الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

المدرسة العليا للأساتذة - الشيخ محمد البشير الإبراهيمي

القبة – الجزائر

مجلة بشائر العلوم

فصلية، ثقافية، علمية

تصدرها المدرسة العليا للأساتذة، الشيخ محمد البشير الإبراهيمي

القبة – الجزائر

العدد 17 : جانفي 2026

كلمة العدد 17

يسرّ أسرة مجلة **بشائر العلوم** أن تفتتح العدد السابع عشر، وهو أول عدد في سنتها الخامسة من الرحلة العلمية والمعرفية التي بدأناها بشغف، وواصلناها بقدر كبير من الإصرار والإيمان بضرورة نشر الثقافة العلمية عبر كل قنوات التواصل. وما حفّزنا أكثر خلال هذه السنوات الأربع هو هذا الزخم الجميل من القراء الذين اقترب عددهم من 250 ألف زائر لموقع المجلة منذ منتصف سبتمبر 2023. قد تبدو أربع سنوات قصيرة في عمر المعرفة، أما في فضاء المبادرات العلمية العربية فهي أشبه بالشرارة الصغيرة التي تتحوّل إلى شعلة مضيئة. كل زيارة، وكل قراءة، هي حجر في صرح العلم الذي تحاول **بشائر العلوم** أن ترفع قواعده.

نستهِلُّ عامنا الجديد بباقة من المواد التي تجمع بين الفلك والعلوم الدقيقة، وتاريخ المعرفة، والتكنولوجيا، والزراعة الذكية، إضافة إلى نافذتنا الثابتة على التعليمية وما يرتبط بها من قضايا معاصرة. ففي محور الفلك يعود القارئ إلى تجربة الأولمبياد العلمي من منظور جديد وإلى المشاركة الجزائرية في أولمبياد الفلك 2025 بالهند. وإلى جانبه مقاربة أخرى تستعرض فكرة النجم القرين وما يكتنفها من غرابة علمية وإثارة بحثية.

أما في محور الثقافة والتاريخ، فيتصدر المشهد موضوع الجامعة الجزائرية ودورها في التحوّل من فضاء تعليمي إلى محرك تنموي، تليه إطلالة معرفية على تجارب فيزياء الذرات المبردة وأبعادها الفلسفية والعلمية في الجدل بين العالمين ألبرت أينشتاين نيلز وبور. ثم نواصل سلسلة المقالات المتعلقة بتاريخ الفنون الحرة في العصور الوسطى، إلى جانب قراءة مكمّلة حول روائع الحضارة العربية الإسلامية وتأثيرها في أوروبا.

في باب التعليم والتعليمية نسلّط الضوء على سبل تعزيز حضور الكيمياء في المناهج التكوينية، مع وقفة تحليلية نقدية لبعض مواضيع امتحانات البكالوريا وشهادة التعليم المتوسط، مرورا بتأملات في طبيعة الرياضيات التي تُدرَّس اليوم. ثم نعرّج على بحث فلسفي-منطقي حول الحقيقة في المنطق الكلاسيكي واتساق نظرية علم المنطق المنسوبة لزَرْميلو وفرانكل (ZF) .

أما محور التكنولوجيا والعلوم فيفتح ملفات متعددة، بداية من الزراعة الذكية وبنيتها التحتية الممتدة من المستشعرات إلى معالجة البيانات السحابية، ثم تجربة فيزيائية بسيطة في ظاهرها عميقة في دلالاتها حول حركة جسم داخل علبة، وهذا إضافة إلى دراسة مفهوم نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة. كما نقدم لمحة حول الاشتقاق كسري الرتبة، بما يحمله من أسئلة حول الحدود التقليدية للحساب التفاضلي.

ثم يأتي ركن شخصية العدد الذي نقدم من خلاله هذه المرة أحد وجوه الرياضيات والبحث العلمي والتعليم الجامعي في بلادنا، الأستاذ جمال الدين ثنيو. ونختم عددنا بعرض كتاب يتمثل في الأعمال الكاملة لملتقى أقيم تكريما للأستاذ غي بروسو (1933-2024)، سنة بعد وفاته، لما قدمه لفنون تدريس الرياضيات من خلال نظريته "نظرية الوضعيات التعليمية".

إننا ندخل عامنا الخامس بامتنان لكل قارئ وكاتب وداعم شاركنا هذه المسيرة. نأمل أن يحمل هذا العدد بذور أفكار مفيدة. أخيرا، ندعو أساتذتنا، وبصفة خاصة أساتذة المدرسة العليا للأساتذة-القبة، إلى أن يكونوا جزءًا حيًّا من هذا المشروع، لا متفرجين على نموّه. فمجلة **بشائر العلوم** يمكن أن تمضي بخطى ثابتة، لكنها لا تبلغ مُرامها إلا بأقلامكم . إننا نطمح إلى محتوى علمي يُكتب بشغف ويُقرأ بشهيّة. وبالله التوفيق.

هيئة التحرير

طاقم المجلة

- **المشرف العام**

مدير المدرسة : الطاهر بلال

- **هيئة التحرير**

رئيس التحرير : الأستاذ أبو بكر خالد سعد الله (قسم الرياضيات)

مديرة التحرير: الأستاذة ليلى زيتوني (قسم الرياضيات)

الأمانة : ليلى بن شويخ

الإشراف التقني :

الأستاذ علي نصبة (قسم الإعلام الآلي)

المهندسة إيمان براهيمي

فلك

الأولمبيادات كمجهر مصغّر:
تأملات حول أول مشاركة جزائرية في الأولمبياد الدولي لعلم الفلك 2025 بالهند

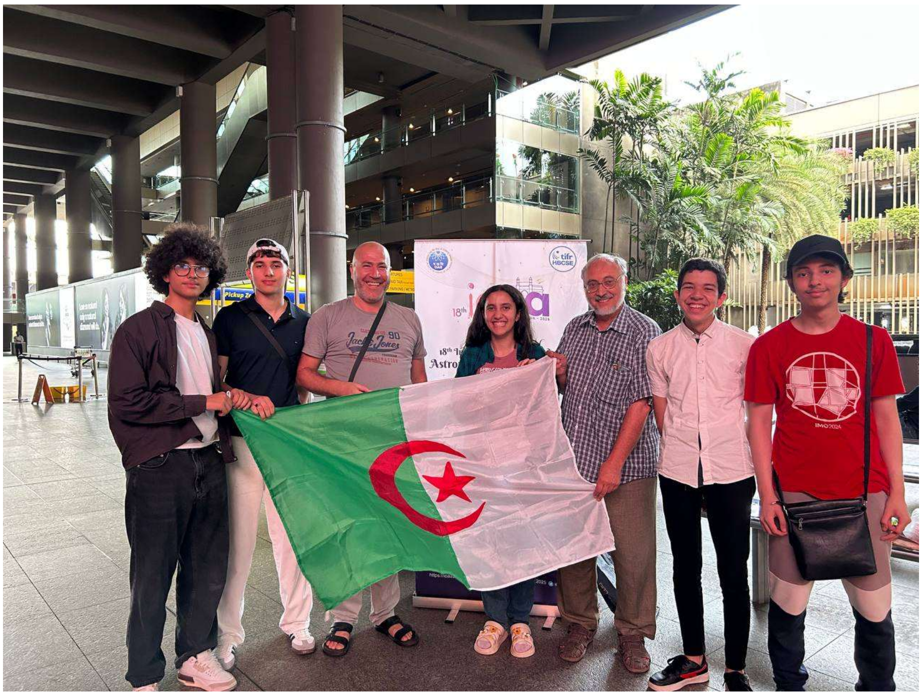
جمال ميموني
أستاذ بقسم الفيزياء، جامعة قسنطينة 1
وحدة البحث في الوساطة العلمية بمركز البحث في الإعلام العلمي والتقني (CERIST)، الجزائر
jamal.mimouni@gmail.com

1. مقدمة: الجزائر تنضمّ إلى كوكبة الأمم

من 11 إلى 21 أوت 2025، استضافت مدينة مومباي الهندية الدورة الثامنة عشرة من الأولمبياد الدولي لعلم الفلك والفيزياء الفلكية (IOAA)، وهو أرقى منافسة في العالم لتلاميذ ما قبل الجامعة في مجالي علم الفلك والفيزياء الفلكية. جمعت التظاهرة 64 دولة وما يقارب 300 متسابق، مما يؤكد الحيوية المتزايدة لهذا المجتمع العلمي الفتي والمتنامي بسرعة.

بالنسبة للجزائر، كانت لهذه الدورة دلالة خاصة، إذ مثّلت أول مشاركة وطنية في هذا الحدث المرموق. وتحت إشراف وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، وبدعم لوجستي من المركز الوطني للبحث في الإعلام العلمي والتقني (CERIST)، شكّلت مشاركة الوفد الجزائري محطة شرف وتحدٍ في مسار انخراط البلاد في تعليم العلوم الحديثة.

إن المشاركة في مثل هذا الأولمبياد تتجاوز مجرد منافسة فكرية؛ فهي تمرين مؤسسي في التميز العلمي. إذ تُعدّ الأولمبيادات إحدى الساحات الدولية القليلة التي يتفاعل فيها تلاميذ الثانويات مباشرة مع معايير المجتمع البحثي العالمي. أما بالنسبة للدول الصاعدة علميًا، تُمثل هذه التجربة في الوقت ذاته اختبارًا للحضور ومحفزًا لتجديد المنظومة التعليمية.



الصورة 1. الفريق الجزائري يصل إلى مطار مومباي بالهند.

2. روح الأولمبياد: مختبر لتجديد التربية

وُلدت الأولمبيادات العلمية من رؤية تبلورت بعد الحرب العالمية الثانية، رأت أن المعرفة والإبداع يُشكلان الثروة الحقيقية للأمم. ومثل أولمبيادات الفيزياء والكيمياء والرياضيات التي سبقتها، يشكّل الأولمبياد الدولي لعلم الفلك والفيزياء الفلكية ساحة أكاديمية تحتفي بالصرامة والإبداع معًا.

الصورة 2. حفل الافتتاح للأولمبياد

لكن علم الفلك يضيف نكهةً خاصة؛ إذ يجسر بين الفيزياء وعلم الكونيات والرياضيات التطبيقية، بينما يخاطب أقدم نزعة بشرية: التأمل في السماء. ومن هذا المنظور، ربما يكون الأكثر تعددية في التخصص بين جميع الأولمبيادات. فلكي ينجح المشاركون، عليهم أن يربطوا الميكانيكا والديناميكا الحرارية بحياة النجوم، والبصريات بتصميم التلسكوبات، وتحليل البيانات بفهم الإشارات الكونية. تجعل هذه الخصائص أولمبياد الفلك أكثر من مجرد منافسة أكاديمية. فهو مختبر للثقافة العلمية، تُعاش فيه قيم الدقة والتعاون والفضول بدل أن تُلقّن نظريًا. كما يُقدّم نموذجًا تربويًا يرتكز على الاستكشاف والاستقلالية الفكرية، وهي قيم يمكن للمنظومة التربوية الجزائرية، في مسار إصلاحها الحالي، أن تتبناها بثمرة واضحة.

3. لماذا تهمّ الرياضيات؟

يواجه المربّون في إعداد مسائل الأولمبيادات دائمًا معضلة بيداغوجية: أين يجب وضع عتبة الصرامة الرياضية؟ فإن كانت منخفضة جدًا، فقدت المسائلُ عمقها ولم تعد تتحدى العقول الموهوبة؛ أما إذا كانت مرتفعة جدًا، فإنها قد تُثني تلاميذ المناطق التي لا يزال فيها المنهاج الدراسي محدودًا.

تقع أولمبيادات الفلك في هذا المفترق بالذات. فعلى الرغم من أن الأولمبياد الدولي لعلم الفلك والفيزياء الفلكية يقتصر رسميًا على رياضيات المستوى الثانوي، فإن طبيعة المسائل الفلكية الفيزيائية تتطلب في كثير من الأحيان تفكيرًا أكثر تقدمًا — إذ تظهر الاشتقاقات والتكاملات والتحويلات الهندسية بشكل طبيعي. والقدرة على تمييز متى تكون الطريقة الرياضية ضرورية، لا مجرد تنفيذها آليًا، هي ما يميز الفهمَ الحقيقي عن الحفظ الأعمى.

وتحمل هذه المسألة أهمية خاصة بالنسبة للجزائر والدول النامية الأخرى. ففي العديد من الأنظمة التعليمية، يُقدَّم التفاضل والتكامل وتحليل البيانات في وقت متأخر وغالبًا بطريقة سطحية، مما يترك الطلبة الموهوبين غير مهيئين

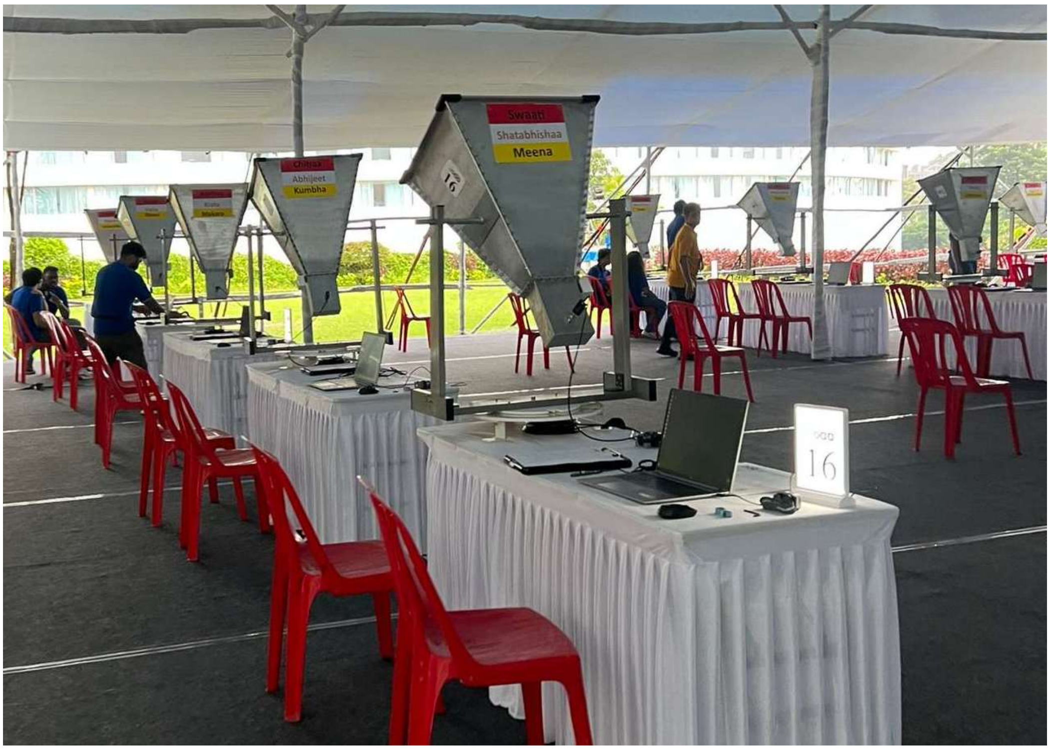
لمثل هذه التحديات. ومن ثم، تكشف المشاركة في الأولمبياد هذه الفجوات البنيوية ويمكن أن تساهم في توجيه تطوير المناهج الدراسية. وهي تبعث برسالة واضحة: لتنمية المواهب العلمية، يجب تعزيز الأسس الرياضية مبكرًا وباستمرار.

4. الحدث: احتفال بالعلم والثقافة

افتُتح أولمبياد مومباي بحفل فخم ترأسّه رئيسُ الوزراء الهندي ناريندرا مودي، حيث احتفى بالتحام الفكر والثقافة. وسارت الوفود الوطنية بأعلامها على أنغام الموسيقى الهندية الكلاسيكية، وعروض الوسائط المتعددة التي تحتفي بالإرث الفلكي العالمي — من المراصد القديمة إلى التلسكوبات الفضائية الحديثة.

ولمدة عشرة أيام، تحوّلت مومباي إلى مجهر مصغّر للعالم العلمي: مكان يتناقش فيه الفلكيون الشباب، ويتعاونون ويتنافسون تحت إشراف أساتذتهم. وقد اختبرت الامتحاناتُ النظرية والتطبيقية والرصدية ليس فقط الذاكرة والمهارة، بل أيضًا الخيال والقدرة على الصمود. ومن أبرز الابتكارات هذا العام إدخال علم الفلك الراديوي ضمن الجانب التطبيقي، باستخدام أربعة عشر تلسكوبًا راديويًا محلي الصنع. وكانت هذه سابقة تاريخية في مسيرة الأولمبياد، وإشارة بليغة إلى تطور الميدان نحو تقنيات حديثة في الرصد الكوني.

أما الامتحان الرصدي، الذي يُجرى عادة تحت السماء الليلية، فقد نُظّم داخل قبة فلكية بسبب أحوال الطقس الموسمية. وبعيدًا عن أن يقلل ذلك من التجربة، فقد أبرز مرونة المنظمين وابتكارهم التكنولوجي.



الصورة 3. قاعة التلسكوبات الراديوية

5. الأولمبيادات العلمية كمرآة للمجتمع

بعيدًا عن الميداليات والترتيبات، تكشف الأولمبيادات الكثير عن كيفية تصور الأمم للعلم وقيمته. ويُظهر الأولمبياد الدولي لعلم الفلك والفيزياء الفلكية، على وجه الخصوص، كيف يمكن لـ "دبلوماسية المعرفة" أن تعمل خارج القنوات

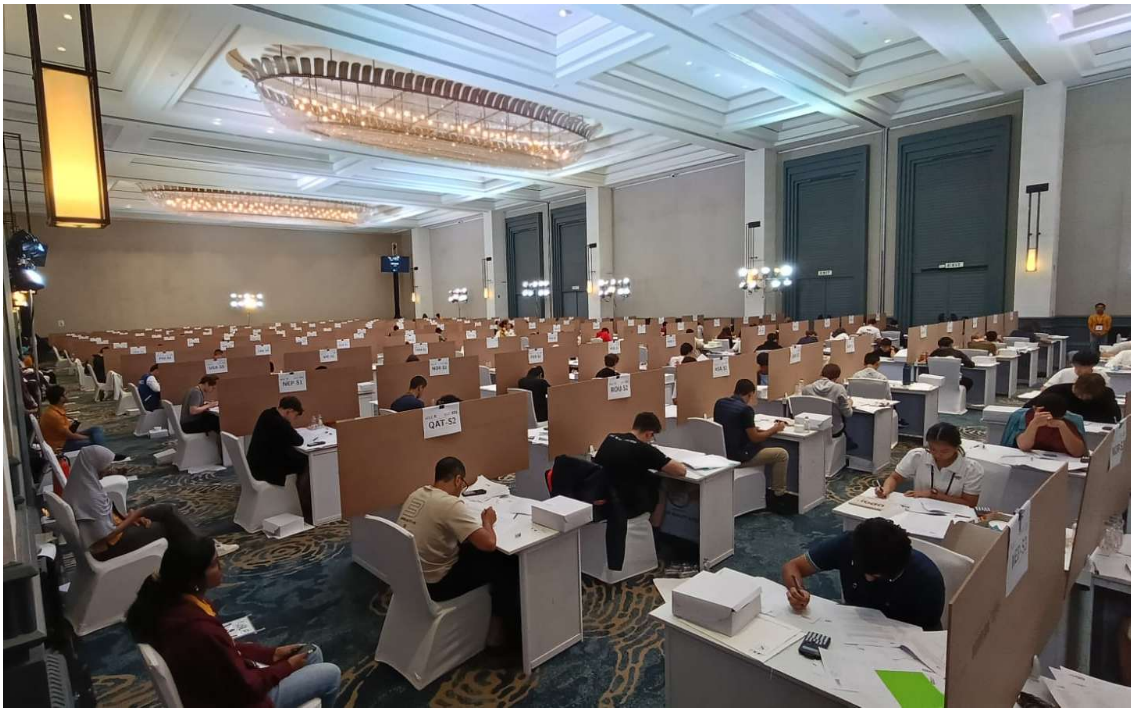
السياسية التقليدية. إذ تبني التفاعلات بين الطلبة والمربين وصنّاع القرار في مثل هذه الفعاليات جسور فهم تتجاوز الحدود.

بالنسبة للجزائر، فإن الانضمام إلى هذه الشبكة العالمية يخدم غرضين: فهو من جهة يعزّز بروز المواهب الوطنية، ومن جهة أخرى يكشف الثغرات البنيوية التي ينبغي معالجتها. وقد شهدت الدول التي دمجت التحضير للأولمبياد ضمن منظوماتها التعليمية — مثل الهند وبولندا وإيران، أثرًا إيجابيًا واضحًا على مناهج العلوم وتكوين الأساتذة وطموحاتها البحثية الوطنية.

وعليه، لا ينبغي النظر إلى المشاركة في الأولمبياد الدولي لعلم الفلك والفيزياء الفلكية كعمل معزول، بل كبداية لاستثمار استراتيجي. فهي توفر معيارًا لإصلاح المناهج الدراسية، وحافزًا ملموسًا لإدخال علم الفلك والفيزياء الفلكية، اللذين ما زالا غائبين عن برامج التعليم الثانوي في الجزائر، ضمن المشهد التربوي.

6. الرياضيات وفن حلّ المسائل

في قلب كل أولمبياد يكمن فنٌّ فكري يتمثّل في تحويل التعقيد إلى وضوح. فالجانب الرياضي في علم الفلك ليس عقبة، بل طريق نحو الاكتشاف. على سبيل المثال، قد يُطلب من التلاميذ تقدير درجة حرارة نجم باستخدام قانون ستيفان–بولتزمان، أو حساب الفترات المدارية عبر قوانين كبلر، أو تحليل بيانات العبور للكواكب الخارجية. وتُعلّم هذه المسائل التفكير المنطقي بدلًا من الحفظ، وتشجع على تبنّي موقف علمي قائم على الكمية والمنهجية.



الصورة 4. المتسابقون أثناء الامتحان

كما تفتح الطلاقة الرياضية آفاقًا تتجاوز الفلك نفسه. فالمهارات المكتسبة في التحضير للأولمبياد، كالنمذجة والتجريد والتفكير البُعدي، تُشكّل أساس الابتكار في الهندسة والحوسبة والعلوم التطبيقية. لذا فإن ترقية التميز في الرياضيات لا تهدف فقط إلى تكوين فلكيين فحسب، بل إلى تنمية جيل متمكن علميًا.

7. المشاركة الجزائرية: خطوة أولى

كانت رحلة الفريق الجزائري إلى مومباي رمزية وتربوية في آن واحد. فمن بلد لا يُدرَّس فيه علم الفلك بعد كمادة مدرسية رسمية، مثّل هؤلاء الطلبة الخمسة روّادًا في ميدان لا يزال يفتقر إلى قاعدة مؤسسية. وجاء تدريبهم، بإشراف أساتذة جامعيين من مركز CERIST– قسنطينة، مزيجًا من الحماس والارتجال، شهادةً على ما يمكن تحقيقه حين تعوّض العزيمة قلة الإمكانات.

وقد التقطت الصورة (الفريق الجزائري عند وصوله مطار مومباي) لحظة فخر: وفد صغير يخطو إلى ساحة عالمية للمرة الأولى، حاملاً روحًا من العزم. ومن خلال مشاركتهم، أثبتوا أنه، وإن لم يحرزوا ميدالية في أول مشاركة لهم، فقد أدّوا أداءً أفضل من دول تملك استعدادًا ووسائل أكبر، بما في ذلك فرنسا، مما يُظهر أن التميز ليس حكرًا على أي نظام تعليمي بعينه، بل هو إمكانية كامنة في كل مكان، تنتظر فقط الاعتراف والدعم.

8. اجتماع المجلس الدولي و إقصاء إسرائيل

كما في كل دورة، استضاف أولمبياد مومباي اجتماع المجلس الدولي (IBM) الذي جمع جميع رؤساء الفرق لمناقشة المسائل المؤسسية. وكان من بين بنود جدول الأعمال عريضة موقعة من أكثر من 530 عالمًا حول العالم، دعت إلى استبعاد إسرائيل من المشاركات المستقبلية استجابة لأعمالها الجارية في غزة.

الصورة 5. الوفود من دولة مشاركة في الجلسة

وبعد نقاش مطوّل شارك فيه ممثلو الجزائر وفلسطين وقطر بكل ثقلهم ومهاراتهم الخطابية، وبمساندة وفود أخرى، تم اعتماد القرار في 18 أوت 2025 بأغلبية ساحقة: لن تشارك إسرائيل بعد الآن كفريق وطني، وإن سُمح للطلبة الإسرائيليين الأفراد بالمشاركة تحت علم الأولمبياد الدولي دون رموز وطنية. وقد عكس هذا القرار سوابق مماثلة اتخذتها أولمبيادات دولية أخرى، بما في ذلك أولمبياد الإعلام الآلي.

وقد أظهر هذا القرار أن المجتمع العلمي، رغم التزامه بالحياد في البحث، لا يمكنه أن يبقى غير مبالٍ بالمبادئ الإنسانية. وهكذا، أكّد الأولمبياد الدولي لعلم الفلك والفيزياء الفلكية بُعدَه الأخلاقي: فتعزيز التميز يجب أن يقترن بالدفاع عن قيم العدالة والإنسانية التي يقوم عليها العلم ذاته.

الصورة 6. صورة تذكارية بعد التصويت التاريخي

9. دروس للجزائر: بناء ثقافة التنافس العلمي

لقد ثبت أن المشاركة في الأولمبيادات الدولية تُحدث تأثيرًا تحويليًا في الأنظمة التعليمية الوطنية. فالدول التي تستثمر فيها تشهد غالبًا أثرًا مضاعفًا: الطلبة المتحمسون يُلهمون أقرانهم، والأساتذة يكتسبون أدوات بيداغوجية جديدة، والوزارات تفخر بدعم برنامج مرجعي دوليًا وذي أثر ملموس.

أما بالنسبة للجزائر، فينبغي النظر إلى هذه التجربة كنموذج أولي لسياسة أوسع ترمي إلى ترسيخ ثقافة المحاكاة العلمية. فدمج التحضير للأولمبيادات في المنظومة التعليمية يمكن أن يُسهم في سدّ الفجوة بين التعليم المدرسي والبحث الجامعي، كما يمكن أن يعزّز التعاون بين الوزارات والجامعات ومراكز البحث، مسخّرًا الخبرة الأكاديمية لصالح التعليم ما قبل الجامعي.

إضافة إلى ذلك، يوفّر علم الفلك والفيزياء الفلكية فرصًا فريدة لإعادة إشعال فضول الشباب، إذ يرتبط مباشرة بظواهر مرئية، كالقمر والكواكب والكسوف والمجرات، تستأثر بطبيعتها بالخيال. وإنّ إدخال موضوعات أساسية في علم الفلك ضمن برامج الفيزياء والجغرافيا من شأنه أن يواكب الاتجاهات التربوية العالمية، حيث يُعدّ الفلك بوابة نحو الإلمام بعلوم STEM.

10. القيمة الأوسع للأولمبيادات العلمية

من وجهة نظر تربوية، تؤدي الأولمبيادات وظيفة حاضنات للتميز؛ فهي تكتشف العقول اليافعة وتنمّيها، تلك التي قد تمرّ دون ملاحظة في التعليم التقليدي. لكن تأثيرها يتجاوز ذلك بكثير.

فالأولمبيادات أيضًا آلياتٌ للتواصل العلمي، تترجم ثقافة البحث والتفكير النقدي والمراجعة النظيرة والقدرة على الصمود إلى ممارساتٍ تربوية يسهل الوصول إليها. وبالنسبة للطلبة، تُمثّل حوارًا حيًا مع العلم بوصفه مسعىً إنسانيًا. أما بالنسبة للدول، فهي تصبح أدوات للقوة الناعمة والدبلوماسية التعليمية.

وعلى المدى الطويل، لا يتمثّل الهدف في إنتاج أصحاب ميداليات فحسب، بل في بناء رأس مال بشري: جيل قادر على التفكير التحليلي، منفتح على التعدد التخصصي، ومدرك للأبعاد الأخلاقية للعلم.

11. الخاتمة: السماء كأفق مشترك

إن ظهور الجزائر لأول مرة في الأولمبياد الدولي لعلم الفلك والفيزياء الفلكية لعام 2025 يُمثّل أكثر من مجرد مشاركة؛ فهو يُسلّط الضوء على التقدم المحقق والتحديات القائمة: غيابُ علم الفلك في المناهج الدراسية، وأهمية فتح آفاق جديدة أمام الفيزياء إلى جانب المواضيع الكلاسيكية، وكذلك الحاجة إلى عمق رياضي أكبر.

يعلّمنا علم الفلك، أكثر من أي علم آخر، التواضع والوحدة؛ فهو يُذكّرنا بأن جميع البشر يشتركون في بيت كوني واحد، يدور حول النجم نفسه. وعندما يرفع التلاميذ أنظارهم نحو السماء، فإنهم ينخرطون في فعل يتجاوز القومية والأيديولوجيا والأجيال. ومن هذا المنظور، فإن الأولمبيادات العلمية، وخاصة أولمبياد علم الفلك والفيزياء الفلكية، ليست مجرد منافسة، بل مجهر مصغّر لمسعى الإنسانية المشترك نحو المعرفة، وأضيف، على يد أفضل عقول شبابنا.

نظرية النجم القرين

غَسَّان القَيْمَري[1]، عبد الرحمن القَيْمَري[2]
[1]أستاذ في علوم الحاسوب، جامعة الفجيرة، الإمارات
gqaimari@emirates.net.ae
[2]كلية الهندسة، جامعة الإمارات العربية المتحدة، الإمارات
aqaimari@gmail.com

القرين (Nemesis)[1] هو نجم قزم خافت الضوء، أحمر أو بني، اقترح العلماء وجوده وبقي مجرد "فرضية" لم تُثبَت. سُمّي بالقرين لاعتقادهم بأنه ملازم لشمسنا، وقد أسماه البعض بِ"توءم الأرض الشرير." فكلمة "القرين" تعني في اللغة: الصاحب أو الرفيق، أو الزوج. أما عند قدماء الإغريق، فالقرين هو إله الانتقام والعدالة. وفي السياق الديني، "القرين" يُشير إلى شيطان أو مخلوق من الجن يُلازم الإنسان، حيث يُعتقد أن لكل إنسان قرينًا من الجن يوسوس له ويلازمه.

تم افتراض نظرية النجم القرين، أو التوءم الشرير، لشرح الدورة "المتصوَّرة" للانقراض الجماعي في تاريخ الأرض، ومنها الانقراض الجماعي للديناصورات، حيث تكهن كل من العالمين الفيزيائيين الأمريكيين ريتشارد مولر (Richard A. Muller) ومارك ديفيس (Marc Davis)، بدعم من العالم الهولندي بيت هَت (Piet Hut)، بأن مثل هذا النجم يمكن أن يؤثر على مدار الأجسام الموجودة في أطراف النظام الشمسي البعيد، مما يرسلها في مسار تصادمي مع الأرض.

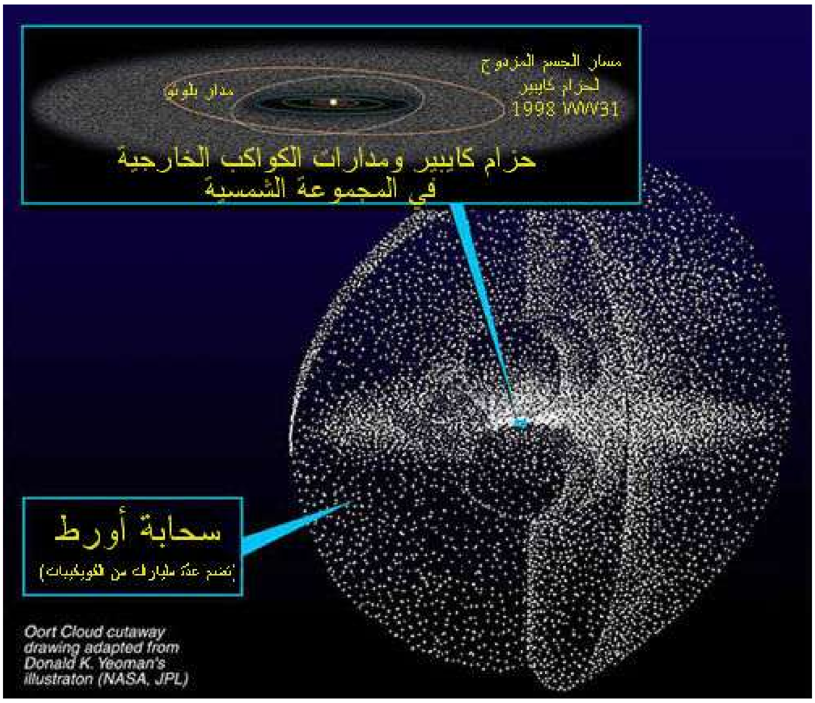
في أوائل الثمانينيات، لاحظ العلماء أن حالات الانقراض على الأرض بدت وكأنها تتبع نمطًا دوريًا؛ مثل حالات الانقراض الجماعي التي يعتقد العلماء أنها تحدث بشكل متكرر كل 27 مليون سنة. وقد دفعهم طول هذه الفترة الزمنية إلى البحث عن تفسير منطقي وعلمي لهذه الظاهرة في الأحداث الفلكية.

كان عالم فلك من جامعة كاليفورنيا - بيركلي، واسمه ريتشارد مولر، أول من اقترح، في عام 1984، إمكانية أن يكون "النجم القرين" سببًا في وقوع حوادث الإنقراض الجماعية. افترض مولر أن نجمًا قزمًا أحمر، يبعد عن شمسنا 1.5 سنة ضوئية، يمكنه أن يمرّ بشكل دوري بالقرب من الحدود الخارجية الجليدية لنظامنا الشمسي، المعروفة باسم سحابة أورط (Oort cloud). واعتقد أن هذا المرور يتسبّب، بفعل جاذبيته، في إثارة الصخور والمذنبات وتنشيطها، مما يدفع بجزء منها باتجاه المجموعة الشمسية وكوكب الأرض. وقد نشر ريتشارد مولر وزملاؤه نظريتهم عام 1984، في الورقة العلمية الشهيرة بعنوان "نيميسيس: الرفيق الشمسي الذي قد يسبّب زخّات مذنّبات دورية" [2] تلتها مقالتان أخريان في المجلة ذاتها [3]، [4].

تفيد فرضية القرين أيضًا بأنه يمتلك مدارًا بيضويًا شديد الاستطالة حول الشمس، يستغرق عشرات الملايين من السنين ليُكمل دورة واحدة. وعند اقترابه من سحابة أورط قد يُحدث اضطرابًا يؤدي إلى إرسال وابل من المذنبات نحو النظام الشمسي الداخلي، مما يزيد من احتمالية وقوع حوادث إنقراض جماعية على الأرض، مثل الانقراض الذي قضى على الديناصورات قبل حوالي 66 مليون سنة.

---

[1] في الأساطير اليونانية، كانت نيميسيس (Nemesis)، وباليونانية (Νέμεσις)، هي إلهة الانتقام والعدالة، خصوصًا ضد الغرور والكبرياء المفرط (hubris). كانت تضمن أن ينال الناس ما يستحقونه، من خلال تحقيق التوازن بين الحظ والعقاب. وتُمثّل نيميسيس رمزيًا إعادة النظام الأخلاقي عندما يتجاوز البشر حدودهم. أما في الاستخدام العام في اللغة الإنكليزية، فتشير كلمة نيميسيس (Nemesis) إلى عدوّ لدود أو خصم دائم (مثال: العدو اللدود لشارلوك هولمز كان البروفيسور موريارتي). كما يمكن أن تعني مصدر السقوط أو العقاب الحتمي، خاصةً عندما يكون نتيجة عيوب الشخص نفسه (مثال: ثبت أن الجشع كان قرينة).



ساعد العالِم مارك ديفيس في حساب المدارات المحتملة للنجم الافتراضي، وفي إيجاد تفسير فيزيائي–فلكي لكيفية ارتباط نجم خافت بالشمس واستقراره على مدى زمني جيولوجي. كما ساهم أيضًا في بلورة فكرة أن مثل هذا الجرم يمكن أن يُحدث اضطرابًا في سحابة أورط، مما يؤدي إلى إرسال زخّات من المذنّبات نحو النظام الشمسي الداخلي.

أما العالم الهولندي بيت هت، المتخصص في فيزياء الأجرام السماوية والحوسبة الفلكية، والذي عمل في جامعة برنستون، في معهد الدراسات المتقدمة ذاته الذي عمل فيه آينشتاين، فقد قام بدراسة كيفية تأثير جاذبية نجم بعيد على سحابة أورط وحركة المذنّبات نحو الأرض بشكل دوري. هذا إلى جانب اهتمامه بالربط بين علم الفلك والعلوم البيولوجية، مثل محاولة تفسير ظواهر الانقراض الجماعي استنادًا إلى أسباب كونية. كما ساهم أيضًا في تطوير النماذج الرياضية الخاصة بحركة النجم القرين، بما يضمن توافقها مع قوانين نيوتن للجاذبية، وثبات النظام الشمسي على المدى الطويل.

اقترحت النظرية أن يكون النجم القزم بني اللون أو أبيض، أو ذا كتلة منخفضة أكبر من كوكب المشتري ببضع مرات فقط، مما يجعله خافت الضوء ويصعب رصده. وقد تكهّن العلماء بأن النجم القرين قد يؤثر على سحابة أورط، المكوّنة من صخور جليدية تقع خارج نطاق الكويكب بلوتو، وتحيط بالشمس عن بعد يتراوح بين 20000 إلى 100000 وحدة فلكية[2] (Astronomical Unit).

تحتوي سحابة أورط على ملايين الأجسام الجليدية، يدور العديد منها حول الشمس في مدارات بيضاوية الشكل طويلة المدى. ومع اقتراب هذه الأجسام من الشمس، يبدأ جليدها في الذوبان والتدفق خلفها، مخلِّفًا وراءها ذيلًا مميزًا، مما يجعلها معروفة بوصفها مذنّبات. ويُجادل بعض العلماء بأنه إذا سافر النجم القرين عبر سحابة أورط كل 27 مليون سنة، فإنه قد يطرد مذنبات إضافية من سحابة أورط الكروية ويرسلها نحو النظام الشمسي الداخلي، في اتجاه الأرض والكواكب الأخرى. وقد يؤدي هذا إلى زيادة معدلات سقوط المذنبات على الأرض؛ مما يجعل حوادث الإنقراض الجماعية أكثر احتمالًا وتكرارًا.

[2] الوحدة الفلكية (AU) هي المسافة بين الأرض والشمس، وتعادل 150 مليون كيلومتر. وبناء على ذلك تكون سحابة أورط في منتصف المسافة إلى أقرب نجم من الأرض والذي سماه العرب "رجل القنطور الأقرب" (Centauri Proxima).

اعتقد العلماء أيضًا بأن تأثير النجم القرين قد يمتد إلى الأجسام الصخرية في حزام كايبر (Kuiper Belt) الذي يتميز بحواف داخلية وخارجية محددة بدقة، ويقع داخل النظام الشمسي. يحتوي هذا الحزام على العديد من الأجسام الصخرية أو الجليدية (مواد مجمدة مثل الماء والميثان والأمونيا)، والتي تدور حول الشمس على مسافة تتراوح بين 30 و55 وحدة فلكية (AU). وتشير التقديرات إلى أنه قد يكون في حزام كايبر أكثر من 70000 جسم بقطر أكبر من 100 كيلومتر، فضلًا عن احتمال وجود ملايين الأجسام الأصغر حجمًا. وبالتالي، قد تنفصل بعض هذه الأجسام عن الحزام كشظايا مرافقة للمذنّبات القادمة من سحابة أورط نتيجة اصطدام تلك المذنّبات بها. وقد وجد الباحثون آثارًا لما يُعتقد أنه مذنّب مصحوب بشظايا صخرية وجليدية، تركت أثرها في شكل أقراص حزام كايبر.

من ناحية أخرى، هناك الكويكب سيدنا (Sedna)، الذي اكتُشف عام 2003 في أقصى المناطق الخارجية للنظام الشمسي، ويتميز بمدار إهليلجي للغاية في دورانه حول الشمس، يتراوح ما بين 76 وحدة فلكية عند الحضيض و936 وحدة فلكية في الأوج. ويُقدّر العلماء أن "سيدنا" يستغرق 12000 سنة للدوران حول الشمس، وهو ما أضفى مزيدًا من المصداقية على الاعتقاد بوجود نجم مصاحب للشمس. فمداره الذي يصل إلى 12000 سنة، جعل منه لغزًا للكثيرين ودعم نظرية وجود جسم ضخم مثل الشمس القرين، يمكن أن يكون مسؤولًا عن إبقاء الكويكب "سيدنا" بعيدًا عن الشمس.

عامل آخر دعم فكرة احتمال وجود النجم القرين في السنوات الأخيرة هو أن الأبحاث التي أُجريت تشير إلى أن معظم النجوم مثل شمسنا، ولدت ثنائية أو ثلاثية. فعلى سبيل المثال، أقرب "نظام شمسي" إلى شمسنا هو كوكبة ألفا سنتوري (Alpha Centauri A, B & Proxima)، أو رجل القنطور[3]، كما سمّاها العرب. ففي عام 2017، اقترحت دراسة حديثة أن جميع النجوم تقريبًا وُلدت ثنائية أو ثلاثية. حيث أجرى علماء الفلك دراسات مفصلة عن النجوم الفتية في سحابة فرساوس الجزيئية (Perseus molecular cloud) ودعموا أبحاثهم بالنمذجة (Modelling).

بينما فشلت المسوحات الفلكية الحديثة في العثور على أي دليل على وجود النجم القرين، تشير دراسة عام 2017 إلى احتمالية أنه كان موجودًا في الماضي القديم جدًا. ولكن إن وُجد هذا النجم القرين بالفعل في ذلك الوقت، فقد تحرر من نظامنا الشمسي في وقت مبكر من تاريخه - أي إنه تحوّل إلى نجم شارد وانتقل إلى بقية سكان مجرة درب التبانة.

ورغم أن بعض العلماء يجدون نظرية الشمس القرين معقولة، إلا أن البعض الآخر يستبعدها أو يرفضها. والسبب هو أن الطبيعة الدورية للانقراض الجماعي لا تزال قيد المناقشة ومثارًا للجدل. فبينما تشير دراسات الحفر الناتجة عن ارتطام نيازك أو أجرام سماوية بالأرض إلى عدم وجود مثل هذا النمط، ترجّح دراسات أخرى لسجلات الحفريات حدوث غالبية حوادث الإنقراض الجماعية بشكل متكرر كل 27 مليون سنة.

رأى عالم الأحياء الفلكي ديفيد موريسون (David Morrison)، في عام 2012، أن شمسنا ليست جزءًا من نظام نجمي ثنائي. فلا يوجد هناك أي دليل يشير إلى وجود الشمس القرين؛ فقد تم دحض هذه الفكرة من خلال العديد من محاولات مسح واستطلاع السماء بالأشعة تحت الحمراء - آخرها محاولة مشروع وايز (WISE) الذي قامت به وكالة الفضاء الأمريكية (NASA). فلو كان هناك قرين - قزم أحمر أو بني خافت اللون - لاكتشفته تلسكوبات الأشعة تحت الحمراء

[3] ألفا سنتوري (Alpha Centauri A, B, and Proxima)، أو نظام كوكبة نجوم رجل القنطور الثلاثية، كما سماه العرب (وسموه أيضا الظلمان (Toliman))، هو أقرب نظام نجمي إلى شمسنا على بعد 4.33 سنة ضوئيّة. يتكون النظام الثلاثي من: القنطور أ (Alpha Centauri)، وهو الأكثر ضياءً ولونه أصفر (وهو رابع النجوم الساطعة في السماء طبقًا لترتيب قائمة أشد النجوم سطوعا)، ورجل القنطور ب (Alpha Centauri B)، وهو برتقالي اللون. لا يمكن فصل ثنائي رجل القنطور عن بعضهما بالعين المجردة، ولكن يمكن رؤيتهما منفصلين بواسطة تلسكوب بسيط. أما النجم الثالث، فهو القنطور الأقرب (Proxima Centauri) أو (Alpha Centauri C)، ويتواجد هذا النجم بالقرب من هذا النظام الثنائي، وهو عبارة عن قزم أحمر، وأقرب النجوم الثلاثة إلى شمسنا؛ إذ يبعد عنها حوالي 2.24 سنة ضوئية. وما يزال الرصد قائمًا للتأكد من انتماء هذا النجم إلى ثنائي رجل القنطور أ و ب. وللعلم، فالقنطور هو مخلوق أسطوري في الميثولوجيا الإغريقية، له جسد حصان وذراعان وصدر ورأس إنسان. ووفقًا للأسطورة، كان هذا الكائن يعيش في الغابات وعلى الجبال، وهو يرمز إلى الظلام وقوى الطبيعة الغامضة.

الحساسة، لأن الكثير من الكواكب والنجوم خافتة اللون لا تُصدر ضوءًا مرئيًا، بل تُصدر إشعاعًا تحت الأحمر يرصده هذا النوع من المراصد.

رغم أن فرضية النجم القرين لم تُثبت علميًا، فقد كان لها تأثير على الدراسات العلمية الحديثة وعلى الفنون والثقافة العامة. فمن الناحية العلمية، أثّرت الفرضية على عدة اتجاهات بحثية مهمة، منها:

- **دراسات الانقراض الجماعي**: فقد دفعت العلماء إلى فحص الأنماط الزمنية لحوادث الإنقراض في السجل الجيولوجي، مما أدى إلى أبحاث أعمق حول أسباب الكوارث الجيولوجية، مثل دراسات النشاط البركاني، وتغيّر المناخ، واصطدام الكويكبات.
- **أبحاث المذنّبات وسحابة أورط**: حيث ساهمت الفرضية في تسليط الضوء على سحابة أورط كمصدر للمذنّبات بعيدة المدى، وأهمية فهم تأثير اضطرابات الجاذبية في توجيه مذنبات نحو الأرض.
- **عمليات الرصد في الأشعة تحت الحمراء**: فقد تم استخدام مراصد مثل WISE وIRAS للبحث عن أجرام خافتة في النظام الشمسي الخارجي.

أما بالنسبة لتأثير نظرية النجم القرين في الثقافة العامة والخيال العلمي، فقد أصبحت مصدرًا غنيًا للإلهام في السينما والأدب. ففي السينما ظهرت أفكار مستوحاة من النجم القرين في أفلام مثل أرمجدون (Armageddon) وَديب إمباكت (Deep Impact)، حيث يتمحور الموضوع حول أجسام فضائية تهدد الحياة على الأرض. وفي بعض الأفلام، تم تصوير "شمس ثانية" أو "نجم قاتم" يعود بشكل دوري ويتسبّب بكوارث. هذه الأفلام لم تستند إلى أي دليل علمي مثبت، فقد فنّدها علماء الفلك مرارًا باعتبارها محض خيال وخرافة.

أما في روايات الخيال العلمي وألعاب الفيديو، فقد تم استخدام مفهوم النجم القرين كرمز للقوى الكونية التي تتجاوز فهم الإنسان، وتؤكد هشاشة الحضارة البشرية. فتم استخدام الاسم ذاته "Nemesis" في بعض الروايات كعنوان مجازي لقوى الانتقام أو المصير، أشهرها رواية "Nemesis" لإسحاق عظيموف (Isaac Asimov) [1].

رغم أن فرضية النجم القرين لم يتم إثباتها، فإنها تركت أثرًا في الفكر العلمي والثقافي، وأصبحت مثالًا لنظرية علمية غير مؤكدة استطاعت أن تُلهم مجالات متعددة؛ من أبحاث المذنّبات وحوادث الإنقراض، إلى السينما والخيال العلمي وألعاب الكمبيوتر، وحتى النقاشات الفلسفية حول مصير الأرض والتهديدات الكونية.

المراجع

[1] Asimov, I. Nemesis. Doubleday Dell, New York, 1989.

[2] Davis, M., Hut, P., & Muller, R. Extinction of species by periodic comet showers. *Nature*, **308**, 715–717, (1984).

[3] Davis, M., Hut, P., & Muller, R. Terrestrial catastrophism: Nemesis or Galaxy? *Nature*, **313**, 503–504, (1985).

[4] Muller, R., Hut, P., Davis, M., & Alvarez, W. Cometary showers and unseen solar companions (reply). *Nature*, **312**, 380–381, (1984).

ثقافة وتاريخ

الجامعة الجزائرية من صرح للعلم إلى قاطرة للتنمية

صادق بوروبي
أستاذ بكلية الرياضيات، جامعة هواري بومدين للعلوم والتكنولوجيا، الجزائر
bouroubis@gmail.com

يتفق متابعو الشأن الجامعي حول العالم، وفي الجزائر على وجه الخصوص، على أن الجامعات الحديثة تواجه تحديات متزايدة جرّاء التحولات العميقة في البيئات المعرفية والاقتصادية والاجتماعية المحيطة بها. ولم تعد الجامعة التقليدية -التي ظلت لزمن طويل مقتصرة على التعليم النظري- قادرة على البقاء ما لم تتحوّل إلى فاعل اقتصاديّ ومعرفيّ، يُسهم في إنتاج الثروة من خلال البحث العلمي والابتكار وريادة الأعمال.

تهدف هذه المقالة إلى استكشاف سُبل التحوّل نحو نموذج الجامعة المنتِجة (Entrepreneurial University)، مع التركيز على ثلاثية مترابطة تشكّل ركيزته الأساسية: البحث العلمي، والابتكار، وربط المخرجات باحتياجات سوق العمل. كما تسعى المقالة إلى تحليل هذه العلاقة الثلاثية، وتسليط الضوء على أهم الآليات التي يمكن أن تُسهم في إعادة صياغة دور الجامعة استنادًا إلى تجارب دولية ناجحة، ومراعاة لخصوصيات البيئة الوطنية، لتُختتم باقتراح توصيات عملية تعزّز دورها التنموي.

مقدمة

في ظل التغيرات المتسارعة التي يشهدها العالم في العقود الأخيرة، برزت مفاهيم جديدة لما يُسمّى بالتعليم الجامعي، تتجاوز الرؤية التقليدية للجامعة بوصفها مؤسسة تعليمية إلى كونها فاعلًا محوريًا في منظومة التنمية الشاملة. ومن هذا المنطلق، ظهر مفهوم "الجامعة المنتجة"، الذي يعكس دور الجامعة كمصدر لإنتاج المعرفة وتسويقها، بما يُسهم في خلق الثروة وتحفيز الاقتصاد على المستويين المحلي والوطني.

لذلك، أضحى من الضروري إعادة تقييم أدوار الجامعة، التي ما تزال، رغم التحولات الجارية، تعمل وفق نموذج تقليدي لا يواكب تطلعات العصر ولا يتماشى مع حاجات السوق. ومن هنا، تبرز أهمية الربط الجدلي بين البحث العلمي، والابتكار، وسوق العمل باعتباره ركيزة أساسية في مسار تحوّل الجامعة إلى مؤسسة منتجة، تُسهم بفعالية في قيادة التنمية ودفع عجلة الاقتصاد.

وانطلاقًا من هذه الرؤية، تهدف هذه المقالة إلى:

- تقديم إطار مفاهيمي لمفهوم "الجامعة المنتجة".
- تحليل العلاقة بين البحث العلمي والإنتاجية الجامعية.
- إبراز أهمية الابتكار والتحول الرقمي في تفعيل دور الجامعة.
- استكشاف سُبل التكامل بين الجامعة وسوق العمل.
- عرض تجارب دولية ناجحة في هذا المجال.
- اقتراح حلول عملية لتجاوز التحديات التي تعيق التحول نحو جامعة منتجة في الجزائر.

1. قراءة مفاهيمية في نموذج الجامعة المنتجة

تُجسّد "الجامعة المنتِجة" (Productive University) نموذجًا متقدمًا في منظومة التعليم العالي، يتخطى الدور التقليدي في التدريس وإنتاج المعرفة، ليركز على توظيف المعرفة اقتصاديًا من خلال آليات متكاملة، من أبرزها:

- الدمج الفعّال بين التعليم، والبحث، والتطبيق العملي.

- إقامة شراكات استراتيجية مع الفاعلين في القطاع الاقتصادي.
- دعم ريادة الأعمال الجامعية من خلال إنشاء الحاضنات والمشاريع الناشئة.
- اعتماد نظام حوكمة مرن يضمن الاستقلالية الإدارية والتسييرية.
- تبني معايير تقييم أداء ترتكز على المردودية المعرفية والانعكاسات الاقتصادية.

الفرق بين الجامعة التقليدية والمنتجة

المعيار	الجامعة التقليدية	الجامعة المنتِجة
الدور الرئيسي	نقل المعرفة	إنتاج وتسويق المعرفة
العلاقة بالمحيط	محدودة وضعيفة	تفاعلية واستراتيجية
تمويل النشاطات	تمويل حكومي أساسًا	تمويل متنوع (عام، خاص، استثمار)
مخرجات البحث	نظرية وأكاديمية	تطبيقية وقابلة للاستغلال

2. البحث العلمي كمدخل للإنتاجية

يُعدّ البحث العلمي الركيزة الأساسية في تشييد نموذج الجامعة المنتجة، إذ يتحوّل إلى أداة فاعلة لتسخير المعرفة اقتصاديًا عندما يُوجَّه نحو الاستجابة للاحتياجات المجتمعية الملحّة ومعالجة الإشكالات الواقعية. هذا التوجّه العملي يمنح البحث العلمي بُعدًا تنمويًا واضحًا، يُسهم في إحداث أثر ملموس على المستويين الاقتصادي والاجتماعي.

ولتحقيق هذا التحوّل، لا بد من تجاوز الطابع الأكاديمي المجرد إلى اعتماد مقاربة تطبيقية تعتمد على ركيزتين متكاملتين:

- توجيه البحث نحو الابتكار وإنتاج حلول جديدة قابلة للتطبيق.
- توظيف مخرجات البحث العلمي في دعم التحولات التكنولوجية المستدامة.

أما تطوير نموذج البحث العلمي المنتج، فيقتضي:

- وضع خارطة أولويات وطنية دقيقة لمجالات البحث ذات الأثر الإستراتيجي، يُشرف على إعدادها نخبة من أمهر الأخصائيين وأكثرهم بُعدًا في الرؤية والاستشراف.
- تشجيع الباحثين على إنجاز بحوث تطبيقية مرتبطة بسوق العمل والاقتصاد الوطني.
- اعتماد تمويل تنافسي قائم على الجدوى الاقتصادية والاجتماعية، وليس على عدد المنشورات فقط.
- تعزيز الشراكة بين الجامعات وقطاعات الإنتاج من خلال مشاريع بحثية مشتركة وموجهة.

ومن جملة المؤشرات لأداء البحث المنتج نجد:

- عدد براءات الاختراع المسجلة.
- عدد المشاريع الممولة بالشراكة مع القطاع العام أو الخاص.
- عدد المنتجات والحلول المستثمرة الناتجة عن البحث الجامعي.
- حجم التمويل الذاتي الناتج عن تسويق نتائج البحث.

3. الابتكار والتحول نحو اقتصاد المعرفة

الابتكار (Innovation) هو عملية تحويل المعرفة إلى قيمة مضافة، سواء عبر تطوير منتج، أو تحسين خدمة، أو إحداث تغيير في نموذج العمل. وتُعدّ الجامعة الحاضنةَ الطبيعية لهذا الابتكار، نظرًا لتوفرها على رأس المال المعرفي والكوادر البشرية المؤهلة. لذلك تسعى العديد من الجامعات الحديثة إلى إنشاء:

- مراكز للابتكار وريادة الأعمال داخل الحرم الجامعي.
- حاضنات (Incubators) لمرافقة الطلبة والباحثين في تحويل أفكارهم المبتكرة إلى مشاريع ناشئة، تحت إشراف عالي المستوى يضمن جودة التأطير، ويعزز فرص النجاح والتنافسية في السوق.
- مكاتب نقل التكنولوجيا (TTOs – Technology Transfer Offices) لربط نتائج البحث بالسوق.

ولكي يتحول البحث العلمي إلى ابتكار، يجب:

- ربط فرق البحث بالمؤسسات الاقتصادية بواسطة قنوات يقع واجب إنشائها على الحكومة وليس على الباحث.
- تدريب الباحثين والطلبة على مهارات التصميم والإبداع والريادة.
- غرس ثقافة تقبّل الفشل كمرحلة ضرورية في مسار التعلم والابتكار، وتشجيع روح التجريب داخل الجامعة.

4. مؤشرات الابتكار الجامعي

تُعد مؤشرات الابتكار الجامعي أدوات مهمة لقياس مدى قدرة الجامعة على إنتاج المعرفة وتحويلها إلى تطبيقات عملية ذات أثر اقتصادي واجتماعي. ومن أبرز هذه المؤشرات نذكر:

- عدد براءات الاختراع المفعلة تجاريًا وليس المسجلة إداريًا.
- عدد الشراكات مع الشركات في مجال تطوير المنتجات.
- مساهمة الجامعة في مؤشر الابتكار الوطني أو العالمي.

5. مواءمة الجامعة وسوق العمل

من أبرز التحديات التي تواجه الجامعة الجزائرية، كما هو الحال في العديد من جامعات العالم، وجود فجوة واسعة بين مخرجات التكوين واحتياجات سوق العمل، حيث لا تتوافق البرامج الجامعية مع المتطلبات الفعلية للمهن، مما يؤدي إلى ارتفاع معدلات بطالة الخريجين رغم ما يمتلكونه من مؤهلات أكاديمية. ولردم هذه الفجوة وتقريب المسافة بين التكوين الجامعي وسوق العمل، يمكن اعتماد جملة من الآليات، من أبرزها:

- مراجعة البرامج والمناهج لتتماشى مع المهارات المطلوبة في السوق.
- إدخال مقاربة الكفاءات (Competency-based approach) في تصميم المحتويات البيداغوجية.
- تطوير برامج مزدوجة تجمع بين التكوين الأكاديمي والتطبيقي (Alternating training).
- إشراك أرباب العمل في تصميم البرامج الجامعية.
- تفعيل مجالس الشراكة بين الجامعة والقطاع الخاص.
- تحفيز التدريب الميداني والتوظيف المبكر عبر عقود ما قبل التخرج.

6. مؤشرات الارتباط بسوق العمل

يُشكّل ارتباط الجامعة بسوق العمل أحد المؤشرات الحاسمة في تقييم فاعلية منظومة التعليم العالي، إذ يعكس قدرة الجامعة على تأهيل خريجين قادرين على الاندماج السريع والفعّال في الحياة المهنية. ويمكن رصد هذا الارتباط من خلال مجموعة من المؤشرات الكمية والنوعية، من أبرزها:

- نسبة توظيف الخريجين في غضون ستة أشهر من التخرج.
- نسبة المسارات الجامعية التي تم تحديثها بالشراكة مع المهنيين.
- نسبة الطلبة الذين أتمّوا تدريبًا تطبيقيًا خلال فترة دراستهم.

وتقع مسؤولية تتبّع هذه المؤشرات ورصدها على عاتق الجامعة المُكوِّنة، باعتبارها الجهة المعنية بضمان ملاءمة التكوين مع متطلبات السوق.

7. التجارب الدولية الرائدة

شهدت العديد من الجامعات حول العالم تحوّلًا ناجحًا نحو النموذج المنتج، حيث أصبحت تلعب دورًا فاعلًا في دعم الاقتصاد وتعزيز الابتكار. من أبرزها:

أ. معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT) – الولايات المتحدة

يُعدّ معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا (MIT) من أبرز النماذج العالمية للجامعة المنتجة، حيث:

- تم إنشاء أكثر من 30,000 شركة ناشئة على يد خريجيه وباحثيه.
- يعتمد تمويله على شراكات مع الصناعة ومداخيل براءات الاختراع.
- يستضيف مراكز بحوث تطبيقية بشراكة مع شركات كبرى مثل جوجل (Google) وَ آي بي إم (IBM).

ب. جامعة تسينغهوا – الصين

نجحت الصين في تحويل جامعاتها إلى محركات اقتصادية إقليمية، من خلال ربطها المباشر بالصناعة ومشاريع التنمية. ومن أبرز الأمثلة على ذلك دمج طلبة الدكتوراه في مشاريع صناعية كبرى قبل التخرج، كما هو الحال في جامعة تسينغهوا التي لعبت دورًا رياديًا في قيادة مشروع "وادي السيليكون الصيني".

ج. جامعة آيندهوفن للتكنولوجيا – (TU Eindhoven) هولندا

تلعب جامعة آيندهوفن للتكنولوجيا دورًا مهمًا في دعم الصناعات التكنولوجية والإلكترونية في جنوب هولندا، فهي تعتبر نموذجًا يعتمد على التعاون الوثيق مع مجموعة من الشركات مثل فيليبس (Philips) و ASML.

د. جامعة كارلسروه – (KIT) ألمانيا

تعتمد جامعة كارلسروه على دمج البحث الأكاديمي بالتطبيق الصناعي، لا سيما في مجالات الهندسة والطاقات المتجددة. وتُفعّل نموذج التعاون الثلاثي بين الجامعة والصناعة والدولة، بما يعزز منظومة الابتكار على المستوى المحلي.

تشترك هذه النماذج الجامعية الناجحة في مجموعة من السمات الجوهرية، من أبرزها:

- رؤية استراتيجية تربط التعليم بالاقتصاد والتنمية المستدامة.
- نظام حوافز فعّال وموجّه لتشجيع الباحثين والمبتكرين.

