الشهاب العلمي

ECHIHEB EL-ILMI

العـدد الحادي عشر

سبتمبر 2026

ملف العدد

عالم النجوم

THE STELLAR WORLD

يورغن كريستنسن-دالسغارد

Jørgen Christensen-Dalsgaard

عالم النجوم الدانماركي

كريم زغيب

Karim Zaghib

عالم الكيمياء الجزائري

كارلا ميتشل

Carla Mitchell

مديرة مهمة Africa2Moon

مجلّة الشهاب العلمي / العدد الحادي عشر / 2026

ECHIHEB EL-ILMI
Science Magazine
Sirius Astronomy Association
& CERIST - ALGERIA
http://mediation.cerist.dz/chiheb
ISSN: 2992-1678

مجلّة الشهاب العلمي
من إنتاج جمعية الشعرى لعلم الفلك و CERIST قسنطينة الجزائر

بسم الله الرحمن الرحيم

قبس من العلم في كل بيت

الشهاب العلمي

مجلّة علميّة تصدر عن وحدة البحث في الوساطة العلميّة (CERIST)، جمعية الشعرى لعلم الفلك الجزائرية، ومديريّة البحث العلميّ والتطوير التكنولوجيّ بالجزائر (DGRSDT)، تتناول المواضيع الفلكية بصفة خاصة والعلمية بصفة عامة، من إعداد ثلة من الباحثين وهواة الفلك المتقدمين من شتى المجالات.

تهدف مجلّة الشهاب العلمي إلى نشر الثقافة العلمية و تبسيطها للعامّة، ومحاولة تقريب الأفكار من المصادر الموثوقة عن طريق الحوارات التي تجريها مع العديد من العلماء والباحثين في أنحاء المعمورة.

اسم المجلة مستوحى من مجلة الشهاب التي أسّسها الشيخ عبد الحميد بن باديس رحمه الله، مؤسس جمعية العلماء المسلمين الجزائريين الذي قام بدور كبير في إعداد الشعب الجزائري للكفاح المظفر من أجل الاستقلال.

موقع المجلة على الإنترنت
http://mediation.cerist.dz/chiheb
chiheb.magazine@gmail.com

موقع جمعية الشعرى
www.siriusalgeria.net

موقع مركز البحث في الإعلام العلمي والتقني
www.cerist.dz
ISSN: 2992-1678

كلمة العدد

«بين نبضات النجوم وشجون البشرية»

قبل قرنٍ من الزّمان، كان علم الفلك يخطو خطواته الأولى نحو فهمِ أسرار الأجرام السماوية. أمّا اليوم، فنحن نرى النجم كأكثر الأجسامِ أساسيةً في الكون؛ ومثلما تُمثّل الخلية البيولوجية اللّبنة الأساسية لكلّ كائن حي، فإنّ النّجم هو الرّحم الجوهري الّذي لا غنى عنه في بناء النسيج الكوني، وصَهر العناصر الثقيلة الضرورية للحياة. ففي قلبه تُصهر هذه العناصر الثقيلة، وحوله تتشكّل الأنظمة الكوكبية الّتي تصنعُ نسيج البيئة المجرّيّة خلف الكواليس.

يستقطبكم هذا العدد الحادي عشر إلى عمق «العالم النجمي»، ومن خلال ملفنا الرئيسي، يستكشف مساهمونا خبايا الآليات الداخلية لتلك المفاعلات الاندماجية الحرارية النوويَّة. كما أنَّ لنا شرف استضافة قامةٍ كبرى في الفيزياء النجمية في صفحاتنا، وهو العالمِ الدنماركي يورغن كريستنسن–دالسغارد (Jørgen Christensen-Dalsgaard)، الأب الروحي لتخصص «علم فلك زلازل النجوم» (Astroseismology)؛ هذا العلم الذي يشهد ازدهارًا كبيرًا، حيث يستمعُ إلى نبضات النّجوم واهتزازاتها ليرسم لنا خريطةً لأعماقها الخفية. كما يستضيف العدد كارلا شارب (Carla Sharpe) للحديث عن مشروع «Africa2Moon»، وهي مبادرة تاريخية بارزة تقودها «مؤسسة تطوير الفضاء الأفريقية» لإطلاق أوَّل مهمة علمية للقارة نحو القمر، وفي الوقت نفسه إلهام الجيل القادم من العلماء والمهندسين الأفارقة.

وكالعادة، تحظى العلوم الأخرى بتغطيةٍ واسعةٍ حيث نستضيف بشكل خاص الباحث الجزائريّ البروفيسور كريم زغيب، أحد أبرز القامات العالمية في مجال بطاريات الليثيوم والّذي يفكك لنا شفرات ومستقبل هذا «الذهب الأبيض» في مسار الانتقال الطاقوي، والفرص الاستراتيجية المتاحة للجزائر. بالإضافة إلى ذلك، تقدّم المجلة، من الفيزياء الأساسية إلى الابتكارات التكنولوجية الإقليمية، بانوراما غنيَّة ومتاحة لكلّ العقول الشغوفة. كما تستمرّ أقسامنا المعتادة، بما في ذلك المساحات المخصَّصة للقرّاء الصّغار، وأبرز المستجدَّات العلمية، في مدّ جسورٍ متينةٍ بين الصرامة الأكاديمية والتلقي المعرفي للمواطنين.

ولكن، بينما ترتفع عيوننا لتأمّل السماء، لا يمكن لضمائرنا أن تغضّ الطرف عن واقع الأرض المأساوي. إنّ ملف غزة حاضر في هذا العدد كالعادة، مع التركيز بشكل خاص على مبادرة «غزة تقرأ». فبين الركام، تأتي هذه الحملة لتؤكّد أن المعرفة تظلّ السلاح الأسمى للصمود. ومثلما تُحول النّجوم مادتها إلى ضوء يمزّق عتمة الفضاء، يحوّل أهل غزّة آلامهم إلى صمود فكري يُبهر العالم، ومن رماد الدمار سينبعث حتمًا نور البناء والولادة الجديدة. عسى أن يذكرنا هذا العدد بأنَّ السعي وراء المعرفة لا ينفصل أبدًا عن الدفاع عن الكرامة الإنسانية. يعلمنا «علم زلازل النجوم» أن ننصت للاهتزازات الخفيَّة في أعماق النجوم، ويفرض علينا التاريخ أن ننصت لنبضات الحرية والصمود في قلوب المظلومين.

جمال ميموني

فهرس المواضيع

كلمة العدد

ملف العدد : العالم النجمي
03 كيف تولد النجوم وكيف تموت؟- هشام قرقوري
06 تنوع النجوم: كيف يكشف الضوء أسرار الكون؟- عمر نمول
10 عندما تكسر النجوم قواعد الفيزياء- جمال ميموني
14 قصة الجرم السماوي: حلّ لغز عمره 850 عامًا- جمال ميموني
17 ضيف العدد: لقاء حصري مع الفلكي يورغن كريستنسن-دالسغارد.
22 جائزة شو2026 Shaw لشخصيتين بارزتين - جمال ميموني

مقالات علمية
24 حوار مع كارلا ميتشل: مؤسسة مشروع «إفريقيا إلى القمر».
28 كيف يقود الليثيوم مستقبل السيارات الكهربائية؟ حوار مع د.كريم زغيب.
33 أرتميس II حلم العودة للقمر يتجدد- الشيماء أمين خوجة
36 ما وراء الألواح الشمسية- عيسى مفلاح
38 الطاقة الشمسية على سطح القمر - فاطمة الزهراء بن عراب
40 الهيدروجيولوجيا: مياه الأرض وحرارتها - طارق درياس
42 رائد الهندسة الكروية والفلك الرياضي أبو النصر منصور بن عراق خالد سعد الله
47 مغامرة فلكية في قلب صحراء الجزائر - عمرو عبد الوهاب

باباراتزي العلوم
44 آخر المستجدات العلمية، جمال ميموني، الشيماء أمين خوجة

ملف خاص - حتى لا ننسى فلسطين
51 يا ابن أكثر من أب: الرسامة الفلسطينية فاطمة علي أبو عودة
52 مبادرة «غزة تقرأ»: معركة من أجل إنقاذ الذاكرة - ياسمين بوالجدري
54 أزمة الغذاء تفاقم معاناة النازحين في غزة - ياسمين بوالجدري
55 45 درجة مئوية تحت الخيام: إبادة بيئية متواصلة منذ قرن

الشاطر الصغير
58 تعرف على قصة حياة النجوم - خديجة طوبال
59 كيف بدأ الإنسان رحلته مع السّماء؟ - مهدي فضلان
60 اختبر معلوماتك عن كسوف الشمس - أسراء حمدوش، محمد سراج حمدوش
61 ألعاب وتحديات - الشيماء أمين خوجة

من كل سديم نجمة
62 الأخبار الوطنية، العربية والإفريقية
66 فيلم العدد: مشروع هيل ماري، هشام قرقوري
67 خير جليس: رجل القش، ياسمين بوالجدري

Table of Contents

ملف العدد

عالم النجوم

THE STELLAR WORLD

محتويات الملف

03 كيف تولد النجوم؟ وكيف تموت؟ - هشام قرقوري

06 تنوع النجوم: كيف يكشف الضوء أسرار الكون- عمر نمول

10 عندما تكسر النجوم قواعد الفيزياء - جمال ميموني

14 قصة الجرم السماوي P30: حل لغز عمره 850 عامًا - جمال ميموني

17 ضيف العدد: لقاء حصري مع الفلكي يورغن كريستنسن-داسلغارد

22 جائزة شو Shaw 2026 لشخصين بارزين - جمال ميموني

ملف العدد

كيف تولد النجوم؟

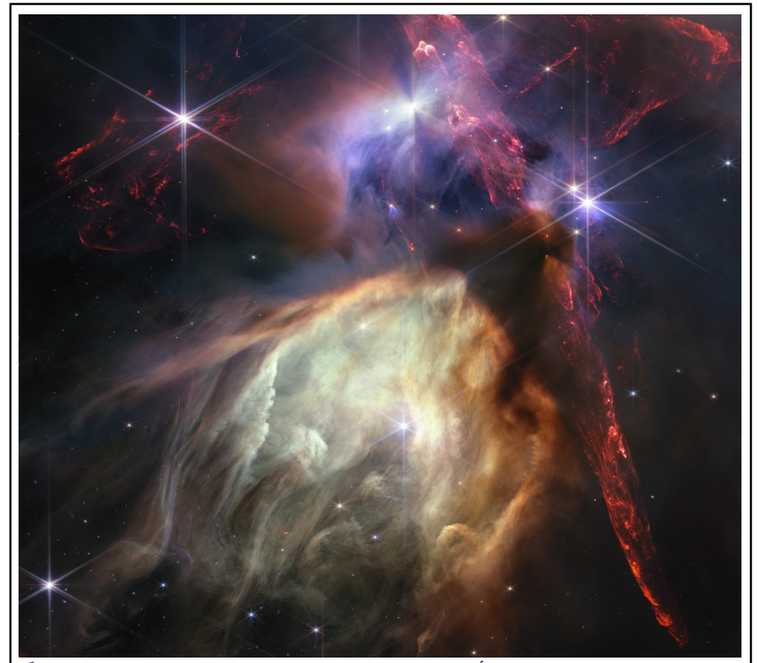
وكيف تموت؟

How Stars Are Born and How They Die

بقلم د. هشام قرقوري

وحدة البحث في الوساطة العلمية - CERIST

منذ آلاف السنين والنجوم تثير فضول الإنسان، فهي تبدو كنقاط ضوء هادئة تزيّن السماء الليلية، لكن وراء هذا الهدوء تختبئ حياة معقدة تحكمها قوانين الفيزياء. فالنجوم ليست مجرد كرات ملتهبة معلقة في الفضاء، بل هي مصانع كونية هائلة تُنتج الطاقة والعناصر الكيميائية التي تشكل اللبنات الأساسية للكواكب والحياة. تبدأ النجوم رحلتها من سحب ضخمة من الغاز والغبار، ثم تنهار تحت تأثير الجاذبية لتولد كنجم جديد، وبعد ذلك تقضي ملايين أو حتى مليارات السنين وهي تحول الهيدروجين إلى هيليوم في قلبها، مطلقةً كميات هائلة من الضوء والحرارة التي تجعل الحياة ممكنة على الكواكب المحيطة بها. لكن النجوم لا تعيش إلى الأبد، فلكل نجم قصة تختلف باختلاف كتلته. فالنجوم الصغيرة، مثل شمسنا، تنهي حياتها بهدوء نسبي عندما تتحول إلى عمالقة حمراء ثم تقذف طبقاتها الخارجية، تاركةً وراءها قزمًا أبيض يبرد ببطء عبر مليارات السنين. أما النجوم الضخمة فتسلك طريقًا أكثر عنفًا؛ إذ تنفجر في أحداث كونية مذهلة تُعرف بالمستعرات العظمى، مطلقةً طاقة تفوق ما تنتجه مجرات بأكملها في لحظات قصيرة، وقد تخلّف وراءها نجمًا نيوترونيًا فائق الكثافة أو ثقبًا أسود تبتلع جاذبيته حتى الضوء نفسه.



الشكل 1: سديم سحابة «رهو أوفيوخوس» كما رصده تلسكوب جيمس ويب، كاشفًا نجومًا أولية فتية تتشكل داخل سحب كثيفة من الغاز والغبار.

من السحب البين نجمية إلى النجوم الأولية

تولد النجوم داخل سحب هائلة من الغاز والغبار تُعرف باسم السحب الجزيئية العملاقة. تتكوّن هذه السحب أساسًا من الهيدروجين، وتكون شديدة البرودة وقد تمتد لمئات السنين الضوئية. ورغم أن هذه السحب تبدو مستقرة، فإن اضطرابات كونية مثل انفجار نجم قريب أو اصطدام سحب غازية قد تؤدي إلى بدء الانهيار الجاذبي داخل بعض مناطقها. ومع استمرار الجاذبية في جذب المادة نحو الداخل، تتكوّن نواة كثيفة وساخنة تُعرف باسم النجم الأولي. و وخلال هذه المرحلة تتشكل حوله بنية دائرية من الغاز والغبار تسمى قرص التراكم، الذي الذي يستمر في تغذية النجم بالمادة. ومع ازدياد الضغط ترتفع درجة الحرارة تدريجيًا، لكن الاندماج النووي لم يبدأ بعد، ويكون لمعان النجم ناتجًا أساسًا عن الطاقة الناجمة عن الانهيار الجاذبي.

بداية الاندماج النووي

عندما تصل درجة حرارة اللب إلى نحو عشرة ملايين كلفن، تصبح الظروف مناسبة لاندماج نوى الهيدروجين معًا لتكوين الهيليوم. في النجوم المشابهة للشمس تتم هذه العملية عبر ما يُعرف بـ «»سلسلة بروتون-بروتون»»، حيث تتحول نوى الهيدروجين تدريجيًا إلى هيليوم مع تحرير كمية هائلة من الطاقة وفق علاقة تكافؤ المادة والكتلة لأينشتاين: $E=mc^2$

أي أن جزءًا صغيرًا من الكتلة يتحول إلى طاقة هائلة. تنتقل هذه الطاقة من قلب النجم نحو سطحه ثم تُشع في الفضاء على شكل ضوء وحرارة. وهنا يبدأ النجم رسميًا مرحلة التسلسل الرئيسي.

مرحلة التسلسل الرئيسي: الحياة المستقرة الطويلة

تُمثل مرحلة التسلسل الرئيسي أطول فترة في حياة النجم وأكثرها استقرارًا. خلال هذه المرحلة يتحقق توازن دقيق يُعرف باسم التوازن الهيدروستاتيكي. فالجاذبية تحاول باستمرار ضغط النجم نحو الداخل، بينما يدفع الضغط الناتج عن الاندماج النووي المادة نحو الخارج. يحافظ هذا التوازن على استقرار النجم لملايين أو مليارات السنين. تعتمد مدة هذه المرحلة أساسًا على كتلة النجم:

- النجوم الضخمة تكون أكثر حرارة ولمعانًا، لكنها تستهلك وقودها بسرعة كبيرة، لذلك تكون أعمارها قصيرة نسبيًا، وقد لا تعيش سوى بضعة ملايين من السنين فقط. فالنجوم العملاقة الزرقاء مثلًا قد تنفد طاقتها خلال 10 إلى 50 مليون سنة.
- أما النجوم متوسطة الكتلة، مثل الشمس، فتعيش لفترات أطول بكثير قد تصل إلى نحو 10 مليارات سنة.

-في المقابل، تحرق النجوم الصغيرة ذات الكتلة المنخفضة وقودها ببطء شديد، ولذلك يمكن أن تعيش لمئات المليارات أو حتى تريليونات السنين، وهي مدة تفوق العمر الحالي للكون نفسه.

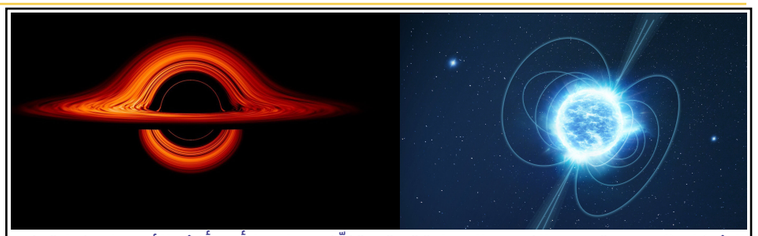
-تقع شمسنا حاليًا في مرحلة التسلسل الرئيسي، وقد عاشت بالفعل حوالي 4.6 مليار سنة، ومن المتوقع أن تستمر في هذه المرحلة لنحو 5 مليارات سنة أخرى قبل أن تبدأ بالتحول إلى عملاق أحمر.

عندما ينفد الهيدروجين

مع مرور الزمن ينفد الهيدروجين من قلب النجم، فيبدأ اللب بالانكماش تحت تأثير الجاذبية، بينما تتمدد الطبقات الخارجية بشكل هائل، ليتحول النجم إلى عملاق أحمر. يحدث هذا التطور أساسًا في النجوم متوسطة الكتلة مثل الشمس، وكذلك في النجوم الضخمة التي تتحول إلى عمالقة حمراء أو فوق عمالقة حمراء بحسب كتلتها.

يؤدي ارتفاع درجة حرارة اللب إلى بدء نوع جديد من الاندماج النووي، حيث تندمج نوى الهيليوم عبر عملية تُعرف باسم العملية الثلاثية ألفا لتكوين الكربون والأكسجين. خلال هذه المرحلة يصبح النجم غير مستقر وتبدأ تغيرات كبرى في بنيته الداخلية، تمهيدًا للمراحل الأخيرة من حياته.

أما النجوم صغيرة الكتلة جدًا، مثل الأقزام الحمراء، فإنها تتطور بطريقة مختلفة. فهي تستهلك وقودها النووي ببطء شديد وتتميز بقدرتها على خلط مادتها الداخلية بكفاءة، مما يسمح لها باستخدام معظم الهيدروجين الموجود داخلها. ولهذا لا تمر بمرحلة العملاق الأحمر بالشكل المعروف، بل تبقى مستقرة لفترات.



الشكل 2: حين تموت النجوم العملاقة، قد تخلّف وراءها أحد أكثر الأجسام غرابة في الكون: نجمًا نيوترونيًا نابضًا أو ثقبًا أسود يطوي الزمكان بجاذبيته الهائلة.

موت النجوم: نهايات مختلفة

النجوم القزمة صغيرة الكتلة

النجوم صغيرة الكتلة، مثل الأقزام الحمراء، تخفت تدريجيًا وتفقد لمعانها مع مرور الزمن وبعد استهلاك معظم الهيدروجين الموجود داخلها،، لتنتهي كأجسام نجمية باردة وخافتة بعد عمر طويل جدًا.

النجوم منخفضة الكتلة

نجوم مشابهة للشمس لا تستطيع إنتاج درجات حرارة كافية لدمج العناصر الثقيلة. لذلك تقوم بطرد طبقاتها الخارجية إلى الفضاء، مشكلةً سحابة مضيئة تُعرف باسم السديم الكوكبي. أما القلب المتبقي فيتحول إلى قزم أبيض، وهو جسم شديد الكثافة بحجم الأرض تقريبًا لكنه يحتوي على كتلة تقارب كتلة الشمس. وبعد توقف الاندماج النووي يبدأ هذا القزم الأبيض بالتبرد ببطء شديد عبر مليارات السنين.

النجوم الضخمة

أما النجوم الضخمة فتعيش نهاية أكثر عنفًا. ففي داخلها تستمر عمليات الاندماج لتكوين عناصر أثقل تدريجيًا:

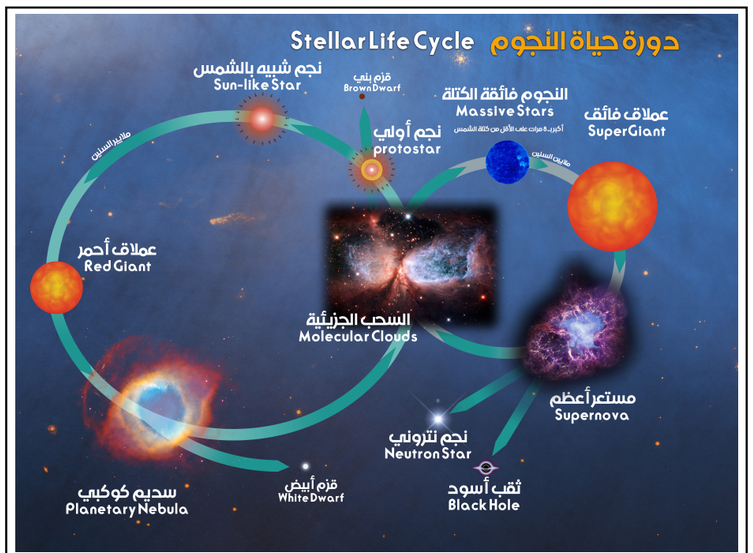
الهيدروجين ← الهيليوم ← الكربون ← الأكسجين ← السيليكون ← الحديد

لكن الحديد يمثل نهاية الطريق، لأن اندماجه لا يحرر طاقة. وعندما يتكوّن قلب من الحديد يفقد النجم قدرته على مقاومة الجاذبية. ينهار اللب بسرعة هائلة، مما يؤدي إلى انفجار كوني ضخم يُعرف باسم المستعر الأعظم (السوبرنوفا).

وقد ينتج عن هذا الانهيار:

نجم نيوتروني: يتكوّن إذا كانت كتلة النجم الأصلية تتراوح تقريبًا بين 8 و20 كتلة شمسية. وخلال الانهيار تندمج البروتونات والإلكترونات لتكوين نيوترونات، فيتشكل جسم فائق الكثافة لا يتجاوز قطره عشرات الكيلومترات، لكنه قد يحتوي على كتلة أكبر من كتلة الشمس.

ثقب أسود: يتشكل عندما تكون كتلة النجم الأصلية كبيرة جدًا، وتتجاوز عادةً نحو 20 إلى 25 كتلة شمسية. في هذه الحالة تصبح الجاذبية هائلة لدرجة أن الانهيار يستمر دون أن تتمكن أي قوة معروفة من إيقافه، فتتكون منطقة لا يستطيع حتى الضوء الهروب منها، تُعرف بالثقب الأسود.

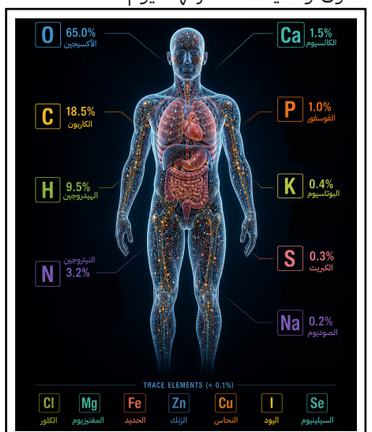


الشكل 4: مخطط يوضح المراحل الرئيسة لدورة حياة النجوم، من السحب الجزيئية وتكوّن النجوم الأولية إلى المراحل النهائية التي تحددها كتلة النجم.

«نحن مصنوعون من غبار النجوم»!

النجوم ليست أجرامًا أبدية، بل كائنات كونية تمر بدورة حياة كاملة: تولد من سحب الغاز الباردة، وتضيء الكون عبر الاندماج النووي، ثم تموت بهدوء أو بانفجارات هائلة. لكن موتها لا يمثل النهاية، لأن العناصر التي تتشكل في أعماقها تعود لتنتشر في الفضاء وتشارك في بناء نجوم وكواكب وأشكال جديدة من الحياة.

إن ذرات الكربون والأكسجين والحديد الموجودة في أجسامنا اليوم صُنعت داخل نجوم قديمة انفجرت وماتت قبل مليارات السنين، ولهذا قال عالم الفلك كارل سيغان (Carl Sagan) عبارته الشهيرة: «نحن مصنوعون من غبار النجوم». في هذا الترابط الكوني المدهش، تحمل كل ذرة في أجسامنا قصة نجوم بعيدة ساهمت في تشكيل الكون والحياة كما نعرفها اليوم.



الشكل 5: يتكوَّن جسم الإنسان في معظمه من أربعة عناصر رئيسية هي الأكسجين والكربون والهيدروجين والنيتروجين، بينما تؤدي العناصر النزرة أدوارًا حيوية رغم ضآلة نسبها.

