences"; Matthias Bergmann, "The integrative approach in transdisciplinary research," in: Thomas Jahn, Tobias Knobloch, Wolfgang Krohn, Christian Pohl, and Engelbert Schramm (eds.), *Methods for transdisciplinary research - A primer for practice* (Frankfurt/New York: Campus Verlag, 2012), pp. 22-49; Assumpta Aneas, "Transdisciplinary technology education: A characterisation and some ideas for implementation in the university," *Studies in Higher Education*, Vol. 40, No. 9 (2015), pp. 1715-1728.

15 Aneas, "Transdisciplinary technology education: A characterisation and some ideas for implementation in the university."

16 يستخدم بعض المؤلّفين، مثل شميدت (2008 – 2011)، مصطلحي التعددية التخصصية والتخصصية المتجاوزة على نحو متبادل.

17 National Academy of Science et al., "facilitating interdisciplinary research"; Svetlana Nikitina, "Three strategies for interdisciplinary teaching: Contextualizing, conceptualizing, and problem-centring," *Journal of Curriculum Studies*, Vol. 38, No. 3 (2006), 251-271; Dorina Gnaur, Kjeld Svidt, Maria Thygesen, "Developing students' collaborative skills in interdisciplinary learning environments," *International Journal of Engineering Education*, Vol. 31, No. 1B (2015), pp.257-266; Antoine van den Beemt, Miles MacLeod, Jan van der Veen, Anne Van de Ven, Sophie van Baalen, Renate Klaassen, Mieke Boon, "Interdisciplinary engineering education: A review of vision, teaching, and support," *Journal of Engineering Education,* Vol. 109, No. 3 (2020).

18 Lisa R. Lattuca, *Creating Interdisciplinarity: Interdisciplinary Research and teaching among college and University Faculty* (Tennessee: Vanderbilt University Press, 2001); Robert Frodeman & Carl Mitcham, "New directions in Interdisciplinarity: Broad, deep, and critical," *Bulletin of Science, Technology & Society*, Vol. 27, No. 6 (2007), pp. 506-514; Patricia J Culligan & Feniosky Peña-Mora, "Engineering," in Robert Frodeman (ed.), *The Oxford handbook of interdisciplinarity* (Oxford: Oxford University Press, 2010), pp.147-160; Nancy Tuana, "Embedding philosophers in the practices of science: bringing humanities to the sciences," *Synthese*, Vol. 190 (2013), pp. 1955–1973; Lisa R. Lattuca, David B. Knight, Hyun Kyoung Ro, Brian J. Novoselich, "Supporting the development of Engineers' interdisciplinary competence," *Journal of Engineering Education*, Vol. 106, No. 1 (2017), pp. 71-97.

فيما يلي، سنقترح أنّ أهداف تدريس التخصصات المتعددة المعبَّر عنها في تعليم الهندسة والاستدامة تتوافق على نحو أفضل مع تعريف "تجاوز التخصصات".

19 Stephen Turner, "What are disciplines? And how is interdisciplinarity different," in: Peter Weingart & Nico Stehr (eds.), *Practising interdisciplinarity* (Toronto: University of Toronto Press, 2000), pp. 46-65; Jacobs & Frickel, "Interdisciplinarity"; V. Kelly Turner, Karina Benessaiah, Scott Warren & David M Iwaniec, "Essential tensions in interdisciplinary scholarship: navigating challenges in affect, epistemologies, and structure in environment–society research centers," Higher Education, Vol. 70. No.4 (2015), pp. 649-665; Newell, "the state of the field."

عملية البحث. كتب كل من كلاين[20]، وريبكو[21] وريبكو وشوستاك[22]، ومينكن وكيسترا[23] على سبيل المثال، معالجات في شكل كتب لعملية البحث متعدد التخصصات.

يبدو أنّ ثمة كثيرًا من التداخل بين الطرق الثلاث، ولا سيما بين كلاين وريبكو وريبكو وشوستاك، ولكن ثمة أيضًا فرقًا ملحوظًا فيما يتعلّق بهدف عمليات البحث متعدد التخصصات. ففي حين أنّ كلاين وريبكو وشوستاك يركّزون على تطوير فهم المشكلات المعقدة "خارج" إطار العلم، فإنّ مقاربة مينكن وكيسترا مُوجَّهة نحو المشكلات الموجودة "داخل" العلم24. إنّ طريقة مينكين وكيسترا مخلصة لكيفية فهم ممارسات البحث العلمي "الموجَّه نحو العلم" من الناحية التقليدية، وذلك بإدراج مراحل "صوغ "أسئلة" الأبحاث الفرعية و"افتراضاتها""، و"وضع أساليب البحث والتصميم"، و"جمع البيانات وتحليلها" ضمن بيئة متعددة التخصصات. إنّ مخططها، في الواقع، هو توسيع المنهجية الافتراضية الاستنتاجية المعروفة[25]. ولدى شرح الأبحاث متعددة التخصصات، فإنّ إضافاتها الثلاث مقارنةً بطريقة (HD) هي القرارات التي يجب اتخاذها حول التخصصات ذات الصلة – وإنشاء أو اختيار إطار نظري شامل تتكامل فيه التخصصات المشاركة – و"تكامل" النتائج والبصيرة. يُعَدُّ مخطط مينكن وكيسترا تقليديًا، بمعنى أنه يركّز على فرضية الاختبار، مع وجود رؤى نظرية متعددة التخصصات "داخل العلم" مثل النتيجة، في حين تركّز المخططات التي قدّمها كلاين وريبكو وريبكو وشوستاك على النتائج المرتبطة بالحلول لمشكلات "العالم الواقعي" التي يهدف مشروع البحث إلى طرحها.

1.3 استعارات التكامل: أحجية الصور المقطوعة، حل النزاعات، والتصميم الهندسي

تعكس طرق تنسيق عمليات البحث التي نوقشت أعلاه على نحو كافٍ التنظيم السليم لعمليات البحث متعدد التخصصات على النحو المعتمَد عادةً في مشروعات البحث الحالية[26]. ومع ذلك، يكمن قلقنا في كيفية فهم مسألة "ربط" "المعرفة" و"تكاملها" (أي "الموارد المعرفية") في هذه الطرق.

يمكن تمييز ثلاثة أنواع من الاستعارات فيما يتعلّق بربط المعرفة أو تكاملها: (أ) "استعارة أحجية الصور المقطوعة" التي يعني التكامل فيها أنّ أجزاء "المعرفة" تتناسب مع بعضها بعض دون تغييرها. (ب) "استعارة حل النزاعات"، التي تركّز

20 Klein, *Interdisciplinarity.*

21 Allen F. Repko, *Interdisciplinary research: Process and theory* (Thousand Oaks, CA: Sage, 2008).

22 Allen F. Repko & Rick Szostak, *Interdisciplinary Research: Process and Theory* (3rd ed.) (Los Angeles: Sage, 2017).

23 Steph Menken & Machiel Keestra, *An introduction to interdisciplinary research: Theory and practice* (Amsterdam: Amsterdam: University Press, 2016).

24 اقترح شميدت (2008, 2011) تصنيفًا للتمييز بين الأنواع المختلفة من المشكلات التي يتم تناولها في البحث متعدد التخصصات (ومتجاوز التخصصات). ويُسمّي شميدت هذا بالتخصصات المتعددة الموجَّهة نحو الأشياء، والتخصصات المتعددة الموجَّهة نحو النظرية، والتخصصات المتعددة الموجَّهة نحو الطريقة، مقابل التخصصات المتعددة الموجَّهة نحو حل المشكلات. ومثاله النموذجي على هذا الأخير هو علم الاستدامة، في حين تندرج المناهج متعددة التخصصات "الأداتية" في علوم الهندسة (التي تشكّل محور مقالتنا) ضمن فئة التخصصات المتعددة الموجَّهة نحو الطريقة. أما المحاولات الرامية إلى معالجة مشكلة الوحدة والترابطات داخل العلوم فتغطيها التخصصات المتعددة الموجَّهة نحو الأشياء (إذا كان شخصٌ ما يميل إلى موقف واقعي نحو العلم فيما يتعلّق بالوجود) أو التخصصات المتعددة الموجَّهة نحو النظرية (إذا كان الشخص يميل إلى موقف مناهض للواقعية ويركّز على الإبستيمولوجيا). ليس من نيتنا مناقشة هذا الأمر بالتفصيل، ولكن لغرضنا، من ناحية، فإنّ التعددية التخصصية الموجَّهة نحو المنهجية عند شميدت محدودة جدًا لوصف العلوم الهندسية، ومن ناحية أخرى فإنّ التعددية التخصصية الموجَّهة نحو المشكلات موجَّهة على نحو مفرط نحو القضايا المجتمعية، ومن ثَمَّ تخاطر بإهمال الصعوبات المعرفية والإدراكية المحددة للبحث متعدد التخصصات، الذي يهدف إلى حل مشكلات "العالم الواقعي" المعقدة. انظر:
Jan C. Schmidt "Towards a philosophy of interdisciplinarity," *Poiesis & Praxis*, Vol. 5, No. 1 (2008), pp. 53–69; "What is a problem? On problem-oriented interdisciplinarity," *Poiesis & Praxis*, Vol. 7, No. 4 (2011), pp. 249-274.

25 غالبًا ما يُشار في البيئات التعليمية إلى الطريقة الاستنتاجية الافتراضية باسم "الدورة التجريبية".

26 على سبيل المثال، في برامج البحث الوطنية والدولية، مثل برنامج هورايزون 2020 الأوروبي حول التحديات المجتمعية الكبرى:
https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/societal-challenges

على الخلافات الظاهرة التي يُفترض أنها تَنتُج عن الافتراضات المسبقة المخفية والخلط في المفاهيم الأساسية، كما هي الحال، على سبيل المثال، في الخطاب السياسي و"التواصل" لحل هذه الخلافات. (ج) استعارة "التصميم الهندسي" التي تركّز على "بناء" موارد معرفية من أجل إنجاز مهام معرفية خاصة تتطلّب عادةً اختراعات إبداعية شبيهة بالمصمم، وذلك "للجمع" بين قطع وأجزاء مترابطة، ولكنها غير متجانسة في "كيان معرفي" متماسك (على سبيل المثال، أنموذج علمي) ضمن متطلبات معرفية وبراغماتية محددة مرتبطة بالاستخدامات المعرفية للكيان المعرفي. فكرتنا هي أنّ الدراسات التي تتناول التخصصات البينية قد تسترشد ضمنيًا بالآراء المعرفية – التي جرى التعبير عنها إلى حد ما من خلال استعارتي أحجية الصور المقطوعة وحل النزاعات – التي تعيق فهم الصعوبات المعرفية والإدراكية للأبحاث متعددة التخصصات الموجَّهة نحو حل مشكلات العالم الواقعي، التي تهدف استعارة "التصميم الهندسي" إلى أن تكون بديلًا عنها.

تتوافق طريقة مينكن وكيسترا مع "استعارة أحجية الصور المقطوعة" في التكامل، في حين أنّ الطرق التي اقترحها كلاين وريبكو وريبكو وشوستاك أقرب إلى استعارة حل النزاعات، التي تفسّر صعوبات التكامل بوصفها صراعات تحدث بسبب سوء الفهم الذي يمكن حلّه بـ"التواصل" و"التفكير" من أجل إيجاد "أرضية مشتركة".

كما يميل الفلاسفة الذين يهدفون إلى تسهيل الصعوبات في الأبحاث متعددة التخصصات نحو "استعارة حل النزاعات"[27]. لا يمكن إنكار أنّ هؤلاء الفلاسفة قد حققوا نتائج إيجابية عن طريق الأطر المفاهيمية والأدوات اللازمة لتوليد حوار فلسفي يتم من خلاله تحسين التواصل عبر التخصصات، وذلك، على سبيل المثال، لتوضيح المفاهيم والمعتقدات الخلفية، وبهذه الطريقة يمكن للفلاسفة تقديم إسهامات تساعد قدرات الطلاب والباحثين على التفكير في الافتراضات المسبقة.

باختصار، إنّ الطرق المستخدَمة في الأبحاث متعددة التخصصات، والمقترحة في الدراسات متعددة التخصصات، لا تعالج على نحو كافٍ صعوبات التكامل المعرفية والإدراكية المتأصّلة فيها. تسير المقاربات الفلسفية، التي تهدف إلى مساعدة الباحثين على حل خلط المفاهيم، على الطريق الصحيح، لكنها لم تمس بعد القضايا المعرفية الأعمق. يمكن أن تُؤخَذ الحالات التفصيلية للأبحاث متعددة التخصصات في الممارسات الهندسية والهندسية الحيوية التي حقق فيها ماتيلا[28]، ونيرسيسيان[29]، ونيرسيسيان وباتون[30] ومكلويد ونيرسيسيان[31] على أنها أمثلة تناسب استعارة "التصميم الهندسي"، وهذه أمثلة توضيحية على تعقيد البحث متعدد التخصصات، لكنها لا توفّر حتى الآن أي أدوات لتعلُّم كيفية إجراء مثل هذه الأبحاث.

27 Nikitina, "Three strategies for interdisciplinary teaching"; Veronica Strang, "Integrating the social and natural sciences in environmental research: A discussion paper," *Environment, Development and Sustainability*, Vol. 11, no. 1 (2009), pp. 118-; Karen P.J. Fortuin & Christianus Van Koppen, "Teaching and learning reflexive skills in inter- and transdisciplinary research: A framework and its application in environmental science education," *Environmental Education Research*, Vol. 22, No. 5 (2016), pp. 697–716; O'Rourke, Crowley & Gonnerman, "on the nature of cross-disciplinary integration."

28 Erika Mattila, "Interdisciplinarity in the making^: Modeling infectious diseases," *Perspectives on Science*, Vol. 13, No. 4 (2005), pp. 531–553.

29 Nancy J. Nersessian, *Creating scientific concepts* (Cambridge, MA: MIT Press, 2009).

30 Nancy J. Nersessian & Christopher Patton, "Model-based reasoning in interdisciplinary engineering," in: Anthonie Meijers (eds.), *Handbook of the Philosophy of Technology and Engineering Sciences* (North Holland: Elsevier, 2009), pp. 687–718.

31 Miles MacLeod & Nancy J. Nersessian, "Coupling simulation and experiment: The bimodal strategy in integrative systems biology," *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences Part A*, Vol. 44, No. 4 (2013), pp. 572–584.

2. دراسات حول تدريس الأبحاث متعددة التخصصات وتعلُّمها

2.1 المهارات الإدراكية عالية المستوى من أجل الحصول على الخبرة في الأبحاث متعددة التخصصات

تركّز تعريفات الأبحاث متعددة التخصصات، التي نوقشت في القسم الثاني، على قسم من "المعرفة"، أي تكامل المعرفة والعناصر المعرفية الأخرى، ولكن قمنا بتعريف الأبحاث متعددة التخصصات أيضًا من حيث أنواع "خبرة" الباحثين[32]، وأنواع "التعاون" متعدد التخصصات[33]. سيركّز هذا القسم على "المهارات" اللازمة بوصفها جزءًا حاسمًا من الخبرة لإجراء أبحاث متعددة التخصصات[34].