- استقلالية في اتخاذ القرار الأكاديمي والمالي، تُمكّن الجامعة من التفاعل بمرونة مع متغيرات السوق.
- هيكلة داخلية مرنة تُشجّع المبادرة وروح المقاولة داخل الفضاء الجامعي.
- آليات فعالة لنقل التكنولوجيا وتسويق نتائج البحث العلمي.
- شراكات دولية تسهم في تبادل الخبرات وتعزيز التنافسية.
- تكامل بين التكوين النظري والتدريب العملي من خلال برامج مزدوجة أو تكوين بالتناوب.

هذه القواسم تشكّل الأسس التي تمكّن الجامعة من التحول إلى فاعل اقتصادي وتنموي مؤثر.

8. تحوّل الجامعة الجزائرية: بين الطموح والإكراهات

تسعى الجامعة الجزائرية اليوم إلى تحقيق تحوّل نوعي يجعل منها فاعلًا محوريًا في منظومة التنمية الوطنية، من خلال تعزيز البحث العلمي، وتشجيع الابتكار، وربط التكوين بسوق العمل. غير أن هذا الطموح يصطدم بعدة إكراهات، منها:

- ضعف التمويل العمومي للبحث العلمي (أقل من 0.6٪ من الناتج المحلي الإجمالي).
- غياب منظومة دعم للابتكار وحماية الملكية الفكرية.
- وجود فجوة واسعة بين الجامعة وسوق العمل.
- استمرار برامج تكوين لا تتماشى مع المتطلبات الملحة والمتغيرة.
- ضعف التنسيق بين القطاعات الوزارية والجامعات والمؤسسات الاقتصادية.
- اعتماد مركزية القرار وضعف استقلاليتها.
- غياب آليات مرنة للشراكة والتعاقد.
- غلبة المقاربة النظرية في التكوين.
- غياب التدريب على الابتكار، والمبادرة، والعمل الجماعي.

9. توصيات و اقتراحات عملية

استنادًا إلى التحليل السابق، يمكن اقتراح حزمة من التدابير العملية التي تساعد الجامعة الجزائرية في التحول إلى جامعات منتجة، نذكر منها على سبيل الذكر لا الحصر:

- تعزيز استقلالية الجامعات في التسيير والتمويل والتشبيك.
- زيادة الاستثمار في البحث العلمي والابتكار، مع اعتماد التمويل القائم على الأداء.
- دعم الحاضنات الجامعية ومكاتب نقل التكنولوجيا.
- إدماج الجامعة في السياسات الاقتصادية الوطنية بصفتها شريكًا استراتيجيًا.
- مراجعة الرؤية والرسالة لتضمين البعد الإنتاجي والابتكاري.
- هيكلة التكوينات وفق مقاربة المهارات وربطها بسوق الشغل.
- إنشاء وحدات لليقظة التكنولوجية والاستشراف، لمتابعة التغيرات المهنية.
- تشجيع الأساتذة والطلبة على ريادة الأعمال الجامعية (University entrepreneurship).
- توقيع اتفاقيات شراكة مع المؤسسات الاقتصادية والمهنية.
- إشراك الفاعلين في تصميم البرامج وتوجيه البحوث.
- تنظيم منتديات سنوية تجمع الجامعة بسوق العمل لتبادل الرؤى.

الخاتمة

لم يعد الدور التقليدي للجامعة كافيًا في ظل التحولات المتسارعة التي يعيشها العالم. فالجامعة الحديثة مطالبة بأن تتجدد، وأن تنتج، وأن تؤثر. ولتحقيق ذلك، لا بد من إعادة تعريف وظائف الجامعة حول ثلاثية مترابطة: بحث علمي منتج، وابتكار موجّه، وتكوين يستجيب لسوق العمل.

إنّ التحول إلى جامعة منتجة ليس خيارًا، بل ضرورة تنموية، ويتطلب إرادة سياسية واضحة، ورؤية استراتيجية مشتركة، وعملًا تشاركيًا بين جميع الفاعلين. ورغم التحديات البنيوية التي تواجه الجامعة الجزائرية على غرار الكثير من الجامعات في البلدان النامية، فإن الفرص متاحة، والنماذج الناجحة موجودة، ويبقى الرهان على التفعيل الجاد والطموح والإرادة السياسية.

المراجع

[1] عبيدات، ذوقان. الجامعة المنتجة: المفهوم والمقومات. المجلة العربية لضمان جودة التعليم الجامعي، (2018).

[2] Altbach, Philip G., Liz Reisberg, and Laura E. Rumbley. Trends in Global Higher Education: Tracking an Academic Revolution. Brill, Leiden, 2019

[3] Etzkowitz, Henry, and Loet Leydesdorff. The dynamics of innovation: from National Systems and "Mode 2" to a Triple Helix of university–industry–government relations. *Research policy*, 29(2), (2000), 109-123.

[4] OECD, Enhancing Research and Innovation: The University-Industry Collaboration. 2017.

[5] https://web.mit.edu (الموقع الرسمي لمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا)

تجارب فيزياء الذرات المبردة تحسم الجدل القائم بين أينشتاين وبور (Bohr)

سيد علي ريان
أستاذ بقسم الكيمياء، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
sidali.rayane@g.ens-kouba.dz

مثّل نموذج نيلز بور (Niels Bohr) لذرة الهيدروجين سنة 1913 نقطة مفصلية في تطور مفاهيم البنية الذرية، إذ دمج بين مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية ونظرية الكم الناشئة لتفسير استقرار الذرة وخطوط طيفها. وعلى الرغم من تجاوز ميكانيكا الكم الحديثة لهذا النموذج، فقد احتفظ بقيمته التأسيسية في فهم الطبيعة الذرية. في موازاة ذلك، شكّلت النقاشات بين بور وأينشتاين (Einstein) حول تفسير ميكانيكا الكم ذروة الجدل العلمياتي (أي الإبستمولوجي) والعلمي في القرن العشرين. وقد حُسم الخلاف أخيرًا عبر تجارب حديثة في فيزياء الذرات المبردة، ولا سيما تجربة فولفغانغ كيترلي (Wolfgang Ketterle) وفريقه سنة 2025، التي دعّمت بصورة قاطعة التفسير الاحتمالي لبور على حساب الواقعية الحتمية لأينشتاين. وتهدف هذه المقالة الموجزة إلى استعراض تطور هذا الصراع العلمي بدءًا من نموذج بور، مرورًا بجدل التفسير الكمومي، وصولًا إلى التجربة الحاسمة التي جسّدت عمليًا مبادئ كانت تُعدّ يومًا ما محض فلسفة.

مقدمة

منذ أواخر القرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين، بدأت الصورة التقليدية للكون بالاهتزاز تحت وطأة الاكتشافات المتسارعة في عالم الذرة. فمن اكتشاف الإلكترون على يد طومسون (Thomson) في سنة 1897 إلى النموذج النووي لرذرفورد (Rutherford) في سنة 1911، كان التحدي قائمًا في فهم البنية الداخلية للذرة وتفسير ثباتها وطيفها الخطي. جاء نيلز بور سنة 1913 ليقترح نموذجًا كميًا مبسطًا لذرة الهيدروجين عُرف باسمه، اعتمد فيه على منهج تجريبي مؤسس على عمليات رياضية دقيقة، استطاع من خلاله تفسير خطوط طيف ذرة الهيدروجين وأشباهها بدقة، واضعًا بذلك حجر الأساس للكيمياء الكمية [4].

غير أن ميكانيكا الكم لم تقف عند نتائج بور، بل تطورت لاحقًا على يد شرودنغر (Schrödinger) وَهايزنبرغ (Heisenberg)، لتثير جدلًا تعليمياتيًا وفلسفيًا عميقًا حول طبيعة الواقع الكمومي بين مدرستين: الأولى يمثّلها نيلز بور، وترتكز على مبدأ التحديد، أي تحديد المسار والموقع والحركة، وتؤمن بالطبيعة المعتمدة على التحديد المرتبطة بالرصد؛ والثانية يُمثّلها أينشتاين، وتصرّ على وجود واقع مستقل لا يخضع للقياس [6]. وقد ظل هذا النقاش دون حسم إلى أن تمكّن العلماء من اختبار هذه الرؤى تجريبيًا، وأبرزها تجربة الذرات المبردة سنة 2025 بقيادة فولفغانغ كيترلي، والتي أعادت صياغة تجربة الشق المزدوج، أو ما يُعرف في مناهجنا التربوية الجزائرية بشقي يونغ، بطريقة متقدمة مكّنت من الفصل بين الموجية والجسيمية عمليًا [2].

1. نموذج بور– أساس كمي لفهم الذرة

اقترح نيلز بور نموذجًا للذرة يقوم على ثلاث فرضيات رئيسية: الأولى تعتمد على تحديد المسار واعتباره دائريًا أي نصف قطره محدد؛ الثانية تعتبر أن حركة الجسيم داخل الذرة وفي نفس المسار المحدد لا يتيح للذرة امتصاص أو إصدار طاقة، والفرضية الثالثة أن العزم الحركي للجسيم أثناء حركته يكون مكممًا بعدد طبيعي. وقد مكّنت هذه الفرضيات بور

من تفسير خطوط طيف الهيدروجين، ولاسيما سلسلة بالمر، بدقة متوافقة مع النتائج التجريبية. كما أسس لمفهوم مستويات الطاقة الذي صار محورًا أساسيًا في فهم البنية الإلكترونية للعناصر والروابط الكيميائية [8].

أثره في الكيمياء النظرية والتطبيقية

لقد شكّلت افتراضات بور حول ذرة الهيدروجين نقطة تحول محورية في مسار العلوم الفيزيائية، إذ أرست قاعدة نظرية صلبة جمعت بين مفاهيم ميكانيكا الكم والفيزياء الكلاسيكية، مما أتاح تفسير البنية الطيفية لذرة الهيدروجين بدقة غير مسبوقة. فقد أوضح بور أن للإلكترون مدارات محددة ذات طاقات كمومية، وهو ما مهّد لتطوير ميكانيكا الكم الحديثة وفتح الباب أمام فهم أعمق للتفاعلات الذرية والجزيئية. أما على الصعيد التطبيقي، فقد مكّنت هذه الرؤية الجديدة العلماء من التنبؤ بسلوك العناصر الكيميائية، وتفسير الروابط بين الذرات، وبالتالي إرساء أسس الكيمياء الكمية التي انبثقت عنها تقنيات حديثة في مجالات التحليل الطيفي، والليزر، وأشباه الموصلات، وصولًا إلى التطبيقات الطبية مثل التصوير بالرنين المغناطيسي. وهكذا مثّلت افتراضات بور جسرًا بين النظرية والتطبيق، إذ انتقلت من كونها تصورات رياضية إلى أدوات عملية غيّرت وجه العلم والصناعة معًا.

1- **التحليل الطيفي**: اعتمد الكيميائيون على معادلات بور لتفسير خطوط الطيف وتحديد هوية العناصر.
2- **الطاقات الإلكترونية**: دعم فهم طاقات التأين والانتقالات الإلكترونية.
3- **تفسير الروابط الكيميائية**: مهّد الطريق لنظريات الترابط الكيميائي مثل رابطة التكافؤ والمدار الجزيئي.
4- **الجانب التعليمي**: شكّل نموذج بور مدخلًا مفاهيميًا لتعليم الذرة في مراحل التعليم الثانوية والجامعية [9].

2. أنشتاين وخلفيته التعليمياتية

لم يكن أينشتاين، في مسيرته العلمية والفلسفية، مجرد فيزيائي تجريبي أو رياضي، بل كان مفكرًا يسعى إلى صياغة صورة متكاملة عن العالم الطبيعي تتجاوز حدود الصيغ الرياضية إلى معنى الواقع ذاته. ومنذ بدايات أبحاثه في النظرية النسبية وصولًا إلى نقاشاته العميقة مع نيلز بور في مؤتمر سولفاي، ظلّ أينشتاين يؤكد على فكرة مركزية مفادها أنّ للطبيعة وجودًا مستقلاً عن عمليات الرصد والقياس التي يجريها العلماء. فقد كان يرى أن وظيفة الفيزياء لا تقتصر على تنظيم نتائج القياسات، بل اكتشاف البنية الواقعية الكامنة وراء الظواهر، أي ما يمكن أن يُسمى "الواقعية الفيزيائية".

يتضح هذا الموقف أكثر عند مقارنته بتفسيرات ميكانيكا الكم في مدرسة كوبنهاغن، حيث ذهب بور وَهايزنبرغ إلى أنّ القياس لا يكشف عن خاصية كامنة مسبقًا في الجسيم، بل هو الذي يحددها ويُنشئها. أما بالنسبة لأينشتاين، فقد كان هذا التصور صادمًا وغير مقبول، لأنه ينفي وجود حقائق فيزيائية موضوعية تسبق تدخل المراقب. ومن هنا صاغ عبارته الشهيرة: "هل يعتقد القمر أنه موجود فقط حين أنظر إليه؟" ليُجسّد رفضه لفكرة أن الواقع مرهون بفعل الملاحظة.

بلغ الجدل ذروته في الورقة التي كتبها أينشتاين مع بودولسكي (Podolsky) وَروزن (Rosen) سنة 1935. في هذه الورقة حاول أن يبرهن على أنّ ميكانيكا الكم – كما تُفهم وفق تفسير كوبنهاغن – نظرية غير مكتملة، لأنها لا تصف "العناصر الواقعية" التي لا بد أن تكون موجودة بمعزل عن القياس. وجوهر حجته أنّه إذا كان بالإمكان التنبؤ بدقة بخاصية لجسيم ما دون أن نمسّه أو نقيسه مباشرة، فإنّ هذه الخاصية يجب أن تكون واقعية ومستقلة عن فعل القياس.

من هذا المنظور، أصرّ أينشتاين على أنّ العالم الطبيعي يتمتع ببنية موضوعية، وأنّ القوانين الفيزيائية ينبغي أن تصف تلك البنية بدلًا من الاكتفاء بالعلاقات الاحتمالية للقياسات. ورغم أنّ التجارب اللاحقة – خصوصًا تجارب بيل في ستينيات القرن العشرين – أظهرت أن الطبيعة أكثر غرابة مما تصور أينشتاين، فإنّ موقفه ظلّ مؤثرًا في الفلسفة العلمية. فقد حفّز البحث عن "النظريات الخفية" التي يمكن أن تكشف عن الواقع وراء الاحتمال، وأبقى النقاش مفتوحًا حول طبيعة الحقيقة الفيزيائية.

إنّ إصرار أينشتاين على وجود واقع مستقل لا يخضع للقياس لم يكن مجرّد اعتراض على ميكانيكا الكم، بل كان تعبيرًا عن رؤيته الكونية لوظيفة العلم: السعي إلى كشف نظام موضوعي يتجاوز إرادة الراصد وأدواته. وبهذا المعنى، فإن فكره لا يزال يشكّل دعامة أساسية في النقاشات المعاصرة حول العلاقة بين النظرية والواقع، بين ما نرصده وما يوجد حقًّا في أعماق الطبيعة.

3. جدل بور و أينشتاين – الو اقع، الرصد، والاحتمال

رغم نجاح نموذج بور، فإن تفسيره الاحتمالي للواقع الكمي لم يُرضِ أينشتاين الذي طالما كرر: "الله لا يلعب النرد" [7]. فقد رأى أنّ الجسيمات لا بد أن تملك خصائص محددة قبل الرصد، وأن ميكانيكا الكم ليست سوى وصفًا ناقصًا لواقع أعمق تحكمه "متغيرات خفية" [3]. وقد برز هذا الصراع في مؤتمرات سولفاي، حيث اقترح أينشتاين تجارب فكرية (مثل تجربة تحديد مسار الفوتون في الشق المزدوج) للتشكيك في تفسير بور. إلا أن بور ردّ بأن مجرد محاولة الرصد تغيّر طبيعة الجسيم وتُفقده التداخل الموجي [5]. وقد ظل هذا الجدل فلسفيًا إلى أن جاء القرن الحادي والعشرون بتقنيات مكّنت من اختباره تجريبيًا.

4. تجربة كيترلي (2025) – حسم الجدل بالتبريد الليزري

تُعدّ تقنية التبريد الليزري للذرات والجزيئات من أبرز الإنجازات العلمية في فيزياء الذرة والكم، إذ تتيح التحكم الدقيق في حركة الجسيمات على مستوى بالغ الصغر. تقوم الفكرة على استغلال التفاعل بين الذرات أو الجزيئات وأشعة الليزر ذات أطوال موجية مختارة بعناية، بحيث يؤدي امتصاص الفوتونات وإعادة إصدارها إلى تقليل السرعة الحركية للجسيمات. وبما أنّ درجة الحرارة في الفيزياء مرتبطة بطاقة الحركة، فإن خفض السرعة يقود مباشرة إلى تبريدها حتى تصل إلى أجزاء من الميكروكلفن، أي قريبة من الصفر المطلق. وقد أتاح هذا التطور بناء ما يُعرف بـ"المصائد البصرية" التي تمسك الذرات في فضاء محدد، وتتيح دراستها دون اضطراب حراري.

لقد كان لهذا الإنجاز أثرٌ بالغ في العديد من المجالات. فعلى الصعيد الأساسي، مكّن العلماء من التحقق بدقة غير مسبوقة من الميكانيكا الكمومية، ودراسة حالات جديدة من المادة مثل تكاثف بوز-أينشتاين الذي لا يظهر إلا عند درجات حرارة فائقة الانخفاض. كما وفّر التبريد الليزري قاعدة لتطوير الساعات الذرية فائقة الدقة التي تُستخدم اليوم في الملاحة عبر الأقمار الصناعية (GPS) وفي معايرة الزمن العالمي. أما على الصعيد التطبيقي، فقد فتحت هذه التقنية آفاقًا في مجال الحوسبة الكمومية، إذ يسمح التحكم بالذرات الباردة ببناء كيوبتات أكثر استقرارًا، ما يقرّبنا من تحقيق معالجات كمومية عملية.

إضافةً إلى ذلك، يساهم تبريد الجزيئات في التقدّم بمجالات مثل الكيمياء فائقة البرودة، حيث يمكن دراسة التفاعلات الكيميائية بدقة على مستوى الحالات الكمومية الفردية، وهو ما يعزّز فهمنا لآليات الطبيعة على مستوى أساسي. وبذلك، فإن التبريد الليزري لا يُعدّ مجرد تقنية مخبرية، بل يُمثّل أداةً استراتيجية في دفع حدود المعرفة الإنسانية، وربط النظريات الفيزيائية بالاكتشافات التجريبية التي تمهّد لثورات علمية وتكنولوجية مستقبلية.

في تطور ثوري، قام فريق بقيادة فولفغانغ كيترلي سنة 2025 بتجربة باستخدام ذرات مبردة بالليزر مُرتّبة في شبكة ضوئية، حيث لعبت كل ذرة دور "شق" في تجربة موسعة للشق المزدوج [5]. وقد تمكّنت هذه التجربة من رصد الفوتونات المتناثرة عن الذرات بشكل يسمح بتحليل التداخل من جهة، أو تحديد المسار من جهة أخرى.

النتائج الأساسية:

- عند عدم معرفة المسار، بقي التداخل موجودًا (سلوك موجي).

- عند معرفة المسار بدقة، اختفى التداخل وظهر السلوك الجسيمي.
- أكد هذا التلازم بين الرصد وفقدان التماسك الموجي، كما تنبأ بور منذ قرن [5].
- رفض ضمني لفكرة المتغيرات الخفية الواقعية التي دافع عنها أينشتاين، متماشيًا مع نتائج تجارب بيل التي سبقت ذلك في السبعينيات.

الأثر التطبيقي والعلمياتي:

- أكدت التجربة أن الرصد يغيّر الواقع الكمي، مما يدعم تفسير كوبنهاغن.
- فتحت الباب أمام تطوير الحوسبة الكمية والتشفير الكمي.
- أعادت تسليط الضوء على مفاهيم التشابك الكمي وفقدان التماسك.

الخاتمة

يُجسّد المسار الذي بدأه نيلز بور بنموذجه لذرة الهيدروجين سنة 1913، وانتهى بتجربة كيترلي سنة 2025، واحدةً من أعظم الرحلات الفكرية والعلمية في تاريخ الإنسانية. لقد انتقلت العلوم الفيزيائية، بفضل هذا التطور، من محاولة بناء تصوّرات أولية عن الذرة استنادًا إلى افتراضات رياضية مبسطة، إلى عالم من التجارب عالية الدقة والتقنيات المتقدمة التي مكّنت العلماء من اختبار أعقد الفرضيات وإثبات أو دحض ما كان يومًا مجرد تخمين علمياتي. إن الفارق بين نقطة البداية ونقطة النهاية لا يتمثل فقط في حجم المعارف المكتسبة، بل في طبيعة السؤال ذاته: من "كيف نتصور الذرة؟" إلى "كيف يكشف الرصد عن طبيعة الواقع الكمومي نفسه؟".

لقد أظهر هذا الامتداد التاريخي أن قوة نموذج بور لم تكن كامنة في كونه التفسير النهائي لبنية الذرة، بل في كونه خطوة تأسيسية أطلقت سلسلة متواصلة من التطورات النظرية والتجريبية، وأعادت صياغة علاقة الإنسان بالواقع المجهري. فما كان في زمن بور مجرّد افتراض فكري، صار اليوم حقيقة تجريبية مدعومة بأدق الأدوات المخبرية، وهو ما يعكس قدرة العلوم الفيزيائية الحديثة على تحويل ما يُتصوّر ذهنيًا إلى وقائع ملموسة تخضع للمشاهدة والتجريب. بهذا المعنى، لم يكن نموذج بور نهاية رحلة البحث، بل الشرارة التي مهّدت الطريق لاكتشافات متلاحقة أعادت رسم حدود الممكن في فهم المادة والطاقة.

وبين الرؤية الحتمية التي دافع عنها أينشتاين، والتفسير الذي تبنّاه بور، لعبت التجربة العلمية الدور الحاسم في حسم الجدل. فقد بيّنت أحدث التجارب، ومنها تجربة كيترلي، أن الواقع الكمومي لا يمكن مقاربته بمنطق الكلاسيكية الصارمة، ولا إدراكه خارج إطار فعل الرصد ذاته. إن الانتصار لمبدأ الاحتمال على الحتمية ليس مجرد انتصار لفكرة فيزيائية على أخرى، بل هو انتصار لمنهج علمي يعترف بتعقيد الظواهر ويفسح المجال أمام تعدد التفسيرات ما دامت مدعومة بالبرهان التجريبي. وهكذا، تظل قصة بور وما تلاها شاهدًا على أن العلم ليس تراكمًا للمعارف فحسب، بل هو أيضًا رحلة فكرية تعيد تشكيل علاقتنا بالوجود وتفتح آفاقًا جديدة لفهم ما كان يبدو عصيًّا على الإدراك.

المراجع

[1] Atkins, P., & de Paula, J., Atkins' Physical Chemistry, Oxford University Press, 2017.

[2] Bacciagaluppi, G. &Valentini, A., Quantum Theory at the Crossroads. Cambridge University Press, 2009.

[3] Bell, J. S., Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics. Cambridge University Press, 1987.

[4] Bohr, N., On the Constitution of Atoms and Molecules, Philosophical Magazine, 26(151), (1913),1–25.

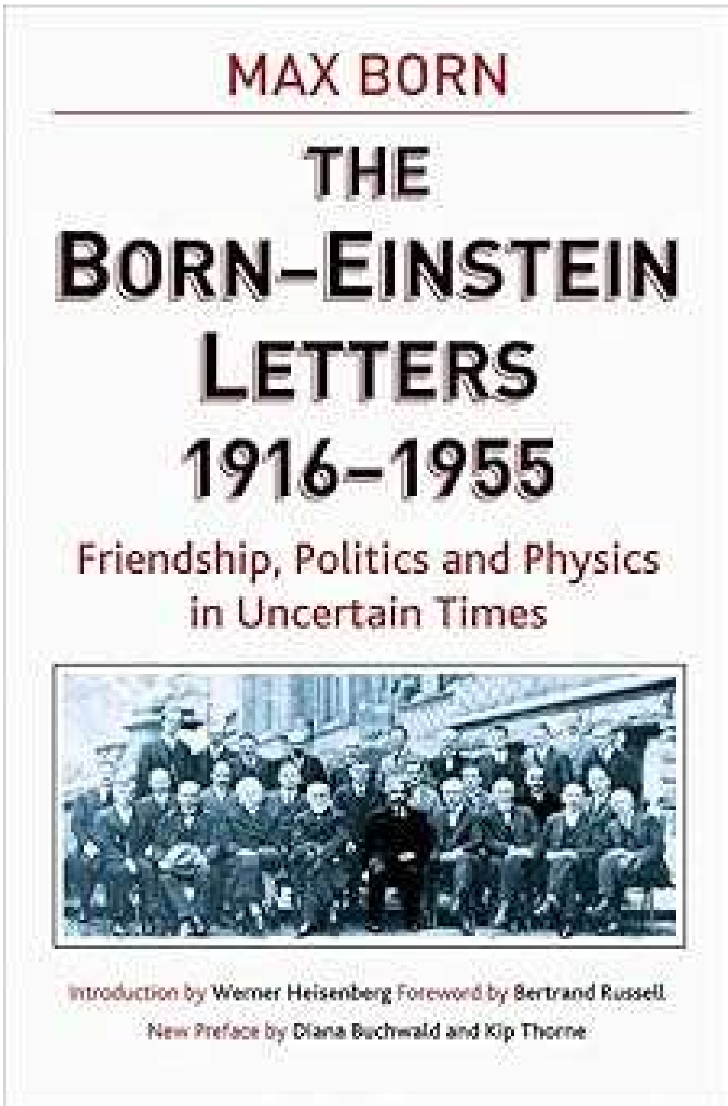
[5] Bohr, N., Atomic Theory and the Description of Nature. Cambridge University Press, 1934.

[6] Born, M., The Born–Einstein Letters. Macmillan, 1917.

[7] Einstein, A., On a Heuristic Point of View Concerning the Production and Transformation of Light, Annalen der Physik, 1905.

[5] Levine, I. N., Quantum Chemistry, Pearson, 2014.

[6] McQuarrie, D. A., Quantum Chemistry, University Science Books, 2008.



التقليد في "الفنون الحرة" عبر العصور الوسطى[1] (3)

يورج ويلر [1] Jörg Willer (1936-2017)

ترجمة (بتصرف) مهدي بن بتقة[2]

[1]أستاذ ألماني مختص في تعليمية الفيزياء

[2] أستاذ بقسم الفيزياء، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

1. استكمال تقليد العصور الوسطى

عندما بلغ تأثير التقليد التعليمي اليوناني البيزنطي على الغرب ذروته للمرة الأخيرة، شهدت علوم الطبيعة ازدهارًا يتوافق مع بدايات العصر الحديث. فقد أصبح التقدّم في الفيزياء يمهّد الطريق، وبدأ هذا التحسّن مجددًا من خلال العودة إلى أعمال العلوم اليونانية. ففي حين كان الاعتماد في السابق على الملخصات والترجمات اللاتينية، بدأت العودة آنذاك إلى النصوص اليونانية الأصلية. وكانت في البداية المناقشة العامة الواسعة للنُسخ الأصلية من النصوص القديمة، هي التي أدت إلى نقطة التحول العميقة، التي أنهت العصور الوسطى.

عند هذه العتبة التاريخية، يقف نيكولاس الكوساني (Nicholas of Cusa)، والمعروف باسم كوسانوس (Cusanus) نسبة إلى مسقط رأسه في كويس (Kues) على نهر موسيل (Mosel)، ويوهانس مولر (Johannes Müller)، المقلب بريغيومونتانوس (Regiomontanus) نسبة إلى مسقط رأسه في كونيغسبيرج (Königsberg) في فرانكان (Franken).

لقد خدم نيكولاس الكوساني الكنيسة بصفته مندوبًا وأسقفًا وكاردينالًا. أما أعماله العلمية فقد كُتبت خلال فترات الراحة القليلة التي أتاحتها له مهامه الكنسية. وتُظهر كتاباته اطلاعًا واسعًا على مصادر الدراسات اليونانية، إذ يشير إلى فيثاغورس (Pythagoras) وبارمينيدس (Parmenides)، وأناكساغوراس (Anaxagoras)، كما يشير إلى أفلاطون (Plato) وتلاميذه، بالإضافة إلى أنه يقتبس من بوثيوس (Boethius) وغيره من المؤلفين اللاتينيين.

وفي عمله الرئيسي "من الجهل المتعلّم" (من الجهل الموجه، De docta ingnorantia)، يجادل كوسانوس بأن الأرض ليست ساكنة في مركز الكون، بل هي في حركة مستمرة، وأن الكون لا يمتلك مركزًا ثابتًا على الإطلاق. وعلى الرغم من أن كوسانوس ظل ملتزمًا بأسلوب التأمل العقلي الذي ميّز فلسفة العصور الوسطى، إلا أن أطروحته –بما تحمله من تناقض مع "قواعد القدماء" [1] – تعبّر عن استقلالية فكرية تتجاوز حدود العصور الوسطى. وتُظهر ملاحظاته المتبقية أنه سعى أيضًا إلى تفسير الظواهر من منظور علمي. إذ تشير أطروحته إلى فهم للعلم يقترب من المفهوم الحديث أكثر مما هو سائد في العصور الوسطى. يوضّح تقرير شخص عادي عن تجارب الميزان، أن القياسات، يمكن أن تؤدي إلى فرضيات معقولة على الرغم من أنه، مع الميزان، كما هو الحال في أي مكان آخر في هذا العالَم، لا يمكن أن تُحقق الدقة الكاملة في القياسات.

وبصفته عضوًا في السفارة، شارك نيكولاس الكوساني في مفاوضات إعادة توحيد الكنائس الشرقية والغربية في البلاط الإمبراطوري البيزنطي عام 1438. إلا أنّ تلك المفاوضات، ورغم التهديد العثماني، لم تُفضِ إلى اتفاق فعلي. وتم فتح

[1] هذا المقال هو ترجمة (بتصرف) من الألمانية إلى العربية لفصل (ص. 51--72) من كتاب صدر سنة 1990، عنوانه "الفيزياء وتكوين الإنسان: تاريخ الفيزياء ودروسها" .(Physik und Menschliche Bildung Eine Geschichte der Physik und ihres Unterrichts)

القسطنطينية خلال حياة كوسانوس، ما أدى إلى انهيار الإمبراطورية البيزنطية. ويُعدّ هذا الحدث من أبرز المحطات التاريخية التي تشكّل الحدّ الفاصل بين العصور الوسطى وبدايات العصر الحديث.

في السنوات التي كانت فيها الإمبراطورية البيزنطية تحت التهديد، ولا سيما بعد انهيارها، فرّ عدد كبير من العلماء اليونانيين إلى إيطاليا. ومرة أخرى، وربما هذه المرة بصورة أكثر استدامة نظرًا لانقسام التقليد العلمي إلى فرعين، كان للتقاليد التعليمية الشرقية أثر بالغ في الغرب. وقد وصلت إلى الغرب، من جديد، ثروة من النصوص المصدرية للعلوم اليونانية. ومن خلال النسخ الأصلية، أصبح بالإمكان مراجعة الإصدارات النصية التقليدية أو إعداد ترجمات جديدة أكثر موثوقية. وكان ريغيومونتانوس من بين الأوائل الذين قدّموا إسهامات بارزة في هذا المجال؛ فقد ترجم، بتكليف من الكاردينال بيساريون (Bessarion)، أعمال أرسطو (Aristotle) في الميكانيكا، وكتاب هيرون (Hero) في الهواء المضغوط (Pneumatica)، وكتب بطليموس (Ptolemy) في البصريات والموسيقى، كما عمل على تحسين ترجمة بعض مؤلفات أرخميدس (Archimedes). والأهم من ذلك أن كتاب بطليموس الفلكي، **المجسطي**، لم يُعرف بصورته الأصلية إلا من خلال ترجمته.

غير أن الادعاء القائل بأن التعامل مع هذه النصوص قد أدى إلى تثبيط الملاحظة العلمية، ليس سوى أسطورة مضلّلة. فقد كان ريغيومونتانوس هو من أسّس فيما بعد أول مرصد فلكي في الغرب المسيحي، وذلك في مدينة نورمبرغ (Nürnberg). وقد استند المدافعون عنه، في مواجهة كوبرنيكوس (Copernicus) وغاليليو (Galileo) لاحقًا، إلى ملاحظاته التي جاءت مؤيدة لتعاليم بطليموس.

تم إنجاز الإرث التقليدي للعصور الوسطى، من خلال العودة إلى دراسة النصوص المصدرية للعلوم القديمة. ويظهر هذا الإنجاز في بادئ الأمر، وكأنه استمرارية لما سبق؛ غير أن الاتجاه يبدأ في التغيّر عند اكتماله، ليبشّر بانطلاق جديد يلوح في الأفق. فبعد مسار طويل وشاق استغرق قرونًا، أُعيد فيه اكتشاف المادة التعليمية القديمة ضمن المدارس والمدارس العليا (الجامعات) في العصور الوسطى، آن الأوان لتثبيت ما تم تحقيقه ومواصلة تطويره. وقد باتت هذه المهمة معترفًا بها أيضًا خارج المدرسة؛ وليس من قبيل المصادفة أن يكون كل من كوسانوس وريغيومونتانوس قد أنجزا أعمالهما العلمية خارج أسوار المدرسة والمدرسة العليا (الجامعة). ويمكن النظر إلى ذلك بوصفه إشارة على بداية الانفصال التدريجي عن نمط التعلم المدرسي التقليدي.

لقد استمر تدريس علوم الطبيعة في المدارس ضمن إطار "علوم الكتاب"، وفق الروح التي جسدها كاسيودروس (Cassiodorus). غير أن الانشغال المباشر بالنصوص المصدرية القديمة مهّد الطريق لتحرير علوم الطبيعة من قيود التقليد المدرسي الصارم، والذي بدأ يتجلى بصورة متزايدة خارج المدرسة.

2. المناقشة الخاصة

أ- في شأن (قضية) ترسيم الحدود التاريخية

لقد تتبّعنا في هذا العرض، تطور الأحداث عبر فترة زمنية ممتدة، تتجاوز الإطار الزمني الذي يُشار إليه عادةً باسم "العصور الوسطى". يتوافق هذا العرض مع المخطط التقليدي الذي يرى نهاية العصور الوسطى متجلّية في المرحلة المدرسية المتأخرة. ولكنها بدأت بالفعل مع حكم الإمبراطور الروماني قسطنطين (Constantine)، ولذلك فهو ينحرف عن البنية المعتادة، التي تؤكد على الحدود بين العصور القديمة والعصور الوسطى.

وهنا تبرز مجددًا إشكالية تحديد فترة التطوّر التاريخي، وتتحوّل إلى مسألة معقّدة؛ ذلك أن كل عصر، على الرغم من أنه يُمثّل تغييرًا مقارنةً بما سبقه، فإن ملامحه تكون قد تشكّلت في العصور السابقة. وحتى إن حاول المرء التمييز بين العصور عبر أحداث مفصلية بعينها، فإنها تبقى مترابطة على نحوٍ يجعل فهم العصر اللاحق مستحيلًا من دون الإحاطة

بالعصر السابق له، أي ما يُشار إليه بـ"عتبة العصر". إن مفهوم عتبة العصر، شأنه في ذلك شأن مفهوم نقطة التحوّل، يشير إلى الروابط التي تظل فاعلة في خضمّ التحوّلات التاريخية؛ إذ لا تعمل نقطة التحوّل على قطع إيقاع السيرورة، بل تُربكه لجعله أكثر وعيا.

إن عرض العلوم المدرسية (الدراسية) المتأخرة يكشف بوضوح أن الحد الفاصل بين العصور الوسطى والعصر الحديث لا ينبغي أن يُفهم على أنه مجرد فاصل زمني، بل يجب اعتباره "عتبة تاريخية"، وسيتّضح هذا المعنى في الفصل التالي. ولكن لا ينبغي أيضًا التعامل مع الحدّ الفاصل بين العصور القديمة والعصور الوسطى باعتباره مجرد فجوة. والحقيقة أن هذا الحدّ لا يمكن تثبيته زمنيًا بناءً على أحداث مفصلية بعينها، إذ يشكل ذلك إشكالًا منهجيًا بالفعل.

إن عزل آخر الأباطرة الرومان في الغرب، رومولوس أوغوستولوس(Romulus Augustulus)، عام 476م، لا يمكن أن يُعدّ تاريخًا لانتهاء العصور القديمة، كما لا يمثّل تتويج الإمبراطور البيزنطي هرقل (Heraclius) عام 610م تغييرًا مفاجئًا في التاريخ البيزنطي، ولا تُعدّ بداية العصور الوسطى متحققة فقط مع تتويج شارل الكبير (Charlemagne) إمبراطورًا عام 800م. ومع ذلك، فإن التقسيم التقليدي للتاريخ ما زال يُصرّ على وجود فجوة حادة بين العصور القديمة والعصور الوسطى.

أما العرض الحالي، الذي يغطي الحقبة الممتدة من العصور القديمة المتأخرة حتى نهاية العصور الوسطى، فإنه يبيّن، في المقابل، أن ما يُسمى بـ"نقطة التحول الكبرى" [4] –والمتمثلة في نشوء الممالك الجرمانية في المناطق التي كانت تخضع سابقًا للحكم الروماني– قد حافظت على فكرة محورية وحّدت بين العصور، وهي فكرة "الإمبراطورية الرومانية المسيحية" التي أسّس معالمها الإمبراطور قسطنطين. لقد شكّلت هذه الفكرة، في بدايتها، مشروعًا سياسيًا يجمع بين الدعوة إلى سلطة عالمية ودين عالميّ، واستمرّ تأثيرها قائمًا منذ العصور القديمة المتأخرة وحتى نهاية العصور الوسطى، بل وتجاوزها أيضًا، كما تجلّى ذلك في النموذج الحي للإمبراطورية البيزنطية. ولم يقتصر هذا التأثير على المجال السياسي، بل كان له أيضًا دور حاسم في تشكيل مسار التطور الفكري والتاريخي للغرب.

ب- في تقييم العصور الوسطى

تحدَّث هيجل (Hegel)، في محاضراته عن فلسفة التاريخ، عن "ليلة العصور الوسطى الطويلة وبالغة الأهمية والمروعة" [2]. ومنذ عصر التنوير، شاع وصف هذه الحقبة بـ"العصور المظلمة". ويُظهر مصطلح "العصور الوسطى" ذاتُه، الذي صاغه الإنسانيون لوصف الفترة الزمنية الواقعة بين العصور القديمة –التي أبدوا إعجابًا بها– وبين إحيائها من جديد في العصر الحديث، دلالةً على التهميش: فقد نُزعت عن هذه الفترة أية قيمة جوهرية، وتم التعامل معها على أنها مجرد مرحلة انتقالية مؤقتة، تفصل بدلًا من أن تربط بين عصريْن يُنظر إليهما على أنهما ذروة التقدّم: العصور القديمة والعصر الحديث.

وبما أن هذا النوع من التقييم يستند إلى معايير مستمدة من العصور المجاورة لها، فإنه من الصعب أن يُنصف الإنجازات الخاصة بالعصور الوسطى. فكما يرى هيجل، تُختزل هذه الحقبة في صورة "ألف عام نرغب في اجتيازها بسرعة البرق كمن يقفز قفزة ذات سبعة أميال هربًا". ولا يزال المؤرخ برنال (Bernal)، في تاريخه الاجتماعي الشامل للعلوم، يُفرد لهذه "الحقبة الطويلة والمظلمة للغاية من الإعداد" [3] حيزًا ضئيلًا للغاية.

يُفضي عرضنا إلى تقييم مغاير، يُبرز الإنجازات المستقلة التي حققها الأفراد الذين عاشوا وعملوا في أوروبا الغربية خلال العصور الوسطى. فهؤلاء اعتمدوا مرارًا وتكرارًا على تراث العصور القديمة، مع العمل على ترسيخه تدريجيًا من خلال التبادل الثقافي المنفتح مع بيزنطة والعالم الإسلامي. وفي إطار هذا التفاعل المستمر مع الإرث القديم، وفي ظل هذه الجهود المتضافرة، تبلورت الدائرة الثقافية التي نُطلق عليها اليوم مصطلح "الغرب".

لقد تعمّدنا في هذا العرض التركيز على تتبّع بعض اللحظات المفصلية التي كان لها أثر بالغ في مسار التاريخ الفكري، مع الإغفال المقصود لظروف أخرى، لم تكن، بطبيعة الحال، قليلة الأهمية في هذا السياق. فقد شكّل نشوء عالم الدول الأوروبية بمراكزها الثقافية الأرضية الملائمة لقيام الجامعات في العصور الوسطى، وأسهم تطور القانون الوسيط في إرساء الإطار القانوني الخاص بهذه المؤسسات. وكان للنظام الإقطاعي، من جانبه، دور في تأمين الأساس الاقتصادي لإنشاء المدارس، من خلال تنظيم الأملاك والعقارات. كما ساهم نمو المدن، الذي بدأ حوالي سنة 1000م، في تأسيس المدارس المملوكة للمدينة، وشهدت البرجوازية ازديادًا في تأثيرها الثقافي. ولعلّ المثال البارز على هذا التداخل بين الثقافة والمدينة يتمثل في مبادرة أحد مواطني نورمبرغ إلى دعم الفلكي ريغيومونتانوس في تأسيس مرصده هناك.

وعلى الرغم من أن تطور المدرسة والعلوم ارتبط بشبكة من العوامل المتنوعة، فإننا قصرنا اهتمامنا المنهجي على تحليل التفاعل بين المدرسة اللاتينية ونظيرتها اليونانية، وما صاحبه من تلاقٍ بين التقاليد العلمية. ففي هذا التفاعل بالتحديد، صاغ الإنسان الوسيط البنية الروحية لثقافته، وأسّس الدائرة الثقافية التي مهّدت الطريق لظهور العلوم في العصر الحديث.

ج- التطوير الفني

يُمثّل بناء كاتدرائية العصور الوسطى تحفة فنية، ليس فقط من الناحية الفنية، ولكن أيضًا من الناحية التقنية. ولا تقل المباني الأثرية الأخرى شأنًا في هذا الصدد. وما يُقال عن فن العمارة يمكن تعميمه على مسار التطور التقني برمّته؛ إذ إن الفارق بين التقنية في العصور القديمة وتلك التي ظهرت في العصور الوسطى ليس فرقًا جوهريًا في الطبيعة، بل هو فرق تدريجي في التطور. فكلتاهما ظلّتا وفِيّتين للحرفة، ولم يطرأ على آليات الإبداع الفني تغير جذري منذ العصور القديمة. غير أن ما يميز العصور الوسطى هو تزايد القدرة على التعبير الفني واقترانه بمهارة تقنية واضحة، ما أسفر عن عدد ملحوظ من الابتكارات والتطورات في المجال التقني. ويُعدّ تطور الساعات مثالًا بارزًا في هذا السياق، إذ استمر منذ العصور القديمة وتميّز بتنوع كبير في مبادئ التصميم والآليات المعتمدة في البناء.

قدَّم فيتروفيوس (Vitruvius) وصفًا تفصيليًا لصناعة ساعات الماء، غير أن العصور الوسطى شهدت نقطة تحوّل حاسمة مع ابتكار ساعة عجلة الوزن، التي مثّلت نقلة نوعية من خلال إتاحتها لعرض ساعات متساوية الطول. وقد أُعيد توظيف هذه الآلية لاحقًا في صناعة الساعات الفلكية، التي أضافت بُعدًا معرفيًا جديدًا من خلال تزويدها بمعلومات عن حركة النجوم. وبعد تركيب ساعة ذات عجلة رنانة في مبنى البرلمان بباريس سنة 1364م، بدأت المدن الأوروبية تتنافس في تركيب ساعات الأبراج. وشكّل اختراع ساعة الجيب، الذي أنجزه بيتر هينلاين (Peter Henlein) في مدينة نورمبرغ سنة 1510م، ذروة مؤقتة لهذا المسار التطوري.

كان للتحوّلات في البنية الاقتصادية خلال العصور الوسطى أثرٌ بالغ في دفع عجلة التطور التقني، حيث على النقيض من الثقافات السابقة، نجح الغرب في إرساء ثقافة متقدمة خالية من العبودية بمفهومها التقليدي. فعلى الرغم من أن الفلاح ظل مرتبطًا بنظام التبعية الإقطاعية، التي قيّدته بعلاقته مع مالك الأرض، إلا أن الحرفي تمتع بوضع قانوني أكثر حرية، تدعمه أشكال تنظيمية مستقلة نسبيًا. وقد تم دفع التطور التقني إلى الأمام خاصة في قطاع الحرف اليدوية. وتُظهِر الأجزاء الباقية من كتاب "أعمال البناء" الذي ألّفه فيلارد دي هونكور (Villard de Honnecourt) نحو عام 1240م، مدى التطور الذي شهدته آلات وأدوات البناء في تلك المرحلة. كما عرف قطاع التعدين توسعًا ملحوظًا، مدفوعًا بانتشار الأدوات الحديدية، الأمر الذي أسهم في تحقيق تحسينات تقنية كبيرة. وشمل التقدم كذلك تطوير طواحين المياه والرياح، حيث أشار فيتروفيوس إلى وجودها، وقد أُعيد تفعيل استخدامها في العصور الوسطى من خلال آلات تعمل بالماء أو طاقة الرياح.

في المقابل، واجه قطاع النقل تراجعًا مؤقتًا، نتيجة لطبيعة النظام الإقطاعي الذي لم يشجّع على تنشيط التجارة، كما أدت الحروب البحرية بين المسلمين والبيزنطيين، إلى جانب الغزوات النورماندية، إلى جمود شبه كامل في حركة التجارة البحرية. ولهذا، لم يكن ثمة دافع حقيقي لتطوير وسائل النقل خلال تلك المرحلة. شهدت أواخر العصور الوسطى طفرة ملحوظة تمثّلت في تحسين تصميم العربات، ولا سيما من خلال إدخال المحور الأمامي القابل للتوجيه، وهو ابتكار معروف لدى قبائل السلت (Celtic tribes)، بالإضافة إلى تحديث تقنيات بناء السفن باستخدام أسلوب "الإدخال من الخلف".

تُبين الأمثلة أن التقدم التقني لا يتحقق بمعزل عن شبكة من العوامل المتداخلة. ومن هذا المنطلق، فإن استعارة مفهوم "العزم" المأخوذ من الفيزياء –كما في عزم الدوران، أو عزم القصور الذاتي، أو العزم المغناطيسي– تدل على أنه لا يمكن فهم التاريخ إلا على أنه عملية متحركة تنشأ من جدلية التأثير المتبادل بين القوى الفاعلة. لذا، فإن الاقتصار على النظر إلى التاريخ بوصفه تجاورًا جامدًا للعناصر، يحول دون الفهم العميق له. وهذا ينطبق أيضًا على تاريخ التقنية والعلوم.

إلا أن ما يلفت الانتباه في التاريخ الفكري للعصور الوسطى، هو أن العلاقة بين العلوم والتقنية لم تكن علاقة دعم متبادل. ورغم وجود شريحة من الحرفيين المتعلمين ممن لم يكونوا خاضعين للوائح النقابات، مثل صانعي الساعات وعمال المطاحن، فإن أعمالهم لم تُستثمر بشكل منهجي في البحث العلمي. ويُفسر هذا التباعد السبب في ندرة تناول المشكلات التقنية ضمن الإطار النظري أو التعليمي في تلك المرحلة.

وقد تم التعبير عن هذا الفصل بين المجالات، في أحيان معينة، من خلال مقابلة "الفنون الحرة السبعة" بـ"سبعة فنون الميكانيكية"، وهو تصنيف عرف في بعض الكتابات التعليمية مثل "أسطورة تعليمات الدراسة" لهوج أوف سانت فيكتور (Hugh of Saint Victor) في القرن الحادي عشر، حيث أدرج الفنون التالية ضمن الفنون الميكانيكية:

- النسيج؛
- صناعة الأسلحة، بما في ذلك حرف البناء؛
- الشحن، بما في ذلك التجارة؛
- الزراعة؛
- الصيد؛
- الطب والدواء؛
- الفنون المسرحية، بما فيها الألعاب والرياضة.

تم إصدار بيانات مختلفة [5]، ومع ذلك، لم يكن من الممكن الاتفاق على قانون مُلزم لسبعة فنون ميكانيكية، والتي كان سيتم دمجها بشكل دائم في المناهج المدرسية.

يُعد اختراع البوصلة أحد الاستثناءات القليلة، التي شهدت فيها التقنية والعلم تفاعلًا بنّاءً في العصور الوسطى. فقد ألهم هذا الاكتشاف بيير دي ماريكورت (Pierre de Maricourt) لإنتاج عمل علمي حول المغناطيسية، تميز بتشابك واضح بين المناقشة النظرية والاختبار التجريبي. ولم يكن من قبيل المصادفة أن روجر بيكون (Roger Bacon) قد أشاد بالمهارات الفنية والتقنية لهذا العالِم، مميزًا بينها وبين العمل المهني الصرف. وبعد قرنين من الزمن، اعتمد كريستوفر كولومبوس (Christopher Columbus) في رحلته الاستكشافية الجريئة نحو الغرب على إرشادات البوصلة، والتي قادته كذلك إلى ملاحظة فيزيائية لافتة في مساء 13 سبتمبر 1492م، حين اكتشف أثناء قياساته الفلكية وجود انحراف في إبرة البوصلة. وبفضل القياسات المنهجية المنتظمة، توصّل إلى أن هذا الانحراف يتغير تبعًا للموقع الجغرافي.

ومع ذلك، ظل هذا التفاعل بين العلم والتقنية في العصور الوسطى استثناءً لا يعكس الحالة العامة. وليس من قبيل الصدفة أن يُنظر إلى هذا الحدث، إلى جانب فتح القسطنطينية ونشر أطروحات مارتن لوثر(Martin Luther)، كأحد المعالم الفارقة التي تشكّل العتبة التاريخية الفاصلة بين العصور الوسطى وبداية العصر الحديث. فمن هذه النقطة

تحديدًا، بدأ التفاعل المنهجي بين المعرفة العلمية والتطور التقني، مما مهّد السبيل إلى تشكّل ملامح الحداثة في اللحظات التنموية الرئيسة في تاريخ العصر الحديث.

رابط الجزء الأول من المقال: https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n15/article15-2.pdf

رابط الجزء الثاني من المقال: https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n16/article16-13.pdf

المراجع

[1] Nicolai de Cusa, De docta ingorantia –Die belehrte Unwissenheit, Buch II, Hamburg 1967.

[2] G.W.F. Hegel, Vorlesungen über die Philosophie der Geschichte, Stuttgart [3]1949, hrsg. von H. Glockner (Bd. 11 der Gesantausgabe).

[3] G. W.F. Hegel, Vorlesungen über die Philosophie der Geschichte, Stuttgart [3]1949, hrsg. von H. Glockner (Bd.11 der Gesamtausgabe), S. 518; ebd., Bd. 18, Vorlesungen über Geschichte der Philosophie, Stuttgart 1959, S.99; J.D.Bernal, Sozialgeschichte der Wissenschaften, Bd.1, S.231.

[4] So F. Hund, Geschichte der physikalischen Begriffe, Teil 1: Die Entstehung des mechanischen Naturbildes, Mannheim [2]1978, S. 2, unter Berufung auf F. Ueberweg, Geschichte der Philosophie, zweiter Teil, hrsg. von B. Geyer, Neudruck Darmstadt 1969.

[5] Vgl. F. Klemm, Zur Kulturgeschichte der Technik, München [2]1982, S. 77ff.; A.S. Crombie, von Augustinus bis Galilei, München 1977, S. 170 ff.; J. Teichmann, Wechselwirkungen zwischen Wissenschaft und Technik in der Geschichte, in: Technik als Schulfach, hrsg. von W. E. Traebert, Düsseldorf 1981.

نظرة على بعض روائع الحضارة العربية والإسلامية و أثرها على أوروبا

محمد مرابط
أستاذ بقسم الرياضيات، جامعة الشلف، الجزائر
merabetmohamed02@gmail.com

"لقد كان العرب أول من علَّم أوروبا طريق الحضارة." غوستاف لوبون Gustave Le Bon (1931-1841)

يسعى هذا المقال إلى إبراز بعض المحطات المضيئة على درب حضارتنا في الرياضيات والفلك والطب والصيدلة والعمران. وواقع الحال أن ما قدّم في هذا العرض، في أغلب الأحيان، يُعدّ إشارات سريعة لا تفي بالغرض، وإطلالة فقط على بعض روائع الحضارة العربية والإسلامية في الميادين المذكورة أعلاه.
نقول في الأخير إننا لم نأت بالجديد في هذا العرض من حيث المعلومات، إذ إن كل ما جاء فيه، بل والكثير منه متناثر ومكرر بين كتب التراث والموسوعات والمقالات المهتمة بتاريخ العلوم العربية والإسلامية.

تصدير

إن الفضل الحضاري الذي قدّمه العرب والمسلمون لا يقف عند حدود الترجمة فحسب، بل يتعدّاه إلى الإبداع والتأسيس لمناهج وعلوم جديدة. ففي الوقت الذي كانت فيه أوروبا تغطّ في ظلمات العصور الوسطى، كانت الحضارة العربية والإسلامية تضيء سماء العلم والمعرفة في بغداد ودمشق وقرطبة، فكان لهم دور حاسم في نقل العلوم والفلسفة، وتطوير الطب والرياضيات والفلك، مما مهّد الطريق لنهضة أوروبا وتقدّمها، فكانوا الجسر الذي عبرت عليه أوروبا نحو النور والتقدّم.

نوّد في هذا العرض تسليط الضوء على بعض إسهامات علماء العرب والمسلمين (بالأندلس) في الرياضيات، والفلك، والطب، والعمران. وبعدها نستعرض بعض شهادات العلماء، والمؤرخين، والمستشرقين وحتى السياسيين، على فضل الحضارة العربية والإسلامية وعلمائها في بناء صرح العلوم ونهضة وتطور أوروبا.

1. من رواد علمائنا في الأندلس

"لولا علماءُ الأندلسِ لما انتقلتْ كنوز الفلسفة والطب والرياضيات إلى أوروبا، فَهُم جسور النهضة الحقيقية." لويس بيير أوجين سديو Louis-Pierre-Eugène Sédillot (1875–1808)

إن الحديث عن علوم المسلمين وعلمائهم هو عمل موسوعي يحتاج إلى مجلدات، وقد كتب فيه الكثير قديمًا وحديثًا. كتب فيه العرب والمسلمون والمستشرقون، ولم يُوفَّ هذا الموضوع حقَّه بعد، لذا نكتفي هنا بالإشارة إلى ثلة مِن العلماء ممَّن ذاع صيتهم في أقطار أوروبا.

من علماء الأندلس الذين تفوّقوا في علوم الجبر والحساب والهندسة والفلك، نجد جابر بن أفلح (1100–1150م) الذي وُلد في إشبيلية وتوفي في قرطبة، وقد ألّف وبرع في علم الفلك وحساب المثلثات. كما يُعدّ أبو الحسن علي بن محمد بن علي القرشي البسطي، الشهير بالقلصادي (1412–1486م)، واضع الترميز الرياضياتي، وكان مُلمًّا بعلم العدد في زمانه، كما كان عالمًا بالنحو والفروض وفقيهًا.

ويُعدّ العالم الأندلسي عباس بن فرناس (810–887م)، المعروف بمحاولته الطيران التي يُقال إنها أدّت إلى وفاته، من أبرز المشتغلين بعلم الفلك والكيمياء في عصره. وقد نُسبت إليه ابتكارات مثل القبة السماوية التي أنشأها في بيته، كما تُذكر له محاولات في صناعة أدوات دقيقة لقياس الزمن، ويُرجّح أنه ساهم في تطوير وسائل بصرية تُعدّ من المقدمات المبكرة لفكرة النظارات.

كما يُعدّ أحمد بن أبي عبيدة الليثي القرطبي (769–848م) من أقدم علماء الحساب والنجوم بقرطبة. ومن علماء الفلك البارزين في الأندلس نجد أبو إسحاق إبراهيم بن يحي الزُّرقالي (1029–1087م) الذي يُعدّ أكبر وأشهر من رصد النجوم في زمانه، وقد اخترع أُسْطُرْلابًا جديدًا دُعي باسم "صفيحة الزرقالي" وشارك في وضع مبادئ جداول طليطلة التي عُرفت بالزيج الطليطلي.

كما أن يحيى بن الحكم المكنى بأبي زكرياء وكذلك الغزال الجياني (لجماله ووسامته سمي بالغزال) (773–864م)، وأصله من مدينة جيان وأقام في قرطبة، اهتم بالفلسفة والفلك وعُرف بعراف الأندلس.

كانت بداية الازدهار الطبي في الأندلس في عصر الخلافة أيضًا الذي بدأ في عهد الخليفة عبد الرحمن الناصر لدين الله (891–961م) الذي حكم الأندلس في الفترة (913–962م)، وهذا ما يؤكده الطبيب والصيدلي الأندلسي ابن جلجل (943–بعد 987م)، إذ يقول: "ثم ظهرت دولة الناصر لدين الله عبد الرحمن بن محمد، فتابعت الخيرات في أيامه، ودخلت الكتب الطبية من المشرق وجميع العلوم، وقامت الهمم، وظهر الناس ممّن كان في صدر دولته من الأطباء المشهورين". وتابع ابن الخليفة الحكم المستنصر (915–976م) المسيرة حينما أمر بجلب المؤلفات العلمية المشرقية، حتى أصبحت غرناطة من أعظم مراكز العلم والثقافة في العالم في القرن العاشر الميلادي.

لقد كان يحيى بن يحيى المعروف بابن السمينة القرطبي (ت. 927م) بصيرًا بالحساب والنجوم والطب، متصرفًا بالعلوم، وفيه قال صاعد الأندلسي (1029–1070م): "كان بصيرًا بالحساب والنجوم والطب، متصرفًا في العلوم، متفننًا في ضروب المعارف، بارعًا في علم النحو واللغة والعروض ومعاني الشعر والفقه والحديث والأخبار والجدل، وكان معتزلي المذهب، ورحل إلى المشرق، ثم انصرف وتوفي سنة خمس عشرة وثلثمائة".

كما يُعتبر "العرب المسلمون هم أول من وضع الأقراباذين (كتب الأدوية)، وهم أول من أسس الحوانيت لبيع العقاقير والأدوية الطبية، وإليهم يُنسب الفضل في فصل الصيدلة عن الطب"، بل و"فرضوا على الأطباء أن يكتبوا ما يصفون للمريض من أدوية على ورقة خاصة كانت تُسمى بأسماء مختلفة، كالتذكرة، والوصفة، والنسخة، وسُميت أخيرًا الوصفة الطبية". زيادة على ذلك، تشير المستشرقة زيغريد هونكه في كتابها **شمس العرب تسطع على الغرب** إلى أنه "كان في مدينة قرطبة وحدها خمسون مستشفى في أوسط القرن العاشر".

ومن أطباء الأندلس المشهورين نذكر أحمد بن يونس بن أحمد الحراني (ت. 1050م)، الذي تولى إقامة خزانة للطب لم يكن قطّ مثلها، ورتّب لها اثني عشر طبيبًا، وكان يعالج المحتاجين والمساكين من المرضى. ونذكر كذلك محمد بن أسلم الغافقي (ت. 1166م) الذي برع في جراحة العيون والصيدلة، حتى وصفه الطبيب والكيميائي الألماني أوتو فريتس مايرهوف (1884–1951) Otto Fritz Meyerhof بأنه "أعلم أطباء المسلمين في العصور الوسطى بالأدوية والأعشاب". نشير إلى أنه كلمة "gafas" مُستخدمة في الإسبانية للدلالة على النظّارات، وهناك رأي يقترحُ أن أصلها قد يكون اسمًا أو كنيةً لعالم العيون الأندلسي الغافقي.

من أهم كتب الغافقي "المرشد في الكحل" التي ترجمه مايرهوف، وتعرّض فيه إلى تشريح العين وخصائصها وأمراضها، كما ربط لون العين بالجغرافيا والمناخ، وتحدّث عن أسباب ضعف النظر، وأسباب انعدام الرؤية نهائيًا، وشخّص بعض الأمراض وحدّد علاجها كالرمد، وبياض العين والقرحة، كما برع الغافقي في عمليات إزالة المياه البيضاء من العين "الساد Cataract".