تنوع النجوم

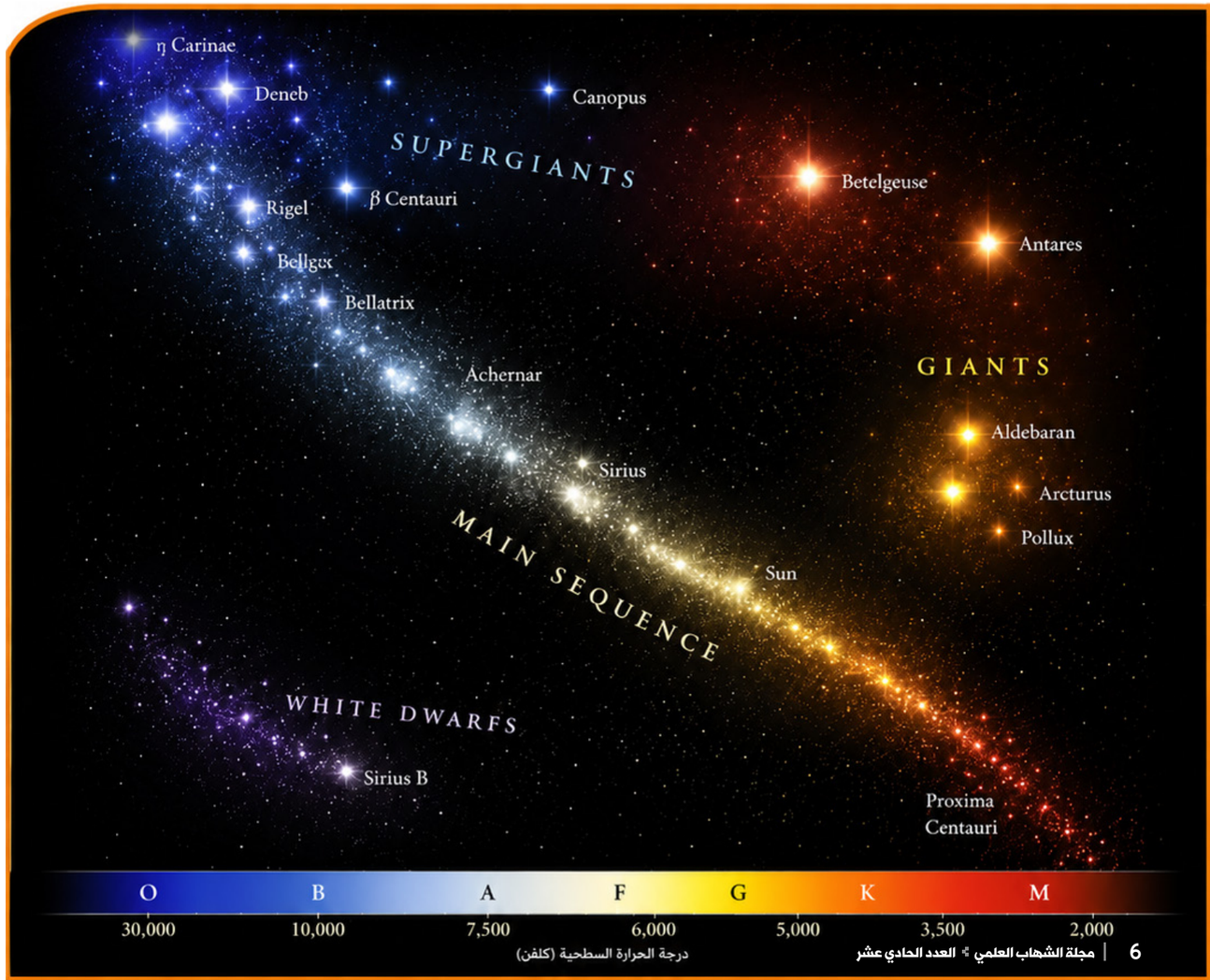
كيف يكشف الضوء أسرار الكون؟

Stellar Diversity: How Light Reveals the Secrets of the Universe

بقلم د. عمر نمول
وحدة البحث في الوساطة العلمية - CERIST

في ليالي الشتاء الصافية، تبدو السماء وكأنها لوحة هادئة مرصّعة بآلاف النقاط المضيئة المتشابهة. وللوهلة الأولى، قد يعتقد المرء أن جميع النجوم متقاربة في طبيعتها، وأن اختلافها يقتصر على شدة اللمعان فقط. غير أن علم الفلك الحديث كشف لنا حقيقة أكثر إثارة بكثير، فالنجوم ليست متشابهة أبدًا، بل تمثل عالمًا هائل التنوع والتعقيد، حيث يمتلك كل نجم خصائصه الفيزيائية الخاصة وتاريخه الكوني المختلف. فبينما تتوهج بعض النجوم بلون أزرق ساطع يكاد يلامس البياض، تشع نجوم أخرى بضوء أحمر هادئ، وتتلألأ نجوم مثل شمسنا بلون أصفر ذهبي مألوف. وهناك نجوم تفوق الشمس حجمًا بمئات المرات وتطلق طاقة هائلة تجعلها تُرى عبر مسافات كونية شاسعة، في حين توجد نجوم صغيرة وخافتة بالكاد يمكن رصدها حتى بأجهزة الرصد الحديثة. والأكثر إدهاشًا أنّ أعمار النجوم تختلف بصورة هائلة؛ فبعضها يعيش حياة قصيرة وعنيفة لا تتجاوز بضعة ملايين من السنين، بينما تستطيع نجوم أخرى الاستمرار في الإشعاع لمئات المليارات من السنين، أي لفترة أطول من العمر الحالي للكون نفسه.

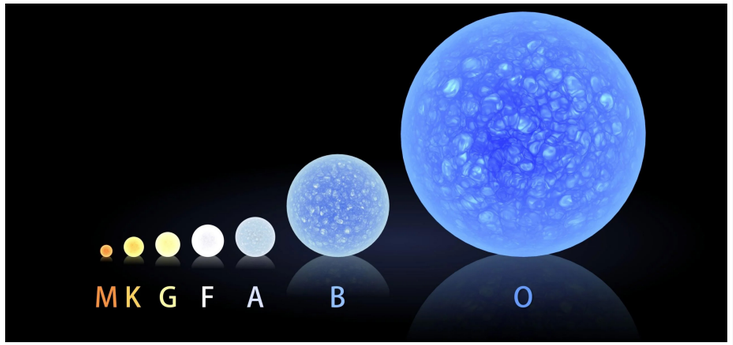
ورغم هذا التنوع المذهل، اكتشف العلماء أن وراءه نظامًا فيزيائيًا بالغ الدقة والجمال. فاللون الذي نراه ليس مجرد خاصية جمالية، بل هو مفتاح يكشف درجة حرارة النجم وطبيعة الطاقة التي ينتجها في أعماقه. ومن هنا بدأ الضوء يتحول من مجرد وسيلة للرؤية إلى لغة علمية كاملة تسمح للبشر بفهم النجوم رغم المسافات الهائلة التي تفصلنا عنها.



كيف تكشف ألوان النجوم حرارتها؟

قد تخدعنا المسافات الكونية الشاسعة فتجعل النجوم تبدو متشابهة، لكن التأمل الدقيق يكشف اختلافات واضحة حتى بالعين المجردة. ففي كوكبة الجبار مثلًا، يظهر نجم منكب الجوزاء بلونه الأحمر المائل إلى البرتقالي، وكأنه جمرة كونية متوهجة، بينما يسطع نجم رِجل الجبار بلون أزرق أبيض حاد يوحي بطاقة هائلة. هذه الألوان ليست مجرد تفاصيل جمالية، بل إشارات فيزيائية دقيقة تكشف طبيعة النجوم نفسها. فاللون في عالم النجوم يرتبط مباشرة بدرجة الحرارة. النجوم الزرقاء تُعد من أكثر النجوم سخونة في الكون، إذ قد تصل حرارة أسطحها إلى عشرات الآلاف من الدرجات، بينما تكون تلك الحمراء أبرد نسبيًا، رغم أنها ما تزال أشد حرارة بكثير من أي شيء مألوف على الأرض. أما النجوم البيضاء والصفراء، مثل الشمس، فتقع في منطقة وسطى من هذا السلم الحراري الكوني.

والمثير للاهتمام أن هذه الظاهرة ليست بعيدة عن خبرتنا اليومية. فعندما يُسخَّن معدن ما تدريجيًا، يبدأ بالتوهج الأحمر، ثم يتحول إلى البرتقالي فالأصفر، قبل أن يصل إلى الأبيض المزرق عند درجات الحرارة الأعلى. النجوم تتبع المبدأ الفيزيائي نفسه، لكنها تفعل ذلك على نطاق يفوق الخيال، إذ تمثل كرات عملاقة من الغاز الساخن تشع الضوء باستمرار بسبب درجات الحرارة الهائلة في داخلها. ومع تطور علم التحليل الطيفي، أصبح الضوء أداة أساسية لفهم الكون. فمجرد تحليل ضوء النجم يسمح لعلماء الفلك بتحديد حرارته وتركيبته الكيميائية وحتى بعض تفاصيل تاريخه وتطوره. وهكذا تحول الضوء القادم من النجوم البعيدة إلى رسالة كونية تحمل معلومات مذهلة عن هذه الأجرام العملاقة، وتقودنا تدريجيًا إلى السؤال الأهم: ما الذي يجعل النجوم مختلفة إلى هذا الحد أصلًا؟



الشكل 1: التدرج الطيفي للنجوم من الحمراء الباردة إلى الزرقاء فائقة السخونة.

لماذا تختلف ألوان النجوم؟

تبدو النجوم للعين البشرية كمصادر بسيطة للضوء، لكن هذا الضوء يخفي وراءه عالمًا كاملًا من الفيزياء المدهشة. فالنجوم تضيء لأنها أجسام فائقة السخونة، تصل درجات الحرارة في أعماقها إلى ملايين الدرجات، بينما تبقى أسطحها عند آلاف أو عشرات آلاف الدرجات. وفي الفيزياء، تُوصَف النجوم غالبًا بأنها «أجسام سوداء مشعة»، أي إنها تبعث الطاقة على هيئة إشعاع يعتمد أساسًا على درجة حرارتها. ولهذا فإن لون النجم ليس أمرًا عشوائيًا، بل نتيجة مباشرة للقوانين التي تتحكم في الضوء والطاقة.

كلما ازدادت حرارة سطح النجم، ازدادت طاقة الضوء المنبعث منه، فيتحول إشعاعه تدريجيًا نحو الأطوال الموجية الأقصر، أي نحو اللون الأزرق. أما النجوم الأبرد، فتبعث جزءًا أكبر من طاقتها عند الأطوال الموجية الأطول، فتبدو حمراء أو برتقالية. لهذا السبب تُعد النجوم الزرقاء من أكثر النجوم سخونة في الكون، إذ قد تتجاوز حرارة أسطحها ثلاثين ألف كلفن، بينما تبلغ حرارة سطح الشمس نحو 5800 كلفن فقط، في حين تنخفض حرارة بعض النجوم الحمراء إلى حوالي 3000 كلفن.

ومع تطور علم التحليل الطيفي في القرن التاسع عشر، اكتشف العلماء أن ضوء النجوم يحمل معلومات مذهلة عن طبيعتها الفيزيائية. فعندما يُحلَّل ضوء النجم إلى ألوانه المختلفة، كما يحدث في قوس المطر، تظهر خطوط دقيقة تسمح بتحديد درجة حرارته وتركيبه الكيميائي وحتى حركته في الفضاء. ومن هنا وُلد نظام التصنيف الطيفي الشهير الذي يقسم النجوم إلى الفئات: O، B، A، F، G، K و M مرتبة من الأعلى حرارة إلى الأقل حرارة. وتُعد نجوم الفئة O من أندر النجوم وأكثرها عنفًا وسطوعًا، إذ تشع بلون أزرق حاد وتطلق كميات هائلة من الطاقة تجعلها تستهلك وقودها بسرعة مذهلة. أما شمسنا فتنتمي إلى الفئة G، وهي نجوم صفراء مستقرة نسبيًا وفرت الظروف المناسبة لظهور الحياة على الأرض. وفي الطرف الأبرد من السلسلة توجد النجوم الحمراء من الفئة M، وهي الأكثر انتشارًا في مجرتنا درب التبانة. وهكذا أصبح الضوء أشبه بلغة كونية دقيقة، تحمل داخلها أسرار النجوم وخصائصها. لكن اللون ودرجة الحرارة ليسا سوى جزء من القصة، لأن هناك خاصية أعمق تتحكم في مصير النجم بالكامل، من لحظة ولادته حتى نهايته، وهي الكتلة.

الكتلة: الهوية الحقيقية للنجوم

إذا كان لون النجم يكشف لنا درجة حرارته، فإن الكتلة تكشف قصته كاملة تقريبًا. ففي عالم النجوم، تُعد الكتلة العامل الحاسم الذي يحدد مصير النجم منذ ولادته وحتى نهايته. إنها الخاصية التي تتحكم في درجة الحرارة واللمعان والحجم وطول العمر، وحتى الطريقة التي سيموت بها

النجم في نهاية حياته. ولهذا يصف علماء الفلك الكتلة بأنها "الهوية الحقيقية" للنجم. لفهم ذلك يمكن تخيل النجم كمعركة كونية مستمرة بين قوتين هائلتين. فمن جهة تحاول الجاذبية ضغط مادة النجم نحو الداخل تحت تأثير كتلته الضخمة، ومن جهة أخرى تدفع الطاقة الناتجة عن الاندماج النووي نحو الخارج. وطوال حياة النجم يبقى هذا التوازن الدقيق قائمًا بين الانهيار والانفجار، بين الجاذبية والطاقة.

كلما ازدادت كتلة النجم، ازدادت قوة الجاذبية في مركزه، مما يؤدي إلى ضغط هائل يرفع درجة الحرارة في القلب إلى مستويات مذهلة. وهناك تبدأ عملية الاندماج النووي، حيث تندمج نوى الهيدروجين لتكوين الهيليوم، مطلقةً كميات هائلة من الطاقة وفق معادلة أينشتاين الشهيرة التي تربط الكتلة بالطاقة E=mc2. هذه الطاقة هي التي تجعل النجوم تتوهج وتقاوم الانهيار تحت تأثير جاذبيته. لكن النجوم لا تحرق وقودها جميعًا بالمعدل نفسه، فالنجوم الضخمة رغم امتلاكها كميات أكبر من الوقود، تستهلكه بسرعة هائلة بسبب الحرارة والضغط الشديدين في أنويتها. ولهذا تصبح أكثر سخونة ولمعانًا، وتشع غالبًا بضوء أزرق قوي قد يفوق لمعان الشمس بآلاف أو حتى ملايين المرات.

غير أن هذا التألق العنيف له ثمن قاسٍ، إذ تعيش هذه النجوم حياة قصيرة نسبيًا قد تنتهي بانفجارات هائلة تُعرف بالمستعرات العظمى، وهي من أعنف الظواهر في الكون. أما النجوم الصغيرة، فتعيش بطريقة مختلفة تمامًا. فجاذبيتها الأضعف تجعل درجات الحرارة في أنويتها أقل، وبالتالي يحدث الاندماج النووي ببطء شديد. لهذا تبدو هذه النجوم أبرد وأخفت لمعانًا وتميل إلى اللون الأحمر، لكنها تعيش فترات زمنية هائلة قد تتجاوز مئات المليارات من السنين، أي أطول بكثير من العمر الحالي للكون.

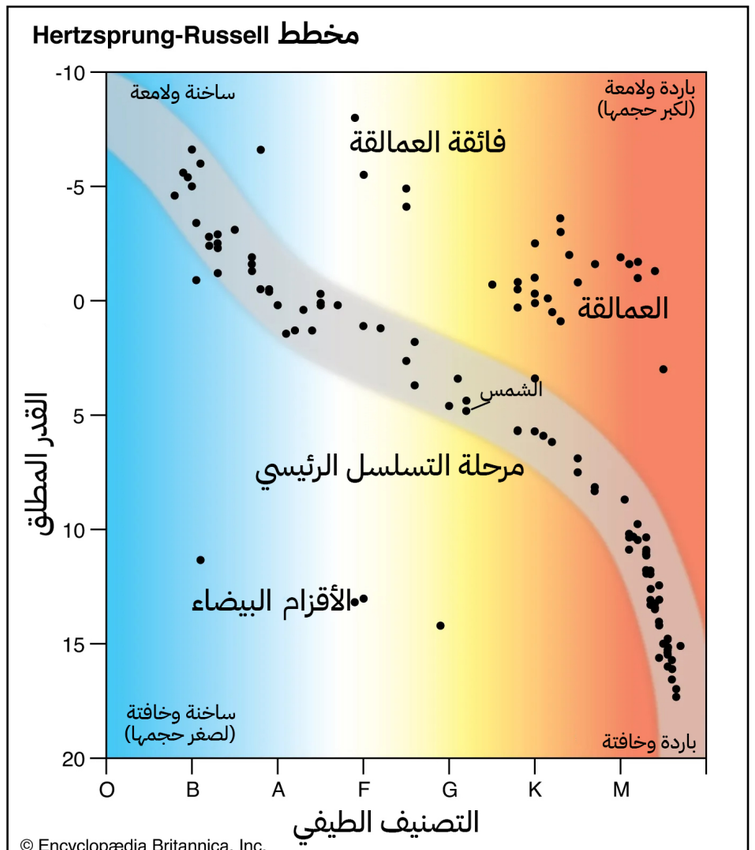
هنا تظهر واحدة من أكثر المفارقات إثارة في علم الفلك، فالنجوم الأكبر ليست الأطول عمرًا، بل على العكس تمامًا. فالنجوم العملاقة تعيش بسرعة وتحترق بعنف ثم تموت مبكرًا، بينما تعيش النجوم الصغيرة حياة هادئة وبطيئة تمتد عبر الأزمنة الكونية السحيقة.

ومن هذا الترابط بين الكتلة ودرجة الحرارة واللمعان، بدأ علماء الفلك يدركون أن النجوم لا تتوزع عشوائيًا في الكون، بل تخضع لنظام واضح يمكن تمثيله ورؤيته على خريطة علمية مذهلة ستغير فهمنا للنجوم إلى الأبد: مخطط هرتزبرونغ–راسل.

مخطط هرتزبرونغ–راسل: الخريطة الكبرى لحياة النجوم

مع اكتشاف العلاقة العميقة بين لون النجم وحرارته وكتلته، بدأ علماء الفلك يدركون أن النجوم لا تتوزع عشوائيًا في الكون، بل تخضع لنظام فيزيائي واضح يمكن تمثيله على خريطة علمية واحدة. وفي بداية القرن العشرين، قاد هذا الإدراك العالِمَين إينار هرتزبرونغ وهنري نوريس راسل إلى بناء واحد من أهم الأدوات في تاريخ الفيزياء الفلكية: مخطط هرتزبرونغ–راسل، المعروف اختصارًا بمخطط HR. قد يبدو هذا المخطط للوهلة الأولى مجرد رسم بياني بسيط، لكنه في الحقيقة أشبه بخريطة كونية تكشف البنية الخفية لعالم النجوم. فمن خلاله يستطيع علماء الفلك تحديد نوع النجم ومرحلته العمرية وخصائصه الفيزيائية، بل وحتى التنبؤ بمصيره النهائي. ولهذا أصبح مخطط HR أداة أساسية لفهم تطور النجوم عبر الزمن.

عند النظر إلى المخطط، يلاحظ القارئ أمرًا غير مألوف، فدرجة الحرارة على المحور الأفقي لا تزداد من اليسار إلى اليمين كما في الرسوم البيانية التقليدية، بل يحدث العكس تمامًا. فالنجوم الأكثر حرارة تحتل الجهة اليسرى، بينما تتمركز النجوم الأبرد في الجهة اليمنى. أما المحور العمودي فيمثل لمعان النجوم، أي كمية الطاقة التي تشعها إلى الفضاء، بحيث توجد النجوم الشديدة السطوع في



الشكل2: مخطط هرتزبرونغ–راسل، أحد أهم أدوات تصنيف النجوم وفق درجة حرارتها ولمعانها ومراحل تطورها

أعلى المخطط، والنجوم الخافتة في أسفله. وعندما بدأ العلماء في وضع النجوم على هذا المخطط، ظهرت أنماط مدهشة لم تكن متوقعة. فالنجوم لم تتبع توزيعًا عشوائيًا، بل تجمعت في مناطق واضحة، وكأن الكون يرسم خريطته الخاصة وفق قوانين دقيقة تربط بين الحرارة واللون والكتلة واللمعان.

التسلسل الرئيسي: المرحلة المستقرة في حياة النجوم

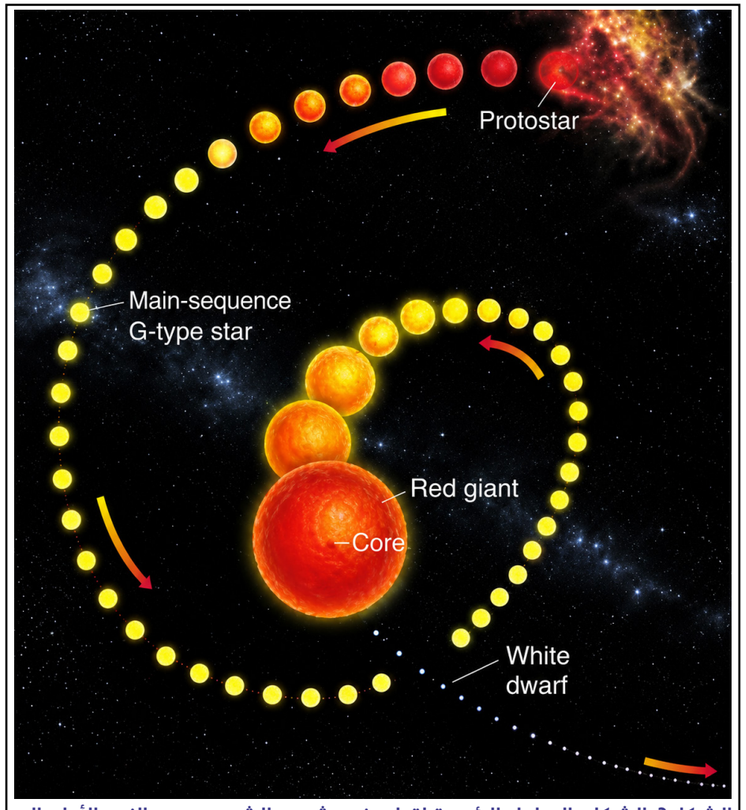
أبرز منطقة في مخطط HR هي شريط قطري يمتد من أعلى اليسار إلى أسفل اليمين، ويُعرف باسم «التسلسل الرئيسي». وفي هذه المنطقة تقضي النجوم معظم حياتها، ولذلك يمكن اعتبارها المرحلة الطبيعية والمستقرة في تطور النجوم. في أعلى التسلسل الرئيسي تتمركز النجوم الزرقاء العملاقة، شديدة الحرارة واللمعان، التي تستهلك وقودها النووي بسرعة هائلة. أما في أسفله فتوجد النجوم الحمراء الصغيرة والباردة نسبيًا، الخافتة الضوء لكنها طويلة العمر بصورة مذهلة. بين هذين الطرفين تقع شمسنا في موقع متوسط تقريبًا، بحرارة معتدلة ولمعان متوسط ولون أصفر مميز. وخلال هذه المرحلة يحافظ النجم على التوازن الدقيق بين الجاذبية التي تحاول ضغط المادة نحو الداخل، والطاقة الناتجة عن الاندماج النووي التي تدفع نحو الخارج.

ويحدد موقع النجم على التسلسل الرئيسي أساسًا بكتلته. فالنجوم الضخمة تمتلك أنوية أكثر سخونة وتُجري الاندماج النووي بسرعة أكبر، ولذلك تكون أكثر لمعانًا وأقصر عمرًا. أما النجوم الصغيرة، فتدمج الهيدروجين ببطء شديد، فتكون أقل لمعانًا لكنها تعيش لفترات زمنية هائلة. ولهذا يظهر النسق الأساسي على شكل شريط قطري ترتبط فيه الحرارة واللمعان ارتباطًا وثيقًا. لكن هذا الاستقرار لا يدوم إلى الأبد. فعندما يبدأ الهيدروجين بالنفاد من قلب النجم، تبدأ رحلته نحو مراحل جديدة أكثر غرابة وإثارة. ومع مغادرة النجم للتسلسل الرئيسي، ينتقل إلى مناطق أخرى من مخطط هرتزبرونغ–راسل تعكس المراحل اللاحقة من تطوره. فبعض النجوم تتمدد وتصبح عمالقة أو عمالقة فائقة تتميز بأحجامها الهائلة ولمعانها الكبير، بينما تنتهي النجوم الشبيهة بالشمس على هيئة أقزام بيضاء صغيرة الحجم لكنها شديدة الكثافة والحرارة. أما النجوم الأكثر كتلة فتختتم حياتها بانفجارات مستعرات عظمى، تاركةً وراءها نجومًا نيوترونية أو ثقوبًا سوداء.

هكذا يتضح أن مخطط هرتزبرونغ–راسل ليس مجرد وسيلة لتصنيف النجوم حسب اللون أو اللمعان، بل هو سجل حيّ يكشف دورة حياتها كاملة، من ولادتها داخل السحب الغازية إلى نهاياتها الهادئة أو العنيفة. فكل نقطة على هذا المخطط تمثل فصلًا من رحلة كونية طويلة، تحكمها قوانين الفيزياء بدقة مذهلة، وتجعل من الضوء القادم من النجوم قصة كاملة يمكن للعلماء قراءتها وفهمها.

خريطة كونية مكتوبة بالضوء

ومن أجمل ما تكشفه الفيزياء الفلكية أن هذا التنوع الهائل للنجوم لا يحدث عشوائيًا، بل يمكن فهمه من خلال سلسلة مترابطة من القوانين البسيطة والعميقة في الوقت نفسه. فكل شيء يبدأ بالكتلة، لأنها العامل الأساسي الذي يحدد البنية الداخلية للنجم، والبنية تحدد الحرارة، والحرارة تحدد اللون واللمعان، وهذه الخصائص جميعها تحدد مكان النجم ضمن الخريطة الكبرى للنجوم. من خلال هذه العلاقات استطاع العلماء فهم كيف تولد النجوم، وكيف تعيش، وكيف تنتهي رحلتها في أعماق الكون. هكذا تتحول السماء الليلية من منظر جميل إلى كتاب كوني مفتوح، فكل نجم يلمع فوقنا ليس مجرد ضوء بعيد، بل شاهد على قوانين الطبيعة التي صنعت الكون، وعلى رحلة كونية طويلة بدأت قبل مليارات السنين وما تزال مستمرة حتى اليوم.



الشكل3: الشكل: المراحل الرئيسة لتطور نجم شبيه بالشمس، من النجم الأولي إلى العملاق الأحمر ثم القزم الأبيض.

عندما تكسر النجوم قواعد الفيزياء

When Stars Break the Rules of Physics

بقلم د . جمال ميموني
وحدة البحث في الوساطة العلمية - CERIST

تبدو النجوم بالنسبة للكثيرين، كرموز للثبات الأبدي عند التأمل في سماء الليل. في مقالات أخرى ضمن هذا الملف حول النجوم، أزحنا الستار عن «النموذج القياسي» لحياة النجوم. لقد تعلمنا كيف تدخل الجاذبية والاندماج النووي في لعبة شد حبل تستمر لمليارات السنين، وكيف توفر سلسلة بروتون - بروتون (pp) ودورة الكربون والنيتروجين والأكسجين (CNO) النبض الطاقوي لغالبية النجوم التي نراها.

نادراً ما يكون العِلم كتاباً منتهياً، فنحن نكتشف الآن أن خلف التوهج المألوف للدب الأكبر أو الجبار، توجد فصول مفقودة في سيرة النجوم، و«وحوش» في حديقة الحيوان الكونية تتحدى الفيزياء التقليدية المدونة في الكتب المدرسية وحتى الجامعية. فمثلًا، حتى الانفجارات النجمية لا ينبغي أن تكون قادرة على الحدوث أصلًا. هذا المقال هو رحلة في ظلال التطور النجمي. سنستكشف «الأشباح» التي تكمن في الكون المبكر، والمادة «الغريبة» التي قد تكون أكثر استقراراً من الذرات في أجسامنا، والحقيقة المذهلة المتمثلة في أننا ما زلنا لا نفهم بشكل تام كيف يموت النجم فعلياً وكيف تتصرف المادة عند كثافة ودرجات حرارة مفرطتين. ومع ذلك، فإن بعض النجوم الافتراضية المذكورة هنا قد لا تكون موجودة في الواقع، وستظل نظرية بحتة إلى أن تتمكن التطورات المستقبلية في الفيزياء من إثباتها أو دحضها.

لغز الاشتعال النووي الأول

غالباً ما نبدأ قصة النجم عند ولادته، لكن فترة «الحمل» هي المرحلة التي تكمن فيها أعمق الألغاز. في الرواية التقليدية، تنهار سحابة من الغاز تحت وطأة كتلتها حتى يصبح اللب حارا بما يكفي لإشعال الهيدروجين. يبدو الأمر بسيطاً، لكن فيزياء هذا «النفس الأول» تنطوي على تناقض صارخ.

معضلة العزم الزاوي

تخيل متزلجاً على الجليد يدور حول نفسه. عندما يضم ذراعيه إلى الداخل، فإنه يدور بشكل أسرع. الآن، تخيل سحابة غازية يبلغ عرضها سنوات ضوئية تنهار لتتحول إلى نجم يبلغ عرضه مليون كيلومتر فقط. رياضياً، ينبغي أن يدور ذلك النجم بسرعة كبيرة لدرجة أنه سيتفكك ويتناثر قبل فترة طويلة من اشتعاله. ومع ذلك، فإن معظم النجوم تدور على مهل تام. أين يذهب كل ذلك «الدوران»؟ نحن نشتبه في أن المجالات المغناطيسية تعمل كمكبح عظيم، مما يُبَطِّئ دوران النجم على نفسه أثناء تشكله، لكن الآلية الدقيقة لا تزال صورة ضبابية. نحن نرى النتيجة، لكن العملية مخفية في الظلام.