إنّ العمل البحثي الذي يهدف إلى توضيح المهارات المحددة اللازمة لإجراء الأبحاث متعددة التخصصات وكيفية تدريب الباحثين على هذه المهارات وتقييمها موجود في غالبيته في الأدبيات التعليمية. ادّعينا أعلاه، من منظور معرفي، أنّ "الربط" و" التكامل" ربما يكونان من أقوى التحديات التي تواجه استخدام التخصصات العلمية شديدة التجزئة في حل مشكلات "العالم الواقعي" شديدة التعقيد. في مثل هذه الأبحاث متعددة التخصصات، يعني امتلاك "الخبرة" أنّ الباحثين العلميين قادرون على استخدام "المعرفة" وربطها وتكاملها (أي الموارد المعرفية التي تشمل البيانات والمفاهيم والنماذج والنظريات) مع الطرق من تخصصات D_A وD_B وما إلى ذلك، مثل توليد "المعرفة" لحل مشكلة "العالم الواقعي".

قد يتوقع المرء أن تكون لتعليم العلوم والهندسة على المستوى الأكاديمي أفكار واضحة حول كيفية الربط والتكامل في الأبحاث متعددة التخصصات، وكيفية تدريسها. ومع ذلك، على الرغم من أنّ كثيرًا من الدراسات حول التعليم الهندسي تهدف إلى تدريس حل المشكلات متعددة التخصصات، يبدو أنه لا يوجد تحليل شامل للصعوبات المعرفية. يرجع هذا النقص إلى حد ما في أدبيات التعليم الهندسي إلى التفسير المحدد لحل المشكلات متعددة التخصصات، والأقل توجّهًا نحو "تكامل المعرفة"، بل إلى مراعاة القيود و"قيم المجتمع"، التي تنبغي بالأحرى، كما هو مقترح أعلاه، تسميتها متجاوزة التخصصات.

عادةً ما ينطوي التعامل مع قضايا المجتمع الأوسع على مهارات تُعَدُّ "شخصية" واجتماعية و(داخلية) ومهارات مهنية، كالنزاهة، والتواصل، واللباقة، والمسؤولية، والموقف الإيجابي، والمهنية، والمرونة، والعمل بروح الفريق، وأخلاقيات العمل[35]، حيث يروّج المؤلّفون عادةً للتربية القائمة على المشكلات أو القضايا والأنشطة المشتركة في المناهج الدراسية. إذا

32 Mads Goddiksen, "Clarifying interactional and contributory expertise," *Studies in History and Philosophy of Science Part A,* Vol. 47 (2014), pp. 111–117; Mads Goddiksen & Hanne Andersen, *Expertise in interdisciplinary science and education* (2014), Retrieved from: http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/11151

33 Alan L. Porter & Frederick A. Rossini, "Frameworks for integrating interdisciplinary research," *Research Policy*, Vol. 8, Issue 4 (1979), pp.70-79; Hanne Andersen & Susann Wagenknecht, "Epistemic dependence in interdisciplinary groups," *Synthese,* Vol. 190, No. 11 (2013), pp. 1881–1898; Hanne Andersen, "Collaboration, interdisciplinarity, and the epistemology of contemporary science," *Studies in History and Philosophy of Science Part A,* Vol. 56 (2016), pp. 1-10.

34 Goddiksen & Andersen, "Expertise in interdisciplinary science and education"; Harry Collins & Robert Evans, "The third wave of science studies: Studies of expertise and experience," *Social Studies of Science,* Vol. 32 (2002), pp. 235–296; Harry Collins & Robert Evans, *Rethinking Expertise* (Chicago and London: The University of Chicago Press, 2007); Goddiksen, "Clarifying interactional and contributory expertise."

35 Marcel M. Robles, "Executive perceptions of the top 10 soft skills needed in Today's workplace," *Business Communication Quarterly*, Vol. 75, No. 4 (2012), pp. 453–465; National Science Foundation, *Impact of transformative interdisciplinary research and graduate education on academic institutions* (Washington, DC: 2008); Carolyn Haynes & Jeannie Brown Leonard, "From surprise parties to mapmaking: Undergraduate journeys toward interdisciplinary understanding," *The Journal of Higher Education*, Vol. 81, No. 5 (2010), pp. 645–666; Gnaur, Svidt & Thygesen, "Developing students' collaborative skills in interdisciplinary learning environments"; Nilsa A Bosque-Pérez et al., "A pedagogical model for team-based, problem-focused interdisciplinary doctoral education," *BioScience*, Vol. 66, No. 6 (2016), pp. 477-488; Cecilia K.Y. Chan, Yue Zhao & Lillian Y.Y. Luk, "A validated and reliable instrument investigating engineering ◄

ذُكرت التحديات "المعرفية" أو "الإدراكية" لمشاريع البحث متعدد التخصصات على الإطلاق، فيفترض المؤلّفون عادةً أن هذا يتم حلّه من خلال تدريبهم على مهارات العمل بروح الفريق ومهارات التواصل[36].

ومع ذلك، استنادًا إلى دراسة تلوية نقدية (ويُقصَد بذلك أي بحث منهجي داخل قواعد بيانات الأدبيات العلمية) تستعرض كيفية تدريس "التفكير متعدد التخصصات" في التعليم العالي بوجه عام، يستنتج سبيلت وآخرون[37] أنّ الأبحاث المتعلّقة بهذا الموضوع لا تزال محدودة. أما "التفكير متعدد التخصصات" وفقًا لهؤلاء المفكرين فهو "القدرة على دمج معرفة تخصصين أو أكثر لإنتاج تقدُّم إدراكي بطرق كانت مستحيلة أو غير محتملة من خلال وسائل تخصصية منفردة"، التي يَعُدّونها "مهارةً إدراكية معقدة". يضيف مؤلّفون آخرون أنّ التفكير متعدد التخصصات هو مهارة أعلى مرتبة أو مهارة وراء إدراكية، تتضمن قدرةً على البحث والتعرُّف والفهم والتقييم النقدي والتواصل ودمج نظريات وأساليب التخصصات المختلفة، وتطبيق التقدُّم الإدراكي الناتج إلى جانب التقييم المستمر[38]. إضافةً إلى ذلك، يتطلّب التفكير متعدد التخصصات أنواعًا محددة من المعرفة، أي إلى جانب معرفة المرء بتخصصه، ثمة حاجة إلى معرفة "النماذج التخصصية" وتداخل التخصصات أيضًا[39].

وبالمثل، استنادًا إلى دراسة تلوية أيضًا، استنتج خوسا وفوليت[40] أنّ "المهارات الإدراكية عالية المستوى" المطلوبة التي نحتاج إليها في الأبحاث متعددة التخصصات لا تتحقق فعليًا من خلال أنشطة التعلّم التعاونية والقائمة على الحالات التي يقودها الطلاب على المستوى الجامعي، وتجادل بأنّ الطلاب قد يحتاجون إلى تعليم من أجل تطوير هذه المهارات. في معظم التعليم الوارد ذكره في الأدبيات، ويمكن الوصول إلى تدريس المهارات وراء الإدراكية عالية المستوى (التي يُشار إليها أيضًا باسم "التعلُّم العميق") عن طريق دعوة الطلاب إلى "التأمل الذاتي". ومع ذلك، لا تُعطى عادةً إرشادات واضحة حول كيفية فعل ذلك. وفي مراجعة منهجية أُجريت مؤخّرًا لأدبيات التعليم الهندسي في مجال تدريس تداخل التخصصات، وَجَدَ فان دين بيمت وآخرون (قيد المراجعة) أنّ أشكال التعليم الموجَّهة نحو المشاريع والمشكلات بغية تعزيز تداخل التخصصات تُنجِزُ ذلك بالفعل لتعزيز "المهارات والمواقف المجتمعية والمهنية"، بما فيها العمل بروح الفريق وإدارة المشاريع والتواصل، لكنَّ هؤلاء المؤلّفين يخلصون إلى أنه لا توجد مؤشرات على نجاح مقاربات التعلُّم القائم على المشكلات فيما يتعلّق بتطوير المهارات وراء الإدراكية عالية المستوى اللازمة "لربط" الموارد المعرفية و" تكاملها" في حل مشكلات العالم الواقعي. غالبًا ما تفترض البرامج التعليمية في الهندسة أنّ هذه المهارات سيتم تعلُّمها "من خلال العمل"، ولا تحتاج إلى مزيد من الدعم.

students' perceptions of competency in generic skills," *Journal of Engineering Education*, Vol. 106, No. 2 (2017), pp. 299–325; Lattuca, Knight & Novoselich, "Supporting the development of Engineers› interdisciplinary competence."

36 لمزيد من التفصيل انظر:

Diana Stentoft, "From saying to doing interdisciplinary learning: Is problem-based learning the answer?" *Active Learning in Higher Education,* Vol. 18, No. 1 (2017), pp. 51-61.

37 Elisabeth J. H. Spelt et al., "Teaching and learning in interdisciplinary higher education: A systematic review," *Educational Psychology Review*, Vol. 21, No. 4 (2009), pp. 365–378.

38 Lana Ivanitskaya et al., "Interdisciplinary learning: Process and outcomes," Innovative Higher Education, Vol. 27, No. 2 (2002), pp. 95–111; Lourdel Nathalie et al., "Sustainable development cognitive map: A new method of evaluating student understanding," International Journal of Sustainability in Higher Education, Vol. 8, No. 2 (2007), pp. 170–182; Deborah DeZure, "Interdisciplinary pedagogies in higher education," in: Robert Frodeman (ed.), The Oxford handbook of Interdisciplinarity (Oxford: Oxford University Press, 2010), pp. 372–387; Anat Zohar & Sarit Barzilai, "A review of research on metacognition in science education: Current and future directions," Studies in Science Education, Vol. 49, No. 2 (2013), pp. 121–169; Goddiksen & Andersen, "Expertise in Interdisciplinary Science and Education."

39 Spelt, "Teaching and learning in interdisciplinary higher education."

40 Deep K. Khosa & Simone E. Volet "Promoting effective collaborative case-based learning at university: A metacognitive intervention," *Studies in Higher Education*, Vol. 38, No. (2013), pp. 870–889.

وعلى غرار خوسا وفوليت، يعترض على هذا الافتراض زوهار وبارزيلاي[41]، إذ يجادلان بأنَّ تعلُّم المهارات وراء الإدراكية عالية المستوى يجب أن يكون مدعومًا بـ"سقّالات ما وراء إدراكية"، التي لا يرى المؤلّفون عمومًا أنها متطوّرة، أي لا يكاد يكون ثمة تطوّر لأيّ سقّالات من هذا القبيل. سنقدّم في القسم الخامس بعض الاقتراحات حول الدعامات (أو الأطر) المحتملة لدعم تطوير مهارات الطلاب ذات المستوى العالي في إجراء الأبحاث متعددة التخصصات.

وتلخيصًا لما سبق، إذا أردنا استخدام "المعرفة" وتوليدها فعليًا لحل مشكلات العالم الواقعي المعقدة، فإنّ الباحثين يحتاجون إلى مهارات معرفية عالية المستوى، لأنّ القواعد أو الخوارزميات الخاصة بكيفية استخدام نظرية ما أو أنموذج أو مفهوم أو بيانات في هذا الصدد لا تعطيها عادةً الموارد المعرفية[42]. واستنادًا إلى الدراسات التي أُجريت في الأدبيات التعليمية، استنتج الباحثون أنّ تدريس المهارات الإدراكية عالية المستوى بوصفها جزءًا أساسيًا من الخبرة في إجراء الأبحاث متعددة التخصصات لا يزال متأخّرًا في التعليم العالي، وقد يكون هذا الأمر هو السبب المهم وراء الصعوبات التي يواجهها الباحث في تعامله مع البحث متعدد التخصصات[43]. إنه بحاجة إلى شرح الآن: (أ) بأي معنى يرتبط الافتقار إلى تدريس هذه المهارات بالآراء المعرفية التقليدية، و(ب) كيف يمكن للآراء المعرفية البديلة توفير فهم لهذه المهارات الإدراكية المحددة عالية المستوى.

2.2 الآراء المعرفية المنقولة في تدريس العلوم

قبل الانتقال إلى فكرة أنّ الآراء المعرفية التقليدية قد تعيق الأفكار التعليمية حول كيفية تعليم المهارات الإدراكية عالية المستوى بوصفها جزءًا من تطوير الخبرة في الأبحاث متعددة التخصصات، يتطلّب مصطلح "مهارة وراء إدراكية" (ومصطلح "مهارة إدراكية عالية المستوى"، الذي يُستخدَم في هذا السياق على نحو متبادل) بعض التوضيحات. يُوصَف فلافيل[44] بأنه عالم نفس تنموي، ويُقال إنه طرح فكرة "المعرفة ما وراء الإدراكية"، التي تُعرَّف بأنها معرفة الفرد المخزَّنة، أو معتقداته حول نفسه والآخرين بوصفها عوامل إدراكية، ومعرفته بالمهام أو الأفعال أو الاستراتيجيات، وكيفية تفاعل كل هذه الأمور للتأثير في النتائج. تتكوّن المعرفة وراء الإدراكية في المقام الأول من المعرفة أو المعتقدات حول العوامل أو المتغيّرات التي تعمل وتتفاعل بطرق تؤثّر في مسار المشاريع الإدراكية ونتائجها. ثمة ثلاث فئات رئيسة من هذه العوامل أو المتغيّرات، الشخص والمهمة والاستراتيجية[45]. ومن ثَمَّ، يقع التركيز الأساسي في العلوم الإدراكية على المعرفة المتعلّقة بعمليات الفرد الإدراكية، التي تُسمّى "معرفة وراء إدراكية". إضافةً إلى ذلك، تضمّنت هذه المعرفة وجهة النظر التربوية التي تفيد أنّ المعرفة والوعي اللذين يحكمان عمل النظام الإدراكي للفرد – الذي اكتسبه من خلال التفكير في "عمليات التعلُّم" الخاصة بالفرد – من شأنهما تحسين قدرات الطالب التعليمية، ويزوّدانه، في النهاية، بـ"المهارات وراء الإدراكية".

41 Zohar & Barzilai, "A review of research on metacognition in science education."

42 أكد كارترايت (1983) بالفعل المشكلة التي مفادها أنّ القواعد التي تحكم استخدام النظريات في مشكلات العالم الواقعي لا تُقدِّمها النظرية. انظر:
Nancy Cartwright, *How the Laws of physics lie* (Oxford: Clarendon Press, Oxford University Press, 1983)

43 Thorén & Persson, "The philosophy of Interdisciplinarity,"; Thorén, *the hammer and the nail,* MacLeod, "What makes interdisciplinarity difficult?"

44 John H. Flavell, "Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry," *American Psychologist*, Vol. 34, No. 10 (1979) 906-911.

45 Ibid. p. 907; Paul R. Pintrich, "The role of metacognitive knowledge in learning, teaching," *Theory into practice,* Vol. 41, No. 4 (2002), pp. 219–225.