في مجال الفن المعماري، شيّد المسلمون في الأندلس عديد المدن والمباني مثل المساجد والقصور والجسور التي بقيت شاهدة على عظمتهم حتى يومنا هذا. نذكر منها:

- مدينة أُبَّدَة التي بدأ تشيدها في عهد الأمير عبد الرحمن بن الحكم (822–852م)، وعُرفت بأبدة العرب واكتملت في عهد ابنه الأمير محمد بن عبد الرحمن (823–866م).
- مدينة مجريط (مدريد)، وقد بُنيت في عهد الأمير محمد بن عبد الرحمن (852–886م).
- قلعة رباح، وأمر ببنائها الأمير محمد بن عبد الرحمن سنة 855م.
- مدينة الزهراء، وهي مدينة عربية إسلامية بارعة الجمال والعُمران، أمر بتشييدها الخليفة عبد الرحمن الثالث (الناصر لدين الله) (891–961م). تقع على سفح جبل العروس غربي قرطبة. وقد قيل فيها: "ومن مباني العرب العظيمة في الأندلس مدينة الزهراء التي شيّدها عبد الرحمن الناصر على بعد ثمانية كيلومترات شمال غرب قرطبة على سفح جبل العروس ومازالت تحتفظ باسمها العربي في اللغة الإسبانية، وبنى فيها قصره المشهور بقصر الحمراء". هذا القصر وقف أمامه الرسام الفرنسي هنري رينيو (1862–1939) Henri Eugène Augustin منبهرًا سنة 1869، وقال: "مقارنةً بالفنان الذي صنع هذا، نحن برابرة أوباش متوحشون".
- مسجد قرطبة، حيث "كان مسجد قرطبة الجامع (Mezquita Mayor de Cordoba) أول جامعة قروسطية في أوروبا خلال العصور الوسطى؛ ففي هذا الجامع كان الألوف من الطلبة يتلقّون العلوم الإسلامية الأساسية مثل التفسير والفقه والحديث وغيرها". وحول جمال مدينة قرطبة قيل:

بأربعٍ فاقت الأمصار قرطبة	منهن قنطرة الوادي وجامعها
هاتان ثنتان والزهراء ثالثة	والعلم أعضم شيء وهو رابعها

- مدينة غرناطة، التي قال عنها الكاتب الأمريكي إرنست همنغواي (1899–1961) Ernest Hemingway: "إذا كان مقدّر لك زيارة مدينة واحدة فقط في إسبانيا فيجب أن تكون غرناطة". واليوم يقال في إسبانيا: "إذا لم تسافر إلى غرناطة، فلم تر شيئًا".
- شاع في أوروبا ما ذُكر آنفًا عن التقدّم العلمي في الأندلس، ولا سيما في قصور حكّامها وأمرائها، فبدأت منذ ذلك الحين حركة من البعثات العلمية، أُرسلت من قِبل ملوك أوروبا وأمرائها من بلدانٍ مثل إنكلترا وفرنسا وألمانيا وهولندا. وقد أخذ عدد الموفدين إلى الأندلس في التزايد عامًا بعد عام، حتى غدت مراكزها العلمية مقصدًا للدارسين والباحثين من شتى أنحاء أوروبا.

2. وشهد شاهد من أهلها.

"إنكارُ أوروبا لفضل العرب هو جريمةٌ ضد الحقيقة... شمسُهم أضاءت عصرَنا المظلم." زيغريد هونكه (1913–1999) Sigrid Hunke

مما لا شك فيه أن تأثير المسلمين على الحياة العلمية في أوروبا قد ازداد بفضل فتح الأندلس سنة 711م، حيث كانت أوروبا آنذاك تقبع فيما يُسمّى بالعصور الوسطى. ومما يؤكد فضل المسلمين على النهضة الأوروبية جملة من الشهادات نسرد بعضها فيما يأتي:

قدّم الرياضياتي الفرنسي ميشال شال (1793–1880) Michel Chasles شهادته حول تخلّف أوروبا في القرون الوسطى مقابل تطور الحضارة العربية الإسلامية، بقوله: "كانت أوروبا في الفترة الممتدة من القرن الثامن الميلادي إلى القرن الثالث عشر الميلادي غارقة في جهل عميق. لقد كان حب العلوم وثقافتها موجودًا خلال هذه الفترة الطويلة لدى شعب واحد: عرب بغداد وقرطبة".

يقول المستشرق الفرنسي لويس بيير أوجين سديو Louis Pierre Eugène Sedillot (1808–1875) في كتابه **خلاصة تاريخ العرب**:"من القرن التاسع إلى القرن الخامس عشر، كان عند العرب أوسع ما سمح به الدهر من الأدبيات، وأن نتائج أفكارهم الغزيرة واختراعاتهم النفيسة تشهد أنهم أساتذة أهل أوروبا في جميع الأشياء".

وقدّم الكاتب الإنكليزي، رام لاندو Rom Landau (1899–1974)، هو الآخر، شهادته وثناءه على إسهامات العرب والمسلمين، إذ يقول: "المسلمون قدّموا كثيرًا من الابتكارات في حقل الرياضيات، ومع ذلك فإن معظم الأمريكيين والأوروبيين لم يعودوا يتذكرون من أي مخزن اكتسب العالم المسيحي الأدوات التي لا يمكن أن تصل الحضارة الغربية إلى مستواها الحاليّ إلا بها." ويضيف أيضًا أن العرب والمسلمين: "نقلوا علم الحساب الإغريقي وتبسيطه وجعله أداة طيّعة للاستعمال اليومي، عن طريق اصطناع الأرقام العربية والنظام العشري، واختراع علم الجبر في مفهومه المعروف في العصور الحديثة، ووضع أسس حساب المثلثات وخاصة الكروية منها". وفي السياق ذاته، قال ذات مرة مؤرخ الرياضيات فلوريان كاجوري Florian Cajori (1859-1930) : "إن العقل ليدهش عندما يرى ما عمله العرب في الجبر".

وحول الأندلس، وبصفتها همزة وصل بين الحضارة العربية الإسلامية في الشرق ونهضة أوروبا في الغرب، قالت المستشرقة الألمانية زيغريد هونكه: "ولم تكن جبال البرانس لتمنع تلك الصلات، ومن هنا وجدت الحضارة العربية الأندلسية طريقها إلى الغرب". وتضيف قائلة: "وقد حمل مشعل الحضارة العربية عبر الأندلس ألوف من الأسرى الأوروبيين، عادوا من قرطبة وسرقسطة، وغيرها من مراكز الثقافة الأندلسية، كما مثَّل تجار ليون وجنوى والبندقية ونورمبرج دور الوسيط بين المدن الأوروبية والمدن الأندلسية، واحتكَّت ملايين الحجاج من المسيحيين الأوروبيين في طريقهم إلى سنتياجو بالتجار العرب والحجاج المسيحيين القادمين من شمال الأندلس، كما أسهم سيل الفرسان، والتجار، ورجال الدين المتدفقين سنويًّا من أوروبا إلى إسبانيا في نقل أسس الحضارة الأندلسية إلى بلادهم، وحمل اليهود من تجار وأطباء ومتعلمين ثقافة العرب إلى بلدان الغرب، كما اشتركوا في أعمال الترجمة بمدينة طليطلة، ونقلوا عن العربية عددًا كبيرًا من القصص والأساطير والملاحم".

وتزيد قائلة: "إن سيلًا عرمًا من نتاج الفكر العربي، ومواد الحقيقة والعلم قد نَقَّحَتْهُ أيدٍ عربية، ونَظَّمَتْه وعَرَضَتْه بشكل مثاليّ قد اكتسح أوروبا... وفي مراكز العلم الأوروبية لم يكن هناك عالِمٌ واحد من العلماء إلَّا ومَدَّ يديه للكنوز العربية هذه؛ ليغرف منها ما شاء الله له أن يغرف، وينهل منها كما ينهل الظمآن من الماء العذب... ولم يكن هناك كتاب واحد من بين الكتب التي صدرت في أوروبا آنذاك إلَّا وقد ارتوتْ صفحاته بالرَّيِّ العميم من الينابيع العربية، وأَخَذَ عنها إيماءاته، وظهر فيه تأثيرها واضحًا كل الوضوح، ليس فقط في كلماته العربية المترجمة، بل وفي محتواه وأفكاره".

وتقول أيضًا: "إن هذه القفزة السريعة المدهشة في سُلَّمِ الحضارة -التي قفزها أبناء الصحراء، والتي بدأت من اللاشيء- لهي جديرة بالاعتبار في تاريخ الفكر الإنساني. وإن انتصاراتهم العلمية المتلاحِقَة التي جعلتْ منهم سادة للشعوب المتحضِّرَة لَفَريدة من نوعها؛ لدرجة تَجْعَلُهَا أعظم من أن تُقارَن بغيرها، وتدعونا أن نقف متأمِّلِينَ: كيف حدث هذا؟!"

كما تشير هونكه أيضًا إلى أن نهضة أوروبا كانت ببداية الاحتكاك بالمسلمين إذ تقول: "ولم يبدأ ازدهار الغرب ونهضته إلا حين بدأ احتكاكه بالعرب سياسيًا وعلميًا وتجاريًا. واستيقظ الفكر الأوروبي على قدوم العلوم والآداب والفنون العربية من سباته، الذي دام قرونا ليصبح أكثر غنى، وجمالا وأوفر صحة وسعادة".

يشير المؤرخ الفرنسي غوستاف لوبون بوضوح تام إلى فضل العرب على أوروبا، فيقول: "إن العرب هم الذين فتحوا لأوروبا ما كانت تجهله من عالم المعارف العلمية والأدبية والفلسفية بتأثيرهم الثقافي، فكانوا ممدنين، وأئمة لنا ستة قرون". ويضيف أيضًا: "عندما ندرس أعمال العرب العلمية واكتشافاتهم، فإننا نرى أنه ليس من شعب استطاع مجاراتهم بنفس الوقت القصير وبنفس الوفرة الهائلة، وعندما نمتحن فنهم فإننا ندرك أنه يملك أصالة لا سابق لها".

وها هو الكيميائي والمؤرخ الأمريكي (من أصل بلجيكي) جورج سارتون (1884–1956) George Sarton يُدلي بدلوه في مجال الاعترافات بفضل المسلمين على نهضتهم وتطورهم، إذ يقول: "حَقَّقَ المسلمون -عباقرة الشرق- أعظم المآثر في القرون الوسطى، فكُتِبَتْ أعظمُ المؤلَّفات قيمة، وأكثرها أصالة، وأغزرها مادَّة باللغة العربيَّة، وكانت من منتصف القرن الثامن حتى نهاية القرن الحادي عشر لغةَ العلم الارتقائية للجنس البشري، حتى لقد كان ينبغي لأيِّ كائنٍ إذا أراد أن يُلِمَّ بثقافة عصره وبأحدث صُوَرِهَا أن يَتَعَلَّم اللغة العربية، ولقد فعل ذلك كثيرون من غير المتكَلِّمين بها، وأعتقد أننا لسنا في حاجة أن نُبَيِّنَ منجزات المسلمين العلميَّة في الرياضيَّات والفيزياء وعلم الفلك والكيمياء والنبات والطبِّ والجغرافيا".

ومن بين الشهادات المنصفة أيضًا ما ذهب المؤرخ وأستاذ الدراسات الأندلسية في جامعة كامبريدج جون براند تريند (1887-1958) John Brande Trend، حيث يقول: "وقد بقيت الأندلس -وهي جزءٌ من أوروبا- مُدَّة ثمانية قرون منبر إشعاع حضاري خلال وجود المسلمين فيها، حتى أثناء ضعفها السياسي، وظهور دول ممالك الطوائف، وذلك بوساطة جامعاتها، ومدارسها، ومكتباتها، ومصانعها، وقصورها، وحدائقها، وعلمائها، وأدبائها، حتى غدتْ محطًّ أنظار الأوروبِّيِّين التي كانت على صلاتٍ وثيقةٍ ومستمرَّةٍ ببلدانهم". وفيما يخص مكانة قرطبة ودورها في انتقال الحضارة الإسلامية نحو باقي بقاع أوروبا يقول: "إن قرطبة التي فاقت كلَّ حواضر أوروبا مدنيَّةً -أثناء القرن العاشر- كانت في الحقيقة محطَّ إعجاب العالم ودهشته، كمدينة فينيسيا في أعين دول البلقان، وكان السياح القادمون من الشمال يسمعون بما هو أشبه بالخشوع والرهبة عن تلك المدينَة؛ التي تحوي سبعين مكتبة، وتسعمائة حمَّام عمومي؛ فإنْ أدركتِ الحاجةُ حُكَّام ليون أو النافار أو برشلونة إلى جَرَّاحٍ، أو مهندس، أو معماري، أو خائط ثياب، أو موسيقي فلا يتَّجِهُون بمطالبهم إلَّا إلى قرطبة". وهذا ما أكّده المفكر ليوبولد فايس (1900–1992) Leopold Weiss قائلًا: "لسنا نبالغ إذ قلنا إنَّ العصر العلمي الحديث الذي نعيش فيه لم يُدَشَّن في مدن أوروبا، ولكن في المراكز الإسلاميَّة؛ في دمشق وبغداد والقاهرة وقرطبة".

ومن بين الاعترافات الحديثة بفضل الحضارة العربية الإسلامية على نهضة وتطور أوروبا الكلمة التي ألقاها ملك بريطانيا تشارلز Charles في مركز أكسفورد للدراسات الإسلامية تحت عنوان "الإسلام والغرب" والتي جاء فيها: "إذا كان هناك قَدْرٌ كبير من سوء الفَهْم في الغرب لطبيعة الإسلام، فإن هناك -أيضًا- قدرًا مساويًا من الجهل بالفضل الذي تَدِينُ به ثقافتنا وحضارتنا للعالم الإسلامي... فإسبانيا في عهد المسلمين لم تَقُمْ فقط بجمع وحفظ المحتوى الفكري للحضارة اليونانية والرومانية، بل فَسَّرَتْ تلك الحضارة وتَوَسَّعَتْ بها، وقَدَّمَتْ إسهامات مهمَّة من جانبها في كثير من مجالات البحث الإنساني في العلوم، والفلك، والرياضيات، والجبر -الكلمة نفسها عربية- والقانون، والتاريخ، والطب، وعلم العقاقير، والبصريات، والزراعة، والهندسة المعمارية، لقد كانت قرطبة في القرن العاشر أكثر المدن تحضرًا في أوروبا. كما أن كثيرًا من المزايا التي تفخر بها أوروبا العصرية جاءت أصلًا من إسبانيا في أثناء الحكم الإسلامي؛ فالدبلوماسية، وحرية التجارة، والحدود المفتوحة، وأساليب البحث الأكاديمي، وعلم الإنسان، وآداب السلوك، وتطوير الأزياء، والطب البديل، والمستشفيات جاءت كلها من تلك المدينَة العظيمة". ويضيف قائلًا: "وفوق ذلك، فإن الإسلام يمكن أن يُعَلِّمَنَا طريقةً للتفاهم والعيش في العالم، الأمر الذي فقدته الديانة المسيحية، ممَّا أَدَّى إلى ضعفها. ويكمن في جوهر الإسلام حفاظُهُ على نظرة متكاملة للكون؛ فالإسلام يرفض الفصل بين الإنسان والطبيعة، والدين والعلم، والعقل والمادَّة، إن هذا الشعور المهمُّ بالوحدانية والوصاية على الطابع القدسي والرُّوحي للعالم من حولنا شيء مهمٌّ يمكن أن نَتَعَلَّمه من جديد من الإسلام".

وعلى المنوال ذاته، يعترف المستشرق الإيطالي فرانسيسكو غابريللي (1904–1996) Francessco Gabrielli، الذي شغل منصب مدير معهد الدراسات الإسلامية في جامعة روما، في كتابه **محمد في أوروبا** (Mohammed in Europa) بأن المسلمين: "قدّموا للحضارة الإنسانية الكثير وخاصة في حوض البحر المتوسط، وأنهم أثروا في كل ميادين الحياة في أوروبا، بل إن إنتاج العرب وأفكارهم وإبداعاتهم الفنية تشهد بأنهم كانوا أساتذة أوروبا". وهذا ليس بالأمر الغريب بما أن الأندلس في ظل الخلافة الأموية كانت من أغنى البلدان الأوروبية وأكثرها ازدحامًا بالسكان، إذ بلغ عدد سكان قرطبة

مليون نسمة، وأصبحت من أعظم مدن العالم، ويكفيها فخرًا أن أهلها كانوا يمشون في شوارعها بعد غروب الشمس في ضوء المصابيح العامة، في حين مدينة لندن سبعة قرون بعد ذلك لا يوجد في طرقاتها مصباح عام واحد يضيء ليلًا.

كما أشاد ذات مرة الرئيس البرتغالي خورخي فرناندو برانكو دي سامبايو Jorge Fernando Branco de Sampaio، الذي امتد حكمه من سنة 1996 إلى 2006، في خطاب له بفضل العرب والمسلمين على تطور جنوب أوروبا جاء فيه: "نحن مدينون للتراث العربي-الإيبيري، الغني جدًا بما كان له من تأثير في لغتنا، وفي أسماء الأماكن، وفي الأعراف والعادات الاجتماعية، وفي العمارة، وفي الفنون والأدب والمخيلة الشعبية، وفي فن الطبخ، وفي الزراعة والتجارة، وهذا أمر نعتز به اليوم، بوعي جديد اكتسبناه بالتغلب على كثير من المخاوف، والحذر، والأحكام المسبقة، وعدم الفهم الذي امتد مئات من السنين".

خلاصة

نشهد في هذه الفترة، من بعض الدوائر المتربصة في الغرب، افتراءات متحيزة ضد العرب والمسلمين، وهذا الأمر ليس بجديد. ومن أجل تحصين أنفسنا علميًا، وجب نشر تراثنا العربي والإسلامي في كتبنا المدرسية وبرامجنا الجامعية، لبثّ الثقة في النفوس، وتدعيم الاعتزاز والفخر بالتراث العربي والإسلامي، ودفع الأجيال من التلاميذ والطلبة إلى المضي قدمًا نحو مستقبل زاهر وحضارة راسخة، كما فعل أجدادنا بالأمس. ولا يتحقق هذا الهدف إلا بالرجوع إلى أهل الاختصاص والاستعانة مؤلفاتهم.

المراجع

[1] أحمد، محمد، إسهامات العرب في النهضة الأوروبية الحديثة، رؤية جديدة، مجلة دراسات تاريخية، العددان 15-16، 2011.

[2] باشا، حسان شمسي، هكذا كانوا يوم كنا: الطب في أوروبا وعند المسلمين، دار المنارة، 1999.

[3] جبار، أحمد، علماء الحضارة العربية الإسلامية ومساهماتهم، كليك للنشر، الجزائر، 2011.

[4] ابن جلجل، أبو داود سليمان، طبقات الأطباء والحكماء، تحقيق فؤاد سيد، المعهد العلمي الفرنسي للآثار الشرقية، القاهرة، 1955.

[5] روبرت، هيلبترايدر، زينة الدنيا قرطبة القروسطية، مركزًا ثقافيًا عالميًا"، ضمن كتاب الحضارة العربية في الأندلس، إشراف وتحرير: سلمى الجيوسي، الجزء 2، مركز دراسات الوحدة العربية، بيروت، 1998.

[6] السامرائي، خليل إبراهيم وآخرون، تاريخ العرب وحضارتهم في الأندلس، دار الكتاب الجديد، بيروت، 2000.

[7] سيديو، لويس، خلاصة تاريخ العرب، ترجمة محمد أحمد عبد الرزاق، مؤسسة هنداوي، 2018.

[8] صاعد الأندلسي، أبو القاسم بن أحمد، طبقات الأمم، المطبعة الكاثوليكية للآباء اليسوعيين، بيروت، 1912.

[9] عاشور، سعيد عبد الفتاح، حضارة ونظم أوروبا في العصور الوسطى، دار النهضة العربية، بيروت، 2000.

[10] العبادي، أحمد مختار، في التاريخ العباسي والأندلسي، دار النهضة العربية، بيروت، 1971.

[11] لوبون، غوستاف، حضارة العرب، ترجمة عادل زعيتر، القاهرة، 1956.

[12] المبارك، هاني وأبو خليل، شوقي، دور الحضارة العربية الإسلامية في النهضة الأوروبية، دار الفكر، دمشق، 1996.

[13] الملا، أحمد علي، أثر العلماء المسلمين في الحضارة الأوروبية، دار الفكر، دمشق، 1981.

[14] هونكه، زيغريد، شمس العرب تسطع على الغرب، ترجمة بيضون فاروق ودسوقي كمال، دار الأفاق الجديدة، بيروت، 1993.

[15] Djebbar, Ahmed, Une histoire de la science arabe, Le Seuil, Paris, 2001.

تعليمية

من أجل تعزيز مكانة الكيمياء في المناهج التعليمية في المدارس العليا بالجزائر (2)

عبد الله لعريبي
أستاذ بالمدرسة العليا للأساتذة بالقبة حاليًا، وبالمدرسة الوطنية المتعددة التقنيات بالحراش سابقًا
dr.abdallah.laribi@gmail.com

مقدمة

بمناسبة انكباب المدارس العليا على إصلاح مناهجها التعليمية، كتب الأستاذ أبو بكر خالد سعد الله، في مطلع شهر جوان المنصرم، مقالًا في جريدة الشروق بعنوان: "الكيمياء... إصلاحها بات ضروريًا" [6].

استهل مقاله بقوله: "تنكبّ هذه الأيام المدارس العليا على إصلاح مناهجها التعليمية. وقد وقَعت هذه المدارس قبل سنة في خطأ جسيم يتمثّل في تقزيم دور الكيمياء أكثر مما كان مقزّمًا. وذلك بإزالة قسم الكيمياء وضمّه إلى قسم الفيزياء تحت مسمى "العلوم الفيزيائية" رغم أنف وصرخات الكيميائيين. وتحجّج القوم عند الإقدام على هذا القرار بكون مرحلة التعليم الثانوي تعرف هذا التوجه حيث أن هناك مادة يدرّسها أستاذ واحد تشمل مادتي الفيزياء والكيمياء تحمل اسم "العلوم الفيزيائية". وفي ذلك ظلم كبير للكيمياء وأهلها ولمستقبل البلاد. فمن المعلوم أن الفيزياء متغلبة عن الكيمياء في هذا المسمى المشترك. والتوجه العام عندنا في الجزائر منذ الاستقلال - ونحن نقلّد في ذلك فرنسا - هو تغليب الفيزياء على الكيمياء في التعليم الثانوي".

ويُعدّ المقال، على قصره، مرافعة علمية لصالح الكيمياء لتأخذ مكانتها اللائقة بها كتخصص قائم بذاته له قسمه الخاص، وليس فرعًا "تحت جناح قسم الفيزياء"! ودعّم الكاتب مرافعته ببيان أن مكمن هذا الخلل راجع إلى اتّباعنا النموذج الفرنسي، الذي يقوم فيه أستاذ واحد بتدريس مادتي الفيزياء والكيمياء في المرحلة الثانوية، رغم أن هذا النموذج ليس شائعًا عالميًا، بل العكس هو الصحيح، حيث تعتمد معظم الدول -خصوصًا في العالم الأنكلوساكسوني، وأوروبا الشرقية، وآسيا وأمريكا اللاتينية- نظامًا يفصل بوضوح بين تدريس الفيزياء والكيمياء، يقضي بتدريس كل تخصص من قِبل أستاذ متخصص.

وقدّم الكاتب، في نهاية مقاله، اقتراحات عملية لتصحيح الوضع الحالي بشكل مرن وتدريجي، بعد مراجعة المناهج بالشكل المعمول به عالميًا، من خلال عملية إعادة الضبط في التكوين والتوظيف بناءً على الحاجيات المستقبلية، ومن دون اللجوء إلى إعادة هيكلة جذرية.

يهدف هذا المقال إلى تدعيم ما ذهب إليه الأستاذ سعد الله، في مقاله السالف الذكر، بتعزيز مكانة الكيمياء في المناهج التعليمية في المدارس العليا بالجزائر، من خلال رؤية تنطلق من صميم تاريخ العلوم وأهمية علم الكيمياء، ببيان لماذا ينبغي النهوض مجددًا بالكيمياء، وإعادة الاعتبار لها، في مناهجنا التعليمية، خاصة في هذا العصر الذي أصبحت فيه العلوم الكيميائية مطلوبة بشكل متزايد لحلّ التحديات الكثيرة في مجالات الصحة والطاقة والبيئة وإنتاج المياه والغذاء، وغيرها من المجالات الحيوية التي تسهم في تحسين جودة الحياة، وكذلك بالنظر إلى المساهمات الإبداعية التي قدّمها علماء الحضارة العربية الإسلامية، ماضيًا وحاضرًا، في هذا العلم.

وعليه تناولنا في الجزء الأول من المقال تعريف الكيمياء لغة واصطلاحًا، مبيّنين الفرق بينها وبين الخيمياء، مع الإشارة إلى أهم فروعها، ثم قدّمنا نبذة عن الكيمياء في الحضارات القديمة، قبل أن ننتقل إلى رصد مسارها في الحضارة

العربية الإسلامية، من خلال التعريف بأربعة من أبرز علماء المسلمين في الكيمياء، وهم: خالد بن يزيد، وجابر بن حيان، والكندي، والرازي. أما فيما يتعلق بانتقال الكيمياء من العرب إلى الغرب وأثر هذا الانتقال في النهضة العلمية الأوروبية، فسيتم تناول ذلك ضمن الجزء الثاني من المقال، إلى جانب عرض موجز للكيمياء الحديثة وتطورها، وتسليط الضوء على شخصية "أبو كيمياء الفيمتو"، وإبراز شهادات من علماء غربيين في حق المساهمات الرائدة لعلماء المسلمين في ماضي علم الكيمياء وحاضره، وصولًا إلى الخاتمة التي تؤكد مكانة هذا العلم في المناهج التعليمية للمدارس العليا في الجزائر.

1. انتقال الكيمياء من العرب إلى الغرب

لم يكن العرب مجرد ناقلين للعلوم القديمة، بل طوّروا علم الكيمياء، وصاغوا قواعده وأسسه، فحوّلوه من خرافات وفلسفات باطنية إلى علم تجريبي قائم على الملاحظة والتجربة. وقد ساهمت حركة الترجمة في طليطلة وصقلية، خلال القرون الثاني عشر والثالث عشر والرابع عشر، حيث ترجم جيرارد الكريموني (ت. 1187م) Gerard of Cremona وَروبرت التشستري (ت. 1144م) Robert of Chester كتب جابر والرازي، في نقل هذه المعرفة إلى أوروبا، فكانت أساس النهضة الأوروبية في العلوم الطبيعية.

وذكر الطبيب والمستشرق الفرنسي لوسيان لوكلرك Lucien Leclerc في كتابه **تاريخ الطب العربي** أن الكتب العربية التي تُرجمت إلى اللاتينية وحدها تزيد على ثلاثمائة كتاب. فترجموا مؤلفات جابر والرازي وابن سينا وابن رشد وأبي القاسم وغيرهم من أكابر علماء الإسلام، وتعلّموا منها فلسفة اليونان وعلوم الأقدمين [3].

ومن بين مشاهير الكيميائيين الأوروبيين الذين أخذوا الكيمياء عن المسلمين في القرون الوسطى نذكر:

- ألبيرت الكبير (ت. 1280م) Albertus Magnus، وهو أول من رفع منار العلم في أوروبا، وفتح لعلماء القرون الوسطى أبواب البحث والجدل على الأسلوب الذي وضعه علماء الإسلام . وقد اشتغل بعلوم ما وراء الطبيعة، وله باع طويل في الطبيعيات والكيمياء. ومن مؤلفاته في ذلك كتاب **الأسرار العجيبة** و**كتاب الأسرار الصغير** وكتاب **الكيمياء**.
- روجر بيكون (1214–1294م) Roger Bacon، الذي تعلم اللغة العربية ليبحر في العلم ويرجع فيه إلى الأصل، كما درس الرياضيات اقتداءً بالعرب الذين اعتبروها آلة لفهم العلوم. ثم أقبل بعد ذلك على الاشتغال بالكيمياء والطبيعيات وإجراء التجارب العديدة فيهما، ونُسبت إليه عدة اكتشافات وآراء. غير أن كثيرًا من المحققين، مثل سيديو Sédillot مؤلف **تاريخ العرب**، وجوستاف لوبون Gustave Le Bon صاحب كتاب **حضارة العرب**، وغيرهما، يرون أن كثيرًا من الاكتشافات والآراء قد وُجدت من قبل في كتب العرب، وأن الإفرنج أخذوها عنهم ونسبوها لأنفسهم أو نُسبت إليهم [3].

ومن الشواهد البارزة على تأثير الكيمياء العربية في أوروبا أن العديد من المصطلحات الكيميائية التي استعملها العلماء المسلمون ما تزال حاضرة في اللغات الأوروبية حتى اليوم، بعد أن انتقلت مع الترجمة اللاتينية للكتب العربية في القرون الوسطى، ولا سيما عبر الأندلس وصقلية. ومن أبرز هذه المصطلحات: الإكسير (Alixir)، الخيمياء (Alchemy)، الأنبيق (Alembic)، الكحول (Alcohol)، القلوي (Alkali)، الزعفران (Saffron)، الكافور (Camphor)، العنبر (Amber)، العطر (Attar)، الكبريت (Kibrit)، الزرنيخ (Arsenic)، النطرون (Natron)، التوتياء (Tutty)، الزنجفر (Cinnabar)، السكر (Sugar)، المعجون (Majoon)، الصابون (Sapon) ، الملغم (Amalgam)، القيراط (Carat)، وغيرها.

2. الكيمياء الحديثة وتطورها

مع بداية القرن السابع عشر شهدت الكيمياء تحوّلًا جذريًا من الخيمياء إلى علم تجريبي قائم على المنهج العلمي. وكان من أبرز روّاد هذا التحول روبرت بويل (1627–1691) Robert Boyle الذي انتقد نظرية العناصر الأربعة وأكّد أهمية الملاحظة والتجربة في تحليل المادة، كما قدّم تعريفًا مبكرًا للعنصر باعتباره مادة لا يمكن تحليلها إلى أبسط منها بالطرق كيميائية المعروفة آنذاك [12].

وفي القرن الثامن عشر أحدث أنطوان لافوازييه (1743–1794) Antoine Lavoisier ثورة علمية بإثباته قانون حفظ الكتلة، الذي ينص على أن الكتلة لا تفنى ولا تُستحدث أثناء التفاعلات الكيميائية. كما أعاد تعريف مفهوم العنصر، واستبعد نظرية الفلوجستون (phlogiston theory)، الأمر الذي ساعد بوضوح على تأسيس الكيمياء الحديثة [10]، [11].

وخلال أواخر القرن الثامن عشر وبداية القرن التاسع عشر وضع الكيميائي الإنكليزي جون دالتون (1766–1844) John Dalton نظرية ذرية مفصلية للمادة، اقترح فيها أن الذرات هي الوحدات البنائية الأساسية للمادة، وأن ذرات كل عنصر متماثلة في الكتلة والخصائص، وأن المركبات الكيميائية تتكوّن بنسب ثابتة. وبعد نحو ستة عقود جاء الكيميائي الروسي ديميتري مندلييف (1834–1907) Dmitri Mendeleev ليضع النسخة الأولى من الجدول الدوري الحديث، حيث رتّب العناصر حسب الكتلة الذرية، وترك مساحات فارغة لعناصر لم تُكتشف بعد، متنبئًا بخصائصها [11].

ومع تعمّق التكامل بين الكيمياء وعلوم أخرى مثل الفيزياء الحيوية وعلم الأحياء الجزيئي ظهرت مجالات جديدة مثل الكيمياء الحيوية والكيمياء النانوية، مما أتاح للعلماء التحكم في الجزيئات على مستوى ذري، وفتح آفاقًا واسعة للتطبيقات الصناعية والطبية المتقدمة [12].

ومنذ منتصف القرن العشرين، خاصةً بعد الحرب العالمية الثانية، شهدت الكيمياء الحيوية تطورًا هائلًا، فبرزت كفرع مستقل يهتم بدراسة العمليات الكيميائية داخل الكائنات الحية، مثل التنفس والتخمر والبناء الضوئي ودورة كريبس. وقد أدّت تقنيات مثل تفاعل البوليميراز المتسلسل (PCR)، ومطيافية الرنين المغناطيسي النووي، والأشعة السينية، والمجهر الإلكتروني إلى فهمٍ أعمق للعمليات الأيضية، مما ساهم في تطوير اللقاحات والأدوية والهندسة الوراثية في مجالي الطب والزراعة [7].

وبالتوازي نشأت الكيمياء الخضراء كاستجابة للتحديات البيئية، إذ تهدف إلى تصميم عمليات كيميائية آمنة قليلة النفايات وصديقة للبيئة، من خلال استخدام محفّزات نظيفة، ومذيبات غير سامة، ومواد أولية قابلة للتجديد. وقد أصبحت هذه المبادئ جزءًا من سياسات الاستدامة في الصناعات الكيميائية [9].

كما برزت الكيمياء النانوية التي تدرس المادة على مستوى النانومتر، وفتحت آفاقًا ثورية في الطب، مثل توصيل الأدوية الذكي، وفي الإلكترونيات الدقيقة، وتخزين الطاقة، وتطوير مواد فائقة الخصائص، مثل الأنابيب النانوية والغرافين.

ومع التحوّل الرقمي المتسارع، شهد علم الكيمياء اندماجًا وثيقًا مع تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلّم الآلي والنمذجة الحاسوبية، مما مكّن الباحثين من تسريع تصميم الجزيئات والمواد الجديدة بدقة أعلى وكفاءة أفضل، مقارنة بالطرق التقليدية. وتركّز الجهود العلمية المعاصرة على تطوير مصادر طاقة نظيفة، تشمل الخلايا الشمسية المحسّنة، وبطاريات الليثيوم عالية الأداء، وتقنيات إنتاج الهيدروجين الأخضر باستخدام التمثيل الضوئي الاصطناعي، ضمن توجه عالمي نحو التحول الطاقوي والتنمية المستدامة.

ومع هذه التطورات الهائلة في علم الكيمياء، الذي توسع أفقيًا وعموديًا منذ القرن السابع عشر إلى اليوم، قد يسأل سائل: هل ساهم علماء العرب والمسلمين في هذا التطور الكبير لعلم الكيمياء؟ وهل تركوا بصماتهم فيه؟ وما هي

إنجازاتهم؟ هذا ما سنحاول الإجابة عنه من خلال تسليط الضوء على عالم عربي مسلم سجّل اسمه بأحرف من ذهب في قائمة الحائزين على جائزة نوبل في الكيمياء.

3. أحمد زويل.. أبو كيمياء الفيمتو

أحمد حسن زويل، عالم كيمياء مصري، من أبرز العلماء العرب في العصر الحديث، حاصل على جائزة نوبل في الكيمياء لعام 1999. ويُعدُّ رائد علم كيمياء الفيمتو، ولُقّب بأبي كيمياء الفيمتو (Femtochemistry)، وهو فرع من الكيمياء الفيزيائية يهتم بدراسة التفاعلات الكيميائية في مجال زمني ضيق جدًا، في حدود فيمتوثانية (Femtosecond)، وهو ما يعادل 10^{-15}جزءًا من الثانية.

1.3. ميلاده ونشأته

وُلِد أحمد زويل في 26 فبراير سنة 1946 في مدينة دمنهور بمصر. تلقى تعليمه الأوّلي في المدينة نفسها، ثم انتقل مع الأسرة إلى مدينة دسوق حيث أتمّ تعليمه حتى المرحلة الثانوية. وفي سنة 1963 التحق بكلية العلوم بجامعة الإسكندرية، وحصل على بكالوريوس العلوم من قسم الكيمياء سنة 1967، ثم نال بعد ذلك شهادة الماجستير من الجامعة نفسها.

عمل زويل متدربًا في شركة "شل" في الإسكندرية، وأكمل دراساته العليا بعد ذلك في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث نال درجة الدكتوراه من جامعة بنسلفانيا. ثم انتقل إلى جامعة بركلي بولاية كاليفورنيا، وانضم إلى فريق الأبحاث هناك. وفي سنة 1976 عُيّن زويل في معهد كاليفورنيا التقني أستاذًا مساعدًا في الكيمياء الفيزيائية. وفي سنة 1982 تولى منصب أستاذ أول للكيمياء في معهد لينوس باولينج [2].

2.3. أبرز إنجازاته العلمية

نشر أحمد زويل أكثر من 350 بحثًا علميًا في المجلات العلمية العالمية المتخصصة، مثل مجلة ساينس ومجلة نيتشر. ومن أبرز إنجازاته اختراعه كاميرا بالغة السرعة تعمل باستخدام الليزر، تتيح رصد حركة الجزيئات عند نشوئها وعند التحام بعضها ببعض. والوحدة الزمنية التي تُلتقط فيها الصورة هي الفيمتوثانية، أي جزء من مليون مليار جزء من الثانية.

وقد عبّر زويل عن أهمية هذا الابتكار بقوله: "وترتّب على ذلك ميلاد علوم جديدة، مثل الفيمتوكيمياء والفيمتوبيولوجيا، وتولّدت حينها قناعة بأن عالم الفيمتوثانية (...) سيقود إلى اكتشافات وتطورات علمية وتكنولوجية تساهم في التحكم في المادة وقياس الزمن" [4].

كما يُعلِّق على اكتشافه بالقول: "هذا الاكتشاف أسهم في تطوير دراسات الهندسة الوراثية والعلوم الطبية... ولا يزال المركز القومي لعلوم الليزر والجزيئات بالولايات المتحدة الأمريكية يجري أبحاثًا على النظام العصبي والبروتين والعيون وأساسيات الخلية، التي يطلق عليها DNA، لتطبيق هذا الفتح العلمي" [1]، [5].

وقد أعلنت الأكاديمية السويدية الملكية للعلوم أن تكريم أحمد زويل جاء تقديرًا للثورة التي أحدثها في العلوم الكيميائية من خلال أبحاثه الرائدة في دراسة التفاعلات الكيميائية باستخدام أشعة الليزر. فقد مهّدت أعماله لولادة ما يُعرف بكيمياء الفيمتوثانية، القائم على استخدام تقنيات تصوير بالغة السرعة لرصد التفاعلات الكيميائية في أزمنة تُقاس بوحدة الفيمتوثانية.

3.3. الجوائز والتكريمات

نال أحمد زويل العديد من الجوائز والتكريمات من جهات علمية مرموقة حول العالم، من أبرزها:

- جائزة هومبولت من ألمانيا الغربية، وهي أرفع جائزة علمية تُمنح هناك.

- جائزة باك وتيني من نيويورك.
- جائزة الملك فيصل في العلوم والفيزياء عام 1989.
- جائزة بنجامين فرانكلين عام 1998 عن أبحاثه في دراسة التفاعلات الكيميائية التي تحدث في زمن متناهٍ في الصغر، أي في حدود الفيمتوثانية.
- **جائزة نوبل في الكيمياء** عام 1999، تتويجًا لاكتشافه الرائد في مجال كيمياء الفيمتو.
- الميدالية القومية للعلوم الأمريكية، وقد سلّمها له الرئيس الأمريكي بيل كلينتون ليكون أول عربي يحصل على هذه الجائزة.
- انتخبته الأكاديمية البابوية، ليصبح عضوًا بها كأول عربي مصري ينضم إلى عضويتها ويحصل على وسامها الذهبي عام 2000.
- جائزة وزارة الطاقة الأمريكية السنوية في الكيمياء.
- الميدالية الذهبية لبول كارير في مجال الكيمياء من جامعة زيورخ، وهي أرفع جائزة علمية سويسرية.
- عضوية الأكاديمية الأمريكية للعلوم، حيث انتُخب بالإجماع عضوًا في سن الثالثة والأربعين، رغم أن العضوية عادة ما تُمنح لمن تجاوزوا الخامسة والخمسين، وذلك نظرًا لتفرّده العلمي.
- إدراج اسمه في قائمة الشرف الوطنية الأمريكية، ضمن أبرز الشخصيات التي ساهمت في النهضة الأمريكية، وجاء اسمه رقم 9 من بين 29 شخصية بارزة باعتباره أهم علماء الليزر في الولايات المتحدة (تضم هذه القائمة ألبرت أينشتاين، وألكسندر غراهام بيل).
- كرّمته الدولة المصرية بعدة جوائز وطنية، وأُطلق اسمه على عدد من الشوارع والميادين [2]، [5].

4.3. مؤلفاته

ألّف أحمد زويل عددًا من الكتب باللغتين العربية والإنكليزية، نذكر منها:

- عصر العلم (2005).
- الزمن (2007).
- حوار الحضارات (2007).
- رحلة عبر الزمن: الطريق إلى نوبل (2009).
- The Chemical Bond: Structure and Dynamics (1992)
- Femtochemistry: Ultrafast Dynamics of the Chemical Bond (1994)
- Physical Biology: From Atoms to Medicine (2008)
- 4D Electron Microscopy (2009)

5.3. وفاته

توفي أحمد زويل في الولايات المتحدة الأمريكية يوم 2 أغسطس 2016، بعد صراع مع المرض، عن عمر ناهز السبعين عامًا. ودُفن في مصر تنفيذًا لوصيته، وأقيمت له جنازة عسكرية في 7 أغسطس، حضرها رئيس جمهورية مصر العربية.

4. شهادات إنصاف وعرفان

أشاد العديد من العلماء الغربيين المنصفين بالمساهمات النوعية التي قدّمها العلماء المسلمون في مجال الكيمياء خلال العصر الذهبي للحضارة العربية الإسلامية، أو في عصرنا الحالي.

يقول غوستاف لوبون في كتابه **حضارة العرب**: "إن العرب وصلوا إلى مستوى رفيع من علم الكيمياء، وإن كانت هناك شرذمة من المؤرخين يرون أن لافوازييه هو واضع علم الكيمياء، فقد نسوا ما قام به علماء العرب من تجهيز للمختبرات من أدوات وغيرها، وما وصلوا إليه من اكتشافات، لولاها ما استطاع لافوازييه أن ينتهي إلى اكتشافاته المرموقة" [8].

كما يقول جورج سارتون George Sarton في كتابه **مقدمة في تاريخ العلوم**: "عندما بدأ علماء العرب يشكّكون في النظريات الكيميائية التي ورثوها من الحضارات الأخرى، وذلك من خلال إجراء التجارب العلمية عليها، نجد أنهم بحق قد وصلوا إلى مستوى علمي رفيع في التفكير الكيميائي" [8].

يقول مارسيلان بيرتيلو Marcellin Berthelot في كتابه **الكيمياء في القرون الوسطى**: "إن لجابر في الكيمياء ما لأرسطو من قبله في المنطق، وإن كل الباحثين في هذا العلم الذين جاءوا من بعده عالة عليه نقلًا وتعليقًا" [8].

وقال بنجت نوردن، رئيس لجنة جائزة نوبل للكيمياء في الأكاديمية السويدية للعلوم، بمناسبة منح الجائزة لأحمد زويل: "إن استخدام أحمد زويل لتقنية الليزر فائقة السرعة (فيمتوسكوب) يمكن وضعه في سياقه التاريخي جنبًا إلى جنب مع استخدام جاليليو للتلسكوب، والذي صوّبه شطر كل شيء مضى في القبة السماوية الزرقاء، أما أحمد زويل فقد صوّب ليزر الفيمتو ثانية على كل ما يتحرك في عالم الجزيئات. لقد انتقل أحمد زويل بتلسكوبه هذا إلى آفاق العلم" [4].

خاتمة

يتبيّن مما سبق أن علماء الحضارة العربية الإسلامية لم يكونوا مجرد ناقلين للعلوم القديمة، بل طوّروا علم الكيمياء وصاغوا قواعده وأسسه بفضل تأسيسهم للمنهج العلمي التجريبي، فحوّلوه من خرافات وفلسفات باطنية إلى علم تجريبي قائم على الملاحظة والتجربة.

وبفضل ترجمة أغلب مؤلفات الكيميائيين المسلمين إلى اللغة اللاتينية، أصبحت أساسًا لعلم الكيمياء في الغرب حتى نهاية القرن الثامن عشر الميلادي. وقد حظيت باهتمام بالغ في أوروبا، فنالت شهرة واسعة، وكان لها أبلغ الأثر في إحياء علوم الكيمياء في الغرب.

وعلى درب "أبو الكيمياء" جابر بن حيان، أسّس أحمد زويل علمًا جديدًا هو "كيمياء الفيمتو" الذي مهّد الطريق إلى اكتشافات وتطورات علمية وتكنولوجية تسهم في ترويض المادة وقياس الزمن. وقد نال جائزة نوبل في الكيمياء، ولُقِب بحق بـ "أبو كيمياء الفيمتو".

وانطلاقًا من هذا، بات من الضروري تعزيز مكانة الكيمياء في مناهجنا التعليمية، من خلال فصلها عن الفيزياء وتدريسها على يد أساتذة متخصصين منذ المرحلة الثانوية، كما هو معمول به في معظم دول العالم، حتى يزداد اهتمام طلابنا بهذا العلم ويبدعوا فيه، كما أبدع فيه السلف والخلف، في هذا العصر الذي أصبحت فيه العلوم الكيميائية مطلوبة بشكل متزايد لمواجهة تحديات كثيرة في مجالات الصحة والطاقة والبيئة وإنتاج المياه والغذاء وغيرها من المجالات الحيوية التي تسهم في تحسين جودة الحياة، وتزيد في قوة بلدنا الحبيب.

رابط الجزء الأول من المقال: https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n16/article16-10.pdf

مراجع

[1] الحديدي، هشام، زويل أمير الكيمياء، الدار المصرية اللبنانية، القاهرة، 2000.

[2] خاطر، محمد إبراهيم، الإسلام والنهضة العلمية، دار ابن الجوزي، القاهرة، 1433هـ/ 2012م.

[3] الخالدي، روحي، الكيمياء عند العرب، مؤسسة هنداوي للتعليم والثقافة، القاهرة، 2014.

[4] زويل، أحمد، عصر العلم، دار الشروق، القاهرة، 2007.

[5] السرجاني، راغب، العلم وبناء الأمم، مؤسسة اقرأ للنشر والتوزيع والترجمة، القاهرة، 1428هـ/2007م.

[6] سعد الله، أبو بكر خالد، الكيمياء... إصلاحها بات ضروريا، جريدة الشروق، 2025/06/03.
https://shorturl.at/F6b01

[7] لورتش، مارك، الكيمياء الحيوية: مقدمة قصيرة جدًّا، ترجمة إبراهيم سند أحمد، مؤسسة هنداوي، القاهرة، 2023.

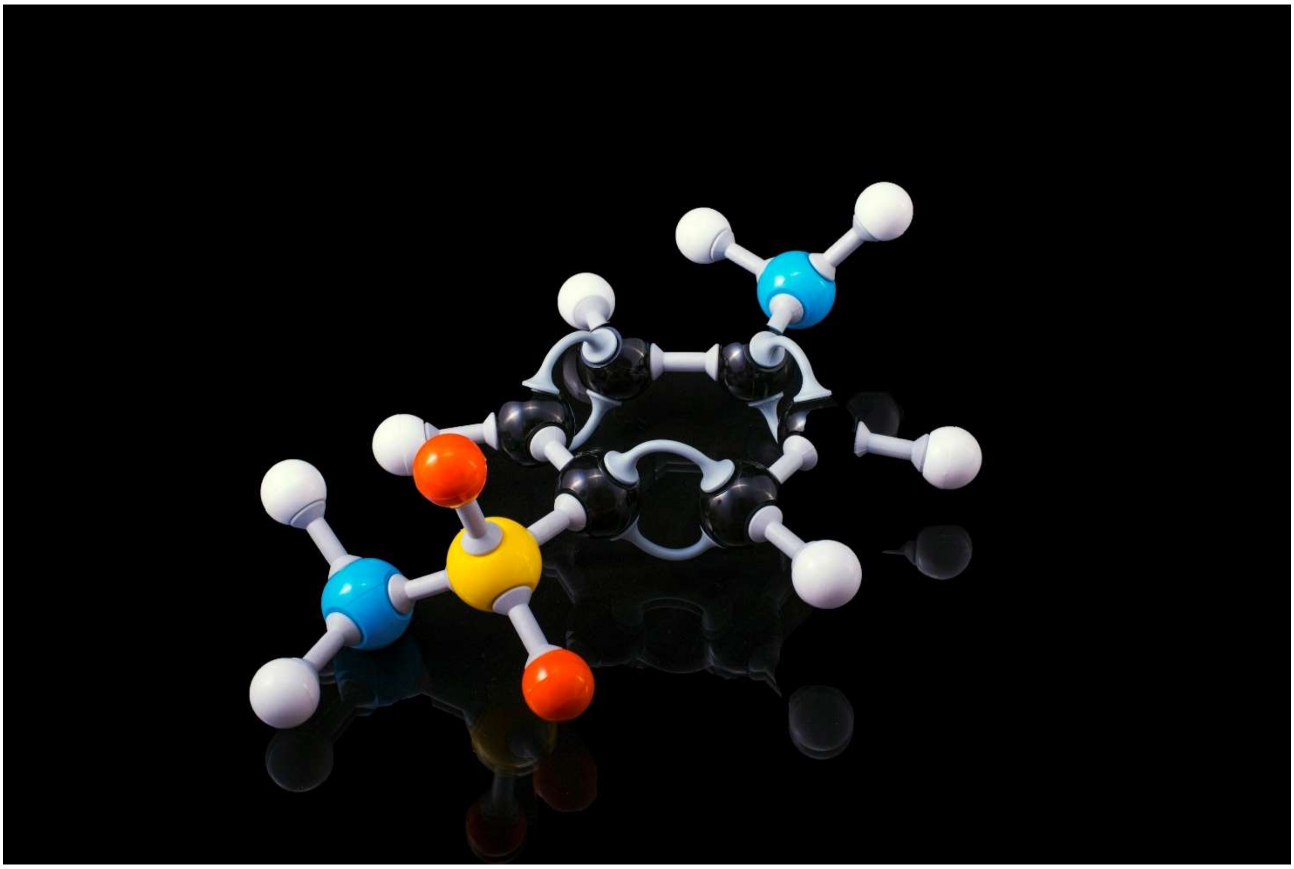
[8] نبهان، خالد علي، الكيمياء عند العرب والحضارات القديمة، مكتبة النافذة، مصر، 2011.

[9] Anastas, Paul T. & Warner, John C., Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press,1998 .

[10] Asimov, Isaac, A Short History of Chemistry, Anchor Books, Doubleday & Company, 1965.

[11] Baudet, Jean C., Histoire de la chimie, De Boeck Supérieur, 2017.

[12] Cobb, Cathy & Goldwhite, Harold, Creations of Fire: Chemistry's Lively History from Alchemy to the Atomic Age, Plenum Press, 1995.



ملاحظات حول بعض الأخطاء في مواضيع امتحانات العلوم الفيزيائية والرياضيات دورة جوان 2025 للبكالوريا وشهادة التعليم المتوسط

عبد العزيز برّاح
أستاذ متقاعد، بقسم الفيزياء، المدرسة العليا للأساتذة، القبة
abdelaziz.berrah@g.ens-kouba.dz

1. مقدمة

يتميز نظامنا التربوي، خاصة في الطورين المتوسط والثانوي، بتطبيق نظام تقويمي تقليدي مخالف لمبدأ المقاربة بالكفاءات الذي أُسّست عليه مناهج كل الأطوار. عمليًا، يُمثّل امتحان البكالوريا القالب والنموذج الذي يُعطي طبيعة النشاطات التعلّمية في القسم وأساليب التقويم المطبقة، والتي تشبه ما هو مطلوب في امتحان الباكالوريا. أصبح التدريب على حل المواضيع السابقة وحفظها يُمثلان أغلبية النشاطات التعلمية والتقويمية في الأقسام وخارجها.

رغم تطبيق بعض الإصلاحات على مناهج الطورين الابتدائي والمتوسط سنة 2015، بإدخال حصص تعلّم الإدماج وطرح وضعية إدماجية في التقويم، بقيت الأمور على حالها. وبما أن مناهج الثانوي الصادرة سنة 2005 بقيت جامدة تقريبًا دون تغيير جذري، واصل التقويم في الثانوي على حالته القديمة أو أسوأ، كما حدث في امتحان العلوم الفيزيائية لشعبة الرياضيات والتقني رياضي، وفي الوضعية الإدماجية لموضوع الرياضيات لشهادة التعليم المتوسط.

نحاول في هذا المقال تسليط الضوء على بعض الأخطاء خاصة حول سوء استعمال الأشكال والمنحنيات في نصوص الامتحانات.

2. ملاحظات حول التمرين الأول من الموضوع الثاني لمادة العلوم الفيزيائية-باكالوريا دورة 2025 شعبة ر. وَت.ر.

1.2. ملخص لأهم النقائص والأخطاء في النص والحل

- **خطأ في تدريجات المنحنى (الشكل 2)**: إنه سبب باقي الأخطاء لأن أغلبية الأسئلة، مثل تحديد التسارع في B وتحديد مراحل الحركة، تعتمد على المنحنى. فالأجوبة في "التصحيح النموذجي" خاطئة.
- **غياب أسئلة حول المقادير الأساسية لهذا النوع من الحركة**: يتميز هذا النوع من الحركة بمقدارين أساسيين يميّزانها، وهما الثابت الزمني τ الذي يسمح بتحديد مراحل الحركة، وعبارة السرعة في الحالتين: بدون سرعة ابتدائية وبسرعة ابتدائية، أي $v(t) = v_{lim}(1 - e^{-t/\tau})$ الواردة في المنهاج، وَ $v(t) = v_{lim}(1 - e^{-(t-t_0)/\tau})$ الخارجة عن المنهاج، والتي هي ممثلة في المنحنى.

نص التمرين وحله "النموذجي" الرسمي

الموضوع الثاني

يحتوي الموضوع على (05) صفحات (من الصفحة 6 من 10 إلى الصفحة 10 من 10)

الجزء الأول: (14 نقطة)

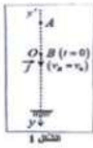
التمرين الأول: (04 نقاط)

يهدف هذا التمرين إلى دراسة حركة السقوط الشاقولي لكرة في الهواء.

نترك كرة كتلتها $m = 58g$ تسقط شاقوليا في الهواء دون سرعة من موضع A لتمر بموضع B وتواصل حركتها نحو سطح الأرض (الشكل 1).

تُدرس حركة G مركز عطالة الكرة في معلم $(O,\vec{j})$ مرتبط بمرجع سطحي أرضي.

نعتبر مبدأ الأزمنة $t=0$ لحظة مرور G بالموضع B مبدأ الفواصل O.



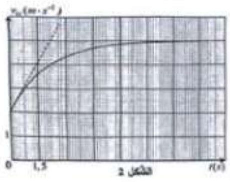
الشكل 1

معطيات:
- تُهمل دافعة أرخميدس؛
- شدة حقل الجاذبية الأرضية: $g = 9{,}8\ m\cdot s^{-2}$.

1. اذكر نص القانون الثاني لنيوتن.
2. بتطبيق القانون الثاني لنيوتن وباعتبار شدة قوة الاحتكاك تتناسب طردا مع v_y سرعة مركز عطالة الكرة $f = k\,v_y$ حيث k معامل الاحتكاك.

بيّن أن المعادلة التفاضلية لتطور السرعة $v_y(t)$ تكتب وفق العبارة: $\frac{dv_y(t)}{dt} = -\frac{k}{m}v_y(t) + g$

3. استنتج من المعادلة التفاضلية عبارة كل من التسارع الابتدائي a_0 في اللحظة $t=0$ و v_{lim} السرعة الحدية.
4. بواسطة التكنولوجيات الرقمية تم الحصول على المنحنى البياني لتطور سرعة مركز عطالة الكرة بدلالة الزمن $v_y = h(t)$ (الشكل 2).



الشكل 2

اعتمادا على المنحنى البياني:

4.1. حدد مرحلتي الحركة وطبيعة حركة مركز عطالة الكرة في كل مرحلة.

4.2. جد قيمة كل من v_0 سرعة مركز عطالة الكرة لحظة مرورها بالموضع B والسرعة الحدية v_{lim} والتسارع a_0.

5. اذكر المقدار من بين المقادير المحسوبة في السؤال 2.4 الذي تتغير قيمته مقارنة بالسقوط دون سرعة ابتدائية.

عناصر الإجابة (الموضوع الثاني)	العلامة مجزأة	العلامة مجموع
التمرين الأول: (04 نقاط) 1. نص القانون الثاني لنيوتن: "في مرجع غاليلي، المجموع الشعاعي للقوى الخارجية المؤثرة على جملة ميكانيكية يساوي في كل لحظة جداء كتلة الجملة في شعاع تسارع مركز عطالتها".	0,50	0,50
2. المعادلة التفاضلية لتطور السرعة: بتطبيق القانون الثاني لنيوتن على مركز عطالة الكرة في مرجع السطحي الأرضي نعتبره غاليليا. $\sum \vec{F}_{ext} = m\vec{a}_G$ ، $\vec{P} + \vec{f} = m\vec{a}_G$ بالإسقاط على محور الحركة نجد: $P - f = ma_y$ ، $mg - kv_y = m\frac{dv_y}{dt}$ ومنه: $\frac{dv_y}{dt} = -\frac{k}{m}v_y + g$	0,25 / 0,25 / 0,25 / 0,25	1,00
3. استنتاج عبارة التسارع a_0: في اللحظة $t=0$: $v_y = v_0$ و $a_0 = \frac{dv_y}{dt}$ ومنه: $a_0 = -\frac{k}{m}v_0 + g$ - استنتاج عبارة السرعة الحدية: في النظام الدائم $v_y = v_{lim}$ و $\frac{dv_y}{dt} = 0$ ومنه: $v_{lim} = \frac{mg}{k}$	0,25 / 0,25	0,50
4. بالاعتماد على المنحنى البياني: 4.1. تحديد مرحلتي الحركة وطبيعة حركة مركز عطالة الكرة في كل مرحلة: - المرحلة الأولى (النظام الانتقالي): $0 \le t \le 9s$ ... لمنحنى السرعة ... فالحركة مستقيمة متسارعة. - المرحلة الثانية (النظام الدائم): $9s \le t \le 12s$ والسرعة ثابتة فالحركة مستقيمة منتظمة.	2×0,25 / 2×0,25	1,75
4.2. إيجاد قيمة كل من v_0 و v_{lim} و a_0: - في اللحظة $t=0$: $v_0 = 2m\cdot s^{-1}$ - في النظام الدائم: $v_{lim} = 5m\cdot s^{-1}$ - في اللحظة $t=0$: $a_0 = \frac{dv}{dt} = \frac{2-4{,}1}{0-1{,}5} = 1{,}4m\cdot s^{-2}$ ملاحظة: تقبل الإجابة باستخدام المعادلة التفاضلية بغض النظر عن النتيجة.	0,25 / 0,25 / 0,25	
5. المقدار الفيزيائي الذي تتغير قيمته مقارنة بالسقوط الحر بدون سرعة ابتدائية: $a_0 = -\frac{k}{m}v_0 + g$ و $v_{lim} = \frac{mg}{k}$ ومنه التسارع الابتدائي a_0 تتغير قيمته ($a_0 = g = 9{,}8m\cdot s^{-2}$)	0,25	0,25

- **شكل ومعطيات مبهمة وناقصة تؤدي إلى تناقضات في النتائج أو عدم و اقعية الحالة المدروسة:** حسب النص، تبدأ الحركة المدروسة من A لتمر بـ B وتواصل حركتها التي تنتهي عند سطح الأرض. وحسب الحل، عند تعيين مراحل الحركة فإنها تبدأ من B وليس من A. يُمثّل المنحنى جزءًا من منحنى $v(t)$ للحركة، مع غياب الجزء من A إلى B. يسمح المنحنى (إذا كان صحيحًا) بتحديد المرحلة الانتقالية والنظام الدائم دون الاعتماد على τ، ويسمح أيضًا بتحديد قيم تقريبية للمسافات المقطوعة في كل مرحلة دون اللجوء إلى تكامل الدالة $v(t)$ الغائبة في النص والحل. سنوضح فيما يلي أن المنحنى خاطئ، والنتائج المستنتجة منه حول المرحلتين خاطئة، وأن المسافات المقطوعة غير واقعية وتتناقض مع الشكل 1.
- **التناقضات حول عبارة وقيمة التسارع $a(0)$ في B:** المطلوب في السؤال 3 هو عبارة $a(0)$ دون حساب قيمتها العددية. أما في السؤال 2.4 فالمطلوب حساب قيمة $a(0)$ من المنحنى، رغم إمكانية وجود القيمة من العبارة السابقة. ويظهر التناقض عند وجود القيمتين ومقارنتهما: $5.88\ m/s^2$ من العبارة و $1.4\ m/s^2$ من المنحنى (حسب التصحيح)، وهي قيمة خاطئة بسبب خطأ في تدريجات محور الزمن للمنحنى $v(t)$. نحن أمام حالة غريبة، ويبدو أن التصحيح "عالجها" بالعبارة المدهشة التالية:

> ملاحظة: تقبل الإجابة باستخدام المعادلة التفاضلية بغض النظر عن النتيجة

- **السؤال 5 مبهم وناقص للغاية لأنه يُطلب فيه "ذكر مقادير" دون تعليل، مع غياب مقارنة المقادير الأساسية للحركة:** نلاحظ تجاهل المقادير الأساسية، مثل الثابت الزمني والسرعة والتسارع والقوى المطبقة في نقطة كيفية.

> 5. اذكر المقدار من بين المقادير المحسوبة في السؤال 2.4 الذي تتغير قيمته مقارنة بالسقوط دون سرعة ابتدائية

2.2. التصحيحات المقترحة وملاحظات

1.2.2. قيمة الثابت الزمني

من المعادلة $dv_G/dt + (k/m)v_G(t) = g$، وبتحليل الأبعاد نستنتج أن المقدار $m/k = \tau$ له بعد الزمن، ويُمثل الثابت الزمني للحركة، ولا يتعلق باختيار مبدأ دراسة الحركة. يمكن إيجاد قيمته في مرحلة النظام الدائم حيث يكون التسارع منعدمًا والسرعة ثابتة وتساوي $v_{lim} = \tau g = 5m/s$ ومنه $\tau = 5/9.8m/s = 0.51s$. إنه مقدار أساسي وسهل التحديد. تسمح معرفة هذه القيمة باكتشاف أن شكل المنحنى خاطئ. لماذا؟ من الخصائص المفصّلة والمركّز عليها في الدروس والكتاب المدرسي أن مدة النظام الانتقالي للحركة تساوي تقريبا 5τ، أي $2.55s$ وليس $9s$ كما يوضحه المنحنى. نتج هذا الاختلاف عن خطأ في تدرجات محور الزمن للمنحنى، حيث عوضًا عن $1.5s$ لكل تدريجة يجب إعطاء قيمة $0.36s$ لكل تدريجة، كما سنوضحه لاحقًا.