الأسلاف المفقودون

الأكثر غموضاً هي «النجوم الأولى»، أو ما يسمى بنجوم الجمهرة الثالثة (Population III). كان هؤلاء هم الرواد الحقيقيون الذين ولدوا من الهيدروجين النقي والهيليوم اللذين خلفهما الانفجار العظيم. ونظراً لافتقارهم إلى «المعادن» (المصطلح الفلكي لأي عنصر أثقل من الهيليوم)،

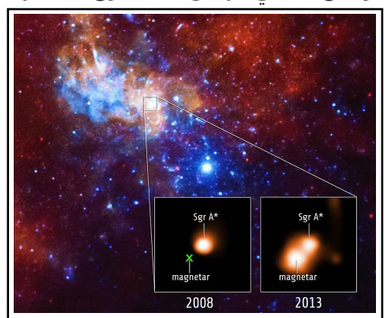
كان لزاماً أن يكونوا هائلين، مئات أضعاف كتلة شمسنا. لقد عاشوا بسرعة وماتوا في انفجارات مذهلة، وبذروا الكون بأولى ذرات الأكسجين والحديد. مع ذلك، وعلى الرغم من استعمال أقوى تلسكوباتنا، لم نرَ أياً منها قط. إنها «الحلقة المفقودة» في الكون. وإلى أن نجد بصماتها الكيميائية، يظل الفصل الأول من تاريخ الكون مجرد قصة أشباح.

حديقة الأجرام العنيفة: الفيزياء في أقصى حدودها

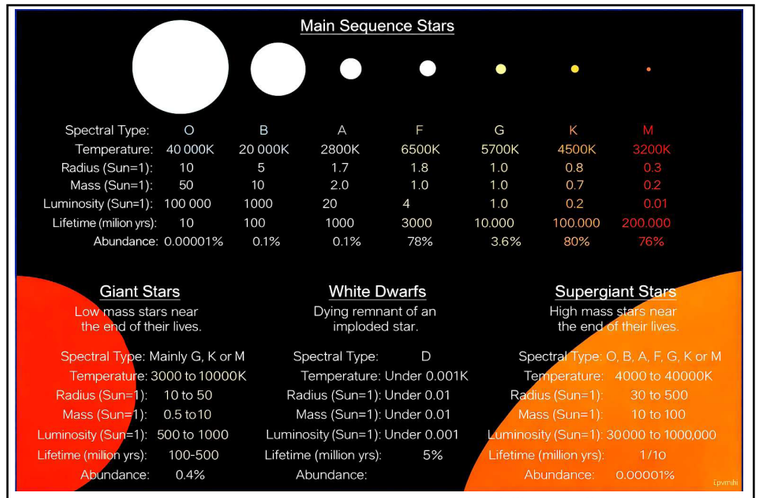
بينما يتعامل مخطط هرتزسبرونغ-راسل (H-R diagram) (وهو خارطة طريق التطور النجمي) مع النجوم «الطبيعية» بشكل جيد، فإننا نجد ساكنين في الحديقة النجمية لا يتناسبون مع القالب. هذه نجوم ولدت في بيئات قاسية تدفع المادة إلى نقطة انهيارها.

النجوم المغناطيسية (Magnetars): أقوى مغناطيسات الكون

يعد النجم النيوتروني في حد ذاته معجزة فيزيائية، فهو كرة بحجم مدينة تحتوي على كتلة تفوق كتلة الشمس. لكن النجم المغناطيسي هو نجم نيوتروني مضخم. فهو يمتلك مجالات مغناطيسية أقوى بمليون مليار مرة من مجال الأرض. إذا كان هناك نجم مغناطيسي يقع في منتصف الطريق إلى القمر، فإن مجاله المغناطيسي سيمسح البيانات من كل بطاقة تأمين على وجه الأرض. هناك لغز آخر مرتبط بالمغناطيس وهو «الزلزال النجمي». فمن حين لآخر، تتشقق قشرة النجم المغناطيسي تحت الضغط المغناطيسي الهائل، وتطلق طاقة في جزء من الثانية تفوق ما تصدره



الشكل 2: اكتشاف أول ما يُعتقد أنه ماجنيتار قريب من ثقبٍ أسود في مركز مجرة درب التبانة عام 2013، مما أتاح دراسة العلاقة بين هذين الجسمين المتطرفين.



الشكل 1: تصنيف النجوم «الكلاسيكية»

وهي أسطع الظواهر الكهرومغناطيسية في الكون. اللغز؟ لا نعرف بالضبط ما هو «المحرك» الذي يزود هذه التدفقات بالطاقة. هل هو دوران الثقب الأسود على نفسه، أم مفعول المَخْقن مغناطيسي ؟

المستعرات العظمى الفائقة (Hypernovae):

كنا نعتقد أن المستعرات العظمى (Supernovae) هي الانفجارات النهائية. ثم وجدنا المستعرات العظمى الفائقة التي تحدث عندما ينهار نجم هائل الكتلة بحيث لا ينفجر وحسب؛ بل ينهار إلى ثقب أسود ويطلق نفاثين متقابلين من البلازما عبر الكون بسرعة تقترب من سرعة الضوء. إنها مصادر انفجارات أشعة غاما الطويلة (Long Gamma Rays Bursts)، الشمس في 250 ألف عام. ما زلنا نحاول فهم كيف تتصرف المادة عندما تنضغط بفعل الجاذبية وتُسحب بواسطة مثل هذه المغناطيسية المستحيلة في وقت واحد.

النجوم الكواركية وما وراءها (Quark Stars)

لعل القفص الأكثر إثارة في الحديقة النجمية هو ذلك المخصص لـ «النجوم الكواركية الغريبة». في النجم العادي، توجد ذرات وفي النجم النيوتروني، تكون الجاذبية قوية جداً لدرجة أنها تسحق الإلكترونات داخل البروتونات، ولا يتبقى سوى النيوترونات. ولكن ماذا لو استمر الضغط أبعد

الشكل 3: رسم تخطيطي يوضّح البنية الداخلية المفترضة لنجم كواركي، من القشرة الخارجية الغنية بالأيونات والنيوترونات إلى المادة الكواركية فائقة الكثافة في أعماقه..

من ذلك؟ يقترح بعض الفيزيائيين أن النيوترونات نفسها «تتحلل» في حساء من الكواركات العلوية والسفلية والغريبة. يؤدي هذا إلى «فرضية المادة الغريبة» من Bodmer-Witten: الفكرة القائلة بأن «المادة الغريبة» قد تكون الحالة الأكثر استقراراً للمادة في الكون. إذا كان هذا صحيحاً، فقد يتحول النجم النيوتروني إلى نجم كواركي. والأكثر رعباً، أنه إذا لمست قطعة واحدة من المادة الغريبة ذرة عادية، فقد تُحوِّل تلك الذرة إلى مادة غريبة أيضاً، تماماً كالعدوى الكونية. وإذا كانت هذه النجوم موجودة، فهي تبدو تماماً كالنجوم النيوترونية.

مفارقة المستعر الأعظم: الانفجار الذي يتعثر

لعل القفص الأكثر إثارة في الحديقة النجمية هو ذلك المخصص لـ «النجوم الكواركية الغريبة». في النجم العادي، توجد ذرات وفي النجم النيوتروني، تكون الجاذبية قوية جداً لدرجة أنها تسحق الإلكترونات داخل البروتونات، ولا يتبقى سوى النيوترونات. ولكن ماذا لو استمر الضغط أبعد من ذلك؟ يقترح بعض الفيزيائيين أن النيوترونات نفسها «تتحلل» في حساء من الكواركات العلوية والسفلية والغريبة. يؤدي هذا إلى «فرضية المادة الغريبة» من Bodmer-Witten: الفكرة القائلة بأن «المادة الغريبة» قد تكون الحالة الأكثر استقراراً للمادة في الكون. إذا كان هذا صحيحاً، فقد يتحول النجم النيوتروني إلى نجم كواركي. والأكثر رعباً، أنه إذا لمست قطعة واحدة من المادة الغريبة ذرة عادية، فقد تُحوِّل تلك الذرة إلى مادة غريبة أيضاً، تماماً كالعدوى الكونية. وإذا كانت هذه النجوم موجودة، فهي تبدو تماماً كالنجوم النيوترونية.

رواق الأشباح: قاطنو الكون المستترون

أخيراً، يجب أن نتحدث عن النجوم التي لا يمكننا رؤيتها. إنها الأعضاء «المظلمة» في العائلة، وهي مصنوعة من مواد لا تتفاعل مع الضوء.

النجوم المظلمة وَقودُها الإفناء الجسيمي:

كشفت البيانات الحديثة من تلسكوب جيمس ويب الفضائي (JWST) عن «نقاط حمراء صغيرة» (Little Red Dots) غامضة في الكون المبكر (انظر العدد 09 من مجلة الشهاب حول المجرات). يعتقد بعض العلماء أن هذه نجوم مظلمة. هي ليست مصنوعة من مادة مظلمة، لكنها تتغذى منها. في الكون المبكر، كانت المادة المظلمة كثيفة جداً لدرجة أنه كان يمكن احتجازها داخل النجوم التي كانت في طور التشكل. وعندما كانت جسيمات المادة المظلمة تفني بعضها البعض، كانت توفر الحرارة لإبقاء النجم متوهجاً. ستكون هذه النجوم هائلة، وباردة، ومنتفخة، على عكس أي شيء في سمائنا الحديثة.

نجم الأكسيوني (Axion star): الشمس الشفافة

إذا كانت المادة المظلمة تتكون من جسيم يُسمى الأكسيون (Axion)، وهو جسيم دقيق افتراضي ابتُكر لتفسير بعض الخواص الرياضية للقوة النووية الشديدة، فإنها قد تشكل نجوماً بوزونية نسبة إلى أنها متكونة من جسيمات بوزونية ذات سبين (Spin) عدد صحيح مثل الأكسيون على خلاف النجوم العادية المتكونة من فرميونات مثل البروتون والنيوترون. ستكون هذه النجوم في جوهرها عبارة عن متكثفات بوز-آينشتاين (Bose-Einstein condensates) عملاقة، وهي حالة للمادة في الميكانيكا الإحصائية تتصرف فيها مليارات الجسيمات كحالة كمومية واحدة. ولأنها لا تتفاعل مع الضوء، فهي غير مرئية. مع ذلك، فإنها تمتلك كتلة، وبالتالي يمكن أن تتكتل معاً بفعل الجاذبية لتشكل نجماً يمر الضوء من خلاله مباشرة.

يمكنك الدوران في مدار حول هذا النجم الأكسيوني- البوزوني، لكنك لن تراه أبداً، ولن يمدك هذا النجم بأي دفء. يمكنك أيضاً الدخول بمركبة فضائية عبر نجم أكسيوني كهذا ورؤية النجوم العادية البعيدة على الجانب الآخر منها، رغم أنك ستشعر بجاذبيته الهائلة. هذه «النجوم البوزونية»، غير المرئية لأعيننا، ستعمل أيضاً كـ «مقلّدات للثقوب السوداء (Black Hole Mimickers)، حيث تقوم بتشويه ضوء المجرات البعيدة الواقعة خلفها مثل العدسات التجاذبية.

عوالم في الظلال

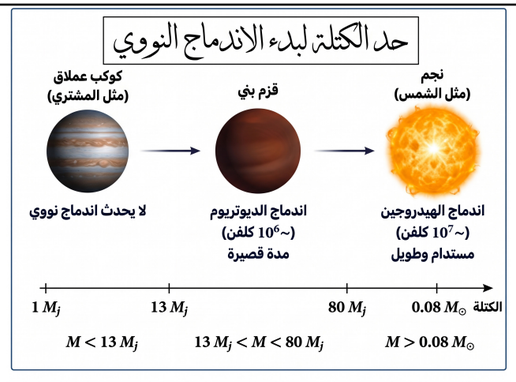
فيما يلي المزيد من الحالات النجمية غير الاعتيادية: الحالتان الأوليان تندرجان في إطار الفيزياء العادية، بينما تمثل الحالات الأخرى احتمالات أكثر تخمينا وغرابة.

كواكب النجوم النابضة (Brown Dwarfs):

لقد وجدنا بالفعل كواكب تدور حول نجوم نيوترونية ميتة. ومع ذلك، فإن الحياة هناك ستكون شبه مستحيلة، حيث أن الكوكب سيكون مغمساً باستمرار بإشعاع قاتل.

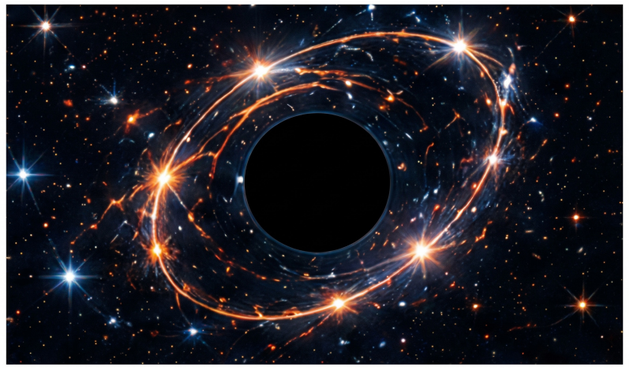
الأقزام البنية (Brown Dwarfs):

هي «نجوم فاشلة» تتغذى لفترة وجيزة على الدوتيريوم، وهي باردة بما يكفي لتمكين كواكبها من الدوران في مدارات قريبة جداً منها. هذا «وميض الدوتيريوم (Deuterium flicker)» هو عملية اندماج نووي منخفضة الحرارة توفر فترة دفء قصيرة تمتد لعشرات الملايين من



الشكل 4: الأقزام البنية هي أجرام سماوية تفوق الكواكب كتلة، لكنها لا تبلغ الكتلة اللازمة لتصبح نجوماً حقيقية، وعموماً تتراوح كتلتها بين 13 و80 مرة كتلة كوكب المشتري.

النجوم المظلمة والنجوم البوزونية



نجم مظلم يُكشف عبر عدسة الجاذبية

الشكل 5: تصوّر فني لنجمٍ مظلم تكشفه ظاهرة عدسة الجاذبية، حيث ينحني ضوء النجوم المحيطة بفعل جاذبيته.

السنين قبل أن يبرد الجرم الكوني إلى الأبد. وبناءً على ذلك، بدأنا نكتشف أن العديد من الكواكب الأكثر إثارة للاهتمام في جوارنا الكوني قد تكون في الواقع تدور حول هذه الأجرام الباهتة والمستترة بالأشعة تحت الحمراء، والتي تمثل «منطقة وسطى» بين النجوم والكواكب. أما الجانب الأكثر غرابة في هذه الأجرام فيتجلى في الأقزام البنية الأكثر حرارة من الفئة L ، حيث تكون درجات الحرارة مناسبة لتكثف المعادن، مما يشكل سحباً سميكة شاهقة الارتفاع تمطر حرفياً حديداً سائلاً وصخوراً منصهرة.

جرم ثورن-زيتكوف (Thorne-Żytkow object):

هو نجم هجين نظري يشبه في تركيبه دمية المتريوشكا الروسية الكونية، ويتشكل عندما يبتلع نجم عملاق أحمر ضخم ومنتفخ نَجماً نيوترونياً صغيراً فائق الكثافة بالكامل. وبدلاً من أن يُدمَّر النجم النيوتروني (الذي يعادل حجمه حجم مدينة)، فإنه يستقر في مركز مضيفه العملاق، ليعيش داخله كطفيلي كوني. وإذا

الشكل 6: رسم افتراضي لـ Gravastar، وهو بديل افتراضي للثقوب السوداء يتكون من غلاف رقيق يحيط بفراغ من الطاقة المظلمة.

تعرض أحد النجمين الثنائيين في مثل هذا النظام لانفجار مستعر أعظم (Supernova)، فإنه سيخلّف وراءه نجماً نيوترونياً؛ وقد يمنح هذا الانفجار النجمي الهائل النجم النيوتروني المتبقي «دفعة قوية» في اتجاه جاره العملاق، مما يجبر الاثنين على التصادم والاندماج. هذا التركيب الغريب المتمثل في «نجم داخل نجم» والذي اقترحه عالم الفيزياء الحائز على جائزة نوبل كيب ثورن وآنا زيتكوف عام 1977، لا يزال فرضية غير مثبتة .

النجم الكهرضعيف ومحركه بحجم التفاحة (Electroweak star):

هو «زر توقف مؤقت» كوني نظري يمنع تشكل الثقب الأسود مؤقتا. فعندما يموت نجم هائل الكتلة، تسحق الجاذبية لبه بقوة هائلة تؤدي إلى تحلل النيوترونات إلى لبناتها دون الذرية وهي الكواركات. ومن خلال عملية «انتقال السيفاليرون» (Sphaleron transition) المتوقعة في نموذج «واينبرغ-سلام» للتفاعل الكهرضعيف، تُدمَّر هذه الكواركات وتتحول إلى نيترينوهات، مما يطلق كمية هائلة من الطاقة تصل معها درجات الحرارة إلى حدود 1015 كلفن. تحدث هذه العملية في جيب صغير بحجم التفاحة في المركز، يحمل كتلة أرضين تقريبا، وهو المكان الذي يتجلى فيه مقياس استعادة التناظر للتفاعلات الضعيفة (حوالي 100GeV). ويوازن الضغط الخارجي الناتج عن تدفق النيوترونات الجاذبية تماما، مما يمنح النجم عمراً إضافياً يصل إلى 10 ملايين سنة قبل أن ينفد وقوده في النهاية وينهار متحولاً إلى ثقب أسود.

نجوم الجرافاستارز (Gravastars) :

نجم تكثف فراغي ثقالي (Gravitational Vacuum Condensate Star) وهو بديل نظري للثقوب السوداء، مصمم لتجنب الانهيار الرياضي المتمثل في الكثافة اللانهائية (التفرد). وبدلاً من أن يسحق النجم المحتضر نفسه في نقطة واحدة، فإنه يمر بمرحلة انتقال طوري (Phase transition) ليتحول إلى فقاعة كونية مجوفة. يحتوي اللب على رقعة من الطاقة المظلمة (Dark Matter) التي تُحدث ضغطاً يوازن الجاذبية بشكل تام. وتظل هذه الطاقة محتواة بواسطة قشرة مادية رقيقة للغاية وعالية الكثافة من المادة العادية في الخارج. بناءً على ذلك، يظل انهيار نجم ثقيل إلى ثقب أسود هو النظرية الأكثر تفضيلاً بكثير. ومن مسافة بعيدة، يكون جذبها الثقالي مطابقاً تماماً لجذب الثقب الأسود، لكنها تفتقر تماماً إلى أفق الحدث (Event horizon) أو إلى مركز مسحوق بشكل لانهائي. ومع ذلك، فهي تظل نظرية هامشية، لا سيما بعد أن ثبت أنها تواجه مشكلة في الاستقرار في حالة الدوران على نفسه.

الثقوب البيضاء (White Holes):

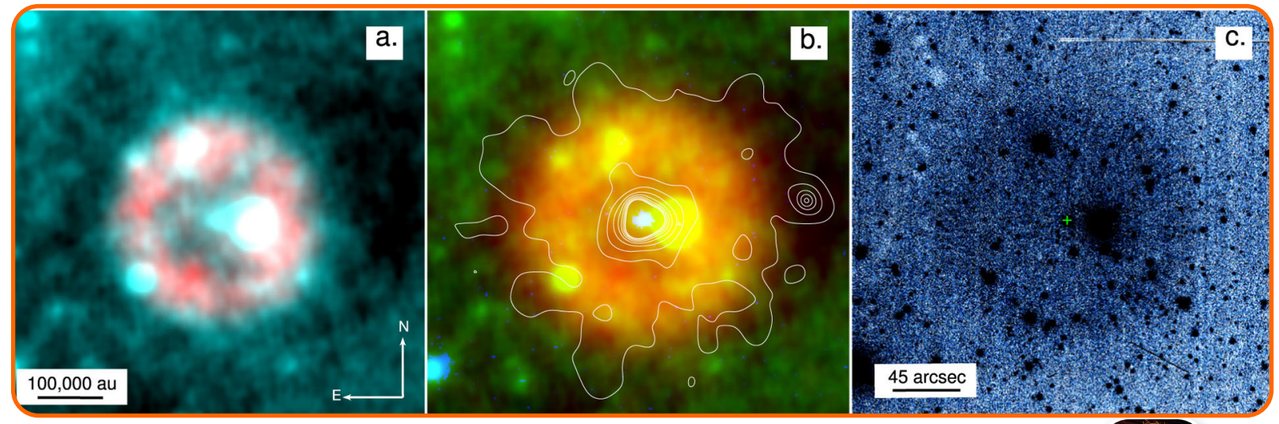
الثقب الأبيض هو النقيض الرياضي التام للثقب الأسود؛ فهو جرم كوني يطرد المادة والضوء بعنف، ولا يمكن لأي شيء على الإطلاق أن يدخله. ورغم أنها كانت تُعتبر في الماضي مجرد شذوذ رياضي في النظرية النسبية العامة، إلا أن بعض نظريات الكم الحديثة تشير إلى أن الثقوب السوداء قد «ترتد» في النهاية وتتحول إلى ثقوب بيضاء في المراحل الأخيرة جداً من حياتها.

كلما تعمق فهمنا لكيفية تطور النجوم، أصبح من الواضح أن ما نعتبره نجوماً «قياسية» ما هي إلا سكان هادئون في كون أكثر تنوعاً. نحن نجد أنفسنا في عصر مثير للاستكشاف. فبفضل المراصد الجديدة، نكشف ببطء عن تعقيدات هذه الألغاز السماوية. تشير اكتشافاتنا إلى وجود «فيزياء جديدة» منقوشة بين النجوم، من النجوم «المظلمة» الغامضة التي ربما كانت موجودة في الكون المبكر، إلى المغناطيسية الاستثنائية التي تظهرها النجوم المغناطيسية، لتؤكد أن معرفتنا الحالية لا تزال في مهدها.

قصة الجرم السماوي Pa 30

حلّ لغز عمره 850 عامًا

Pa 30: Solving an 850-Year-Old Mystery



الشكل 1: صور متعددة الأطوال الموجية لبقايا المستعر Pa 30، تُظهر البنية الغازية المحيطة بالنجم المركزي الذي يُعتقد أنه نجا من انفجار مستعر أعظم نادر وقع عام 1181م.

بقلم د . جمال ميموني

وحدة البحث في الوساطة العلمية - CERIST

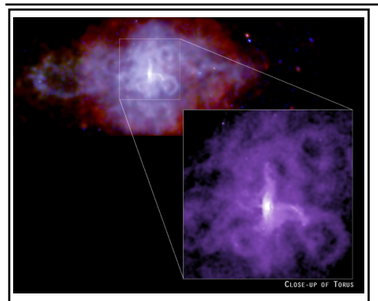
لا شيء أنسب لاختتام هذا الملف عن العالم النجمي، من سرد هذه القصة التي تروي كيف حُلَّ لغزٌ حيّر الناس طويلاً. كما ستمنحنا فرصةً للعودة إلى بعض الموضوعات التي تناولناها من قبل، ومن بينها المصائر المختلفة التي قد تنتهي إليها النجوم.

لأكثر من ثمانية قرون ونصف، ظلّ مدخلٌ وحيدٌ في السجلات الفلكية الوسيطة عصيّاً على التفسير. ففي صيف عام 1181م، دوّن مراقبو السماء في الصين واليابان بشكل مستقل ظهور «نجم ضيف» في كوكبة ذات الكرسي. كان ساطعاً مثل كوكب المشتري، ومكث 185 يوماً قبل أن يختفي عن الرؤية بالعين المجردة. نعرف اليوم أن مثل هذه الظواهر هي مستعرات عظمى، أي انفجارات نجمية هائلة قد تتفوق مؤقتاً في سطوعها على مجرات بأكملها. يُطلق اسم «المستعر الأعظم» على الانفجار النهائي لبعض النجوم. وتوجد فئتان رئيسيتان من هذه الأحداث: المستعرات العظمى من النوع II، الناتجة عن انهيار النجوم فائقة الكتلة عند نفاد وقودها النووي، والمستعرات العظمى من النوع Ia، الناتجة عن انفجار قزم أبيض غير مستقر. لكن رغم دقة السجلات التاريخية، لم يتمكن العلماء طويلًا من العثور على البقايا التي خلفها ذلك الحدث.

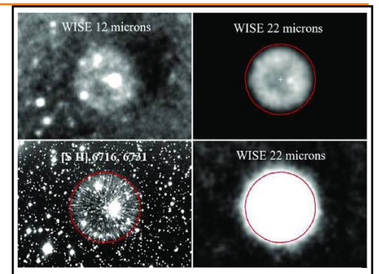
اكتشاف غير متوقع

لعقود، اعتُبر السديم الراديوي 3C58 المرشح الأبرز لبقايا مستعر 1181، لأنه يحتوي على نجم نيوتروني نابض. والنجم النيوتروني هو بقايا نجم فائق الكتلة انهار تحت تأثير جاذبيته بعد انفجار مستعر أعظم من النوع II، ونُضغط كتلته الهائلة في كرة لا يتجاوز قطرها بضع عشرات من الكيلومترات. أما النباض فهو نجم نيوتروني سريع الدوران يرسل حُزم إشعاع دورية تشبه منارة كونية. لكن قياسات تباطؤ دوران هذا النباض أشارت إلى عمر يبلغ عدة آلاف من السنين، أي أكبر بكثير من 850 عاماً. وهكذا استُبعد هذا المرشح وعاد الغموض من جديد.

في عام 2013، اكتشف عالم الفلك الهاوي دانا باتشيك جرماً خافتاً دائرياً في بيانات الأشعة تحت الحمراء التابعة للمسح WISE. سُجِّل الجرم باسم Pa 30 وصُنِّف مبدئياً كسديم كوكبي عادي. لكن القياسات اللاحقة كشفت مفاجأة، نجم مركزي تبلغ حرارته نحو 200.000 كلفن، وخيوط غازية تتمدد بسرعة تقارب 1100 كم/ثا. عند تتبع هذا التمدد إلى الوراء، تبيّن أن عمر السديم يقارب 850 عاماً، في تطابق لافت مع حدث عام 1181. وللمقارنة، لا تتجاوز درجة حرارة سطح الشمس نحو 5800 كلفن، مما يجعل هذه الحرارة الاستثنائية دليلاً على حدث عنيف وقع في الماضي القريب نسبياً.



الشكل 2: صورة بالأشعة السينية لبقايا المستعر 3C 58 التقطها مرصد تشاندرا، مع تكبير يُظهر النجم النيوتروني في المركز والسديم المحيط به الناتج عن الانفجار النجمي.