وهكذا، ركّزت مفاهيم المعرفة والمهارات وراء الإدراكية في البداية على "قدرات التعلُّم" لدى الطلاب، التي تكون منفصلة عن القدرة على فهم المعرفة (العلمية) واستخدامها في البحث العلمي ومهام حل المشكلات. ولكن في عمل المؤلّفين اللاحقين، يصبح مفهوم المهارات وراء الإدراكية متشابكًا مع سرديات ما يعنيه فهم المعرفة العلمية (بعمق) بوصفها جزءًا من اكتساب "الخبرة" في البحث (ولا سيما في العمل الفلسفي لجوديكسن وأندرسن[46]، وجوديكسن[47]). يُعَدُّ هذا المنعطف مهمًّا لحجتنا، التي تهدف إلى رؤية معرفية تعترف بإسهام النظام الإدراكي البشري وخصوصيات المجالات العلمية[48] في شخصية وشكل المعرفة (العلمية)[49]. يجب أن تتضمن "المعرفة وراء الإدراكية" بوجه خاص معرفة الطبيعة المعرفية للمعرفة (العلمية). وبناءً على ذلك، فإنّ المهارات وراء الإدراكية، التي يتمتع بها خبيرٌ ما هي المهارات الإدراكية عالية المستوى لاستخدام هذه المعرفة وراء الإدراكية لفهم عمليات البحث (متعدد التخصصات) وتنظيمها وتنفيذها. سنعمد في القسم الرابع إلى أنّ الدعامات وراء الإدراكية تمثّل معرفةً وراء إدراكية، ويمكن استخدام هذه الدعامات (التي يُشار إليها أيضًا باسم "المصفوفات" و"الأطر") لتعلُّم البحث العلمي (متعدد التخصصات) وتنفيذه، أي لتطوير "المهارات" وراء الإدراكية في إجراء البحث.

تتفق وجهة نظرنا المعرفية والتعليمية مع وجهة نظر أولئك المؤلّفين في العلوم التربوية الذين يجادلون بالفعل بأنّ وجهة النظر "الوضعية" السائدة للعلم تعيق تطوير المهارات عالية المستوى أو وراء الإدراكية، والذين يعزّزون من ثَمَّ تعلُّم هذه المهارات في علاقة مباشرة مع وجهات النظر المعرفية البديلة، التي تُسمّى غالبًا وجهات نظر "بنائية"[50].

إنّ جوهر مقاربتنا الفلسفية الذي يهدف إلى توضيح تدريس المهارات الإدراكية عالية المستوى وتعلُّمها هو التركيز على كيفية قيام الباحثين (وبوجه أعم، العوامل المعرفية والإدراكية) بـ"بناء المعرفة"، التي تنطوي على وجهة نظر معرفية نهدف إلى التعبير عنها من خلال استعارة "التصميم الهندسي" المقترحة لتوليد المعرفة في الأبحاث متعددة التخصصات، على عكس استعارتي "أحجية الصور المقطوعة" و"حل النزاعات". تقتضي الرؤية المعرفية المقترحة أنّ "المعرفة" يجب ألا تُفهم بأنها "تمثيل" حرفي لجوانب العالم (كما هو وارد ضمنيًا في استعارة أحجية الصور المقطوعة)، بغض النظر عن كيفية قيام

46 Goddiksen & Andersen, *Expertise in interdisciplinary science and education.*

47 Goddiksen, "Clarifiying interactional and contributory expertise."

48 MacLeod, "What makes interdisciplinarity difficult?"

49 Mieke Boon, "Philosophy of Science in Practice: A Proposal for Epistemological Constructivism", in Hannes Leitgeb, Ilkka Niiniluoto, Paivi Seppälä, & Elliot Sober (Eds.), Logic, Methodology and Philosophy of Science – Proceedings of the 15th International Congress (CLMPS 2015) (Helsinki: College Publications, 2017b), pp. 289–310.

50 Katherine M. Edmondson & Joseph D. Novak, "The interplay of scientific epistemo[log]ical views, learning strategies, and attitudes of college students," *Journal of Research in Science Teaching,* Vol. 30, No.6 (1993), pp. 547559-; Randy Yerrick, Jon E. Pedersen & Johanes Arnason, "We›re just spectators": A case study of science teaching, epistemology, and classroom management," *Science Education*, Vol. 82, No. 6 (1998), pp. 619–648; Henk Procee, "Reflection in education: A Kantian epistemology," *Educational Theory*, Vol. 56, No.3 (2006), pp. 237–253; Chin-Chung Tsai, "Teachers› scientific epistemological views: The coherence with instruction and students› views," *Science Education*, Vol. 91, No. 2 (2007), pp. 222–243; V. Boix-Mansilla, "Learning to synthesize: the development of interdisciplinary understanding," in Robert Frodeman (ed.), *The Oxford handbook of interdisciplinarity* (Oxford: Oxford University Press, 2010), pp. 288–306; DeZure, "Interdisciplinary pedagogies in higher education,"; Zohar and Barzilai, "A review of research on metacognition in science education,"; Fouad Abd-El-Khalick, "Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains," *Science & Education*, Vol. 22, No. 9 (2013), pp. 2087–2107; Cristina Sin, "Epistemology, sociology, and learning and teaching in physics," *Science Education*, Vol. 98, No. 2 (2014), pp. 342–365; انظر الهامش 29.

الباحثين المدرَّبين في التخصص العلمي عادةً ببناء المعرفة[51]، بل على النحو الذي يشكّله باحثون بطرق تعلّموها في إطار تخصصهم العلمي المحدد (أي على النحو الذي تُعبّر عنه استعارة "التصميم الهندسي" البديل). تُفهَم الطرق النموذجية لبناء "المعرفة" داخل تخصص ما من الناحية المفاهيمية من خلال مفهوم "المنظور التخصصي".

لذا، توفّر النظرة المعرفية المقترحة بديلًا عن رؤى العلم "الوضعية" المنتقَدَة على نطاق واسع (انظر المؤلّفين المذكورين أعلاه بوجه خاص)، التي لا تزال منقولة في التعليم العلمي[52]، وتشكّل الأساس لوجهات نظر بديلة حول تعليم المهارات الإدراكية عالية المستوى وتعلُّمها، وبوجه خاص فيما يتعلّق بدور الدعامات ما وراء الإدراكية (أو الأطر) لدعم تطوير هذه المهارات وتنفيذها (انظر أيضًا إلى القسم المعنون بـ"مصطلحات"). يكمن جوهر وجهة نظرنا التعليمية المدعومة فلسفيًا في أنه إذا أردنا تطوير الخبرة في إجراء الأبحاث متعددة التخصصات، فإنّ الطلاب يحتاجون إلى الآتي: أولًا، تعلُّم وفهم أنّ المعرفة "مبنية"، بدلًا من أن تكون تمثيلًا حرفيًا مستقلًا عن السياق التخصصي ومستقلًا عن الطرق (التخصصية) النموذجية، التي يبني فيها الباحثون المعرفة. ثانيًا، تعلُّم (إلى حد ما على الأقل) أنّ معرفة "كيفية" توليد أو بناء معارف محددة أمرٌ حاسم في كثير من الأحيان لفهم "كيفية استخدام" هذه المعرفة في مهام حل المشكلات. ثالثًا، تعلُّم كيفية تكوين المعارف المحددة أو إعادة بنائها بالفعل بطريقة منهجية. رابعًا، فهم أنّ التخصصات العلمية طوّرت طرقًا مختلفة لتوليد المعرفة، التي يمكن استيعابها من خلال مفاهيم مثل "النماذج التخصصية" و"المصفوفات" و"المنظورات"[53]. خامسًا، تعلُّم كيفية فهم "تماسك" المعايير والأنشطة المعرفية في الممارسات العلمية[54]. سادسًا، تعلُّم تعريف خصوصيات التخصص العلمي أو إعادة بنائها بطريقة منهجية[55].

3. الرؤية الفلسفية للعلم

3.1 وحدة العلم مقابل المنظورات التخصصية

إنّ رؤية العلم السائدة في فلسفة العلم التقليدية تنعكس في عدم وجود اهتمام فلسفي بـ"تداخل التخصصات" بوصفه موضوعًا للدراسة الفلسفية. وفي المقابل، فإنّ سمة هذه الرؤية السائدة هي الاهتمام العام بـ"وحدة العلم"، المفهومة على

51 ينبغي لنا ألا نفهم توليد المعرفة في الأبحاث متعددة التخصصات على أنه مجرّد نِتاج للمداولة الاجتماعية، مستقلة إلى حد ما عن مسألة "كيف يبدو العالم"، كما هو مقترح في "البنائية الاجتماعية" القوية. تجدر الإشارة إلى أنه باستخدام "استعارة حل النزاعات"، لا ننوي أن نعزو موقفًا بنائيًا اجتماعيًا قويًا إلى باحثين مثل كلاين وريبكو وشوستاك، ذلك أنّ هؤلاء المؤلّفين يحافظون على موقف معتدل أكثر. وعلاوةً على ذلك، ينصبُّ تركيزنا على العلوم الطبيعية والهندسية، في حين يهدف كثيرٌ من المؤلّفين الذين يدرسون تعدد التخصصات أيضًا إلى تغطية العلوم الإنسانية والاجتماعية، حيث ربما تكون استعارة النزاع ملائمة أكثر.

52 تهدف وجهة النظر المعرفية البديلة المقترحة هنا أيضًا إلى تحسين وجهات النظر "البنائية" التي تُعزِّز صراحةً فيما يُسمّى بأدبيات "طبيعة العلوم". وعلى الرغم من أنّ وجهة النظر المعتمَدة على نطاق واسع حول طبيعة العلم في أدبيات تعليم العلوم تؤكد الطابع الاجتماعي للعلم إضافةً إلى دور القيم الإنسانية في العلم، إلا أنها لا تزال تعزّز ما يسمّيه علماء التعليم غالبًا بوجهة نظر "وضعية" للعلم فيما يتعلّق بطبيعة المعرفة. يقدّم ماكوماس وآخرون (1998) قائمة شاملة تلخّص وجهة النظر الراسخة حول "طبيعة العلم" (NOS)، التي يجب تدريسها في تعليم العلوم. في الأدبيات الحديثة، بقيت وجهة النظر المتفق عليها هذه حول طبيعة العلم دون تغيير في الغالب.

53 Spelt et al., "Teaching and learning in interdisciplinary higher education."

54 Hasok Chang, *Is water H2O? Evidence, realism and pluralism* (The Netherlands: Springer, 2012); Hasok Chang, "Epistemic Activities and Systems of Practice: Units of Analysis in Philosophy of Science After the Practice Turn," in Léna Soler, Sjoerd Zwart, Michael Lynch, Vincent Israel-Jost (eds.), *Science after the Practice Turn in the Philosophy, History, and Social Studies of Science* (New York: Routledge, 2014).

55 Hanne Andersen, "The second essential tension: On tradition and innovation in interdisciplinary research," *Topoi*, Vol. 32, No. 1 (2013), pp. 3–8; Andersen, "Collaboration, interdisciplinarity, and the epistemology of contemporary science."

أنها تماسك بين العلوم (ولا سيما بين النظريات العلمية والقوانين والمفاهيم في مجالات أو تخصصات متميزة)، إذ يُنظَر إلى البحث متعدد التخصصات على أنه مجرّد وسيلة لتحقيق هذه الوحدة56. لذا، يمكن النظر إلى استعارة "أحجية الصور المقطوعة"، التي تنظر في كيفية تحقيق التخصصات المتعددة، على أنها استعارة تتناول كيفية النظر إلى "وحدة العلم".

ثمّة سمة أخرى لوجهات النظر الفلسفية والتقليدية السائدة للعلم وهي الافتقار إلى الاهتمام الفلسفي بالقضايا المعرفية المتمثلة في توليد موارد معرفية لحل المشكلات في العالم الواقعي، ودور البحث متعدد التخصصات فيها[57]. ينعكس هذا الإهمال إلى حد كبير في تعليم العلوم الأكاديمية، الذي لا يولي اهتمامًا كبيرًا من الناحية التقليدية "لاستخدام" العلم في بناء المصادر المعرفية (كالنماذج والمفاهيم) لمهام معرفية محددة. حتى اليوم، من الصعب تشجيع طلاب البكالوريوس في العلوم الهندسية على بناء النماذج العلمية للنظم المستهدفة في العالم الواقعي. يُدرَّب الطلاب على بناء نماذج رياضية (ولا سيما على التمارين الموجودة في الكتب المدرسية)، لكنهم قلّما يكونون قادرين على بناء (أو إعادة بناء) نماذج علمية بمعنى البحث في الموارد المعرفية وتجميعها في أنموذج علمي متماسك (أولي)[58]. نشك في هذا الجزء في مسألة أنّ الطلاب غالبًا ما يكون لديهم فهم مشوّش للنماذج العلمية (غير الرياضية) بسبب الفهم "التمثيلي" الساذج للنماذج، التي يجب أن تكون فيها النماذج مشابهة لجوانب العالم. وهذا الفهم يُصعّب جدًا بناء العلم واستخدامه وتكييفه لمهام حل المشكلات في العالم الواقعي. ربما كانت الآراء الفلسفية للعلوم، التي تفترض أنّ الهدف النهائي للعلم هو نظريات مُسوَّغة، أحد أسباب هذا الالتباس. إنّ وجهات النظر الاجتماعية والبنائية حول العلم، مثل توافق الآراء الحالي حول "طبيعة العلم"، وهو من المفترض أن يتم تدريسه بوجه عام على أنه فهمٌ صحيح للعلم، لا تساعد في هذا الصدد. لذا، فهي مهمَّةٌ مُهمّة لفلسفة العلم الحالية للتوصّل إلى آراء بديلة ملائمة.

وأخيرًا، فيما يتعلّق بخصائص الآراء العلمية السائدة التي يمكن أن تكون قد أثّرت في وجهة نظر العلم التي لا تزال متأصّلة على نطاق واسع في التعليم العالي، من اللافت للنظر أنّ فهم (كون) (Kuhn) العميق لإسهام "المنظورات التخصصية" (التي تشكّل بطبيعتها النتائج العلمية للتخصص أو المجال بثبات) فسّره بعض الباحثين بأنه تهديد ومشكلة تجب مواجهتها لاستعادة موضوعية العلم وعقلانيته ووحدته. غير أننا ندّعي أنه ينبغي تبنّي هذا الفهم بحزم لمعرفة المزيد عن العواقب التي تواجه إبستيمولوجيا العلم. كان ممكنا أن تؤدي رؤى (كون) (Kuhn) تحديدًا إلى الاعتراف بالتحديات المعرفية والإدراكية

56 Paul Oppenheim & Hillary Putnam, "Unity of science as a working hypothesis," in Herbert Feigl Michael Scriven & Grover Maxwell (eds.), *Minnesota studies in the philosophy of science* (Minneapolis: University of Minnesota Press), Vo. 2, pp.336-; Ernest Nagel, *The structure of science; problems in the logic of scientific explanation (*New York: Harcourt, Brace and World, 1961); Nancy L. Maull, "Unifying science without reduction," *Studies in History and Philosophy of Science Part A, Vol.* 8, No. 2 (1977), pp. 143–162; Lindley Darden & Nancy Maull, "Interfield theories," *Philosophy of Science,* Vol. 44, No. 1 (1977), pp. 43–64; Todd A. Grantham, "Conceptualizing the (dis)unity of science," *Philosophy of Science*, Vol. 71, No. 2 (2004), pp. 133–155; Schmidt, "Towards a philosophy of interdisciplinarity,"; Jan C. Schmidt, "What is a problem? On problem-oriented interdisciplinarity. *Poiesis & Praxis*, Vol. 7, no. 4 (2011), pp. 249–274; Thorén & Persson, "The philosophy of Interdisciplinarity,"; Jordi Cat, "The Unity of Science," in Ed Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Stanford CA: Stanford Encyclopedia of Philosophy, winter 2014 edition).