2.2.2. المقادير الأساسية لمقارنة عبارة الدالتين $v(t)$ و $a(t)$ دون تغيير مبدأ الأزمنة ثم بتغييره

لإجراء مقارنة كاملة بين الحالتين يجب تحديد عبارات المقادير التالية: $v(t)$ و $a(t)$ في حالة $v(0) = 0m/s$، و $v(t)$ و $a(t)$ في حالة $v(0) \neq 0m/s$، وهذه الحالة المركّز عليها في التمرين هي خارج المنهاج لأن حل المعادلة التفاضلية وتطبيق الشروط الابتدائية صعب بالنسبة للتلاميذ، عكس الحالة الأولى. يؤدي اختيار مبدأ الأزمنة لحظة مرور الكرة في B إلى ارتكاب أخطاء في التصحيح عند دراسة مراحل الحركة، وخاصة بداية المرحلة الأولى التي تبدأ لحظة ترك الكرة في A، وليس عند مرورها في B.

✓ **مبدأ الأزمنة لحظة ترك الكرة في A**

القانون الثاني لنيوتن لا يتعلق بمبدأ الحركة، وتبقى المعادلة التفاضلية على نفس الشكل أي:

$$dv_G/dt + (k/m)v_G(t) = g.$$

وحلّها بتطبيق الشروط الخاصة والابتدائية من الشكل: $v(t) = v_{lim}(1 - e^{-t/\tau})$، حيث $\tau = k/m$ يُمثل المقدار المميز للحركة، وهو الغائب في نص التمرين والأسئلة، و v_{lim} يُمثل حلًا خاصًا للمعادلة، يوافق تسارعًا منعدمًا، ويُمثل سرعة الكرة في النظام الدائم، ولا يتعلق بمبدأ الأزمنة. يمكن كتابة عبارة السرعة: $v(t) = 5(1 - e^{-t/0.51})$ بالوحدات الدولية للمقادير وعبارة التسارع $a(t) = (\tau.g/\tau).e^{-t/\tau} = g.e^{-t/\tau} = 9.8\,e^{-t/0.51}$ بالوحدات SI.

نتأكد أنه في اللحظة الابتدائية $v(0) = 0m/s$ وأن التسارع $a(0) = g = 9.8\,m/s^2$. ويمكن تحديد قيمة t_B، لحظة مرور الكرة بـ B، من العلاقتين؛ حيث حسب المنحنى $v_B = 2m/s$ أي $2 = 5(1 - e^{-t_B/0.51})$ بالوحدات الدولية. نستنتج أن $e^{-t_B/0.51} = 0.6$ (بدون وحدة). ومنه لحظة مرور الكرة بـ B تساوي $t_B = 0.26s$، وقيمة التسارع عند B تساوي بالوحدات الدولية

$$a_B = 9.8\,e^{-t_B/0.51} = 9.8\,e^{-0.26/0.51} = 5.88m/s^2$$

وليس $1.4\,m/s^2$ كما جاء في الحل، حيث حُسب من المنحنى كميل للمماس المرسوم في النقطة الموافقة للموضع B. السرعة والتسارع في أيّ نقطة لا يتعلقان بمبدأ الأزمنة.

✓ **مبدأ الأزمنة لحظة ترك الكرة في B**

يمكن استنتاج عبارة $v(t)$ من العلاقة السابقة للسرعة بتعويض t بـ $(t - t_B)$، حيث $t_B = 0.26s$. وعليه تأخذ معادلة السرعة، في الوحدات الدولية SI، الشكل التالي:

$$v(t) = v_{lim}(1 - e^{-(t-t_0)/\tau}) = v_{lim}(1 - e^{0.26/\tau}\,e^{-t/\tau}) = 5(1 - C\,e^{-t/\tau})$$
$$= 5(1 - 0.6e^{-t/0.51})$$

حيث الثابت $C = 2/5 = 0.6 = e^{-0.26/0.51}$ يُحدّد بتطبيق الشروط الابتدائية في الوضع B أي

$$v(0) = 2m/s^2.$$

بالطبع، نتأكد بعد اختيار مبدأ الأزمنة، لحظة المرور بـ B، أن المعادلة $v(t) = 5(1 - 0.6e^{-t/0.51})$ تسمح بوجود لحظة بداية الحركة، أي اللحظة التي تكون فيها السرعة منعدمة، أي $v_A = 0 = 5(1 - 0.6e^{-t_A/0.51})$ بالوحدات الدولية، أي $t_A = -0.26s$ هي لحظة بداية الحركة وليست 0 كما جاء في التصحيح. أما عبارة التسارع $a(t)$ فإنها في النظام SI من الشكل $a(t) = (v_{lim}/\tau)\, Ce^{-t/\tau} = 5.88\, e^{-t/\tau}$ حيث $5.88m/s^2$ تُمثل شدة التسارع في الوضعية B. ويمكن تحديد هذه القيمة كميل للمماس المرسوم في نقطة بدية المنحنى، أي

$$a(0) = (4 - 2)/(1.5 - 0)\ m/s^2 = 1.33m/s^2$$

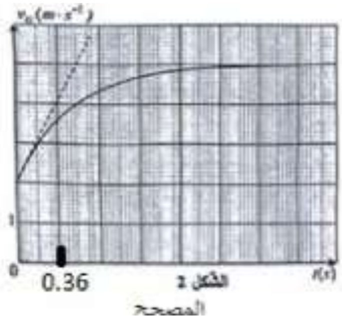
أو كما ورد في التصحيح $a_0 = 1.4\ ms^{-2}$، وهي قيمة خاطئة لأن تدريجات محور الزمن t لرسم المنحنى خاطئة (الشكل 2).

لتوضيح أن المنحنى المقترح في النص خاطئ، يُمثل الجدول 1 الذي يعطي قيم الدالة $v(t) = 5\ (1 - 0.6\ e^{-t/\tau})$ في لحظات مختلفة، وذلك بواسطة آلة حاسبة بسيطة (مسموح استعمالها في الامتحانات) ودون اللجوء إلى "التكنولوجيات الرقمية"، وقيمها $v(t)$ في اللحظات ذاتها حسب المنحنى. نلاحظ اختلافات كبيرة، خاصة في المرحلة الأولى للحركة، أي شكل المنحنى المرسوم لا يوافق الدالة $v(t)$. نستنتج أن المنحنى المرسوم لا يُمثل تغيرات السرعة بدلالة الزمن، وأن المماس في المبدأ خاطئ، أي أن قيمة التسارع a_0 لا تساوي $1.4m/s^2$ كما جاء في التصحيح، وإنما يجب أن تساوي $5.88m/s^2$ المستنتجة من العلاقات السابقة. لتصحيح السلم على المحور t يجب تعويض $1.5s$ لتدريجة واحدة بقيمة u، بحيث يصبح ميل المماس $5.88m/s^2$ عوضًا عن $1.4m/s^2$. ومنه

$$u = 1.5s \times 1.4/5.88 = 0.357143s \approx 0.36s$$

أو $0.4s$ لأن السلم يجب أن يكون بسيطًا.

يُمثل الجدول 2 قيم السرعة $v(t)$ بتطبيق العلاقة $v(t) = 5\ (1 - 0.6\ e^{-t/\tau})$ وبالاعتماد على منحنى نص التمرين بعد تصحيح تدريجات محور الزمن بالسلم 0.36s عوضًا عن 1.5s. نلاحظ تقاربًا مقبولًا في النتائج.



تصحيح سلم المنحنى

الجدول 1

t(s)	0	0.75	1.5	2	3	4.5
v(t) m/s بالعلاقة	2	4.3	4.86	4.94	4.99	5
v(t) m/s من المنحنى	2	3	3.6	3.9	4.3	4.7

الجدول 2

t(s)	0	0.18	0.36	0.48	0.72	1.08	1.44	1.80	2.16	2.30
v(t) m/s بالعلاقة	2	2.89	3.51	3.83	4.27	4.63	4.82	4.91	4.96	4.97
v(t) m/s من المنحنى	2	3	3.6	3.9	4.3	4.7	4.8	4.9	5	5

الجدول 3

t(s)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	2	2.4
v(t) m/s بالعلاقة	2	2.97	3.63	4.07	4.37	4.58	4.71	4.94	4.97
v(t) m/s من المنحنى	2	3	3.6	3.9	4.4	4.6	4.7	4.9	5

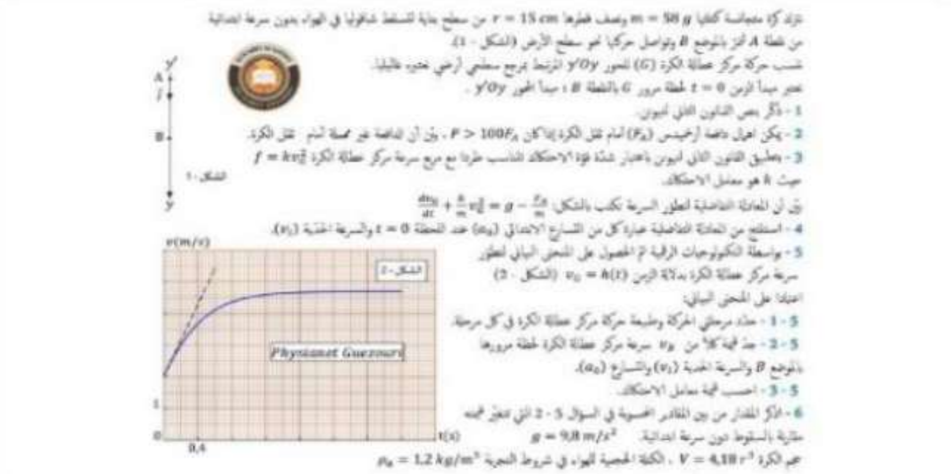
يمثل الجدول 3 قيم السرعة بالعلاقة ومن المنحنى بالسلم المصحح $0.4s$ بدلًا من $1.5s$. نلاحظ أيضًا تقاربًا مقبولًا في النتائج.

❖ **ملاحظة1:** نعطي الجدول 3 لطرح الفرضية التالية لسبب ارتكاب الخطأ من طرف مصممي هذا التمرين: حسب ما اطّلعتُ عليه في الشبكة، يوجد موقع إلكتروني ممتاز ينشّطه الأستاذ قزوري من وهران، ويبدو أنه اقترح تمرينًا مشابهًا تمامًا لتمرين الامتحان مع تغييرين أساسيين: التغيير الأول مقبول، وهو استعمال $f = kv$ عوضًا عن $f = kv^2$ الأصلية لأن السرعات صغيرة، والتغيير الثاني إدخال التدريجة 1.5 عوضًا عن 0.4 الأصلية، وهذا خطأ فادح كما توضحه صورة رسالة غضب للأستاذ قزوري.

23 juin, 21:59

بكالوريا 2025 / شعبة الرياضيات / الموضوع الثاني / التمرين الأول ...
هكذا بالتقريب يجب أن يكون ...
لماذا ؟ وهذا الجواب خاص بالأساتذة وليس بالتلاميذ . لأن حلول التلاميذ لا تتأثر بهذا الكلام ...
معطيات تمرين البكالوريا تؤدي إلى أنّ الكرة التي تركها التلميذ تسقط قطرها يساوي تقريبا 163 متر...
وإذا اعتبرناها كرة صغيرة نصف قطرها حوالي 2 سم ، ستكون السرعة الحدية حوالي 300000 كم/ سا ، ولكي تبلغ هذه السرعة يجب أن تقطع مسافة لا داع لذكرها ...
لا يتحقق النمط f = k v في مثل هذه الحالات ...هذا النمط يتحقق مثلا مع قطرة ندى ، ممكن
أرجو من الأساتذة أن يتحققوا من هذه الأرقام ، فلربما تكون الحرارة الخانقة في وهران قد أثرت علي ...

التمرين المقترح (أعوذ بالله من كلمة مقترح)



Exemple pour un frottement fluide proportionnel à la vitesse [modifier | modifier le code]

Étudions l'exemple cité plus haut de la bille qu'on lâche dans un liquide. Ce modèle n'est valable que pour des vitesses très faibles (v < 5 m/s dans l'air par exemple).

les équations de Navier-Stokes peuvent se simplifier (sous certaines hypothèses) pour arriver à une formule couramment utilisée :

$$F = K \times V^{1,4}$$

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التربية الوطنية
الديوان الوطني للامتحانات والمسابقات
امتحان بكالوريا التعليم الثانوي الخاصة دورة 2025
Série: Sciences. Option : mathématiques et sciences de la nature
Epreuve de : Sciences physiques — Durée: 03h 30min

Série : S / Epreuve de : Sciences physiques / Baccalauréat spécifique 2025

La valeur de l'ensemble de ces forces est donnée par la relation : $f = \frac{1}{2}.\rho_{air}.S.C_x.v^2$

C_x un coefficient caractéristique de la forme de l'objet, v la valeur de la vitesse, ρ_{air} est la masse volumique de l'air et S est la section équatoriale de la sphère.

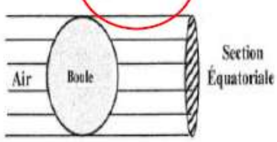


fig.3

1-Montrer que la grandeur C_x est sans dimension.

2-Montrer que l'on peut négliger la résistance de l'air vis à vis de la pesanteur agissant sur le "poids", sachant qu'au cours du mouvement, la vitesse est de l'ordre de $10\,m.s^{-1}$.

❖ **ملاحظة 2**: في امتحان بكالوريا (bac spécifique 2025) طُرح تمرين معقد بقوة $f = kv^2$ عوضًا عن $f = kv^{1.4}$ لأن السرعات متوسطة من رتبة 10m/s وليست كبيرة. يبدو أن النموذج الموظف في الباكالوريا "مضبب"، مع التنبيه إلى أن حل المعادلتين التفاضليتين الخاصتين بهما خارج المنهاج، عكس حالة $f = k.v$.

الصعوبة ناجمة عن تعدّد النماذج الموظفة لعبارة قوة الاحتكاك في الموائع، وللتبسيط يمكن استعمال عبارة قوة ستوكس (Stokes). في حالة السرعات الصغيرة تُستعمل العبارة $f = 6\pi\mu rv = kv$ حيث μ معامل اللزوجة الديناميكية للمائع (viscosité dynamique)، والبعض يقترح $f = kv^{1.4}$ في حالة السرعات المتوسطة، و $f = kv^2$ للسرعات الكبيرة. حسب ملاحظة موقع ويكيبيديا، فإن الاختيار $f = kv$ مقبول لأن $v_{lim} = 5m/s$ صغيرة. هذا الاختيار ملغّم لأنه يسمح بتحديد r للكرة. بما أن μ الخاص بالهواء هو $1.8 \times 10^{-5} Pa.s$، نجد $r = 335m$، ودافعة أرخميدس أكبر ملايين المرات من الثقل، وتصبح لدينا حالة خيالية غير واقعية لمنطاد ثقله $0.58N$ صاعدًا كصاروخ في الهواء، ومصنوع بمادة غريبة تسمح بـ 58 غرام منها للحصول على حجم $1.6 \times 10^8 m^3$ ومملوء بغاز عديم الكتلة!

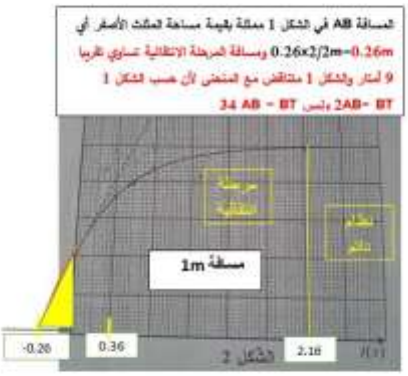
3.2.2 تحديد مرحلتي الحركة

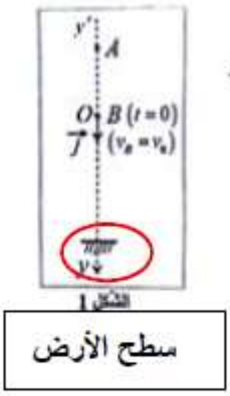
✓ **المرحلة الأولى**

تبدأ المرحلة الأولى من A حيث السرعة منعدمة في لحظة $t_A = -0.26s$، وليس من B في مبدأ الأزمنة المختار عشوائيًا، وتنتهي في $t + 0.26s = 5 \times 0.51s = 2.55s$ أي $t = 2.30s$. والمرحلة الثانية، أي النظام الدائم، تبدأ من $t = 2.30s$ وتنتهي عند وصول الكرية إلى سطح الأرض. مدة للمرحلة الانتقالية تساوي $5\tau = 2.55s$ أي $-0.26s \leq t \leq 2.3s$، وليس كما جاء في التصحيح $0 \leq t \leq 9s$ (مع غياب الوحدة). فيما يلي سنوضح أن المرحلة الانتقالية تنتهي قبل $2.3s$ لتصادم الكرة بسطح الأرض!

✓ **المرحلة الثانية أو النظام الدائم**

أما النظام الدائم فمدته محددة كالتالي: يبدأ من نهاية النظام الانتقالي أي اللحظة $t \approx 2.30s$، وينتهي لحظة وصول الكرة إلى سطح الأرض. نلاحظ أن الشكل 1 يحتوي على معلومات حول الحركة وليس مجرد رسم "توضيحي"! استغلال الشكل 1 والمنحنى $v(t)$ يسمح باكتشاف تناقضات فادحة حول المسافات المقطوعة في كل مرحلة، وخاصة في نهاية النظام الدائم أي لحظة وصول الكرة إلى سطح الأرض T. سنبرهن أن حل التصحيح خاطئ $9s \leq t \leq 12s$.





4.2.2 ملاحظة حول المسافات المقطوعة

يمكن استخراج معلومات حول المسافات المقطوعة من الشكل 1 ومن المنحنى $v(t)$. بدون تكامل الدالة $v(t)$ يمكن تحديد قيم المسافات المقطوعة من قيم المساحات المحصورة بين المنحنى $v(t)$ ومحور الأزمنة t والمجال الزمني للمرحلة المدروسة. في الشكل 2 والمنحنى، كل مربع يمثل -قبل تصحيح السلم- مسافة $1.5m$، وبعد تصحيحه $0.36m$.

ومن المنحنى غير المصحح أو المصحح نلاحظ أن عدد المربعات المحصورة بين المنحنى ومحور الزمن يساوي تقريبًا 36، من بينها 10 للنظام الدائم و26 للنظام الانتقالي (دون المثلث الأصفر).

من المنحنى غير المصحح، تقطع الكرة $40m$ خلال النظام الانتقالي و$15m$ خلال النظام الدائم، وتقطع مسافة كلية تساوي $55m$ أي $AT = 55m$. وحسب المنحنى الممتد بالمثلث الأصفر المسافة $AB \approx 1.5m$، والمسافة AT حسب الشكل 1 من رتبة $AT = 3AB = 4.5m$. لكن من المنحنى نجد $AT = 55m$، أي الشكل 1 المقترح يتناقض مع المنحنى غير المصحح. ونفس النتيجة بالنسبة للمنحنى بسلم مصحح حيث المسافة الكلية المقطوعة $AT = 13.2m$. أما بالسلم المصحح فالمسافة AB تساوي $0.26m$ و$BT < 1m$ أي $AT < 1.3m$. حسب هذه النتائج، المسافة غير كافية للنظام الانتقالي، ولا يوجد نظام دائم!

ملاحظة لتصحيح الشكل 1: يمكن إزالة التناقضات السابقة حول المسافات بحذف سطح الأرض من الشكل 1، ويبقى المنحنى وحده يعطي معلومات حول نهاية الحركة. نذكر أن في المقاربة بالكفاءات توجد كفاءة عرضية مشتركة لكل المواد، خاصة في العلوم الفيزيائية والرياضيات، وهي استغلال الأشكال والمنحنيات المعبّرة عن ظاهرة علمية وتكون واقعية ودون أخطاء علمية، كما سنراه لاحقًا في الوضعية الإدماجية لموضوع الرياضيات لشهادة التعليم المتوسط دورة جوان 2025. يجب تدريب التلاميذ وطلبة المدارس العليا للأساتذة والأساتذة في الميدان والمفتشين ومصممي المواضيع على اكتساب هذه الكفاءة العرضية.

3. تذكير حول التقويم وفق المقاربة بالكفاءات

يتميز نظامنا التربوي، خاصة في الطورين المتوسط والثانوي، بتطبيق نظام تقويمي تقليدي يعتمد على الحفظ، وهو مخالف لمبدأ المقاربة بالكفاءات الذي أُسّست عليه مناهج كل الأطوار التي يهدف إلى تصحيح المناهج الأولى. إنها مُمثّلة بثلاثة محاور: تحديد ملمح التخرج للطور المتوسط، وإدخال تعلّم الإدماج في النشاطات التعليمية، ثم طرح وضعية إدماجية في التقويم. تهدف هذه التغيّرات إلى إعطاء الفهم والقيم مكانًا معتبرًا بجانب الحفظ، أي اكتساب المتعلم مجموعة من الكفاءات المعرفية والعرضية المدمجة. يتم الإدماج أفقيًا بين المواد المختلفة للسنة، وشاقوليًا بين مفاهيم المادة خلال الطور.

مثلًا في الوضعية الإدماجية في العلوم الفيزيائية في نهاية التعليم المتوسط، يمكن توظيف وحدة القياسات (السنة الأولى) والطاقة (السنة الثالثة) والميكانيك (السنة الرابعة)، بالإضافة إلى الرياضيات مثل خاصيتي طاليس وفيثاغورس لحل الوضعية. ينطبق الأمر ذاته على مادة الرياضيات، حيث يُطلب من التلميذ تجنيد كل مكتسباته لحل الوضعية الإدماجية. مثلًا لقياس الأطوال يمكنه توظيف القوانين الهندسية وتطبيق خاصيتي فيثاغورس أو طاليس. كما يمكنه اللجوء إلى ما تعلّمه في وحدة القياسات في الفيزياء (السنة الأولى متوسط) باستعمال المسطرة أو خيط في حالة خط منحني كيفي، كما تدرّب عليه سابقًا في وضعيات إدماجية مرتبطة.

تُمثل الصور المأخوذة من **الدليل المنهجي لإعداد المناهج** للجنة الوطنية للمناهج (2009):

1- معنى تقويم الكفاءات.

2- أدوات التقويم: الوضعية الإدماجية.

3- قائمة الموارد المنهجية للمواد العلمية التجريبية.

معنى تقويم الكفاءات

أدوات التقويم: الوضعية الإدماجية

الموارد المنهجية

أ- الموارد المنهجية

- استخدام الاستدلال العلمي
- اتباع المسعى العلمي في استقصاء المعلومات
- استخدام الملاحظة العلمية
- اتباع المسعى التجريبي
- اتباع مسعى حل المشكلات
- التعبير باللغة العلمية اللائقة كتابيا وشفويا
- الاستخدام السليم لأدوات القياس طريقة ووسيلة
- التعبير عن نتيجة القياس
- الكتابة العلمية للمقادير والعلاقات
- توظيف النماذج الخاصة ببنية المادة والتيار الكهربائي والطاقة والضوء
- تسيير جيد لفضاء العمل والوقت المتاح لإنجاز المهمة
- احترام التعليمات
- تحقيق تركيبات تجريبية بسيطة باستقلالية
- الوعي بحالة الخطورة واتخاذ الاحتياطات الأمنية الضرورية عند التعامل مع المواد الكيميائية والتجهيز ومصادر الخطر

4. ملاحظات حول الوضعية الإدماجية في امتحان مادة الرياضيات لشهادة التعليم المتوسط دورة 2025

تتميز دورة 2025 بانتشار واسع للأخطاء المرتبطة بالمنحنيات والأشكال، وهو ما ظهر في التمرين الأول من الموضوع الثاني لمادة العلوم الفيزيائية، وفي الوضعية الإدماجية لموضوع الرياضيات. هذا الإشكال ليس جديدًا، إذ لوحظ في مواقع تحضير امتحان شهادة التعليم المتوسط (BEM) التي تَعِدُ بعلامة 20/20، كما أنه متواجد خارج الجزائر، مثل امتحان شهادة Brevet الفرنسي المنظم في 26 و27 جوان 2025، حيث طُرح تمرين في الهندسة حول مسلك سباق مشابه لموضوع الامتحان الجزائري قبل ذلك بشهر.

في أغلب الحالات التي اطلعت عليها، توجد تمارين تتضمن عبارة "المعلم المتعامد والمتجانس"، لكن بجوار أشكال غير متجانسة الأبعاد. وترافقها نوعان من التنبيهات. يوجد التنبيه الغريب التالي الذي يتناقض مع المقاربة بالكفاءات التي تحثّ على توظيف عدة طرق للحل وعلى نقدها.

تنبيه: الرسم غير مطلوب في كل الموضوع

هناك نوع آخر من التنبيه مثل التمرين الفرنسي الذي يشير إلى عدم احترام السلم في الرسم.

Le parcours de la course à pied est représenté par le dessin ci-dessous (le dessin n'est pas à l'échelle) :

والأغلبية تتجاهل الوضعية.

الحالات الأخطر هي حالات التمارين التي توجد فيها الدوال المثلثية مثل tan أو cos أو sin أو توجد فيها دوائر. في أغلبية الحالات يُطلب من التلميذ حساب أطوال وزوايا بتطبيق خاصية فيثاغورس أو طاليس. حسب مميزات الوضعية الإدماجية يجب السماح للتلميذ بقياس الأطوال بعدة طرق، مثل الطريقة المباشرة التي درسها في الفيزياء باستعمال مسطرته. إنها الطريقة المباشرة والأسهل. بالطبع يمكن التأكد من النتيجة ومناقشة دقة القياس بتطبيق خاصية فيثاغورس أو طاليس. لا يوجد حاجز بين المواد لحل وضعية إدماجية.

في حالة وجود اختلاف في النتائج بين طريقتين، ولتنمية التفكير النقدي ككفاءة عرضية ومنهجية عند التلميذ، يجب أن يبحث عن سبب الاختلاف: هل هو ناتج عن نقص في دقة القياسات أو عن أخطاء في تطبيق العلاقات أو أخطاء في الأشكال كما حدث في دورة 2025. وفي الوضعية الإدماجية، فإن التنبيه "الرسم غير مطلوب في كل الموضوع" يحوّل الوضعية الإدماجية إلى وضعية انشطارية!

نذكر أن هناك كفاءة مشتركة بين الرياضيات والفيزياء في الطورين الابتدائي والمتوسط، وهي التحكم في الفضاء والزمن من طرف المتعلمين! لتمثيل جسمٍ مستوٍ يجب إعطاء شكل هندسي صحيح باحترام سلم واحد، وليس استعمال حجة التمرين الفرنسي التالية لأن الفضاء متجانس. في نص التمرين يكفي إعطاء قيمة لطول معيّن واحد، أي إعطاء سلّم الأطوال. أما الأطوال الأخرى فيمكن للتلميذ وأستاذه حسابها بهذا السلم. لا يمكن استعمال tan أو sin أو cos أو رسم دائرة على شكل بسلاليم عديدة كما هو الحال في "وضعية 2025 " أو التمرين الفرنسي.

نص الوضعية الإدماجية مع التنبيه ومعايير التنقيط

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التربية الوطنية — الديوان الوطني للامتحانات والمسابقات

امتحان شهادة التعليم المتوسط — دورة: 2025

اختبار في مادة: الرياضيات — المدة: ساعتان

تنبيه: الرسم غير مطلوب في كل الموضوع

التمرين الأول: (03 نقاط)

المعايير	المؤشرات	مؤشرات التحكم	العلامة	المجموع
[illegible]	- يعبّر عن المسافة التي قطعها متسابقو الفئة (أ) بالمجموع: $AB + BC$	0 مؤشر	0	03
	- يعبّر عن المسافة التي قطعها متسابقو الفئة (ب) بالمجموع: $AB + BC + CE$	1 مؤشر	0.5	
	- يعبّر عن الطول CE بتوظيف النسب المثلثية	2 (مؤشران)	1	
	- يعبّر عن الطول CF بإجراء العملية المناسبة	3 مؤشرات	1.5	
	- يوظف خاصية فيثاغورس أو النسب المثلثية لإيجاد الطول EF	4 مؤشرات	2	
	- يوظف خاصية طالس لإيجاد الطول DG	5 مؤشرات	2.5	
	- يعبّر عن المسافة التي قطعها متسابقو الفئة (ج) بالمجموع: $AB + BC + CE + EF + FD + DG$	6 مؤشرات أو أكثر	3	
	- يوظف الرابع المتناسب أو قاعدة حساب السرعة لحساب المدة المستغرقة			

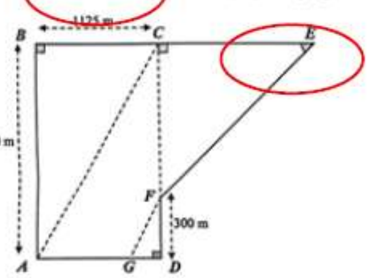
تابع لموضوع مادة: الرياضيات — امتحان شهادة التعليم المتوسط دورة: 2025

الوضعية الإدماجية: (08 نقاط)

الشكل أدناه يمثّل تصميما لمسار سباق منافسة في العَدْو نظّمته إحدى البلديات بمناسبة الاحتفال بذكرى مجازر 08 ماي 1945 شاركت فيه ثلاث فئات:

- الفئة (أ): تلاميذ من السنة الخامسة ابتدائي يقطعون المسافة من A إلى C مرورا بالنقطة B.
- الفئة (ب): تلاميذ من السنة الرابعة متوسط يقطعون المسافة من A إلى E مرورا بالنقطتين: B و C على الترتيب.
- الفئة (ج): تلاميذ من السنة الثالثة ثانوي يقطعون المسافة من A إلى G مرورا بالنقط: B، C، E، F، D على الترتيب.

إذا علمت أن: G نقطة من $[AD]$ حيث: (FG) يوازي (AC) و $\tan\widehat{CEF} = 0,75$.



1) أحسب كلا مما يلي:
- المسافة التي يقطعها متسابقو الفئة (أ).
- المسافة التي يقطعها متسابقو الفئة (ب).
- المسافة التي يقطعها متسابقو الفئة (ج).

2) إذا كان باستطاعة متسابق أن يقطع مسافة 30km في ظرف 3 ساعات، فما هي المدة (بالساعة h) التي يستغرقها لقطع مسافة 6km بنفس السرعة؟

ملاحظات حول نص التمرين

نلاحظ عدم تطابق معطيات النص والشكل، خاصة بالنسبة للزاوية (CEF) التي هي أكبر من 45° أي ظلها أكبر من 1، وفي النص $tan(CEF) = 0.75$. بالمسطرة يمكن أن نتأكد أن $CF > CE$ في الشكل و $tan(CEF) \approx 1.04$

وليس 0.75. دائمًا بالعين المجردة وبالمسطرة نتأكد أن AB لا يساوي $5FD$. نفس الشيء بالنسبة للطول BC الذي هو أقل من $3DF$ أي $900m$، وفي الشكل له $1125m$. إنها فروقات عديدة. عند الحل بتطبيق العلاقات نجد $CE = 1600m$ وهي ممثلة في الشكل أصغر من CF وأصغر بكثير من $AB = 1500m$. هل يمكن تطبيق فيثاغورس او طاليس في هذه الحالة؟ يمثل الجدول المقابل قيم مختلف الأطوال باستعمال سلم واحد، مثلا طول $DF = 300m$ وقيم نفس الأطوال حسب النص أو بتطبيق العلاقات.

الأطوال	GD	AB	BC	EF	CE	CF	DF
حسب سلم واحد	150	1020	570	1020	720	750	300
حسب النص والحل	225	1500	1125	2000	1600	1200	300

ملاحظة: يبدو أن النص غير ملائم لهذا السباق لعدة أسباب من بينها:

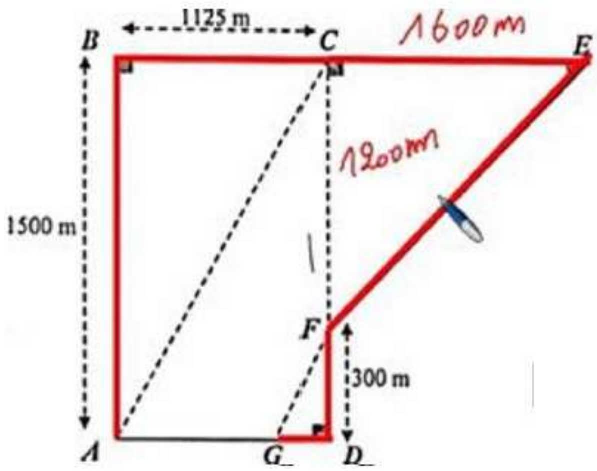
المسافات المطلوب حسابها والمختارة لهذا السباق أي $2625m$ أو $4225m$ غير متعوّد عليها في الميدان الرياضي، حيث المسافات لهذا النوع من السباق بسيطة، مثل $1500m$ أو $3000m$ أو $5000m$ و $10km$ أو الماراثون $42.2km$.

في هذا النوع من المسارات تكون النهاية مشتركة كي يُحسب توقيت العدائين من قِبل الحكام أو يتم تصويرهم.

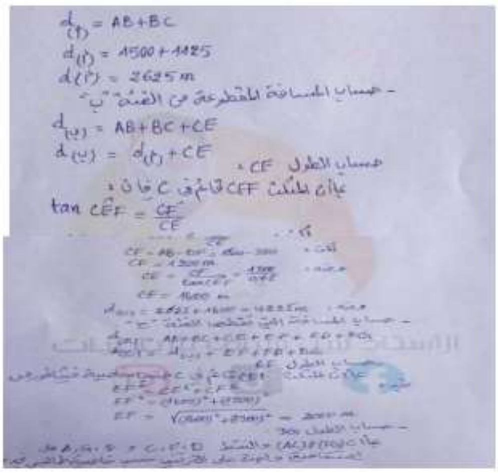
في وثيقة المعايير نلاحظ وجود المعايير دون النتائج العددية المطلوبة في النص. لماذا؟

ملاحظات حول نص الوضعية الإدماجية وحلها (تابع)

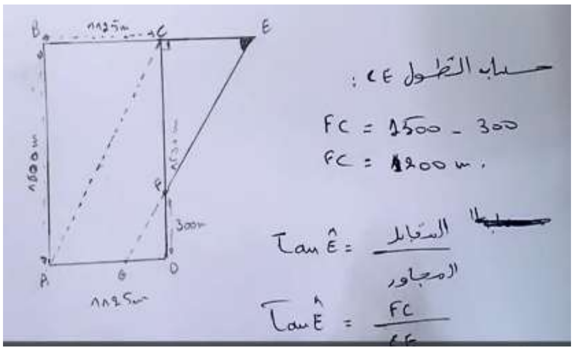
الشكل مع بعض نتائج الحل



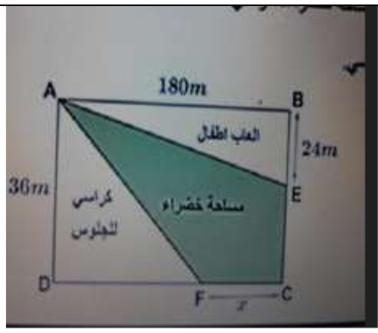
الحل دون شكل كما هو مطلوب في النص


$d_{(1)} = AB+BC$
$d_{(1)} = 1500+1125$
$d_{(1)} = 2625\,m$
- حساب المسافة المقطوعة من الفئة "ب"
$d_{(2)} = AB+BC+CE$
$d_{(2)} = d_{(1)}+CE$
حساب الطول CE:
$\tan \hat{CEF} = \frac{CF}{CE}$

في هذا الشكل من التصحيح، تُظهر قيم الأطوال المطلوبة (مع غياب $EF = 2000m$) التناقضات جيدًا بين أطوال CE و AB و CF. الأمر ذاته بالنسبة لـ $2000m$ لـ EF و $1500m$ لـ AB. سمح التنبيه بأن الرسم غير مطلوب للمترشحين بربح الوقت وعدم مواجهة شكل ملغم بالنتائج العددية.



شكل مزيف على الخطوط المتوازية



شكل خاطئ يُمكن تبيّنه بالعين المجرّدة
من موقع إلكتروني جزائري

شكل مثير من البرازيل يعتمد على مثلثات متساوية الساقين بقيم مختلفة داخل الشكل، ويُقدَّم الحل على أنّه سهل، غير أنّه في الحقيقة خاطئ. وكما يُقال في المثل الشعبي: "العمى يشوفها".

التمرين الفرنسي وحله

DIPLÔME NATIONAL DU BREVET

SESSION 2025

Exercice 2 (23 points)

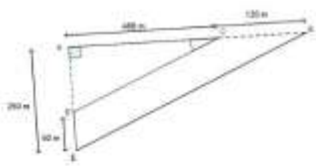
Cette année, les professeurs d'EPS proposent aux élèves un aquathlon (course à pied et natation).

Partie A : La course à pied

Le parcours de la course à pied est représenté par le dessin ci-dessous (le dessin n'est pas à l'échelle) :

Le parcours est représenté par ACDEB avec le départ au point A et l'arrivée au point B.

Les points A, C, B sont alignés.
Les points A, D, E sont alignés.
ADC est un triangle rectangle en A.
AC = 480 m CB = 120 m
AE = 250 m DE = 50 m



1. Justifier que AD = 200 m.
2. Calculer la longueur CD.
3. Pour que le parcours soit validé il est nécessaire que les droites (CD) et (BE) soient parallèles et que la mesure de l'angle $\widehat{ACD}$ soit supérieure à 20°.
   a. Les droites (CD) et (BE) sont-elles parallèles ?
   b. La mesure de l'angle $\widehat{ACD}$ est-elle supérieure à 20° ?
   c. Le parcours est-il validé ?

Exercice 2 :

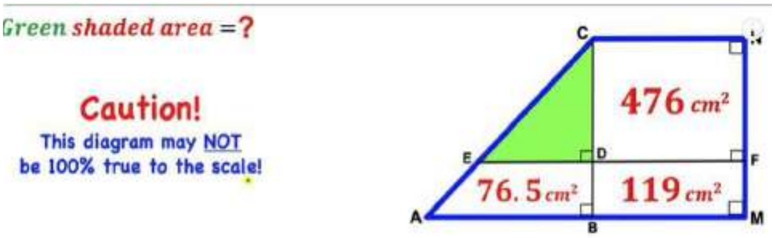
Partie A :

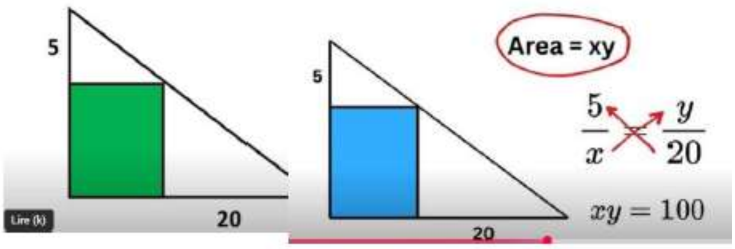
1. Les points A, D, E sont alignés, alors : AD = AE – DE = 250 - 50 = 200 m.
2. Le triangle ACD est rectangle A, alors d'après le théorème de Pythagore :
$CD^2 = AD^2 + AC^2 = 480^2 + 200^2 = 270\,400$. Donc : CD = racine(270400) = 520 m.
3.a. D'une part : AE/AD = 250/200 = 0,8
D'autre part : AB/AC = 600/480 = 0,8
Les points A, C, B et A, D, E sont alignés dans le même ordre. Vu que AE/AD = AB/AC = 0,8 alors d'après la réciproque du théorème de Thalès, les droites (CD) et (BE) sont parallèles.
3.b. Dans le triangle ACD rectangle en A :
tan (ACD) = 200/480 Donc ACD = Arc tan (200/480) ≈ 22,7°
3.c. D'après le 3.a. et le 3.B. , le parcours est finalement validé car :
(CD) // (BE) et ACD > 20°

بأخذ $1cm$ يمثل $DE = 50m$. نستنتج باعتماد السلم ذاته أن الشكل خاطئ ولا يمكن قبول هذا المسلك لأن $AE =$ $135m$ عوضًا عن $250m$ و $AC = 225m$ عوضًا عن $450m$، أي النصف و $DC = 190m$ عوضًا عن $520m$ و $AD = 85m$ وليس $200m$. ومنه $tan(ACD) = AD/AC = 85/225 = 0.3778$ والزاوية $(ACD) =$ $20.7°$ وليس $22.7°$.

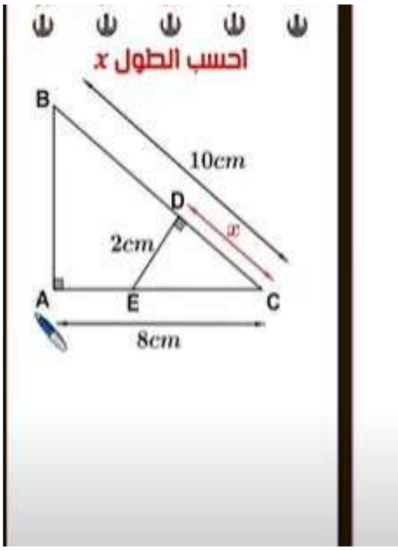
أشكال من مواقع إلكترونية (مع التنبيه أو دونه حول السلم)

سلم خاطئ وحل صحيح عدديا
من موقع إلكتروني أمريكي

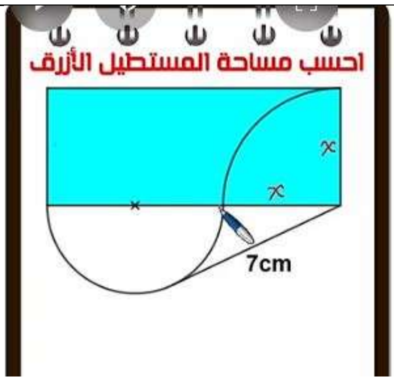




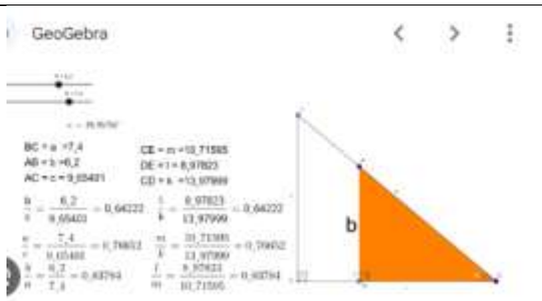
رسم خاطئ، حيث 2cm ممثل بـ 1cm و 10cm بـ 3.4cm عوضًا عن 5cm و 8cm ممثل بـ 2.5cm عوضًا عن 4cm.



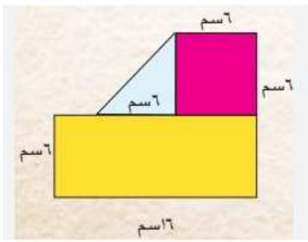
أمثلة لأشكال صحيحة



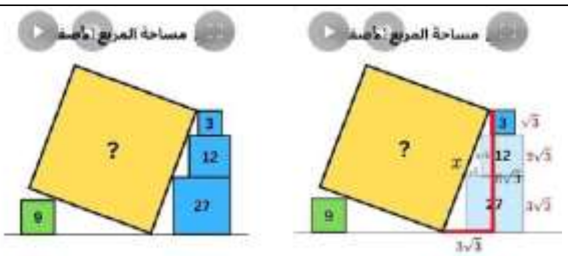
شكل بفضاء متجانس بوجود دوائر



رسم صحيح ودقيق بتوظيف **GeoGebra**



رسم عراقي صحيح



$x^2 = 135$

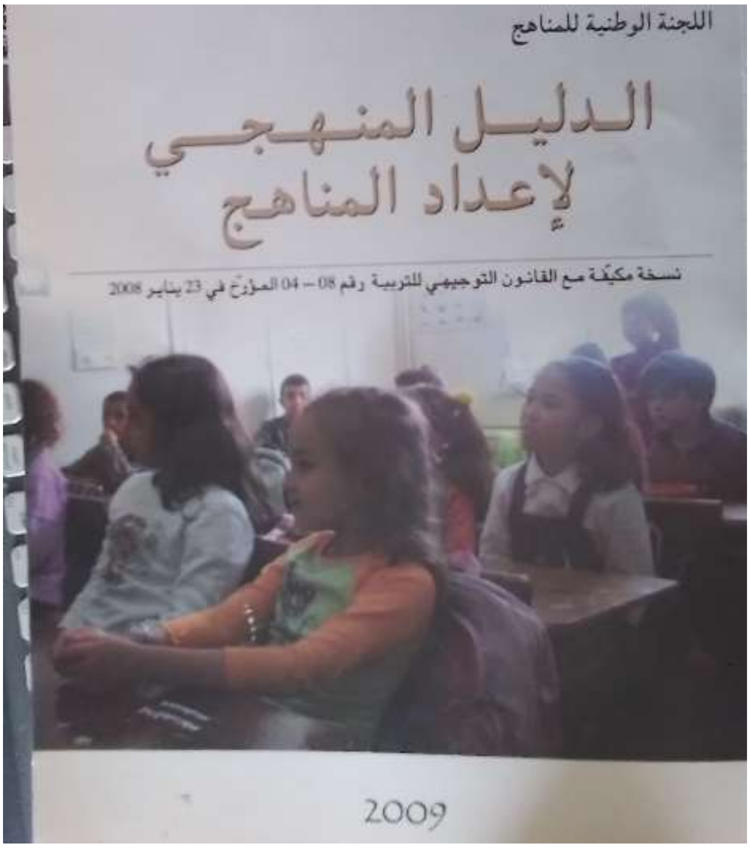
شكل للحل والأطوال بسلم واحد طبعًا

5. خلاصة

يُمثل وجود أخطاء في نصوص وحلول الامتحانات الرسمية لبلادنا نقطة سوداء وضربة لمصداقية نظامنا التربوي، ويحجب كل جوانبه الإيجابية. تستمر أضرار هذه الوضعية بوجود التمارين "الملغمة" في بنك أرشيف المركز الوطني للامتحانات والمسابقات (ONEC)، وتُستعمل من قِبل الأساتذة والتلاميذ في تحضير البكالوريا أو شهادة التعليم المتوسط، وتلتحق بتمارين سابقة "ملغمة". عدم حجب هذه التمارين في مكتبة المركز يسمح للتلاميذ وأساتذتهم بضياع الوقت في التدريب على تمارين مفخخة وحفظها. طالبنا في عدة مناسبات حذفها من أرشيف المركز أو وضعها في ملف خاص. يمكن الاستفادة من ملف هذه التمارين كذخيرة للأساتذة والمفتشين وطلبة المدارس العليا في حصص تعلّم الإدماج وطرح وضعيات إدماجية بدراسة الأخطاء الواردة واقتراح الحلول والتصحيحات كما حاولنا القيام به في هذا المقال.

المراجع

[1] المرجعية العامة للمناهج (2009)، اللجنة الوطنية للمناهج، وزارة التربية الوطنية.
[2] الدليل المنهجي لإعداد المناهج (2009)، اللجنة الوطنية للمناهج، وزارة التربية الوطنية.
[3] أرشيف المركز الوطني للامتحانات والمسابقات (ONEC)، وزارة التربية الوطنية.
[4] مواقع عديدة على الإنترنت وشبكات التواصل الاجتماعي.



الرياضيات التعليمية: ما هي الرياضيات التي تُدرَّس؟

الجزء الثالث: الحقيقة في المنطق الرياضياتي الكلاسيكي و اتساق النظرية ZF

ناجي هرماس

أستاذ بقسم الرياضيات، جامعة زيان عاشور، الجلفة

nadjihermas@gmail.com

هذا المقال مهدى إلى أستاذة الرياضيات السابقة بالمدرسة الأساسية، الطور الثاني، داودي فاطنة

1. مقدمة

أذكّر في البداية ببتين من الشعر للإمام الشافعي رحمه الله، مفيدين لأي طالب علم:

أخي لن تنال العلم إلا بستةٍ ... سأنبيك عن تفصيلها ببيانِ

ذكاءٌ وحرصٌ واجتهادٌ وبُلغةٌ ... وصحبةُ أستاذٍ وطـولُ زمانِ

تنفق جميع الدول في العالم أموالًا لتدريس الرياضيات لأجيالها الناشئة، وتكمن وراء ذلك بالتأكيد أسباب معينة. ولذلك، يحق للمرء التفكير في أسئلة من قبيل: ما هي الأسباب التي تجعل تدريس الرياضيات مشروعًا مجتمعيًا ضروريًا؟ وما هي الرياضيات التي تُدرّس للناشئة؟ وبالأحرى، ما هي الرياضيات التعليمية؟

فيما يتعلق بالسؤال الأول، يمكن القول عمومًا إن تدريس الرياضيات يستمد مشروعيته المجتمعية من سببين رئيسيين، هما:

أ- تطوير وتنمية المهارات العقلية الاستنباطية لدى الناشئ، وذلك لكون الرياضيات تمثل النموذج الأكثر وضوحًا وحضورًا للتفكر البشري الاستنباطي الضروري لحياة الأفراد ولحياة المجتمع. ويمكن الزعم، دون مبالغة، بأن تعلّم الرياضيات هو تعلّم حِرفة البرهان، أو أيضًا فن البرهان.

ب- الرياضيات علم ضروري لفهم وتطوير واستخدام الكثير من المعارف البشرية، مثل العلوم الدقيقة كالفيزياء والكيمياء، وعلوم المهندسين مثل الإعلام الآلي والإلكترونيك والآلية، وغيرها.

ويجب لفت انتباه مُدرّسي الرياضيات بالمدارس الابتدائية والمتوسطة والثانوية، وحتى في الجامعات، إلى ضرورة وضع الهدف الأول المرجو من تدريس الرياضيات نصب أعينهم، وذلك لكي يعطوا أولًا فرصًا أكبر للشباب الناشئ لتحقيق أهدافه المشروعة في الحياة، وثانيًا، لكي يمنحوا نشاطاتهم التعليمية معان حقيقية جادة وخالية من العبث.

يمكن القول إن الرياضيات التعليمية هي الرياضيات الكانتورية، أي الرياضيات المؤسَّسة على نظرية المجموعات لكانتور (Cantor) وعلى المنطق الرياضي الكلاسيكي. بناءً على هذا، ينبغي على مُدرّسي الرياضيات الجادين الإلمام بالمبادئ الأساسية لهذه النظرية، والاطلاع اطلاعًا كاملًا على المبادئ الأولية للمنطق الكلاسيكي، مثل المعرفة الكاملة بمعاني الروابط المنطقية في إطار هذا المنطق، والمعرفة المقبولة بالمسلمات المنطقية، وبمبادئ الاستنباط الأكثر شهرة واستخدامًا.

حدّد علماء الرياضيات عشر مسلّمات تُؤسِّس لنظرية المجموعات، والمعروفة في أبجديات الرياضيات باسم "مسلّمات زرميلو وفرانكل + مسلّمة الاختيار". ومن جانبهم، اعتمد خبراء التعليم ومؤلّفو كتب الرياضيات هذه المسلّمات كأهداف تعليمية قاعدية في عملية تدريس الرياضيات. وينبغي، كما أُشير إلى ذلك آنفًا، أن يُلّم مدرّسو الرياضيات الجادّون بهذه المسلمات، وربما تكفيهم مبدئيًا معرفة خمس منها، والتي سنتحدث عنها في هذا الجزء. ولمساعدة القارئ الكريم على

الاطلاع عليها سريعًا، نورد اسمها بالإنكليزية: "Zermelo-Fraenkel Axioms + Axiom of choice"، وكثيرًا ما يُشار في الكتب اختصارًا إلى نظرية المجموعات المستخدمة في الرياضيات التعليمية بالاسم ZFC.

من الأمور الأساسية أيضًا أن يعرف مدرس الرياضيات لغة نظرية المجموعات، حتى يصير بمقدوره معرفة طريقة تكوين الصيغ الرياضياتية معرفة كاملة.

لقد أُعدَّ هذا المقال حول الرياضيات التعليمية تحديدًا لتحقق الهدفين المشار إليهما، وبذلك يصير عونًا وسندًا لجميع مُدرّسي الرياضيات في المدارس الثانوية، ولمدرّسي الرياضيات في السنوات الجامعية الأولى.

يعرض المقال لغة نظرية المجموعات، وهي اللغة الرياضياتية العالمية الضرورية لكتابة كل قضايا الرياضيات رمزيًا، والمبادئ الأولية للمنطق الرياضي الكلاسيكي الأولي المعتمَد في تدريس هذه الرياضيات. يُقدّم المقال واحدًا من أبسط نُظم الاستدلال الرياضياتي وأكثرها ألفة واستخدامًا في البراهين الرياضياتية. كما تم تضمينه الطريقة الصحيحة، التي يُفترض أن يتبنّاها مُدرّسو المنطق في إعداد دروسهم، لتعريف الصيغ والمبادئ الصحيحة. إحدى الغايات من هذا التضمين هي تبيان الهدف الحقيقي من تدريس جداول الصحة في برامج المنطق، وهو الهدف الذي لا يُقدّم أيّة خدمة لتعلم حرفة البرهان الرياضياتي، علمًا بأن المنطق أُسّس تحديدًا من أجل ترسيخ هذه الحرفة في الأذهان.

يتبنّى المقال وجهة النظر التي اتفق عليها غالبية علماء الرياضيات في بداية القرن العشرين، وهي عرض هذا العلم في إطار نظرية المجموعات، وبواسطة لغة رياضياتية عالمية هي لغة هذه النظرية. ولا يحتوي على أمور جديدة حول المنطق الرياضياتي الكلاسيكي والرياضيات، وإنما تكمن أهميته في أنه، بحسب المؤلف، لا توجد نصوص عربية تتناول موضوع الرياضيات التعليمية بالطريقة ذاتها، اللهم باستثناء النص المعروض في كتاب "الجبر" للأستاذ الفرنسي روجي غودمان (Roger Godement)، والذي قام الأساتذة مختار عبيد وأبو بكر خالد سعد الله ويوسف عتيق بتعريبه. جميع الكتب المصاغة بالعربية، التي تتناول جانبًا من المنطق الأولي، سواء كانت محلية أو قادمة من مصر أو سوريا، والتي قام المؤلف بمعاينتها، لا تتناول سوى جداول الحقيقة، وهذا يعني أنها لا تتناول المنطق كما ينبغي، وإنما تتناول بالأحرى موضوعًا آخر يتعلق بجبور بول (Boole). وهذا، في نظر المؤلف، أعاق فهم المنطق الأولي على الرغم من بساطته، ومن ثمة أضرّ بعملية تدريس الرياضيات الأولية.

يتضمن المقال أيضًا نصًّا قصيرًا، ولكنه دقيق جدًا، حول الصورنة والرياضيات الصورية، التي طالب هيلبرت (Hilbert) بتأسيسها في بداية القرن العشرين. ويمكن لطلاب فلسفة العلوم استخدامه في مقالاتهم والاستفادة منه ونشره لديهم.

يُعنى الجزء الثالث بالحديث عن معنى الحقيقة في المنطق الرياضياتي الكلاسيكي وعن اتساق نظرية المجموعات المنقوصة مسلمة الاختيار.

2. الحقيقة في CML

نُسمّي نظرية رياضياتية كلاسيكية مؤسسة (أو مبنية) على اللغة $\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}$ كل ثلاثية من الشكل $\mathrm{Th} = (\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}, \mathrm{CML}, \Gamma)$، حيث $\mathrm{For}(\mathfrak{L}_1\mathrm{Set}) \supseteq \Gamma$. تُدعى Γ بمجموعة المسلّمات غير المنطقية للنظرية Th، وتُدعى Thm_Γ بمجموعة صيغها القابلة للبرهان (الصحيحة). وعلى هذا الأساس توصف أية صيغة $\mathrm{Thm}_\Gamma \ni P$ بأنها صحيحة في النظرية Th.

تُوصَف النظرية Th بأنها كلاسيكية، لأن المنطق المستخدَم في براهين صيغها الصحيحة هو المنطق الرياضياتي الكلاسيكي. وغالبًا ما يطابق مؤلفو الكتب الرياضياتية بين Th ومجموعة مسلّماتها غير المنطقية Γ، فبدلًا من أن يقال "النظرية Th تحقق كذا وكذا"، يقال "النظرية Γ تحقق كذا وكذا"، وهلمّ جرّا. وهذا ما سنتبناه فيما يلي.

نظرية المجموعات ZFC ما هي في الحقيقة سوى الثلاثية $(\mathfrak{L}_1\text{Set}, \text{CML}, \text{ZFC})$. ونذكر أن مجموعة المسلّمات غير المنطقية لكل نظرية في الرياضيات التعليمية تحتوي بالضرورة على مجموعة المسلّمات ZFC.

بما أن المنطق CML هو النموذج الأكثر شهرة واستخدامًا من بين جميع أنواع المنطق الاستنباطي الأخرى، فالحقيقة فيه تُعدّ قرينة للبرهان. وعلى هذا الأساس لدينا ما يلي:

- نقول إن P صحيحة "P is true" في النظرية Γ، إذا كانت قابلة للبرهان انطلاقًا من Γ، أي إذا كان $\text{Thm}_\Gamma \ni P$ أو $\Gamma \vdash P$. وبحسب مبدأ الثالث المرفوع، "كل صيغة قابلة للبرهان أو غير قابلة للبرهان في النظرية Γ"، أو أيضًا: "كل صيغة صحيحة أو غير قابلة للبرهان في النظرية Γ". ويمكن صياغة القضية "الصيغة P غير قابلة للبرهان في النظرية Γ" كما يلي "الصيغة P غير صحيحة في النظرية Γ"، ولكن يجب توخي الحذر الشديد في هذه الحالة، إذ لا ينبغي الخلط بين "عدم الصحة" و"الخطأ"، الذي نعرفه فيما يلي:
- نقول إن P خاطئة "P is false" في النظرية Γ إذا كانت $\neg P$ صحيحة في النظرية Γ. ويمكن تعويض الجملة "$\neg P$ غير قابلة للبرهان في النظرية Γ" بالجملة "P غير خاطئة في النظرية Γ". ولذلك، حسب مبدأ الثالث المرفوع، "كل صيغة خاطئة أو غير خاطئة في النظرية Γ".

لاحظوا جيدًا أن القضية "P خاطئة في النظرية Γ" ليست هي ذاتها القضية "P غير قابلة للبرهان في النظرية Γ" (النفي المنطقي للقضية "P صحيحة في النظرية Γ"). وعلى هذا الأساس، لا يحق لنا تطبيق مبدأ الثالث المرفوع للقول إن القضية "كل صيغة صحيحة أو خاطئة في النظرية Γ" صحيحة. بل على العكس، هذه القصية غير صحيحة عمومًا، إذ إن غالبية النظريات الرياضياتية المؤسسة على اللغة $\mathfrak{L}_1\text{Set}$ تحتوي على عدد لانهائي من الصيغ غير الصحيحة وغير الخاطئة، وهي ما يُعرف بالصيغ غير القابلة للإقرار. توصف هذه النظريات بأنها غير مكتملة.

في المنطق التجريبي العادي، المسيطر على عقول الجميع، وكذلك في المنطق التجريبي الفيزيائي، يتم المطابقة بين الخطأ وعدم الصحة، لأن البشر يعتبرون تلقائيًا هذا المنطق مكتملًا. ويُقدّم الفيزيائيون حججًا كثيرة للتأكيد على أن منطقهم التجريبي مكتمل. في المقابل، أثبت غودل (Gödel) أن المنطق الرياضياتي الكلاسيكي غير مكتمل.

مبرهنة 4. في أيّة نظرية مؤسّسة على اللغة $\mathfrak{L}_1\text{Set}$، لا توجد صيغة تكون صحيحة وخاطئة في آن معًا، وبتعبير آخر، كل صيغة خاطئة هي حتمًا غير صحيحة.

البرهان. لنستخدم مبدأ برهان الخطأ بالتناقض. وعليه، لتكن $\Gamma \subseteq \text{For}(\mathfrak{L}_1\text{Set})$، ولنفرض جدلًا أنه توجد صيغة P صحيحة وخاطئة معًا في النظرية Γ. في هذه الحالة، يمكننا أن نكتب ما يلي:

1. $\Gamma \vdash P$ (فرضية)
2. $\Gamma \vdash \neg P$ (فرضية)
3. $P, \neg P \vdash P \wedge \neg P$ (حسب مبدأ إدخال الرابط $\wedge$)
4. $\Gamma \vdash P \wedge \neg P$ (حسب **1** وَ**2** وَ**3**)
5. $P \wedge \neg P \vdash Q$ (حسب مبدأ Ex Falso Quodlibet)، حيث $Q \in \text{For}(\mathfrak{L}_1\text{Set})$
6. $\Gamma \vdash Q$ (حسب **4** وَ**5**)
7. $\text{Thm}_\Gamma = \text{For}(\mathfrak{L}_1\text{Set})$، لأن Q الصيغة كيفية.

من **7** ندرك أن النظرية Γ متناقضة. هذا الوضع لا يجب أن نصل إليه أبدًا، وعلينا التخلص من كل الفرضيات مؤدية إليه.

وعلى هذا الأساس لا توجد صيغة P تحقق **1** وَ**2**. انتهى البرهان.■

تُستخدم حجّة شائعة بكثرة في المنطق التجريبي العادي، وذلك لأننا نفترض تلقائيًا أنه يحقق ما يُسميه علماء المنطق بخاصية الانفصال، بيد أنها خاطئة تمامًا في المنطق CML، لأنه بكل بساطة لا يحقق خاصية الانفصال المشار إليها.