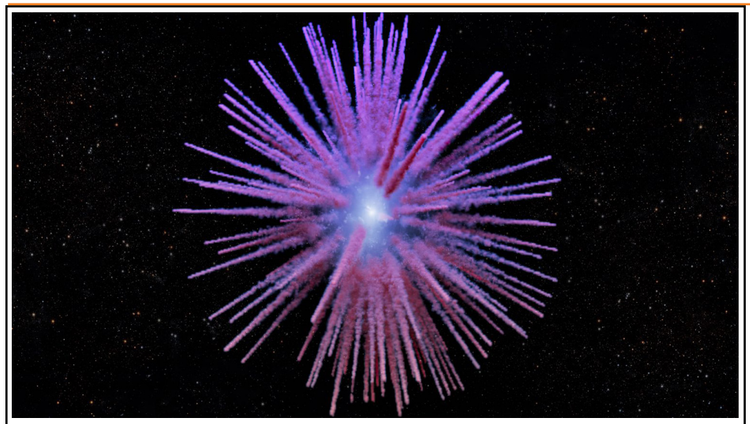


الشكل 3: صور متعددة الأطوال الموجية لبقايا المستعر Pa 30 التقطها مرصد WISE والرصد البصري، تُظهر السديم المحيط بالنجم المركزي وتبرز اختلاف مظهره باختلاف الطول الموجي المستخدم في الرصد.

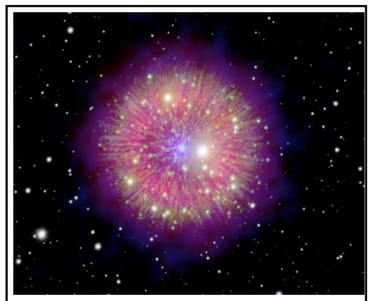
نوع نادر من المستعرات العظمى

أظهرت الدراسات أن Pa 30 لا يشبه بقايا المستعرات العظمى الاعتيادية (SN remnant). ففي المستعر الأعظم من النوع Ia يُدمَّر القزم الأبيض بالكامل نتيجة انفجار حراري نووي جامح. والقزم الأبيض هو المصير النهائي لمعظم النجوم متوسطة الكتلة، ومنها شمسنا، بعد أن تستنفد وقودها النووي. ورغم أن حجمه يقارب حجم الأرض، فإنه يحتوي على كتلة تقارب كتلة الشمس.

أما في حالة Pa 30، فقد نجا القزم الأبيض من الانفجار، مما يشير إلى فئة نادرة تُعرف بالمستعرات العظمى من النوع Iax، ويُعتقد أن هذا النوع ينشأ من اندماج قزمين أبيضين يدوران حول بعضهما البعض. ومع مرور الزمن يفقد هذان الجرمان الطاقة الحركية المدارية تدريجياً عبر إصدار موجات ثقالية، فيقتربان شيئاً فشيئاً إلى أن يندمجا في النهاية. لكن الانفجار في هذه الحالة يكون جزئياً فقط، فلا تُقذف سوى أجزاء من المادة بينما يبقى نجم متبقٍّ فائق الكتلة على قيد الحياة. ولهذا السبب يُطلق عليه أحياناً في الأدبيات الشعبية اسم «النجم الزومبي» (Zombie star) .

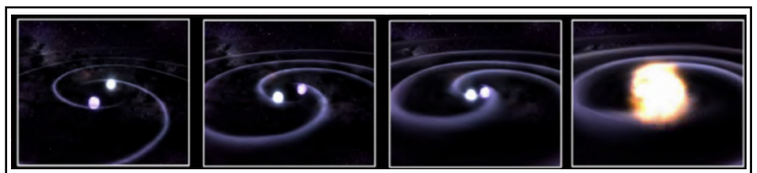


الشكل 6: تصوّرٌ فنيّ لبقايا مستعرٍ أعظم Pa 30، خلّفها انفجارُ مستعرٍ أعظم شوهد عام 1181م. تمتد خيوطٌ غير اعتيادية مِن الكبريت إلى ما وراء غلافٍ غباريٍّ مكوَّن من المادة التي قذفها الانفجار.



الشكل 5: السديم Pa 30، ويُعتقد أن النقطة الزرقاء في مركزه هي «نجم زومبي» (قزم أبيض نجا من مستعر أعظم نادر من النوع Iax عام 1181م).

النجم المركزي لـ Pa 30، المعروف أيضاً باسم «نجم باركر» Parker star، يطلق رياحاً نجمية تتجاوز سرعتها 16.000 كم/ثا، أي نحو 5% من سرعة الضوء. تتفاعل هذه الرياح مع المواد المقذوفة المحيطة لتنتج الشكل المميز للسديم. ويُعتقد أن كتلة هذا القزم الأبيض تتجاوز حد شاندراسيخار أي «حد شاندرا» The Chandrasekhar limit، وهو الحد النظري الأقصى الذي يستطيع القزم الأبيض تحمله قبل أن يصبح غير مستقر، وتبلغ قيمته نحو 1.4 مرة كتلة الشمس.

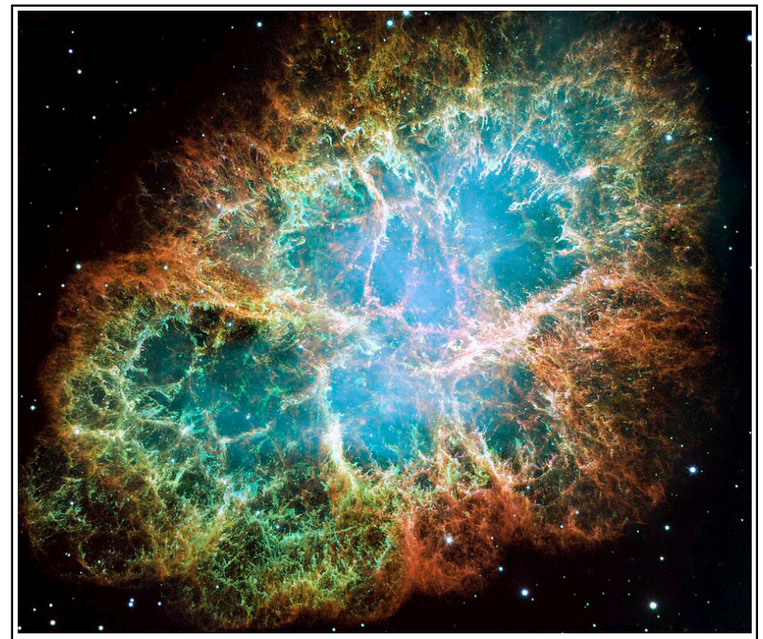


الشكل 4: يوضّح هذا التسلسل المراحل المتوقعة لاندماج قزمين أبيضين نتيجة فقدان الطاقة عبر إصدار الموجات الثقالية. ومع اقترابهما واندماجهما يحدث انفجار حراري نووي جزئي من النوع Iax، لا يدمّر النجم بالكامل، بل يخلف بقايا نجمية فائقة الكتلة تُعرف أحيانًا باسم «النجم الزومبي»، كما يُعتقد أنه حدث في السديم Pa 30.

لماذا يبدو Pa 30 مختلفاً؟

تُعد الخيوط الطويلة المستقيمة الممتدة من مركز السديم أكثر سِماته غرابة. فمعظم بقايا المستعرات العظمى، مثل سديم السرطان، تمتلك بنى مضطربة ومتكتلة. أما Pa 30 فيشبه إلى حد بعيد زهرة الهندباء أو الألعاب النارية المتجمدة.

يكمن السبب في الفرق الكبير في الكثافة بين الرياح النجمية السريعة والوسط المحيط الرقيق. فعندما يندفع وسط كثيف داخل وسط أخف تتشكل بروزات إصبعية تُعرف بعدم استقرارية رايلي–تايلور (Rayleigh-Taylor instabilities). وفي معظم الحالات تتمزق هذه البنى لاحقاً بفعل اضطرابات أخرى، لكن الظروف الفيزيائية الخاصة في Pa 30 سمحت لها بالبقاء مستقيمة ومحافظة على شكلها لقرون. وقد قدمت دراسة نُشرت عام 2025 تفسيراً هيدروديناميكياً لهذا المظهر الفريد.



الشكل 7: يتشوّه الغاز المتمدد في سديم السرطان بشدة بفعل الاضطرابات الهيدروديناميكية، مما يمنحه المظهر الفوضوي والمتكتل المميز لمعظم بقايا المستعرات العظمى. على النقيض من ذلك، يتميز Pa 30 بتباين كبير جداً في الكثافة، مما يسمح ببقاء خيوطه الطويلة والمستقيمة محفوظة على مدى آلاف السنين.

انفجار آخر في المستقبل؟

يبدو أن القزم الأبيض الناجي غير مستقر تماماً.

فكتلته تتجاوز حد شاندراسيخار، ويُرجَّح أن استقراره الحالي يعتمد على دورانه السريع حول نفسه وعلى الطاقة المبددة عن العناصر المشعة التي خلّفها الانفجار الأول. وتشير النماذج إلى أنه قد يتعرض لانفجار حراري نووي ثانٍ خلال نحو عشرة آلاف سنة. ولن يشكل ذلك خطراً على الأرض نظرا لبعده عنا (حوالي 7.500 سنة ضوئية)، لكنه قد يمثل الفصل الثاني من قصة بدأت في أواخر القرن الثاني عشر.

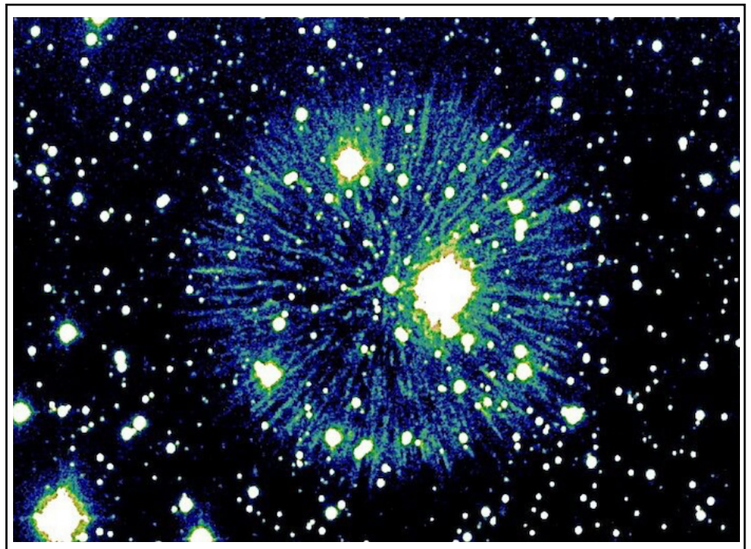
والتفاعلات الحرارية النووية هي نفسها التفاعلات التي تزود النجوم بالطاقة طوال حياتها. غير أنها داخل الأقزام البيضاء الشديدة الانضغاط قد تتحول من احتراق مستقر إلى انفجار كارثي خلال فترة قصيرة جداً.

لماذا استغرق حل اللغز كل هذا الوقت؟

تكشف قصة Pa 30 عن بعض الصعوبات الشائعة في البحث العلمي. فقد أدى التركيز على نماذج متوقعة مسبقاً، إلى ربط مستعر 1181 بمرشح بدا مقنعاً في البداية، كما أن المظهر الدائري المنتظم نسبياً لـ Pa 30 جعله يُصنَّف خطأً كسديم كوكبي عادي. ولم تتضح طبيعته الحقيقية إلا بعد الجمع بين الملاحظات الهاوية، والبيانات الأرشيفية، والقياسات الطيفية الدقيقة، مما يذكرنا بأن التقدم العلمي لا يقوم فقط على تأكيد الفرضيات، بل أيضاً على مراجعتها والتخلي عنها عندما تفرض الأدلة ذلك.

لم يكن «المستعر الأعظم غريب الشكل» الذي ظهر عام 1181 شذوذاً فلكياً، بل اكتشافا مهماً. فقد أدى التعرف على طبيعته الحقيقية إلى إعادة النظر في النتائج الممكنة لاندماج الأقزام البيضاء، وأبرز أهمية المستعرات العظمى النادرة من النوع Iax. وعلى نطاق أوسع، تُظهر هذه القضية أن التقدم العلمي نادراً ما يكون خطياً؛ فهو ثمرة مسارات خاطئة، وإعادة فحص للأدلة، وتقارب تدريجي للقرائن المبعثرة عبر القرون.

ويتميّز Pa 30 بأنه يجمع بين الجمال والعلم والتاريخ في جرم واحد. فبنيته الشعاعية المدهشة تكاد تكون فريدة بين بقايا المستعرات العظمى المعروفة؛ ومن الناحية العلمية، يُعد أحد أفضل المختبرات الطبيعية لدراسة انفجارات النوع Iax و«النجوم الزومبية» التي قد تنجو منها؛ أما من الناحية التاريخية، فهو البقايا التي خلّفها المستعر الأعظم المرصود عام 1181م. وبعد أن اعتُبر زمناً طويلاً مجرد سديم كوكبي عادي، أصبح اليوم شاهداً على أن الكون لا يزال يحتفظ بالكثير من المفاجآت.



الشكل 8: صورة عميقة للسديم Pa 30 التُقطت بمرشح ضيق النطاق يُبرز انبعاثات الكبريت، كاشفةً خيوطًا شعاعية دقيقة تمتد من المركز، وهي بنية غير مألوفة في بقايا المستعرات العظمى وتوفر أدلة مهمة على طبيعة الانفجار الذي شكّل السديم.

ضيف العدد

يورغن كريستنسن-دالسغارد

الفلكي الذي علمنا كيف نستمع إلى النجوم

Jørgen Christensen-Dalsgaard

The Astronomer Who Taught Us to Listen

أجرى الحوار: - د.جمال ميموني

نبذة عن الضيف

ورغن كريستنسن-دالسغارد هو عالم فيزياء فلكية دنماركي، يُعد أحد أبرز رواد علم زلازل النجوم وعلم الزلازل الشمسية. يشغل حالياً منصب أستاذ فخري بجامعة آرهوس، وقد تركزت أبحاثه على دراسة البنية الداخلية للشمس والنجوم من خلال تحليل التذبذبات الطبيعية على أسطحها، وقد أسهمت أبحاثه في إحداث نقلة نوعية في فهم تركيب النجوم وأعمارها وتطورها.

شارك ضيفنا في عدد من أهم المشاريع الفضائية الدولية، من خلال عضويته في مجموعات عمل تابعة لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا)، ووكالة الفضاء الأوروبية (ESA)، والمرصد الأوروبي الجنوبي، كما كان باحثاً مشاركاً في مهمة تلسكوب كبلر الفضائي، وترأس اتحاد كبلر لعلوم زلازل النجوم الذي استثمر بيانات التلسكوب لدراسة آلاف النجوم والكشف عن خصائصها الداخلية بدقة غير مسبوقة.

Guest Biography

Dr. Jørgen Christensen-Dalsgaard is a Danish astrophysicist and astronomer, widely regarded as one of the most prominent pioneers in the fields of asteroseismology and helioseismology. He currently holds the position of Professor Emeritus at Aarhus University. His research has focused on studying the internal structure of the Sun and other stars by analyzing the natural oscillations on their surfaces. These studies have led to a major breakthrough in our understanding of the composition, ages, and evolution of stars.

Our guest has participated in several major international space projects through his membership in working groups for the National Aeronautics and Space Administration (NASA), the European Space Agency (ESA), and the European Southern Observatory (ESO). He also served as a Co-Investigator for the Kepler space telescope mission and headed the Kepler Asteroseismic Science Consortium (KASC), which utilized the telescope›s data to study thousands of stars and reveal their internal properties with unprecedented precision.

الشكل 1: تصوّر الإنسان منذ العصور القديمة أن النجوم نقاطٌ مضيئة مثبتة على قبة سماوية تحيط بالأرض. وظل هذا التصور سائداً لقرون، حتى كشفت المراصد الحديثة أن النجوم شموس بعيدة تفصلنا عنها مسافات هائلة.

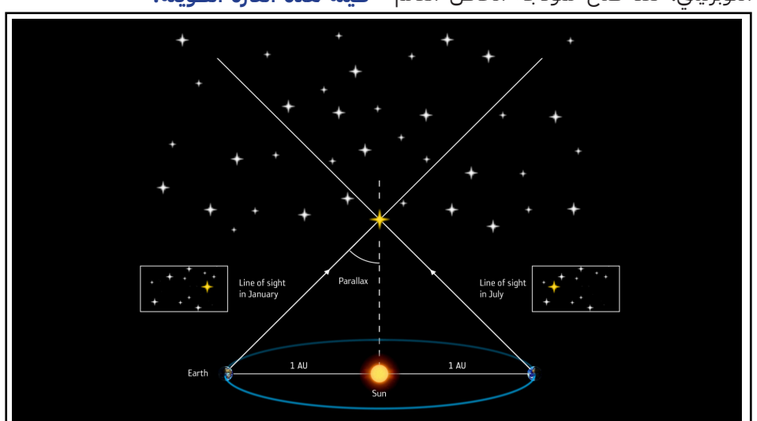
أود أولاً أن نناقش عدة جوانب أساسية في فيزياء النجوم وعلم الفلك. تحديداً، آمل أن نتمكن من تتبع الفهم التاريخي للنجوم، والتعمق في التطور النجمي والتخليق النووي، واستكشاف الاختراقات في علم الهيليوزلزاليات (الزلازل الشمسية) وعلم زلازل النجوم (اهتزاز النجوم). يجب أن نتطرق أيضاً إلى مستقبل فيزياء النجوم، بما في ذلك دراسة النجوم الغريبة، ودراسة كيف يساعدنا تركيز بحثك الحالي على الكواكب الخارجية في فك بعض أعمق الألغاز المحيطة بالنجوم المضيفة.

دعني أبدأ بسؤال تاريخي محيّر حول كيف رصد الناس النجوم تاريخياً. في العصور القديمة، كان يُنظر إلى النجوم على أنها نقاط ثابتة على القبة السماوية. ولأنها لم تُظهر أي اختلاف منظر (Parallax) ملحوظ، أدرك علماء الفلك الأوائل أنها بعيدة بشكل لا يُصدق. لماذا، إذن، لم يدرك الناس أن هذه النقاط الصغيرة من الضوء لا بد أن تكون شديدة اللمعان للغاية، بالنظر إلى القانون الفيزيائي الذي ينص على أن شدة الضوء تتناقص مع مربع المسافة؟

أعتقد أنه لفترة طويلة جداً، لم يكن لدى البشرية بسطاة أي تصور حقيقي لماهية النجوم فعلياً. فقد ظهرت كنقاط ضوئية خافتة وثابتة، على عكس الكواكب المتحركة، وكانت فكرة أنها أجرام شبيهة بشمسنا خارجة تماماً عن نطاق خيالهم. تاريخياً، فشل تيخو براهي Tycho Brahé في إدراك القيمة الحقيقية للمسافات النجمية. فقد استنتج أنه إذا كانت الأرض تتحرك حقاً - كما في النظام الكوبرنيكي - فيجب أن يكون قادراً على رصد اختلاف المنظر النجمي. فشله في ذلك هو بالضبط السبب الذي جعله يرفض النظام الكوبرنيكي، لقد صاغ نموذجه الخاص القائم على الرصد حيث تدور الشمس حول الأرض بدلاً من ذلك. ثم جاء جيوردانو برونو Giordano Bruno، الذي وضع نظرية تنبؤية مفادها أن النجوم كانت شموساً يمكن أن تستضيف كواكبها الخاصة، وربما حتى الحياة. وبطبيعة الحال، كان هذا أمراً غير مقبول بالنسبة للكنيسة الكاثوليكية، ولهذا السبب تم إحراقه بشكل مأساوي على الوتد.

وصلت الثورة العلمية الحقيقية عندما سمح التحليل الطيفي لعلماء الفلك بتحديد أن النجوم تحتوي على نفس العناصر الكيميائية الموجودة في شمسنا تماماً. وبحلول القرن التاسع عشر، نجح العلماء أخيراً أيضاً في قياس اختلاف المنظر النجمي. سمح لهم هذا الاختراق بحساب مسافات دقيقة، ورسم خريطة لهيكل مجرة درب التبانة، وبناء النماذج الفيزيائية التأسيسية الأولى للنجوم، وكذلك المعروفة باسم «البوليتروب»Polytrops .

لننتقل إلى أوائل القرن العشرين، وهو الوقت الذي كان فيه العلماء لا يزالون يحاولون تحديد المصدر الحقيقي للطاقة النجمية. من اللافت للنظر أنه على الرغم من تطورات العصر في الفيزياء الحديثة - مثل الكهرومغناطيسية، والفيزياء الذرية، وأعمال ماكسويل وأينشتاين - ظلت الآلية الفعلية التي تزود النجوم بالطاقة مجهولة حتى ثلاثينيات القرن العشرين مع ظهور الفيزياء النووية. أليس من المدهش أن هذه الآلية الأساسية ظلت لغزاً طيلة هذه الفترة الطويلة؟



الشكل 2: يُقاس اختلاف المنظر النجمي (Parallax) من خلال رصد الموقع الظاهري للنجم في أوقات مختلفة من السنة أثناء دوران الأرض حول الشمس، ويُعد هذا الأسلوب الأساس المباشر لقياس المسافات إلى النجوم القريبة.

أعتقد أنك غير منصف بعض الشيء تجاه آرثر إدينغتونA.Eddington ، الذي هو حقاً أحد أبطالي العظماء. فقد امتلك إدينغتون في الواقع فهماً شبه كامل لفيزياء النجوم قبل أن تُفهم الفيزياء النووية بالكامل. لقد افترض أن الحرارة يمكن أن تنتج عن اندماج الهيدروجين لتكوين الهيليوم، على الرغم من أنه لم يدرك الآليات الدقيقة لذلك.

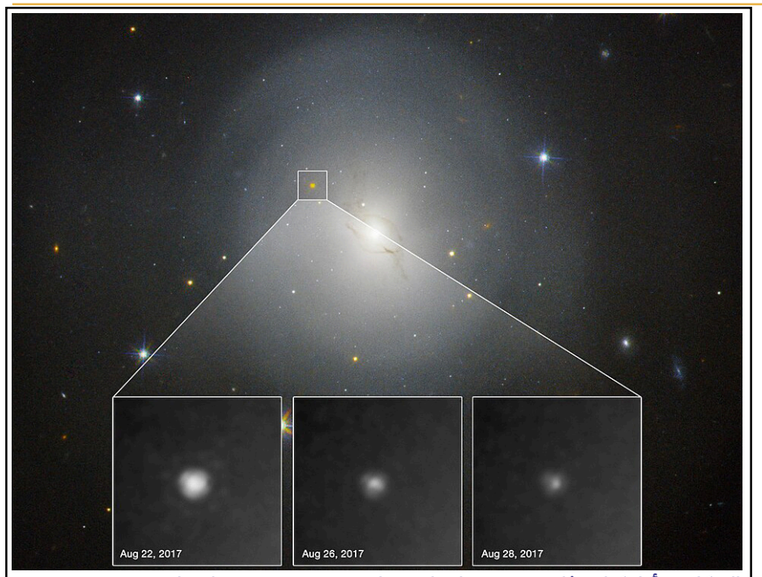
لقد فهم إدينغتون تماماً البنية الهيدروستاتيكية للنجوم، ووصفها بشكل جميل باستخدام نماذج البوليتروب. كما كان لديه فهم ممتاز لكيفية انتقال الطاقة عبر الإشعاع؛ فبحلول عام 1925، تم حساب معاملات الامتصاص الذري بدقة، مما سمح له بنمذجة انتقال الطاقة داخل النجوم. وقد مكنه ذلك من التنبؤ بعلاقة الكتلة واللمعان دون الحاجة إلى معرفة مصدر الطاقة الدقيق. ما كان ينقصه هو القطعة الأخيرة من اللغز: التكوين النجمي. لقد افترض أن النجوم تتكون من مواد تشبه مواد الأرض، وكان بينغت سترومغرين هو من أدرك لاحقاً أن النجوم تتكون في الغالب من الهيدروجين. أخيراً، جاء هانز بيته وآخرون في أواخر الثلاثينيات لشرح الآليات الفيزيائية المحددة للاندماج النووي.

هناك فجوة تاريخية رائعة هنا. دورة CNO (الكربون-النيتروجين-الأكسجين)، التي تهيمن على النجوم الأثقل، وصفها بيته وفون فايتزساكر H.Bethe and C. von Weizacker، لكن الشمس تعتمد في المقام الأول على سلسلة البروتون-بروتون. لماذا تأخر فهم الآلية الخاصة بالشمس؟

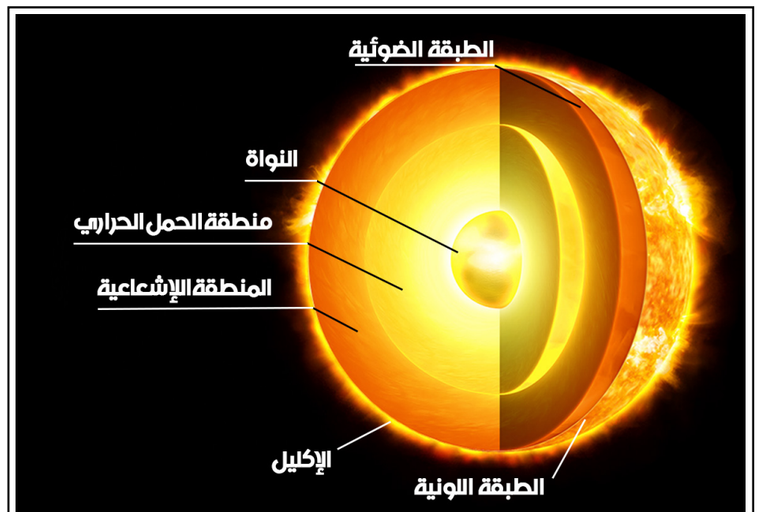
التأخير فيما يتعلق بسلسلة البروتون-بروتون (p-p) ينبع من حقيقة أن معدلات تفاعلها الأساسية يصعب تحديدها بشكل لا يصدق. على عكس دورة CNO، لا يمكن قياس سلسلة p-p مباشرة في المختبر؛ بل يجب حسابها نظرياً، مما يتطلب فيزياء نووية شديدة التعقيد. وفيما يتعلق بالتفاعلات الفيزيائية، لا يمكن الفصل بينهما؛ كلاهما ضروري. فالتفاعل الضعيف يحدد المقياس الزمني عن طريق تحويل بروتون إلى نيوترون، بينما يبني التفاعل القوي فيزيائياً النوى الأثقل. لا يمكنك الادعاء بأن أحدهما وحده هو المسؤول. الأمر أشبه بإعداد الخبز، إذ لا يمكنك صنع الخبز بدون كل من الحبوب والحرارة.