57 ومن بين الاستثناءات الجديرة بالملاحظة العمل المبكر لكارترايت، ونيرسيسيان، ودوبري، وانظر العمل الأحدث لماتيلا (2005)، وميتشل (2009)، وفروديمان (2010)، وغرين (2013)، وغرون – يانوف (2011، 2014)، وهولبروك (2013). وانظر أيضًا العمل الذي كتبه أندرسن، وجوديكسن، ونيرسيسيان، وماكلويد، وشميدت، وثورين المشار إليها في هذا المقال.

58 Mieke Boon & Tarja Knuuttila, "Models as epistemic tools in engineering sciences: A pragmatic approach," in Anthonie Meijers (ed.), *Philosophy of technology and engineering sciences. Handbook of the philosophy of science* Vol. 9 (North-Holland: Elsevier, 2009), pp. 687–720; Tarja Knuuttila & Mieke Boon, "How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine," *European Journal for Philosophy of Science,* Vol. 1, No. 3 (2011), pp. 309334-; Mieke Boon, "scientific methodology in the engineering sciences chapter 4," in Diane P. Michelfelder & Neelke Doorn (eds.), *Routledge Handbook of Philosophy of Engineering* (New York: Taylor & Francis / Routledge, 2019); Wendy Newstetter, "Designing cognitive apprenticeships for biomedical engineering," *Journal of Engineering Education*, Vol. 94, No. 2 (2005), pp. 207–213.

الخطيرة التي تواجه البحث متعدد التخصصات، التي تستحق دراسة فلسفية[59]. ومع ذلك، ظلّت استعارة أحجية الصور المقطوعة في تعدد التخصصات، ومعها فكرة ساذجة عن "وحدة العلم"، مهيمنة[60]، ومن الواضح أنها "لا تتناسب" مع مفاهيم مثل "المنظورات التخصصية". أما من جهتنا فندافع عن تلك المفاهيم مثل "المنظورات التخصصية" بأنها منتجة لفهم طابع العلم والبحث العلمي الفعلي بصورة أفضل في الممارسات العلمية.

لذا، يبدو أنّ الآراء الفلسفية للعلم التي يؤمن بها كثيرون في فلسفة العلم تحدد القضايا المعترف بأنها ذات أهمية فلسفية. ومع ذلك، نظرًا لأنّ هذه الآراء تؤثّر أيضًا في وجهات النظر العلمية في المجتمع ككل، ولا سيما في التعليم العالي والبحث العلمي، فمن المهم دراسة "النماذج الفلسفية للعلم" بطريقة نقدية، أي النماذج الفلسفية للعلم المتأصّلة في "فلسفة العلم" وما بعدها.

3.2 أنموذجان فلسفيان للعلم: الأنموذج الفيزيائي مقابل الأنموذج الهندسي

ثمة رأيان "فلسفيان" مختلفان حول العلم، أحدهما يركّز على النظريات العلمية من أجل العلم[61]، والآخر يركّز على المعرفة العلمية (بمعنى الموارد المعرفية والنتائج، انظر القسم المعنون ب"مصطلحات") والاستراتيجيات المعرفية لحل مشكلات العالم الواقعي. وقد ناقش بون[62] أنّ هذين الرأيين يمكن تحليلهما من خلال "أنموذجين فلسفيين للعلم".

يكمن جوهر مفهوم كون (Kuhn) للنماذج في العلم – كما نفسّره فيما يتعلّق بالقضايا المعرفية المثارة في هذا المقال – في أنّ الممارسة العلمية (أو التخصص) متأصّلة في أنموذج قادر على تمكينها وتوجيهها بدلًا من الاسترشاد بالقواعد المنهجية الصارمة وحدها[63]. يضع الأنموذج إطارًا حول ما يُعَدُّ مشكلات علمية ذات صلة ويضع حلولًا مناسبةأيضًا، فضلًا عن كيفية صوغ هذه المشكلات، وكذلك كيفية تعامل التخصص معها. وعلى الرغم من أنّ الأنموذج لا يمكن إثباته أو دحضه بطريقة مباشرة، إلا أنه يمكن التعبير عنه وتحليله والجدال فيه، إذ اقترح الباحثون لهذا الأنموذج "المصفوفة التخصصية" التي قدّمها (كون) (1970) بوصفها إطارًا تحليليًا[64]. في هذا التفسير لـ"المصفوفة التخصصية"، ويتكوّن الأنموذج من مجموعة سلسة وسهلة من العناصر المتشابكة، التي يدعم ويعزّز بعضها بعضًا.

59 Andersen, "The second essential tension,"; Andersen, "Collaboration, interdisciplinarity, and the epistemology of contemporary science."

60 ومع ذلك، فإنّ وحدة العلم كانت موضع نزاع بالفعل في مرحلة مبكرة من قبل المنشقين مثل دوبري (1983)، وانظر أيضًا ميتشل (2009).

61 ومن هذا المنطلق، فإنّ العلم هو النظريات العلمية.

62 Boon, "An engineering paradigm in the biomedical sciences."

63 انظر أندرسن (2013، 2016) للحصول على شرح شامل لأفكار كون (Kuhn) المتعلّقة بالتخصصات والتخصصات المتعددة:
Anderson" ,The second essential tension" ;"Collaboration ,interdisciplinarity ,and the epistemology of contemporary science."

64 تتفق مقاربتنا في التعامل مع فلسفة العلم في كثير من النواحي مع تشانج (2012، 2014) الذي يزعم أنّ "الدراسة الجادة للعلم لا بُدَّ أن تهتم بما "نفعله" حقًّا في العمل العلمي. ... يتألّف العمل العلمي من أفعال يفعلها عملاء، فالعميل هو الذي ينفّذ النّيات. والعالِم لا يكون متلقيًا سلبيًا للحقائق أو معالجًا خوارزميًا للاقتراحات. ... [لذلك] نحتاج في الدراسة الجادة للعلم إلى النظر في القدرات البشرية (القدرات والمهارات) في أداء الأنشطة المعرفية" انظر، Chang, "Epistemic Activities and Systems of Practice," p. 70 يقترحتشانج مفهومي "الأنشطة المعرفية"، و"أنظمة الممارسة"؛ أي يتكوّن نظام الممارسة من مجموعة متماسكة من الأنشطة المعرفية التي تجرى بهدف تحقيق أغراض معينة. إضافةً إلى ذلك، فإنّ الأغراض الإجمالية لنظام الممارسة هي التي تحدد ما يعنيه أن يكون النظام "متماسكًا من الناحية الوظيفية". انظر، Chang, "Is water H2O?"
ومع ذلك، يناقش تشانج (Chang) (2012) أنّ مفهوم "نظام الممارسة" ملائمٌ لتحليل الممارسات أكثر من مفهوم "المصفوفة التخصصية" لدى كون (Kuhn)، لأنه وفقًا لتشانج، ليس من الواضح كيف تترابط عناصر مصفوفة كون (Kuhn) مع بعضها بعضًا. يضيف تشانج، من وجهة نظرنا، رؤى مهمة، ولا سيما من خلال تأكيد دور الأنشطة المعرفية في الممارسات العلمية والغرض العام لنظام الممارسة إلى جانب فكرة "التماسك الوظيفي" بين الأنشطة المعرفية في تشكيل نظام الممارسة، لكننا نقترح النظر في مفهوم "المصفوفة التخصصية" لدى كون (Kuhn) ومفهوم "نظام الممارسة" لدى تشانج لكونهما مكملين لفهم أفضل للممارسات العلمية. إضافةً إلى ذلك، وعلى عكس تشانج، نناقش أنّ ثمة تماسكًا بين عناصر المصفوفة بمعنى أنّ هذه العناصر يدعم ويعزّز بعضها بعضًا على نحو متبادل، وهذا هو السبب في أنها تعمل في شكل أنموذج.

يمكن قول الشيء نفسه عن النماذج "الفلسفية" للعلم، لكونها وجهات نظر علمية توجّه "الدراسات الفلسفية" للعلم وتمكّنها، أي أنّ الأنموذج الفلسفي هو الذي يؤطّر ما يُعَدُّ مشكلات فلسفية ذات صلة ويضع حلولًا ملائمة، وكيف تُصاغ هذه المشكلات، وكيف تتعامل فلسفةُ العلم مع هذا الأنموذج[65]. وبناءً عليه، استنادًا إلى مصفوفة كون (Kuhn) التخصصية التي يمكن للفلاسفة من خلالها تحليل النسيج الفلسفي للتخصصات "العلمية"، تم تطوير مصفوفة (أو إطار) لتحليل "وجهات النظر العلمية في فلسفة العلم". وبعد التوسُّع في مصفوفة كون (Kuhn) التخصصية التي تتكوّن من أربعة عناصر، نقترح ثلاثة عشر عنصرًا تشكّل مصفوفةً لتحليل الآراء الفلسفية للعلم (أُدرِجَت في العمود الأيسر من الجدول الأول). ومن ثَمَّ، فإنّ المصفوفة الناتجة قد استُخدِمَت لتوضيح وجهتي نظر فلسفيتين متناقضتين للعلم، تُسمّى "أنموذجا فيزيائيا" و"أنموذجا هندسيا" للعلم، ونعرض موجزًا مُبسَّطًا في العمود الأيمن من الجدول الأول (للحصول على نسخة مُفصَّلة أكثر، أشرنا إلى بون).

والأهم من ذلك هو أنّ عناصر المصفوفة التي تُشكّل وجهة النظر الفلسفية للعلم وتمثّلها تتشابك مع بعضها بعض ويُعزّز كل منها الآخر إلى درجة أنّ الآراء (الفلسفية) البديلة حول جوانب محددة من العلم لا تحصل بسهولة على موطئ قدم في فلسفة العلم. هذا هو السبب في عَدِّها أنموذجًا، فهي وجهة نظر شاملة ومعيارية، وتُعَدُّ أيضًا خلفية ضمنية إلى حدٍّ ما يمكن من خلالها التعبير عن الأفكار الفلسفية حول العلم وفهمها وتقييمها.

على الرغم من أنّ "الأنموذج الفيزيائي" المقترح للعلم قد يكون مهيمنًا بوصفه وجهة نظر للعلم اعتمدها (ضمنيًا) فلاسفة العلم وكذلك الباحثون العلميون (وهو أمرٌ واضح بوجه خاص في الأدوار التي يجب عليهم فيها "التعبير" عن آرائهم في العلم، كما يحدث أثناء التدريس أو عند إجراء مقابلات مع الفلاسفة)، ويمكن تقديم أسباب تفيد أنّ "الأنموذج الهندسي للعلم" ملائم أكثر لتوصيف ممارسات البحث العلمي الفعلية. وبوجه خاص، فإنّ الممارسات العلمية التي تهدف إلى المعرفة ذات الصلة والموثوقة والمفيدة لحل مشكلات العالم الواقعي يمكن فهمها على نحو أفضل ضمن الأنموذج الهندسي للعلم.

الجدول (1): مصفوفة لتوضيح "الآراء الفلسفية للعلم" وتحليلها (تشكّلها العناصر المدرَجَة في العمود الأيسر)، وملخّص للأنموذج الفيزيائي للعلم مقابل الأنموذج الهندسي للعلم (المعروض في العمود الأيمن، استنادًا إلى بون، مع تغييرات وإضافات طفيفة).

عناصر تُشكِّل المصفوفة	الأنموذج الفيزيائي مقابل الأنموذج الهندسي
أولًا: الهدف (أو الأهداف) المعرفية للبحث العلمي => يهدف العلم إلى ... مقابل البحث العلمي الذي يهدف إلى ...	على سبيل المثال، النظريات الصحيحة أو الملائمة التي تصف أو تمثّل "ما هو شكل العالم" (في الواقعية) أو التي "تنقذ الظواهر" (في اللاواقعية)، مقابل "الأدوات المعرفية" الوظيفية للمهام المعرفية.
ثانيًا: القيم المعرفية والمعايير (البراغماتية) لقبول المعرفة (على غرار القيم المعرفية التي طرحها كون (Kuhn)) => يجب أن تُلبّي نتائج العلم معايير مثل ... مقابل أن يُلبّي البحث العلمي معايير مثل ...:	على سبيل المثال، الحقيقة أو الدقة التجريبية، والعالمية والترابط بين النظريات، والبساطة، والقوة التفسيرية والتنبؤية، والاتساق المنطقي (الداخلي)، وقابلية اشتقاق المعرفة على مستويات عليا من المعرفة الموجودة على مستويات أدنى، وقابلية الاختبار أو قابلية الدحض، مقابل الدقة التجريبية، والموثوقية والأهمية في ضوء الغايات المعرفية (من أجل الاستخدامات العملية)، والبساطة بمعنى إمكانية الإدارة والتعامل، والوضوح، والتوازن بين العمومية والخصوصية في ضوء الأهداف المعرفية، والموثوقية التفسيرية والتنبؤية، والاتساق المنطقي، والترابط مع المعرفة المقبولة ذات الصلة بالاستخدامات المعرفية، ودمج (أجزاء غير متجانسة من) المعرفة من مجالات ومستويات مختلفة، والتحقق من صحتها في ضوء الاستخدامات والوظائف المعرفية.