هذه الحجة تتمثل تحديدًا في التكافؤ التالي:

الصيغة P صحيحة أو الصيغة Q صحيحة $\Leftrightarrow$ الصيغة $P \vee Q$ صحيحة (*)

وهو تكافؤ صحيح في جميع أنواع المنطق التجريبي، لكنه خاطئ في المنطق CML، ويجب استبداله بالاستلزام التالي، الذي يُعدّ صحيحًا في CML:

الصيغة P صحيحة أو الصيغة Q صحيحة $\Leftarrow$ الصيغة $P \vee Q$ صحيحة

أعرض هنا مبدأين شهيرين غير قابلين للإقرار في نظرية ZFC، وهما:

فرض المستمر CH لكانتور. لا توجد مجموعة جزئية وغير منتهية X في $\mathbb{R}$ بحيث

$$\aleph_0 = \mathrm{card}\mathbb{N} < \mathrm{card}X < \mathfrak{c} = \mathrm{card}\mathbb{R} = 2^{\aleph_0}.$$

مسألة سوسلين (Suslin) SP. لتكن $(X, \leq)$ مجموعة مرتبة ترتيبًا كليًا، وتحقق الشروط التالية:

1. $(X, \leq)$ تامة؛ بمعنى أن كل مجموعة جزئية غير خالية ومحدودة في X تملك حدًا أعلى؛
2. $(X, \leq)$ كثيفة؛ بمعنى أنه من أجل كل $x \in X$ وكل $y \in X$ يحققان $x < y$، يوجد $z \in X$ بحيث $x < z < y$؛
3. $(X, \leq)$ غير محدودة؛ بمعنى أن العنصرين الأكبر والأصغر في X غير موجودين؛
4. $(X, \leq)$ تحقق شرط السلسلة القابلة للعد؛ بمعنى أن كل عائلة مجالات منفصلة مثنى مثنى في X قابلة للعد،

في هذه الحالة يوجد تشاكل مجموعات مرتبة بين $(X, \leq)$ وَ $(\mathbb{R}, \leq_{\mathbb{R}})$.

وهكذا، فعلماء الرياضيات أحرار تمامًا في مواقفهم حيال هذين المبدأين؛ فلكلٍّ منهم أن يسلّم بصحة أحدهما، أو بنفيه المنطقي، أو أن يهمله ببساطة.

لاحظوا أن CH وَSP لا صحيحان ولا خاطئان في ZFC، ومع ذلك فإن الصيغتين $CH \vee \neg CH$ وَ$SP \vee \neg SP$ صحيحتان في ZFC حسب مبدأ الثالث المرفوع. وهذا يخالف بوضوح التكافؤ (*).

في إطار العمل ضمن نظرية Γ، الجملة "نفرض أن P" تعني تحديدًا إضافة P كمسلمة غير منطقية جديدة إلى Γ، أما الجملة "نفرض أن P صحيحة" فتعني "نفرض أن P قابلة للبرهان في النظرية Γ"، بينما الجملة "نفرض أن P خاطئة" تعني "نفرض أن $\neg P$ قابلة للبرهان في النظرية Γ".

3. اتساق نظرية المجموعات المنقوصة مسلمة الاختيار

لقد أدّت المحاولات الرامية إلى بناء التحليل الرياضياتي على أسس صلبة إلى إدخال نظرية المجموعات وتطويرها من قِبل كانتور في نهاية القرن التاسع عشر. وقد ارتبط هذا الإنجاز الاستثنائي ارتباطًا وثيقًا بافتراض وجود مجموعات غير منتهية عصية على الفهم والاستيعاب. ومن هنا، لم يكن مستغربًا أن تنشأ في هذه النظرية الجديدة مفارقات تتعلق بمعنى "الوجود" في الرياضيات. ولعل أشهر هذه المفارقات مفارقة راسل (Russell)، ذات الطابع المنطقي المحض، والتي نشأت عن افتراض وجود مجموعة عناصرها هي على وجه التحديد تلك المجموعات التي لا تحتوي على نفسها كعنصر.

ولتجاوز الشكوك المثارة حول نظرية المجموعات والمفارقات المرتبطة بها، دعا هيلبرت إلى تأسيس الرياضيات على أسس جديدة صلبة، مقترحًا في الوقت ذاته نظريته للبرهان وسيلةً لتحقيق ذلك. من جانبه طالب براوير (Brouwer)، وللغاية عينها، ببناء الرياضيات على أسس المذهب الحدسي، الذي كان يؤمن به.

اقترح هيلبرت، الذي كان أشد تأثيرًا من براوير في أوساط علماء الرياضيات، أن تؤخذ كموضوعات للنظر الفكري ليس الأشياء الرياضياتية في حد ذاتها، وإنما العبارات حول هذه الأشياء. وهكذا ينبغي أن تكون موضوعات النظر الفكري المركزية جُملًا تُمثّل عبارات رياضياتية معينة. فعلى سبيل المثال، عند النظر في العبارة التي تقول إن "بعض الأشياء A ذات الخصائص المعطاة موجودة"، فلا نأخذ في عين الاعتبار الأشياء A التي تؤكد هذه الجملة وجودها، بل الجملة نفسها المكتوبة على هيئة تسلسل منته (كلمة) من حروف أبجدية لغة رياضياتية، والتي يفترض غالبًا أن تكون منتهية. وتُطبق طرق الاستدلال في المنطق على مثل هذه الجمل. ولا ينبغي أثناء هذه التطبيقات، النظر إلى محتوى الجمل، وإنما إلى بنيتها النحوية فقط. أخيرًا، يجب اعتبار مجموعة معينة من الجمل متسقة إذا لم يكن من الممكن أن نستنتج منها بواسطة طرق الاستدلال جملتين متناقضتين، الواحدة منهما هي نقيض الأخرى. يُعرف هذا المقترح في أبجديات أسس الرياضيات بمبدأ الصورنة أو الشكلنة (Formalism) الذي يُنسب إلى هيلبرت، ويُشكّل أساس الرياضيات الصورية (Formal mathematics).

وتجدر الإشارة هنا إلى رؤية جديدة ترافق ظهورها مع مقترح هيلبرت، مفادها أنه عندما يتمكّن أحدهم من إثبات اتساق مجموعة جمل تتضمن كائنات رياضياتية عصية على التصور الحدسي، مثل المجموعات غير المنتهية، أو تؤدي إلى وجودها، فإنه لا يثبت وجود هذه الكائنات على نحو ما يُفهم في مذهب المُثل الأفلاطوني، وإنما يثبت، بالأحرى، إمكانية التعامل مع الجمل الواصفة لهذه الكائنات دون أن يحدث ذلك ضررًا وتناقضًا في الفكر. وتُظهر هذه الرؤية الفرق الرئيس بين الصورنة والأفلاطونية.

كانت إحدى النقاط الأساسية في برنامج هيلبرت لتأسيس الرياضيات الصورية، إعلانه عن الوسائل المسموح باستخدامها في إثبات اتساق مجموعات المسلّمات المختلفة. فقد طالب باعتماد طرق معينة دون غيرها، أطلق عليها اسم "طرق الاستدلال الانتهائية"، وطالب، كما أُشير إليه آنفًا، باعتبار "مجموعات المسلّمات" و"مجموعات الاستنتاجات" المستندة إليها بمثابة "مجموعات كلمات" مصاغة بأبجدية منتهية. وقد استغرق هيلبرت وتلاميذه عشر سنوات كاملة، هي عقد العشرينيات من القرن العشرين (1920-1930)، لتأسيس النظرية الانتهائية، والتي اعتبرها أساسية لبناء ليس الرياضيات فحسب، بل وكل علم دقيق.

ولكي تستوعب الرياضيات الصورية كل الرياضيات العادية، ضمن هيلبرت برنامجه النقاط التالية:

1- تطوير ودراسة اللغات الرياضياتية القادرة على وصف كل مواضيع الرياضيات العادية،

2- تطوير ودراسة نظم البرهان في الرياضيات، وبخاصة المكتملة منها،

3- تطوير جمل مسلّمات مكتملة للرياضيات،

4- إثبات اتساق الرياضيات المنشأة بالخطوات الثلاث السابقة.

أما الشرط الصارم الذي طالب هيلبرت بضرورة مراعاته -وقد أشير إليه جزئيًا سابقًا- فهو أن تكون أبجديات اللغات الرياضياتية ونظم الاستدلال الرياضياتي وجمل المسلّمات كلها مجموعات تراجعية أو مجموعات قابلة للتحديد خوارزميًا أو مجموعات قابلة للإقرار خوارزميًا (أُثبت لاحقًا في نظرية التراجع أن هذه المجموعات الثلاث تُمثل مفهومًا واحدًا). كما اشترط أن تعتمد براهين الاتساق على الطرق الانتهائية وحدها.

لقد أُنجزت المهمة **1** الأولى بسهولة، حيث تم تطوير لغات نظرية المجموعات القادرة على وصف محتوى الرياضيات العادية، ومنها اللغة $\mathfrak{L}_1$Set التي أوردناها هنا. كما أثبت غودل أن جميع نظم الاستدلال الهيلبرتية HK مكتملة

دلاليًا، وهو ما مَثّل نجاح إنجاز المهمة 2. نتيجة غودل في هذا الشأن تُدعى في أبجديات الرياضيات بمبرهنة الاكتمال الدلالي لغودل. من ناحية أخرى، بيَّن غودل من خلال تقديمه لمبرهنتي عدم الاكتمال الأولى والثانية استحالة إنجاز المهمتين 3 وَ4، الأمر الذي أدى، فيما يقال، إلى إصابته وهيلبرت بالإحباط الشديد.

تُعدّ مبرهنة عدم الاكتمال الثانية لغودل مبرهنة استثنائية في الرياضيات، إذ لم تزعزع أسس الفكر الرياضياتي فحسب، بل مست أيضًا ركائز الفكر الغربي بأسره. وسنعرض فيما يلي نص المبرهنة في إطار النظرية ZF، وهي نظرية المجموعات المنقوصة مسلمة الاختيار.

لتكن $\Gamma \supseteq For(\mathfrak{L}_1Set)$ مجموعة صيغ تراجعية ومحتوية على مجموعة المسلّمات ZF، ولنرمز بالرمز Con_Γ إلى القضية "النظرية Γ متسقة". لا تبدو Con_Γ ظاهريًا منتمية إلى المجموعة $For(\mathfrak{L}_1Set)$، بيد أنها تبدو بوضوح منتمية إلى صيغ لغة المراقب. ومع ذلك استطاع غودل، وهذه إحدى براعاته، أن يُعبّر عن Con_Γ بواسطة صيغة منتمية إلى $For(\mathfrak{L}_1Set)$. وعلى هذا الأساس يمكننا أن نكتب $Con_\Gamma \in For(\mathfrak{L}_1Set)$.

مبرهنة عدم الاكتمال الثانية لغودل. إذا كانت Γ متسقة، فالصيغة Con_Γ غير قابلة للبرهان انطلاقًا من Γ، وبعبارة أخرى، $Con \notin Thm_\Gamma$ أو $\neg(\Gamma \vdash Con_\Gamma)$. وكحالة خاصة، $\neg(ZF \vdash Con_{ZF})$.

يمكن التعبير على نتيجة مبرهنة غودل بالصيغة

$$Con_\Gamma \Longrightarrow \neg(\Gamma \vdash Con_\Gamma)$$

والتي تكافئ، حسب مبدأ عكس النقيض، الصيغة

$$"\Gamma \vdash Con_\Gamma" \Longrightarrow "\Gamma \vdash \neg Con_\Gamma".$$

تُقرأ الصيغة الأولى لغويًا على النحو الآتي "إذا كانت النظرية Γ متسقة، فلا يمكن إثبات ذلك انطلاقًا من مسلّماتها"، وبالتالي "إذا تم إثبات اتساق النظرية Γ انطلاقًا من مسلّماتها، فهي حتمًا غير متسقة". بينما تقرأ الصيغة الثانية لغويًا كما يلي "إذا تم إثبات اتساق النظرية Γ انطلاقًا من مسلماتها، فيمكن أيضًا إثبات عدم اتساقها انطلاقًا من المسلّمات ذاتها". بمقدور القارئ المهتم بهذه المبرهنة وتاريخها العودة إلى المرجع [9].

لدينا كحالة خاصة

$$Con_{ZF} \Longrightarrow \neg(\Gamma \vdash Con_{ZF})$$

وهو الأمر الذي يهمنا هنا. وهكذا، لا يمكن إثبات اتساق النظرية ZF انطلاقًا من مسلّماتها، وهذا يُحزن بشدة علماء الرياضيات الراسخين في فهم أسس الرياضيات للسببين التاليين:

- إذا كانت النظرية ZF متسقة، فجميع نظريات الجبر والهندسة والتحليل المؤسسة بشكل سليم، وتستثنى منها تلك المعروضة في المجلات والكتب المشبوهة، تكون متسقة. وهذا يكشف عن الأهمية القصوى لقضية اتساق ZF.
- إذا كانت النظرية ZF متسقة، فنظرية المجموعات المطعّمة بمسلّمة الاختيار ZFC أيضًا متسقة. وقد شجعت هذه النتيجة، التي أثبتها غودل، علماء الرياضيات على استخدام مسلّمة الاختيار في أعمالهم.

ما يشكل عزاءً لعلماء الرياضيات هو أن مسلّمات النظرية ZF صحيحة استنادًا إلى المنطق التجريبي العادي؛ بمعنى أنها مستخلصة من مقولات فيزيائية واصفة لأحداث فيزيائية حقيقية. ويقول علماء الفيزياء إنه لا يمكن أن تنشأ عن مقولات فيزيائية صحيحة مقولات متناقضة، ذلك أنها تصبح والحالة هذه محل شك حقيقي، لأن الكون حسب رأيهم خال تماما من الأحداث الفيزيائية المتناقضة والمتضاربة. وفقًا لهذا التبرير، يتوقع علماء الرياضيات أن تكون النظرية ZF متسقة.

يرى عدد كبير من علماء رياضيات في مبرهنة الاتساق المصاغة بلغة المراقب دليلًا على اتساق النظرية ZF. بيد أن آخرين يرون أن هذه الحجة صالحة لجميع النظريات الرياضياتية باستثناء النظرية ZF، ذلك لأنه في الحالة الأخيرة تصير الحجة المشار إليها محتوية على عملية تفكير دائرية غير مقبولة. وفي جميع الحالات، يأمل علماء الرياضيات أن تحل هذه

المعضلة عن طريق ابتكار نظم برهان أكثر قوة من نظم البرهان المعهودة HK، LK، ND، TS، KE، DP (للاطلاع على هذه النظم يُرجى الرجوع إلى المرجع [5])، أو عن طريق بناء نموذج للنظرية ZF في إطار الرياضيات غير الكانتورية التي يجري تأسيسها في الوقت الحالي.

رابط الجزء الأول من المقال: https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n15/article15-3.pdf

رابط الجزء الثاني من المقال: https://www.ens-kouba.dz/magazine/pdf/n16/article16-6.pdf

مراجع

[1] J. Barwise (ed.), Handbook of Mathematical Logic, Studies in Logic, vol. 90, North Holland, 1977.

[2] A. Church, Introduction to Mathematical Logic, vol. 1. Princeton University Press, 1956.

[3] M. Foreman and A. Kanamori, Handbook of Set Theory, Springer, 2010.

[4] H. Herrlich, Axiom of Choice, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg 2006.

[5] A. Indrzejczak, Natural Deduction, Hybrid Systems and Modal Logics, Springer, 2010.

[6] T. Jech, Set Theory, The Third Millenium Edition, revised and expanded, Springer, 2003.

[7] S. C. Kleene, Introduction to Metamathematics, North Holland/Van Nostrand, Amsterdam, New York. 1952.

[8] Yu. I. Manin, A Course in Mathematical Logic for Mathematicians, Springer, 2010.

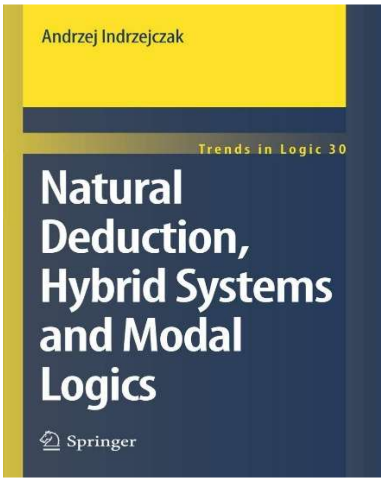
[9] E. Mendelson, Introduction to Mathematical Logic, CRC Press/Taylor & Francis Group, 2015.

[10] J. R. Shoenfield, Mathematical Logic, Addison-Wesley Pub., 1967.

[11] G. Tourlakis, Lectures in Logic and Set Theory, Vol. 1: Mathematical Logic, Cambridge University Press, 2003.

[12] G. Tourlakis, Lectures in Logic and Set Theory, Vol. 2: Set Theory, Cambridge University Press, 2003.

[13] R. L. Vaught, Set Theory :An Introduction, Birkhäuser, Boston, 1995.



تكنولوجيا وعلوم

البنية التحتية للزراعة الذكية: من المستشعرات إلى السحابة

الحبيب بن سي قدور
باحث بمركز تطوير الأقمار الصناعية، وهران
bensikaddour.elhabib@gmail.com

الزراعة الذكية هي مقاربة تكنولوجية حديثة تهدف إلى تحسين الإنتاج الزراعي وكفاءة استغلال الموارد، من خلال توظيف تقنيات رقمية متقدمة مثل إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI).

يهدف هذا المقال إلى إبراز أهمية الزراعة الذكية للجزائر، من خلال عرض مفهومها، وتطبيقاتها، والتحديات التي تواجهها.

1. المقدمة

تشهد الجزائر اليوم تحولًا جذريًا في رؤيتها للتنمية الاقتصادية، حيث تسعى إلى تنويع مصادر الدخل والحد من الاعتماد على المحروقات. وفي هذا الإطار، يبرز القطاع الزراعي كأحد أهم الرهانات الإستراتيجية للبلاد. إلا أن هذا القطاع الحيوي يواجه تحديات متزايدة بسبب التغيرات المناخية، وندرة الموارد المائية، وتراجع خصوبة الأراضي، وتزايد الطلب على الغذاء نتيجة النمو السكاني. وتزداد هذه التحديات تعقيدًا في ظل الاعتماد الكبير على الاستيراد لتلبية الاحتياجات الغذائية، مما يهدد بشكل مباشر الأمن الغذائي الوطني، ويجعل من تحديث القطاع الزراعي أمرًا لا يحتمل التأجيل.

في هذا الإطار، تبرز الزراعة الذكية (Smart Agriculture) باعتبارها خيارًا إستراتيجيًا ضروريًا للجزائر، إذ تمثل تحولًا جذريًا في المفهوم التقليدي للإنتاج الزراعي. تقوم هذه المقاربة الحديثة على إدماج التكنولوجيات الرقمية، والأنظمة المدمجة، والذكاء الاصطناعي، لمراقبة العمليات الزراعية وتحسينها في الزمن الحقيقي. وتهدف الزراعة الذكية إلى تحقيق إنتاجية أعلى، بتكاليف أقل، وبكفاءة أكبر في استغلال الموارد الطبيعية، مع دعم مسار الاستدامة البيئية، وتعزيز الاكتفاء الذاتي، وتقليل التبعية للواردات الغذائية.

2. مفهوم الزراعة الذكية

تُعدّ الزراعة الذكية مفهومًا حديثًا يقوم على الاعتماد على البيانات (Data-Driven) في توجيه العمليات الزراعية وتحسينها. فهي تسعى إلى استغلال البيانات المجمّعة من مصادر متعددة بهدف فهم الأنشطة الزراعية بشكل أعمق، وتوقّع تطوراتها، وتنظيمها بطريقة أكثر كفاءة ودقة. تشمل هذه البيانات معلومات آنية وتاريخية، يتم جمعها باستمرار، وتتعلق أساسًا بـ [4]:

- **الظروف المناخية**: مثل درجة الحرارة، والرطوبة، ومعدل هطول الأمطار، وسرعة الرياح واتجاهها.
- **خصائص التربة**: من رطوبة، وملوحة، ودرجة الحموضة (pH)، ونسبة المواد العضوية.
- **مراحل نمو المحاصيل**: بما في ذلك معدلات النمو، والمؤشرات الحيوية للحالة الصحية، ومظاهر الإجهاد البيئي أو الغذائي.
- **استهلاك الموارد**: كميات المياه المستعملة في الري، ومعدلات استخدام الأسمدة والمبيدات، واستهلاك الطاقة في مختلف مراحل الإنتاج.

3. تطبيقات الزراعة الذكية

من خلال تحليل البيانات الزراعية باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والخوارزميات التنبؤية، يمكن اتخاذ قرارات زراعية ذكية ومدروسة، قائمة على أسس علمية. وتشمل أبرز هذه التطبيقات العملية ما يلي [5]:

- **الريّ الذكي** (Smart Irrigation): عبر استخدام مجسّات رطوبة التربة وربطها بالبيانات المناخية، يتم تحديد الوقت والكمية المثلى لري النباتات، مما يضمن تقنين استهلاك المياه وتفادي الهدر دون التأثير على نمو المحاصيل.
- **رشّ الأسمدة الذكي** (Smart Fertilization): بفضل أنظمة الاستشعار والتحليل، تُحدّد حاجات النبات بدقة من العناصر المغذية، وتُوزّع الأسمدة بطريقة موضعية ومضبوطة، ممّا يُقلل التكاليف، ويُحافظ على توازن التربة ويمنع تلوّثها.
- **المكافحة الذكية للآفات** (Smart Pest Control): من خلال الذكاء الاصطناعي والتصوير الطيفي، يمكن اكتشاف الأمراض والآفات في مراحلها المبكرة، مما يسمح بالتدخل العلاجي في الوقت المناسب، وبشكل موجّه للمنطقة المصابة فقط.
- **المراقبة المناخية الذكية** (Microclimate Monitoring): باستخدام أجهزة استشعار تقيس درجة الحرارة، والرطوبة، وشدة الإضاءة، يمكن تعديل ظروف النمو تلقائيًا، خاصة في الزراعة داخل البيوت البلاستيكية.
- **البذر الذكي** (Precision Seeding): اعتمادًا على المعطيات الدقيقة حول التربة، والمناخ، ونوع المحصول، يمكن تحديد التوقيت والمكان المثالي لغرس كل بذرة، مما يُعزّز من معدلات الإنبات، ويُحسّن جودة الإنتاج، ويُقلل من هدر البذور والموارد [3].

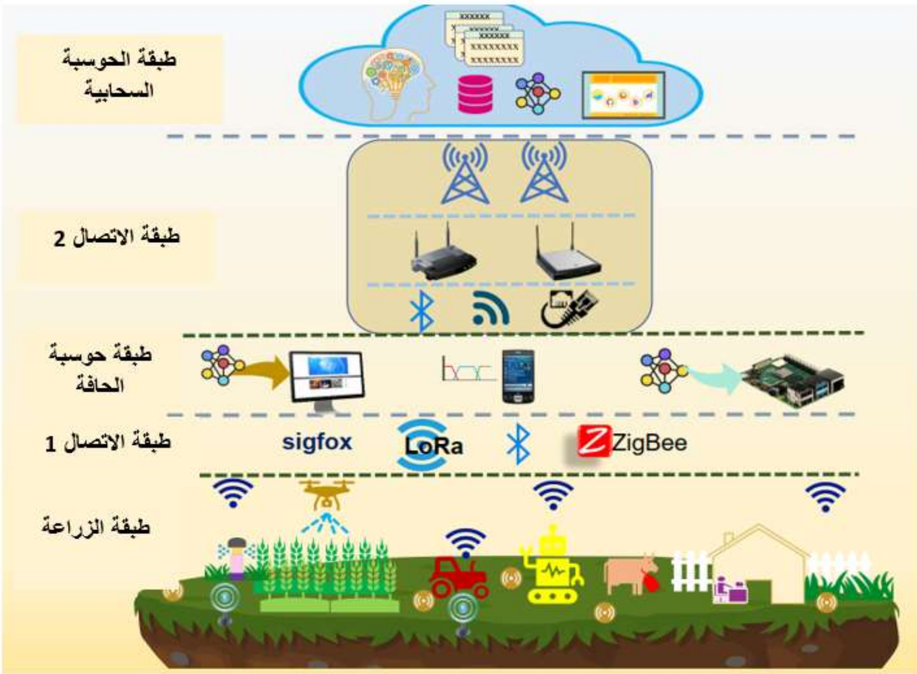
4. البنية التحتية التقنية للزراعة الذكية

الزراعة الذكية تعتمد على نظام متكامل من الطبقات التكنولوجية المترابطة، كما هو موضّح في الشكل 1. تتكوّن هذه البنية التحتية من خمس طبقات رئيسية تعمل معًا لضمان جمع البيانات، ومعالجتها، واتخاذ القرارات.

1.4. طبقة الزراعة (Agriculture Layer)

تُمثّل طبقة الزراعة القاعدة الأساسية لنظام الزراعة الذكية، حيث تتضمّن التكنولوجيات التالية:

- **تقنيات الاستشعار**: تُستخدم مستشعرات لقياس المتغيرات البيئية اللازمة. يوضّح الشكل 2 أنواع أجهزة الاستشعار المستخدمة في نظم الزراعة الذكية.
- **رسم الخرائط والتصوير**: تعتمد هذه التقنية على الأقمار الصناعية، والطائرات بدون طيّار، والكاميرات عالية الدقة لإنشاء خرائط دقيقة تُظهر حالة الأراضي، وتوزيع المحاصيل، وتحديد المناطق التي تعاني من نقص المغذيات أو الأمراض. يُمكّن التصوير متعدّد الطيف من اكتشاف المشكلات المبكرة، مثل الجفاف أو الآفات.
- **الروبوتات والأتمتة**: تُستخدم الروبوتات الزراعية لأتمتة المهام مثل الزراعة، والحصاد، وإزالة الأعشاب الضارة، والرش بالمبيدات. هذه التكنولوجيا تقلّل الاعتماد على العمالة اليدوية، وتزيد الكفاءة، وتقلل التكاليف، مع السماح بالعمل في ظروف صعبة أو ليلية.

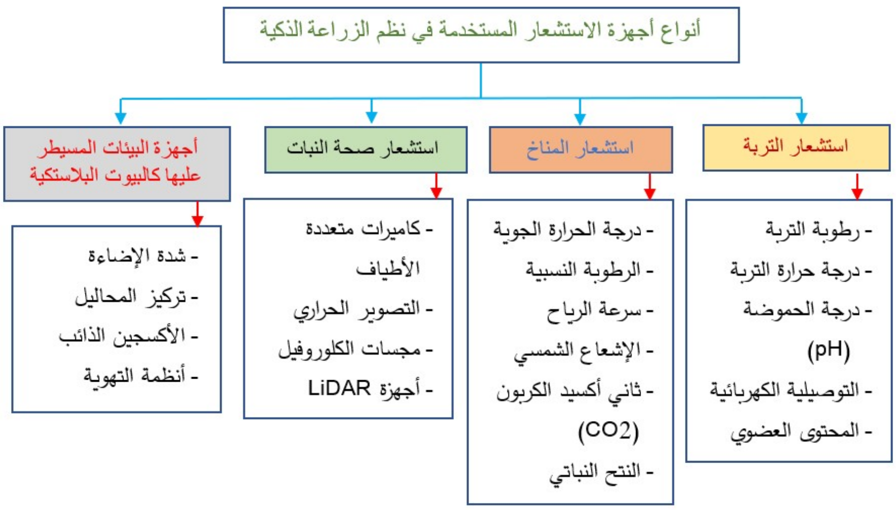


الشكل 1. الهيكلية الطبقية لنظام الزراعة الذكية [2]

2.4. طبقة الاتصال 1 (Connectivity Layer)

تربط تقنيات الاتصال اللاسلكي الأجهزة في طبقة الزراعة بالأنظمة الأعلى، ممّا يضمن نقل البيانات بكفاءة. تُقسّم هذه التقنيات إلى فئتين رئيسيتين بناءً على المدى:

- **ذات المدى القصير**(Short Range): تشمل تقنيات مثل البلوتوث (Bluetooth)، الواي فاي (Wi-Fi)، وَزيجبي (ZigBee)، التي تُستخدم للاتصال على مسافات قصيرة (غالبًا أقل من 100 متر) داخل الحقول أو المزارع الصغيرة، مع توفير سرعات عالية واستهلاك طاقة معتدل.
- **ذات المدى الطويل** (Long Range): تشمل تقنيات مثل سيج فوكس (SigFox)، LoRaWAN، وNB-IoT، التي تُمكّن الاتصال عبر مسافات طويلة (تصل إلى عشرات الكيلومترات في المناطق الريفية)، مع استهلاك طاقة منخفض ودعم لتطبيقات الزراعة النائية.



الشكل 2. أنواع أجهزة الاستشعار المستخدمة في نظم الزراعة الذكية

3.4. طبقة حوسبة الحافة (Edge Computing Layer)

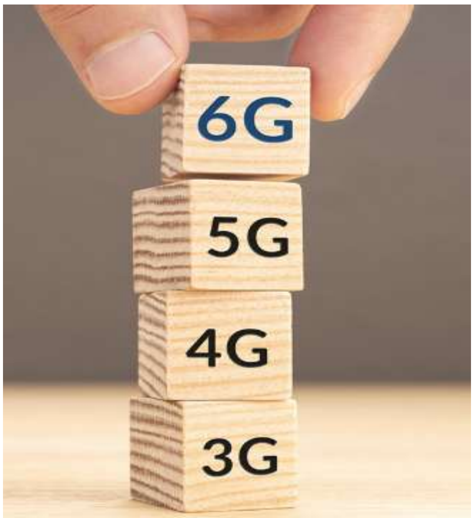
تُمثّل طبقة حوسبة الحافة مرحلةً وسيطة تُعالَج البيانات المجمّعة من أجهزة الاستشعار في طبقة الزراعة محليًا، قبل إرسالها إلى طبقة الحوسبة السحابية. وتتميّز هذه الطبقة بالخصائص التالية:

- **المعالجة الفورية**: تُستخدم أجهزة مثل الحواسيب الصغيرة أو الوحدات المدمجة لتحليل البيانات في الوقت الفعلي، مما يُتيح اتخاذ قرارات سريعة، مثل ضبط الري بناءً على رطوبة التربة.
- **تقليل الاعتماد على الحوسبة السحابية**: تُخفّف الضغط على شبكات الاتصال عن بُعد من خلال معالجة البيانات محليًا، مما يُحسّن الكفاءة ويقلّل التأخير.

4.4. طبقة الاتصال 2 (Connectivity Layer)

تُمثّل طبقة الاتصال 2 حلقة الوصل بين طبقة الحوسبة الحافة وطبقة الحوسبة السحابية، وتُعدّ عنصرًا محوريًا في بنية أنظمة الزراعة الذكية.

تضطلع هذه الطبقة بدور أساسي يتمثّل في نقل البيانات المُعالَجة جزئيًا على مستوى الحافة إلى السحابة، حيث تُخزَّن وتُحلَّل بشكل معمق لدعم اتخاذ قرارات زراعية إستراتيجية. تعتمد هذه الطبقة بشكل رئيسي على الاتصال عبر مختلف أجيال الإنترنت الجوّال كما هو موضّح في الشكل 3.



الشكل 3. تطور أجيال الاتصال الجوال المستخدمة في طبقة الاتصال 2

5.4. طبقة الحوسبة السحابية (Cloud Computing Layer)

تُعدّ طبقة الحوسبة السحابية الطبقة العليا والدماغ المركزي لنظام الزراعة الذكية، والتي تتيح ما يلي:

- **معالجة البيانات الضخمة**: تحليل مستمر لبيانات الحساسات والمعدات الذكية، وذلك باستخدام خوارزميات الذكاء الاصطناعي والتعلّم الآلي لاستخلاص المؤشرات واتخاذ قرارات دقيقة.
- **تخزين مركزي وآمن**: حفظ سجلات كاملة لحالة التربة، والمناخ، والإنتاج، وصحة المحاصيل والحيوانات.
- **إتاحة الوصول عن بُعد**: تمكين المزارعين والأنظمة الأخرى من الوصول إلى البيانات في أي وقت ومن أي مكان.

تُعتبَر منصات الحوسبة السحابية، مثل خدمات أمازون ويب (AWS) ومنصة جوجل السحابية (Google Cloud)، أدوات حيوية في نظام الزراعة الذكية، حيث تتيح معالجة البيانات الضخمة وتخزينها بأمان مع توفير إمكانية الوصول عن بُعد. بالإضافة إلى ذلك، يمكن الاستفادة من حلول مجانية أو مفتوحة المصدر، مثل InfluxDB وجرافانا (Grafana)، التي توفر خيارات فعّالة من حيث التكلفة لجمع وتحليل البيانات الزمنية، مما يجعلها مناسبة للمزارعين ذوي الموارد المحدودة.

5. التحديات التي تواجه الزراعة الذكية

رغم أن الزراعة الذكية تُقدّم العديد من الفوائد، فإن اعتمادها لا يزال يُشكّل تحديًا بالنسبة إلى كثير من المزارعين. فيما يلي نعرض أبرز العقبات التي تُعيق تطوّرها.

1.5. التكاليف الأولية المرتفعة

تختلف التكاليف الأولية بدرجة كبيرة حسب نوع الأنظمة المستخدَمة، ومدى تعقيدها، والتكنولوجيا المعتمَدة فيها. فكلما زاد تعقيد النظام واعتمد على تقنيات متقدمة، ارتفعت التكاليف الأولية المرتبطة بتصميمه وتصنيعه وتثبيته. لذلك، قد تُشكّل هذه التكاليف عائقًا أمام التبني الواسع، لا سيما في البلدان النامية أو لدى المؤسسات ذات الموارد المحدودة.

فعلى سبيل المثال، يتطلّب استخدام الطائرات بدون طيّار في مجالات مثل الزراعة الذكية أو المراقبة البيئية استثمارات أولية تشمل اقتناء هذه الطائرات، وتجهيزها بكاميرات وأجهزة استشعار متطورة، فضلًا عن تكاليف التدريب على تشغيلها وصيانتها. قد تكون هذه التكاليف مرتفعة بالنسبة إلى صغار المزارعين أو الهيئات المحلية، ممّا يحدّ من انتشار هذه التقنية في بعض المناطق.

لذلك، يُعدّ من الضروري العمل على تطوير حلول بديلة منخفضة التكلفة، سواء ضمن مشاريع التخرج الجامعية أو من خلال الشركات الناشئة والمتخصصة. وتُمثّل هذه المبادرات وسيلة فعالة لنقل التكنولوجيا وتكييفها مع الاحتياجات والقدرات المحلية. فعلى سبيل المثال، يُوضّح الشكل 4 نموذجًا لمحطتي استشعار مناخي وزراعي منخفضتي التكلفة، يمكن استخدامهما في تطبيقات الزراعة الذكية أو مراقبة الظروف المناخية، مع الحفاظ على مستوى مقبول من الدقة والموثوقية.

الشكل 4. نماذج لمحطات استشعار جوية وبيئية منخفضة التكلفة.

2.5. محدودية الوصول في المناطق الريفية

تُمارَس الزراعة غالبًا في مناطق ريفية نائية، حيث يكون الوصول إلى الكهرباء أو الإنترنت محدودًا. وبدون هذه الموارد الأساسية، يصبح من الصعب تنفيذ تقنيات الزراعة الذكية ميدانيًا، ممّا يُبطئ من وتيرة انتشارها، حتى في المناطق الزراعية الواعدة.

3.5. نقص المعرفة التقنية

يفتقر العديد من المزارعين، لا سيما في الدول النامية، إلى المهارات اللازمة لاستخدام هذه التقنيات الحديثة. ويُعزى ذلك إلى غياب الدعم، وضعف المعلومات، وندرة فرص التدريب المناسب. ونتيجة لذلك، غالبًا ما يُفضّل هؤلاء المزارعون التمسك بالأساليب الزراعية التقليدية التي يجيدونها ويتعاملون معها بثقة أكبر.

4.5. المخاطر المتعلقة بأمن البيانات

تعتمد الزراعة الذكية على جمع البيانات ونقلها، ممّا يجعل مسألة تأمين هذه البيانات أمرًا بالغ الأهمية. ففي غياب تدابير أمان قوية، توجد مخاطر التعرض إلى القرصنة أو محاولات التلاعب بالأنظمة، وهو ما قد يؤدي إلى أضرار على المحاصيل والإنتاج الزراعي.

6. التحول نحو الزراعة الذكية في الجزائر

لم يعد التحول نحو الزراعة الذكية في الجزائر مجرّد خيار تقني أو توجّه مستقبلي، بل أصبح ضرورة إستراتيجية تُمليها التحديات المناخية والاقتصادية المتزايدة، وعلى رأسها شحّ الموارد المائية، وتدهور الأراضي، وتقلبات المناخ، إضافة إلى تزايد الطلب المحلي على الغذاء [1].

ويُحتّم هذا الواقع على الجزائر تبنّي سياسات فاعلة لتحديث القطاع الزراعي، وذلك من خلال تشجيع البحث العلمي التطبيقي في مجال الزراعة الذكية، وربط مخرجاته مباشرة بالممارسات الفلاحية الميدانية، عبر شراكات عملية مع الفلاحين. كما يقتضي هذا التحول تطوير بنية تحتية رقمية متكاملة، تتضمن تغطية شبكية فعّالة، والاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، وإنشاء مراكز بيانات محلية لدعم عمليات المعالجة والتخزين.

1.6. إطار مرجعي تقني للزراعة الذكية في الجزائر

يُعدّ إنشاء إطار مرجعي وطني للزراعة الذكية خطوة ضرورية وملحّة لتوحيد الجهود، وتنسيق المبادرات البحثية والميدانية، وضمان التوافق بين الأنظمة والتطبيقات. هذا الإطار يجب أن يُحدّد المعايير التقنية المعتمدة، ويُوفّر نماذج هيكلية موحّدة للبنية التحتية والبيانات، ويُسهّل التكامل بين المشاريع، سواء أكانت أكاديمية أو تجارية، مما يُسهم في تسريع الانتقال من التجارب المحدودة إلى تطبيقات وطنية واسعة النطاق.

- تجنّب التشتت والتكرار بين المشاريع عبر تنظيم الجهود ضمن رؤية وطنية موحدة.
- **توحيد بروتوكولات جمع البيانات**: من خلال وضع معايير موحدة لأجهزة الاستشعار (مثل تنسيقات البيانات JSON أو CSV) لضمان التوافق بين الأنظمة.
- **تطوير قاعدة بيانات وطنية**: إنشاء قاعدة بيانات مركزية لتخزين بيانات التربة والمناخ والمحاصيل، مع إمكانية الوصول للراغبين عبر منصات سحابية، مع مراعاة متطلبات الأمن السيبراني.
- **تعزيز التوافق البيني** (Interoperability): اعتماد بروتوكولات اتصال مفتوحة مثل MQTT أو CoAP لتيسير الربط بين أجهزة IoT والمنصات السحابية.
- **خفض التكاليف**: من خلال تطوير حلول منخفضة التكلفة تعتمد على تقنيات مفتوحة المصدر، مما يُسهّل اعتمادها، لاسيما من قِبل صغار المزارعين.

7. خاتمة

في ظل تصاعد التحديات المناخية، مثل شحّ الموارد المائية وتدهور خصوبة التربة، إلى جانب الضغوط الاقتصادية الناتجة عن الاعتماد على الاستيراد الغذائي، تبرز الزراعة الذكية كحل تقني متقدم قادر على تعزيز الكفاءة الزراعية ودعم

التنمية في الجزائر. ومن خلال توظيف تقنيات متقدمة مثل إنترنت الأشياء، والذكاء الاصطناعي، وبيانات الأقمار الصناعية، يصبح من الممكن تحسين إنتاجية المحاصيل الزراعية وترشيد استهلاك الموارد الحيوية، وعلى رأسها المياه.

إن نجاح تبني الزراعة الذكية يتطلب استثمارات في البنية التحتية الرقمية، وتطوير منصات حوسبة سحابية، بالإضافة إلى إطلاق برامج تدريبية لتمكين المزارعين من استخدام هذه التقنيات. كما أن إرساء أطر تنظيمية مرجعية موحدة يُعدّ ضرورة لا مناص منها لضمان التكامل بين مختلف الأنظمة والتطبيقات، وتوحيد الجهود المبذولة.

إن المضيّ بقوة وإرادة نحو هذا التحول يُعدّ خيارًا استراتيجيًا مباشرًا لضمان مستقبل الجزائر، واستقرارها الغذائي والاقتصادي، وتعزيز قدرتها على مواجهة التحديات المناخية والاقتصادية المتصاعدة.

المراجع

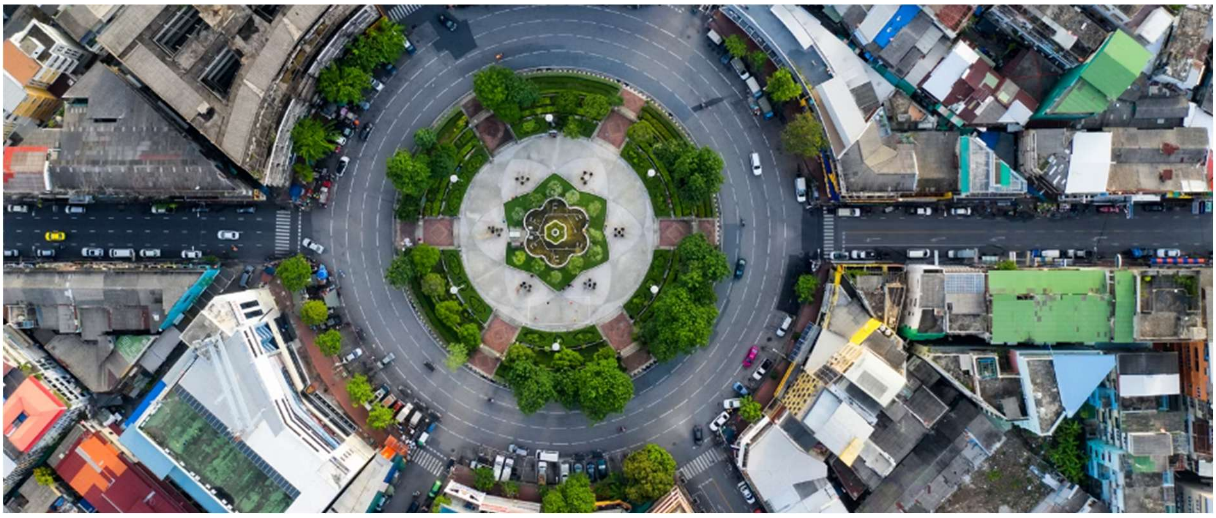
[1] بوعبدلي، ياسين وغربي، رشيد، الزراعة الذكية كخيار إستراتيجي لتحقيق الأمن الغذائي في الجزائر. Beam Journal of Economic Studies، 7(1)، 308-327، (2023).

[2] Indira, P., Arafat, I. S., Karthikeyan, R., Selvarajan, S., & Balachandran, P. K. Fabrication and investigation of agricultural monitoring system with IoT & AI, *SN Applied Sciences*, 5(12), 322, (2023).

[3] Mohamed, E. S., Belal, A. B., Abd-Elmabod, S. K., El-Shirbeny, M. A., Gad, A., & Zahran, M. B. Smart farming for improving agricultural management, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(3), 971-981, (2021).

[4] Paul, K., Chatterjee, S. S., Pai, P., Varshney, A., Juikar, S., Prasad, V., Bhadra, B. & Dasgupta, S. Viable smart sensors and their application in data driven agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture,* 198, 107096, (2022).

[5] Šarauskis, E., Kazlauskas, M., Naujokienė, V., Bručienė, I., Steponavičius, D., Romaneckas, K., & Jasinskas, A. Variable rate seeding in precision agriculture: Recent advances and future perspectives, *Agriculture*, 12(2), 305, (2022).



حركة جسم في علبة

إبراهيم سعد الله

أستاذ (متقاعد) بقسم العلوم الفيزيائية، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

brsadallah@gmail.com

1. تمهيد

تهدف هذه المساهمة إلى عرض تطبيق لمسلّمات الكم التي وردت في المقال تاريخ ميكانيكا الكم. والدافع هو أن الجانب النظري مجرد لا تنجلي حقيقته مباشرة، ومن ثمّ فهو يحتاج لتطبيقات تكشفه. لهذا السبب اخترنا مسألة "حركة جسم في علبة" لدراستها من خلال مسلّمات الكم (مبادئ ميكانيكا الكم). ستبين لنا هذه الدراسة بوجه خاص حقيقة الجُزَيْء والذرة والنواة وحقائق لا يمكن الوصول إليها إلا من خلال مسلّمات الكم.

قبل الشروع في المسألة، نسرد مسلّمات الكم الأربع ومسلمات بورن (Born) الثلاث التي تحدد معنى الدالة ψ.

المسلّمة الأولى:

كل كائن فيزيائي $A(\vec{r},\vec{p},t)$ يوافقه مؤثر في فضاء هلبرتي $\mathcal{O}$ يحقق معادلة القيم الذاتية/الخاصة:

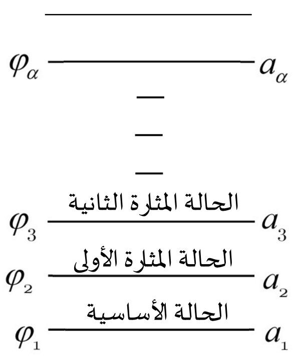
$$\mathcal{O}\varphi_\alpha = a_\alpha \varphi_\alpha \qquad (1)$$

حيث $\mathcal{O}$ هو المؤثر الذي يوافق الكائن الفيزيائي؛ حلها هو من الشكل:

$\{a_\alpha\} = a_1$ ، a_2 ، ... ، a_α ، ... هي أعداد تسمى القيم الذاتية المتاحة للمؤثر $\mathcal{O}$، وتشكل طيفه.

$\{\varphi_\alpha\} = \varphi_1$ ، φ_2 ،... ، φ_α ، ... هي دوال تسمى الدوال الذاتية للمؤثر $\mathcal{O}$، وتشكل الأساس المنبثق عليه.

يفضل البعض عرض حل معادلة القيم الذاتية على الصورة الجانبية، الشكل 1.



الشكل 1: يبين الحالات المتاحة للجملة.

المسلّمة الثانية: إذا قمت بقياس للكائن الفيزيائي $A(\vec{r},\vec{p},t)$ لجملة ما، ستشاهد إحدى القيم الذاتية $\{a_\alpha\} = a_1$ ، a_2 ، ... ، a_α ، ... للمؤثر $\mathcal{O}$ فحسب.

المسلّمة الثالثة: تشغل الجملة جميع الحالات المتاحة لها في وقت واحد، باحتمال $|c_1(t)|^2$ للحالة الأساسية، و $|c_2(t)|^2$ للحالة الثانية، و $|c_3(t)|^2$ للحالة الثالثة ... ، و $|c_\alpha(t)|^2$ للحالة α ...، حيث

$$\sum_\alpha |c_\alpha(t)|^2 = 1 \qquad (2)$$

وحيث الدالة التي تصف حالة الجملة في اللحظة t هي

$$\psi(\vec{r},t) = \sum_{\alpha=1} c_\alpha(t)\varphi_\alpha(\vec{r}) \qquad (3)$$

على أن

$$\int d^3r \left|\psi\left(\vec{r},t\right)\right|^2 = 1 \tag{4}$$

وهو أحد مسلمات بورن.

ملاحظة: لو كررنا قياس الكائن مرارًا، لحصلنا على جدول يتكون من أعمدة، يُمثّل كلُّ عمود منها نتائج القياس المرتبطة بكل قيمةٍ ذاتية. فما هو مقدار الكائن الفيزيائي إذًا؟ يُعرّف مقدار هذا الكائن بكونه القيمة المتوسطة /المتوقعة لنتائج كل عمود، أي القيمة المتوسطة لكل قيمة ذاتية، وتُعرّف بالعلاقة

$$\left\langle A\right\rangle_\psi = \int d^3r\,\psi^* \mathcal{O} \psi \tag{5}$$

على أن الشرط (4) محقق.

المسلمة الرابعة: معادلة الحركة لجملة مؤثر طاقتها $H\left(\vec{r},\vec{p},t\right)$ هي معادلة شرودنجر (Schrödinger)

$$i\hbar\frac{\partial\psi}{\partial t} = H\psi \tag{6}$$

هذه معادلة تحققها الدالة ψ التي تصف حالة الجملة.

مسلّمات بورن (Born)

المسلّمة الأولى: كافة المعلومات عن الجملة التي مؤثر طاقتها $H\left(\vec{r},\vec{p},t\right)$ منطوية في الدالة $\psi\left(\vec{r},t\right)$.

المسلّمة الثانية: كثافة احتمال العثور على الجملة عند $\vec{r}$ في اللحظة t هو

$$p\left(\vec{r},t\right) = \left|\psi\left(\vec{r},t\right)\right|^2 \equiv \psi^*\psi \tag{7}$$

انظر كيف ربط بورن تواجد الجملة في مكان وفي لحظة بالدالة؛ فأجب عن السؤال: أين الجملة الآن؟

المسلّمة الثالثة: احتمال العثور على الجملة في d^3r عند $\vec{r}$ حول $\vec{r}$ في اللحظة t هو

$$d^3r\, p\left(\vec{r},t\right) = d^3r\left|\psi\left(\vec{r},t\right)\right|^2 \equiv d^3r\,\psi^*\psi \tag{8}$$

والإحصاء يقضي بالعلاقة

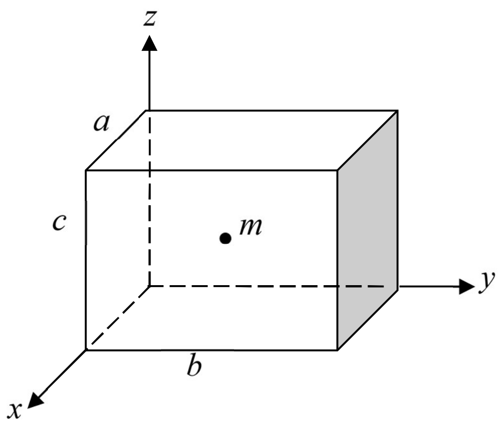
$$\int d^3rp\left(\vec{r},t\right) = \int d^3r\left|\psi\left(\vec{r},t\right)\right|^2 \equiv \int d^3r\psi^*\psi = 1 \tag{9}$$

التكامل يجري في كل الفضاء، تُعبر العلاقة (9) على أن الجملة لابد من أن تكون في مكان ما في الفضاء.

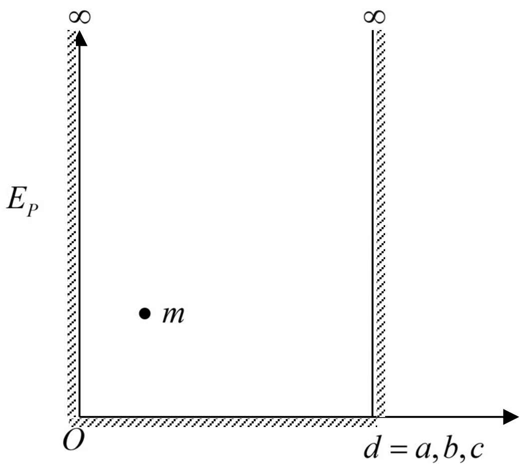
2. الشروع في حل المسألة

تطبيق مسلّمات الكم على مسألة حركة جسم في علبة: يُبيّن الشكل 2 علبة متوازية المستطيلات أضلاعها a، b، c وهي تحتوي الجسم. مسألة حركة جسم في علبة تشبه حركة إلكترون في ذرة ونكليون في نواة وحركة إلكترون في رابطة كيميائية وغيرها. ولهذا نلفت الانتباه إلى أنه سيكون لنتائجها دور مهم في فهم بنية تلك الجمل. يوضحّ الشكل 2 معنى حصر الجسم في العلبة، حيث تُشكّل الجدران قوة رادّة هائلة لا يستطيع تجاوزها، في حين تكون طاقة كمون الجسم بين الجدران معدومة. لذلك نقول إن الجسم بين الجدران طليق. وبناءً على المسلّمة الرابعة، فإن الدالة التي تصف حركة جسم تحقق معادلة شرودنجر:

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi_\alpha = H\psi_\alpha \tag{10}$$



الشكل 2: يبين حركة جسم في علبة.



الشكل 3: يبين طاقة كمون جسم محصور في علبة.

حيث $H = H(\vec{r},\vec{p},t)$ هو مؤثر طاقة الجسم في العلبة، في هذه المسألة مستقل عن الزمن. عندئذ يمكننا فصل متغير الزمن عن متغير الموضع في الدالة ψ_α، فنعرضها على الصورة

$$\psi_\alpha(\vec{r},t) = \varphi_\alpha(\vec{r}) f_\alpha(t) \tag{11}$$

إدخال ذلك في معادلة شرودنجر، يجعلها تأخذ الصورة

$$i\hbar\varphi_\alpha \frac{df_\alpha}{dt} = f_\alpha H\varphi_\alpha \tag{12}$$

وقسمتها على $\psi_\alpha = \varphi_\alpha f_\alpha$ ينتج العلاقة

$$i\hbar\frac{1}{f_\alpha}\frac{df_\alpha}{dt} = \frac{1}{\varphi_\alpha}H\varphi_\alpha \tag{13}$$

يلاحظ أن الطرف الأيسر دالة متعلقة بالزمن فحسب، والطرف الأيمن دالة متعلقة بالموضع فحسب، مهما كان الزمن وموضع الجسم. هذا لا يصح إلا إذا كان الطرفان يساويان نفس الثابت E_α، لأن وحدته طاقة. من ثم يصح أن نكتب العلاقة (13) على الصورة

$$i\hbar\frac{1}{f_\alpha}\frac{df_\alpha}{dt} = \frac{1}{\varphi_\alpha}H\varphi_\alpha = E_\alpha \tag{14}$$

من ثم المعادلتان

$$i\hbar\frac{df_\alpha}{dt} = E_\alpha f_\alpha \tag{15}$$

$$H\varphi_\alpha = E_\alpha\varphi_\alpha \tag{16}$$

المعادلة الثانية ما هي إلا ما نصّت علية المسلّمة الأولى، معادلة القيم الخاصة لمؤثر طاقة الجملة. سنناقشها للتو. أما المعادلة الأولى فحلها هو

$$f_\alpha(t) = f_\alpha(0)e^{-iE_\alpha t/\hbar} \tag{17}$$

والدالة التي تصف حركة جسم في علبة تصير

$$\psi_\alpha(\vec{r},t) = \varphi_\alpha(\vec{r})\, e^{-iE_\alpha t/\hbar} \tag{18}$$

نذكر بأن هذه الصورة للدالة نتجت عن عدم تعلق H بالزمن. لذلك الدالة (18) تصف حالة جملة مؤثر طاقتها H مستقل عن الزمن مهما كان شكله.

ما هي صفة الدالة (18) في سياق بورن؟ إذ قال "إن احتمال وجود الجسم عند $\vec{r}$ في d^3r حول $\vec{r}$ في اللحظة t هو

$$d^3r\,p_\alpha(\vec{r},t)=d^3r\left|\psi_\alpha(\vec{r},t)\right|^2=d^3r\,\psi_\alpha{}^*(\vec{r},t)\psi_\alpha(\vec{r},t)=d^3r\left|\varphi_\alpha(\vec{r})\right|^2=d^3r\,p_\alpha(\vec{r}) \quad (19)$$

تبين هذه القاعدة جليًا أن احتمال الوجود مستقل عن الزمن. يعني سواءً راقبنا الجسم الآن أو بالأمس أو غدًا، النتيجة واحدة: سنجده يتحرك بالطاقة E_α وتصفه $\varphi_\alpha(\vec{r})$. لهذا السبب سُمّيت الدالة (18)، "دالة تصف الحالات المستقرة". انظر كيف أسبغ الدالة التي صورتها المبينة في العلاقة (18) بالحالات المستقرة. إن الدالة التي تصف حالة إلكترون في ذرة لها نفس السبغة، إذ بينت التجارب أن له طاقات محددة E_α.

3. البحث عن الدالة الخاصة للمؤثر H، φ_α

يُعتبر الجسم في العلبة طليقًا، (خاليًا من أي تأثير كان، $E_P=0$)، ويتلقى تأثيرًا عندما يصل الجدار فيرده ($E_P=\infty$ عند الجدران). لذلك نُمثل طاقة كمون الجسم المحصور في العلبة بالتخطيط في الشكل 3. وعليه مؤثر طاقته هو طاقة حركته فقط ما دام في العلبة

$$H=H(\vec{r},\vec{p},t)=\frac{p^2}{2m}+E_P=\frac{p^2}{2m}=\frac{p_x^2}{2m}+\frac{p_y^2}{2m}+\frac{p_z^2}{2m}=H_x+H_y+H_z \quad (20)$$

حيث $p_x=-i\hbar\frac{\partial}{\partial t}$، ... و $H_x=\frac{p_x^2}{2m}=-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}$. وهكذا دواليك. واعتباره في العلاقة (16)، يفضي للنتيجة

$$(H_x+H_y+H_z)\varphi_\alpha=E_\alpha\varphi_\alpha \quad (21)$$

ما دام مؤثر الطاقة على صورة مجموع فنلتمس الدالة على شكل مضروب (وهي قاعدة)، على الصورة

$$\varphi_\alpha(\vec{r})=\varphi_\alpha(x,y,z)=\varphi_{\alpha x}(x)\varphi_{\alpha y}(y)\varphi_{\alpha z}(z) \quad (22)$$

إدخال ذلك في العلاقة (22)، يفضي للنتيجة

$$\varphi_{\alpha y}\varphi_{\alpha z}H_x\varphi_{\alpha x}+\varphi_{\alpha x}\varphi_{\alpha z}H_y\varphi_{\alpha y}+\varphi_{\alpha x}\varphi_{\alpha y}H_z\varphi_{\alpha z}=E_\alpha\varphi_{\alpha x}\varphi_{\alpha y}\varphi_{\alpha z} \quad (23)$$

وقسمة العلاقة (23) على الدالة (22) يفضي للعلاقة التالية

$$\frac{H_x\varphi_{\alpha x}}{\varphi_{\alpha x}}+\frac{H_{\alpha y}\varphi_y}{\varphi_{\alpha y}}+\frac{H_z\varphi_{\alpha z}}{\varphi_{\alpha z}}=E_\alpha \quad (24)$$

يمكن ترتيب العلاقة (24) وعرضها على الصورة

$$\frac{H_x\varphi_{\alpha x}}{\varphi_{\alpha x}}=E_\alpha-\frac{H_{\alpha y}\varphi_y}{\varphi_{\alpha y}}-\frac{H_z\varphi_{\alpha z}}{\varphi_{\alpha z}}$$

الطرف الأيمن يتعلق بـ (y,z) والطرف الأيسر يتعلق بـ x، وهما متساويان مهما كانت (x,y,z). وهذا لا يتأتى إلا إذا كان الطرفان يساويان ثابتًا، وليكن $E_{\alpha x}$. من ثم

$$\frac{H_x\varphi_{\alpha x}}{\varphi_{\alpha x}}=E_{\alpha x} \text{ ، وبنفس المنطق نجد } \frac{H_y\varphi_{\alpha y}}{\varphi_{\alpha y}}=E_{\alpha y} \text{ و } \frac{H_z\varphi_{\alpha z}}{\varphi_{\alpha z}}=E_{\alpha z} \quad (25)$$

حيث $E_{\alpha x}+E_{\alpha y}+E_{\alpha z}=E_\alpha$. العلاقات (25) تغدو العلاقات

$$H_x\varphi_{\alpha x}=E_{\alpha x}\varphi_{\alpha x} \text{ ، } H_y\varphi_{\alpha y}=E_{\alpha y}\varphi_{\alpha y} \text{ ، } H_z\varphi_{\alpha z}=E_{\alpha z}\varphi_{\alpha z} \quad (26)$$

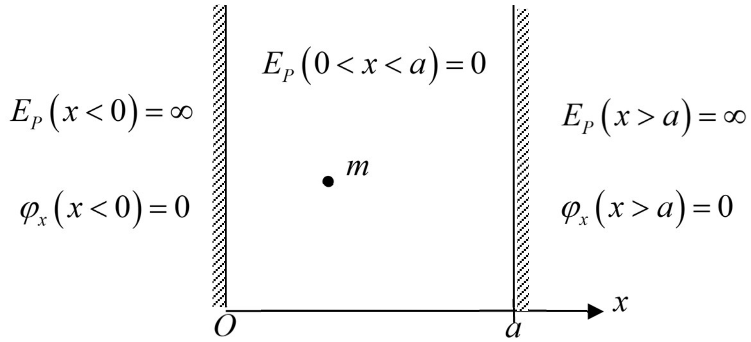
العلاقات (26) ما هي إلا تحليل المعادلة (16) على ثلاثة أبعاد. نكتفي بحل واحدة منها لتشابهها. فنهتم بحل المعادلة وفق x، ونكتبها على الصورة

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\varphi_{\alpha x}}{dx^2}=E_{\alpha x}\varphi_{\alpha x} \qquad (27)$$

ثم تهيئتها للحل يستدعي وضعها على الصورة

$$\frac{d^2\varphi_{\alpha x}}{dx^2}+k_{\alpha x}^2\varphi_{\alpha x}=0 \qquad (28)$$

حيث العدد الموج وفق x هو $k_{\alpha x}\equiv\sqrt{\frac{2mE_{\alpha x}}{\hbar^2}}$.



الشكل 4: يبين الشروط الحدودية وفق المحور x

الشكل 5: يبين رابطة كيميائية.