اليوم، نحن نفهم أن العناصر تتشكل عبر التفاعلات النووية، وأن العديد من العناصر الثقيلة تتشكل أثناء المستعرات العظمى الناتجة عن انهيار نواة النجم. إلى أي مدى تبدو صورة التركيب النووي الانفجاريExplosive nucleosynthesis هذه راسخة؟

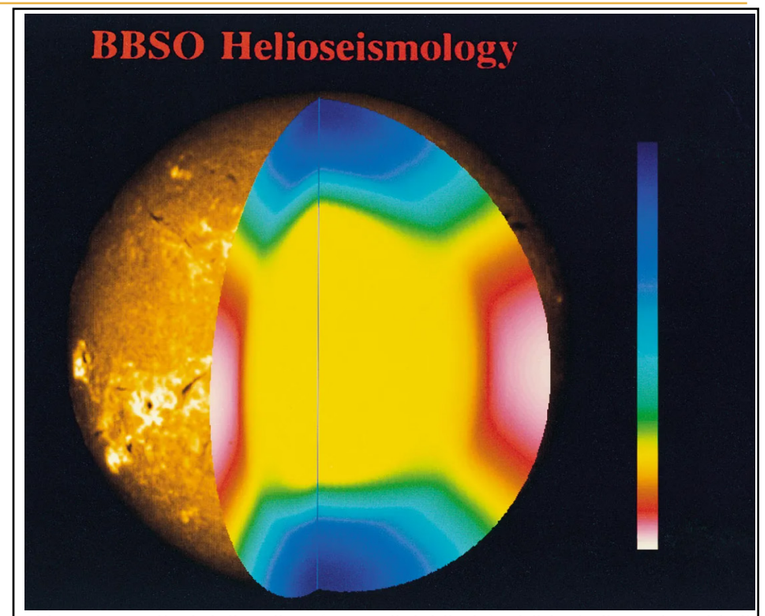
إن واقع التركيب النووي في النجوم معقد للغاية، فالنوى الذرية يتم إنتاجها أيضاً خلال التطور النجمي المبكر. تقوم النجوم الأكثر كتلة بدمج العناصر وصولاً إلى مجموعة الحديد، ونجم مثل الشمس لن يتقدم كثيراً بعد الكربون والأكسجين، تاركاً إياها حبيسة في قزم أبيض. النجوم الأثقل قليلاً تقذف هذه العناصر إلى الوسط بين



الشكل 4: أول كيلونوفا جرى رصدها مباشرة عام 2017، نتجت عن اندماج نجمين نيوترونيين. وقد أكد هذا الحدث أن مثل هذه الاصطدامات تُعد من أهم مواقع إنتاج العناصر الثقيلة في الكون عبر عملية الالتقاط السريع للنيوترونات (r-process).



الشكل 3: البنية الداخلية للنجم، موضحًا النواة حيث يحدث الاندماج النووي، والمنطقة الإشعاعية، ومنطقة الحمل الحراري، وصولًا إلى الغلاف الضوئي والإكليل، اللذين يمثلان الأجزاء المرئية والخارجية للنجم.



الشكل 5: تكشف الهيليوزلزاليات (علم الزلازل الشمسية) عن البنية الداخلية للشمس من خلال تحليل تذبذبات سطحها، مما يتيح رسم خرائط لسرعة انتقال الموجات الصوتية داخلها واستنتاج خصائص طبقاتها الداخلية بدقة عالية.

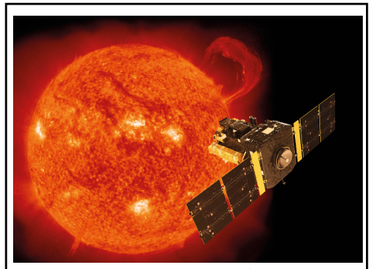
النجمي، وتتشكل بعض العناصر الأثقل عبر التقاط النيوترونات خلال المراحل المتأخرة من النجوم متوسطة الكتلة. هذا الفهم التأسيسي لتفاعلات التقاط النيوترونات تم رسم معالمه إلى حد كبير من قبل الزوجين بوربيدج، وفاولر، وهويل E. M. Burbidge & G. R. Burbidge, W. A. Fowler, F. Hoyle في الخمسينيات.

ومع ذلك، بالنسبة للعناصر الأثقل، لا يزال هناك نقاش نشط حول ما إذا كانت الآلية الأساسية هي انفجارات المستعرات العظمى ذات النواة المنهارة أو اندماج النجوم النيوترونية - وهي ظاهرة تُعرف باسم الكيلونوفا Kilonova، حيث تنطوي الكيلونوفا على كميات هائلة من التقاط النيوترونات، مما يؤدي إلى تكوين العديد من العناصر الثقيلة. وقد تسارع هذا الموضوع بسرعة منذ أن تم رصد الكيلونوفا لأول مرة عبر موجات الجاذبية والتلسكوبات البصرية.

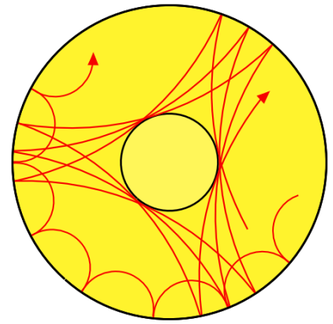
ما هو الحد الأدنى للكتلة المطلوبة لنجم كي يمر بانفجار مستعر أعظم ناتج عن انهيار النواة؟ بعض المصادر تقول 8 كتل شمسية، والبعض الآخر يشير إلى أنها تقترب من 15.

نظراً لتعقيد العمليات، من الصعب إعطاء إجابة دقيقة متفق عليها عالمياً، لكنني أقدر أن النجم يحتاج إلى ما بين 8 إلى 10 كتل شمسية ليصبح مستعراً أعظم. من المحتمل أن تكون خمس عشرة كتلة شمسية عالية جداً؛ النجوم بهذه الكتلة، أو التي تتجاوز ربما 20 إلى 25 كتلة شمسية، ستنهار على الأرجح مباشرة لتشكل ثقباً أسود.

في سيناريو انهيار النواة، يقوم النجم الضخم بدمج العناصر حتى يصل إلى مجموعة الحديد. المزيد من الاندماج يستهلك الطاقة بدلاً من إنتاجها، ثم تنهار النواة إلى كثافات نووية، مما يطلق طاقة أكبر بكثير - في المقام الأول عبر النيوترينوات وموجات



الشكل 6: أسهمت المراصد الشمسية الفضائية، مثل مرصد SOHO وغيره، في توفير رصد متواصل للشمس، مما مكّن العلماء من دراسة اهتزازاتها الداخلية ونشاطها المغناطيسي والانفجارات الشمسية بدقة غير مسبوقة.



الشكل 7: تسلك الموجات الزلزالية داخل النجم مسارات مختلفة تبعًا لخصائص طبقاته الداخلية، مما يسمح باستنتاج بنيته الداخلية من خلال دراسة ترددات الاهتزاز.

الصدمة - مما يمكن أن تولده التفاعلات النووية وحدها، وهو ما يمزق النجم ويفجره. يختلف هذا تماماً عن المستعرات العظمى من النوع Ia، والتي تتضمن أقزاماً بيضاء في أنظمة ثنائية تراكم الكتلة حتى تنهار وتشتعل وتندمج في الغالب لتشكل عناصر مجموعة الحديد.

كان التحدي التاريخي يتمثل في شرح كيف يمكن للمستعرات العظمى أن تنتج ما يكفي من العناصر الأثقل، وهذا بالضبط هو السبب وراء ظهور الكيلونوفا كحل حاسم. فاندماج النجوم النيوترونية يوفر تدفقات النيوترونات الهائلة المطلوبة لالتقاط النيوترونات بكفاءة عالية.

على الرغم من الحواسيب الفائقة الحديثة، لا تزال نمذجة هذه المستعرات العظمى الناتجة عن انهيار النواة صعبة للغاية. لماذا لم نحل آلية انفجار المستعر الأعظم بعد؟

يكمن التحدي الأساسي في الظواهر الديناميكية المعقدة وديناميكا السوائل المعنية، بدلاً من الفيزياء النووية والطبيعة غير متماثلة للانفجار إلى حد كبير. أثناء الانفجار، تختلط المادة وتنتقل الطاقة بشكل ديناميكي، مما يخلق اضطراباً شديداً تفشل النماذج المتناظرة كروياً في التقاطه. إذا لاحظت بقايا المستعرات العظمى مثل سديم السرطان، فسترى هياكل شديدة التعقيد وغير كروية، ومع زيادة قوة الحوسبة، أنا متفائل بأن نماذج أكثر واقعية ستنجح في محاكاة هذه الانفجارات.

دعنا ننتقل الآن إلى عملك الرائد في علم الهيليوزلزاليات، وهو مجال سمح لنا أخيراً بـ «الرؤية» داخل النجوم. كيف تطور هذا المفهوم الثوري؟

كنت طالب دكتوراه في كامبريدج عندما بدأت في حساب نماذج لكيفية اهتزاز الشمس. في عام 1975، نجح فرانز لودفيغ دويبنر في قياس حركات سطح الشمس، مقدماً أول دليل واضح على الاهتزازات الشمسية المنظمة. أدركت أنا ومشرفي أن قياس ترددات هذه الاهتزازات يمكن أن يكشف عن باطن الشمس العميق.

بحلول عام 1980، أثبتت بيانات استثنائية من مجموعة فرنسية تراقب من القطب الجنوبي صحة نماذجنا الشمسية. وبشكل حاسم، أثبت هذا أن النقص الشهير في النيوترينوات الشمسية المرصودة لم يكن بسبب نماذج نجمية معيبة، بل بسبب فجوة في فهمنا لفيزياء النيوترينو - مما أدى إلى اكتشاف تذبذبات النيوترينو. دفع هذا النجاح جهود رصد هائلة، بما في ذلك شبكة GONG والقمر الصناعي SOHO.

كيف ننتقل من علم الهيليوزلزاليات Heliosismology إلى علم اهتزاز النجوم Astrosismology ، لمراقبة النجوم البعيدة حيث لا يمكننا رؤية تفاصيل السطح؟

نظراً لأن النجوم البعيدة تظهر فقط كنقاط ضوئية، فإن الموجات السطحية ذات الأطوال الموجية القصيرة تلغي بعضها البعض رصدياً. نحن نعتمد بدلاً من ذلك على قياس التغيرات العالمية في الضوء أو السرعة الشعاعية (إزاحة دوبلر). لحسن الحظ، تخترق الموجات ذات الأطوال الموجية الطويلة عمق نواة النجم. يسمح لنا ذلك بتتبع تحول الهيدروجين إلى هيليوم، مما يمنحنا القدرة على قياس أعمار النجوم بدقة. بالنسبة للنجوم العملاقة الحمراء، يمكننا رصد موجات الجاذبية الداخلية الحساسة جداً لنواها المضغوطة.

هل أدى علم اهتزاز النجوم بشكل طبيعي إلى مشاركتك في أبحاث الكواكب الخارجية، وتحديداً مهمة كبلر؟

نعم، المجالان مرتبطان ارتباطاً وثيقاً. فبينما صُممت مهمة كبلر التابعة لناسا لاكتشاف الكواكب الخارجية، أدركنا أنها ستكون استثنائية لعمليات الرصد الاهتزازي للنجوم. لتوصيف كوكب خارجي بدقة، يجب عليك أن تفهم نجمه المضيف بشكل مطلق. يتيح لنا علم اهتزاز النجوم تحديد كتلة النجم ونصف قطره وعمره بدقة، مما يخبرنا بشكل مباشر عن الكواكب التي تدور حوله. يمكن لعلم اهتزاز النجوم حالياً استكشاف العمالقة الحمراء على بعد آلاف السنين الضوئية. ستسمح لنا المشاريع القادمة مثل تلسكوب رومان الفضائي بدراسة النجوم في الانتفاخ المجري.

كفكرة أخيرة، ماذا يخبئ المستقبل لفيزياء النجوم وعلم اهتزاز النجوم؟

المستقبل مشرق بشكل لا يصدق. حتى بالنسبة للشمس، لا نزال بحاجة إلى فهم دوران نواتها والطبقة الانتقالية الحاسمة التي تقود النشاط المغناطيسي الشمسي والبقع الشمسية. بالنسبة لعلم اهتزاز النجوم، فقد فاقت بيانات الرصد لدينا بكثير نماذجنا الفيزيائية؛ يجب علينا تحسين الفيزياء الأساسية لتتطابق مع ما نراه. نحتاج أيضاً إلى دمج دور المجالات المغناطيسية بشكل صحيح في التطور النجمي، وهو عامل تم إهماله إلى حد كبير. ستوفر مهمة PLATO الفضائية القادمة، إلى جانب شبكتنا العالمية من التلسكوبات الأرضية لعلم اهتزاز النجوم، القفزة الهائلة التالية إلى الأمام في هذا المجال.

شكراً جزيلاً لك يورغن. لقد غطينا رحلة علمية واسعة ورائعة، من التاريخ الفلكي المبكر إلى أحدث الاكتشافات. ستكون رؤاك قيمة للغاية للقراء.

شكراً لك. لقد كان من دواعي سروري.

جائزة شو 2026 في علم الفلك

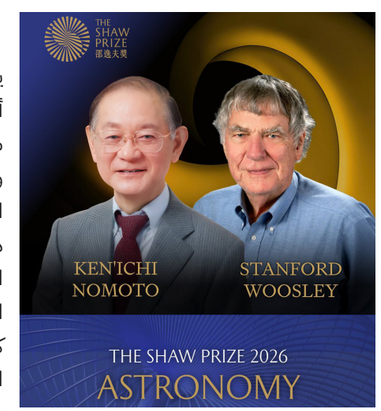
فوز شخصيتين بارزتين في الفيزياء الفلكية النجمية

بقلم د . جمال ميموني
وحدة البحث في الوساطة العلمية - CERIST

في حين أن الجوائز العلمية غالباً ما تُكرِّم ثلاثياً من الباحثين، فإن جائزة شو (Shaw Prize) في علم الفلك لعام 2026 كرّمت شخصيتين مؤسِستين في مجال الفيزياء الفلكية النجمية. لقد مُنحت الجائزة، التي أُعلن عنها مؤخراً وسلط عليها الضوء الاتحاد الفلكي الدولي (IAU)، بالتساوي لكل من كينيتشي نوموتو (Ken›ichi Nomoto) من جامعة طوكيو، وستانفورد ووسلي (Stanford Woosley) من جامعة كاليفورنيا في سانتا كروز.

ساهم هذان العالِمان خلال عقود من الأبحاث المستقلة والمتكاملة إلى حد كبير، في تشكيل فهمنا الحديث للانفجارات النجمية والتركيب النووي المجري. وبينما نستكشف عالم النجوم وعلم الزلازل النجمية في هذا العدد من مجلة «الشهاب»، فإن عمل هذين الفائزين يقدم الخريطة النهائية لكيفية إنهاء النجوم لحياتها وبذر الكون بالعناصر الثقيلة.

تجدر الإشارة بكل فخر إلى أن كاتب هذه السطور قد حظي بهذين العالِمين كأساتذة له في مستهل دراساته للفيزياء الفلكية، وذلك خلال مرحلة زمالة ما بعد الدكتوراه التي أعقبت حصوله على شهادة الدكتوراه.



الشكل 1: العالِمان كينيتشي نوموتو وستانفورد ووسلي.

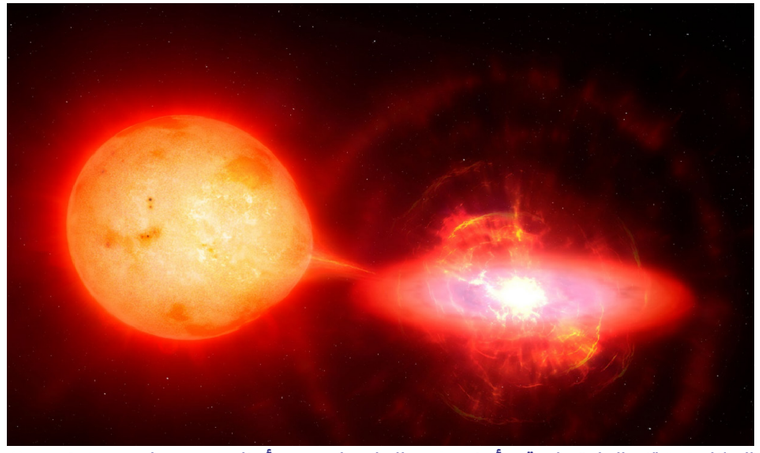
أفران الكون

يشع المستعر الأعظم (Supernova) في غضون أيام قليلة، طاقة تعادل ما ستصدره الشمس طوال فترة حياتها البالغة 10 مليارات سنة. وبعيداً عن لمعانها الهائل، تُعد هذه الانفجارات البوتقات الأساسية للكيمياء الكونية؛ فهي تدفع ديناميكيات الغاز بين النجمي، وتولد الأشعة الكونية، وتصهر العناصر الثقيلة الضرورية لتكوين الكواكب.

كان لنوموتو وووسلي دور محوري في نمذجة المراحل النهائية للتطور النجمي، والتنبؤ بالأصول المتنوعة للمستعرات العظمى، ورسم خرائط لعوائدها من التخليق النووي. لقد شكلت نماذجهما الحسابية للمنحنيات الضوئية (اللمعان والطيف بمرور الوقت) وشبكات التفاعلات النووية، المعيار الأساسي للفيزياء الفلكية الرصدية على مدى العقود الأربعة الماضية.

النموذج القياسي للمستعرات العظمى النووية الحرارية

يكمن جزء كبير من الإرث المشترك للفائزيْن، في صياغتهما للنماذج القياسية للمستعرات العظمى من النوع الأول أ (Type Ia). تحدث هذه الظواهر في الأنظمة الثنائية حيث يقوم قزم أبيض كثيف بتراكم المادة من نجم مرافق. عندما تقترب كتلة القزم الأبيض من حد



الشكل 1: تراكم المادة على قزم أبيض يؤدي إلى انفجار مستعر أعظم نووي حراري من نوع SNIa

شاندراسيخار ($M_\odot \approx 1.4$ M)، تصل الكثافة المركزية إلى $\rho \approx 10^9$ g/cm³ ويشتعل الكربون. قام نوموتو وووسلي بنمذجة دقيقة لانتشار جبهة الاحتراق النووي دون الصوتية عبر غاز الإلكترونات المتحلل للنجم. وأتاحت شبكات التفاعلات النووية المفصلة الخاصة بهما لعلماء الفيزياء الفلكية، التنبؤ بدقة بالكميات المنتجة من العناصر الثقيلة عن هذه الانفجارات.

على سبيل المثال، تتتبع نماذجهما بدقة سلاسل التحلل الإشعاعي التي تمد المنحنى الضوئي للمستعر الأعظم بالطاقة، وتحديداً تحلل النيكل56- إلى الحديد56-:

نظراً لأن المستعرات العظمى من النوع (Ia) تتمتع بذروة لمعان ثابتة، فإنها تُستخدم «كشموع قياسية» لقياس المسافات الكونية. قدمت

$$^{56}Ni \rightarrow {}^{56}Co \rightarrow {}^{56}Fe$$

الأطر النظرية لنوموتو وووسلي المبرر الفيزيائي الصارم الذي يحتاجه الراصدون لاستخدام هذه الانفجارات بثقة لاكتشاف التوسع المتسارع للكون.

انهيار النواة وتطرف الموت النجمي

إلى جانب الانفجارات النووية الحرارية، طوّر كلا الباحثين بشكل عميق معرفتنا بالمستعرات العظمى الناتجة عن انهيار النواة (Core-collapse Supernovae)، وهي النهايات الكارثية للنجوم الهائلة الكتلة ($M > 8M_\odot$).

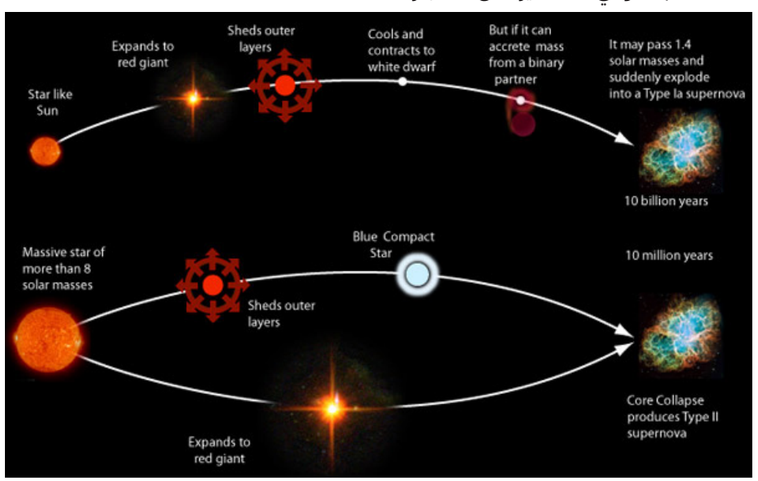
ستانفورد ووسلي: أحدث ثورة في دراسة تطور النجوم الهائلة. تتتبع نماذجه الشاملة النجوم منذ مرحلة حرق الهيدروجين في التسلسل الرئيسي (main-sequence) وصولاً إلى سلسلة مراحل الاحتراق المتقدمة (الكربون، النيون، الأكسجين، والسيليكون) حتى انهيار نواة الحديد. علاوة على ذلك، كان ووسلي رائداً في نموذج «المنهار» (Collapsar model)، الذي يفسر انفجارات أشعة غاما طويلة الأمد (GRBs) كنتيجة لانهيار نجم ضخم وسريع الدوران مباشرة إلى ثقب أسود، مما يدفع نفاثات نسبية عالية الطاقة.

كينيتشي نوموتو: وسّع تصنيف الموت النجمي. فقد حدد الآليات الكامنة وراء «مستعرات أسر الإلكترون العظمى» (Electron-capture supernovae) وهي فئة مميزة من الانفجارات تحدث في النجوم التي تتراوح كتلتها الأولية بين 8 إلى 10 كتل شمسية، مدفوعة بأسر الإلكترونات على أنوية المغنيسيوم والنيون في نواة شديدة التحلل. كما قدم نوموتو مفهوم «المستعرات الفائقة» (Hypernovae)، وهي أحداث انهيار نواة استثنائية الطاقة ($E \gtrsim 10^{52}$ erg) مرتبطة بانفجارات أشعة غاما، مما يربط بشكل أساسي بين الكميات المنتجة للعناصر الثقيلة في التركيب النووي وطاقة الانفجار.

رسم خرائط التطور الكيميائي المجري

النجاح الباهر لعمل نوموتو وووسلي هو تطبيقه على التطور الكيميائي المجري. فمن خلال حساب الوفرات (Abundances) النظيرية الدقيقة لأنواع المستعرات العظمى المختلفة عبر كتل نجمية ونسب معدنية متباينة، قاما بإنشاء مجموعات البيانات التأسيسية المستخدمة لتفسير الأطياف الكيميائية للكون.

عندما يكتشف الراصدون نجوماً قديمة تفتقر بشدة إلى المعادن في الهالة المجرية، فإنهم يعتمدون مباشرة على جداول الوفرات التي أنشأها نوموتو وووسلي لاستنتاج خصائص الجيل الأول من النجوم «الجمهرة النجمية الثالثة» (Population III) التي أثرت الغاز البدائي. تؤكد نماذج هذين العالِمين، أننا، بالمعنى الحرفي للكلمة، نتاج ثانوي للديناميكا المائية النجمية.



الشكل 1: تراكم المادة على قزم أبيض يؤدي إلى انفجار مستعر أعظم نووي حراري من نوع SNIa

مقالات علمية

حوار مع كارلا ميتشال

مؤسّسة مشروع «إفريقيا إلى القمر»

CARLA MITCHELL..

The Woman Behind «Africa2Moon» Project

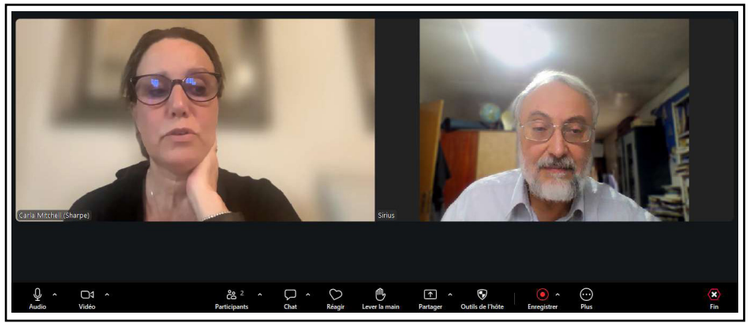
أجرى الحوار: - د.جمال ميموني

نبذة عن الضيفة

تُعد الدكتورة كارلا ميتشل واحدة من أبرز الخبراء في مجال سياسات واقتصاد الفضاء وتطوير التكنولوجيا الفلكية في القارة الأفريقية. تشغل حالياً منصب مديرة البرامج الأفريقية في المرصد الفلكي الراديوي بجنوب أفريقيا (SARAO)، كما تتولى قيادة وتطوير البنية التحتية الفلكية بالتعاون مع ثماني دول أفريقية شريكة، وتُشرف بشكل مباشر على برامج استراتيجية هامة في القارة. وتعتبر ميتشل شخصية ريادية على المستوى الدولي من خلال تأسيسها وإدارتها التنفيذية لمشروع «Africa2Moon» (أفريقيا إلى القمر)، وهو مشروع فضائي طموح يهدف إلى إرسال أول مسبار فضائي أفريقي لوضع شبكة تلسكوب راديوي مبتكرة ومنخفضة التكلفة على الجانب البعيد من القمر. إلى جانب جهودها التقنية، تُعرف ضيفتنا بنشاطها الكبير في دعم تمكين المرأة؛ حيث أسست منظمة «المرأة في قطاع الطيران والفضاء - أفريقيا» (Women in Aerospace Africa) لدعم الباحثات والمهندسات في مجالات العلوم والتكنولوجيا، بالإضافة إلى تأسيسها «مؤسسة تطوير الفضاء في أفريقيا». في مسيرتها الأكاديمية والمهنية، تجمع كارلا ميتشال بين خبرة عميقة في إدارة استراتيجيات التمويل ومعرفة دقيقة بسياسات التكنولوجيا الدولية.

Guest Biography

Dr. Carla Mitchell is one of the most prominent experts in space policy, space economics, and astronomical technology development in Africa. She currently serves as the African Program Manager at the South African Radio Astronomy Observatory (SARAO), where she leads the development of astronomical infrastructure in collaboration with eight African partner countries and directly .oversees major strategic programs across the continent Mitchell is recognized as an international pioneer through her founding and executive management of the «Africa2Moon» project. This ambitious space initiative aims to launch Africa›s first lunar mission to deploy an innovative, low-cost radio telescope network on the far side of the moon. Alongside her technical efforts, she is widely known for her active advocacy for women›s empowerment; she founded the «Women in Aerospace Africa» organization to support female researchers and engineers in STEM fields, and also established the «Foundation for Space Development Africa.» In her academic and professional background, Carla Mitchell combines deep expertise in managing funding strategies and an intimate knowledge of international technology policies.



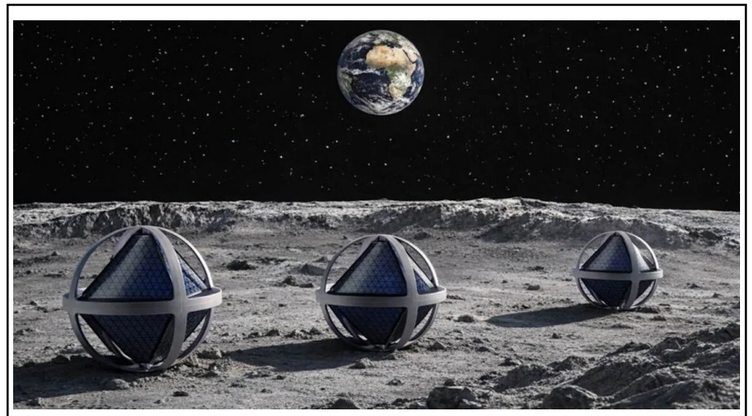
نستضيف اليوم كارلا ميتشال، العالمة الإفريقية التي تقود مشروعًا ثوريًا على وشك أن يرى النور. إنه مسعى علمي غير مسبوق لإيصال تلسكوب راديوي إلى الجانب المخفي للقمر، والشيء الجميل هو أن هذه الفكرة تنبع من إفريقيا. إذا سمحتِ لي بالحديث قليلًا عن مسيرتك الشخصية: نعلم أنك التحقتِ بالجامعة الدولية للفضاء (ISU) بفضل فرصة استثنائية، وأن بداياتك لم تكن سهلة، خاصة كامرأة وأم شابة. هل يمكن أن تُحدثينا عن تلك المرحلة من حياتك؟

عليّ أن أوضح نقطة تفاجئ الكثيرين: أنا في الحقيقة اقتصادية ولست عالمة فيزياء فلكية! كنت أمًا شابة عزباء أدرس المالية لأعيل ابني. كنت دائمًا أحلم بالفضاء، لكنني كنت أظن أنه مقتصر على الأمريكيين أو وكالة ناسا، وليس لفتاة إفريقية. عندما وجدت نفسي بلا عمل، تواصلت مع الدكتور بيتر مارتينيز (Peter Martinez) في وكالة الفضاء الجنوب إفريقية، الذي قام بتوجيهي وأوصى بالتحاقي بالجامعة الدولية للفضاء. صدمت عندما تم قبولي. كانت المعاناة المالية شديدة، فقد فشلت في الحصول على وظيفة في جزيرة مان ، لكن الدعم كان مذهلاً. حتى أن زملائي في الصف جمعوا أموالهم لتمويل مشاركتي في إحدى الوحدات الدراسية في كولورادو. في النهاية، حصلت على وظيفة في مشروع SKA في جنوب إفريقيا، حيث عملت لمدة ثلاثة عشر عامًا.