65 Boon, "An engineering paradigm in the biomedical sciences."

عناصر تُشكِّل المصفوفة	الأنموذج الفيزيائي مقابل الأنموذج الهندسي
ثالثًا: المبادئ الأساسية و"التنظيمية" (أي الافتراضات والقواعد الأساسية التي ترشد البحث العلمي 66):	على سبيل المثال، وحدة العلم، والتفسير الاختزالي، والتعميم (الاستدلال الاستقرائي)، والثبات مقابل الانقسام (على سبيل المثال، كتاب كارترايت **العالم المرقّط** لعام 1999)[67]، التعميم القائم على ثبات العوامل الأخرى أو "الظروف نفسها والتأثيرات نفسها"، والثبات، و"البناء" (بدلًا من الاشتقاق المنطقي أو الرياضي) للنماذج التفسيرية.
رابعًا: المبادئ النظرية لتخصص ما (على غرار تعميمات كون (Kuhn) الرمزية)، أي ما يُعَدُّ علمًا وفقًا للفلاسفة:	على سبيل المثال، النظريات البديهية، والمبادئ الأساسية، وقوانين الطبيعة، مقابل النظريات البديهية، والمبادئ الأساسية، والقوانين بوصفها أدوات في بناء الأنموذج، والمفاهيم العلمية والنماذج بوصفها أدوات للتحقيق (من الناحية التجريبية) في الظواهر والأدوات التكنولوجية (التي تُنتِجُ هذه الظواهر).
خامسًا: الافتراضات الميتافيزيقية المسبقة (على غرار افتراضات كون (Kuhn) الميتافيزيقية المسبقة):	على سبيل المثال، يتمتع العالم ببنية هرمية وهو مُنظَّم جيدًا، و"المادية"، مقابل العالم الذي يتمتع ببنية معقدة غير هرمية، والظواهر التي لا توجد بمفردها.
سادسًا: علم الوجود (أي كيف نتصوّر موضوع البحث):	على سبيل المثال، يتكوّن العالم المادي من أشياء وخصائصها وعملياتها السببية، و"الاختزالية الوجودية". وهذا ما يتفق مع الافتراضات الميتافيزيقية المسبقة، أي أنّ الأشياء ذات المستوى الأعلى وخصائصها وسلوكها السببي تترتب على الأشياء والخصائص المادية ذات المستوى الأدنى، مقابل الظواهر الفيزيائية التي يجري تصوّرها من حيث وظائفها (على سبيل المثال، البيولوجية أو التكنولوجية). استخدام المفاهيم الهندسية النموذجية في هذه "الأوصاف" الوظيفية. تشمل "التعريفات العملية" للظواهر (التي لا تمكن ملاحظتها) بطبيعتها جوانب من الإعدادات الآلية والتجريبية النموذجية للتخصص الذي يتم البحث فيه[68].
سابعًا: موضوع البحث (أي أنواع "الأشياء" التي تُدرَس في البحث العلمي، وهو قريب من "علم الوجود"، ولكنه محدد ومتخصص أكثر) => يهدف العلم إلى (تفسير) ... مقابل البحث العلمي الذي يهدف إلى (تفسير أو نمذجة أو توليد الآتي) ...:	على سبيل المثال، الظواهر الفيزيائية أو البيولوجية ("في الطبيعة")، مقابل الظواهر والأدوات المنتَجَة بصورة طبيعية أو تكنولوجية، أو القابلة للإنتاج.
ثامنًا: الإبستيمولوجيا => يتم توجيه البحث في العلم (من الناحية المعيارية) من خلال كذا ... بهدف كذا ...، مقابل البحث العلمي الذي يوجَّه (من الناحية المعيارية) من خلال كذا ... بهدف كذا ...:	على سبيل المثال، "الاختزال النظري والتفسيري". التفسيرات التي تعتمد على "لِمَ هي ضرورية" أفضل من التفسيرات التي تعتمد على "كيف تكون ممكنة". النتائج العلمية مثل النماذج التي يجب أن تكون "تمثيلات" "صادقة"، مقابل بناء المعرفة (مثل المفاهيم، والنماذج)، والقوانين التفسيرية والنماذج التي تعتمد على "كيف" و"كيف يكون ممكنًا"، التي تُعَدُّ "أدوات معرفية" يجب أن تسمح بالاستخدامات المعرفية في ضوء المهام المعرفية (على سبيل المثال، في حل مشكلات العالم الواقعي).

66 Mieke Boon, "Contingency and Inevitability in Science – Instruments, Interfaces and the Independent World," in Léna Soler, Emiliano Trizio & Andrew Pickering (eds.), *Science as it could have been: Discussing the contingent/inevitable aspects of scientific practices* (Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2015), pp. 151–174.

67 Nancy Cartwright, The dappled world. A study of the boundaries of *science* (Cambridge: Cambridge University Press, 1999).

68 Mieke Boon, "Scientific concepts in the engineering sciences: Epistemic tools for creating and intervening with phenomena," in Uljana Feest & Friedrich Steinle (eds.), *Scientific concepts and investigative practice* (Berlin: De Gruyter, 2012), pp. 219–243.

عناصر تُشكِّل المصفوفة	الأنموذج الفيزيائي مقابل الأنموذج الهندسي
تاسعًا: المنهجية => يعتمد البحث العلمي منهجيةً مناسبة وهي كذا ... مقابل كذا ...:	على سبيل المثال، "الاختزال المنهجي" المحفَّز بافتراضات ميتافيزيقية ووجودية ومعرفية مسبقة، مقابل الاختزال المنهجي بوصفه استراتيجية براغماتية إلى جانب استراتيجيات أخرى للتحقيق في موضوعات ذات اهتمام للجميع.
عاشرًا: أمثلة على العلم (بدلًا من أمثلة عن النظريات كما في مصفوفة كون (Kuhn)):	على سبيل المثال، الفيزياء النظرية والكيمياء الطبيعية، مقابل البيولوجيا الاصطناعية، والميادين متعددة التخصصات مثل علوم الهندسة التقليدية، والتكنولوجيا وعلم النانو، والعلوم الطبية الحيوية.
الحادي عشر: الدور المنسوب إلى التجارب والأدوات التكنولوجية:	على سبيل المثال، اكتشاف ظواهر (فيزيائية) جديدة واختبار الفرضيات، مقابل اكتشاف ظواهر فيزيائية وإنشائها (التي قد تكون ذات أهمية وظيفية في نهاية المطاف)، والإنتاج التكنولوجي للظواهر الوظيفية، حيث تكون الأدوات التكنولوجية موضوعًا للبحث والتطوير أيضًا.
الثاني عشر: نتائج البحث العلمي => العلم هو ... في حين أنّ البحث العلمي يهدف إلى نتائج معرفية مثل ...:	على سبيل المثال، النظريات والقوانين والظواهر، مقابل مجموعات البيانات، والظواهر المنتَجَة تكنولوجيًا، والقوانين الظاهراتية، والمفاهيم العلمية، والأدوات التكنولوجية وأنظمة النماذج التجريبية، والنماذج العلمية لكل من الظواهر والأدوات التكنولوجية والعمل (الآلي) للإعدادات التجريبية والأدوات التكنولوجية.
الثالث عشر: التبرير (أي كيف يتم تسويغ النتائج وقبولها واختبارها ولماذا) => يهدف العلم إلى كذا ... مقابل يهدف البحث العلمي إلى كذا ...:	على سبيل المثال، اختبار فرضية ما (أو تأكيدها أو دحضها)، من خلال أساليب شبيهة بالأساليب الاستنتاجية الافتراضية، في مقابل التحقق من صحة النتائج المعرفية في ضوء الاستخدامات المعرفية المقصودة (أيضًا فيما يتعلّق بالمعايير البراغماتية مثل الوضوح)، حيث يكون الكثير من التبرير "موجودًا" بالفعل بناءً على طرق محددة لكل تخصص لبناء "المعرفة"[69].

وعلى العكس من ذلك، فإنّ معظم أهل فلسفة العلم التقليدية يرى هذه الأنواع من ممارسات البحث "علومًا تطبيقية"، بمعنى أنّ ممارسات "حل المشكلات" هذه تطبّق "ببساطة" المعرفة العلمية الناتجة عن العلوم الأساسية[70]. يتشابك هذا الاعتقاد مع الأنموذج الفيزيائي المقترح للعلم ويدعمه بقوة، فيما يتعلّق بالعناصر المدرَجة في الجدول الأول مثل هدف العلم، وعلم الوجود، والافتراضات الميتافيزيقية المسبقة، والمنهجية، والنتائج (المعرفية) للبحث العلمي، ودور الأدوات التكنولوجية، التي تُفسَّر على نحو مختلف في الأنموذج الهندسي للعلم.

3.3 الأنموذج الفيزيائي بوصفه سببًا للصعوبات المعرفية التي تواجه البحث متعدد التخصصات

هل يتسبب الأنموذج الفيزيائي للعلم في سوء فهم فلسفي للصعوبات المعرفية التي تواجه البحث متعدد التخصصات؟ وإذا كان الأمر كذلك، فهل يؤدي الأنموذج الهندسي أداءً أفضل؟

أحد أسباب هذه الفرضية هو أنه وفقًا للأنموذج الفيزيائي، يهدف العلم إلى إيجاد نظريات ووحدة العلم (الاختزالية)، مما يعني أنّ هدف البحث "متعدد التخصصات" ونتائجه يجب صوغها من حيث "تكامل" النظريات، كما يمكن أن نلاحظ

69 Marcel Boumans, "Built-in justification," in Mary S. Morgan & Margaret Morrison (eds.), *Models as mediators - perspectives on natural and social science* (Cambridge: Cambridge University Press, 1999), pp. 66–96.

70 Mieke boon, "How science is applied in technology," *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 20, No. 1 (2006), pp. 27–47; Mieke boon, "In defense of engineering sciences: On the epistemological relations between science and technology," *Techné: Research in Philosophy and Technology*, Vol. 15, No. 1 (2011), pp. 49–71.

بالفعل لدى معظم المؤلّفين الذين يدرسون تعددية التخصصات، التي ناقشناها في هذا المقال. وعلاوةً على ذلك، انتُقِدَ هذا الفهم الخطأ "للتكامل" متعدد التخصصات بأنه استعارة أحجية الصور المقطوعة لتعدد التخصصات. وقد انتقد بعض المؤلّفين فكرة أنّ وحدة العلم يجب أن تتحقق عن طريق العلاقات الاختزالية بين النظريات[71]. نرى أنّ ماول وداردن وماول يشيران في الواقع إلى إمكانية تحديد العلاقات بين التخصصات من خلال تبادل النظريات والمفاهيم "دون" تكاملها[72]. وقد قدّم ثورين وبيرسون[73] على نحو مماثل مفهوم "تغذية المشكلة"، وهو أيضًا وسيلة يمكن من خلالها أن يتم التعاون بين التخصصات دون تكاملها تحديدًا. إنّ وجهة نظرنا هي أنّ البحث متعدد التخصصات بوصفه وسيلة لتحقيق "وحدة العلم" من خلال دمج المحتوى النظري للتخصصات يتناسب مع الأنموذج الفيزيائي، في حين أنّ البحث متعدد التخصصات بمعنى التعاون بين التخصصات العلمية (التي تهدف إلى إيجاد "أدوات معرفية"، ومنهجيات وأدوات (تكنولوجية) يمكن أن تعمل في نهاية المطاف على أنها أدوات معرفية لحل المشكلات خارج التخصصات) لا يتناسب جيدًا مع الأنموذج الفيزيائي، بل يتناسب مع الأنموذج الهندسي.

ثمة قضية جوهرية أكثر وهي معرفة كيف تُسبب "المنظورات التخصصية" صعوبات معرفية وإدراكية في البحث متعدد التخصصات. يؤكد العديد من المؤلّفين أهمية "المنظورات التخصصية" في التعاون متعدد التخصصات، إما من حيث الصرامة تجاه التغيير المفاهيمي أو النظري[74]، وإما من خلال الإشارة إلى أهمية الاعتراف بإمكانية وجود منظورات مختلفة حول المشكلة نفسها. ومع ذلك، يفترض معظم المؤلّفين في نهاية المطاف أنه يمكن التعامل مع هذا الأمر من خلال "التواصل" وإيجاد "أرضية مشتركة" بين المنظورات التخصصية حول مشكلة معينة e.g., DeZure.

ما يهمّنا هو أنّ السعي إلى الحصول على "أرضية مشتركة" من خلال التواصل غير المدعوم في البحث متعدد التخصصات أمرٌ صعب جدًا، أو يظل على مستوى سطحي، وهو اهتمام يدعمه أيضًا البحث التجريبي في العلوم التربوية التي ناقشناها أعلاه. وفي المقابل، قد يصبح التعاون متعدد التخصصات أكثر فعالية من خلال فهم أفضل لكيفية عمل "المنظورات التخصصية" في البحث العلمي "التخصصي".

أولًا، لا يمكن بسهولة تقدير إسهام المنظورات التخصصية في إطار الأنموذج الفيزيائي للعلم، إذ يُفترض أنّ العلم يهدف إلى النظريات التي "تمثّل" جوانب العالم بموضوعية، أي بوصفها علاقة ثنائية بين المعرفة والعالم، وهو افتراض يتفق بسلاسة مع استعارة أحجية الصور المقطوعة في البحث متعدد التخصصات. وفي تفسيرنا لدور المنظورات التخصصية في توليد المعرفة ضمن تخصص ما. نأخذ "النماذج العلمية" مثالًا إحدى القضايا التي نوقشت على نطاق واسع في فلسفة العلم هي كيفية "تمثيل" النماذج العلمية لنظامها المستهدف. ثمة تفسير مُفضَّل، وهو أيضًا في تعليم العلوم والتواصل، وهو أنه يتكوّن من علاقة تشابه[75]، تبدو مع ذلك إشكالية. ولتجنُّب الجوانب الإشكالية للتشابه، طَوَّرَ كل من جيير[76] وسواريز[77] تفسيرًا ينسب دورًا رئيسًا "للعميل الكفؤ والمُطّلع". ومع ذلك، لا يزال تفسيرهما غير مفيد جدًا فيما يتعلّق بالعمل

71 من المؤكد أنّ افتراض وجود علاقات اختزالية بين النظريات، كما هي الحال في وجهات النظر التقليدية لوحدة العلم، يجعل من الممكن فهم كيفية حدوث التكامل في العلم.

72 قدّم ماول (1977) وداردن وماول (1977) مفهوم "المجال" لتمكين الحديث عن العلاقات المتبادلة (غير الهرمية وغير الاختزالية)، التي تنشأ تاريخيًا بين المجالات. ولم يقدّما "المجال" على أنه بديل لـ"التخصص". في هذا المقال، نستخدم "الميادين" و"التخصصات" على نحو متبادل. انظر: Maull, "Unifying science without reduction"; Darden & Maull, "Interfield theories."

73 Thorén & Persson, "The philosophy of Interdisciplinarity: Sustainability science and problem feeding."

74 Ibid.

75 Roland N. Giere, Science *without Laws: Science and its conceptual foundations* (Chicago: Chicago University Press, 1999); Roland N. Giere, "How models are used to represent reality," *Philosophy of Science*, Vol. 71, No. 5 (2004), pp. 742–752.

76 Ronald N. Giere, "An agent-based conception of models and scientific representation," *Synthese*, Vol. 172 (2010), pp. 269-281.

77 Mauricio Suárez, "Scientific representation: Against similarity and isomorphism," *International Studies in the* ►

المعرفي للنماذج[78]. كما يُذكَر "الاعتماد على السياق" غالبًا للإشارة إلى أنّ العلاقة التمثيلية الموضوعية (ذات المكانين) إشكالية، ولكن مع استثناءات قليلة[79]، ولا تكاد أي من هذه الدراسات تشرح "السياق" أو المنظور التخصصي للعميل المعرفي، وكيف يُسهم في الطابع المعرفي للتمثيل. نهدف إلى فتح هذا "الصندوق الأسود"، لأننا نعتقد أنّ هذه هي الطريقة التي يمكن أن يُسهم بها الفلاسفة في صعوبات البحث متعدد التخصصات.