إن حركة جسم في علبة وفق محور يشبه حرك إلكترون في رابطة كيميائية؛ على سبيل المثال حركة إلكترون بين ذرتي الكربون أحادي الرابطة، كما يبين الشكل 5. للعلم ذرة الكربون أثقل من الإلكترون بـ 22022 مرة. لذلك عندما يتحرك الإلكترون في الرابطة ويصل أحد الذرتين يكون حاله كحال كرة وصلت جدارًا فيردها بنفس طاقة الحركة التي وردت بها، لثقله على مثل ذلك يرتد الإلكترون. فيظل الإلكترون غاديًا وجائيًا بين الذرتين كما يتحرك جسم في علبة على أحد المحاور. نذكر بأن بعد ذرتين في بلورة الكربون هو $1.5\ 10^{-10}$ م. انظر كيف فسرت حركة جسم في علبة رابطة كيميائية، وعلم الروابط في الكيمياء والفيزياء واسع لا حصر له.

الحل العام للمعادلة التفاضلية (28) هو

$$\varphi_{\alpha x}(x)=A\sin k_{\alpha x}x+A\cos k_{\alpha x}x \qquad (29)$$

والشروط الحدودية مبينة على الشكل 4، وهي $\varphi_{\alpha x}(0)=\varphi_{\alpha x}(a)=0$، لأن الجسم محصور في العلبة ولا يكون خارجها أبدًا كما أسلفنا الذِكر، من ثم

$$\begin{aligned}\varphi_{\alpha x}(0)&=A\sin k_{\alpha x}0+B\cos k_{\alpha x}0=0\\ \varphi_{\alpha x}(a)&=A\sin k_{\alpha x}a+B\cos k_{\alpha x}a=0\end{aligned} \qquad (30)$$

تفيد المعادلة الأولى من العلاقة (30) أنه يلزم إعدام المعامل B؛ $B=0$ وتفيد المعادلة الثانية بأن يتحقق الشرط

$$k_x a=\pi n_x \quad \text{،} \quad \text{حيث} \quad n_x=0\text{، }1\text{، }2\text{، }\ldots \qquad (31)$$

من ثم الأعداد الموجية المتاحة للحركة قيد الدرس هي

$$k_x=\frac{\pi}{a}n_x \qquad (32)$$

وعليه القيم الخاصة المتاحة لـH_x هي

$$E_{n_x}=\frac{\hbar^2k_x^2}{2m}=\frac{\hbar^2\pi^2n_x^2}{2ma^2} \qquad (33)$$

والدوال الخاصة لـH_x الموافقة للقيم الخاصة E_{n_x} هي

$$\varphi_x(x)=\varphi_{n_x}(x)=A\sin k_x x=A\sin\frac{n_x\pi}{a}x \tag{34}$$

لاحظ أن العدد الموج k_x والدفع الخطي $p_x=\hbar k_x$ وطاقة الجسم $E_x=E_{n_x}=p_x^2/2m$ وطول الموجة $\lambda_x=2\pi/k_x$ كلها صارت مكممة، وتبدو على الصورة:

$$k_x:0,\ \frac{\pi}{a},\ \frac{2\pi}{a},\dots,\frac{n_x\pi}{a},\dots \tag{35}$$

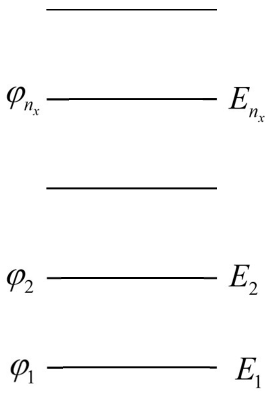
$$\lambda_x:\ \infty\ ,\ 2a\ ,\ a\ ,\ \frac{2a}{n_x}\ ,\ \dots \tag{36}$$

$$p_x:0,\ \frac{\pi\hbar}{a},\ \frac{2\pi\hbar}{a},\ \frac{3\pi\hbar}{a},\dots,\frac{n_x\pi\hbar}{a},\dots \tag{37}$$

$$E_{n_x}:0,\ \frac{\pi^2\hbar^2}{2ma^2},\ \frac{4\pi^2\hbar^2}{2ma^2},\ \frac{9\pi^2\hbar^2}{2ma^2},\ \dots,\ \frac{n_x^2\pi^2\hbar^2}{2ma^2},\dots \tag{38}$$

$$\varphi_{n_x}:0,\sin\frac{\pi x}{a},\sin\frac{2\pi x}{a},\sin\frac{3\pi x}{a},\dots,\sin\frac{n_x\pi x}{a},\dots \tag{39}$$

يُظهر الشكل 6 الدوال الخاصة φ_{n_x} لـ H_x الموافقة لقيمه الخاصة E_{n_x} (وليست دوالًا خاصة لـ p_x أو k_x أو...). أليس ذلك ما نصت عليه المسلّمة الأولى حرفيا؟ بلى، تُعدّ هذه النتيجة شاهدة على صحة المسلّمة الأولى ومنسجمة مع المسلّمة الرابعة.



الشكل 6: يبين طيف H_x ، وقيمه الخاصة

نتيجة: العملية التي كممت الكميات الفيزيائية (E ، p ، L ...) هي عملية حصر الجسم من الجهتين، كما هو الحال في العلاقة (30). هذا دأب كل المسائل.

4. نفي الحل الموافقة لـ $n_x=0$

إن الدفع الخطي للجسم وطاقته الموافقتين للحالة $n_x=0$ هما $p_x=0$ و $E_0=0$. من وجهة نظر المفهوم التقليدي يقول إن حالة الجسم هي السكون، لا حركة له. ومن وجهة نظر المفهوم الكمي (المسلّمات) يقول إن الدالة التي تصف حركة الجسم معدومة.

$$\psi_0(x,t)=\varphi_0(x)e^{-iE_0t/\hbar}=\varphi_0(x)=0 \tag{40}$$

وحسب بورن احتمال وجود الجسم عند x في dx حول x في اللحظة t هو

$$dx\,p_0(x,t)=dx\left|\psi_0(x,t)\right|^2=dx\left|\varphi_0(x)\right|^2=0 \tag{41}$$

قراءتها: لا أمل في وجود الجسم على المحور x البتة. هذا نفي واضح لوجود الجسم بالطاقة $E_0 = 0$. وعليه الحالة $n_x = 0$ منفية كميًا، لا وجود لها. واضح أن المفهوم الكمي نفى حالة السكون التقليدية. يمكننا اختبار ذلك من خلال علاقة عدم التحديد. فنسألها عن وجود الحالة $n_x = 0$ لجسم في علبة عرضها a ؟ الجواب: ينبغي أن تتحقق العلاقة

$$\Delta x\,\Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

حيث $\Delta x = a$ لأن الجسم كائن في المجال $[0,a]$ و $\Delta p_x = \dfrac{n_x \pi \hbar}{a}$. من ثم

(42) $$(a)\left(\frac{n_x \pi \hbar}{a}\right) \geq \frac{\hbar}{2}$$ ، يعني $\pi n_x \geq \frac{1}{2}$ ، $n_x \geq \frac{1}{2\pi} > 0$ ، يعني لا بُدّ من $n_x > 0$.

ها هي علاقة عدم التحديد نفت وجود الحالة $n_x = 0$ (حالة السكون في المنظور التقليدي) لجسم في علبة. فالجانب النظري في الكم منسجم ويختلف عن التقليد.

5. نظم الدالة $\varphi_{n_x}(x)$

إن سياق بورن يقضي بأن تحقق الدوال التي تصف أحوال الجسم $\psi_{n_x}(x,t)$ العلاقة

(43) $$\int dx \left|\psi_{n_x}(x,t)\right|^2 = 1$$

من ثم

$$\int_0^a dx \left|\varphi_{n_x}(x)\right|^2 = |A|^2 \int_0^a dx\, sin^2\left(\frac{\pi n_x x}{a}\right) = 1$$

والتحول إلى ضعف الزاوية $2\sin^2 u = 1 - \cos 2u$ ، يؤدي إلى العلاقة

$$\frac{1}{2}|A|^2 \int_0^a dx \;\; 2sin^2\left(\frac{\pi n_x x}{a}\right) = \frac{1}{2}|A|^2 \int_0^a dx\left(1 - \cos\frac{2\pi n_x x}{a}\right) = 1$$

تكامل دالة جيب التمام هو الجيب، وهو معدوم عند $x = 0$ وعند $x = a$ من ثم

(44) $$\frac{1}{2}|A|^2\, a = 1 \quad ، \quad A = \sqrt{\frac{2}{a}}$$

من ثم الدالة الخاصة لـ H_x المنظمة الموافقة لـ E_{n_x} هي

(45) $$\varphi_{n_x}(x) = \sqrt{\frac{2}{a}} \sin\frac{\pi n_x x}{a}$$

6. تعامد الأساس المنبثق عن H_x ، $\{\varphi_{n_x}\}$

زعمت المسلّمة الأولى بأن مجموعة الدوال $\{\varphi_{n_x}\}$ متعامدة ومتجانسة وتشكل أساسًا تامًا في فضاء هلبرت $\mathcal{H}$.

لنختبر صحة ذلك. فتعريف الجداء السلمي في فضاء هلبرت للدوال (45) يعطى بالعلاقة

(46) $$\left(\varphi_{n_x}, \varphi_{n'_x}\right) = \int dx\;\varphi^*_{n_x}\varphi_{n'_x}$$

من ثم

$$\left(\varphi_{n_x}, \varphi_{n'_x}\right) = \int dx\;\varphi^*_{n_x}\varphi_{n'_x} = \frac{2}{a}\int_0^a dx \sin\frac{\pi n_x x}{a}\sin\frac{\pi n'_x x}{a}$$

استخدام العلاقة المثلثية $2\sin u \sin v = \cos(u-v) - \cos(u+v)$ ، يفضي إلى العلاقة

$$\left(\varphi_{n_x},\varphi_{n'_x}\right)=\int dx\,\varphi^*_{n_x}\varphi_{n'_x}=\frac{1}{a}\int_0^a dx\left[\cos\pi\left(n_x-n'_x\right)\frac{x}{a}-\cos\pi\left(n_x+n'_x\right)\frac{x}{a}\right]$$

وإجراء التكامل يقود للعلاقة

$$\int_0^a dx\,\varphi^*_{n_x}(x)\varphi_{n'_x}(x)=\frac{1}{a}\left\{\frac{\sin\left(n_x-n_x'\right)\frac{\pi x}{a}}{\left(n_x-n_x'\right)\frac{\pi}{a}}+\frac{\sin\left(n_x+n_x'\right)\frac{\pi x}{a}}{\left(n_x+n_x'\right)\frac{\pi}{a}}\right\}_0^a=\frac{\sin\left(n_x-n_x'\right)\pi}{\left(n_x-n_x'\right)\pi}+\frac{\sin\left(n_x+n_x'\right)\pi}{\left(n_x+n_x'\right)\pi}$$

واضح أنه إذا كان $n_x\neq n'_x$، فإن $\sin\pi\left(n_x\pm n'_x\right)=0$، وبالتالي الجداء السلمي للتابعين φ_{n_x} و $\varphi_{n'_x}$ معدوم. وإذا سعى $n_x\leftarrow n'_x$ فإن $\sin\pi\left(n_x+n'_x\right)=0$ و $\sin\pi\left(n_x-n'_x\right)\to\pi\left(n_x-n'_x\right)$. من ثم فإن جداءهما السلمي يساوي واحد.

$$\int_0^a dx\,\varphi^*_{n_x}(x)\varphi_{n'_x}(x)=\begin{cases}0\ , & for\ \ n_x\neq n'_x\\ 1\ , & for\ \ n_x=n'_x\end{cases}\qquad(47)$$

بلفظ أخرى

$$\int dx\,\varphi^*_{n_x}(x)\varphi_{n'_x}(x)=\delta_{n_x,n'_x}$$

صدقت المسلّمة الأولى، الأساس $\left\{\varphi_{n_x}\right\}$ المنبثق عن مؤثر الطاقة متعامد ومتجانس. لاحظ وجه التشابه بين الأساسين $\left\{\vec{e}_\alpha\right\}=\left\{\vec{e}_x,\vec{e}_y,\vec{e}_z\right\}$ و $\left\{\varphi_{n_x}\right\}$

$$\vec{e}_\alpha\cdot\vec{e}_\beta=\delta_{\alpha,\beta}\ \text{، حيث}\ \ \alpha,\beta=x,y,z\qquad(48)$$

7. الدوال التي تصف حركة الجسم في العلبة

فالدوال المنظمة التي تصف حركة جسم كتلته m في المجال $[0,a]$ وفق x هي

$$\psi_{n_x}(x,t)=\sqrt{\frac{2}{a}}\sin\frac{\pi n_x x}{a}e^{-iE_{n_x}t/\hbar}\qquad(49)$$

الموافقة للقيم الخاصة

$$E_{n_x}=\frac{\hbar^2k_x^2}{2m}=\frac{\pi^2\hbar^2}{2ma^2}n_x^2$$

بالمثل الدوال المنظمة التي تصف حركة جسم كتلته m في المجال $[0,b]$ وفق y هي

$$\psi_{n_y}(y,t)=\sqrt{\frac{2}{b}}\sin\frac{\pi n_y y}{b}e^{-iE_{n_y}t/\hbar}\qquad(50)$$

الموافقة للقيم الخاصة

$$E_{n_y}=\frac{\hbar^2k_y^2}{2m}=\frac{\pi^2\hbar^2}{2mb^2}n_y^2$$

بالمثل الدوال المنظمة التي تصف حركة جسم كتلته m في المجال $[0,c]$ وفق z هي

$$\psi_{n_z}(z,t)=\sqrt{\frac{2}{c}}\sin\frac{\pi n_z z}{c}e^{-iE_{n_z}t/\hbar}\qquad(51)$$

الموافقة للقيم الخاصة

$$E_{n_z}=\frac{\hbar^2k_z^2}{2m}=\frac{\pi^2\hbar^2}{2mc^2}n_z^2$$

من ثم الدالة المنظمة التي تصف حركة الجسم في العلبة هي

$$\psi_{n_xn_yn_z}(x,y,z)=\sqrt{\frac{8}{abc}}\sin\left(\frac{\pi n_x x}{a}\right)\sin\left(\frac{\pi n_y y}{b}\right)\sin\left(\frac{\pi n_z z}{c}\right)e^{-iE_{n_xn_yn_z}t/\hbar}\qquad(52)$$

حيث طاقة الجسم الموافقة

$$E_{n_x n_y n_z} = E_{n_x} + E_{n_y} + E_{n_z} = \frac{\pi^2\hbar^2}{2m}\left(\frac{n_x^2}{a^2}+\frac{n_y^2}{b^2}+\frac{n_z^2}{c^2}\right) \qquad (53)$$

8. الموجة المنتشرة والو اقفة

استبدل دالة الجيب في العلاقة (49) بالدالة الأس

$$\sin\frac{\pi n_x x}{a} = \sin k_x x \equiv \frac{1}{2i}\left(e^{ik_x x} - e^{-ik_x x}\right)$$

فتغدو العلاقة

$$\psi_{n_x}(x,t) = \sqrt{\frac{2}{a}}e^{-iE_{n_x}t/\hbar}\sin\frac{n_x \pi x}{a} = \frac{1}{2i}\sqrt{\frac{2}{a}}e^{-iE_{n_x}t/\hbar}\left(e^{ik_x x} - e^{-ik_x x}\right) = \psi_{n_x}^{+} + \psi_{n_x}^{-} \qquad (54)$$

حيث $\psi_{n_x}^{+}$ و $\psi_{n_x}^{-}$ هما

$$\psi_{n_x}^{-} = -\frac{1}{2i}\sqrt{\frac{2}{a}}e^{-i(p_x x + E_x t)/\hbar} = Be^{-i(k_x x + \omega_x t)} \ ، \ \psi_{n_x}^{+} = \frac{1}{2i}\sqrt{\frac{2}{a}}e^{i(p_x x - E_{n_x} t)/\hbar} = Ae^{i(k_x x - \omega_x t)} \qquad (55)$$

الدالة $\psi_{n_x}^{+}$ هي دالة خاصة لمؤثر الطاقة $H_x = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial^2 x}$ ولمؤثر الدفع الخطي:

$$\vec{p} = -i\hbar\vec{e}_x\frac{\partial}{\partial x} - i\hbar\vec{e}_y\frac{\partial}{\partial y} - i\hbar\vec{e}_z\frac{\partial}{\partial z}$$

في وقت واحد.

$$H_x\psi_{n_x}^{+} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2}Ae^{i(k_x x - \omega_x t)} = -\frac{\hbar^2}{2m}(ik_x)^2\psi_{n_x}^{+} = E_{n_x}\psi_{n_x}^{+}$$

$$\vec{p}\psi_{n_x}^{+} = \left(-i\hbar\vec{e}_x\frac{\partial}{\partial x} - i\hbar\vec{e}_y\frac{\partial}{\partial y} - i\hbar\vec{e}_z\frac{\partial}{\partial z}\right)Ae^{i(k_x x - \omega_x t)} = -i\hbar\vec{e}_x(ik_x)\psi_{n_x}^{+} = \hbar k_x\vec{e}_x\psi_{n_x}^{+}$$

فالدالة $\psi_{n_x}^{+}$ تصف حركة جسم ينتشر وفق x بدفع خطي $\hbar k_x\vec{e}_x$ وبطاقة E_{n_x}.

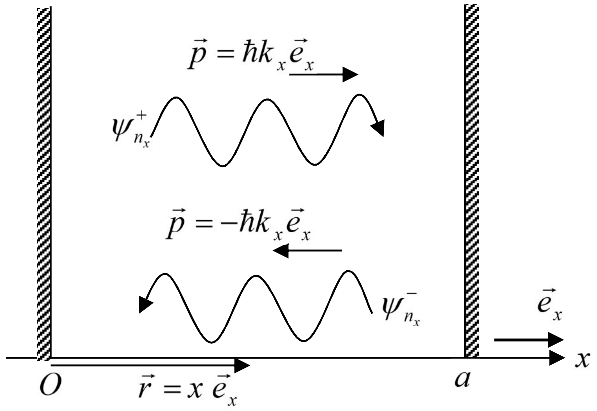
كما أن الدالة $\psi_{n_x}^{-}$ هي دالة خاصة لمؤثر الطاقة $H_x = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial^2 x}$ ولمؤثر الدفع الخطي $\vec{p}$:

$$H_x\psi_{n_x}^{+} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2}Be^{-i(k_x x + \omega_x t)} = -\frac{\hbar^2}{2m}(-ik_x)^2\psi_{n_x}^{-} = E_{n_x}\psi_{n_x}^{-}$$

$$\vec{p}\psi_{n_x}^{+} = \left(-i\hbar\vec{e}_x\frac{\partial}{\partial x} - i\hbar\vec{e}_y\frac{\partial}{\partial y} - i\hbar\vec{e}_z\frac{\partial}{\partial z}\right)Be^{-i(k_x x + \omega_x t)} = -i\hbar\vec{e}_x(-ik_x)\psi_{n_x}^{-} = -\hbar k_x\vec{e}_x\psi_{n_x}^{-}$$

والدالة $\psi_{n_x}^{-}$ تصف حركة جسم ينتشر وفق x بدفع خطي $-\hbar k_x\vec{e}_x$ وبطاقة E_{n_x}. يوضح الشكل 7 الموجة $\psi_{n_x}^{+}$ تنتشر وفق x بدفع خطي في اتجاه الموجب x: $\hbar k_x\vec{e}_x$. بينما تنتشر الموجة $\psi_{n_x}^{-}$ وفق x في اتجاه السالب بدفع خطي $-\hbar k_x\vec{e}_x$. واضح أن الموجتين $\psi_{n_x}^{+}$ و $\psi_{n_x}^{-}$ تنتشران، لكن الموجة $\psi_{n_x}(x)$ ليست دالة خاصة للدفع الخطي، إذًا ليس لها عدد موجي، إذًا هي موجة واقفة.

$$\psi_{n_x}(x,t) = \sqrt{\frac{2}{a}}\sin\frac{n_x\pi x}{a}e^{-iE_{n_x}t/\hbar}$$



الشكل7: يبين $\psi^+_{n_x}$ و $\psi^-_{n_x}$، الأولى تنتشر في اتجاه $\vec{e}_x$ والثانية تنتشر عكسه

مثال: عيّن الطاقة التي ينبغي أن يتحرك بها إلكترون في علبة عرضها $5.29\ 10^{-11}$ م، وأخرى عرضها $5.29\ 10^{-8}$ م. اعط خلاصة للنتيجة.

الحل: معلوم أن طاقة الجسم الذي يشغل الحالة الأساسية في العلبة، ويتحرك وفق x حسب طيف H_x هي

$$\mathcal{E} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2}$$

إذا كانت $a = a_0 = 5.29\ 10^{-11} m$

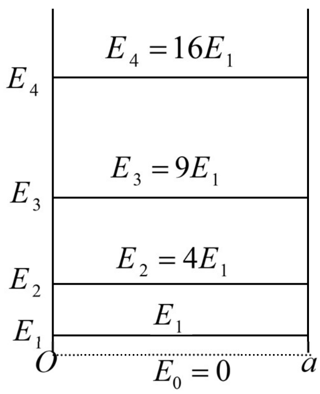
$$\mathcal{E} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} = \frac{\pi^2 (\hbar c)^2}{2mc^2 a^2} = \frac{\pi^2 \times (1.98)^2\, 10^{-14}}{2 \times 51110^3 \times (5.29)^2\, 10^{-22}} = 135.29\ eV$$

وإذا كان عرض العلبة $a = a_0 = 5.29\ 10^{-8} m$، فإن

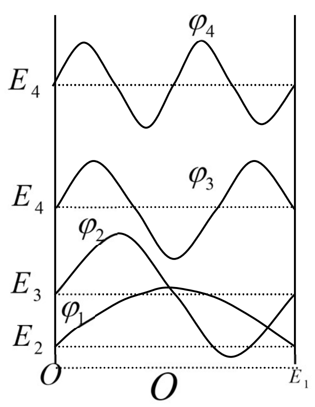
$$\mathcal{E} = \frac{\pi^2 \hbar^2}{2ma^2} = \frac{\pi^2 (\hbar c)^2}{2mc^2 a^2} = \frac{\pi^2 \times (1.98)^2\, 10^{-14}}{2 \times 51110^3 \times (5.29)^2\, 10^{-16}} = \frac{\pi^2 \times (1.98)^2}{20 \times 511 \times (5.29)^2} = 1.35\ 10^{-4}\ eV$$

يُستفاد من المثال أن الأجسام المحصورة في العلب الضيّقة تحتاج إلى طاقة أعلى من الأجسام المحصورة في العلب الواسعة. على سبيل المثال الإلكترونات في الذرة طاقتها أعلى من الإلكترونات في الجزيء.

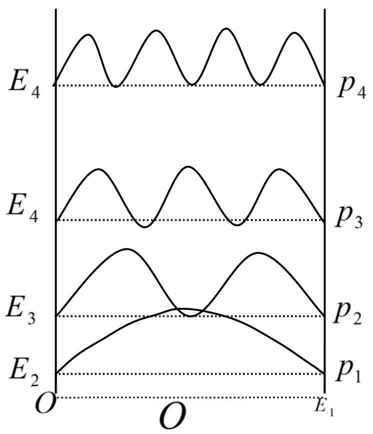
عرضنا في الأشكال 8 و9 و10 بعض القيم الخاصة لـ H_x ومنحنيات بعض دواله الخاصة الموافقة وبعض كثافات احتمال الموافقة.



الشكل8: يبين القيم الخاصة لمؤثر الطاقة H_x: E_1 و E_2 و E_3 و E_4.



الشكل9: يبين القيم الخاصة لـ H_x والدوال الموافقة φ_1 و φ_2 و φ_3 و φ_4.



الشكل10: يبين كثافات احتمال وجود الجسم عند x، p_1 و p_2 و p_3 و p_4.

9. حركة جسم في مكعب ضلعه L

نود أن نبرز بعض القيم الخاصة والدوال الخاصة الموافقة لمؤثر طاقة الجسم في العلبة H. المتمثلة في العلاقتين (52) و (53) مع اعتبار العلبة عبارة عن مكعب ضلعه $a=b=c=L$ لتبسيط المسألة.

$$\psi_{n_x n_y n_z}(x,y,z)=\sqrt{\frac{8}{L^3}}\sin\left(\frac{\pi n_x x}{L}\right)\sin\left(\frac{\pi n_y y}{L}\right)\sin\left(\frac{\pi n_z z}{L}\right)e^{-iE_{n_x n_y n_z}t/\hbar} \quad (56)$$

حيث

$$E_{n_x n_y n_z}=\frac{\pi^2\hbar^2}{2mL^2}\left(n_x^2+n_y^2+n_z^2\right)=\frac{\pi^2\hbar^2}{2mL^2}n^2=\mathcal{E}\,n^2 \text{ ، هنا } \mathcal{E}\equiv\frac{\pi^2\hbar^2}{2mL^2} \quad (57)$$

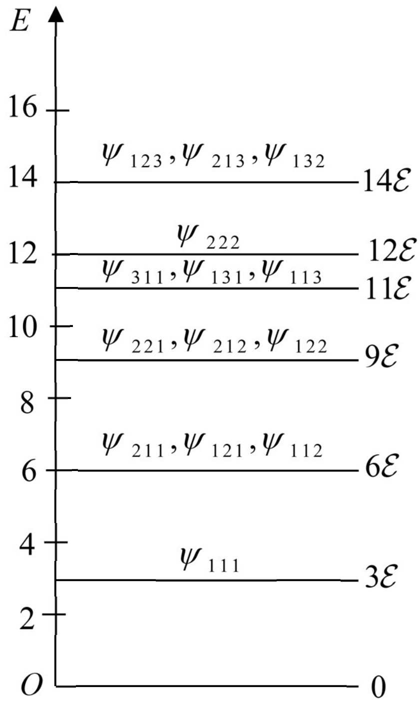
يبين الجدول المرافق القيم الخاصة الأولى لمؤثر الطاقة $H=\left(p^2/2m\right)$ ودواله الخاصة الموافقة (يعني الطاقات المتاحة للجسم في العلبة والدوال الموافقة).

الجدول 1: يبين الطاقات المتاحة لجسم في العلبة والدوال الموافقة.

درجة انحلال الحالة	الدوال التي تصف الحركة	الطاقة المتاحة	n_z	n_y	n_x
1	ψ_{111}	$E=3\mathcal{E}$	1	1	1
3	ψ_{112}	$E=6\mathcal{E}$	2	1	1
	ψ_{121}		1	2	1
	ψ_{211}		1	1	2
3	ψ_{221}	$E=9\mathcal{E}$	1	2	2
	ψ_{212}		2	1	2
	ψ_{122}		2	2	1
1	ψ_{222}	$E=12\mathcal{E}$	2	2	2
3	ψ_{113}	$E=11\mathcal{E}$	3	1	1
	ψ_{131}		1	3	1
	ψ_{311}		1	1	3
3	ψ_{123}	$E=14\mathcal{E}$	3	2	1
	ψ_{312}		2	1	3
	ψ_{231}		1	3	2

الحالات المنحلة

ظهرت في طيف مؤثر طاقة الجسم في العلبة (الجدول 1 والشكل 11) حالات توافق الطاقة الواحدة أكثر من دالة، مثل الطاقة $6\mathcal{E}$ والطاقة $9\mathcal{E}$...، وأخرى توافق طاقة الواحدة دالة واحدة، مثل $3\mathcal{E}$ و $12\mathcal{E}$ ... الحالات التي توافق الطاقة الواحدة أكثر من دالة خاصة تسمى منحلة، ودرجة انحلالها هو عدد الدوال الموافقة. كما يلاحظ أن طاقة جسم في العلبة مكممة، يعني على شكل قيم منفصلة تسمى الطاقات المتاحة لجسم في العلبة. وهي على شكل سويات أو طرائق طاقاتها $3\mathcal{E}$ و $6\mathcal{E}$ و $9\mathcal{E}$... كما أشارت المسلمة الأولى.



الشكل 11: يبين طيف H لجسم في العلبة

تمرين:

ناقش آثار أبعاد العلبة على فواصل سويات طيف مؤثر الطاقة. نلفت الانتباه إلى وجه تشابه حصر جسم بعلبة وحصر إلكترون برابطة كيماوية وبحصره بذرة وبحصره بجزيء وحصر نكليون بنواة ...

الحل: إن القيمة الخاصة لمؤثر طاقة جسم في علبة مكعبة ضلعها L تعطى بالعلاقة (49).

$$E = E_n = \frac{\hbar^2\pi^2 n^2}{2mL^2} \equiv n^2\mathcal{E} \quad \text{،} \quad \text{حيث} \quad n^2 = n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 \tag{57}$$

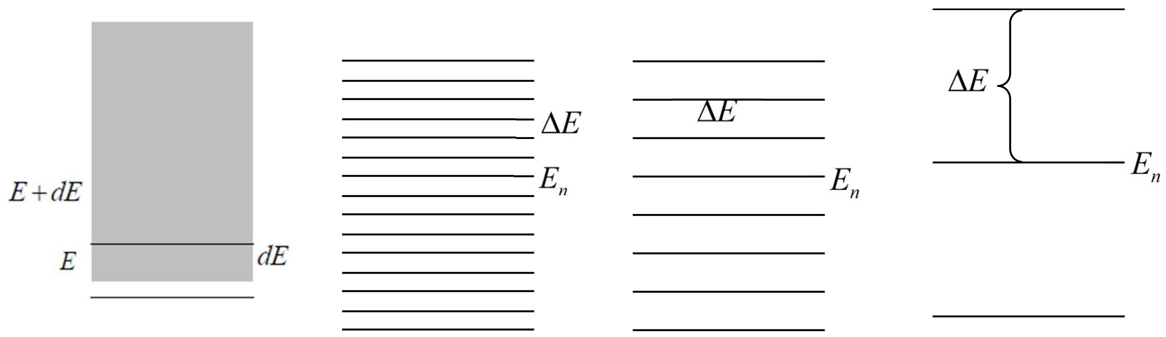
والفاصلة بين سويتين متتاليتين هي

$$\Delta E = E_{n+1} - E_n = \frac{\hbar^2\pi^2(n+1)^2}{2mL^2} - \frac{\hbar^2\pi^2 n^2}{2mL^2} \equiv (n+1)^2\mathcal{E} - n^2\mathcal{E}$$

$$\Delta E = E_{n+1} - E_n = (2n+1)\frac{\hbar^2\pi^2}{2mL^2} = (2n+1)\mathcal{E} \tag{58}$$

يتضح من العلاقة (58) أن تعلق فاصلة سويتين متتاليتين تتناسب مع مقلوب مربع بعد العلبة. من ثم النتيجة الهامة:

نتيجة: فاصلة سويتين متتاليتين من طيف مؤثر طاقة جسم في علبة تتناسب مع مقلوب مربع بعد العلبة. بناء عليه، إذا تغيرت أبعاد العلبة يتغير طيف مؤثر طاقة الجسم، فكلما ضيقت العلبة على الجسم تباعدت سويات مؤثر طاقة الجسم، والعكس صحيح. كما يبدو في الأطياف المبينة في الأشكال 12، 13، 14، 15. أمثال في الطبيعة على ذلك، على الترتيب، نكليون بنواة، وإلكترون برابطة كيماوية، وإلكترون مقيد بذلة، وإلكترون مقيد بجزيء، وذرة بجزيء، وجسم بعلبة أبعادها متفاوتة الكبر...



الشكل 13: يبين طيف جسم في علبة ضيقة مثل طيف النواة.

الشكل 14: يبين طيف جسم في علبة معتدل مثل طيف الذرة.

الشكل 15: يبين طيف جسم في علبة عريضة مثل طيف الجزيء.

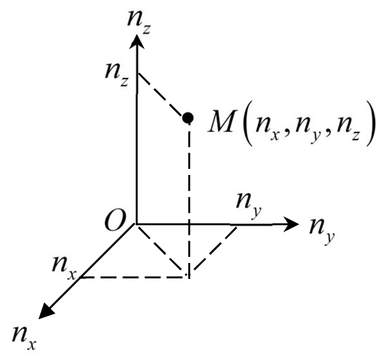
الشكل 16: يبين طيف جسم في علبة عرضها متفاوت الكبر طيف متصل

10.عدد الحالات الكمية لوحدة الطاقة

كل ثلاثة أعداد $\left(n_x,n_y,n_z\right)$ تحدد قيمة خاصة لـ H والدالة الخاصة التي توافقها $\left(E_{n_x,n_y,n_z},\varphi_{n_x,n_y,n_z}\right)$. بلفظ آخر تحدد حالة، وتحدد أيضًا نقطة من فضاء إحداثيات نقطة وهي $\left(n_x,n_y,n_z\right)$، $M\left(n_x,n_y,n_z\right)$، كما يوضح الشكل 16. الفضاء الذي إحداثيات نقطة منه $\left(n_x,n_y,n_z\right)$ يسمى فضاء الحالات الكميّة لجملة. كل نقطة منه تمثل حالة للجملة. الأعداد $n_x>0$ و $n_y>0$ و $n_z>0$ هي موجبة.

إن عنصر حجم من فضاء الحالات يمثل عدد الحالات الكمية عند $n=n\left(n_x,n_y,n_z\right)$، وهو

$$dN=dn_x dn_y dn_z=d^3n \qquad (59)$$



الشكل 17: يبين نقطة من فضاء الحالات الكمية.

وعلم أن n_x و n_y و n_z في المسألة قيد الدرس موجبة، لذلك عنصر الحجم في العلاقة (59) هو عنصر حجم من ثمن فضاء الحالات. وعليه عدد الحالات الكمية في عنصر الحجم من فضاء الحالات هو

$$dN=\frac{1}{8}dn_x dn_y dn_z \qquad (60)$$

وعنصر عدد الحالات الكمية المتاحة لجسم في علبة في مقلوب هو

$$dN=\frac{1}{8}dn_x dn_y dn_z=\frac{1}{8}\left(\frac{Ldk_x}{\pi}\right)\left(\frac{Ldk_y}{\pi}\right)\left(\frac{Ldk_z}{\pi}\right)=\left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 dk_x dk_y dk_z=\left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 d^3k \qquad (61)$$

وعدد الحالات الكمية المتاحة لجسم في علبة بدلالة الإحداثيات الكروية هو

$$dN = \left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 dk_x dk_y dk_z = \left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 d^3k = \left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 k^2 dk d\Omega_k \qquad (62)$$

ومعلوم أن العلاقة بين k وطاقة الجسم هي $E = \left(\hbar^2 k^2 / 2m\right)$ ، من ثم عدد الحالات الكمية بدلالة طاقة الجسم هي

$$dN = \left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 k^2 dk d\Omega_k = \left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 \frac{2mE}{\hbar^2}\sqrt{\frac{2m}{\hbar^2}}\frac{dE}{2\sqrt{E}} d\Omega_k = \left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 \frac{(2m)^{3/2}\sqrt{E}}{2\hbar^3} dE d\Omega_k$$

وعدد الحالات الكمية في وحدة الحجم ذات الطاقة E في dE ، مهما كانت الزوايا هو

$$dN = 2\pi\left(\frac{L}{2\pi}\right)^3 \frac{(2m)^{3/2}\sqrt{E}}{\hbar^3} dE \qquad (63)$$

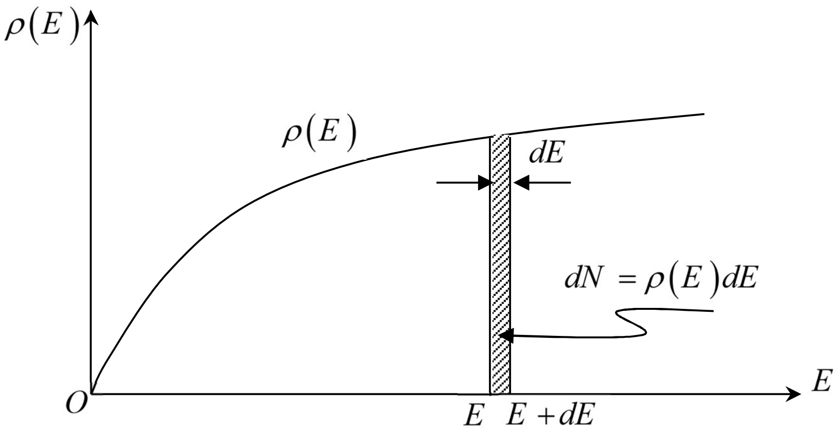
والكثافة الحجمية للحالات الكمية التي طاقتها عند E في dE هي

$$dn = \frac{dN}{V} = 2\pi\left(\frac{1}{2\pi}\right)^3 \frac{(2m)^{3/2}\sqrt{E}}{\hbar^3} dE = \frac{(2m)^{3/2}\sqrt{E}}{4\pi^2\hbar^3} dE = \rho(E) dE \qquad (64)$$

حيث $\rho(E)$ هي عدد الحالات الكمية لوحدة الحجم ولوحدة الطاقة

$$\rho(E) = \frac{(2m)^{3/2}\sqrt{E}}{4\pi^2\hbar^3} \quad J^{-1}L^{-3} \qquad (65)$$

يبين الشكل 17 منحنى العلاقة (65).



الشكل 17: يبين منحنى كثافة عدد الحالات الكمية لوحدة الطاقة لجسم في العلبة.

وعدد الحالات الكمية لوحدة الحجم التي طاقتها اقل من E هي

$$n(E) = \frac{1}{4\pi^2}\frac{(2m)^{3/2}}{\hbar^3}\int_0^E dE\sqrt{E} = \frac{1}{2\pi^2}\frac{(2m)^{3/2}}{\hbar^3}\frac{E^{3/2}}{3} = \frac{1}{6\pi^2}\frac{(2m)^{3/2}}{\hbar^3}E^{3/2} \qquad (66)$$

11. طاقة فيرمي

توجد أجسام في الطبيعة تتميز بخاصية كمية تختلف عن الأجسام أخرى. فالإلكترونات والبروتونات والنيوترونات وغيرها، أجسام تتميز عن غيرها بلف يساوي مضاعفات نصف $\hbar$. وتخضع لإحصاء فرمي (Fermi)، فسُمّيت باسمه تخليدًا له. أيضًا تخضع لمبدأ التفرّد لباولي (Pauli) الذي مفاده: " لا يتبوأ فرميين متماثلين حالة كمية واحدة أبدًا".
اعتبر غازًا عدد أجسامه N من فئة الفرميات، على سبيل المثال غازًا إلكترونيًا، ثم نملأ به الحالات الكمية لجسم في علبة. ننبّه إلى أن كل حالة جسم في علبة طاقتها E_{n_x,n_y,n_z} يمكن أن يتبوأها إلكترونان لا غير، أحدهما لفه إلى الأعلى،

$(\uparrow)$، والأخر لفه إلى الأسفل، $(\downarrow)$. لذلك عدد الحالات الكمية التي سيشغلها الغاز الإلكتروني هو $\frac{1}{2}N$، فارضين أن N زوجي.

اصطلح على تسمية طاقة أعلى حالة مشغولة من حالة جسم في العلبة بطاقة فرمي للغاز E_F. فاعتمادًا على العلاقة (66)، عبارة طاقة فيرمي بدلالة عدد أجسام الغاز N هي

$$\frac{N}{2L^3}=\frac{1}{6\pi^2}\frac{(2m)^{3/2}}{\hbar^3}E_F^{3/2}$$

من ثم طاقة فرمي للغاز تعطى بالعلاقة

$$E_F=\frac{\hbar^2\left(3\pi^2 n\right)^{2/3}}{2m} \tag{67}$$

واضح أن العدد الموجي لفرمي هو

$$k_F=\left(3\pi^2 n\right)^{1/3} \tag{68}$$

والدفع الخطي لفيرمي للغاز هو

$$p_F=\hbar k_F=\hbar\left(3\pi^2 n\right)^{1/3} \tag{69}$$

فتكتب طاقة فرمي للغاز بدلالة k_F و p_F على الصورة

$$E_F=\frac{\hbar^2\left(3\pi^2 n\right)^{2/3}}{2m_e}=\frac{\hbar^2 k_F^2}{2m_e}=\frac{p_F^2}{2m_e} \tag{70}$$

12.نظم الموجة المستوية بالعلبة

توجد أمواج تصف جملًا فيزيائية وعصية عن النظم. أحد هذه الأمواج الموجة المستوية

$$\psi(\vec{r},t)=\varphi_{\vec{k}}(\vec{r})e^{-iE_k t/\hbar}=Ce^{i\left(\vec{k}\cdot\vec{r}-\omega t\right)} \tag{71}$$

تصف حركة جسم طليق، حيث C ثابت نظْم، ولا يتعين إلا بالنظْم. فنظمها من المفروض يساوي واحد كي تحمل في طياتها صفة الاحتمال، لكن العكس هو الذي يحدث

$$\int d^3r\,\psi^*\psi=\int d^3r\,\varphi_{\vec{k}}^*\varphi_{\vec{k}}=|C|^2\int d^3r=|C|^2(\infty)$$

واضح أنها عصية عن النظم. بذلك لم نتمكن من إعطائها صبغة الإحصاء.

حل هذه القضية هو اعتبار الجملة الفيزيائية قيد الدرس موجودة في علبة كيفما اتفق. ثم تطبيق الشروط الحدودية على الأمواج عند حدودها. من ثم يمكن نظمها إلى الوحدة لإعطائها الصبغة الإحصاء على النحو

$$\int_V d^3r\,\psi^*\psi=1$$

حيث V حجم العلبة. هناك ضرورة لفرض الشروط الحدودية عند جدران العلبة. وهناك أكثر من أسلوب لتطبيق الشروط الحدودية، والأكثر استخدامًا هي المسماة بالشروط الحدودية الدورية. وهي تساوي الدالة عند الوجوه المتقابلة للعلبة

$$\varphi_{n_x}(x)=\varphi_{n_x}(x+L_x)\quad،\quad\varphi_{n_y}(y)=\varphi_{n_y}(y+L_y)\quad،\quad\varphi_{n_z}(z)=\varphi_{n_z}(z+L_z)$$

عندئذ، العلاقات التالية محققة

$$\varphi_{k_x}(x)=e^{ik_x x} \text{ ، } k_{n_x}=\frac{2\pi}{L_x}n_x \text{ حيث } n_x=0\text{، }\pm1\text{، }\pm2\text{، }\ldots$$

$$\varphi_{k_y}(y)=e^{ik_y y} \text{ ، } k_{n_y}=\frac{2\pi}{L_y}n_y \text{ حيث } n_y=0\text{، }\pm1\text{، }\pm2\text{، }\ldots \qquad (72)$$

$$\varphi_{k_z}(z)=e^{ik_z z} \text{ ، } k_{n_z}=\frac{2\pi}{L_z}n_z \text{ حيث } n_z=0\text{، }\pm1\text{، }\pm2\text{، }\ldots$$

تمرين: نظم الموجة المستوية في علبة مكعبة الشكل

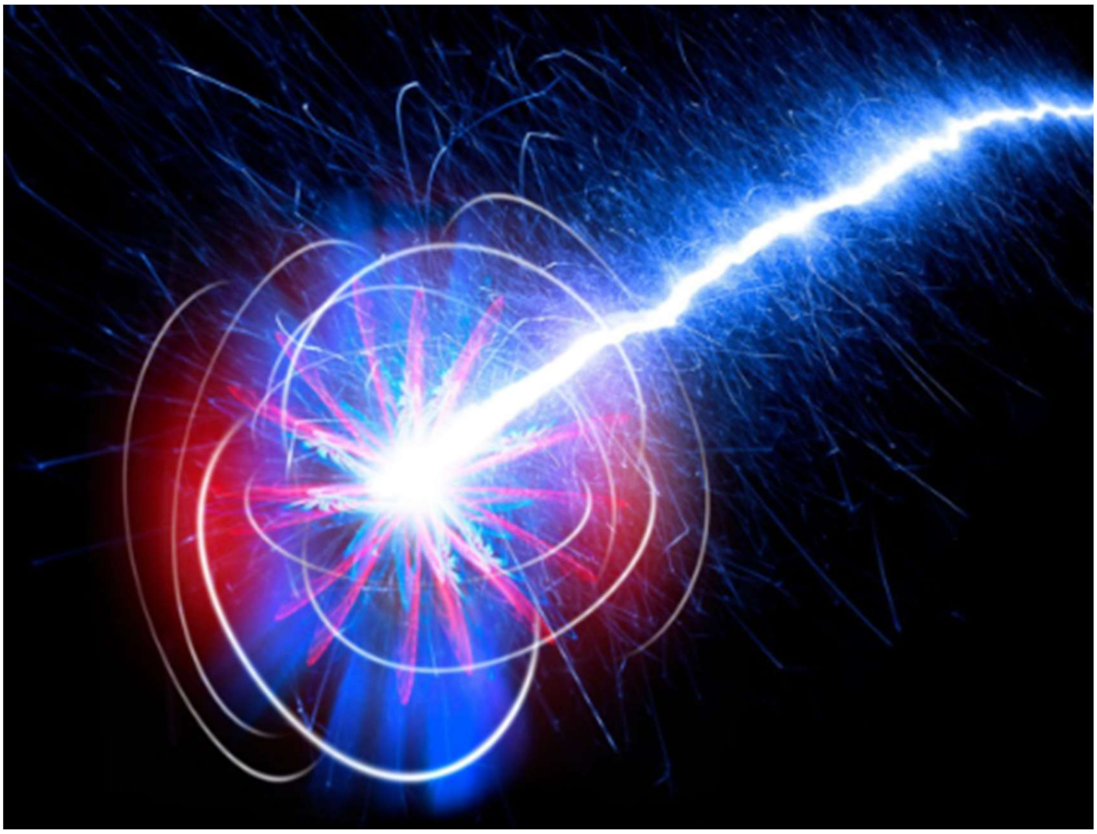
$$\int d^2r\,\varphi_{\vec{k}}^*(\vec{r})\varphi_{\vec{k}}(\vec{r})=|C|^2\int_{-L/2}^{+L/2}dx\,\varphi_{k_x}^*(x)\varphi_{k_x}(x)\int_{-L/2}^{+L/2}dy\,\varphi_{k_y}^*(y)\varphi_{k_y}(y)\int_{-L/2}^{+L/2}dz\,\varphi_{k_z}^*(z)\varphi_{k_z}(z)=|C|^2L^3=1$$

من ثم الدوال الخاصة لمؤثر طاقة جسم طليق في علبة مكعبة الشكل هي

$$\varphi_{\vec{k}}(\vec{r})=\frac{1}{L^{3/2}}e^{i\vec{k}\cdot\vec{r}} \qquad (73)$$

هذه دالة معروفة وتستخدم في مجالات عديدة.

*****



دراسة مفهوم نظام تحليل المخاطرونقاط التحكم الحرجة (HACCP)

دنيا حمزة[1]، إسراء بقاط[1]، باعيسى بابلحاج[1]
[1]قسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة، ورقلة
babelhadjbaaissa@gmail.com

مقدمة

شهد العالم في العقود الأخيرة اهتمامًا متزايدًا بسلامة الغذاء، مدفوعًا بارتفاع معدلات الأمراض المنقولة عن طريق الغذاء، إضافةً إلى تعقيد سلسلة الإمداد الغذائية بفعل تطور تقنيات التصنيع والتوزيع، حيث تتزايد احتمالات تعرّض الغذاء لمصادر تلوّث متعددة. وبذلك أصبحت اللوائح الصحية أكثر تشدّدًا، مما يستدعي تطبيق أنظمة فعالة لضمان جودته وسلامته على مدار سلسلة الإمداد الغذائي.

وفي هذا السياق، برز نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة (الهاسب-HACCP) كأحد أكثر النظم اعتمادًا عالميًا لضمان سلامة الأغذية، إذ يقوم على منهجية وقائية تهدف إلى تحديد وتقييم المخاطر المحتملة في جميع مراحل الإنتاج الغذائي. ويتميز هذا النظام بكونه استباقيًا يرتكز على منع حدوث الخطر بدلًا من الاكتفاء بالكشف عنه بعد وقوعه، مما يجعله أداة محورية في تحقيق أعلى معايير السلامة الغذائية.

1. مفهوم سلامة الغذاء

تشمل سلامة الغذاء مجموعة الإجراءات أو الممارسات العلمية التنظيمية التي تهدف إلى ضمان أن يكون الغذاء آمنًا للاستهلاك البشري، وخاليًا من الملوثات أو المخاطر التي قد تضر بالصحة. باختصار، تُعدّ سلامة الغذاء الضمان الوقائي الذي يحافظ على صحة المستهلك ويعزز ثقته في المنتجات الغذائية [8].

2. أهم مخاطر سلامة الغذاء

قد يؤدي أي خلل أو تلوث في الغذاء إلى إصابات مرضية خطيرة أو إلى انتشار أوبئة غذائية. ولضمان جودة المنتجات الغذائية وسلامتها، من الضروري التعرّف على أهم المخاطر التي قد تهددها، والتي يمكن تصنيفها إلى ما يلي [10]:

- **مخاطر كيميائية**: مثل بقايا المبيدات، والمواد المضافة الغذائية، والسموم الموجودة بشكل طبيعي.
- **مخاطر بيولوجية**: تشمل جميع الطفيليات والفيروسات والبكتيريا المعدية.
- **مخاطر فيزيائية**: أجسام غريبة قد تدخل الطعام أثناء الإنتاج أو التصنيع، مثل: الزجاج أو البلاستيك أو الحجارة.

3. مفهوم نظام تحليل المخاطرونقاط التحكم الحرجة

يمكن تعريف نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة بأنه نظامٌ يهتم بمراقبة وسلامة وجودة الأغذية ابتداءً من المواد الخام الداخلة في عمليات التصنيع وصولًا إلى المنتج النهائي الذي يُقدّم للمستهلك. ويشتمل هذا النظام على أساليب عملية لمراقبة سلامة وجودة الأغذية. وتُعدّ المواد الغذائية المنتجة وفقًا له آمنة صحيًا. ولذلك يُعتبر نظامًا متكاملًا يضمن التحكم في جميع العمليات التي قد تؤدي إلى إنتاج غذاء ضار أو خطير على صحة المستهلك [6].

ويُعرّف كذلك بأنه نظامٌ وقائي يُعنى بسلامة الغذاء من خلال تحديد المخاطر التي قد تهدد سلامته، سواءً كانت بيولوجية أو كيمائية أو فيزيائية، ومن ثم تحديد ما يُعرف بالنقاط الحرجة التي يجب السيطرة عليها لضمان سلامة المنتج، وذلك عبر المتابعة الدقيقة مع تسجيل البيانات الخاصة بكل خطوة من مراحل الإنتاج [2].

4. دواعي استخدام نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة

يُستخدم نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة (الهاسب) في الحالات الآتية [1]:

- عند عدم فاعلية الطرق التقليدية في الحد من التسمم الغذائي.
- للتماشي مع نظام التجارة العالمي الجديد.
- عندما تشترط بعض الدول تطبيق هذا النظام على المنتجات الموردة لها.
- عند الرغبة في إشراك القطاع الخاص في عملية الرقابة.

5. نبذة تاريخية لنظام الهاسب

تم تطوير نظام الهاسب في ستينيات القرن الماضي من قِبل شركة بيلسبري (Pillsbury) لضمان إنتاج أغذية آمنة لبرامج الفضاء التابعة لوكالة ناسا (NASA). ثم جرى اعتماده رسميًا في أواخر الثمانينيات من قِبل اللجنة الاستشارية الوطنية الأمريكية، وأصبح في عام 1992 أول معيار دولي لسلامة الأغذية وفق الدستور الغذائي. ومنذ ذلك الحين، انتشر تطبيقه بنجاح في الصناعات الغذائية والجهات الرقابية نظرًا لفعاليته في الوقاية من مخاطر الغذاء ومراقبتها. وقد أُنشىء نظام الهاسب وفق المراحل التالية [5]:

1- عام 1958: تأسست وكالة ناسا، وبرزت الحاجة إلى نظام يضمن إنتاج غذاء آمن لروّاد الفضاء خلال فترات عزلهم الطويلة عن الرعاية الطبية أثناء المهام الفضائية.
2- عام 1959: نشأ نظام الهاسب بتعاون بين وكالة ناسا وشركة بيلسبري لإنتاج أغذية فضائية صالحة للاستهلاك في بيئة انعدام الجاذبية، وخالية تمامًا من العيوب والمخاطر البيولوجية والكيميائية والطبيعية بنسبة 100%.
3- عام 1971: نُشر هذا النظام ووثّق رسميًا في الولايات المتحدة الأمريكية، وأعلن للعامة خلال المؤتمر القومي الأمريكي الأول لحماية الغذاء.
4- عام 1973: طبّقت هيئة الغذاء والدواء الأمريكية نظام الهاسب على الأغذية المعلّبة منخفضة الحموضة بعد ارتفاع حالات التسمم السُجقِّي (Botulism) الناتج عن البكتيريا كلوستريديوم بوتولينيوم (Clostridium botulinum).
5- عام 1985: أوصت الأكاديمية القومية الأمريكية للعلوم بضرورة استخدام مفهوم الهاسب كنظام وقائي فعّال لإنتاج أغذية مأمونة.
6- عام 1989: أصدرت اللجنة الاستشارية المعنية بوضع المعايير الميكروبيولوجية للأغذية في أمريكا توصياتها بعنوان: "قواعد الهاسب وتطبيقاته في الأغذية".
7- عام 1991: أصدرت لجنة دستور الأغذية المعنية بالشؤون الصحية الغذائية ما يعرف بـ: "إرشادات لتطبيق الهاسب".
8- عام 1993: بدأ الاتحاد الأوروبي في تطبيق نظام الهاسب بتاريخ 14 جويلية 1993.
9- عام 1995: طبّقت هيئة الأغذية والأدوية الأمريكية نظام الهاسب في مجال تصنيع الأسماك والمنتجات البحرية.

10- عام 1997: أصدرت لجنة الكودكس النظام الرسمي للهاسب بعنوان: "نظام تحليل المخاطر وضبط النقاط الحرجة"، مع تعديل القواعد العامة لصحة الغذاء لتشمل تطبيقه.

11- عام 1998: اعتمدت وزارة الزراعة الأمريكية نظام الهاسب لفحص اللحوم والدواجن، وطبّقته في أكبر مصنع البلاد لتعزيز سلامة الغذاء وصحة المستهلك.

12- عام 2001: أدخلت هيئة الأغذية والأدوية نظام الهاسب في صناعة العصائر [4].

6. فوائد نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة

تتمثل فوائد نظام الهاسب في النقاط التالية [5]:

- المحافظة على سلامة الأغذية وتقليل نسب التلوث.
- الحدّ من الأمراض التي قد يُسبّبها الطعام نتيجة تلوثه.
- تحسين مستوى الالتزام بمتطلبات السلامة الغذائية القانونية والتنظيمية المعمول بها.
- تعزيز التواصل الفعّال بشأن قضايا سلامة الأغذية مع الموردين والعملاء والأطراف المعنية في سلسلة الإمداد بالأغذية.
- رفع مستوى ثقة العملاء والمستهلك النهائي بسلامة المنتجات الغذائية، مما يساهم في تعزيز القدرة على الدخول في التجارة الدولية وفتح الأسواق العالمية للتصدير، ولاسيما إلى الدول الغربية.
- خفض تكلفة فحص الأغذية وتقليل خسائر ما بعد الإنتاج، مما يؤدي إلى الحد من الفقد.

7. البرامج التمهيدية لنظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة (الهاسب)

1.7. تعريف

تشمل البرامج التمهيدية مجموعة من الخطوات أو الإجراءات التي تتحكم في ظروف العملية الإنتاجية داخل المنشأة، من حيث توفر المتطلبات والشروط الضرورية التي تضمن إنتاج غذاء آمن وصحي.

2.7. أهم البرامج التمهيدية لنظام الهاسب [9]

أ- **ممارسة التصنيع الجيد (GMP)**: تشمل مراقبة جميع ما يخص عمليات تصنيع الغذاء وفقًا لمواصفات إدارية محددة تهدف إلى إنتاج غذاء آمن، وتختلف متطلبات عناصر ممارسة التصنيع الجيد من منشأة لأخرى حسب نوع النشاط. وتشمل الاشتراطات الصحية للعاملين والنقل والاستلام والتخزين.

ب- **الإجراءات القياسية للنظافة والتطهير:**

- العناية بتنظيف الأرضيات.
- تنظيف أنظمة التهوية.
- تنظيف وتطهير الأدوات والمعدات، وخاصة معدات ترشيح الزيوت.
- تنظيف مرشحات الهواء.
- تنظيف الأسطح غير الملامسة للغذاء.
- تنظيف وتطهير ماكينات غسل الأدوات ومعدات التنظيف والتطهير.

ج- **المعايرة والصيانة:**

- برامج صيانة وقائية تُصمّم بالاعتماد على وجود دليل أو سجل خاص بكل آلة مستخدمة في المنشأة الغذائية.

- برنامج شامل لمعايرة جميع الأجهزة المستخدمة في المنشأة، وخاصة تلك المؤثرة على سلامة الغذاء أو المساهِمة في رصد نقاط التحكم الحرجة.

د- **مقاومة الآفات**: برنامج شامل ومفصل يتناول أنواع الآفات المنتشرة ووسائل مقاومتها والتحكم بها، إضافة إلى الأدوات المستخدمة لهذا الغرض.

هـ- **التدريب والتأهيل**:

- التدريب على الشؤون الصحية الخاصة بالعاملين.
- التدريب على برامج التنظيف والتطهير.
- التدريب على برامج الصيانة الوقائية.
- التدريب على الممارسات الصحية الجيدة وممارسات التصنيع الجيدة.
- التدريب على إعداد خطة الهاسب.
- التدريب على المراجعات الداخلية للبرامج التمهيدية الخاصة بنظام الهاسب.

و- **استرجاع المنتج الغذائي**:

- السجلات الخاصة بترقيم وتكويد المنتج الغذائي.
- الإجراءات الخاصة بالحفاظ على سلامة المنتج الغذائي المسترجع.
- المعلومات والبيانات المتعلقة بفريق الاسترجاع.
- بيانات المتعاملين مع المنشأة الغذائية.
- الخطوات التفصيلية الخاصة ببرنامج الاسترجاع.
- الوسائل المتاحة لفريق الاسترجاع لتلقي شكاوى المستهلكين.
- الإجراءات المتبعة مع المنتجات التي تم استرجاعها من الأسواق.
- إجراءات التحقق من كفاءة برنامج الاسترجاع.

8. المبادئ السبعة لنظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة

هناك سبعة مبادئ لنظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة تُمكّن شركات التعبئة والتغليف من مراجعة إنتاجها عبر منهج منظم لتحديد المخاطر. وتُستخدم هذه المبادئ كخطوات لتحديد برنامج هاسب جديد أو لإجراء تغييرات على برنامج هاسب قائم [5].

1- **إجراء تحليل للمخاطر**: تُحدد المصانع المخاطر المحتملة في كل خطوة من العملية، مع تحديد التدابير الوقائية الممكن تطبيقها للسيطرة على المخاطر.

2- **تحديد نقاط التحكم الحرجة**: يُستخدم مخطط شجرة القرارات لتحديد الخطوات التي يمكن من خلالها تطبيق التحكم، وبذلك يمكن منع الخطر أو القضاء عليه أو تقليله إلى مستوى مقبول. وفي كثير من الأحيان، قد يكون لدى موردي مواد التغليف عدد قليل جدًا من منتجات CCP في عملياتهم.

3- **وضع حدود حرجة لكل نقطة تحكم حرجة**: الحد الحرج هو القيمة الدنيا أو القصوى التي يجب الالتزام بها لمنع الخطر أو القضاء عليه أو تقليله إلى مستوى مقبول.

4- **إنشاء متطلبات لنقطة المراقبة**: تُعدّ أنشطة المراقبة ضرورية لضمان الالتزام بالحدود الحرجة في كل نقطة مراقبة حرجة .

5- **إنشاء إجراءات تصحيحية**: هي الإجراءات الواجب اتخاذها عند حدوث انحراف عن الحدود الحرجة المحددة. وتهدف الإجراءات التصحيحية إلى ضمان عدم وصول أي منتج ذي مخاطر إلى الأسواق .

6- **وضع إجراءات لحفظ السجلات**: تتطلب لوائح الهاسب الاحتفاظ بعدد من الوثائق، تشمل: خطة هاسب مكتوبة، وتحليل المخاطر، وسجلات توثيق مراقبة نقاط CCPs، والحدود الحرجة، وأنشطة التحقق، ومعالجة انحرافات العملية .

7- **وضع إجراء للتحقق من عمل نظام تحليل المخاطر ونقطة التحكم الحرجة**: يضمن التحقق أن المصنع يُنفّذ ما تم تصميمه للقيام به، كما يضمن كفاية خطة هاسب.

9. خطوات تشكيل نظام الهاسب

– الحصول على موافقة ودعم الإدارة.

– التأكد من وجود برامج تمهيدية بالمنشأة.

– الإعداد لخطة هاسب، وتشمل [7]، [9]:

1- تشكيل الفريق.

2- وصف المنتج الغذائي.

3- تحديد الفئة المستهلكة للغذاء وبيان طريقة استهلاكه.

4- إعداد المخطط التصنيعي لخطوات إنتاج الغذاء.

5- تحليل مصادر الخطر ووضع مقاييس التحكم.

6- تحديد نقاط التحكم الحرجة.

7- وضع الحدود الحرجة لكل نقطة تحكم حرجة.

8- وضع نظم المراقبة والاستبيان والرصد والقياس لنقاط التحكم الحرجة.

9- تحديد الإجراءات التصحيحية.

10- وضع إجراءات التحقق من مطابقة النظام لخطة الهاسب المعتمدة.

11- التسجيل والتوثيق.