لكن اعذريني، لقد ذكرتِ أنكِ اقتصادية ولستِ عالمة فيزياء فلكية. فكيف ولدت هذه الفكرة العبقرية حقًا؟

أخبرني مديري ذات مرة أن موهبتي الحقيقية هي ربط النقاط التي لا يراها الآخرون. كنت أفكر في علم الفلك الراديوي منخفض التردد، والذي يحتاج إلى بيئة هادئة تمامًا مثل الجانب البعيد من القمر. بدلاً من الهوائيات السلكية الطويلة غير العملية، يمكننا استخدام هوائي حلقي صغير. ولحل مشكلات فشل معدات الهبوط الشهيرة في المركبات الفضائية التقليدية، فكرت: لماذا لا نضعه داخل كرة؟ يمكن للكرة أن تتدحرج أو ترتد دون مشاكل الهبوط التقليدية. استغرق الأمر عشر سنوات من الكفاح وتفاني 33 عالمًا ومهندسًا متطوعًا للحصول على فرصة إطلاق مع الصين في عام 2025.

أنتِ تتحدثين هنا عن النموذج التجريبي، أليس كذلك؟ كان من المفترض أن يضم أربعة أجهزة، ثم تم تقليص العدد إلى ثلاثة بسبب قيود الحمولة. متى من المقرر إطلاق هذا النموذج التجريبي؟



الشكل 1: جسد هذا العرض التصوري ثلاث مركبات هبوط منخفضة التكلفة وعالية التأثير، تُعرف باسم «BALLS» (كرات قمرية أفريقية منخفضة مرتدّة) أو A2M. تم تصميمها للبقاء والعمل بعد سلسلة وصول غير محكومة متعددة الارتدادات، وإجراء تحليل للثرى القمري في الموقع.

كان من المفترض أن يُطلق في عام 2028، لكنه أُجل إلى عام 2029، ربما بسبب مهمة صينية إلى المريخ. إذا نجح هذا النموذج التجريبي، فسننتقل إلى المشروع الأكبر: نشر 55 جهازًا علميًا على الجانب البعيد من القمر، يمثل كل منها دولة إفريقية واحدة.

لقد حالفكم حظ كبير في الحصول على دعم الصين، لأن تكلفة تنفيذ مثل هذه المهمة عبر القنوات التجارية العادية كانت ستكون هائلة.

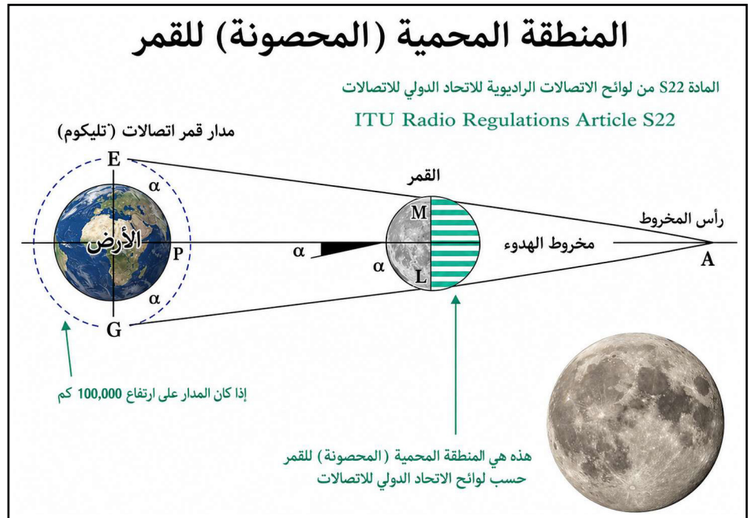
نعم، التكلفة الإجمالية للمشروع ستنتهي لتكون حوالي مليون دولار فقط، وهو أمر غير مسبوق لمهمة فضائية. آمل أن تثبت هذه المهمة للعلماء والمهندسين الأفارقة أن التعاون يمكن أن يأخذنا حرفيًا إلى القمر.

بخصوص المشروع الكبير الذي يضم 55 جهازًا، ما هو الإطار الزمني المتوقع لتنفيذه؟ هل سيتم إرسال جميع الأجهزة الـ 55 دفعة واحدة، أم أن عملية النشر ستستغرق عدة سنوات؟

نأمل أن نبدأ في غضون عامين إلى ثلاثة أعوام بعد المهمة الأولى. بالنسبة للمهمة الثانية، لدينا تصميم مختلف: ستكون الكرات قابلة للطي أثناء النقل لتوفير المساحة، وسيتم نشرها تلقائيًا عند الوصول. هذا يسمح لها أيضًا بأن تكون أكبر حجمًا وأكثر حساسية.

أعلم أنكِ لستِ متخصصة في علم الفلك الراديوي، لكن دعينا نفهم الفكرة الأساسية. نحن نتحدث عن كرات ومصفوفة من الأجهزة غير المألوفة. عندما نسمع عبارة «تلسكوب راديوي»، نتخيل عادة أطباقًا ضخمة أو هوائيات تقليدية.

حن نستخدم تقنية تسمى التداخل الراديوي، على غرار مشروع SKA على الأرض. من خلال توزيع هوائيات متعددة عبر مسافات واسعة، فإنها تعمل معًا لتحسين حساسية التلسكوب



الشكل 2: يعمل القمر كدرعٍ طبيعي يحجب الانبعاثات الراديوية الشديدة الصادرة عن الأرض، مما يوفّر على جانبه البعيد بيئةً هادئةً للغاية من الناحية الراديوية. ويتيح هذا الموقع الفريد إجراء أرصاد عند ترددات تقل عن نحو 30 MHz، وهي ترددات يحجبها الغلاف الأيوني للأرض .

ودقته الزاوية. نريد رصد ترددات منخفضة جدًا (10 إلى 20 ميغاهرتز)، لكن الغلاف الأيوني للأرض يشوهها. من الصعب جدًا الحفاظ على تزامن مصفوفة في المدار، لذا فإن السطح المستقر للقمر يُعد مثاليًا. الجانب البعيد مثالي لأنه محمي بشكل طبيعي من التداخل الراديوي للأرض.

إذن المهمة التجريبية ستكون على الجانب القريب من القمر، وربما بالقرب من القطب الجنوبي القمري، لكنها لن تكون محمية بالكامل من التداخل الراديوي للأرض. هل سيكون ذلك كافيًا لتقليل الضوضاء الراديوية والوصول إلى الترددات التي تتحدثين عنها، أي حوالي 20 ميغاهرتز؟

سنصل إلى نطاق 10 إلى 20 ميغاهرتز، ولكن نظرًا لأن لدينا ثلاث وحدات صغيرة جدًا فقط في هذا النموذج التجريبي، فإن حساسيتنا محدودة. لن نتمكن من رصد المصادر خارج المجرة بعد. سنركز على الانبعاثات الراديوية للمجرة، والتفاعلات الشمسية، والظواهر المرتبطة بالأرض. إن رصد الإشارات الخافتة من الكون المبكر، خط الهيدروجين 21 سنتيمترًا، سيتطلب المصفوفة الأكبر المكونة من 55 عقدة على الجانب البعيد.

لقد تطرقتِ سابقًا إلى إمكانية المساهمة في دراسة إشعاع الخلفية الكونية الميكروية (CMB). لكن هذا الإشعاع يُرصد عادة عند ترددات مختلفة تمامًا عن نطاق 21 سنتيمترًا. ماذا يمكن لتلسكوب راديوي منخفض التردد أن يقدم في هذا المجال؟

لقد ناقشت هذا الأمر مع كبير علمائنا في SARAO. تفقد الإلكترونات عالية الطاقة في المجرة طاقتها بمرور الوقت، مما ينتج عنه إشعاع بتردد أقل. الرصد عند ترددات منخفضة جدًا يتيح لنا «النظر إلى الوراء» في تاريخ هذه الانبعاثات. أحد الأهداف الرئيسية لنموذجنا التجريبي هو رسم خريطة للخلفية الراديوية للمجرة منخفضة التردد، وهي خطوة تأسيسية لم يقم بها أحد من قبل.

هناك جانب آخر مثير للإعجاب يتعلق بقدرة هذه الكرات على تحمل الظروف القاسية. لقد قمتم بعمل كبير في علم المواد والهندسة الحرارية لضمان بقاء الأجهزة.

بالتأكيد. نحن نواجه تسارعًا يبلغ 18 ضعف الجاذبية (g) أثناء الإطلاق، وتنخفض درجات الحرارة إلى 200- درجة مئوية أثناء العبور (حوالي عشرين يومًا في المجموع)، وترتفع إلى 80+ درجة مئوية على سطح القمر. وما يزيد الأمور تعقيدًا هو أن إلكترونياتنا الداخلية تولد حرارة تصل إلى ما يقرب من 100 درجة مئوية. علينا أن نحافظ على دفء الإلكترونيات في البرد القارس مع منعها من السخونة الزائدة على السطح.

إذن أنتم بحاجة إلى شيء يشبه معطف الشتاء ومعطف الصيف في نفس الوقت! هل تعتمدون على أجهزة تبريد وتدفئة تستهلك الطاقة، أم تتحكمون في درجة الحرارة من خلال تصميم الجهاز والمواد العازلة؟

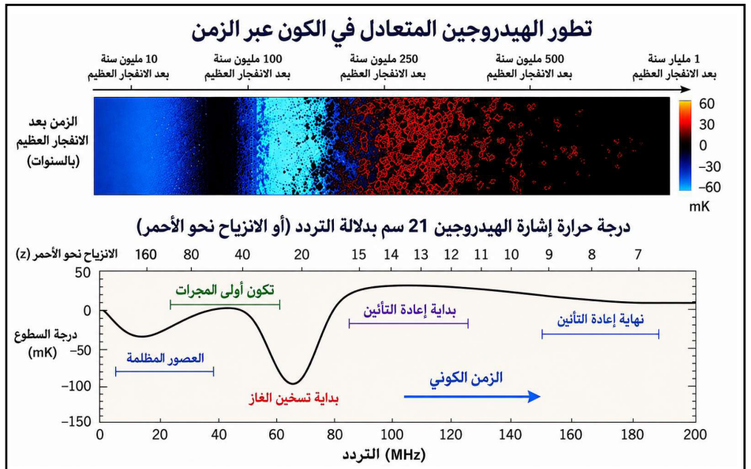
. في الغالب من خلال التصميم والعزل. نحصل على كمية ضئيلة من الطاقة من مركبة الهبوط لتدفئة البطاريات. ولأن العزل متعدد الطبقات القياسي (MLI) غير فعال ويمكن أن يسبب سخونة زائدة في الأجسام الصغيرة، فإننا نعتمد على طلاءات متخصصة والخصائص الحرارية المحددة لموادنا المركبة.

على مدى العقود الماضية، تحدث الكثيرون عن بناء تلسكوب راديوي على الجانب البعيد من القمر. غالبًا ما اعتمدت التصورات على هوائيات تقليدية ضخمة. هل هناك مشاريع أخرى منافسة اليوم، مثل مشروع LuSEE-Night في الولايات المتحدة، وهل تواجه كراتكم نفس المشاكل مع التمدد والانكماش الحراري؟

LuSEE-Night هو المشروع الرئيسي الذي أعرفه، ويستخدم هوائيات ثنائية القطب سلكية طويلة تقليدية، والتي تواجه تحديات ميكانيكية شديدة بسبب التمدد والانكماش الحراري المستمر على القمر. كراتنا لا تواجه هذه المشكلة بنفس الدرجة. الإلكترونيات الداخلية ليست متصلة بشكل صلب بحلقات الهوائي، وتمدد الحلقة الطفيف يحسن الاستقبال في الواقع.

عندما تصل مركبة الهبوط الصينية، هل ستخرج الكرات تلقائيًا وتتدحرج بعيدًا؟ هكذا يتخيل المرء الأمر عندما يسمع عن «كرات» على القمر. كيف سيتم ذلك عمليًا؟

كانت تلك رؤيتنا الأصلية! ولكن نظرًا لأن مركبة الهبوط تحمل العديد من الحمولات العلمية



الشكل 3: يوضح هذا الرسم التطور المتوقع لإشارة الهيدروجين ذات الطول الموجي 21 سم المزاحة نحو الأحمر، بدءًا من العصور المظلمة مرورًا بالفجر الكوني وصولًا إلى عصر إعادة التأين، حين بدأت النجوم والمجرات الأولى في تغيير الكون المبكر. ويُعد رصد هذه الإشارة الراديوية

الأخرى، لم يرغب الجانب الصيني في قذف أو رمي أي أجسام. بدلاً من ذلك، سيقوم روبوت متخصص طورته جامعة هونغ كونغ للتقنية بفك الكرات بعناية ووضعها في الأماكن المخصصة لها، على بعد حوالي 18 مترًا تقريبًا من بعضها البعض.

في المشروع المستقبلي، سيتم تمثيل جميع الدول الإفريقية الـ 55 عبر هذه الأجهزة العلمية على الجانب البعيد من القمر. هل فكرتم في إشراك هذه الدول بنشاط، سواء من خلال وكالات الفضاء الخاصة بها، أو الجامعات، أو الشباب، أو الباحثين؟ أم أن المشروع سيبقى في الأساس مشروعًا جنوب إفريقيًا برمزية إفريقية فقط؟

لا، على الإطلاق. لقد أنشأت «مؤسسة تطوير الفضاء» للحفاظ على حيادية المبادرة. نريد أن نمنح كل دولة إفريقية التصميم الأساسي حتى يتمكنوا من تصنيع جهازهم الخاص في الجامعة التي يختارونها. لدينا بالفعل متدرب غاني يعمل معنا. لم يتم الانتهاء من تصميم المهمة الكبيرة، لذا فإن الباب مفتوح على مصراعيه للمهندسين الأفارقة للمساهمة بأفكار جديدة للنشر، وأنظمة الطاقة، والإلكترونيات.

هذا المشروع إفريقي بامتياز، ذو بعد قاري واضح. إن الإلهام الذي يمكن أن يولده بين الشباب أمر بالغ الأهمية، لكنه يحتاج إلى أن يُترجم إلى مشاريع تعليمية عملية مثل البرامج المدرسية، أو ورش العمل، أو الفصول الدراسية المتقدمة (masterclasses) حتى يتمكن الطلاب من التعامل مع بيانات المهمة الحقيقية أو بناء نماذج مصغرة.

نحن نعمل على تطوير نسخة تعليمية منخفضة التكلفة ومطبوعة ثلاثية الأبعاد من هذه الكرات باستخدام حواسيب Raspberry Pi. لن تقوم بإجراء علم الفلك الراديوي بمستوى فضائي، لكنها ستسمح للطلاب بإجراء تجارب حقيقية في المدارس. نريد استخدام الفضاء لإلهام حب الرياضيات والعلوم.

نعم، بالطبع. في الواقع، يمكن للجمعية الفلكية الإفريقية (AfAS) أن تكون شريكًا في هذا الصدد.

سيكون ذلك رائعًا حقًّا. ليس لدي القدرة على إدارة جميع جوانب المشروع بمفردي، لذا فإن أي

الشكل 4: تدريب الجيل الإفريقي الصاعد على التطورات العلمية.

الشكل 5: ترفع كريستينا كوك العلم الغاني خلال مهمة أرتميس 2، امتنانًا للدراسة الجامعية التي تلقّتها في غانا.

شراكة ستكون موضع ترحيب كبير.

لقد لفت انتباهي ما قامت به رائدة الفضاء الأمريكية كريستينا كوك عندما حملت علم غانا معها كجزء من برنامج أرتميس. ماذا مثّل لكِ ذلك المشهد؟

كنت متحمسة للغاية. كان ذلك تذكيرًا قويًا بأن إفريقيا يجب أن تشارك بنشاط في تشكيل مستقبلها، بدلاً من ترك الآخرين يفعلون ذلك بالنيابة عنا. أتخيل امرأة إفريقية تمشي على سطح القمر يومًا ما. يهدف هذا المشروع إلى إظهار أن الأمر ممكن وأننا لا نحتاج بالضرورة إلى ميزانيات ضخمة بمستوى ناسا لتحقيق ذلك.

صحيح تمامًا. ما يمكن أن تضيفه إفريقيا إلى عالم الفضاء هو الشغف، والجرأة، والمبادرة. على الرغم من التحديات الاجتماعية والاقتصادية التي تواجهها القارة، يمتلك الشباب الإفريقي طاقة استثنائية. عندما ترى بعض هؤلاء الشباب، تدرك حجم الإمكانات الكامنة في القارة.

أتفق معك تمامًا. يمتلك الأفارقة قدرة فريدة على إيجاد الحلول بغض النظر عن الظروف. بينما غالبًا ما تقول البيئات الدولية «هذا مستحيل»، في إفريقيا، نجد طريقة. الشباب ديناميكيون بشكل لا يصدق. آمل أن يكون هذا المشروع مجرد البداية للجيل القادم.

بينما تعمل ناسا بميزانيات ضخمة، يثبت مشروعكم مسارًا أذكى، تحقيق أهداف كبيرة بموارد محدودة وشراكات عالمية. تلسكوب على سطح القمر بتكلفة تقارب مليون دولار هو أمر مذهل. نأمل أن يثير ذلك موجة من المبادرات الفضائية الإفريقية. لقد كان من دواعي سروري التحدث معكِ يا كارلا، وأنا سعيد جدًا بتقديم هذه الرؤية الملهمة لقرائنا.

وأنا أيضًا سعيدة جدًا بهذا الحوار.

مجلة الشهاب العلمي تحاور عالِم الكيمياء الجزائري البروفيسور كريم زغيب

الليثيوم.. «الذهب الأبيض» الذي يعيد رسم مستقبل الطاقة

Interview with Prof. Karim Zaghib
LITHIUM.. The white Gold That is Redrawing the Fututre of Energy

أجرى الحوار: - د.جمال ميموني - ياسمين بوالجدري - مراد حمدوش

نبذة عن الضيف

كريم زغيب هو عالم جزائري كندي يُعدّ من أبرز الخبراء العالميين في مجال الكهروكيمياء وتكنولوجيا بطاريات الليثيوم، وقد أسهمت أبحاثه في تطوير تقنيات تخزين الطاقة الحديثة، خصوصًا بطاريات فوسفات الحديد الليثيوم (LFP) التي تُستخدم اليوم على نطاق واسع في السيارات الكهربائية حول العالم.

يشغل البروفيسور زغيب منصب أستاذ في قسم الكيمياء وعلوم المواد بجامعة كونكورديا في كندا، حيث يواصل أبحاثه في مجالات الكهروكيمياء، البطاريات القابلة لإعادة الشحن، المواد الكربونية، والتقنيات الكهروكرومية. كما يتولى منصب الرئيس المدير العام لشركة Volt-Age Electrifying Society (CFREF)، وهي مؤسسة رائدة في دعم الابتكار في مجال التحول الطاقوي.

يمتلك البروفيسور زغيب أكثر من 550 براءة اختراع، و425 بحثًا علميًا، و60 ترخيصًا تقنيًا، إضافة إلى تأليف أو المشاركة في تأليف 22 كتابًا علميًا، كما تلقى العديد من الجوائز والتكريمات الدولية، من بينها جائزة International Battery Association Technology وجائزة IBA Research كما تم اختياره ثلاث مرات ضمن أكثر العلماء تأثيرًا في العالم وفق تصنيف Clarivate Analytics . في يوليو 2025، منحته الحكومة الكندية وسام «ضابط في وسام كندا» تقديرًا لإسهاماته الكبرى في تطوير قطاع الطاقة ودوره في دعم التحول نحو الحياد الكربوني عالميًا.

Guest Biography

Professor Karim Zaghib is an Algerian-Canadian scientist and a world-leading expert in electrochemistry and lithium battery technology. His research has significantly advanced modern energy storage, particularly Lithium Iron Phosphate (LFP) batteries, now widely used in electric vehicles.

He is a Professor at Concordia University (Canada) and serves as President and CEO of the Volt-Age Electrifying Society (CFREF), leading research and innovation in the energy transition.

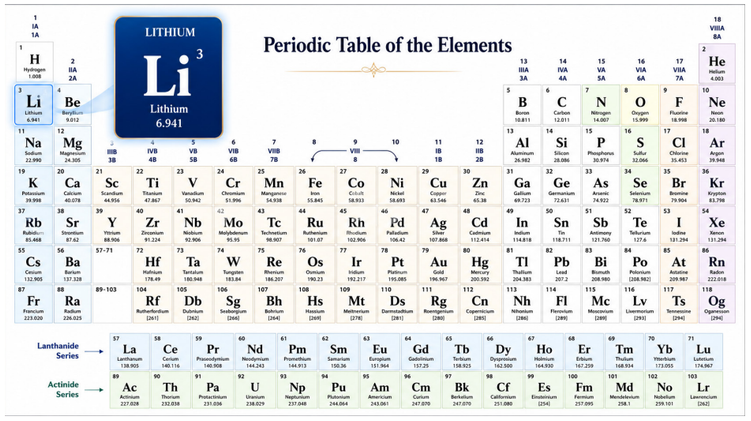
Professor Zaghib holds over 550 patents, has published 425+ scientific papers, authored or co-authored 22 books, and received numerous international awards. In 2025, he was appointed an Officer of the Order of Canada in recognition of his outstanding contributions to energy technology and the global transition toward carbon neutrality.

يشهد عالمنا سباقًا متسارعًا نحو الانتقال الطاقوي والبحث عن بدائل مستدامة للوقود الأحفوري، في ظل التحديات المناخية والتحولات الاقتصادية الكبرى. وفي قلب هذا التحول برز الليثيوم بوصفه «الذهب الأبيض» للقرن الحادي والعشرين، باعتباره العنصر الأساسي في صناعة بطاريات الهواتف الذكية وأنظمة تخزين الطاقة والسيارات الكهربائية. مجلة «الشهاب العلمي» أجرت حوارا مع العالِم الجزائري المتخصص في الكهروكيمياء، البروفيسور كريم زغيب، أحد أبرز الأسماء العالمية في مجال تطوير بطاريات الليثيوم، حيث يسلّط الضوء على مسيرته العلمية التي انطلقت من الجزائر وصولًا إلى كندا، أين قاد أبحاثًا متقدمة في مجال الكهروكيمياء والبطاريات. كما يتطرق ضيفنا إلى أسرار سوق الليثيوم العالمي وخريطة المعادن الاستراتيجية المرتبطة بصناعة البطاريات، إضافة إلى التحديات الجيوسياسية والاقتصادية التي تتحكم في مستقبل الطاقة النظيفة، ودور الجزائر في هذا القطاع الحيوي، خاصة في ظل المؤشرات المتعلقة بوجود احتياطات واعدة من الليثيوم بما قد يجعل الجزائر فاعلًا إقليميًا مهمًا في صناعة البطاريات وتحويل المعادن الاستراتيجية.

نرحب بك بروفيسور زغيب ضيفًا على مجلة «الشهاب العلمي»، ونبدأ الحوار بالسؤال الكلاسيكي: من هو كريم زغيب؟ وهل تُحدثنا باختصار عن نشأتك ومسارك المهني؟

وُلدتُ في 25 ديسمبر 1963 بمدينة قسنطينة، حيث كانت والدتي معلمة لغة فرنسية في التعليم الابتدائي، بينما كان والدي موظفًا في دائرة الجوازات. غير أن والديّ وأجدادي جميعًا ينحدرون من مدينة سطيف التي انتقلنا إليها لاحقًا، وهناك درست في جميع الأطوار التعليمية إلى غاية سنة 1982، عندما التحقت بجامعة فرحات عباس سطيف.

بعد ذلك، وفي إطار التبادل بين الجامعات، سافرت إلى فرنسا خلال سنوات الثمانينيات، حيث استفدت من فترة تدريب بجامعة غرونوبل، وهناك تعمقت أكثر في تخصص الكيمياء الكهربائية، وكان ذلك خلال سنتي 1982 و1983. معظم الأساتذة الذين درّسونا آنذاك كانوا فرنسيين وفيتناميين وبولنديين، ومن بينهم أستاذ فرنسي شجعني على التخصص في الكهروكيمياء والعمل على البطاريات. أخبرته بمعاناتي مع مرض الربو الذي تفاقم بسبب تلوث الهواء الناتج عن السيارات التي كانت تعمل بالديزل في تلك الفترة، ومن هنا بدأ اهتمامي



الشكل 1: الجدول الدوري للعناصر الكيميائية مع إبراز عنصر الليثيوم (Li)، أحد العناصر الأساسية في تقنيات البطاريات وتخزين الطاقة الحديثة.

بالسيارات الكهربائية منذ سنة 1979. بعد ذلك قضيت خمس سنوات في اليابان، ثم أكثر من 35 سنة في كندا.

حاليا، أنا أستاذ في قسم الكيمياء والمواد بجامعة كونكورديا في مونتريال، كما أنني الرئيس المدير العام لشركة Volt-Age Electrifying Society، وهو مشروع تموله الدولة الكندية بهدف تسريع الانتقال إلى مجتمع خالٍ من الكربون عبر الاعتماد على الكهرباء. 85 بالمئة من هذا التمويل يُخصص في شكل منح لطلبة الماستر والدكتوراه. خلال دراستي الجامعية ركزت على الكهروكيمياء وفيزياء البطاريات والمواد، وهو المجال الذي أشتغل عليه منذ أكثر من 40 سنة.

خلال بداياتك في البحث العلمي بين الجزائر وفرنسا، هل عشت لحظات أو مواقف فارقة شكّلت مسارك العلمي والمهني لاحقًا؟

لم تكن الأمور صعبة جدًا خلال بداية الثمانينيات، باستثناء بعض الصعوبات المتعلقة بالسكن في فرنسا. الحقيقة أن الأساتذة كانوا داعمين جدًا للطلبة، لكن كان علينا الاجتهاد والسهر الطويل من أجل الدراسة. كما كانت الأوضاع الأمنية مستقرة، والسفر سهلًا ولا يتطلب إجراءات الحصول على التأشيرة كما هو الحال اليوم.