رَكَّزَ بون وكنوتيلا[80] وكنوتيلا وبون[81] على كيفية "بناء" النماذج، وجادلا بأنّ العديد من العناصر غير المتجانسة مُدمَجَة في الأنموذج، الذي يحدد إلى حدٍّ ما بثبات "كيف يبدو الأنموذج". عادةً ما يجري بناء أنموذج علمي ضمن تخصص معين، ويركّز على مشكلة داخل التخصصات أو خارجها. كما يختار الباحثون عادةً جانبًا معينًا من المشكلة (أو الظاهرة موضع الاهتمام)، التي يتم بناء الأنموذج من أجلها. يسترشد هذا الاختيار بالمنظور التخصصي. وبعد ذلك، ما يقدّمه التخصص وما يمكّنه ويقيده هو الطريقة التي يتم بها بناء الأنموذج، وهو أمر يتعلّق بجوانب مثل: الإنشاء أو الإعداد التجريبي، الذي تمكن من خلاله دراسة الظاهرة، والأدوات التي تحدد ما يمكن قياسه بالفعل، والمعرفة النظرية والتجريبية المتاحة حول الظاهرة، ونوع التبسيطات التي تُجرى عادةً في التخصص (على سبيل المثال، بسبب "الاختزاليات المنهجية" الموصى بها)، سواء في التحقيق التجريبي أم في بناء الأنموذج[82]. يُوضّح هذا الملخّص الموجز أنّ النماذج العلمية التي تُبنى بهذه الطريقة لا يمكن فهمها على أنها تمثيلات مباشرة بمعنى العلاقة الثنائية بين الأنموذج ونظام الهدف، ولا يمكن فهمها أيضًا على أنها مشتقة رياضيًا من نظريات مجرّدة (على الرغم من أنه يمكن اشتقاق أجزاء من الأنموذج بهذه الطريقة). وقد زعم بون وكنوتيلا[83] أنّ النماذج العلمية عادةً ما تكون تمثيلات بمعنى كونها "أدوات معرفية" تسمح بالتفكير والاستدلال حول نظام الهدف، بدلًا من كونها تمثيلات بمعنى أنها في المقام الأول "مماثلة" لنظام الهدف. وعلى الرغم من أنّ الاستخدامات المعرفية الفعلية للنماذج العلمية غير مفهومة عند افتراض أنّ الأنموذج "مشابه" لهدفه، فإنّ الاستخدامات المعرفية للنماذج العلمية من قبل الباحثين العلميين يمكن فهمها على نحو أفضل حين نأخذ في الحسبان كيف شكّلت الجوانب المذكورة الأنموذج. جادل بعض النقاد في بون[84] بأنّ تفسير "النماذج العلمية بوصفها تمثيلًا" يتوافق مع الأنموذج الفيزيائي في العلم، في حين أنّ نظرية "النماذج العلمية بوصفها أداةً معرفية" غير مفهومة تقريبًا في إطار الأنموذج الفيزيائي. وعلى العكس من ذلك، فإنّ مفهوم المعرفة بوصفه أداة معرفية هو سمة أساسية للأنموذج الهندسي للعلم.

وفيما يتعلّق بالسؤال: "هل يتسبب الأنموذج الفيزيائي في العلم في سوء فهم فلسفي للصعوبات المعرفية للبحث متعدد التخصصات، وإذا كان الأمر كذلك، فهل يعمل الأنموذج الهندسي على نحو أفضل؟" تمكننا الآن الإجابة عن هذا

Philosophy of Science, Vol. 17, No. 3 (2003), pp. 225–244; Mauricio Suárez, "Scientific representation," *Philosophy Compass*, Vol. 5, No. 1 (2010), pp. 91–101.

78 يدافع كل من جير وسواريز عن أنهما طوّرا عمدًا مفهوما انكماشيا للتمثيل لا يميّز إلا بصورة قليلة العلاقة التمثيلية بين الأنموذج ونظام الهدف في العالم الواقعي. انظر:
Knuuttila & Boon, "How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine."

79 إنّ رواية جيير (2006) وفان فراسين (2008) عن التمثيل هي إسهامات مهمّة في تطوير هذا الفهم، ولكن روايتهما تتجاوز النطاق الحالي.

80 Boon, & Knuuttila, "Models as epistemic tools in engineering sciences."

81 Knuuttila & Boon, "How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine."

82 جرى تقديم شرح أكثر منهجية لهذه الطريقة المسمّاة B&K لإعادة بناء النماذج العلمية في بون (2019). تساعد طريقة B&K الباحثين على فهم النماذج العلمية في تخصص غير مألوف من حيث قائمة العناصر التي توجّه الطريقة وتمكّنها وتقيّدها، التي يبني بها الباحثون النماذج في تخصص DA. لذا، تشير هذه القائمة من العناصر إلى أنواع الجوانب التي تحدّد مصفوفة التخصص، ويمكن تفسير الطريقة المقترحة لإعادة بناء النماذج العلمية على أنها سقّالة معرفية للمساعدة في التواصل بين التخصصات، في هذه الحالة، لمعرفة كيف يبني تخصص DA عادةً النماذج العلمية. انظر:
Boon, "scientific methodology in the engineering sciences."

83 Boon & Knuuttila, "Models as epistemic tools in engineering sciences"; Knuuttila & Boon, "How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine."

84 Boon, "An engineering paradigm in the biomedical sciences."

السؤال. أولًا، يرى الأنموذجُ الفيزيائي المعرفةَ العلمية كالنماذج على أنها تمثيلات موضوعية مستقلة عن كيفية تشكيل هذه التمثيلات بوساطة التخصص العلمي المحدد. وهذا ما يجعل من الصعب جدًّا على الخبراء المدرّبين في التخصص (D_B) في فهم الموارد المعرفية التي ينتجها الخبراء المدرّبون في التخصص (D_A). وعلى العكس من ذلك، يأخذ الأنموذج الهندسي في الحسبان أنّ جوانب الممارسة العلمية تشكّل المعرفة العلمية بصورة أساسية. فعلى سبيل المثال، تمكّن الطريقة المقترحة لبناء (أو إعادة بناء) النماذج العلمية[85] من تحليل الجوانب التي يبنيها تخصص ما عادةً في الأنموذج. في إطار الأنموذج الفيزيائي للعلم، فإنّ إسهام الجوانب الخاصة بكل تخصص في تشكيل النتائج المعرفية يؤدي إلى مخاوف حول موضوعية المعرفة. ومع ذلك، فإنّ هذا الأمر أقل أهمية بكثير في إطار الأنموذج الهندسي، لأنّ المعيار المهم لقبول النتائج المعرفية هو أنّ المعرفة يجب أن تُبنى بحيث يمكنها العمل بصورة صحيحة على أنها أداة معرفية في أداء المهام المعرفية، على سبيل المثال فيما يتعلّق بحل مشكلات العالم الواقعي.

3.4 الدعامات وراء الإدراكية

3.5 المصفوفات التخصصية والمنظورات التخصصية بوصفها سقّالات ما وراء إدراكية

وفقًا لمقاربة كون (Kuhn) المقترحة، يمكن توضيح "المنظور التخصصي" للخبراء في تخصص معين (DA) من خلال العناصر التي تشكّل "المصفوفة التخصصية"، أي من حيث مجموعة متماسكة إلى حدٍّ ما من المعرفة والمعتقدات والقيم والأساليب التي أصبحت "طبيعة ثانية" بمعنى أنّ الخبراء لا يدركون كيف تُسهم خصوصيات تخصصهم في الطرق التي يقومون بها بأبحاثهم وتوليد "النتائج المعرفية". إنّ تدريب الباحثة على تخصص (D_A) يغرس فيها منظورًا تخصصيًا حول هذا التخصص (D_A)، الذي "يمكّنها" بصورة أساسية من كيفية إجراء بحثها، غير أنه "يقيّدها" أيضًا من جهة أخرى. حين تواجه هذه الباحثة، على سبيل المثال، مشكلةً من مشكلات "العالم الواقعي"، فإنّ المنظور التخصصي يجعلها "تلاحظ" الظواهر (P_A)، التي يجري التعامل معها عادةً في التخصص (D_A). ومن ثَمَّ، يلاحظ الباحثون الذين يعملون في تخصص (D_A) بعض جوانب الظواهر (P_A) من المشكلة، ولكنهم لا يلاحظون ربما جوانب الظواهر الأخرى (P_B)، التي عادةً ما يلاحظها الخبراء المدرّبون في التخصص (D_B). وبعد ذلك، يجعل المنظور التخصصي الباحثين يضعون "أسئلةً بحثية" أنموذجية تناسب التخصص (D_A)، ويبنون "تفسيرات ونماذج وفرضيات" حول الظواهر (P_A) من خلال "الموارد المعرفية" و"الاستراتيجيات المعرفية" النموذجية للتخصص (D_A). يحقق الباحثون أيضًا في الظواهر (P_A) من خلال "إجراءات القياس" المستخدَمة عادةً في التخصص (D_A)، ويُصمّمون "إعدادات تجريبية" و"أدوات تكنولوجية" بطرق أنموذجية للتخصص (D_A) أيضًا. وأخيرًا، فإنهم يختبرون "النتائج المعرفية" حول الظواهر (P_A) من خلال "إجراءات" أنموذجية أيضًا للتخصص (D_A).

هذا المخطط الموجز لما يتكوّن منه "المنظور التخصصي" لتخصص (D_A) يؤدي إلى مجموعة من العناصر المحددة التي تشكّل مصفوفة تخصصية مثل: الظواهر، والأسئلة البحثية، والمصادر المعرفية. ومن هذه المصادر المعرفية نذكر المبادئ الأساسية، والمعرفة النظرية والتجريبية، والاستراتيجيات المعرفية، والطرق والمنهجيات ومنها على سبيل المثال، التحليل الإحصائي، والإعدادات التجريبية والتكنولوجية، وأدوات القياس. يمكن أن نضيف إلى هذه القائمة البراغماتية الأولية وغير الجامدة لبعض العناصر، التي تشير إلى قضايا فلسفية أعمق مُدرَجة في الجدول الأول، على سبيل المثال لدى محاولة معرفة الاختلافات الناجمة عن الافتراضات الفلسفية المسبقة مثل تلك التي قد تكون مهمة في التعاون، على سبيل المثال، بين العلوم الإنسانية، والعلوم الاجتماعية، والعلوم الطبيعية، والعلوم الهندسية. باختصار، نقترح أنّ "المنظور التخصصي" لتخصص معين (D_A) يمكن تحليله من حيث مجموعة من العناصر المتماسكة، التي تُسمّى "مصفوفة تخصصية".

85 Ibid.

يمكن عَدّ المصفوفة التخصصية على أنها "سقّالة ما وراء إدراكية"، أو "إطار" يمكّن الباحثين من توصيف منظورهم التخصصي من حيث مجموعة محدودة من الجوانب الملموسة النموذجية لتخصصهم. يمكن استخدام هذه الجوانب، على سبيل المثال، لتوضيح مقاربات التخصص. في أشكال التعاون بين التخصصات، ويمكن استخدام هذه المقاربة للتواصل مع خبراء من تخصصات أخرى، على سبيل المثال، من أجل إيجاد أوجه التشابه والاختلاف في الافتراضات المسبقة ومقاربات التخصص (D_A) مقارنةً بالتخصص (D_B). باختصار، تعمل المصفوفة التخصصية على توضيح المنظورات التخصصية ودراستها بوصفها سقّالة ما وراء إدراكية تُسهّل التواصل بين التخصصات المختلفة حول خصائص كل تخصص في المشروع البحثي متعدد التخصصات. إنها سقّالة تساعد على فتح صوامع التخصصات[86].

إنّ استخدام مصطلح "منظورات تخصصية" للتخصص (D_A)، (وأكثر من ذلك أيضًا مصطلح "سقّالات ما وراء إدراكية") قد يشير إلى وجهة نظر إدراكية "غير مادية" إلى حدٍّ ما حول إسهام خصوصيات تخصص معين (D_A) في تشكيل النتائج وشكل هذه النتائج. والأهم من ذلك هو أنّ الأدوات التكنولوجية المستخدَمة في تخصص (D_A) هي أيضًا جزءٌ لا يتجزأ من المنظور التخصصي، ليس بوصفها "نوافذ تطلُّ على العالم" فحسب، بل تُسهم، على سبيل المثال، في تشكيل وتوليد ظواهر لم تكن توجد من دون هذه الأدوات[87]. وبالإشارة إلى المنظورات التخصصية، نودُّ تأكيد إسهام المنظور التخصصي في خصوصيات نتائج البحث. يؤكد هذا الأمر أنّ هذه الجوانب من المنظور التخصصي (المشار إليها من خلال عناصر المصفوفة التخصصية) تحدّد إلى حدٍّ ما كيف تبدو "المعرفة" التي ينتجها تخصص معين (D_A)، لتأكيد أنّ هذه المعرفة ليست تمثيلًا للظاهرة المدروسة، دون النظر في خصوصيات التخصص العلمي الذي أنتج هذه المعرفة.

إنّ الاعتراف بإسهام خصوصيات تخصص معين في النتائج المعرفية (والتكنولوجية) للبحث العلمي يؤكد أهمية الدعامات وراء الإدراكية (والمهارات اللازمة لاستخدام هذه الدعامات) للباحث في البيئات متعددة التخصصات: بالنسبة إلى الباحثين غير المطّلعين على التخصص (D_A)، فإنّ الموارد المعرفية التي ينتجها تخصص (D_A) لا تتحدّث عن نفسها، لأنّ "المعرفة" ليست تمثيلًا مباشرًا لما يبدو عليه العالم، بل يتطلّب فهم "المعرفة" الخاصة بالتخصصات غير المألوفة قدرةً أيضًا على التعرُّف على أنها ناتجة عن طرق محددة للتفكير والتجريب والقياس والنمذجة ضمن تخصص (D_A). تساعد طريقة استخدام المصفوفة التخصصية والمنظورات التخصصية على أنها سقّالات ما وراء إدراكية في فهم تخصص غير

86 اقترح العديد من المؤلفين في العلوم التربوية، الذين يرفضون صراحةً الإبستيمولوجيا الوضعية في تعليم العلوم، رسم الخرائط المفاهيمية بوصفها طريقة لتدريس العلوم بطريقة بنّاءة أكثر: في هذه الحالة، بوصفها طريقة لفهم المفاهيم العلمية على نحو أفضل مقارنةً بالتعلُّم التقليدي. انظر:
Joseph D. Novak, "Concept mapping: A useful tool for science education," *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 27, No. 10 (1990), pp. 937–949; Melius Weideman & Wouter T. Kritzinger, "Concept mapping: A proposed theoretical model for implementation as a knowledge repository," ICT in Higher Education, June 10, 2003, Accessed February 1, 2025 https://web.stanford.edu/dept/SUSE/projects/ireport/articles/concept_maps/Concept%20map%20as%20knwoledge%20 repository.pdf; Jonas Innies Addae, Jacqueline I Wilson & Christine Carrington, "Students' perception of a modified form of PBL using concept mapping," *Medical Teacher*, Vol. 34, No. 11 (2012), pp. e756–e762; Lisa Thomas, Sue Bennett & L. Lockyer, "Using concept maps and goal-setting to support the development of self-regulated learning in a problem-based learning curriculum," *Medical Teacher*, Vol. 38, No. 9 (2016), pp. 930–935.
(يتناسب رسم الخرائط المفاهيمية بالتأكيد مع الأنموذج الهندسي. ندرك أيضًا الإمكانات التي يتمتع بها هذا النهج في تعلُّم البحث العلمي. ومع ذلك، فإنّ رسم الخرائط المفاهيمية يُقدَّم عادةً على أنه إطار "فارغ" إلى حدٍّ ما، ويجد الطلاب صعوبةً في استخدامه. لذا، نقترح أن يصبح هذا النهج بمنزلة "سقّالة ما وراء إدراكية" فعّالة، وأنّ الأمر يتطلّب مزيدًا من التوجيه في كيفية إنشاء خريطة مفاهيمية، على سبيل المثال على غرار إدخال عناصر ملموسة في مصفوفة (العمود الأيسر من الجدول الأول)، أو العناصر الملموسة في طريقة إنشاء النماذج العلمية.