10. أبرز الصعوبات التي تواجه تطبيق نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة

يُنظر إلى نظام الهاسب على أنه أداة فعّالة لضمان سلامة الغذاء والوقاية من المخاطر الصحية، غير أن تطبيقه على أرض الواقع لا يخلو من تحديات متعددة تعيق التطبيق الأمثل لهذا النظام. ومن أهم هذه التحديات نجد [3]:

أ- **الدعم الحكومي**: يُعدّ ضعف التزام الحكومات أحد التحديات، إذ ينعكس ذلك في نقص الدعم الفعلي لتطبيق النظام، سواء من حيث توفير التمويل اللازم لتشغيله، أو من خلال غياب الكوادر البشرية الماهرة والمدربة.

ب- **المستلزمات القانونية**: في العديد من البلدان، يُطبَّق نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة (هاسب) على المنتجات المخصصة للتصدير فقط، بينما يُهمل تطبيقه على المنتجات الموجهة إلى السوق المحلية. ورغم ذلك، لا يزال هناك غياب لإطار قانوني يُلزم بتطبيق النظام على المنتجات المحلية. كما تواجه الجهات الرقابية صعوبات كبيرة في إقناع أصحاب المصانع بأهمية تطبيق نظام هاسب.

ج- اليد العاملة: تُعدّ محدودية عدد الكوادر الفنية المتخصصة من أبرز التحديات، إذ يؤثر ذلك في القدرة على تقديم الدعم الفني اللازم للصناعات ولمشغّلي نظم الرقابة، خصوصًا في الحالات التي يشهد فيها نظام التفتيش تحوّلًا نحو تطبيق منهج تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة (هاسب).

خاتمة

في ضوء ما تناولته هذه الدراسة، يمكن القول إن نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة (الهاسب) يُعدّ أداة فعّالة لضمان سلامة الغذاء وجودته، إذ لا يقتصر تطبيقه على تعزيز جودة المنتجات الغذائية فحسب، بل يساهم أيضًا في تحسين أداء المؤسسات وزيادة قدرتها التنافسية. غير أن تطبيقه يواجه تحديات ترتبط بالإمكانيات المادية والبشرية ووعي المؤسسات الغذائية، ويبقى تجاوزها رهينًا بتوفير الدعم والتأهيل والالتزام، بما يحقق الهدف الأسمى المتمثل في توفير غذاء آمن يحمي صحة المستهلك.

المراجع

[1]خير الله، الرشيد أحمد سالم، جودة وسلامة تصنيع الأغذية: أضواء على إدارة الجودة الشاملة و الهسب، وزارة الصناعة، الخرطوم، 2014.

[2] ساجت، أحمد صالح ، إدخال نظام تحليل المخاطر و نقاط التحكم الحرجة لضمان سلامة الأغذية المعالجة بالإشعاع HACCP، الهيئة العربية للطاقة الذرية، تونس، 2014.

[3] الشربيني، إيمان أحمد، نقاط تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة "هاسب" في قطاع الصناعات الغذائية للارتقاء بنظام ضمان سلامة الغذاء في جمهورية مصر العربية، معهد التخطيط القومي، القاهرة، 2007.

[4] عبد المالك، أشرف محمد، النظام الحديث لسلامة الغذاء (الهاسب)، مجلة أسيوط للدراسات البيئية، العدد32، 2008، ص. 39-56.

[5] عزب، منى عبد الحي، نظام تحليل المخاطر وأثره على سلامة المنتجات الغذائية ودوره في اختيار التعبئة والتغليف المناسبة للمنتجات، مجلة العمارة والفنون والعلوم الانسانية، المجلد 7، العدد 34، 2002.

[6] فراق، بثينة وبومعزة، وسام، تحسين أداء المؤسسة الاقتصادية في ظل تطبيق نظام إدارة الجودة دراسة حالة نظامHACCP في مؤسسة عمر بن عمر للمصبرات الغذائية بولاية قالمة، مذكرة لنيل شهادة الماستر، تخصص اقتصاد وتسيير مؤسسات، قسم العلوم الاقتصادية، كلية العلوم الاقتصادية والتجارة وعلوم التسيير، جامعة 08 ماي1945، قالمة، 2021/2020.

[7] منظمة العمل الدولية، الدليل الفني لتدريب مفتشي السلامة والصحة المهنية، مكتب منظمة العمل الدولية، القاهرة، 2017.

[8] هيئة الدستور الغذائي، النصوص الأساسية لسلامة الأغذية، منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة، منظمة الصحة العالمية، 2002.

[9] وزارة الشئون البلدية والقروية، كتيب إرشادي عن تطبيق نظام تحليل المخاطر ونقاط التحكم الحرجة (نظام هاسب) لمتداولي الغذاء بالمنشآت الغذائية، وزارة الشئون البلدية والقروية، الرياض، 2010.

[10] World Health Organization & Food and Agriculture Organization of the United Nations, Food safety risk analysis: a guide for national food safety authorities, World Health Organization, 2006.

دراسة مختصرة حول الاشتقاق كسري الرتبة من نمط ريمان – ليوفيل

عبد الرشيد سعدي
أستاذ بالمدرسة الوطنية العليا في الرياضيات، الجزائر
abderachid.saadi@nhsm.edu.dz

1. تمهيد

أصل تسمية "المشتق كسري الرتبة" يعود إلى السؤال التاريخي الذي طرحه لوبيتال (l'Hôpital) على لايبنتز (Leibniz)، والذي يدور حول إمكانية تعميم الاشتقاق من الرتب الصحيحة إلى الرتب غير الصحيحة، وطرح الرتبة ½ على سبيل المثال، ثم صاغه أويلر (Euler) بنصٍ صريح على الرتبة الكسرية. لكن الأبحاث توالت، وتم تعميم الاشتقاق إلى رتب غير كسرية، بل امتد ذلك إلى رتب عقدية ورتب تابعية. ومع ذلك، بقي محتفظًا بالاسم التاريخي، وهو أمر دأب عليه الرياضياتيون في تسمية المفاهيم بما اشتهرت به أول الأمر، وإن كانت لا تعبّر عنها في السياق المعاصر، مثل تسمية العدد i بالعدد التخيلي، لأنه حين اقتُرح أول مرة لم يكن يعبّر عن معنى مألوف، ومثل ذلك العلاقة المسماة بعلاقة فيثاغورس (Pythagoras)، ونحوها من المفاهيم والعلاقات.

إن مفهوم الاشتقاق كسري الرتبة، بهذا الاعتبار، مفهوم قديم، لكن بالنظر إلى تباطؤ الأبحاث فيه منذ طرح السؤال إلى الربع الأخير من القرن الماضي، فإنه يُعتبر موضوعًا حديثًا، بل صار من أكثر المفاهيم التي تُنشر الأبحاث فيها في الوقت الراهن، فلا تكاد تُحصى الأعمال المنشورة والملتقيات المخصصة، ناهيك عن مذكرات التخرج وأطروحات الدكتوراه.

ومع ذلك، فهناك من لم يقتنع بهذا المفهوم، أو ربما لم يقتنع بالتسمية. بل إن بعضهم إذا ذكرت له أنك تشتغل في أبحاثك على المشتقات كسرية الرتبة، ينظر إليك في أسًى نظرة الأستاذ إلى طالب بائس، وبعضهم يلوي شدقه مغمغمًا بعبارات من نحو: "اختاروا السهولة، تبعوا التيار ...". حتى إنه في أحد المقالات وردت العبارة التالية: "بل إن بعض الباحثين يشككون في أي من هذه التعريفات يمكن اعتباره مشتقًا كسريًا حقيقيًا". طبعًا لا يمكن قبول هذه الانتقادات هكذا على عواهنها ما لم تكن مؤيّدة بالحجج اللازمة التي لا يكاد يختلف فيها الرياضياتيون.

ومع أنه لا ينبغي الاستشهاد بالكثرة على الصحة، إلا أن القبول العام للأبحاث في هذا الميدان، وفي مجلات محكمة، ومنها ما له سمعةٌ وصيت، يجعلنا نطمئن إلى أن الأسس التي قام عليها هذا العلم ليست هشة. كيف لا، وفيها إسهامات رياضياتيين كبار مثل: لاكروا (Lacroix)، وَفورييه (Fourier)، وَليوفيل (Liouville)، وَريمان (Riemann)، وَهادامارد (Hadamard)، وغيرهم. بل إن جمعية الرياضيات الأمريكية (AMS) قد حجزت له جملة من الرموز الدالة على اختصاصات دقيقة:

- 26A33: الاشتقاقات والتكاملات كسرية الرتبة.
- 34A08: المعادلات التفاضلية والاحتواءات كسرية الرتبة.
- 34K37: المعادلات التفاضلية الدالية كسرية الرتبة.
- 35R11: المعادلات ذات المشتقات الجزئية كسرية الرتبة.
- 44-XX: التحويلات التكاملية الموجهة للاشتقاقات كسرية الرتبة.
- 74S40: تطبيقات الحساب كسري الرتبة على ميكانيك الأجسام الصلبة.
- 60G22: المتغيرات العشوائية الكسرية، وتشمل الحركات البراونية الكسرية.

كما أننا نجد جملة من المجلات المتخصصة فيه، مثل:

- مجلة *Fractional Calculus & Applied Analysis* المصنفة ضمن قاعدة بيانات Scopus وClarivate.
- مجلة *Fractal and Fractional* المصنفة ضمن قاعدة بيانات Clarivate.
- مجلة *Progress in Fractional Differentiation and Applications* المصنفة ضمن قاعدة بيانات Scopus.
- مجلة *Fractional Differential Calculus* المصنفة ضمن قاعدة بيانات Scopus.

فضلًا عن المجلات التي تقبل الأبحاث في هذا المجال، وهي كثيرة لا يمكن إحصاؤها، ومنها ما هو مصنّف تصنيفات مرموقة.

2. مقاربة ريمان - ليوفيل

رغم تعدّد تعاريف المشتقات كسرية الرتبة، إلا أن أشهر مقاربة تم العمل عليها هي مقاربة ريمان–ليوفيل ومقاربة رايز (Riesz potential). فإذا أخذنا بعين الاعتبار أن ما قام هادامارد ومن بعده من تعميم إلى تكاملات ذات دوال ثقالية يمكن ضمه في مقاربة واحدة نسميها "مقاربة من نمط ريمان–ليوفيل"، فإنه حينئذ تصير هذه المقاربة مسيطرة على حصة الأسد من الأبحاث التي تم نشرها خلال ربع القرن الأخير.

تقوم مقاربة ريمان–ليوفيل على تعميم الخاصية التالية المحققة من أجل عدد طبيعي n:

$$\begin{aligned} f(x) &= \frac{d^n}{dx^n}\frac{1}{(n-1)!}\int_a^x (x-t)^{n-1} f(t)dt \\ &= \frac{d^n}{dx^n}\frac{(-1)^n}{(n-1)!}\int_x^b (t-x)^{n-1} f(t)dt \end{aligned}$$

حيث يتم تعويض العدد الطبيعي n بعدد مركب α جزؤه الحقيقي موجب تمامًا، لنحصل في الأخير على المشتق من اليسار ومن اليمين:

$$\begin{aligned} D_{a+}^{\alpha,RL} f(x) &= \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)}\frac{d^n}{dx^n}\int_a^x (x-t)^{n-\alpha-1} f(t)dt \\ D_{b^-}^{\alpha,RL} f(x) &= \frac{(-1)^n}{\Gamma(n-\alpha)}\frac{d^n}{dx^n}\int_x^b (t-x)^{n-\alpha-1} f(t)dt. \end{aligned}$$

يرمز $(n-1)$ إلى الجزء الصحيح لـ $\operatorname{Re}\alpha$، بينما يرمز a وb إلى طرفي المجال المراد الاشتقاق عليه (والذي قد يكون $-\infty$ أو $+\infty$). وتسمى هذه المقاربة بمقاربة ليوفيل.

يُعتبر الفضاء $L^p(a,b)$، حيث $p>1$، هو الفضاء الأمثل لتطبيق مؤثر تكامل ريمان–ليوفيل. أما عند تطبيق مؤثر اشتقاق ريمان–ليوفيل، فنحتاج إلى فضاء الدوال القابلة للاشتقاق n مرة، بحيث يكون مشتقها النوني منتميًا للفضاء $L^p(a,b)$، وهو ما نُعبّر عنه اختصارًا بالفضاء $AC^{n,p}(a,b)$ (يُعتبر فضاء الدوال المستمرة مطلقًا $AC^{1,p}(a,b) = AC^p(a,b)$ حالة خاصة من هذه الفضاءات).

كما يمكن بناء مقاربات مستخرجة من هاتين المقاربتين، باعتماد دالة ثقل موجبة، تكون مشتقة لدالة ψ على المجال (a,b)، فنحصل على التعاريف التالية:

$$\begin{aligned} D_{a+}^{\alpha,\psi} f(x) &= \frac{1}{\Gamma(n-\alpha)}\left(\frac{1}{\psi'(x)}\frac{d}{dx}\right)^{(n)}\int_a^x (\psi(x)-\psi(t))^{n-\alpha-1} f(t)\psi'(t)dt, \\ D_{b^-}^{\alpha,\psi} f(x) &= \frac{(-1)^n}{\Gamma(n-\alpha)}\left(\frac{1}{\psi'(x)}\frac{d}{dx}\right)^{(n)}\int_x^b (\psi(t)-\psi(x))^{n-\alpha-1} f(t)\psi'(t)dt. \end{aligned}$$

تُعد مقاربتا هادامارد وَكاتيغامبولا (Katugampola) حالتين خاصتين من هذه المقاربة:

- في الأولى نفترض أن $\psi = ln$،
- أما في الثانية، فنضع $\psi = \frac{x^{\rho}}{\rho}$، حيث ρ عدد حقيقي موجب تمامًا.

ومما يجدر التنبيه إليه أن كثيرًا من الباحثين صاروا يتفنّنون في استخراج تعاريف جديدة للمشتقات كسرية الرتبة، وإعطاء خصائص لها، ومن ثم تبدأ من جديد حلول المعادلات التفاضلية الكسرية والمسائل ذات القيم الابتدائية والحدية المتعلقة بهذا المشتق أو ذاك. وتقذف المجلات كل يوم بالعديد من المقالات التي تتناول هذه المسائل، حتى أضحى من الصعب تتبّع هذه التعاريف، فضلًا عن المسائل المتعلقة بها، والتي عادة ما تكون محاكاة لمسائل تمّ حلها في النمط العادي من المشتقات.

3. معايير تم اقتراحها لمحاكمة المشتقات الكسرية

إنّ أيّ تمديد لتعريف من التعاريف الرياضية لا بدّ له من أن يحافظ على هيكل عام وبعض الخصائص التي تُعتبر أساسية، وإلا سيفقد التعريف ما أُنشئ من أجله، ويصبح عصيًا على الفهم. وحيث إن للمشتقات الكسرية كلمتين مفتاحيتين هما: "مشتق" و"كسري"، فإننا لا بدّ لنا من النظر في دلالة هاتين الكلمتين وما يمكن أن تتمتع بهما من خصائص.

إن كلمة "كسري" تُعتبر سياقًا تاريخيًا لا نستطيع أن نحصل منه على كبير فائدة، لذا ينبغي التركيز على مصطلح "مشتق"، الذي له دلالة معروفة في التحليل الرياضي.

في سنة 1975، نشر روس (B. Ross) مقالًا بعنوان "عرض وموجز تاريخي للنظرية الأساسية في الحساب الكسري"، اقترح فيه معايير للاشتقاق كسري الرتبة، تم تعديلها من طرف أورتيغيرا (M. D. Ortigueira) وزملاؤه في بحث نُشر سنة 2015:

أ- مؤثر الاشتقاق كسري الرتبة يلزم أن يكون خطيًا.

ب- المشتق الكسري من الدرجة صفر لدالة ما هو الدالة ذاتها.

ج- إذا اعتبرنا دالةً f ومشتقها الكسري $D^{\alpha} f$، فإنه بأخذ α عددًا طبيعيًا، لا بد من الرجوع إلى المشتق العادي للدالة f من الرتبة α.

د- إذا كانت f دالة تحليلية، فإن المشتق الكسري لها $D^{\alpha} f$ هو أيضًا دالة تحليلية.

هـ- مؤثر الاشتقاق يحقق الخاصية التالية: $D^{\alpha}\, D^{\beta}\, f \;=\; D^{\alpha+\beta}\, f$.

و- مؤثر الاشتقاق يحقق قانون لايبنتز الشهير المتعلق بمشتق جداء دالتين، والذي تم تقديمه في صيغ مختلفة.

إن مقاربة ريمان–ليوفيل تحقق الشروط الثلاثة الأولى بسهولة، بينما الشروط الثلاثة الأخيرة تحتاج إلى تفاصيل يمكن تقديمها كما يلي:

- تكاملات الدوال التحليلية هي دوال تحليلية، بينما مشتقات الدوال التحليلية ليست دومًا دوالًا تحليلية. فعلى سبيل المثال، المشتق من نمط ريمان–ليوفيل للدالة الثابتة لا يعطي الدالة المعدومة، بل يعطي دالة قوة. هذا الأمر يقودنا إلى إمكانية نشر الدالة المشتقة من نمط ريمان–ليوفيل وفق صيغة لورنتز (Lorentz).
- أما المعيار الخامس فهو غير متحقق سوى تحت بعض الشروط، ووفق صيغة منسجمة مع النمط غير المحلي لهذه المقاربة.
- أما صيغة لايبنتز، فتوجد منها نسخ متعددة تعمم الصيغة العادية، وفقًا لرتبة الاشتقاق.

إن تحقيق مقاربة ريمان–ليوفيل للمعايير الثلاثة الأولى يجعلنا نعتقد أنها من أجدر المقاربات التي قد تكون إجابة لتساؤل لايبنتز.

4. بعض الأعمال البحثية المبكرة

لقد مرّت الأبحاث على المشتقات كسرية الرتبة بصورة بطيئة منذ بداية التساؤل، وقد كانت محاولات من قِبل رياضياتيين يُشار إليهم بالبَنان، مثل أويلر وفورييه ولاكروا وغيرهم، إلى أن قُدّمت مقاربة ريمان–ليوفيل ومقاربة غرينولد–ليتنيكوف (Grünwald-Letnikov). وفيما يلي نقدّم جردًا مختصرا لباكورة الأعمال التي تم تقديمها منذ أن تبلورت فكرة المؤثرات الكسرية.

في سنة 1949، نشر رايز مقالًا طويلًا (في نحو 200 صفحة) باللغة الفرنسية، عنوانه: "تكامل ريمان–ليوفيل ومسألة كوشي"، قدّم فيه مقاربة ريمان–ليوفيل، كما قدّم مقاربته الخاصة (Riesz potential) على فضاء أقليدي، مع بعض التطبيقات على مسائل فيزيائية.

منذ سبعينيات القرن الماضي، أصبح حساب التفاضل والتكامل الكسري موضوعًا لمؤتمرات ورسائل متخصصة. وبالنسبة للمؤتمر الأول، يعود الفضل إلى روس، الذي نظّم –بعد فترة وجيزة من أطروحته للدكتوراه في حساب التفاضل والتكامل الكسري– المؤتمر الأول حول حساب التفاضل والتكامل الكسري وتطبيقاته، وذلك في جامعة نيو هافن في جوان 1974. كما قام أولدهام (K.B. Oldham) وَسبانير (J. Spanier)، بتعاون مشترك، بإصدار كتاب مُخصص للحساب التفاضلي الكسري عام 1974. وقد جسّد هذا التعاون بين الكيميائي أولدهام والرياضي سبانير في معالجة مسائل انتقال الكتلة والحرارة من حيث ما يُسمى بالمشتقات والتكاملات شبه الكاملة، بزوغ عصر جديد لحساب الكسور، قائم على الحدس الفيزيائي والتنوع الرياضي.

في عام 1987، ظهر الكتاب الضخم لسامكو (S. Samko)، وَكيلباس (A. A. Kilbas)، وَماريتشيف (O. Marichev)، والذي يُشار إليه الآن باسم "موسوعة التفاضل والتكامل"، باللغة الروسية أولًا، ثم بطبعة إنكليزية عام 1993.

ومن المؤلفين الذين تناولوا هذا الموضوع: دزهرباشيان (M.M. Dzherbashyan) سنة 1966، وَماثاي (A.M. Mathai) وَساكسينا (R.K. Saxena) سنتي 1973 و1978، وَسريفاستافا (H.M. Srivastava) وَجوبتا (K.C. Gupta) وَغويال (S.P. Goyal) سنة 1982، وَسريفاستافا وَكاشياب (B.R.K. Kashyap) سنة 1982، وَبرودنيكوف (A. Prudnikov) وَيو. بريتشكوف (Yu. Brychkov) وَماريتشيف (O. Marichev) سنتي 1986 و1990، وَكيلباس وَسايغو (M. Saigo) سنة 2004، وَكيلباس وَسريفاستافا وَتروخيو (J. Trujillo) سنة 2006، وَماثاي (A.M. Mathai) وَهاوبولد (H. Haubold) سنة 2008، وَماثاي وَساكسينا وَهاوبولد سنة 2010، إلخ.

واليوم، تضم سلسلة الكتب والمجلات والنصوص المخصصة لحساب التفاضل والتكامل الكسور وتطبيقاته عشرات العناوين، ومن المتوقع أن تتوسع هذه القائمة أكثر في السنوات القادمة.

ومن المعترف به اليوم أن استخدام المشتقات الكسرية يُظهر فائدةً واضحةً من خلال العدد المتزايد من الأوراق البحثية والأعداد الخاصة في المجلات. وفي العقود الأخيرة، استقطب مجال حساب التفاضل والتكامل الكسري اهتمام الباحثين في مجالاتٍ عديدة، بما في ذلك الرياضيات والفيزياء والكيمياء والهندسة، وحتى العلوم المالية والاجتماعية.

نذكر على سبيل المثال أن أعدادًا قد خُصّصت في مجلات للحساب التفاضلي الكسري، منها:

- عدد خاص بوقائع المؤتمر الثالث حول طرائق التحويل والدوال الخاصة، نشر سنة 1999 في مجلة *Fractional Calculus and Applied Analysis*.
- عدد خاص بأنظمة الحساب كسري الرتبة، نُشر سنة 2002 في مجلة *Nonlinear Dynamics*.
- عدد خاص بمعالجة الإشارات الكسرية وتطبيقاتها، نُشر سنة 2003 في مجلة *Signal Processing*.

- عدد خاص بوقائع المؤتمر الرابع حول طرائق التحويل والدوال الخاصة، نشر سنة 2004 في مجلة *Mathematica Balkanica (J. Math. Soc. S-E Europe)*.
- عدد خاص بالمشتقات الكسرية وتطبيقاتها، نُشر سنة 2004 في مجلة Signal Processing.
- عدد خاص بالحساب الكسري وتطبيقاته على أنظمة الإشارات، نُشر سنة 2004 في مجلة *Signal Processing*.
- عدد خاص بالمشتقات الكسرية وتطبيقاتها، نُشر سنة 2004 في مجلة *Nonlinear Dynamics*.
- عدد خاص بالمسائل التطورية، نُشر سنة 2007 في مجلة *Journal of Computational and Applied Mathematics*.
- عدد خاص بالتفاضليات الكسرية وتطبيقاتها، نُشر سنة 2008 في مجلة *Journal of Vibration and Control*.
- عدد خاص بالأنظمة الديناميكية المتقطعة والكسرية، نُشر سنة 2008 في مجلة *ASME Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*.
- عدد خاص بالأنظمة كسرية الرتبة: تطبيقات في النمذجة والتحديد والتحكم، نُشر سنة 2008 في مجلة *Journal Européen des Systèmes Automatisés*.
- عدد خاص بالتفاضليات الكسرية وتطبيقاتها، نُشر سنة 2009 في مجلة *Physica Scripta*.
- عدد خاص بالأساليب المبتكرة لحل المشكلات التطورية، نُشر سنة 2009 في مجلة *Journal of Computational and Applied Mathematics*.
- عدد خاص بالتطورات في المعادلات التفاضلية كسرية الرتبة، نُشر سنة 2010 في مجلة *Computers and Mathematics with Applications*.
- عدد خاص بالتفاضليات الكسرية وتطبيقاتها، نُشر سنة 2010 في مجلة Mathematics *Computers and with Applications*.
- عدد خاص بالتطورات في الإشارات والأنظمة الكسرية، نُشر سنة 2010 في مجلة *Signal Processing* .

تجدر الإشارة إلى أنه في العقدين الأخيرين، انتشرت العديد من الأبحاث حول هذا الموضوع بشكل لا يمكن حصره.
كما أن بعض المجلات صارت تعلن عن أعداد خاصة متعلقة بالحساب التفاضلي كسري الرتبة، وذلك بصفة دورية مثل: Axioms، Mathematics، Fractal and fractional.

5. الاشتقاق الكسري بمفهوم التوزيعات وفضاءات سوبولاف الكسرية

من المعلوم أن الاشتقاق الضعيف وفضاءات سوبولاف (Sobolev) يلعبان دورًا مهمًا في حل مسائل القيم الحدية المرتبطة بالمعادلات التفاضلية والمعادلات ذات المشتقات الجزئية. ولما كان الاشتقاق الكسري تعميمًا للاشتقاق العادي فإنه من الطبيعي التفكير في فضاءات مماثلة تُوفر إطارًا مناسبًا لهذا النوع الجديد من المعادلات المتعلقة بالمشتقات كسرية الرتبة، وبالتالي التفكير في المشتق الكسري الضعيف وبمفهوم التوزيعات.

في سنة 2011 وما بعدها، استخدم باحثون الطريقة التغايرية لإثبات وجود حلول لمسائل ذات قيم حدية لديريخليه (Dirichlet) غير الخطية من نوع ريمان–ليوفيل على مجال حقيقي محدود. ولهذا الغرض، تم استحداث فضاء جديد يُرمز له بـ $E_0^{\alpha,p}$، والذي يُعرّف بأنه ملاصقة فضاء التوابع (الدوال الاختبارية) وفقًا لنظيم مختار بعناية، يُمثّل مجموع النظيمين للدالة ومشتقتها الكسرية اليسرى من نمط ريمان–ليوفيل ومن رتبة حقيقية α، حيث $0 < \alpha < 1$،

في الفضاء L^p، حيث يُمثّل p عددًا حقيقيًا أكبر من 1. إن هذا التعريف يُذكّرنا بالتعريف الكلاسيكي للفضاء $W_0^{1,p}$. وقد قدّم المؤلفون بعض الخصائص لهذا الفضاء، المتناسبة مع مسألتهم المراد حلها.

في سنة 2013، قدّم إيدتشاك (D. Idczak) وآخرون تعريفًا شاملًا لفضاءات سوبولاف الكسرية من نوع ريمان-ليوفيل، ويُرمز لها بالرمز $W^{\alpha,p}$، وذلك باتباع الطريقة ذاتها المُستخدمة لتعريف فضاءات سوبولاف العادية. وقد تم إثبات أنها فضاءات نظيمية وفقًا لنظيمين متكافئين، وأنها انعكاسية، وقابلة للفصل، في ظل الشروط ذاتها التي يحققها p في الفضاءات العادية. كما قُدّمت مجموعة من التباينات (embeddings) في الفضاءات L^q، منها ما كانت مستمرة، ومنها ما كانت متراصة لهذه الفضاءات. وفيما بعد، تم إثبات مجموعة من التباينات مشابهة إلى حد بعيد لتلك التي تم تناولها في فضاءات سوبولاف ذات المشتقات العادية.

أثبت سيزار لوديسما (C. E. T Ledesma) ومن معه، في بحث نُشر سنة 2021، أن فضاء سوبولاف الكسري المعروف H^α يختلف عن فضاء سوبولاف الكسري من نوع ريمان–ليوفيل. وما تزال الأبحاث جارية في هذا المجال، جنبًا إلى جنب مع دراسة الحلول الضعيفة لمختلف مسائل القيم الحدية ذات المشتقات كسرية الرتبة.

وقد قام سامكو ومن معه (1993) بتقديم مجموعة من الأفكار الأولية التي تُعرّف المشتق كسري الرتبة بمفهوم التوزيعات. تقوم بعض هذه الأفكار على أن تعريف المشتق بمفهوم ريمان–ليوفيل إنما يقوم على جداء تزاوج بين دالة قوة والدالة المراد حساب الاشتقاق عليها، فإذا استطعنا تعميم جداء التزاوج هذا، فإننا سننجح في تعريف الاشتقاق الكسري بمفهوم التوزيع، وهو ما تم العمل عليه في الفترة الأخيرة. كما تم أيضًا تعريف المشتق كسري الرتبة بالنسبة للتوزيعات ذات الحوامل المتراصة، وهكذا ظهرت مشتقات كسرية لتوزيع ديراك وغيره من التوزيعات متراصة الحامل، وذلك بطريقة مستقلة عن استخدام جداء التزاوج.

6. آفاق البحث في هذا الفرع

عند النظر إلى تعريف الاشتقاق من نمط ريمان–ليوفيل وخصائصه، يمكن للباحث أن يتوقع مدى ضخامة المسائل التي تنتظر الدراسة، ومنها المعادلات التفاضلية ومسائل القيم الحدية، وغيرها.

وبما أن الاشتقاق بمفهوم ريمان–ليوفيل معرّف على مستقيم الأعداد الحقيقية، فإنه من الطبيعي ظهور أبحاث تتعلق بالمعادلات التفاضلية كسرية الرتبة. وحيث إن المشتق الضعيف ما يزال محدود التناول، فإن نسبة ضخمة من الأبحاث توجهت نحو الحلول القوية للمعادات التفاضلية والمسائل ذات القيم الحدية الكسرية، والتي تعتمد في معظمها على مختلف الصيغ الخاصة بمبرهنات النقطة الصامدة.

أما الأبحاث الخاصة بالحلول الضعيفة، فإنها ما تزال تسير بطريقة محتشمة، خصوصًا وأن خصائص فضاءات سوبولاف كسرية الرتبة لم تُبلور بعد.

تم تقديم المشتقات الجزئية كسرية الرتبة في حالات خاصة تُمثل البلاطات متعددة الوجوه، حيث يمكن تقديم المشتقات فيها بسهولة تامة، بينما لم يتم تناول الحالات العامة إلا في مجموعة قليلة من الأبحاث. وهذا يقودنا إلى سلسلة طويلة من المسائل، التي لو تم حلها، لفتحت لنا آفاقًا جديدة في هذا الفرع. من بين هذه المسائل نجد:

- تعميم الاشتقاق كسري الرتبة إلى الفضاء متعدد الأبعاد وفي ميادين عامة، وذلك اعتمادًا على نظرية فوبيني (Fubini) بالنظر إلى أن المشتق الكسري معرف استنادًا إلى تكامل.
- تعميم المؤثرات الاشتقاقية الشهيرة (التدرج grad، التفرق div، الدوار rot، لابلاس Δ) لتصبح مؤثرات كسرية الرتبة.

- تعميم النظريات والدساتير الشهيرة مثل: صيغة غرين (Green) وَستوكس (Stockes) ومتباينة بوانكاريه (Poincaré).
- فضاءات سوبولاف كسرية الرتبة ذات متغيرات متعددة.

وبهذا يمكننا الولوج إلى مسائل ذات قيم حدية مرتبطة بمشتقات كسرية الرتبة.

وهكذا، نجد أن الأبحاث في هذا الميدان ما تزال في بداياتها، وأنه ينتظرنا الكثير من الجهد والوقت للوصول بها إلى مستوى البداية التي كانت عليه أيام ريمان وَبوانكاريه وَهيلبرت (Hilbert)، فضلًا عن ليري (Leray) وَشوارتز (Schwartz) وسوبولاف.

مراجع

[1] Kilbas, A. A., Marichev, O. I. and Samko, S. G., Fractional Integrals and Derivative : Theory and Applications. Gordon and Breach Science Publishers, 1993.

[2] Kilbas, A. A., Srivastava, H. M. and Trujillo, J. J., Theory and Applications of Fractional Differential Equations. Elsevier, 2006.

[3] Riesz, M., L'intégrale de Riemann-Liouville et le problème de Cauchy, Acta Mathematica, 81(1), (1949), 1–222.

[4] Ross, B., A Brief History and Exposition of the Fundamental Theory of Fractional Calculus. In Fractional Calculus and Its Applications, edited by B. Ross, 1–36. Lecture Notes in Mathematics 57, Springer, Berlin, 1975.


غوتفريد لايبنتز


غيوم لوبيتال

شخصية العدد

الأستاذ جمال الدين ثنيو

مشوار حافل بالرياضيات

وُلد جمال الدين ثنيو يوم 22 فيفري 1945 بمدينة قسنطينة، تلك المدينة العريقة التي كانت ولا تزال منارة علمية وثقافية في الجزائر. وقد نشأ في أسرة متشبعة بقيم التربية والجدّ حيث أدخله والده المدرسة الابتدائية في أكتوبر 1951، وهو في السادسة من عمره. لم يقتصر مساره التكويني على المدرسة الحكومية الفرنسية وحدها، بل وُجّه بالموازاة مع ذلك نحو المدرسة القرآنية لتلقي دروسها في الصباح الباكر (قبل التوجّه إلى المدرسة الفرنسية) فحفظ ما تيسّر من القرآن الكريم وتلقى مبادئ اللغة العربية والعلوم الدينية. كما زاول تعليمه أيضا خلال المساء -بعد الخامسة- فيما يسمى بـ "المدرسة الحرة" آنذاك، وهو الاسم الذي يطلق على المدارس التابعة لجمعية العلماء للمسلمين الجزائريين. فجمع منذ نعومة أظفاره بين التعليم النظامي الفرنسي والتعليم العربي التقليدي، وهو ما وهو ما منحه تكوينًا مزدوجًا انعكس لاحقًا على شخصيته العلمية والثقافية. وبعد ثلاث سنوات توقف عن مزاولة الدراسة في الكُتّاب (المدرسة القرآنية).

في أكتوبر 1957، التحق جمال بالثانوية القسنطينية التي كانت تحمل اسم "الثانوية الفرنسية-الإسلامية" (Lycée Franco-Musulman) والتي لم يكن لها اسم مستقل عكس باقي الثانويات الفرنسية، وقد أطلق عليها بعد الا ستقلال اسم ثانوية حيحي المكّي. والوالد هو الذي أبى إلا أن يتم تسجيل ابنه في هذه الثانوية بالذات. نذكّر أن المرحلة الثانوية آنذاك كانت تدوم 7 سنوات وتبدأ بنهاية المرحلة الابتدائية. كان الالتحاق بالثانوية مشروطًا بمسابقة دخول، غير أنّ التلاميذ المتفوّقين في المرحلة الابتدائية كانوا يُعفوْن منها. وقد أُعفي جمال من الامتحان في اللغة الفرنسية، لكنه خضع لاختبار في اللغة العربية.

وهناك بدأ التعمق في العلوم والآداب معًا ضمن برنامج يجمع بين المواد الحديثة والمواد الإضافية بالعربية، مثل الأدب العربي والفقه الإسلامي والتربية المدنية. هذا التكوين المزدوج كان نادرًا في ذلك الزمن، إذ كانت المدارس الفرنسية تقتصر على مناهجها الخاصة، بينما أُتيح في هذه الثانوية برنامج يراعي خصوصية التلاميذ "المسلمين". والواقع أن الهدف من هذا النوع من الثانويات القليلة (3 ثانويات عبر القطر الجزائري) كان إعداد نخبة من الجزائريين الأصليين ليكون البعض منهم معلّمين والباقي همزة وصل بين الإدارة الفرنسية والسكان الأصليين خاصة في مجال القضاء. ولذلك كان التوّجه العام لهذه المؤسسات أدبيا وليس علميا.

حصل جمال على الشهادة الأهلية (BEPC) في جوان 1961 التي كانت تجرى بعد أربع سنوات من الدراسة في المرحلة الثانوية، ثم واصل المسار إلى أن نال شهادة البكالوريا في جوان 1964. وقد بدأت عندئذ ملامح مساره الجامعي في التبلور.

وبعد حصوله على البكالوريا، انتقل إلى الجزائر العاصمة حيث توجد الجامعة الوحيدة في البلاد. في البداية التحق بالقسم المسمى"Math-Sup" الذي كان موجودا بثانوية الأمير عبد القادر (بجوار ساحة الشهداء)، لكن هذا المسار الدراسي أُغلق بعد شهر، فاضطر إلى تغيير الوجهة نحو الجامعة. وهكذا التحق بالسنة التحضيرية في كلية العلوم المسماة "الرياضيات العامة والفيزياء" (MGP)، ثم اختار في السنة الثانية فرع الليسانس في الرياضيات البحتة، علما أنه كان يوجد بالموازاة مع هذا الفرع، فرع آخر يؤدي إلى نفس الشهادة في الرياضيات التطبيقية.

جمال تنيو شابًا (الثاني من اليمين)

واصل جمال دراسته بجدّ واجتهاد حتى حصل على الليسانس في العلوم الرياضية في جوان 1968. ومباشرة بعدها، سجّل في دبلوم الدراسات المعمّقة (DEA) خلال السنة الجامعية 1968-1969، الذي افتُتح لأول مرة في الجزائر. قُسم برنامج هذا الدبلوم إلى جزئين: الجزء الأول يحتوي المعادلات التفاضلية الجزئية (بإشراف أستاذين أحدهما من روسيا والآخر من الأساتذة الفرنسيين الذي قدموا إلى الجزائر في إطار أداء الخدمة العسكرية)؛ والجزء الثاني يحتوي الاحتمالات بإشراف ثلاثة فرنسيين غير مقيمين ينسق بينهم أستاذ مقيم في الجزائر، وهو بيير بوليكو Pierre Boulicaut الذي كان أيضا يؤدي الخدمة العسكرية.

بعد نيله تلك الشهادة المزدوجة إختار جمال التخصص في المعادلات التفاضلية الجزئية، وهو الاختيار الذي سيحدّد مساره العلمي لاحقًا. وبالموازاة مع مزاولة الدراسة، كان يعمل كـ"متعاون تقني" (collaborateur technique) في السنة الأولى الجامعية حيث درّس الرياضيات في فرع "رياضيات، فيزياء، كيمياء" (MPC)، وهو ما سمح له بممارسة تجربة التدريس إلى جانب التكوين في مجال البحث العلمي.

مع بداية السبعينيات، حصل جمال على منحة لمواصلة الدراسات في فرنسا، فالتحق بجامعة نيس (Nice) الفرنسية عام 1969 لتحضير دكتوراه الدور الثالث. وهناك عمل مع زميله السعيد بن عاشور (الأستاذ السابق بجامعة باب الزوار بعد منتصف السبعينيات) تحت إشراف لويس بوتيه دو مونفيل Louis Boutet de Monvel (1941-2014) الذي انتقل من الجزائر إلى نيس، وكان موضوع بحثهما يدور حول المسائل الحدودية الناقصية المنحلة. لكن سرعان ما تبيّن أن الموضوع لا يكفي لإنتاج أطروحتين كاملتين، فأكمل جمال اطروحته بدراسة مسائل ناقصية في مجالات غير محدودة. في أكتوبر 1971، ناقش أطروحة دكتوراه الدورة الثالثة بجامعة نيس، تحت إشراف بوتيه دو مونفيل. وعندئذ التحق هذا الأخير بجامعة باريسية، وأراد جمال ثنيو مواصل المشوار الدراسي معه بباريس، لكن توقف المنحة الدراسية بعد المناقشة اضطره إلى العودة ليبدأ مسيرته الجامعية في الجزائر.

عمل جمال من أكتوبر 1971 إلى سبتمبر 1973، أستاذا مساعدًا بجامعة الجزائر، ودرّس بوجه خاص نظرية التوزيعات. كما تولّى التنسيق بين المحاضرات التي كان يقدمها أساتذة زائرون فرنسيون بقسم الرياضيات. خلال هذه المرحلة التقى مرة أخرى الأستاذ الفرنسي بيار غريزفار Pierre Grisvard (1940-1994) الذي عمل معه أيضا في نيس والذي كان من الأساتذة الزوار فكلفه بدراسة مسألة بحثية حول المؤثرات الناقصية في الساحات المحدّبة لعلها تندرج في سياق إعداد أطروحة دكتوراه الدولة. غير أن الأستاذ غريزفار عاد بعد مدة ليخبره أنه حلّ بنفسه تلك المسألة، فطُوي ملفها. وبعدها انتقل جمال ثنيو إلى جامعة قسنطينة (1974-1977) بسبب أزمة السكن في الجزائر العاصمة، وهناك واصل التدريس وأدار معهد الرياضيات بالجامعة بين 1975 و1977. وفي هذه الفترة عمل على مسائل معقدة اقترحها عليه الأستاذ الفرنسي كلود باردوس Claude Bardos (1940-.)، وحلها بتطبيق طريقة تدعى "طريقة غاليركين" Galerkin (1871-1945)، لكن النتائج لم تكن قوية بما يكفي للنشر حسب الأستاذ باردوس.

في أكتوبر 1977، عاد جمال إلى الجزائر العاصمة ليعمل بجامعة العلوم والتكنولوجيا هواري بومدين كأستاذ "مكلف بالدروس". هناك أسس مجموعة عمل مع زملائه السعيد بن عاشور ومحند موساوي (1947-2024) وقدور لمرابط. وفي سنة 1981، زار الأستاذ الفرنسي ميشال كروزيكس Michel Crouzeix الجزائر، ووافق على استقباله بجامعة رين Rennes الفرنسية للعمل معه على التحليل العددي. فحصل جمال على تفرغ لمدة سنتين (1982-1984) بجامعة رين 1، وهناك بدأ البحث لكنه لم يتقدم كثيرًا في البداية. ثم اقترح عليه الباحث الإيطالي جيوزيبي جييمونا Giuseppe Geymonat دراسة مسألة ميكانيكية بالتعاون مع مخبر بمرسيليا، فنجح في حلّها ونشر نتائجها، لكنها لم تكف لأطروحة دكتوراه دولة! لذلك غيّر توجهه نحو دراسة أخرى تُوّجت بالحصول على الدكتوراه سنة 1987 بجامعة رين 1.

عاد جمال بعدها إلى الجزائر حيث عُيّن أستاذًا محاضرًا بجامعة باب الزوار في نفس السنة. خلال هذه السنوات، أشرف على مذكرات الماجستير وغيرها، كما أدى دورًا محوريًا في تنظيم التظاهرات العلمية. ففي نوفمبر 1993، أشرف على تنظيم الملتقى المغاربي للرياضيات وعلوم الهندسة في الجزائر، وهو ملتقى دوري يُعقد بالتناوب بين الجزائر وتونس والمغرب. وتولّى العديد من المهام الإدارية والعلمية.

وهكذا أصبح وجهًا بارزًا في الساحة الرياضياتية الجزائرية، فتولّى رئاسة الفعاليات الوطنية المرافقة لإعلان السنة (سنة 2000) العالمية للرياضيات التي أقرها الاتحاد الدولي للرياضيات، ثم تبنتها منظمة اليونسكو حيث بذل جهودا تنظيمية وعلمية مضنية لإبراز حضور الرياضيات في الجزائر مع زميله الأستاذ عبد الحفيظ مقران. كما انتُخب رئيسًا

للجمعية الرياضية الجزائرية (AMA) لثلاث عهدات متتالية، وهو ما جعل اسمه مرتبطًا بالحياة العلمية والتنظيمية للرياضيات في الجزائر.

في العام نفسه، بادر بتأسيس مختبر أبحاث رياضي بجامعة باب الزوار، وهو مختبر التحليل الرياضي والعددي للمعادلات التفاضلية الجزئية (AMNEDP)، الذي أصبح بعد ذلك مركز ثقل للبحث والتكوين في هذا الاختصاص بالجامعة. وقد تولى إدارته حتى سنة 2014، وخلال هذه الفترة أشرف على أطروحات ماجستير ودكتوراه، ونظم مؤتمرات وندوات علمية، كما أسس مكتبة متخصصة لخدمة الباحثين والطلبة. وأنشأ فضاءً علميًا ساعد في تكوين أجيال جديدة من الباحثين الجزائريين في مجال التحليل الرياضي.

استمر جمال ثنيو في الإسهام الأكاديمي حتى تقاعده في جانفي 2019. لكن التقاعد لم يقطع علاقته بالرياضيات، بل ظلّ وفيًا للقراءة والاطلاع والبحث، وإن كان بوتيرة أقل. بقي يرى نفسه عضوًا في أسرة الرياضيات الجزائرية، يتابع المستجدات ويطلع على مجال اختصاصه مكرّسًا بذلك حياة كاملة للعلم والتعليم.

يكشف استعراض مسيرة جمال الدين ثنيو عن شخصية أكاديمية متشبّعة بالمعرفة قضت أكثر من نصف قرن في خدمة الرياضيات بالجزائر. فقد تنقّل بين قسنطينة والجزائر العاصمة ونيس ورين، جامعًا بين التعليم والبحث والإدارة. مرّ بفترات صعبة مثل أزمة السكن أو انقطاع المنحة، لكنه واجهها بالصبر والإصرار تاركا بصمة واضحة على التكوين والبحث في المعادلات التفاضلية الجزئية والتحليل العددي .

إن مسيرة الأستاذ جمال الدين ثنيو تُجسّد نموذج العالم الذي يوازن بتواضع بين البحث والتدريس والتسيير، بين الالتزام الوطني والانفتاح الدولي، وبين الطموح الفردي والعمل الجماعي. واليوم، وبعد تقاعده، تبقى سيرته شاهدًا على مراحل تطوّر الجامعة الجزائرية، وعلى صمود جيل من العلماء الذين ساهموا في بناء صرح الرياضيات في البلاد بعد الاستقلال.

جمال تنيو (الأول من اليمين في الصف الأخير) في ثانوية حيحي المكي خلال السنة 1960-1961

10 أسئلة يجيب عنها الأستاذ جمال ثنيو

السؤال 1: دخلتم المدرسة الابتدائية عام 1951 في قسنطينة. هل لكم أن تصفوا للقراء الجو الدراسي الذي كان يعيشه الطفل الجزائري آنذاك في المدرسة الفرنسية؟

الجواب:

للإجابة عن سؤالك، يمكنني في الحقيقة القول إنني زاولت الدراسة، إن صحّ التعبير، في ثلاث مدارس ابتدائية في الوقت نفسه: الأولى كانت المدرسة "الفرنسية"، والثانية ما كان يُسمّى "المدرسة" (المدرسة الحرة)، وهي مدرسة خاصة تُدرَّس فيها اللغة العربية (أساسا، النحو وقليلاً من الأدب)، وأخيرًا المدرسة القرآنية. كنتُ أذهب إلى المدرسة القرآنية حوالي السابعة صباحا، ثم إلى المدرسة الفرنسية بين الثامنة والحادية عشرة صباحا، وبين الواحدة والنصف والرابعة والنصف بعد الظهر. وإثر ذلك، انتقل إلى "المدرسة الحرة" بين الخامسة والسادسة مساءً. كان المسار مرهقا. وبعد ثلاث سنوات أوقف والدي ذهابي إلى المدرسة القرآنية.

كنّا نسكن في حيّ لم يكن يُصنّف "حيّا عربيًا"، إلا أنه كان مأهولاً في غالبيته بجزائريين أصليين. كانت هناك مدارس ابتدائية كثيرة في جوارنا، بعضها يدرس فيه التلاميذ ذوو الأصول الفرنسية وكذا ذوو الأصول الجزائرية. وفي هذه المدارس، كانت توجد أقسام منفصلة: أقسام خاصة بالجزائريين لا يدرسون فيها سوى خلال الفترة الصباحية، وأقسام أخرى خاصة بالفرنسيين يزاولون فيها الدراسة صباحًا ومساءً. ومع ذلك، كان أغلب الجزائريين المسلمين يفضّلون تسجيل أبنائهم في مدارس مخصّصة للجزائريين. وهذا ما اختاره والدي، إذ سجّلني في مدرسة تقع على مسافة بعيدة نسبيا عن مكان سكننا. كان المعلمون فيها جزائريين وفرنسيين. ومن وجهة نظري، كانوا جميعا أساتذة أكفاء، وتركوا لديّ انطباعا طيبا. أما المدرسة الحرة (المدرسة العربية) فكانت إمكاناتها محدودة جدا، وكان التعليم فيها غير جيّد النوعية.

أشير إلى أن مدة التمدرس في المدارس الابتدائية التي يرتادها الفرنسيون كانت خمس سنوات، وأما في المدارس المخصّصة للمسلمين فكانت ست سنوات، تضاف إليها سنة أخرى مخصّصة لنيل "شهادة نهاية الدراسة الابتدائية"، التي كانت (كما يدل اسمها) تُنهي المشوار الدراسي بالنسبة للجزائريين المسلمين. ومن النادر أن يتمكن أحد هؤلاء التلاميذ من مواصلة دراسته في الثانوية، علما أنه من يسعفه الحظ في ذلك فلا يُطلب منه التسجيل في السنة الإضافية وينتقل مباشرة إلى الثانوية.

ومع اقتراب اندلاع الثورة الجزائرية -أعتقد أن الفرنسيين كانوا يستشعرون ذلك- خفّفوا قليلا قبضتهم بفتح بعض المجال للجزائريين وإتاحة لهم فرصة دخول الثانويات، وخاصةً تلك المؤسسات التي كانت تُسمّى "الدروس التكميلية"، وهي ما يعادل اليوم "المتوسطة" أو "الإكمالية". وأعتقد أن تسمية "التكميلية" أو "الإكمالية" للمؤسسة المسماة الآن "متوسطة" جاءت من هنا.

ورغم أننا كنا نلاحظ وجود تمييز بيننا نحن الجزائريين وبين الفرنسيين الأصليين، فإننا كنّا صغارا دون المستوى الذي يسمح لنا بإدراك المعنى الحقيقي لذلك الوضع. أما أولياؤنا، فكانوا يتمنّون أن يحصل أبناؤهم على حدٍّ أدنى من تعليم متين، لذلك كانوا يسجّلوننا في المدارس الفرنسية، لكنهم في الوقت نفسه لم يكونوا يريدون أن نفقد شخصيتنا وثقافتنا، فكانوا يسعون، قدر المستطاع، إلى تسجيلنا أيضا في المدارس المخصّصة للجزائريين.

"ورغم أننا كنا نلاحظ وجود تمييز بيننا -نحن الجزائريين- وبين الفرنسيين الأصليين، فإننا كنّا صغارا دون المستوى الذي يسمح لنا بإدراك المعنى الحقيقي لذلك الوضع"

أما بالنسبة للتلاميذ، فالجزائريون والفرنسيون كانوا يعيشون كل على حدة، لا يتواصلون فيما بينهم، لكن أيضا دون عداوة أو خصومة. في الواقع، لم أعاشر، حتى بلغت مستوى الدراسات العليا في الجامعة، بل لم أحتكّ بأي تلميذ أو طالب فرنسي قبل تلك الفترة. ويمكن القول إن كل طرف منا كان يتجاهل الآخر تماما.

السؤال 2: قضيتم الفترة 1957-1962 أيضا في المرحلة الثانوية التي كانت تغطي المرحلتين الحاليتين المتوسطة والثانوية (7 سنوات): كيف كانت الأجواء الدراسية في الثانوية عشية استقلال البلاد؟

الجواب:

لم يتم توجيهي إلى قسم "نهاية الدراسة"، بل إلى القسم التكميلي. غير أنّ والدي، بناءً على نصيحة أساتذة المدرسة الحرة، فضّل تسجيلي لأجتاز ما كان يسمى "امتحان السادسة" في الثانوية التي كانت تُسمّى "الثانوية الفرنسية-الإسلامية" (Lycée Franco-Musulman)، على خلاف الثانويات الأخرى التي كانت تحمل أسماء أعلام. للالتحاق بالثانوية، كان يجب اجتياز امتحان، وبالنسبة للثانوية الفرنسية-الإسلامية، كان يتوجّب أيضا اجتياز امتحان في اللغة العربية. أمّا في الثانوية الكلاسيكية، فقد كان هناك نظام يسمح بانتقال التلاميذ المتفوقين مباشرةً دون امتحان. وقد استفدت من هذا النظام، فلم أجتز سوى امتحان في اللغة العربية، وكان في الحقيقة مجرّد امتحان شكلي.

إلى جانب البرنامج العادي للثانويات الكلاسيكية، كانت الثانوية الفرنسية-الإسلامية تُدرّس مادتين إضافيتين: الأولى هي الأدب بالمفهوم الواسع للكلمة، والثانية تتناول العبادات والأخلاق الإسلامية. وكانت هذه الثانوية الوحيدة من نوعها في كامل الشرق الجزائري، تجمع تلاميذ من مختلف مناطقه، وبطبيعة الحال فجميعهم كانوا جزائريين. أشير إلى أن هناك في كل سنة قسما واحدا، يضم حوالي ثلاثين تلميذًا. أعتبر أنّ هذا التنوع الجغرافي للتلاميذ أثْرى كثيرا تكويني الإجتماعي.

كانت الثانوية موجَّهة أساسًا لإعداد معلّمي اللغة العربية، ولم تكن العلوم تشكّل أولوية في المؤسسة. وعلى عكس ما شعرت به في المرحلة الابتدائية، لاحظت أنّ أساتذة اللغة العربية كانوا أكثر كفاءة بكثير من أساتذة اللغة الفرنسية. وأساتذة اللغة العربية كانوا مستقرّين، ولم يتحولوا إلى أماكن أخرى حتى بعد الاستقلال بقليل. فحينها تمت ترقيتهم إلى مناصب عليا. وفي المقابل، لم يمكث أي أستاذ للغة الفرنسية في الثانوية أكثر من سنتين (ولا أعتقد في واقع الأمر أنهم كانوا من "الأقدام السوداء"). رأيي أنّ الإدارة الفرنسية لم تكن ترى من الضروري أن توفّر لهذه الثانوية أساتذة رسميين وذوي مستوى عالٍ. ومع ذلك، نجحت مجموعة معتبرة منّا في الالتحاق بالجامعة بعد إنهاء الدراسة الثانوية.

وبما أنّنا جميعًا كنّا جزائريين، فلم تتح لنا فرصة معاشرة بالفرنسيين أو الدخول في احتكاكات معهم. بطبيعة الحال، كنّا نتحدث فيما بيننا عن "الأحداث" («les événements») كما كانت تسميها الصحف الفرنسية، أي العمليات

الفدائية والتفجيرات، إلخ... لكننا، بما أننا كنّا نعيش في نوع من العزلة، كنّا نتحدّث عنها بحرّية ودون خشية من أي عقوبة.
لا أستطيع أن أصف أجواء الثانويات الأخرى، لكن كما في المرحلة الابتدائية، أعتقد أنّ العلاقات كانت متقطّعة، ولم تكن هناك عداوة بين المجموعتين.

"في الثانوية التي انتسبت إليها بعد الاستقلال، تراجع مستوى تعليم اللغة العربية لأن الأساتذة الذين كانوا يدرّسونها -وهم يتقنون اللغتين العربية والفرنسية- رُقّوا إلى مناصب عليا،"

السؤال 3: واصلتم دراستكم الثانوية حتى عام 1964 باللغة الفرنسية، علما أن النقص في سلك الأساتذة غداة الاستقلال كان فادحا. كيف تم التغلب على هذا النقص في ثانويتكم وفي المؤسسات التعليمية الأخرى التي كانت تدرّس بالفرنسية؟

الجواب:

بما أن تاريخ الاستقلال كان في شهر جويلية، فقد كنا آنذاك في عطلة، فاحتفل كلٌّ منّا بهذا الحدث في بيته. وعند العودة إلى الدراسة، انخفضت درجة نشوة الاحتفالات، وعاد كل واحد إلى اهتماماته اليومية.

إن تحديد تاريخ الاستقلال في بداية جويلية كان خطوة أنقذت المنظومة التعليمية من كارثة حقيقية إذ منح الجزائريين مهلة ثلاثة أشهر للاستعداد للدخول المدرسي الجديد، وسدّ الفراغات التي خلّفها الرحيل الجماعي للأساتذة الفرنسيين. وقد أوكل التعليم في المدارس لما كانوا يسمون بـ"الممرنين"، وهم جزائريون من مستوى التعليم المتوسط يتلقّون تكوينًا في الوقت نفسه الذي يُدرّسون فيه. كما سُدّت بعض الثغرات بقدوم عدد معتبر من الأساتذة السوريين، والمصريين بوجه خاص، جاؤوا للمساعدة في تلك المرحلة. وقد تركت هذه الوضعية الصعبة أثرًا سلبيًا عميقًا في نظامنا التعليمي.

في الثانوية التي انتسبت إليها بعد الاستقلال، تراجع مستوى تعليم اللغة العربية لأن الأساتذة الذين كانوا يدرّسونها -وهم يتقنون اللغتين العربية والفرنسية- رُقّوا إلى مناصب عليا، كما أسلفت، فخلفهم أساتذة جدد كان تكوينهم أقل متانة. أمّا بالنسبة للتأطير من قبل الفرنسيين، فلا أعرف تمامًا كيف جرت الأمور في الثانويات والإكماليات الأخرى، ولكن في ثانويتي لم أشعر بنقص في مواد اللغة الفرنسية، أو التاريخ والجغرافيا، أو العلوم الطبيعية، بل حتى الفلسفة... ربما لأن طاقم التعليم الفرنسي كان في تغيير دائم. وبالمقابل، واجهنا مشكلة كبيرة في تدريس العلوم الفيزيائية والرياضيات إذ لم يكن لدينا في البداية أي أستاذ في هذين التخصصين. وفي النهاية، تمكّنت الثانوية من توظيف أستاذ فرنسي (لا ينتسب لـ"الأقدام السوداء") كان جيّدًا في تدريس الرياضيات، غير أنه كُلّف أيضًا بتدريس العلوم الفيزيائية، ولم يكن متقنًا لها كثيرًا. وفبفضل هذا الأستاذ فُتحت شعبة "الرياضيات" [كانت تسمى "الرياضيات الأولية" Math Élém] في الثانوية.

وبما أن الثانوية كانت ذات توجّه أدبي، كنّا قلّة من التلاميذ الذين اختاروا المسار العلمي. في الواقع، لم تُفتح شعبة "الرياضيات" إلا في شهر نوفمبر من السنة الدراسية 1964/1963. وخلال شهر أكتوبر، اضطر بعض تلاميذ "الشعبة

العصرية" (section moderne) إلى الالتحاق بـ"الشعبة الأدبية". أمّا أنا، فقد سجلتُ في ثانوية أخرى لمتابعة شعبة الرياضيات، ثم عدتُ إلى الثانوية (التي تُعرف اليوم بثانوية حيحي المكّي) بعد افتتاح هذه الشعبة فيها.

ومع ذلك، لم أكن أشعر أنّ الثانويات، وحتى الإكماليات، عانت كثيرًا من نقص التأطير خلال السنوات الأولى من الاستقلال. فالطلبة الذين درّستُهم في بداية السبعينيات [بالجامعة] بدَوا لي ذوي مستوى جيّد. ألاحظ أنه كان لا يزال هناك بعض الأساتذة الفرنسيين، إضافة إلى أساتذة أجانب آخرين، غير أني لا أعرف ما كانت وضعيتهم القانونية بالضبط. من الجائز أن بعض الفرنسيين ظلّوا في الجزائر في إطار اتفاقيات "إيفيان". وبُعيد الاستقلال مباشرة، كانت هناك بكالوريتان: البكلوريا الجزائرية (من تنظيم الجزائر) والبكالوريا الفرنسية (من تنظيم فرنسا). وقد اجتزتُ كلا الامتحانين، ولم أشعر بأن شهادة البكالوريا الجزائرية كانت أدنى مستوى من نظيرتها الفرنسية.

جمال تنيو يحاضر يوم 20 سبتمبر 2025 في المخبر الذي كان أسسه بمعية زملائه في مطلع القرن بكلية الرياضيات (جامعة باب الزوار).

السؤال 4: النقص في سلك المدرّسين كانت تعاني منه أيضا جامعة الجزائر (الوحيدة آنذاك)، ومع ذلك نِلتم شهادة الليسانس في الرياضيات من هذه الجامعة عام 1968. هل ترون أن التأطير في الفروع العلمية كان أفضل مما هو عليه الحال الآن؟

الجواب:

بما أنه لم تكن هناك جامعة في قسنطينة، ونظرا لقلة عدد الجزائريين الذين كانوا يلتحقون بالتعليم العالي آنذاك، لم تكن لديّ أي فكرة عما يعنيه ذلك. كنت أتابع دراستي يوما بيوم، إن صحّ القول، دون أي مشروع بعيد المدى للمستقبل. وهكذا وصلت إلى القسم النهائي في الثانوية، وليس لي من هدف سوى الحصول على شهادة البكالوريا. ولحسن الحظ، خلال السنة الدراسية، جاء موظف من مديرية التربية لينظّم لنا جلسة خاصة، شرح لنا فيها كيف تعمل الجامعة، وحدثنا عن التخصصات المتوفرة، وعن إجراءات التسجيل والإقامة، إلخ. وأخبرنا الموظف، نحن طلبة شعبة "الرياضيات" بوجود مسار يسمى "رياضيات عليا–رياضيات تخصصية" (math sup–math spé) في ثانوية الأمير عبد القادر (التي كانت تُعرف سابقاً بثانوية بيجو Bugeaud)، مع نظام نصف داخلي. وهذه المعلومة الأخيرة بالتحديد هي التي جعلتني أختار مسار "الرياضيات العليا–الرياضيات التخصصية"، دون أن أُفكّر كثيرا فيما سأفعله بعد ذلك.