برأيك بروفيسور، لماذا أصبح الليثيوم، هذا العنصر النادر نسبيًا، يُعرف «الذهب الأبيض» للمستقبل بدل المحروقات؟ ولماذا ازداد الاهتمام به تكنولوجيًا؟

عندما نتمعن في الجدول الدوري للعناصر الكيميائية، نجد أن الليثيوم يُعدّ أخف معدن. هو يُستعمل في البطاريات لأن حالته أيونية، ما يجعله قادرًا على الدخول في العديد من التفاعلات والاستعمالات. يدخل الليثيوم أيضًا في علاج بعض الأمراض العقلية، كما نجده في الحديد والألمنيوم والطائرات والسبائك والسيراميك والزجاج، لكن استعماله الأكبر يبقى في البطاريات. فالهواتف النقالة، والسيارات الكهربائية، والدراجات الكهربائية، كلها تعتمد على بطاريات الليثيوم أيون بنسبة 100 بالمئة.

لماذا يُعد الليثيوم معدنًا نادرًا واستراتيجيًا رغم كثرة استعمالاته؟ خاصة وأن دول أمريكا الجنوبية تمتلك أكبر احتياطات منه بينما تتولى الصين عمليات التكرير؟

يوجد الليثيوم في الصخور التي تتكون أساسًا من الألمنيوم والسيليسيوم مع نسبة صغيرة من الليثيوم، كما يوجد في السبخات المالحة والوديان. يتوفر الليثيوم في عدد محدود من الدول، أبرزها الشيلي والأرجنتين وبوليفيا، فيما يُعرف بمثلث أمريكا الجنوبية، إضافة إلى أستراليا التي تحتوي على بلورات الإسبودومين، وكذلك في كندا، وقليل منه في الجزائر. كما يوجد في أفغانستان لكن بنسبة ضعيفة تتراوح بين 0.1 و0.2 بالمئة.

أما في السبخات، فتتطلب عملية تنقية الليثيوم كميات كبيرة من المياه، وتتم هذه العمليات في اليابان والنرويج والشيلي والصين والولايات المتحدة الأمريكية وأستراليا. ويُستعمل الليثيوم بكثرة في الصين واليابان وكوريا الجنوبية.

نسمع من حين إلى آخر عن اكتشاف احتياطات كبيرة من الليثيوم في بعض مناطق العالم مثل الدول الإسكندنافية والكونغو

الكونغو تمتلك الكوبالت وليس الليثيوم. ولتوضيح الأمر أكثر، فإن البطارية الليثيومية تتكون من قطبين: القطب السالب «الأنود»، الإلكتروليت، والقطب الموجب «الكاثود». القطب السالب مصنوع من النحاس والغرافيت الصناعي أو الاصطناعي، ويُدمج معه السيليسيوم. أما الإلكتروليت فهو عبارة عن سوائل هلامية ذات أساس بترولي مع ملح الليثيوم المكوَّن من الفلوروفوسفات. بينما الكاثود يتكون من الألمنيوم والنيكل والكوبالت والمنغنيز وفوسفات الحديد والأوكسجين.

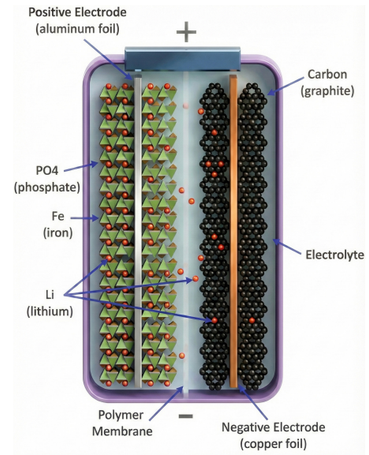
الكوبالت يوجد أساسًا في إفريقيا، إذ تمتلك الكونغو أكثر من 60 بالمئة من المخزون العالمي. أما النيكل فيوجد في أندونيسيا وكاليدونيا الجديدة وروسيا وكندا وقليل منه في الولايات المتحدة الأمريكية. المنغنيز متوفر في كندا وجنوب إفريقيا، بينما الحديد والسيليسيوم متوفران في معظم مناطق العالم. أما الألمنيوم فيوجد في البرازيل وجنوب إفريقيا وبعض دول الخليج العربي. وبالنسبة للفوسفات، فهو متوفر في الجزائر والمغرب وتونس وروسيا وكندا وأرمينيا.

هل يعني هذا أنه ليست هناك ندرة في الليثيوم؟

يجب أن نفهم أولًا أن سوق الليثيوم ينقسم إلى ثلاثة أقسام: سوق الإلكترونيات الاستهلاكية، مثل الهواتف النقالة واللوحات الإلكترونية، سوق تخزين الطاقة، وسوق السيارات الكهربائية. ما يُسجل فيه النقص فعلًا هو معادن الليثيوم والنيكل والكوبالت، بما يفرض اعتماد الاقتصاد الدائري وإعادة التدوير، وهذا أمر ضروري خلال السنوات العشر القادمة، وإلا فلن تكون هذه المعادن الثلاثة كافية.

نفهم إذن أن الليثيوم ليس معدنًا نادرًا، لكن الاستعمال المتزايد يهدد بنقصه؟

بالفعل، المشكلة تتمثل في الاختلال بين العرض والطلب.



الشكل 3: تمثيل تخطيطي لبطارية ليثيوم-حديد-فوسفات (LFP)، موضحًا مكوناتها الأساسية وآلية انتقال أيونات الليثيوم بين القطبين.

ذلك يجعله إذن باهظ الثمن مقارنة بالمعادن الأخرى؟

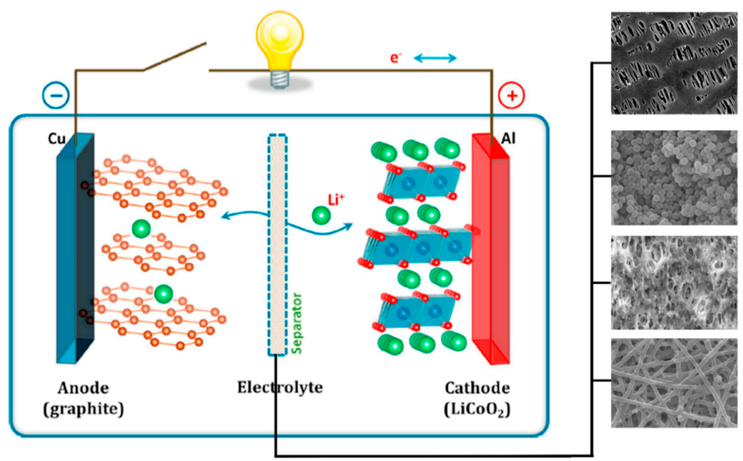
سعره حاليًا يتراوح بين 10 و15 دولارًا للكيلوغرام. أما الكوبالت فهو الأغلى ثمنًا، إذ يتراوح بين 60 و75 دولارًا للكيلوغرام لأنه الأكثر ندرة، ثم يأتي بعده النيكل.

هل هناك مخاطر متعلقة بالتلوث الذي قد يسببه الليثيوم خلال عمليات الاستخراج والتكرير؟

الليثيوم في حد ذاته لا يشكل خطورة كبيرة، لكن يجب احترام شروط السلامة البيئية، مثل منع عمل النساء الحوامل أو القُصّر في هذا المجال، وكذلك اعتماد مبدأ «صفر نفايات» في الموانئ، مع إعادة التدوير واحترام المعايير البيئية وعدم التسبب في انبعاثات كربونية، والاعتماد على الطاقة النظيفة ضمن ما يُعرف بالاقتصاد الدائري.

قبل استخراج الليثيوم، يجب الحصول على التراخيص البيئية، ولذلك فمن الأفضل أن تكون هذه المناجم تابعة للدولة وألاّ تُستغل من طرف الخواص فقط، لأن بعض المستثمرين يبحثون عن الربح السريع دون مراعاة طرق التخلص من النفايات وفق المعايير المعتمدة.

تُعدّ، بروفيسور، مرجعًا عالميًا في مجال أبحاث بطاريات الليثيوم، ما الذي يميز الأبحاث التي قمتم بها؟



الشكل 2: البنية الأساسية لبطارية الليثيوم-أيون، موضحًا الأنود والكاثود والإلكتروليت والفاصل، ومسار انتقال أيونات الليثيوم والإلكترونات أثناء الشحن والتفريغ.

قمتُ مع فريق من باحثين آخرين بابتكار بطاريات ليثيوم-حديد-فوسفات (LFP)، وهي الأرخص ثمنًا والأكثر أمانًا مقارنة ببطاريات النيكل والكوبالت النادرين. حاليًا، تستعمل ما بين 80 و85 بالمئة من السيارات الكهربائية هذه البطاريات. ويمكن للبطارية الواحدة أن تسمح للسيارة بالسير لأكثر من 7 ملايين كيلومتر، كما أن مدة حياتها تتجاوز 25 سنة.

ما موقع البطاريات التي طورتموها في السوق؟ وما الذي ينافسها؟

المنافس الرئيسي لها هو بطاريات النيكل-منغنيز-كوبالت، لكنها أغلى ثمنًا، كما أن مدة حياتها لا تتجاوز بين 8 و10 سنوات. تستحوذ بطارياتنا على نحو 80 بالمئة من السوق، بينما تعود النسبة المتبقية، أي 20 بالمئة، لبطاريات النيكل-منغنيز-كوبالت.

كيف ترون مستقبل صناعة بطاريات الليثيوم في السنوات القادمة؟ وهل سيبقى النموذج الذي طورتموه مسيطرًا خاصة مع التقنيات المنافسة مثل بطاريات الصوديوم أيون؟

بطاريات الرصاص المستعملة حاليًا في سيارات البنزين موجودة منذ أكثر من 160 سنة وما تزال في السوق. أما بالنسبة لبطاريات الليثيوم، فنحن نعلم أنه لا يوجد معدن أخف من الليثيوم، ولذلك يمكن أن تستمر هذه البطاريات أيضًا لمدة 160 سنة أو أكثر.

الشكل 4: أصبحت بطاريات LFP الخيار المفضل لعدد كبير من السيارات الكهربائية بفضل أمانها وعمرها التشغيلي الطويل.

الشكل 5: البروفيسور كريم زغيب خلال اجتماع مع وزير الدولة، وزير الطاقة والمناجم والطاقات المتجددة، محمد عرقاب، وعدد من المسؤولين، لمتابعة مشروع تطوير سلسلة قيمة بطاريات الليثيوم في الجزائر.

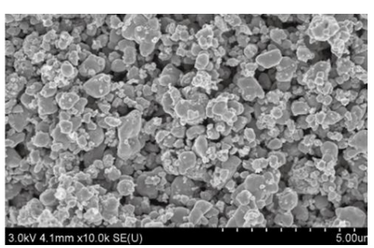
البحث العلمي يركز حاليًا على ثلاثة محاور، أولها تطوير كثافة الطاقة في بطاريات الليثيوم، ثم العمل على بطاريات الصوديوم، وهذا الأخير أثقل من الليثيوم لكنه أرخص وأكثر توفرًا، غير أنه يُستخدم في أسواق محددة مثل تخزين الطاقة الشمسية، وليس في سوق السيارات الكهربائية. كما توجد البطاريات الصلبة التي تحتوي على الزجاج أو السيراميك، وهي أفضل لأنها لا تحترق مثل البطاريات الليثيومية التي تحتوي على مواد بترولية، غير أن الصعوبة تكمن في تغيير حجمها وفي عملية تصنيعها. هناك أيضًا مشكلة كبيرة في سلسلة توريد الليثيوم مرتبطة أساسًا بالتوترات الجيوسياسية والحروب الأخيرة.

شاهدناك مؤخرًا في الجزائر، حيث التقيت برئيس الجمهورية السيد عبد المجيد تبون، كما عقدت لقاءات مع وزراء ومسؤولين في مجمعات صناعية عمومية، وأمضيت اتفاقيات مع مجمعي سونارام وسونالغاز من أجل إقامة مشروع متعلق ببطاريات الليثيوم في الجزائر. إلى أين وصل المشروع؟

وظيفتي هنا هي تقديم المساعدة بخبرتي. هذا المشروع مرتبط بالأمن الوطني، لذلك يجب أن يكون تحت إشراف الحكومة الجزائرية والشركات الوطنية، وليس الشركات الأجنبية، خاصة أن الجزائر تتوفر اليوم على نظام بيئي استثنائي. أولًا، أسعار الطاقة التي نحتاجها لتحويل المعادن منخفضة، كما يتوفر رأس المال البشري من أساتذة جامعات وباحثين وشباب وعمال، ويمكننا إقامة مصانع في الجزائر.

كما توجد إرادة سياسية، بدءًا من رئيس الجمهورية، السيد عبد المجيد تبون، ثم وزير الدولة وزير الطاقة والمناجم السيد محمد عرقاب، والوزراء الآخرين الذين التقيت بهم، إذ هنالك رغبة حقيقية في تحقيق الانتقال الطاقوي، وهو ضمن أولويات الدولة.

الجزائر بلد قارة يمتد على مساحة مليونين و600 ألف كيلومتر مربع، ولديه شريط ساحلي بطول 1200 كيلومتر مع وجود موانئ في الجزائر العاصمة وجيجل وعنابة ووهران، مما يسمح بالتصدير نحو آسيا وأوروبا. كما أن بلادنا تتوفر على معادن عديدة، مثل الحديد، وقد اقترحتُ التركيز على الحديد والفوسفات والليثيوم، سواء لتصنيع البطاريات أو لتحويل هذه المعادن اعتمادًا على الطاقة الكهربائية والموارد البشرية المتوفرة، ثم بيعها للحصول على مصدر للعملة الصعبة خارج



الشكل 6: صورة مجهرية لمادة فوسفات الحديد والليثيوم (LFP) المستخدمة في أقطاب البطاريات.

الشكل 7: يُستخرج الليثيوم من مصدرين رئيسيين: الصخور الصلبة، كما في المناجم المفتوحة، والمحاليل الملحية الغنية بالليثيوم في البحيرات المالحة، التي تُعد من أهم مصادر إنتاجه عالميًا.

قطاع المحروقات.

شهدت منطقة الهقار في الجنوب الجزائري استكشافات استراتيجية واعدة لمعدن الليثيوم. هل توجد عمليات تنقيب وهل نعرف حجم هذا المخزون؟

إلى حد الآن لا نعرف الكمية بدقة، لكن ما أعرفه هو أن ثلاث دراسات تجري في هذا الخصوص، وستنتهي خلال أشهر. إنجاز مشروع من هذا النوع يستغرق سنوات، ومن المتوقع أن يكون تحويل المعادن في مدينة عنابة، لأن مخزون الحديد والفوسفات قريب منها، كما أنها تتوفر على ميناء.

بالنسبة لليثيوم الموجود في الصحراء، هل تطرح مسألة نقله عبر آلاف الكيلومترات تحديًا لوجستيًا؟

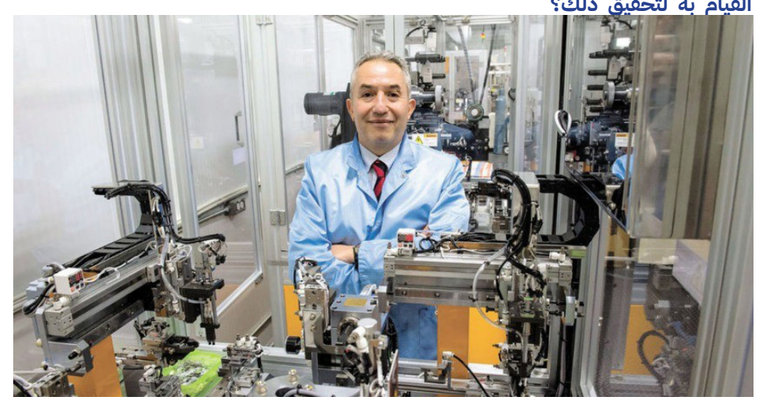
للإجابة عن هذا السؤال، سأعطيك مثالًا من كندا، حيث يوجد مجمع متخصص في البطاريات يُنقل إليه الليثيوم من مسافة تقارب 2500 كيلومتر، وفي مناطق تصل فيها درجات الحرارة إلى ناقص 50 درجة مئوية. وقد أنجزت حكومة كيبيك البنى التحتية اللازمة، خاصة خطوط السكك الحديدية، وهو ما يُعد استثمارًا استراتيجيًا مهمًا.

الأمر يتطلب رؤية ومخططًا استراتيجيًا حتى تستثمر الجزائر في البنى التحتية، خاصة أن الصحراء الجزائرية غنية وتمتلك أيضًا مقومات زراعية. وقد قام مسؤولون جزائريون بزيارة إلى المواقع الكندية خلال العام الماضي أين أطلعتهم على طريقة العمل هناك.

بالعودة إلى تخصصكم الجامعي في مجال الكهروكيمياء، إلى أي مدى هو مطلوب اليوم؟

ينبغي أولا أن نعلم أن دولا مثل اليابان وكوريا الجنوبية وكندا، يدوم فيها التعليم الأساسي لست سنوات، ثم يستمر الطور المتوسط لخمس سنوات، وهي المرحلة التي يُوجَّه فيها الطلبة نحو التخصصات التقنية، بينما تتجه نسبة قليلة فقط إلى الجامعات. في ألمانيا مثلًا تقدر هذه النسبة بـ20 بالمئة، وفي اليابان بـ25 بالمئة. إذا افترضنا أننا سننشئ مصنعًا لبطاريات الليثيوم، فإن 70 بالمئة من العمال الذين يحتاجهم المصنع لن يكونوا من حاملي الشهادات الجامعية، بينما تضم النسبة المتبقية مسيرين ومهندسي طرائق وخريجي ماستر. ينبغي توجيه الشباب نحو المهن التي يحتاجها الاقتصاد الجزائري، واعتماد تكوين جامعي نوعي يخدم التصنيع ويقلص من الاستيراد.

هل تعتقد، بروفيسور، أن الجزائر يمكن أن تصبح عملاقًا في مجال الليثيوم خلال العشر إلى الثلاثين سنة القادمة؟ وما الذي يجب القيام به لتحقيق ذلك؟



ليست لدي أي انتماءات سياسية، لكن ما أؤكده هو أنه مع وصول السيد عبد المجيد تبون إلى رئاسة الجمهورية، ووجود وزرائه في قطاع الطاقة والمناجم والطاقات المتجددة، أصبحت هناك إرادة سياسية قوية لتحقيق الانتقال الطاقوي والاقتصادي. في السابق لم يكن هناك اهتمام كبير بالعلماء الجزائريين في الخارج، أما اليوم فأنا متفائل، ويمكننا أن نتقدم ببطء لكن بخطوات ثابتة.

لتطوير سوق الليثيوم، يجب استثمار ما بين 2.5 و3 مليارات دولار أمريكي، كما أن كل مصنع تحويل يتطلب نحو 100 مليون دولار، لذلك ينبغي التفكير في استراتيجية تمويلية لجلب المستثمرين الجادين.

وفيما يخص نقل التكنولوجيا، هل توجد جهات يمكن أن تساعد في فتح هذه المصانع بالجزائر؟

هذه التكنولوجيا ليست معقدة جدًا، وإذا كانت هناك رخص أو براءات معينة فيمكن شراؤها، لذلك فإن نقل التكنولوجيا ليس المشكلة الأساسية. وكما ذكرت سابقًا، يبقى التكوين التقني هو الأساس، ويجب أن يبدأ منذ المراحل التعليمية المبكرة لدعم قطاع التصنيع.

انطلاقًا من تجربتكم الطويلة في البحث العلمي وعالم الصناعة، ما الرسالة التي توجهونها للشباب الراغبين في اقتحام هذه المجالات؟

العمل ثم العمل. أنا أؤمن بأمرين أساسيين هما المثابرة والإصرار.

شكرا لك دكتور على هذا اللقاء الشيق

مهمة أرتميس II

حلم العودة للقمر يتجدّد

Mission Artemis II: A Renewed Dream of Returning to the Moon

الشيماء أمين خوجة

وحدة البحث في الوساطة العلمية - CERIST

بعد مرور أكثر من خمسين سنة على أوّل مرّةٍ وطأت فيها قدم الإنسان سطح القمر، حين حقّقت البشريّة خطوةً عملاقةً في مجال استكشاف الفضاء والسفر إليه، يتجدّد الحلم اليوم مع جيلٍ جديدٍ يطمح إلى الذّهاب أبعد ممّا حقّقته الأجيال السابقة.

ربما لم تُتَح الفرصة لمعظمنا لمشاهدة رحلة أبولو 11 (Apollo 11)، وعيش تلك اللّحظات الحماسيّة الّتي شهد فيها العالم أوّل إنسانٍ يخطو على سطحٍ آخر غير سطح الأرض، لكنّنا هذه المرّة قد نكون شهودًا على عودة الإنسان إلى القمر في واحدةٍ من أكثر المهمّات الفضائية طموحًا وإثارةً، وهي مهمّة أرتميس.

مهمّةٌ تجمع بين الطموح والفضول العلمي، وتتزامن مع التطور التكنولوجي الّذي نعيشه اليوم، ممّا يُتيح لنا فرصة متابعة تفاصيلها لحظةً بلحظةٍ، وعيش التجربة بطريقة لم تكن ممكنةً في الماضي. فلنتعرّف عن قرب على مهمة أرتميس وأهدافها، وما الّذي تحمله لمستقبل استكشاف الفضاء.

تُعدّ مهمة أرتميس 2 المرحلة الثانية ضمن برنامج أرتميس، وهو سلسلةٌ من المهمّات الفضائية الّتي بدأت عام 2022، بهدف إعادة الإنسان إلى القمر، بل و تسعى أيضًا إلى تأسيس محطة مستدامة على سطحه، لتمهيد الطريق لمهمات فضائيةٍ أخرى؛ أبرزها الرحلات المستقبلية إلى كوكب المريخ. مثّلت مهمّة أرتميس 2 أوّل رحلةٍ مأهولةٍ ضمن برنامج أرتميس، إلّا أنّ هدفها لا يتمثّل في الهبوط على سطح القمر، بل في التّحليق حوله والعودة إلى الأرض، مع اختبار العديد من الجوانب التقنية والتشغيلية للمركبة، والأنظمة المرافقة لها، إضافةً إلى تحقيق أهداف علمية أخرى تُمهّد للمهام القادمة.

يتكوّن طاقم المهمّة من أربعة رواد فضاء هم ريد وايزمان (Reid Wiseman)، فيكتور غلوفر (Victor Glover)، كريستينا كوك (Christina Koch)، وجيريمي هانسن (Jeremy Hansen). لم يكن اختيار الطاقم عشوائيًا، إذ يمتلك كلّ رائد فضاءٍ خبرةً تقنيةً وعلمية تؤهّله للمشاركة في هذه المهمة، فبعضهم شارك سابقًا في مهمات فضائية، بينما يمتلك آخرون خبراتٍ في الطيران العسكري، والهندسة، وعلوم الفضاء، ممّا يجعل الفريق قادرًا على التعامل مع مختلف التحديات الّتي قد تواجه المهمة.

بذلك، أصبحت Christina Koch أوّل امرأةٍ تشارك في رحلة مأهولة إلى محيط القمر، بينما يعتبر

الشكل 1: طاقم مهمة «أرتميس الثانية» (Artemis II)، أول رحلة مأهولة ضمن برنامج أرتميس استعدادًا للعودة إلى القمر.

Victor Glover أوّل شخصٍ من ذوي البشرة السمراء يشارك في مهمّةٍ قمريّةٍ. أمّا Jeremy Hansen فسيكون أوّل رائد فضاء كندي يشارك في مهمّة متّجهةٍ نحو القمر، في حين ينتمي بقية أفراد الطاقم إلى وكالة ناساس NASA التابعة للولايات المتحدة الأمريكية. وبالرّغم من الصّراع الدائم بين القوى الدولية العظمى، والّتي تنعكس مباشرةً على السّباق نحو الفضاء مثلما كان الأمر في برنامج أبولو، إلّا أنّ برنامج أرتميس يضيف إلى ذلك أهدافًا علميةً، وتعاونًا دوليًا يُبرز أنّ الغاية في الأخير لا تقتصر على التّنافس، ولكن أن نستكشف ما فوق كوكبنا، وآفاق أبعد في الكون.

خلال الرّحلة، تعاون روّاد الفضاء مع فرق علمية على الأرض لجمع بيانات وتجارب ستُستخدم لفهم تأثير السفر في الفضاء العميق، وتحسين مستقبل الرحلات البشريّة نحو القمر والمريخ، وها هي بعض التجارب الّتي نُفّذت خلال هذه المهمّة.

كيف يتغيّر جهاز المناعة في الفضاء؟

إحدى الدراسات الأساسية في المهمّة هي دراسة المؤشرات البيولوجية لجهاز المناعة (Immune Biomarkers)، وتركّز على تحليل كيفية تغيّر جهاز المناعة أثناء السفر إلى الفضاء. سيقوم الروّاد بجمع عيّناتٍ من اللّعاب قبل وأثناء وبعد المهمّة، لتحليل البروتينات والهرمونات والفيروسات الّتي تعكس حالة المناعة.

وبسبب المساحة الصغيرة والمحدودة داخل مركبة أوريون (ORION) الّتي كان على متنها روّاد الفضاء، لم يتم استخدام التبريد لحفظ العينات. بدلًا من ذلك، سيتمّ استخدام طريقة مبتكرة تعتمد على تجفيف اللّعاب على أوراق خاصّة

الشكل 2: يجمع رواد الفضاء عينات اللعاب على متن محطة الفضاء الدولية لدراسة تأثير بيئة الفضاء في جهاز المناعة. وتُعد هذه التجربة جزءًا من الأبحاث الطبية التي ستستمر ضمن برنامج أرتميس لدعم الرحلات البشرية المستقبلية إلى القمر وما بعده.

الشكل 3: رقاقة «عضو على رقاقة» (Organ-on-a-Chip) لدراسة تأثيرات بيئة الفضاء على الأنسجة البشرية.

تُحفظ داخل دفاتر صغيرة، ثم إعادة ترطيبها وتحليلها لاحقًا على الأرض. هذه الطّريقة تساعد العلماء على تتبّع التغيّرات البيولوجيّة عبر الزّمن وفهم كيفية تأثّر جهاز المناعة بالفضاء.

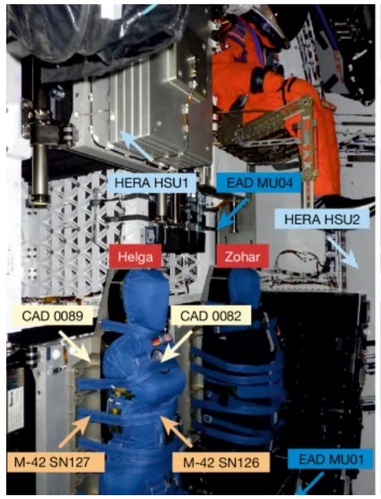
دراسة للأداء البشري

Artemis وهي مختصر لعبارة ARCHeR Research for Crew Health and Readiness والّتي تختصّ بدراسة الأداء، السّلوك، والنوم؛ أي كيفية أداء روّاد الفضاء كأفراد، وكفريق خلال المهمّة.

سيقوم الروّاد بارتداء أجهزة مراقبة (Actigraphy Devices) قبل وأثناء وبعد الرحلة، لقياس أنماط النوم، النشاط الحركي، والأداء اليومي. كما سيتمّ جمع بيانات حول الإدراك والسلوك و طريقة العمل الجماعي، لأنّ الفريق سيقضي رحلةً مدّتها 10 أيام في مساحة ضيّقة مع احتمالية حدوث مشاكل تقنية، والّتي قد تزيد من الضّغط على الروّاد. هذه البيانات ستساعد في فهم كيفية تأثير البيئة الفضائية على التعاون بين أفراد الطاقم، وكيفية تحسين الأداء البشري في مركبات فضائية ضيّقة.