87 Giere, *Scientific Perspectivism;* Bas C. van Fraassen, *Scientific representation (*Oxford: Oxford University Press, 2008); Boon, "Scientific concepts in the engineering sciences"; Boon, "Measurements in the engineering sciences."

مألوف (D_B) من حيث العناصر التي توجّه وتحد من الطريقة التي يتعامل بها الباحثون في مقاربتهم لتخصص (D_B) وتكوين "المعرفة". كما تشرح هذه الطريقة "كيف" يتم البحث في تخصص (D_B) من خلال تحديد ("ما هي") "المعرفة" المستخدَمة والمنتَجة في تخصص (D_B)، التي يمكن فهمها بسهولة أكثر.

3.6 الأطر: المصفوفات (التخصصية) والدعامات وراء الإدراكية بوصفها أدوات معرفية

ثمة فكرة أساسية في الأنموذج الهندسي للعلم وهي تفسير الكيانات المعرفية كالأنظمة البديهية، والمبادئ، والنظريات، والقوانين، وأوصاف الظواهر ("غير القابلة للملاحظة")، والنماذج والمفاهيم العلمية بوصفها "أدوات معرفية" يمكن أن تخدم الأنشطة المعرفية، التي تهدف إلى أغراض (معرفية) محددة. ومن أجل "أدائها" المعرفي، يجب أن تُلبّي الأدوات المعرفية المبنية معاييرَ معرفية وعملية محددة.

كما ظهر أعلاه، إضافة إلى تفسير "المعرفة" بوصفها أداةً معرفية، نقترح أيضًا تفسير الأطر مثل "المصفوفات (التخصصية)" و"الدعامات وراء الإدراكية" بوصفها أدوات معرفية أُنشِئَت وصُمِّمت (على سبيل المثال، من قِبل الفلاسفة ولكن أيضًا من قِبل الباحثين) لدعم الطلاب في تعلُّمهم (لفهم العلوم) وكذلك الباحثون في أداء المهام المعرفية (انظر الحواشي 19 و20 للحصول على أمثلة إضافية للسقّالات ما وراء الإدراكية). يتوافق هذا الاقتراح مع الأنموذج الهندسي، ولكنه لا يتوافق جيدًا مع الأنموذج الفيزيائي. في الأنموذج الفيزيائي تُقيَّم الأطر مثل المصفوفات (التخصصية) والدعامات وراء الإدراكية من حيث مدى "تمثيلها" (الحقيقي) لهدفها، في حين يؤكد الأنموذج الهندسي أنه يجب تقييمها من حيث مدى نجاحها في خدمة وظيفة معرفية محددة[88]، أي مدى نجاحها في خدمة أدوات (معرفية) في أداء المهام المعرفية. ونتيجة لذلك، تُقيَّم المصفوفات والمنظورات التخصصية، وحتى النماذج الفلسفية، في الأنموذج الهندسي للعلم، من حيث مدى نجاحها في سياق محدد، كالسياق العلمي، والعملي، وسياق حل المشكلات.

3.7 البحث متعدد التخصصات

سعينا في هذا المقال إلى تذليل الصعوبات المعرفية التي تعترض البحث متعدد التخصصات، وجعلها مرتبطة بالمعتقدات الفلسفية السائدة حول العلم. يتلخّص جوهر حجتنا في أنّ المعرفة العلمية تُقدَّم عادةً وكأنها ناشئة عن علاقة تمثيلية بين المعرفة والعالم، متجاهلةً دور المنظورات التخصصية. وقد تكون هذه المقاربة غير إشكالية نسبيًا طالما بقينا ضمن حدود تخصص معين، ونتوقع أن يتكيّف كل وافد جديد في نهاية المطاف مع خصوصيات التخصص. من المؤكد أنّ معظم الباحثين لديهم على الأقل بعض الفهم لما يعنيه وجود منظور تخصصي، ولكنهم يعملون ضمن حدود تخصصهم العلمي الراسخ، ولا يحتاجون إلى مراعاة أنّ النتائج العلمية تتشكّل وفقًا لخصوصيات تخصصهم. ومع ذلك، فإنّ هذا الموقف يسبب مشكلات خطيرة بمجرّد أن تكون هناك حاجة للتعاون بين التخصصات.

الحلول المقترحة هي تبنّي وجهة نظر معرفية تُفهم من خلالها المعرفة العلمية (كالنماذج) بأنها تتشكّل أيضًا من خلال خصوصيات التخصص. إنّ التعامل على نحو فعّال أكثر مع خصوصيات التخصصات العلمية في أشكال التعاون بين التخصصات قد يتطلّب سقّالات ما وراء إدراكية (وقدرةً على استخدامها)، تمكّن من تحليل كيفية توليد التخصص للمعرفة

88 على سبيل المثال، "نظام الممارسة" انظر:
Chang, "Is water H۲O? Evidence, realism and pluralism."

وتطبيقها على وجه التحديد. حددنا ثلاثة أمثلة لهذه الدعامات بإيجاز: يمكن تحليل المنظور التخصصي لتخصص معين وتوضيحه من خلال مصفوفة (تخصصية)، ويمكن تحليل الطريقة التي تُبنى فيها النماذج وتُوضَّح من خلال ما يُسمّى طريقة B&K[89]، ويمكن أيضًا تحليل الطريقة التي يتم بها تضمين المفاهيم العلمية في سياق أوسع من خلال رسم الخرائط المفاهيمية. لذا، ليست المهمة الأولى للتعاون بين التخصصات هي "تكامل" النظريات والمنظورات التخصصية، بل هي توضيح خصوصيات هذه التخصصات، والطريقة التي تنشأ فيها "المعرفة" في تخصص ما.

89 Boon, "scientific methodology in the engineering sciences."

المراجع

References:

Abd-El-Khalick, F. "Teaching with and about Nature of Science, and Science Teacher Knowledge Domains." *Science & Education*, Vol. 22, No. 9 (2013), pp. 2087–2107. https://doi.org/10.1007/s11191-012-9520-2

Aboelela, S. W., Larson, E., Bakken, S., Carrasquillo, O., Formicola, A., Glied, S. A., Gebbie, K. M. "Defining Interdisciplinary Research: Conclusions from a Critical Review of the Literature." *Health Services Research*, Vol. 42 (2007), pp. 329–346. https://doi.org/10.1111/j.1475-6773.2006.00621.x

Addae, J. I., Wilson, J. I., & Carrington, C. "Students' perception of a Modified form of PBL Using Concept Mapping." *Medical Teacher*, Vol. 34, No. 11 (2012), pp. e756–e762. https://doi.org/10.3109/0142159X.2012.689440

Alvargonzález, D. "Multidisciplinarity, Interdisciplinarity, Transdisciplinarity, and the Sciences." *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 25, No. 4 (2011), pp. 387–403. https://doi.org/10.1080/02698595.2011.623366

Andersen, H. "Collaboration, interdisciplinarity, and the epistemology of contemporary science." *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, Vol. 56 (2016), pp. 1–10. https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2015.10.006

——. "The Second Essential Tension: On Tradition and Innovation in Interdisciplinary Research." *Topoi*, Vol. 32, No. 1 (2013), pp. 3–8. https://doi.org/10.1007/s11245-012-9133-z.

Andersen, H., & Wagenknecht, S. "Epistemic Dependence in Interdisciplinary Groups." *Synthese,* Vol. 190, No. 11 (2013), pp. 1881–1898. https://doi.org/10.1007/s11229-012-0172-1

Aneas, A. "Transdisciplinary Technology Education: A Characterisation and some ideas for Implementation in the University." *Studies in Higher Education*, Vol. 40, No. 9 (2015), pp. 1715–1728. https://doi.org/10.1080/03075079.2014.899341

Apostel, L., Berger, G., Briggs, A., & Michaud, G. "Interdisciplinarity Problems of Teaching and Research in Universities." Paris: Organization for Economic Cooperation and Development, 1972.

Aram, J. D. "Concepts of Interdisciplinarity: Configurations of Knowledge and Action." *Human Relations*, Vol. 57, No. 4 (2004), pp. 379–412 http://www.journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0018726704043893

Bammer, G. *Disciplining Interdisciplinarity - integration and Implementation Sciences for Researching Complex Real-world Problems* (Canberra: Australian National University E-press: 2013).

Bergmann, M. "The Integrative Approach in Transdisciplinary Research." in: M. Bergmann, T. Jahn, T. Knobloch, W. Krohn, C. Pohl, & E. Schramm (eds.), *Methods for Transdisciplinary Research - A Primer for Practice.* Frankfurt/New York: Campus Verlag, 2012, pp. 22–49.

Boon, M. "An Engineering Paradigm in the Biomedical Sciences: Knowledge as Epistemic tool," *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, Vol. 129 (2017a), pp. 25–39. https://doi:j.pbiomolbio.2017.04.001

——. "Contingency and inevitability in science – Instruments, Interfaces and the Independent World." in: L. Soler, E. Trizio, & A. Pickering (eds.), *Science as it Could Have Been: Discussing the Contingent/inevitable Aspects of Scientific Practices*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2015, pp. 151–174.

——. "How science is applied in technology." *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 20, No. 1 (2006), pp. 27–47. https://doi.org/10.1080/02698590600640992

——. "In Defense of Engineering Sciences: On the Epistemological Relations between Science and Technology," *Techné: Research in Philosophy and Technology*, Vol. 15, No. 1 (2011), pp. 49–71. https://doi.org/10.5840/techne20111515

——. "Measurements in the Engineering Sciences: An Epistemology of Producing Knowledge of Physical

Phenomena." in: N. Mößner & A. Nordmann (eds.), *Reasoning in Measurement.* London and New York: Routledge, 2017, 203–219.

——. "Philosophy of Science, In Practice: A Proposal for Epistemological Constructivism," in: H. Leitgeb, I. Niiniluoto, P. Seppälä, & E. Sober (eds.), *Logic*, *Methodology and Philosophy of Science – Proceedings of the 15th International Congress* (CLMPS 2015). College Publications, 2017, pp. 289–310.

——. "Scientific Concepts in the Engineering Sciences: Epistemic tools for Creating and Intervening with Phenomena." in: U. Feest & F. Steinle (eds.), *Scientific Concepts and Investigative Practice*. Berlin: De Gruyter, 2012, pp. 219– 243.

——. "Scientific Methodology in the Engineering Sciences." in: D. Michelfelder & N. Doorn (eds.), *Chapter 4 in the Routledge Handbook of Philosophy of Engineering*. New York: Taylor & Francis / Routledge, 2019.

Boon, M., & Knuuttila, T. "Models as Epistemic tools in Engineering Sciences: A Pragmatic Approach." in: a. Meijers (ed.), *Philosophy of Technology and Engineering Sciences. Handbook of the Philosophy of Science*, Vol. 9. North-Holland: Elsevier, 2009, pp. 687–720.

Bosque-Perez, N. A., Klos, P. Z., Force, J. E., Waits, L. P., Cleary, K., Rhoades, P. Holbrook, J. D. "A pedagogical model for team-based, problem-focused interdisciplinary doctoral education." *BioScience*, Vol. 66, No. 6 (2016), pp. 477–488. https://doi.org/10.1093/biosci/biw042

Boumans, M. "Built-in justification." in: M. S. Morgan & M. Morrison (eds.), *Models as mediators - perspectives on natural and social science* (Cambridge: Cambridge University Press, 1999), pp. 66–96.

Cartwright, N. *How the Laws of physics lie* (Oxford: Clarendon Press, Oxford University Press, 1983).

Cartwright, N. *The dappled world. A study of the boundaries of science* (Cambridge: Cambridge University Press, 1999).

Cat, J. "The Unity of Science." in: E. N. Zalta (ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2014).

Chan, C. K., Zhao, Y., & Luk, L. Y. "A validated and reliable instrument investigating engineering students' perceptions of competency in generic skills." *Journal of Engineering Education*, Vol. 106, No.2 (2017), pp. 299– 325. https://doi.org/10.1002/jee.20165.

Chang, H. *Is water H2O? Evidence, realism and pluralism* (The Netherlands: Springer, 2012).

Chang, H. "Epistemic Activities and Systems of Practice: Units of Analysis in Philosophy of Science After the Practice Turn." in: L. Soler, M. Lynch, S. D. Zwart, & V. Israel-Jost (eds.), *Science after the Practice Turn in the Philosophy, History, and Social Studies of Science* (New York & London: Routledge, 2014), pp. 75–87.

Collins, H. M., & Evans, R. "The third wave of science studies: Studies of expertise and experience." *Social Studies of Science*, Vol. 32 (2002), pp. 235–296.

Collins, H., & Evans, R. *Rethinking Expertise* (Chicago. London: The University of Chicago Press, 2007).

Cullingan, P. J., & Pena-Mora, F. "Engineering." in R. Frodeman (ed.), *The Oxford handbook of interdisciplinarity* (Oxford: Oxford University Press, 2010), pp. 147–160.

Darden, L., & Maull, N. "Interfield theories." *Philosophy of Science*, Vol. 44, No. 1 (1977), pp. 43–64.

DeZure, D. "Interdisciplinary pedagogies in higher education." in R. Frodeman (ed.), *The Oxford handbook of interdisciplinarity* (Oxford: Oxford University Press, 2010), pp. 372–387.

Dupré, J. "The disunity of science." *Mind*, Vol. 92, No. 367 (1983), pp. 321–346.

Edmondson, K. M., & Novak, J. D. "The Interplay of Scientific Epistemological Views, Learning Strategies, and Attitudes of College Students." *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 30, No. 6 (1993), pp. 547–559. https://doi.org/10.1002/tea.3660300604.

Flavell, J. H. "Metacognition and Cognitive Monitoring: A New Area of Cognitive–developmental Inquiry." *American Psychologist*, Vol. 34, No. 10 (1979), pp. 906. https://doi.org/10.1037/0003-066X.34.10.906

Fortuin, K. P. J., & van Koppen, C. S. A. "Teaching and Learning Reflexive Skills in Inter- and Transdisciplinary Research: A Framework and its Application in Environmental Science Education." *Environmental Education Research*, Vol. 22, No. 5 (2016), pp. 697–716. https://doi.org/10.1080/13504622.2015.1054264

Frodeman, R. "Introduction," in: R. Frodeman, J. T. Klein, & C. Mitcham (eds.), *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity*. Oxford: The Oxford University Press, 2010, pp. xxix-xxxix.

Frodeman, R., & Mitcham, C. "New Directions in Interdisciplinarity: Broad, Deep, and Critical." *Bulletin of Science, Technology & Society*, Vol. 27, No. 6 (2007), pp. 506–514. https://doi.org/10.1177/0270467607308284

Giere, R. N. "An Agent-based Conception of Models and Scientific Representation." *Synthese*, Vol. 172 (2010), pp. 269– 281.

——. "How Models are used to Represent Reality." *Philosophy of Science*, Vol. 71 (2004), pp. 742–752.

——. *Scientific Perspectivism*. Chicago and London: The University of Chicago Press, 2006.

——. *Science without Laws: Science and its Conceptual Foundations*. Chicago: Chicago University Press, 1999.

Gnaur, D., Svidt, K., & Thygesen, M. "Developing students' collaborative skills in interdisciplinary learning environments." *International Journal of Engineering Education*, Vol. 31, No. 1B) (2015), pp. 257–266.