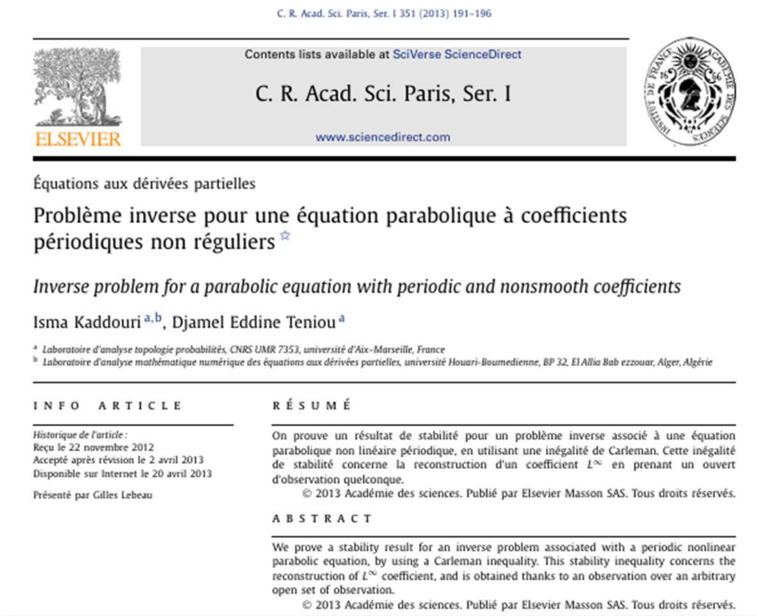
كنّا سبعة أو ثمانية طلاب في هذا المسار، وبعد ثلاثة أو أربعة أسابيع، أدركنا أننا نسير نحو طريق مسدود لأن التعليم في فرع "الرياضيات العليا" لم يكن يلبّي تطلعاتنا، ولم نرَ لأنفسنا مستقبلا في هذا التخصص. لذلك قررنا التسجيل بالجامعة للحاق بالركب. وقد أُغلق فرع "الرياضيات العليا" بثانوية الأمير عبد القادر بعد ذلك مباشرة.

خلال السنة الجامعية 1964-1965، كنا في شعبة "الرياضيات العامة والفيزياء" (MGP)، وعددنا بين 70 و80 طالبا، مقسّمين إلى أربعة أفواج للأعمال الموجهة. ولا أظن أن عدد الطلبة في السنة 1962-1963 تجاوز العشرة، ولا أن في السنة 1963-1964 كان أكبر من ذلك بكثير. وهذا يعني أن الجامعة لم تكن تحتاج إلى عدد كبير من الأساتذة.

في البداية، كان هناك نوعان من الأساتذة، ومعظمهم من ذوي الكفاءة العالية: النوع الأول يتشكل من أولئك الذين كانوا يدرّسون في جامعة الجزائر قبل الاستقلال، وغالبا ما كانوا متقدّمين في السنّ، بعضهم قضى معظم مسيرته المهنية في الجزائر ولم يرغب في الهجرة، وبعضهم الآخر كان متقدما في العمر بحيث لم يعد يأمل في الحصول على منصب في فرنسا. أما النوع الثاني فكانوا من اليسار الفرنسي، الذين أرادوا المساهمة في مساعدة الجزائر خلال خطواتها الأولى بعد الاستقلال.

وابتداءً من السنة الجامعية 1964-1965، قدم نوع ثالث من الأساتذة الفرنسيين إلى الجزائر، يُعرفون باسم "VSNA"، وهم شبّان جامعيون أنهوا أطروحات الدكتوراه أو كانوا على وشك إنهائها، وكان لهم الخيار في أداء الخدمة العسكرية كمدرّسين جامعيين في الجزائر. كانوا شبابا ذوي إرادة قوية وكفاءة عالية (خاصة في الرياضيات إذ كان عددا غير قليل منهم من خريجي المدرسة العليا للأساتذة بباريس). وهكذا، كان لدينا أساتذة ممتازون، يؤدّون مهامهم بصرامة وجودة، ويقدّمون الدروس والأعمال التطبيقية بانضباط تام ودون أي نزعة أبوية. كان علينا كل أسبوع إعداد وحلّ مسألة رياضياتية كاملة وتسليمها للأستاذ، إضافة إلى سلسلة من التمارين. يجدر القول بأن الأساتذة آنذاك كانت لديهم أعباء تدريسية أخف بكثير مما هي عليه اليوم.

أما اليوم، فقد تضاعف عدد الطلبة أضعافا كثيرة. وانتقلنا من جامعة واحدة إلى جامعة تقريبا في كل ولاية. لكن عدد الأساتذة المؤطرين لم يواكب هذا التوسع، لا من حيث الكمية ولا من حيث الجودة. ومن المؤسف أن نقول بأن الميدان يثبت أن مستوى التكوين الحالي بعيد جدا عن ذلك المستوى الذي حظينا بفرصة تلقّيه في تلك الحقبة.



C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I 351 (2013) 191–196

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. I

www.sciencedirect.com

ELSEVIER

Équations aux dérivées partielles

Problème inverse pour une équation parabolique à coefficients périodiques non réguliers ☆

Inverse problem for a parabolic equation with periodic and nonsmooth coefficients

Isma Kaddouri [a,b], Djamel Eddine Teniou [a]

[a] *Laboratoire d'analyse topologie probabilités, CNRS UMR 7353, université d'Aix-Marseille, France*
[b] *Laboratoire d'analyse mathématique numérique des équations aux dérivées partielles, université Houari-Boumedienne, BP 32, El Allia Bab ezzouar, Alger, Algérie*

INFO ARTICLE

Historique de l'article :
Reçu le 22 novembre 2012
Accepté après révision le 2 avril 2013
Disponible sur Internet le 20 avril 2013

Présenté par Gilles Lebeau

RÉSUMÉ

On prouve un résultat de stabilité pour un problème inverse associé à une équation parabolique non linéaire périodique, en utilisant une inégalité de Carleman. Cette inégalité de stabilité concerne la reconstruction d'un coefficient L^∞ en prenant un ouvert d'observation quelconque.

© 2013 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

ABSTRACT

We prove a stability result for an inverse problem associated with a periodic nonlinear parabolic equation, by using a Carleman inequality. This stability inequality concerns the reconstruction of L^∞ coefficient, and is obtained thanks to an observation over an arbitrary open set of observation.

© 2013 Académie des sciences. Publié par Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

من منشورات جمال تنيو البحثية.

السؤال 5: واصلتم دراستكم في فرنسا أثناء النصف الأول من عقد السبعينيات، وعدتم إلى أرض الوطن للتدريس بالجامعة، وكان عدد المؤهلين للتدريس الجامعي قليلا إذ لم يكن هناك أي جزائري حامل للدكتوراه في الرياضيات قبل عام 1969. وظل ضعف التأطير صارخا في الجامعة رغم وجود متعاونين أجانب. هذا ما كان عليه الحال في السبعينيات وحتى الثمانينيات. لكن عدد الحاصلين على الدكتوراه في الرياضيات تزايد في البلاد بعد ذلك بسرعة مذهلة. هل ترى ذلك إيجابيا أو أنه تم على حساب نوعية التكوين؟

الجواب:

لقد استفدنا استفادةً كاملة من وجود هؤلاء الفرنسيين في الجزائر. غير أن هذه الموارد بدأت تجف تدريجيا، ولم يكن هناك بعدُ جزائريون قادرون على تعويضهم. ومن جهة أخرى، بدأ عدد الطلبة في الازدياد المطّرد، وبدأت جامعات أخرى تُفتتح. وكان لا بدّ من إيجاد حلولٍ لهذه المشاكل على وجه السرعة. حينها، توجّهت الجزائر إلى بلدان المعسكر الشرقي، وخصوصا الاتحاد السوفياتي ورومانيا، لتعويض النقص في الأساتذة. كان بعض هؤلاء المدرّسين على مستوى عالٍ من الكفاءة، لكن الغالبية كانت ذات مستوى متواضع. إضافة إلى ذلك، كانت مهمتهم تقتصر على التعليم في مرحلة التدرّج (الليسانس)، ولا يبدو لي أن السلطات الجزائرية المعنية في ذلك الوقت كانت تولي اهتماما بتكوين ما بعد التدرّج (الدراسات العليا).

ومن بين الأساتذة الفرنسيين اليساريين الذين أشرتُ إلى حضورهم آنفا، والذين أرادوا مساعدة الجزائر، كان هناك واحد يتميّز بحماس كبير هو مارتن زيرنير Martin Zerner (1932-2017). وقد نجح في إعطاء حركية حقيقية للتكوين في مرحلة ما بعد التدرّج (وكان اختصاصه المعادلات التفاضلية الجزئية، وكان يمكن أن يكون اختصاصا آخر). وقد استفدتُ أنا شخصيا من تلك الحركية.

لقد ظهرت لاحقا حركية أخرى مرتبطة بالمدرسة المتعددة التقنيات (École Polytechnique) ، كانت مستقلة عن الحركية الأولى، لكنها صادفت أن تكون هي الأخرى متخصّصة في المعادلات التفاضلية الجزئية. ومع ذلك، لا ينبغي على المرء أن يعتقد بأننا حصلنا على شهاداتنا العليا على طبقٍ من فضة إذ إن الجزء الأكبر من الجهد كان من صنعنا نحن أنفسنا. ولا ينبغي أيضا أن نعتقد، رغم المظاهر، أن المعادلات التفاضلية الجزئية كانت قد احتكرت الساحة العلمية في الجزائر احتكارا تامّا. فقد كان هناك طلبة التحقوا بالخارج لإجراء أبحاثٍ في مجالاتٍ أخرى، مثل الهندسة، والجبر، ونظرية الاحتمالات. غير أن تلك الجهود كانت مبعثرة. ولذلك كان أثرها أقلّ بروزا في الساحة. وصعوبة بروز الاختصاصات الأخرى لا تكمن في هيمنة حقل المعادلات التفاضلية الجزئية في حدّ ذاته بل تكمن في تشتّت الباحثين الآخرين الذين لم يتمكّنوا من تشكيل تكتلات علمية متجانسة كما هو الحال في مجال المعادلات التفاضلية الجزئية.

من الجائز أن تكون المعادلات التفاضلية الجزئية قد حجبت شيئًا ما بريق التخصصات الأخرى. فعلى سبيل المثال، في حالتي الشخصية، كنت أرغب في دراسة الجبر، غير أن طلبي قوبل بالرفض بذريعةٍ واهية مفادها أن الجزائر كانت بحاجة إلى رياضيين تطبيقيين. ومع ذلك، لم أتضرر من هذا القرار.

أعتقد أن المجموعة المتينة التي تشكلت في حقل المعادلات التفاضلية الجزئية مكّنت طلبة عددٍ من دفعات جامعة الجزائر من الاستفادة من تكوين علمي جاد وصارم. ومن هذه الناحية، لا شكّ أن إسهامها كان إيجابيًا جدًا. غير أنه لا ينبغي أن نمنح هذه المجموعة أهميةً تفوق حجمها الحقيقي. ففي منتصف سبعينيات القرن الماضي ونهايته، إذا ما استثنينا جامعة قسنطينة، وبدرجة أقل جامعة سطيف، فإننا نلاحظ أن تأثير مجموعة المعادلات التفاضلية الجزئية المتواجدة في الجزائر العاصمة على الجامعات الأخرى كان ضئيلاً.

كان الباحثون في تلك الجامعات يتخصصون حسب الفرص المتاحة أمامهم. وإن كانت جامعة المسيلة، على سبيل المثال، قد نجحت في تشكيل مجموعة متميزة من الرياضيين في مجال المعادلات التفاضلية الجزئية، أو كانت جامعة عنابة قد كوّنت مجموعة علمية قوية، فذلك لا يعود فضله إلى تأثير "العاصميين". وعلاوة على ذلك، وربما هذا هو الأهم، فإن الجزائر خلال السبعينيات والثمانينيات كانت بحاجة قبل كل شيء إلى أساتذة مكوِّنين ذوي كفاءة عالية، بغضّ النظر عن تخصصهم. ومن وجهة نظري، قناعتي هي أن الرياضياتي الجيد قادر على تقديم تعليم جامعي (في مرحلة الليسانس) متين، أيًّا كان فرع الرياضيات الذي يدرّسه. وأخيرًا، حتى اليوم، فإن مستوى تطوّر الرياضيات في الجزائر لا يستدعي بعدُ وجود باحثين من الطراز الرفيع في جميع فروع هذا العلم.

"لا ينبغي أن نعتقد، رغم المظاهر، أن المعادلات التفاضلية الجزئية كانت قد احتكرت الساحة العلمية في الجزائر احتكارا تامّا. فقد كان هناك طلبة التحقوا بالخارج لإجراء أبحاثٍ في مجالاتٍ أخرى، مثل الهندسة، والجبر، ونظرية الاحتمالات. غير أن تلك الجهود كانت مبعثرة. ولذلك كان أثرها أقلّ بروزا في الساحة."

السؤال 6: من المعلوم أن جامعة العلوم والتكنولوجيا (باب الزوار) قد قامت على ما كان يعرف بكلية العلوم في الجامعة المركزية عام 1975. ثم أصبحت جامعة باب الزوار "المرجع الوطني" في الرياضيات حتى أصبحت تضم "كلية للرياضيات". هناك من يرى هذا التألق الرياضياتي للجامعة قد نجم عن استحداث فرع البحوث العمليات الذي هيمن الآن على الكلية، وثمة من يرى عكس ذلك تماما. ويذهب البعض إلى القول بأن فرع بحوث العمليات أساء لتطور الفروع الرياضياتية الأخرى في الجامعة بسبب نقص إقبال الطلبة على تلك الفروع. ما رأيكم في هذه المواقف المتضاربة بوصفكم عايشتم كل مراحل تطور هذه الجامعة وتوليتم خلالها مسؤوليات إدارية؟

الجواب:

كما اسلفت، أكرّر أنه لا ينبغي أن نعتقد أنّ تكويننا وشهاداتنا قُدّمت لنا على طبقٍ من فضة. فالسلطات الجزائرية في ذلك الوقت كانت منشغلة أكثر بتوفير التكوين الأساسي لتغطية احتياجات المدارس المتوسطة والثانوية، ولتزويد الشركات الوطنية بالمهندسين، أكثر من اهتمامها بالبحث العلمي.

فالصدمة التي اجتاحت التعليم الابتدائي والثانوي غداة الاستقلال، عندما كان "الممرنون" يحلّون محلّ المعلّمين، وصلت موجتها إلى الجامعة في السبعينيات حيث ازداد عدد الطلبة بشكلٍ ملحوظ. وقد دفع ذلك السلطات إلى إبرام اتفاقيات مع بلدان أوروبا الشرقية لتزويد الجامعات بأساتذة لم يكونوا في الأصل باحثين. في نظر سلطاتنا آنذاك، لم تكن الجامعة سوى امتدادٍ للثانوية، ولم تكن لديهم فكرة واضحة عن مفهوم البحث العلمي.

التكوين في ما بعد التدرّج (الدراسات العليا) لم يكن مبرمجا رسميا على الإطلاق. ذلك أن هذا التكوين كان يُنظَّم -إن صحّ التعبير- حسب العرض لا حسب الطلب. وقد استفاد خلال السبعينيات عدد معتبر من الطلبة بمنح دراسية جزائرية وأجنبية لإعداد شهادة الدكتوراه في الخارج، سيما في الإتحاد السوفياتي وفرنسا (وفرنسا كانت الوجهة الأهم في اختصاص الرياضيات). وقد انتهت هذه الفترة مع منتصف الثمانينيات. والسبب في ذلك في اعتقادي، هو اقتصادي وأيضا لأن الجزائر اعتبرت أنه أصبح لديها ما يكفي من الإطارات لتلبية حاجاتنا. وفضلا عن ذلك، فإن بعض حاملي شهادة الليسانس أو شهادة الدراسات المعمّقة تدبّروا أمرهم بنفسهم للعثور على تكوينٍ مناسب وعلى وسيلةٍ مالية (منحة أجنبية أو غيرها) لمواصلة دراساتهم العليا. ومع ذلك، أعتبر أن البحث العلمي في الجامعة وتثمين مكانة الباحث الجزائري لم يكونا من أولويات السلطة، وهذا حتى السنة 1978 حيث تحسنت في تلك السنة الحالة بصفة ملحوظة (الراتب ، السكن، التفرغ لتحضير الدكتوراه).

وبالموازاة مع تكوين المكونين، كان من أولويات السلطة، تطوير التطبيق في البحث العلمي، لهذا الغرض أنشأت الوزارة عام 1973 الديوان الوطني للبحث العلمي الذي ضم كل ما كان يمارس البحث آنذاك تحت رعاية وزارة التعليم العالي والبحث العلمي (مركز أبحاث علم الفلك والفيزياء الفلكية والجيوفيزياء، المعهد الوطني في البحث الزراعي، إلخ.)؛ وربما أنشأ هو الآخر هيئات بحث جديدة. إلا أن العلاقة بين هذا الديوان والوزارات الأخرى المعنية بالبحث العلمي لم تكن علاقات طيبة، وهو ما سرّع بعملية حلّ الديوان في آخر المطاف.

كان هناك ثلاثة خياراتٍ في مرحلة الليسانس في تخصص الرياضيات: الجبر، والتحليل، والاحتمالات، وكان لكلّ خيارٍ شهادةٌ واحدة. لم يكن اختيار أحد هذه الخيارات عائقا أمام التخصّص في مجالٍ آخر، كما كان بالإمكان اختيار أكثر من خيار. أما أنا، فقد تابعتُ خياريْ الجبر والتحليل معا. وعلى الرغم من ذلك، تابعتُ شهادة الدراسات المعمقة (DEA) التي كان نصْفها في التحليل والنصف الآخر في الاحتمالات، وهو ما جعلني أدْرس الخيار الثالث بالتوازي دون أن يشكّل ذلك لي عائقا جدير بالملاحظة.

أما حمَلة الليسانس الجدد الذين كانوا يرغبون في متابعة دراساتهم في الخارج، فكان معظمهم منشغلاً أكثر بالعثور على مكانٍ للتكوين، لا بتفضيل خيارٍ أكاديمي على آخر. ولأُكمل الإجابة عن سؤالك السابق أيضا، أذكر أنّه خلال سبعينيات القرن الماضي وبداية الثمانينيات، كان الأساتذة المساعدون والمكلّفون بالدروس يشكّلون العمود الفقري للجامعة. ومن خلال ما أتذكّره، كان هناك أساتذة مساعدون جزائريون أكفاء في التخصّصات الثلاثة، بنسبٍ شبه متقاربة. بل وأظنّ -وإن لم أكن متأكداً تماما- أنّ قسم الجبر كان أوفر حظا من قسم التحليل. أما هيمنة تخصّص المعادلات التفاضلية الجزئية، فيبدو لي أنها لم تبدأ بالظهور بوضوح إلا نحو نهاية السبعينيات.

"كان الأساتذة المساعدون والمكلّفون بالدروس يشكّلون العمود الفقري للجامعة. ومن خلال ما أتذكّره، كان هناك أساتذة مساعدون جزائريون أكفاء في التخصّصات الثلاثة، بنسبٍ شبه متقاربة. بل وأظنّ -وإن لم أكن متأكداً تماما- أنّ قسم الجبر كان أوفر حظا من قسم التحليل."

السؤال 7: من نشاطاتكم العلمية خلال العقود الماضية تنظيم ملتقيات مختلفة في الرياضيات. ثمة من الزملاء من يعتبر الملتقيات نوعا من "الفولكلور" أو "المهرجانات" التي لا فائدة منها، ويفضل بدل ذلك استهداف تنظيم ملتقيات دقيقة المرمى قليلة العدد. ألا ترون في أن لكل ملتقى في الرياضيات، مهما كان حجمه، له إيجابياته وسلبياته وأن تفضيل هذا عن ذاك يحمل بعض الإجحاف؟

الجواب:

لا أعتقد أن اللقاءات العلمية في حد ذاتها مجرد شكل من أشكال "الفولكلور"، كما لا أرى أنه من الحكمة مقارنتها باللقاءات الموضوعاتية المتخصّصة جدًّا والمحدودة جدًّا. فلكلٍ منها خصوصيتها وأهدافها: فمن جهة، تتيح اللقاءات العلمية العامة للشباب، عرض أعمالهم. ومن وجهة نظري، لا تكمن أهمية هذه اللقاءات في العرض نفسه بل فيما يترتب عليه من استعداد الباحث الشاب لهذا العرض، وإلزامه نفسه بالنظر في عمله بشكل منهجي دقيق وتوضيح أفكاره، واحتكاكه بباحثين آخرين، سواء كانوا مبتدئين أو ذوي خبرة، وحضوره للمحاضرات العامة التي يلقيها أساتذة متمرّسون. كل ذلك يبدو لي أمرًا إيجابيًا.

أتذكر باحثًا جاء ذات يوم يطلب مني أن أكون مشرفًا على أطروحته لنيل الدكتوراه، وقال لي إن لديه خمسة أبحاث جاهزة للنشر. طلبت منه أن يشرح لي عمله قليلًا، فلم يعرف كيف يقدّمه. طلبت منه أن يلقي عرضًا في الحلقة الأسبوعية لمخبرنا، فلم يكن يعرف حتى ما هي "الحلقة" (séminaire). وبعد ذلك لم أره مجددًا. كما أعلم أن هناك على الأقل حامل دكتوراه من النظام الجديد في الرياضيات، لم يغادر جامعته قط. لا أظن أنه يمكن تعلّم البحث العلمي في أي مجالٍ كان لشخص يظل حبيس زاويته.

صحيح أنّ النتائج المباشرة لا تكون دائمًا بمستوى الجهد المبذول في تنظيم التظاهرات العلمية، لكنّي مقتنع بأنها تحمل جوانب إيجابية. فهل يمكن، مثلًا، القول إن المؤتمر -الذي ينظمه الاتحاد العالمي للرياضيات (IMU) كل أربع سنوات، والذي يستقبل عددا ضخما من الباحثين- مجرّد "فولكلور"؟ ومع ذلك، أرى أنه ينبغي ضبط عدد هذه التظاهرات. للأسف، لقد انحرفت هذه الملتقيات عن أهدافها الأصلية. ففي الجزائر، ولا سيما مع إنشاء المخابر وما تبعه من تدفّق للمال، حدثت حُمّى في تنظيم التظاهرات العلمية، يتسابق فيها الجميع، مما أدى إلى فوضى مؤسفة. وحتى على المستوى العالمي، هناك نوع من الهوس بهذا النوع من اللقاءات التي تُقدَّم تحت غطاء "اللقاءات العلمية"، لكنها لم يعد الكثير منها في الواقع سوى عمليات تجارية مقنّعة.

ومع ذلك، تظلّ "الورشات العلمية" ذات فائدة مؤكدة؛ فهي تتيح للباحثين الشباب تعميق فهمهم لموضوع محدّد، حتى وإن لم يكن هذا الموضوع من تخصّصهم الدقيق. فهي تدفعهم إلى توسيع آفاقهم الفكرية وإدراك أن ممارسة الرياضيات، والعلم بوجه عام، لا يمكن أن تتمّ ضمن نطاق ضيّق من المعارف. وتزداد أهمية هذه الورشات في الجزائر تحديدًا لأن باحثينا لا يملكون بعدُ ثقافة تنظيم أفواج عمل محلية لدراسة موضوعات خارج مجال اختصاصهم المباشر. ولذلك، فإنّ مقابلة أحد النهجين بالآخر لا تبدو لي مقاربة سليمة. وعلى كل حال فخير الأمور أوسطها.

السؤال 8: في عام 2000، السنة العالمية للرياضيات، أشرفتم بمعية الزميل عبد الحفيظ مقران على تنظيم أول لقاء للرياضياتيين الجزائريين، حضره حسب ما أذكر مئات الأساتذة والباحثين الجزائريين في الرياضيات من الداخل والخارج، وعرف نجاحا كبيرا من حيث تمكنه من جمع كل هذه الأعداد من رياضياتيينا. المؤسف أنه لحد الآن كان ذلك اللقاء أول وآخر لقاء من هذا القبيل. ما هي ذكرياتكم بعد مرور ربع قرن عن ذلك "العرس الرياضياتي"؟ وهل وجدت توصياته صدى إيجابيا؟

الجواب:

لقد تطلّب تنظيم هذا اللقاء جهدًا كبيرًا منّا، ولولا تفهّم عائلاتنا ودعمها لربما تخلّينا عن المشروع في منتصف الطريق. كنا قد التقينا بوزير التعليم العالي آنذاك، واستقبل مشروعنا بارتياح، بل وخصّص له ميزانية معتبرة. لكننا لم نتمكّن من الاستفادة منها، على الأقل لأسباب إدارية إذ بدا أنها مخصّصة فقط لاستقبال المشاركين وتوفير القاعات للمحاضرات.

كانت مرحلة التحضير صعبة للغاية. صحيح أننا كنا نُستقبَل بحفاوة في كل مكان، لكن دون نتائج ملموسة. والوحيد الذي قدم لنا دعمًا فعليًا خلال التحضير هو "مركز البحث في الإعلام العلمي والتقني"(CERIST) . أما من حيث المساعدة البشرية، فقد بذل الزملاء في المدرسة العليا للأساتذة -القبة جهدًا كبيرًا لتخفيف العبء عنّا. وأعتقد أنّ اللقاء، في حدّ ذاته، كان ناجحًا من جميع الجوانب: من حيث سلاسة التنظيم، وعدد المحاضرين المشاركين، وتنوع تخصصاتهم الواسع جدًا . وقد أشاد جميع الزملاء بهذه التظاهرة العلمية.

ومع ذلك، كنتُ آمل أن يستفيد الزملاء من هذا اللقاء الواسع لبعث حركية جديدة تُنعش الحياة الرياضياتية في الجزائر. كنت أرى أن مهمة تنشيط مثل هذه المبادرات ليست من مسؤوليتنا نحن المنظمين. وللأسف، باستثناء اقتراحٍ لإنشاء مركزٍ للرياضيات -وهو اقتراح لم يُكتب له النجاح لحد الساعة- لم تكن هناك أنشطة أخرى غير المحاضرات والعروض العلمية. صحيح أنّه عُقدت جمعية عامة لجمعية الرياضياتيين الجزائريين (AMA) بهدف إعادة إحيائها، لكنها لم تدم طويلاً. ولم يُتخذ أي قرار آخر في ختام المؤتمر. لا شكّ أنّ بعض الروابط العلمية قد نشأت خلال اللقاء بين الزملاء، لكن نتائجها لم تكن في مستوى تطلعاتي. ومن هذا المنظور، أرى أن اللقاء كان فاشلا نوعا ما.

وأغتنم هذه المناسبة لأشكر مجددًا عبد الحفيظ مقران على تفانيه وإخلاصه، فلولاه لما تمكّنّا من تنظيم هذا اللقاء، كما أتقدّم بالشكر لزملائنا في المدرسة العليا للأساتذة -القبة على تفانيهم خلال فترة التحضير بأكملها.

جمال تنيو (ربيع 2000) خلال إشرافه على لقاء عام 2000

"كنتُ آمل أن يستفيد الزملاء من هذا اللقاء الواسع لبعث حركية جديدة تُنعش الحياة الرياضياتية في الجزائر. كنت أرى أن مهمة تنشيط مثل هذه المبادرات ليست من مسؤوليتنا نحن المنظمين. للأسف..."

السؤال 9: نعتقد أنكم ترون بعين الرضا فكرة إنشاء مخابر البحث العلمي في الجزائر قبل ربع قرن. ومن المعلوم أنكم أسستم وأشرفتم على مخبر من هذا القبيل خلال مدة طويلة في جامعة باب الزوار. ما هو تقييمكم لهذه المخابر (في الرياضيات على الأقل)؟ وهل لكم ما تقترحونه لتحسين أدائها؟

الجواب:

منح إنشاء المخابر دفعًا قويًا جدًا للبحث العلمي في الجامعات الجزائرية. فقد حصلت هذه المخابر على ميزانية معتبرة مكّنت الجامعات من اقتناء تجهيزات معلوماتية وأدوات بحث كانت تعاني من نقصها الحاد، وهذا إضافةً إلى توفير الوثائق والمراجع العلمية. كما أتاحت هذه الميزانية للمخابر تنظيم الندوات واللقاءات العلمية، بل مكّنت بعض الباحثين من القيام بتربصات في الخارج. وقد سهل تخفيف القيود الإدارية المعقدة -الخاصة بتسيير الميزانية- عمل هذه المخابر. وقد حدثت بعض التجاوزات، إلا أنّه تسييرها كان بوجه عام -رغم نقص الطاقم الإداري المساند وقلة خبرة مديري المختبرات في هذا المجال- معقولًا في مجمله. ومن جهة أخرى، فإنّ تقييم المخابر وآلية تخصيص الميزانيات من قبل الوزارة كانت متذبذبة وغير مستقرة إذ كان أسلوب التقييم يتغير من سنة إلى أخرى، وكانت المبالغ الممنوحة تُوزَّع، في رأيي، بطريقة اعتباطية. وهذا ما أدى إلى أن بعض المخابر غرقت في التبذير بينما عانت أخرى من التقشف الشديد. بعبارة أخرى، لم تكن هناك أي إستراتيجية واضحة تُوجّه هذه المخابر.

جمال ثنيو مع زميليه المرحوم محند موساوي والأستاذ محمد السعيد مولاي.

"وللأسف، هناك ظاهرة أخرى صارت من واقعنا، تتمثّل في أن الاعتبارات الاقتصادية والاجتماعية والسياسية والفكرية جعلت جاذبية الغرب لا تُقاوَم، سواء بالنسبة للأساتذة الباحثين أو للطلبة، وهي عوامل خارجة عن سيطرتنا تمامًا "

انطباعي هو أن سخاء السلطات آنذاك كان ناتجًا أكثر عن البحبوحة المالية التي عرفتها البلاد في تلك الفترة، وليس عن أهداف واضحة وعقلانية. ويبدو لي أن هذا الانطباع تأكد لاحقًا مع التوقّف شبه التام لميزانيات المختبرات، دون أي تمييز، بمجرد أن بدأت البلاد تواجه صعوبات مالية.

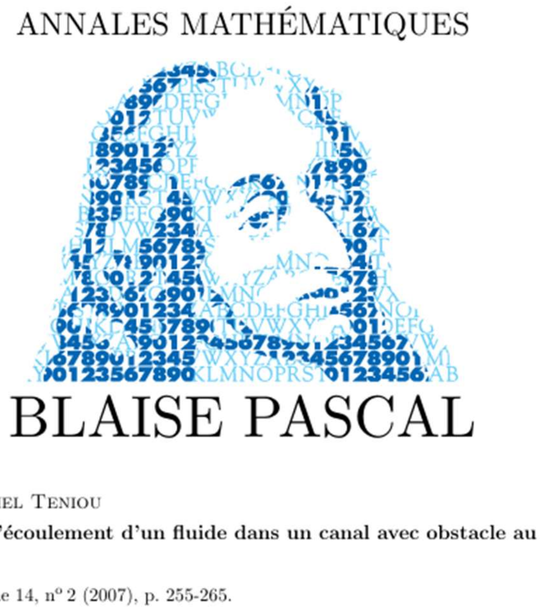
ومن خلال ما ألاحظه اليوم، فإن المخابر بالكاد تعيش، بل هي في حالة نعاس أكثر منها في حالة نشاط حقيقي. ورغم أن نقص الإمكانيات المالية ليس السبب الوحيد لهذا الوضع، إلا أنه لعب دورًا كبيرًا في هذا التراجع. يمكن القول تقريبًا إن إنشاء عدد هائل من المخابر دفعة واحدة كان أقرب إلى إجراء مصطنع. ولذلك فمن الطبيعي أن يحدث نوع من الإنهاك والفتور بعد فترة من الزمن.

من وجهة نظري، حتى يعمل المخبر بشكل سليم، لا بدّ من توفر الإمكانيات المادية، لكن ذلك غير كاف. فالأمر يحتاج أيضًا إلى باحثين مؤطرين أكفاء، وطلبة ذوي مستوى جيد، إضافةً إلى عمل طويل النفس وصرامة علمية لا تعرف التهاون.

كما ينبغي أن يكون التعليم، بصفة عامة، ذا جودة عالية، غير أنّ ما أراه في الجامعة الجزائرية اليوم هو أن مستواه يتدهور سنة بعد أخرى.

وللأسف، هناك ظاهرة أخرى صارت من واقعنا، تتمثّل في أن الاعتبارات الاقتصادية والاجتماعية والسياسية والفكرية جعلت جاذبية الغرب لا تُقاوَم، سواء بالنسبة للأساتذة الباحثين أو للطلبة، وهي عوامل خارجة عن سيطرتنا تمامًا. وقد أصبحت ظاهرة النزيف نحو الخارج تتفاقم باستمرار.

أملي أن أكون مخطئًا، إلا اني أشعر بشيء من التشاؤم إزاء مستقبل البحث العلمي في الجزائر.


ANNALES MATHÉMATIQUES

BLAISE PASCAL

Djamel Teniou

Sur l'écoulement d'un fluide dans un canal avec obstacle au fond

Volume 14, n° 2 (2007), p. 255-265.

أحد أبحاث جمال تنيو المنشورة عام 2007

السؤال 10: في الأخير نود معرف تقييمكم لمناهج الرياضيات في الجزائر بصفة عامة (في كل مراحل التعليم)؟ وماذا عن تأسيس ثانوية (أو أكثر) للرياضيات ومدرسة عليا للرياضيات؟ وهل لديكم ما تقترحونه بهذا الشأن اعتمادا على تجربتكم الطويلة في تدريس هذا العلم؟

الجواب:

لا أعرف جيدًا كيف يجري الأن التعليم في المدارس الابتدائية والثانوية، ولذلك لا أستطيع أن أُبدي رأيًا إلا انطلاقًا من مستوى الكفاءة الذي يمتلكه الطلبة الجدد عند وصولهم إلى الجامعة. وبالتالي، فإن تقييمي جزئي وبعيد عن الإحاطة الكاملة.

لا يقتصر التعليم على نقل المعرفة بل من المهم أيضًا تعليم التلميذ كيف يفكر وكيف يكون دقيقًا ومنهجيًا، وهذا ليس فقط في المدرسة، بل في حياته اليومية أيضًا. كما ينطبق ذلك على جميع المواد التعليمية، وينطبق أكثر على

الرياضيات. فقد أُجْرِيت في الخارج دراسات حول مدى قدرة العمال على التكيّف مع التغيرات، وخلصت بوضوح إلى أن الأشخاص الأكثر تكوينًا في الرياضيات هم الأكثر قدرة على التأقلم مع تطوّر أدوات العمل.

وبطبيعة الحال، فإن القيام بعمل بيداغوجي بهذا المعنى موجَّه نحو المعلّمين سيكون أمرًا مفيدًا.

فالهدف ليس مجرد تعليم أن 2 + 2 = 4، بل ينبغي أيضًا غرس روح الدقة والصرامة في الأذهان. وهذا الأمر يجب أن يرافق المتعلم طوال مسيرته الدراسية. وللأسف، عندما أنظر إلى مستوى الطلبة الذين يصلون إلى الجامعة، ألاحظ أنهم لا يمتلكون المعارف الأساسية المطلوبة لمواصلة دراستهم، والأسوأ من ذلك أن معظمهم لم يكتسب النصيب الكافي من الحسّ بالصرامة والمنهجية، وهو شرط لا غنى عنه للنجاح.

وأحد أسباب هذا الواقع، كما ذكرتُ في سؤال سابق، هو أنه بعد الاستقلال مباشرة، وجدنا أنفسنا أمام فراغٍ تام. وكان لا بدّ من التحرك بسرعة لسدّ الحاجات العاجلة، فاستُعين بـ"الممرنين" في التعليم الابتدائي، وبأساتذة ذوي تكوين متوسط في التعليم الثانوي. وعلى الرغم من الجهود التي بُذلت لاحقًا لتحسين الوضع، وإنشاء المدارس العليا للأساتذة فإن العوامل الديموغرافية لم تسمح بتحقيق تقدّم كبير في جودة التعليم الابتدائي والثانوي، وهو ما انعكس بالضرورة على التعليم العالي.

لقد أصبح غياب الصرامة هو القاعدة، وأساتذة التعليم العالي لم يكونوا قادرين على مقاومة هذا الداء، بل الأسوأ من ذلك أنهم أصيبوا به هم أنفسهم. هل ستتمكن ثانويات الرياضيات من معالجة هذا الوضع؟ لا فكرة لديّ عن طريقة عمل هذه الثانويات.

ما مقدار الصرامة الرياضياتية لدى أساتذتها وتلاميذها؟ ما هو الهدف من هذه الثانويات؟ هل هي موجهة للتعليم الثانوي فقط أم لإعداد باحثين في الرياضيات؟ ماذا حلّ بالدفعات التي تخرّجت منها إلى الآن؟ يمكن إعداد حصيلة أولية حول هذه الثانويات. فإذا كانت الدراسة الجامعية لهؤلاء التلاميذ تتم في ظروف متدهورة، فلا أظن أن هذا الاستثمار في مصل هذه الثانويات سيكون ذا جدوى كبيرة.

ثم إن خطرًا آخر قد ينجم عن وجود هذه الثانويات: قد تستنتج السلطات أننا أصبحنا نملك ثانويات متخصّصة في الرياضيات الجيّدة، وبالتالي لا داعي لبذل جهد كبير في هذا المجال داخل بقية المدارس والثانويات. إن التكوين الجيّد في الرياضيات ضرورة وطنية يجب أن تشمل جميع التلاميذ والطلبة.

فيما يخصّ المدرسة الوطنية العليا للرياضيات، بدأت المؤسسة نشاطها بالاعتماد على أساتذة متعاقدين (بالساعات). ربما تحسنت الوضعية اليوم، وعلمت مؤخرا أنها أصبحت الآن توظف بعض أساتذة رياضيات بدوام كامل. من جهة أخرى، اطلعتُ في موقع المدرسة على قسم "التربية والتكوين"، وقرأتُ عن نوعية التكوينات المقدَّمة، فلاحظت أن هناك مجالاً واسعًا جدًا من العروض الخاصة بتكوين "مهندسين رياضيين". وأعترف أنني لا أفهم تمامًا معنى هذه العبارة. وتساؤلاتي هي: من سيقوم بتكوين هؤلاء الطلبة؟ ولمن وُجه هذا التكوين؟ لا أرى بوضوح الغاية من هذه التخصصات. فبيئتنا الاجتماعية والثقافية ليست مؤهلة لاستيعاب هذا النوع من المهندسين، فضلاً عن استقبال دفعة جديدة منهم كل عام.

خلال مسيرتي المهنية، حاولتُ عبثًا، مع بعض الزملاء، التعاون مع مؤسسات، مثل سوناطراك وسونلغاز. بل إننا أعددنا مشروعًا لتكوين خاص بالتعاون مع وزارة الموارد المائية، وقد بلغ المشروع مرحلة متقدمة، لكن عند مرحلة التوقيع، تخلّت الوزارة عنه.

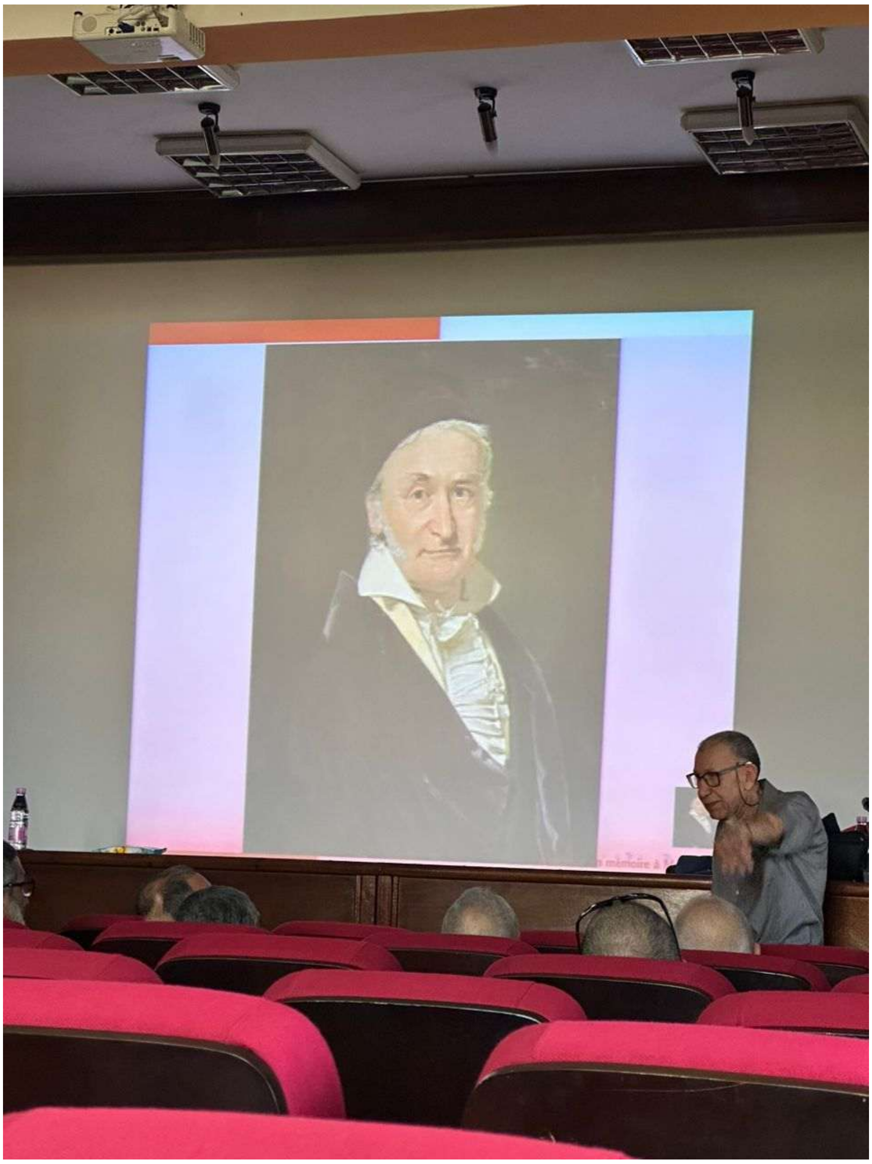
في شهر ماي أو جوان الماضي، قرأت على موقع المدرسة إعلانًا عن فتح ماستر خاص في الرياضيات، يُشرف عليه أساتذة أجانب (ولا يوجد بينهم سوى جزائري واحد يقيم في الخارج، ولا أي إفريقي)، وذلك بالتعاون مع "المركز الدولي للفيزياء النظرية" (ICTP). ومع ذلك، لم يُذكر في الإعلان أي تخصّص محدّد في الرياضيات سيتم تدريسه. وقد لاحظتُ في

برنامج السنة الأولى أن جميع التخصصات ستُدرَّس! فهل يعني هذا أنه سيكون هناك في الواقع عدة تخصصات ماستر تُقدَّم في الوقت نفسه؟

أما في السنة الثانية، فقد قرأتُ أن التخصص سيُحدَّد بناءً على توفّر التأطير الأكاديمي!! فهل يعني هذا أن التأطير مضمون فقط للسنة الأولى في الوقت الحالي؟ وماذا عن الطلبة؟ هل هناك خطط لتأطيرهم في الجزائر أم في الخارج؟ ثم ماذا سيفعل هؤلاء الطلبة بعد تخرجهم؟ هل توجد وظائف مخصّصة لهم في سوق العمل الجزائري؟ أنا لست مقتنعًا بذلك.

يبدو أن هذا الإعلان قد اختفى مؤخرًا من موقع المدرسة. فهل يعني هذا في نهاية المطاف أن الماستر لن يُفتَح أصلًا؟

وخلاصة القول، أعتقد أنه قد يكون من الجيد إنشاء مدارس نوعية، لكن لا بد من التحلّي بالصرامة (الصرامة دائمًا) ووضع مشاريع منسجمة غير مبالغ في طموحاتها. يُستحسن أن يكون البناء بطيئًا لكن راسخًا، بعيدًا عن الضجيج الدعائي والأضواء التي تُعمي الأبصار.



عرض الكتاب

عرض كتاب

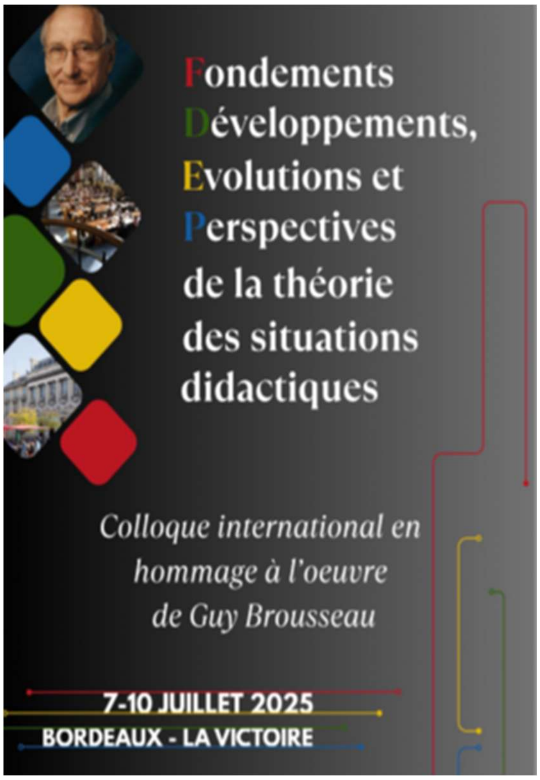
أسس وتطويرات وتطورات و آفاق نظرية الوضعيات التعليمية

فعاليات الملتقى الدولي المنعقد بمدينة بوردو الفرنسية أيام 7-10 تكريما لأعمال غي بروسو Guy Brousseau

عرض: أبو بكر خالد سعد الله

أستاذة بقسم الرياضيات، المدرسة العليا للأساتذة، القبة

khaled.sadallah@g.ens-kouba.dz



غي بروسو: حياته وإسهاماته

يُعدّ غي بروسو (1933–2024) أحد أبرز الشخصيات المؤسِّسة لتعليمية الرياضيات المعاصرة، وأحد أهم المنظِّرين الذين أسهموا في بناء المدرسة الفرنسية في هذا الفنّ. امتدت مسيرته لأكثر من ستة عقود، جمع فيها بين الخبرة المتراكمة، والعمل البحثي، والتنظير العلمي، والتجريب الميداني. وتكمن مهاراته في قدرته على الربط بين الفلسفة التربوية والممارسة التعليمية، وبين النظرية الرياضياتية والسياق المدرسي، وبين التفكير المجرد والتجديد البيداغوجي.

وُلد بروسو في مدينة تازة المغربية يوم 4 فيفري 1933. ومنذ طفولته، كان شغوفًا بأن يصبح معلمًا، وهو ما تحقق له سنة 1953 حين بدأ مسيرته المهنية كمعلم في المرحلة الابتدائية. وقد تواصلت هذه المرحلة إلى غاية 1962، وكانت حاسمة في تشكيل رؤيته التربوية إذ وقف خلالها على الصعوبات اليومية التي تعترض تدريس الرياضيات، وتعرّف عن كثب على أنماط تفكير الأطفال واستراتيجياتهم وأخطائهم الشائعة في الحساب والهندسة والتفكير الرياضي.

ومع بداية الستينيات، دخل بروسو في حركة إصلاح تعليم الرياضيات التي كانت تشهدها فرنسا آنذاك ومحاولاتها إدخال "الرياضيات الحديثة" في مناهج التعليم. تمكّن في تلك الفترة من إتمام دراسته الجامعية، ونال سنة 1968 شهادتين: ليسانس في الرياضيات وليسانس في علوم التربية. وفي سنة 1969 التحق بجامعة بوردو 1 كأستاذ مساعد حيث بدأ نشاطًا علميًا سيغيّر مستقبل أسلوب تدريس الرياضيات في فرنسا.

انطلقت مسيرة بروسو البحثية بنشر أولى دراساته سنة 1961 الموجهة للجنة الدولية لتحسين تدريس الرياضيات. وفي سنة 1965 ألّف كتابًا مدرسيًا للسنة الأولى من المرحلة الابتدائية أظهر فيه مفاهيم لم تكن مألوفة في المنهاج. لكن الإنجاز الأبرز خلال تلك السنوات كان تشكيل اللبنات الأولى لما سيصبح لاحقًا نظريته الكبرى: "نظرية الوضعيات التعليمية" (théorie des situations didactiques). ظهرت هذه النظرية في مطلع السبعينيات، واعتمد فيها بروسو على فرضية أساسية تقول "إن المعرفة الرياضياتية لا تُلقَّن، بل تُبنى داخل "وضعيات" يواجه فيها التلميذ مشكلة تتطلب اتخاذ قرار، واستعمال أدوات، وبناء حجة أو إستراتيجية.

تشمل هذه النظرية مفاهيم رائدة مثل:

- الوضعية الأساسية التي تدفع المتعلم إلى ابتكار معرفة جديدة؛
- "العقد التعليمياتي" (الديداكتيكي) الذي يحدد التوقعات الضمنية بين المعلم والمتعلم؛
- البيئة (أو الوسط) التي تُعدّ طرفًا فاعلًا في تنظيم عملية التعلم؛
- لحظة التأسيس التي يتحول فيها الحل الشخصي للتلميذ إلى معرفة مدرسية مشتركة.

لقد أصبحت هذه النظرية اليوم إحدى المرجعيات العالمية في تحليل تدريس الرياضيات. وحتى يجسد بروسو هذه الأفكار عمليًا، قام في البداية بتأسيس مركز للبحث في تدريس الرياضيات (CREM) في مدينة بوردو، ثم أسس عام 1973 مركزا أكثر تأثيرًا، "مركز الملاحظة والبحث في تدريس الرياضيات" (COREM)، وهو في الواقع بمثابة المدرسة الابتدائية النوذجية، كان يتم فيها تصميم وضعيات تعليمية جديدة، ثم تُطبّق مباشرة في الأقسام، وتُسجل، وتُحلل. وقد سمحت هذه البيئة بتطوير مئات التجارب حول:

- تعليم الأعداد الطبيعية والعشرية؛
- تعليم الحساب والجبر الأولي؛
- تعلم الهندسة لدى الطفل؛
- تعليم الاحتمالات والإحصاء؛
- تطوير مهارات الاستدلال وحل المشكلات.

ذلك ما جعل هذا المركز يكتسب سمعة عالمية لأنه جمع بين البحث النظري والتجريب العملي، وأصبح نموذجًا دوليًا لما يُعرف اليوم بـ"البحث في وضعية واقعية" (recherche en situation réelle). كما أسس بروسو مختبرا لتعليمية العلوم والتقنيات الذي دعم الأبحاث الموازية في هذا المجال.

حصل بروسو على دكتوراه الدولة سنة 1986، ثم عُيّن سنة 1991 أستاذًا حيث عمل على تكوين أجيال من المدرّسين والباحثين حتى سنة 1998. وقد تميزت مسيرته بانفتاح عالمي واسع، إذ شارك في مشاريع وبرامج بحث وتكوين في: أوروبا الغربية والشرقية؛ وأمريكا الشمالية وأمريكا اللاتينية؛ وشمال إفريقيا؛ وجنوب شرق آسيا. وكان موضوع اهتمامه الأساسي تحليل كيفية تشكّل المفاهيم الرياضية في ذهن الطفل، وكيف يمكن للمدرسة أن ترافق هذا التشكّل بشكل علمي وواعٍ.

تُعدّ نظرية بروسو أحد "الركائز النظرية الثلاث" التي تقوم عليها التعليمية في فرنسا. النظريتان الأخريان هما: "نظرية الحقول المفاهيمية" لجيرار فرڤنو Gérard Vergnaud (1933-2021)؛ و"النظرية الأنثروبولوجية للتعليمية" لإيف

شيفالار Yves Chevallard. وقد شكّلت هذه النظريات الثلاث الإطار العلمي الأكبر الذي هيمن على البحث في تدريس الرياضيات منذ السبعينيات.


غي بروسو (1933-2024)

في سنة 2003، منحت اللجنة الدولية لتدريس الرياضيات بروسو أول وسام يحمل اسم "ميدالية فيلكس كلاين Klein" في تاريخها، وهو أعلى تكريم عالمي في تعليمية الرياضيات. وقد جاء هذا الاعتراف تتويجًا لمسيرة أثْرت الحقل النظري والتطبيقي، وغيّرت ممارسات التدريس في مدارس كثيرة حول العالم.

توفي غي بروسو في 15 فبراير 2024، بعد حياة ثريّة بالعطاء العلمي والتربوي. وما تزال نظريته ومراكزه البحثية وأعماله التجريبية تشكل حجر الأساس لفهم كيفية تعلم الأطفال الرياضيات، ولمساعدة المدرّسين على تصميم وضعيات تدريسية فعّالة وقابلة للتطبيق.

ذلك ما جعل المهتمين بتدريس الرياضيات يخصصون لأعماله ملتقى دوليا بمدينة بوردو الفرنسية نُظِّم أيام 7-10 تحت عنوان "أسس وتطويرات وتطورات وآفاق نظرية الوضعيات التعليمية".

محاور الملتقى

قسمت أعمال الملتقى إلى أربعة محاور هي:

المحور الأول: أعمال غي بروسو – من النظرية إلى التطبيقات؛

المحور الثاني: المنهج التعليمي وتطبيقاته؛

المحور الثالث: المقاربات الجديدة في تدريس الرياضيات؛

المحور الرابع: التجارب المقارنة والتحولات الدولية.

وهكذا تمّ تقديم 4 محاضرات عامة في المحور الأول ومحاضرتين في المحور الثاني، فضلا عن تنظيم طاولة مستديرة و 25 مداخلة قصيرة. أما المحور الثالث فشمل محاضرتين و 8 مداخلات قصيرة و 8 ورشات. واختتم الملتقى بالمحور الرابع الذي قدمت خلاله 3 محاضرات و 10 مداخلات قصيرة إضافة إلى نقاش حول طاولة مستديرة. وجاء كل ذلك ورقيًا في 332 صفحة.

فبالنسبة للعديد من المشاركين في الملتقى، ظهر الأستاذ غي بروسو في البداية ضمن المشهد -الذي يُعرف اليوم بأبحاث تعليمية الرياضيات- كقوة فكرية وفاعلة غير محددة المعالم. فلم يتوقف لعدة عقود عن التحدث، والكتابة، والتجريب، والصياغة النظرية، والتدريس، والتساؤل. ويعتبره التعليميون رجلا متمردا يتميز بإبداع استثنائي، استطاع أن يفتح فجوة واسعة في عالم منغلق على نفسه... وللأسف لا يزال كذلك إلى حد كبير، أو هكذا يراه المهتمون بشأن تدريس الرياضيات. كان هناك في التدرس الجانب البيداغوجي الذي لا يغيب عن أحد. وبفضل غي بروسو، أصبح لدينا اليوم أيضًا الجانب التعليمياتي. هذا ما ردّده المشاركون في الملتقى. كان هذا الاختراق الذي نفذه بروسو في طرق تدريس الرياضيات ثمرة لفعل جوهري، أنتج بيئة تعليمية جديدة ونظرية متجددة للمعرفة.

ها هي أبرز المواضيع التي تم تقديمها ومناقشتها في الملتقى الذي دام أربعة أيام:

- غي بروسو، عملاق تعليمية الرياضيات ؛

- وأخيرًا جاء غي بروسو!
- نظرية الوضعيات التعليمية: المفاهيم الأساسية والتطورات الحديثة؛
- دور "التعليمية" في تجديد تدريس الرياضيات؛
- بين الممارسة داخل القسم والنموذج العلمي في تعليمية الرياضيات ؛
- من التجريب إلى النظرية: قراءة في أعمال غي بروسو ؛
- من الوضعية التعليمية إلى النشاط المعرفي ؛
- حركيات المعرفة في القسم: تحليل إحدى الحالات؛
- التعلم من خلال الصراع المعرفي؛
- استراتيجيات المعلم في بناء الوضعيات؛
- مقاربة الكفاءات في ضوء نظرية الوضعيات؛
- الممارسات التعليمية بين النظرية والتطبيق؛
- العلاقة بين المعرفة واللغة في تدريس الرياضيات؛
- دور الخطأ في التعلم الرياضي؛
- تجربة فرنسا: من النظرية إلى السياسة التعليمية؛
- التجربة الكندية: بين البحث والممارسة؛
- التجربة المغاربية: صدى النظرية في شمال إفريقيا؛
- تعليمية الرياضيات في العالم العربي: التحديات والآفاق؛
- دروس من مسيرة غي بروسو ؛
- آفاق البحث في تعليمية الرياضيات.

نظرية الوضعيات التعليمية وأخواتها...

لقد أحدثت نظرية الوضعيات التعليمية قطيعة إبستيمولوجية مع المقاربات التقليدية لتدريس الرياضيات. ولم يكن هذا الإسهام مجرد تطوير بيداغوجي بل انطوى على تصور شامل للتفاعل بين التلميذ والمعرفة والمعلّم، بحيث غدا موضوعا مستقلًا للبحث العلمي. ولذلك جاء تنظيم الندوة الدولية تكريمًا لصاحب هذه النظرية، بعد وفاته بسنة، فكان المؤتمر بمثابة لحظة ذاكرة علمية وفرصة لإعادة قراءة إرثه على ضوء التحديات الراهنة.

لاحظ المشاركون أن هذه النظرية لم تفقد، بعد مرور أكثر من نصف قرن، حيويتها، بل واصلت التفاعل مع قضايا جديدة. فقد أظهرت المداخلات أن مفاهيم مثل "العقد التعليمياتي" و"الوسط" و"الوضعية التعليمية" لم تبقَ على حالها إذ شهدت تحولات مرتبطة بثلاثة اتجاهات:

1. توسيع مجال الاستخدام: إذ باتت تُوظَّف لدراسة قضايا مثل الفوارق الاجتماعية في التعلم، أو صعوبات الانتقال من المرحلة الثانوية إلى المرحلة الجامعية، أو علاقة المتعلم بالبرهان والمنطق.
2. تنويع السياقات: من رياض الأطفال إلى الجامعة، ومن الأقسام العادية إلى تعليم ذوي الاحتياجات الخاصة، بل وحتى تحليل وضعيات التعلم خارج القسم.
3. التداخل مع مقاربات نظريات أخرى: حيث تفاعلت نظرية بروسو مع أطر مثل "نظرية مجتمعات الممارسة" (Communities of Practice) كما صاغتها الكندية جان ليف Jean Lave والسويسري إتيان وينغر Etienne Wenger؛ وهي إطار نظري لفهم كيف يتعلم الناس من خلال المشاركة الفعلية في جماعات لها اهتمام أو ممارسة مشتركة.

كما ناقشت الأبحاث المقدمة التحديات التي يطرحها التعليم الرقمي والذكاء الاصطناعي، متسائلة عن كيفية إعادة صياغة الوضعيات التعليمية في بيئات افتراضية. وقد خلصت إلى أن النظرية ما زالت قادرة على تقديم أدوات منهجية صلبة لتحليل التعلم في صيغته الجديدة، شريطة الانفتاح على مقاربات متعددة التخصصات. وركزت المداخلات أيضًا على التحدي القائم: كيف ننقل المفاهيم النظرية إلى أدوات عملية

دون تبسيط مخلّ؟ وقد اقتُرحت استراتيجيات مثل بناء وحدات تدريبية تستند إلى مواقف تعليمية نموذجية، أو تطوير "سيناريوهات تعليمية" تتيح للمعلمين اختبار المفاهيم على نحو عملي. وهكذا غ نبيّن بوضوح أن النظرية التعليمية ليست صارت جزءًا من الثقافة المهنية للمعلم، تتيح له التفكير في دوره باعتباره طرفًا في علاقة ثلاثية (معرفة – تلميذ – معلم).

وكما أسلفنا، لم يقتصر تأثير بروسو على التعليم في فرنسا، بل انتشر فكره عالميًا منذ أواخر الستينيات بفضل شبكات تعليمية، مثل "اللجنة الدولية لدراسة وتطوير تدريس الرياضيات" (CIEAEM) والمدارس الصيفية في بوردو. وقد عُرضت خلال الندوة تجارب دولية متنوعة:

- في أمريكا الشمالية، أثرت نظرية بروسو في أبحاث حول البرهان والتفكير الرياضي، وإن لم تعتمد دومًا كإطار كامل.
- في أمريكا اللاتينية، وُجدت قابلية أكبر لتبنيها حيث ساعدت على إنشاء مجتمع بحثي نشط خصوصًا في الأرجنتين والبرازيل والمكسيك.
- في تركيا والمجر وألمانيا، جرت محاولات لدمج النظرية في تحليل المناهج ومقارنتها مع توجهات محلية كـ"الاكتشاف الموجه".
- أحد المحاور اللافتة كان قضية الترجمة: إذ تبين أن المصطلحات التعليمية لبروسو (مثل dévolution أو milieu) لا تجد دائمًا مقابلًا مباشرًا، مما يفرض اجتهادًا جماعيًا في النقل اللغوي والثقافي.

وهكذا تقدم هذه الفعاليات لوحة بانورامية عن إرث غي بروسو. فمن خلال شهادات ومداخلات وورشات، يتأكد أن نظرية الوضعيات التعليمية ليست أثرًا من الماضي بل إطارًا حيًا يستجيب للتحولات الراهنة في التعليم. لقد أبرزت الندوة أن قوة بروسو تكمن في كونه عالمًا تجريبيًا آمن بأن تعليم الرياضيات يمكن أن يكون موضوعًا للبحث العلمي المنهجي، تمامًا كما هو حال الفيزياء أو البيولوجيا.

أما دوليًا، فإن أثره يثبت أن البحث العلمي في قضايا التدريس لا يعرف حدودًا، وأن الفكر التعليمي قادر على أن يشكل لغة مشتركة بين باحثين من قارات مختلفة.

ومن ثمّ، كان تكريم بروسو بمثابة دعوة لمواصلة العمل في الاتجاه الذي رسمه: ربط البحث بالممارسة، والنظرية بالفعل، والتربية بالعلم.