Goddiksen, M. P. "Clarifiying interactional and contributory expertise." *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, Vol. 47 (2014), pp. 111–117.

Goddiksen, M., & Andersen, H. "Expertise in interdisciplinary science and education." Centre for Science Studies Aarhus University (2014) [Preprint]. Retrieved from: http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/11151

Grantham, T. A. "Conceptualizing the (dis)unity of science." *Philosophy of Science*, Vol. 71, No. 2 (2004), pp. 133–155. https://doi.org/10.1086/383008

Green, S. "When one model is not enough: Combining epistemic tools in systems biology." *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, Vol. 44, No. 2 (2013), pp. 170–180. https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2013.03.012

Grüne-Yanoff, T. "Models as products of interdisciplinary exchange: Evidence from evolutionary game theory." *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, Vol. 42, No. 2 (2011), pp. 386–397. https://doi.org/10.1016/j. shpsa.2010.12.004

——. "Teaching philosophy of science to scientists: Why, what and how." *European Journal for Philosophy of Science*, 4, Vol. No.1 (2014), pp. 115–134. https://doi.org/10.1007/s13194-013-0078-x

Haynes, C. & Brown-Leonard, J., "From Surprise Parties to Mapmaking: Undergraduate Journeys toward Interdisciplinary Understanding." *The Journal of Higher Education*, Vol. 81, No. 5, (2010), pp. 645–666. https://doi. org/10.1080/00221546.2010.11779070.

Hirsch-Hadorn, G., Pohl, C., & Bammer, G. "Solving Problems through Transdisciplinary Research." in R. Frodeman

(ed.), *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity* (Oxford: Oxford University Press, 2010), pp. 431–452.

Holbrook, J. B. "What is Interdisciplinary Communication? Reflections on the Very Idea of Disciplinary Integration." *Synthese*, Vol. 190, No. 11 (2013), pp. 1865–1879. https://doi.org/10.1007/s11229-012-0179-7

Huutoniemi, K., Klein, J. T., Bruun, H., & Hukkinen, J. "Analyzing Interdisciplinarity: Typology and Indicators." *Research Policy*, Vol. 39 (2010), pp. 79–88.

Ivanitskaya, L., Clark, D., Montgomery, G., & Primeau, R. "Interdisciplinary Learning: Process and Outcomes," *Innovative Higher Education*, Vol. 27, No. 2 (2002), pp. 95–111. https://doi.org/10.1023/A:1021105309984

Jacobs, J. A., & Frickel, S. "Interdisciplinarity: A Critical Assessment." *Annual Review of Sociology*, Vol. 35, No.1 (2009), pp. 43–65.

Jantsch, E. "Inter- and Transdisciplinary University: A systems approach to education and innovation." *Higher Education*, Vol. 1, No.1 (1972), pp.7–37.

Khosa, D. K., & Volet, S. E. "Promoting effective collaborative case-based learning at university: A metacognitive intervention." *Studies in Higher Education*, Vol. 38, No. 6 (2013), pp. 870–889. https://doi.org/10.1080 /03075079.2011.604409.

Klein, J. T. "A taxonomy of Interdisciplinarity," in R. Frodeman, J. T. Klein, & C. Mitcham (eds.), *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity*. (Oxford: Oxford University Press, 2010, pp. 15–30.

——. *Crossing Boundaries: Knowledge, Disciplinarities, and Interdisciplinarities*. Charlottesville: University Press, 1996.

——. *Interdisciplinarity: History, Theory and Practice*. Detroit: Wayne state University Press, 1990.

Kline, S. J. *Conceptual Foundations for Multidisciplinary Thinking.* California Stanford University Press, 1995.

Knuuttila, T., & Boon, M. "How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine." *European Journal for Philosophy of Science*, Vol. 1, No. 3 (2011), pp. 309–334. https://doi.org/10.1007/s13194-011-0029-3

Krohn, W. "Interdisciplinary cases and disciplinary knowledge." in R. Frodeman, J. T. Klein, & C. Mitcham (eds.), *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity*. Oxford: Oxford University Press, 2010, pp. 31–49.

Kuhn, T. S. *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press, 2nd ed., 1970.

Lattuca, L. R. *Creating interdisciplinarity: Interdisciplinary Research and Teaching Among College and University Faculty*. Nashville: Vanderbilt University Press, 2001.

——. "Learning interdisciplinarity: Sociocultural Perspectives on Academic Work." *The Journal of Higher Education*, Vol. 73, No.6 (2002), pp. 711–739 http://www.jstor.org/stable/1558403

Lattuca, L. R., Knight, D. B., Ro, H. K., & Novoselich, B. J. "Supporting the development of Engineers' interdisciplinary competence." *Journal of Engineering Education*, Vol. 106, No.1 (2017), pp. 71–97. https:// doi. org/10.1002/jee.20155

Liu, S. Y., Lin, C. S., & Tsai, C. C. "College Students' scientific epistemological views and thinking patterns in Socioscientific decision making." *Science Education*, Vol. 95, No. 3 (2011), pp. 497–517. https://doi. org/10.1002 /sce.20422

Lourdel, N., Gondran, N., Laforest, V., Debray, B., & Brodhag, C. "Sustainable development cognitive map: A new

method of evaluating student understanding." *International Journal of Sustainability in Higher Education*, Vol. 8, No. 2 (2007), pp. 170–182. https://doi.org/10.1108/14676370710726634

MacLeod, M. "What Makes Interdisciplinarity Difficult? Some Consequences of Domain Specificity in Interdisciplinary Practice." *Synthese*, Vol. 195 (2016), pp. 1–24. https://doi.org/10.1007/s11229-016-1236-4

MacLeod, M., & Nersessian, N. J. "Coupling simulation and experiment: The bimodal strategy in integrative systems biology." *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences Part A*, Vol. 44, No. 4 (2013), pp. 572–584. https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2013.07.001

Maki, U. "Philosophy of interdisciplinarity. What? Why? How? European Journal for Philosophy of Science." Vol. 6, No. 3 (2016), pp. 327–342. https://doi.org/10.1007/s13194-016-0162-0.

Mansilla, V. B. "Learning to synthesize: the development of interdisciplinary understanding." in R. Frodeman (ed.), *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity*. Oxford: Oxford University Press, 2010, pp. 288–306.

Mattila, E. "Interdisciplinarity Bin the making: Modeling infectious diseases." *Perspectives on Science*, Vol. 13, No. 4 (2005), pp. 531–553. https://doi.org/10.1162/106361405775466081

Maull, N. L. "Unifying science without reduction." *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, Vol. 8, No. 2 (1977), pp. 143–162. https://doi.org/10.1016/0039-3681(77)90012-7

McComas, W. F., Almazroa, H., & Clough, M. P. "The nature of science in science education: An introduction." *Science & Education*, Vol. 7, No. 6 (1998), pp. 511–532. https://doi.org/10.1023/A:1008642510402

Menken, S., & Keestra, M. *An Introduction to Interdisciplinary Research: Theory and Practice*. Amsterdam: University Press, 2016.

Mitchell, S. D. *Unsimple Truths, Science Complexity and Policy.* Chicago and Londen: The University of Chicago Press, 2009.

Nagel, E. *The Structure of Science; Problems in the Logic of Scientific Explanation.* New York: Harcourt, Brace and World, 1961.

National Academy of Sciences; National Academy of Engineering; Institute of Medicine; Policy and Global Affairs; Committee on Science, E., and Public Policy; Committee on Facilitating Interdisciplinary Research, *Facilitating Interdisciplinary Research*. Washington, DC: The National Academies Press, 2005.

National Science Foundation. *Impact of Transformative Interdisciplinary Research and Graduate Education on Academic Institutions.* Washington, Cd, 2008.

Nersessian, N. J. *Creating scientific concepts*. Cambridge, MA: MIT Press, 2009.

Nersessian, N. J., & Patton, C. "Model-based Reasoning in Interdisciplinary Engineering." in: a. W. M. Meijers (ed.), *Handbook of the Philosophy of Technology and Engineering Sciences*. Northholland: Elsevier, 2009, pp. 687–718.

Newell, W. H. "A theory of interdisciplinary studies." *Issues in Integrative Studies*, Vol. 19, (2001), pp. 1–25.

——. "The state of the field: Interdisciplinary theory." *Issues in Interdisciplinary Studies*, Vol. 31 (2013), pp. 22–43.

Newstetter, W. C. "Designing cognitive apprenticeships for biomedical engineering." *Journal of Engineering Education*, Vol. 94, No. 2 (2005), pp. 207–213.

Nikitina, S. "Three strategies for interdisciplinary teaching: Contextualizing, conceptualizing, and problem-centring." *Journal of Curriculum Studies*, Vol. 38, No. 3 (2006), pp. 251–271. https://doi.org/10.1080/00220270500422632

Novak, J. D. "Concept mapping: A useful tool for science education." *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 27, No.10 (1990), pp. 937–949. https://doi.org/10.1002/tea.3660271003.

Oppenheim, P., & Putnam, H. "Unity of science as a working hypothesis," in H. Feigl, M. Scriven, & G. Maxwell (eds.), *Minnesota studies in the philosophy of science*, Vol. 2 (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1958), pp. 3–36.

O'Rourke, M., Crowley, S., & Gonnerman, C. "On the nature of cross-disciplinary integration: A philosophical framework." *Studies in History and Philosophy of Science Part C*, Vol. 56 (2016), pp. 62–70. https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2015.10.003

Pintrich, P. R., "The role of metacognitive knowledge in learning, teaching. and assessing," *Theory into practice*, Vol. 41, No. 4 (2002), pp. 219–225 http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1207/s15430421tip4104_3

Procee, H. "Reflection in education: A Kantian epistemology." *Educational Theory*, Vol. 56, No. 3 (2006), pp. 237–253. https://doi.org/10.1111/j.1741-5446.2006.00225.x.

Repko, A. F. *Interdisciplinary Research: Process and Theory*. Thousand Oaks, CA: Sage, 2008.

Repko, A. F., & Szostak, R. *Interdisciplinary Research: Process and Theory*. Los Angeles: Sage, 3rd ed., 2017.

Repko, A., Navakas, F., & Fiscella, J. "Integrating Interdisciplinarity: How the theories of common ground and Cognitive_Interdisciplinarity are informing the debate on interdisciplinary integration." *Issues in Interdisciplinary Studies*, Vol. 25, No. 16 (2007), pp. 1–31.

Robles, M. M. "Executive perceptions of the top 10 soft skills needed in Today's workplace." *Business Communication Quarterly*, Vol. 75, No. 4 (2012), pp. 453–465. https://doi.org/10.1177/1080569912460400

Rossini, F. A., & Porter, A. L. "Frameworks for integrating interdisciplinary research." *Research Policy*, Vol. 8, No. (1979), pp. 70–79.

Schmidt, J. C. "Towards a philosophy of interdisciplinarity." *Poiesis & Praxis*, Vol. 5, No. 1 (2008), pp. 53–69. https://doi. org/10.1007/s10202-007-0037-8

——. "What is a problem? On problem-oriented interdisciplinarity." *Poiesis & Praxis*, Vol. 7, No. 4 (2011), pp. 249–274. https://doi.org/10.1007/s10202-011-0091-0.

Sin, C. "Epistemology, sociology, and learning and teaching in physics." *Science Education*, Vol. 98, No. 2 (2014), pp. 342– 365. https://doi.org/10.1002/sce.21100

Spelt, E. J., Biemans, H. J., Tobi, H., Luning, P. A., & Mulder, M. "Teaching and learning in interdisciplinary higher education: A systematic review." *Educational Psychology Review*, Vol. 21, No. 4 (2009), pp. 365– 378. https://doi.org/10.1007/s10648-009-9113-z.

Stentoft, D. "From saying to doing interdisciplinary learning: Is problem-based learning the answer?" *Active*

Learning in Higher Education, 2017. (online) http://www.journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1469787417693510

Strang, V. "Integrating the social and natural sciences in environmental research: A discussion paper." *Environment, Development and Sustainability*, Vol. 11, No. 1 (2009), pp. 1–18. https://doi.org/10.1007/s10668-007-9095-2

Suárez, M. "Scientific representation: Against similarity and isomorphism." *International Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 17, No. 3 (2003), pp. 225–244.

——. "Scientific representation." *Philosophy Compass*, Vol. 5, No. 1 (2010), pp. 91–101.

Thomas, L., Bennett, S., & Lockyer, L. "Using concept maps and goal-setting to support the development of self-regulated learning in a problem-based learning curriculum.," *Medical Teacher*, Vol. 38, No. 9 (2016), pp. 930–935. https://doi.org/10.3109/0142159x.2015.1132408

Thorén, H. "The hammer and the nail: interdisciplinarity and problem solving in sustainability science." (PhD thesis, Lund University, 2015), pp. 1-356.

Thorén, H., & Persson, J. "The philosophy of Interdisciplinarity: Sustainability science and problemfeeding." *Journal for General Philosophy of Science*, Vol. 44, No. 2 (2013), pp. 337–355. https://doi.org/10.1007/s10838-013- 9233-5

Tsai, C. C. "Teachers' scientific epistemological views: The coherence with instruction and students' views." *Science Education*, Vol. 91, No. 2 (2007), pp. 222–243. https://doi.org/10.1002/sce.20175

Tuana, N. "Embedding philosophers in the practices of science: Bringing humanities to the sciences." *Synthese*, Vol. 190, No. 11 (2013), pp. 1955–1973. https://doi.org/10.1007/s11229-012-0171-2

Turner, S. "What are disciplines? And how is interdisciplinarity different," in: N. Stehr & P. Weingart (eds.), *Practising interdisciplinarity*. Toronto: University of Toronto Press, 2000, pp. 46–65.

Turner, V. K., Benessaiah, K., Warren, S., & Iwaniec, D. "Essential tensions in interdisciplinary scholarship: Navigating challenges in affect, epistemologies, and structure in environment–society research centers." *Higher Education*, Vol. 70, No. 4 (2015), pp. 649–665. https://doi.org/10.1007/s10734-015-9859-9

Van den Beemt, A., MacLeod, M., Van der Veen, J. T., Van de Ven, A. M. A., Van Baalen, S. J., Klaassen, R. G., & Boon, M. "Interdisciplinary engineering education: A systematic review on vision, teaching, and support." *Journal of Engineering Education,* Vol. 109, No. 3 (2020).

Van Fraassen, B. C., *Scientific representation*. Oxford: Oxford University Press, 2008.

Weideman, M., & Kritzinger, W. "Concept mapping: A proposed theoretical model for implementation as a knowledge repository." *ICT in Higher Education*, 2003. Retrieved from https://web.stanford.edu/dept/SUSE/projects/ireport/articles/concept_maps/Concept%20map%20as%20knwoledge%20 repositorypdf

Yerrick, R. K., Pedersen, J. E., & Arnason, J. "We're just spectators: A case study of science teaching, epistemology, and classroom management." *Science Education*, Vol. 82, No. 6 (1998), pp. 619–648.

Zohar, A., & Barzilai, S. "A review of research on metacognition in science education: Current and future directions." *Studies in Science Education*, Vol. 49, No. 2(2013), pp. 121–169. https://doi.org/10.1080/03057267.2013.847261