التأثيرات الخلوية

ومن المقرّر استخدام تقنية (AVATAR : Virtual Astronaut Tissue Analog Response)، والّتي تعتمد على (organ-on-a-chip) وهي أعضاء مصغّرة على شرائح، تحتوي على الخلايا البشرية الخاصّة بروّاد الفضاء أنفسهم في المهمّة. تُوضع هذه الأجهزة داخل المركبة لدراسة تأثير الإشعاع الفضائي، وانعدام الجاذبية على المستوى الخلوي. بعد انتهاء المهمّة، يتمّ تحليل هذه العيّنات للحصول على كامل التفاصيل.



الشكل 4: مقطع تخطيطي لمركبة أوريون يوضح مواقع أجهزة قياس الإشعاع داخل الكبسولة، بما في ذلك دميتا القياس «هيلغا» و«زوهار» المزودتان بمئات المستشعرات لمحاكاة تعرض جسم الإنسان للإشعاع في الفضاء السحيق.

القياسات العامة لأرتميس 2

تهدف هذه القياسات إلى بناء قاعدة بيانات شاملة حول تأثير الرّحلات الفضائية على الإنسان. وتبدأ الدراسة قبل حوالي ستّة أشهر من الإطلاق، وتستمرّ حتّى شهر بعد العودة، وتشمل جمع بيانات طبية، وسلوكية، ونفسية بشكل منظّم. ورغم أنّ سحب الدم سيحدث فقط قبل وبعد المهمّة، فإنّ جمع عيّنات اللّعاب المجفّفة سيتمّ أثناء الرّحلة، إلى جانب اختبارات الإدراك والسلوك والتوازن. هذه البيانات تساعد العلماء على فهم شامل لكيفية تكيُّف الجسم مع الفضاء العميق وتغيراته.

مراقبة مستويات الإشعاع

خلال الرّحلة، تمّ إطلاق أقمار صناعية صغيرة تُعرف باسم CubeSats، في مدار أرضي مرتفع أثناء انتقال مركبة Orion نحو القمر، وذلك بهدف تحليل الإشعاع في مناطق مختلفة من الفضاء القريب والبعيد عن الأرض. كما يحمل روّاد الفضاء أجهزة قياس إشعاع شخصية توضع في جيوبهم لقياس نسبة التعرّض الإشعاعي في الوقت ذاته خلال الرحلة، بالإضافة إلى أجهزة مثبتة داخل المركبة تراقب مستويات الإشعاع في مواقع مختلفة داخل المركبة، وأنظمة تنبيه تُفعّل عند ارتفاع مستوى الإشعاع، مثلًا أثناء العواصف الشمسية. كما تمّ استخدام أجهزة إضافية طوّرتها وكالة الفضاء الألمانية لرصد توزيع الإشعاع داخل المركبة بشكلٍ أكثر دقّة.

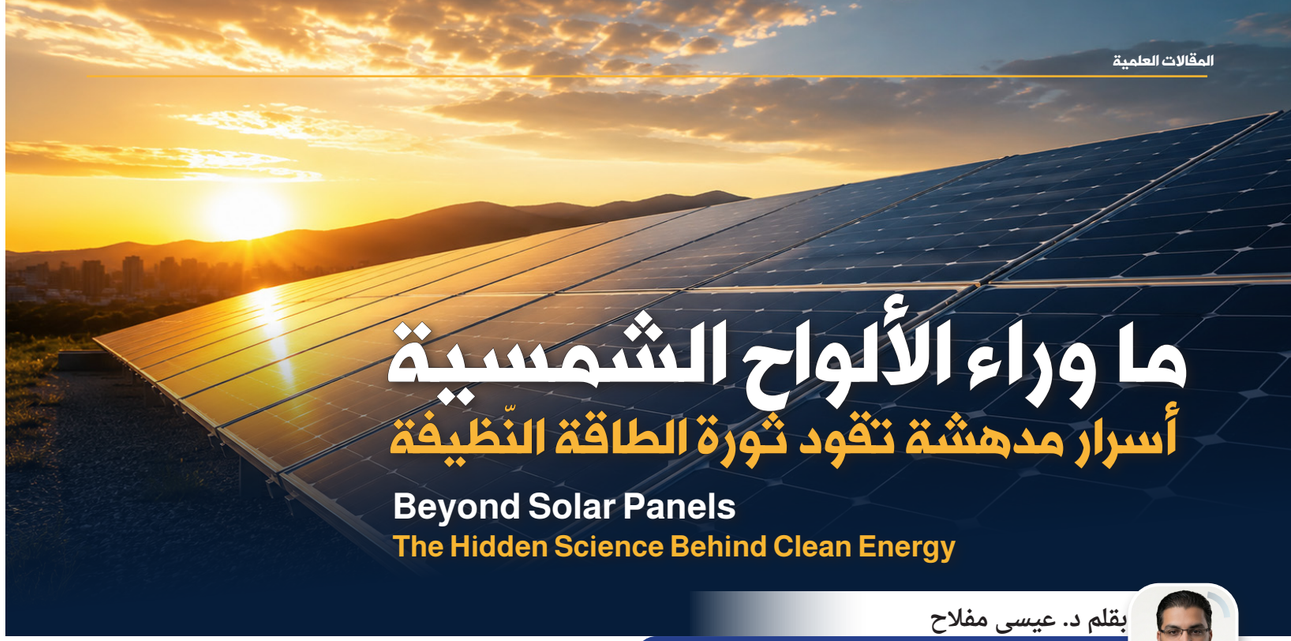
بالإضافة إلى كلّ هذه التجارب المتنوّعة التي تخصّ صحة وسلامة كلّ من رواد الفضاء والمركبة. وخلال الرّحلة الّتي يصل فيها الإنسان إلى أبعد نقطةٍ من الأرض محطّمًا المسافة الّتي وصلت إليها رحلة أبولو 13 سابقًا، ستقترب مركبة Orion من الجانب البعيد للقمر، وهو الجزء الّذي لا يمكن رؤيته من الأرض مطلقًا. وخلال فترة قصيرة تمتدّ لحوالي ثلاث ساعات، يصوِّر الطاقم السطح ويتمّ تحليل الصور علميًا، مع التركيز على التكوينات الجيولوجية المختلفة مثل الفوهات النّاتجة عن الاصطدامات القديمة والتدفقات البركانية الّتي شكّلت سطح القمر في مراحله المبكِّرة.

بيانات دقيقة لفهم كيفية تشكّل القمر

وتحضيرًا لهذه المرحلة بالضّبط، تلقّى روّاد الفضاء تدريبًا جيولوجيًا مكثّفًا سواء داخل الفصول التدريبية أو في مناطق على الأرض تشبه بيئة القمر من حيث التّضاريس، حتّى يتمكّنوا من ملاحظة أدق التفاصيل المتعلّقة بأشكال الصخور وألوانها، وهي عناصر أساسيَّة تساعد العلماء على إعادة بناء التاريخ الجيولوجي للمنطقة الّتي يدرسونها.

لا يعتبر هذا مجرَّد توثيق بصري، بل بيانات علمية دقيقة تساعد في فهم كيفية تشكّل سطح القمر وتطوّره عبر ملايير السنين. كما أنَّ هذه الخبرة ضرورية للغاية للبعثات المستقبلية الّتي تتوجَّه إلى مناطق أكثر تعقيدًا على القمر، مثل منطقة القطب الجنوبي، الّتي تُعدّ من أهمّ أهداف الاستكشاف القمري القادم.

كلّ هذه الأبحاث مع بعضها تشكّل رؤيةً متكاملةً تهدف إلى حماية صحّة روّاد الفضاء، وضمان سلامتهم خلال الرحلات الطويلة، وفي النهاية، فإنَّ كلّ هذه البيانات ستساهم في تطوير تقنيات واستراتيجيات جديدة تمهِّد الطريق لبعثات بشرية أكثر أمانًا إلى القمر والمريخ، وتدعم الهدف الأكبر المتمثّل في توسيع وجود الإنسان خارج الأرض بشكل مستدام.



ما وراء الألواح الشمسية

أسرار مدهشة تقود ثورة الطاقة النّظيفة

Beyond Solar Panels

The Hidden Science Behind Clean Energy

بقلم د. عيسى مفلاح

وحدة تنمية الأجهزة الشمسية بمركز تنمية الطاقات المتجددة

عندما نفكّر في الطاقة المتجدّدة، تتبادر إلى أذهاننا صورٌ مألوفة، توربينات الرياح الشّاهقة الّتي تدور برشاقةٍ في الأفق، أو الصفوف اللّامتناهية من الألواح الشمسية الّتي تتلألأ تحت ضوء الشمس. هذه الرموز المرئية هي واجهة لثورة الطاقة النظيفة، لكنّها لا تروي القصّة الكاملة. في الواقع، إنّ الابتكارات الأكثر عمقًا وتأثيرًا تحدث على مستوياتٍ لا يمكن رؤيتها بالعين المجرّدة، في عوالم الميكرو والرقمنة.

بعيدًا عن الهياكل الفولاذية والزجاجية الضخمة، هناك ثورةٌ صامتةٌ يقودها العلماء والمهندسون في المختبرات ومراكز البيانات. إنّهم يعيدون كتابة مستقبل الطاقة من خلال التلاعب بالجزيئات الفردية وتصميم خوارزميات ذكيّة قادرة على التنبّؤ بالمستقبل. هذه الإنجازات الخفية هي الّتي تجعل شبكات الطاقة لدينا أكثر موثوقيةً ومرونةً وكفاءةً.

في هذا المقال، نكشف عن أربعة من أكثر هذه الاختراقات إدهاشًا وتأثيرًا في مجالي الذكاء الاصطناعي وعلوم المواد. هذه الأسرار الأربعة لا تعمل على تحسين التقنيات الحالية فحسب، بل تمهّد الطريق لجيل جديد تمامًا من حلول الطاقة الّتي ستشكّل عالمنا في العقود القادمة.

الذكاء الاصطناعي: التنبؤ بأعطالٍ لم تحدث من قبل

يعتمد الذكاء الاصطناعي التقليدي على مبدأ بسيط: التعلم من الماضي، فهو يحلّل كميّاتٍ هائلةٍ من البيانات التاريخيّة لتحديد الأنماط الّتي تشير إلى فشل وشيك. ولكن ماذا لو كانت الأنظمة الجديدة للطّاقة المتجدّدة موثوقة لدرجة أن الأعطال الكبرى نادرةً جدًّا؟ هنا تظهر مشكلة «ندرة البيانات»، حيث لا توجد بيانات كافية عن الأعطال لتدريب النماذج التقليدية بفعالية.

هنا يأتي دور الاختراق المذهل المتمثّل في الذكاء الاصطناعي التوليدي. بدلًا من الاقتصار على تحليل الماضي، يمتلك هذا النوع من الذكاء الاصطناعي القدرة على محاكاة وتوليد بيانات واقعية لسيناريوهات أعطال محتملة لم تحدث من قبل. هذه هي قوّته المدهشة وغير المتوقّعة. إنّه لا يتعلّم فقط من الأعطال الّتي وقعت، بل يتخيّل الأعطال الّتي يمكن أن تقع، ممّا يسمح للمهندسين بالاستعداد لها مسبقًا. أثبتت هذه المقاربة فعاليتها بشكل مذهل. فقد أظهرت الأبحاث أنّ أنظمة الكشف عن الأعطال المعزّزة بالذكاء الاصطناعي يمكن أن تحقّق دقّةً تشخيصيّةً تصل إلى 95.2%. هذا التحوّل الجذري يسمح لمشغّلي الطّاقة بالاستعداد لمجموعةٍ أوسع بكثيرٍ من المشاكل المحتملة، ممّا يزيد بشكلٍ كبيرٍ من موثوقيّة وسلامة البنية التحتيّة للطاقة الخضراء. لكن هذه القدرة التنبؤيّة ليست سوى نصف القصة. فالمكوّنات المادية الّتي يراقبها الذكاء الاصطناعي تشهد بنفسها ثورةً تبدأ من المستوى الذري.

كيف تُحدث التعديلات الجزيئيّة ثورةً في البطاريات؟

يعتمد أداء البطاريات بشكلٍ أساسي على هندسة المواد على المستوى الجزيئي. في هذا العالم الدقيق، يمكن أن يؤدي تغيير موضع بضع ذراتٍ إلى إحداث فارقٍ بين تحقيق اختراق علمي أو فشل ذريع. ويكشف بحثان حديثان عن هذه الحقيقة من خلال مثالين متناقضين.

الشكل 1: تمثيل فني لبنية نانوية على المستوى الذري، يوضح كيفية ترتيب الذرات وترابطها داخل المواد المتقدمة المستخدمة في تقنيات تخزين الطاقة والبطاريات الحديثة.

التأثير الإيجابي: في بحث يهدف إلى تحسين أقطاب السيليكون في بطاريات الليثيوم أيون، قام الباحثون بخلط، أو «تسبيك» السيليكون بكمية صغيرة من البورون. أدّى هذا التعديل البسيط إلى إنشاء درع كهربائي واقٍ حول الجسيمات النانوية، وكانت النتيجة مذهلةً: تحسن في عمر البطارية بمقدار 3 أضعاف، مع الحفاظ على 82.5% من سعتها بعد 1000 دورة شحن وتفريغ.

التأثير السلبي: في دراسة أخرى على بطاريات التدفق، أضاف الباحثون مجموعة هيدروكسيل واحدة (-OH) إلى مركب يعتمد على الكروم. أدّى هذا التغيير الطفيف إلى تشويه الشكل الجزيئي للمركب. وكانت النتيجة صادمةً: أصبح المركب ينقل الإلكترونات ببطء أكبر 100 مرة، ممّا أدى إلى شلّ كفاءته تمامًا.

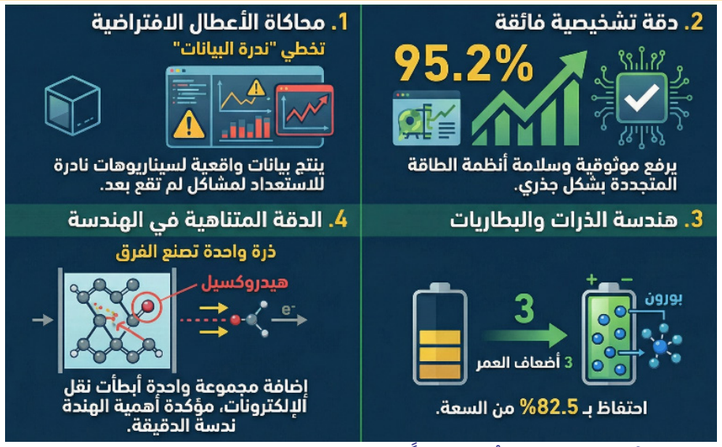
يوضح هذان المثالان الأهمية القصوى لـ «الهندسة الدقيقة» في علوم المواد. إنّ القدرة على التحكم في بنية الجزيئات بدقةٍ ذريةٍ هي مفتاح تطوير الجيل القادم من البطاريات، حيث يمكن لذرّةٍ واحدةٍ في المكان الخطأ أن تقضي على كفاءة نظام بأكمله. هذه الدقة على المستوى الذري تسلط الضوء على تحدٍّ حاسم: كيف يمكننا أن نعرف ما يحدث داخل البطارية في الوقت الفعلي؟ اكتشاف مفاجئ في بطاريات الزنك-أيون يقدم لنا الإجابة.

اكتشاف «الحياة السرية» داخل البطارية

تُعد بطاريات الزنك-أيون بديلًا واعدًا لبطاريات الليثيوم-أيون، خاصّةً لتخزين الطاقة على نطاق الشبكة، وذلك لكونها أكثر أمانًا ووفرةً وأقلّ تكلفةً. ولكن حتى وقتٍ قريبٍ، كان الفهم لكيفية تحرّك أيونات الزنك داخل البطارية محدودًا. وقد خرج بحثٌ حديثٌ باكتشاف مفاجئ يغيّر نظرتنا تمامًا لهذه العملية.

كان يُعتقد سابقًا أنّ أيونات الزنك تتحرّك بشكل مستقلٍّ عبر المحلول الكهربائي السائل (الإلكتروليت). لكن الأبحاث الجديدة أظهرت أنّ الواقع أكثر تعقيدًا وديناميكيةً، فبدلًا من السفر منفردةً، تشكّل الأيونات تجمعات مؤقتة أو «قوافل» مع جزيئات الماء المحيطة بها. هذه التجمعات، الّتي تتراوح أحجامها من أيونين إلى 22 أيونًا، تتشكّل وتتفكّك في أجزاء من تريليون من الثانية. هذا السلوك يشبه ما وصفه أحد الباحثين بالعبارة التالية: «إنّه مثل وجود ازدحامٍ مروري يتحرّك بسرعةٍ كبيرةٍ وبعيد تنظيم نفسه باستمرار لدرجة أنه لا يتعثّر أبداً».

تكمن أهميّة هذا الاكتشاف في أنّه يغيّر الطريقة الّتي يفكر بها العلماء في تصميم الإلكتروليتات. فبدلًا من محاولة منع تشكل هذه التجمعات، يمكنهم الآن العمل على تسخير هذه «الرقصة الديناميكية» لتصميم بطارياتٍ أكثر كفاءة، ممّا يفتح الباب أمام تحسيناتٍ كبيرةٍ في أداء تقنيات تخزين الطاقة.



الشكل 2: أبرز الابتكارات التي تُحدث تحولًا في تقنيات الطاقة النظيفة، وتشمل الذكاء الاصطناعي للتنبؤ بالأعطال، والهندسة الذرية لتحسين البطاريات، ورفع كفاءة أنظمة الطاقة المتجددة.

القيمة الاقتصادية الخفيّة للطاقة

إنّ القيمة الحقيقيّة لبطاريات تخزين الطاقة على نطاق الشبكة لا تكمن فقط في قدرتها على تخزين الكهرباء، بل في المرونة الّتي توفرها لشبكة الطاقة بأكملها. هذه المرونة لها قيمة اقتصادية هائلة، لكنها غالبًا ما تكون مخفيةً عن أساليب التقييم التقليدية.

لتقدير هذه القيمة، استخدم الباحثون نهجًا يُعرف بـ «تحليل الخيارات الحقيقية». ببساطة، هذه الطريقة تحسب القيمة الاقتصادية للقدرة على التكيف واتخاذ قرارات مرنة في مواجهة مستقبلٍ غير مؤكّد. على سبيل المثال، بدلًا من استثمار المليارات في بناء خطوط نقل طاقة جديدة قد لا تكون هناك حاجة إليها، يمكن لبطاريات التخزين تأجيل هذا القرار، مما يوفر مرونة استراتيجية لها قيمة مالية ضخمة.

وقد كشفت الأبحاث الّتي استخدمت هذا النهج، أن التعامل مع تخزين البطاريات على نطاق واسع كخيار حقيقي أظهر قيمة مخفية تبلغ حوالي 12.9 مليار جنيه إسترليني لشبكة وطنية واحدة، ناتجة بشكل أساسي عن تأجيل الاستثمارات الضخمة في البنية التحتية، وتحقيق وفورات تشغيلية. ويلعب الذكاء الاصطناعي دورًا محوريًا في تحقيق هذه القيمة؛ فالأطر القائمة عليه تعمل على تحسين الشبكة في الوقت الفعلي، وقد ثبت أنها قادرة على تقليل اضطرابات الشبكة بنسبة 40%. وبهذه الطريقة، يحول الذكاء الاصطناعي البطاريات من مجرّد وحدات تخزين سلبية إلى أصول ذكية ونشطة تخلق قيمة اقتصادية هائلة وتُعزّز استقرار الشبكة.

الثورة الصامتة

إنّ مستقبل الطاقة النظيفة لا يُبنى فقط بالهياكل الضخمة الّتي نراها، بل يُصمّم بالخوارزميات الذكية والجزيئات المُهندسة بدقة. لقد كشفت لنا هذه الرحلة أن هذه الثورات «غير المرئية» مترابطة وتعتمد على بعضها البعض. فالذكاء الاصطناعي التوليدي الذي يتنبّأ بالأعطال يعتمد على محاكاة بيانات دقيقة، وهذه الدقة تتزايد بفضل فهمنا العميق لهندسة المواد على المستوى الذري. هذا التحكم الدقيق بالجزيئات لم يكن ممكنًا لولا قدرتنا على «رؤية» الرقصة الديناميكية للأيونات داخل البطارية.

في النهاية، لا تتحقّق القيمة الكاملة لهذه البطاريات المتطوّرة إلّا عندما تقوم أنظمة ذكية بتحويلها إلى أصول استراتيجية بمليارات الدولارات على شبكة الكهرباء. إنّها حلقة متكاملة وقوية: الذكاء الاصطناعي يسرّع من وتيرة علوم المواد، والتي بدورها توفر أجهزة أفضل للذكاء الاصطناعي لإدارتها، ممّا يولّد المزيد من البيانات ويعزّز الدورة بأكملها. هذه هي الثورة الصامتة الحقيقيّة الّتي تعيد تشكيل علاقتنا بالطاقة، وبينما يعمل الذكاء الاصطناعي والمواد الجديدة على حلّ تحديات اليوم، يبقى السؤال المثير للتفكير: ما هو الشكل الجديد تمامًا لتخزين الطاقة الّذي قد تفتحه هذه التقنيات للجيل القادم؟

الطاقة الشمسية على سطح القمر

مستجدات وتحديات في ضوء عودة الإنسان إلى القمر

Solar Energy on the Moon

New Advances and Challenges for Humanity's Return

الشكل 1: صورة متخيلة لمزارع الطاقة الشمسية على القمر، مربوطة بوحدة زراعة وحياة، غالبا ما تكون في القطب الجنوبي للقمر.

د. فاطمة الزهراء بن عراب
أستاذ محاضر في الطاقات المتجددة- جامعة الجلفة

لم تعد العودة إلى القمر مجرد مشروع استكشاف فضائي، بل أصبحت اختبارًا حقيقيًا لقدرة الإنسان على بناء أنظمة طاقوية خارج الأرض. فمع انتقال برامج الفضاء من "رحلات زيارة" إلى "مشاريع الإقامة الطويلة"، برز سؤال جوهري: كيف يمكن توفير طاقة مستدامة في بيئة معزولة وقاسية لا تسمح بأي هامش للخطأ؟ في هذا السياق، تبرز الطاقات المتجددة، وعلى رأسها الطاقة الشمسية، كأحد أهم الأعمدة التقنية لمستقبل الوجود البشري على القمر.

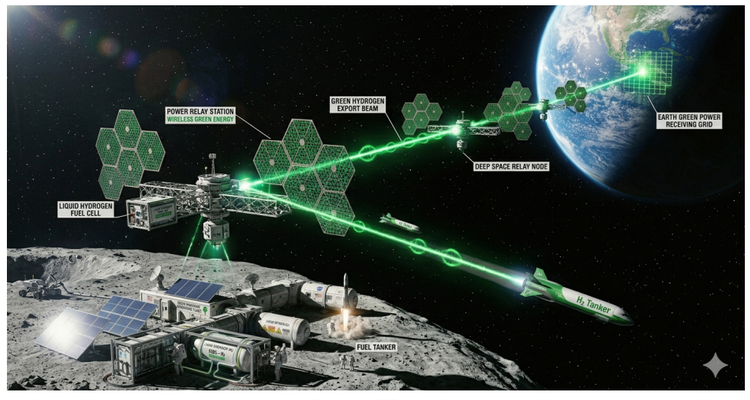
رغم التطور الكبير في تقنيات الفضاء، تبقى الطاقة العقبة الأكثر حساسية أمام إنشاء قواعد قمرية دائمة.

فالاعتماد على الوقود التقليدي غير ممكن عمليًا بسبب تكاليف النقل الهائلة من الأرض. لهذا تتجه وكالات الفضاء والشركات التقنية نحو الطاقات المتجددة باعتبارها الحل الأكثر واقعية واستدامة خلال العقود القادمة.

ويُنظر إلى الطاقة الشمسية تحديدًا كخيار استراتيجي لعدة أسباب، أولها توفر الإشعاع الشمسي المباشر دون تأثير الغلاف الجوي، إضافة إلى نضج تقنيات الخلايا الشمسية تجاريًا، وانخفاض كتلة الأنظمة الحديثة مقارنة بالماضي. يمكن أيضا دمج الطاقة الشمسية مع تقنيات التخزين وإنتاج الهيدروجين. لكن تطبيق هذه التكنولوجيا على سطح القمر يختلف جذريًا عن استخدامها على الأرض.

البيئة القمرية وتحديات الأنظمة الشمسية

يفرض العمل في البيئة القمرية تحديات هندسية وطاقوية غير مسبوقة. أول هذه التحديات هو طول الدورة الليلية، ففي معظم مناطق القمر يستمر النهار حوالي أربعة عشر يومًا أرضيًا، يليه ليل بالمدة نفسها تقريبًا. وهذا يعني انقطاعًا كاملًا للطاقة الشمسية لفترات طويلة. كما أن غياب الغلاف الجوي يجعل الألواح



الشكل 2: تصميم يظهر تقنيات استغلال الطاقة المنتجة من مصادر المتجددة على القمر وكذا نقلها الى كوكب الأرض.

الشمسية عرضة مباشرة للإشعاعات الكونية والأشعة فوق البنفسجية، ما يؤدي إلى تدهور الخلايا مع مرور الزمن. أما الغبار القمري، أو "الريغوليث"، فيمثل تحديًا تقنيًا بالغ الخطورة. فهو غبار دقيق وحاد يلتصق بالمعدات بفعل الشحنات الكهروستاتيكية، ويؤثر على كفاءة الألواح وأنظمة الحركة والتوصيلات الكهربائية. إضافة إلى ذلك، تواجه المعدات تغيرات حرارية حادة جدًا، حيث قد تتجاوز درجات الحرارة 120 درجة مئوية نهارًا، وتنخفض إلى أقل من 170 درجة تحت الصفر ليلًا، ما يفرض تطوير مواد وأنظمة تبريد وعزل جديدة تختلف عن الأنظمة الأرضية التقليدية.

القطب الجنوبي الموقع الأمثل للطاقة الشمسية

رغم قسوة البيئة القمرية، تشير الدراسات إلى أن القطب الجنوبي للقمر يمثل أفضل موقع لتطوير مشاريع الطاقة المتجددة. وتكمن أهمية هذه المنطقة في وجود مرتفعات تتلقى ضوء الشمس لفترات طويلة جدًا قد تصل إلى 90% من الزمن، وهي مناطق تُعرف أحيانًا بـ "قمم الضوء شبه الدائم". هذه الميزة تقلل بشكل كبير من مشكلة الانقطاع الطويل للطاقة، وتزيد الجدوى الاقتصادية والتشغيلية للأنظمة الشمسية. في المقابل، تحتوي الحفر المظلمة المجاورة على جليد مائي يمكن استغلاله لإنتاج الماء والأكسجين والهيدروجين. وهنا تظهر العلاقة التكاملية بين الطاقات المتجددة وإدارة الموارد:

- الطاقة الشمسية توفر الكهرباء.
- الماء يُستخرج من الجليد.
- الهيدروجين الناتج يستخدم كوسيلة لتخزين الطاقة.

أي أن القاعدة القمرية المستقبلية ستعتمد على منظومة مترابطة تجمع بين الطاقة والمياه والتخزين الكيميائي.

الشكل 3: استخدام الهيدروجين مخزنًا للطاقة على القمر، اعتمادًا على المياه المتجمدة والطاقة الشمسية لإنتاج الهيدروجين الأخضر.

تطور تقنيات المزارع الشمسية القمرية

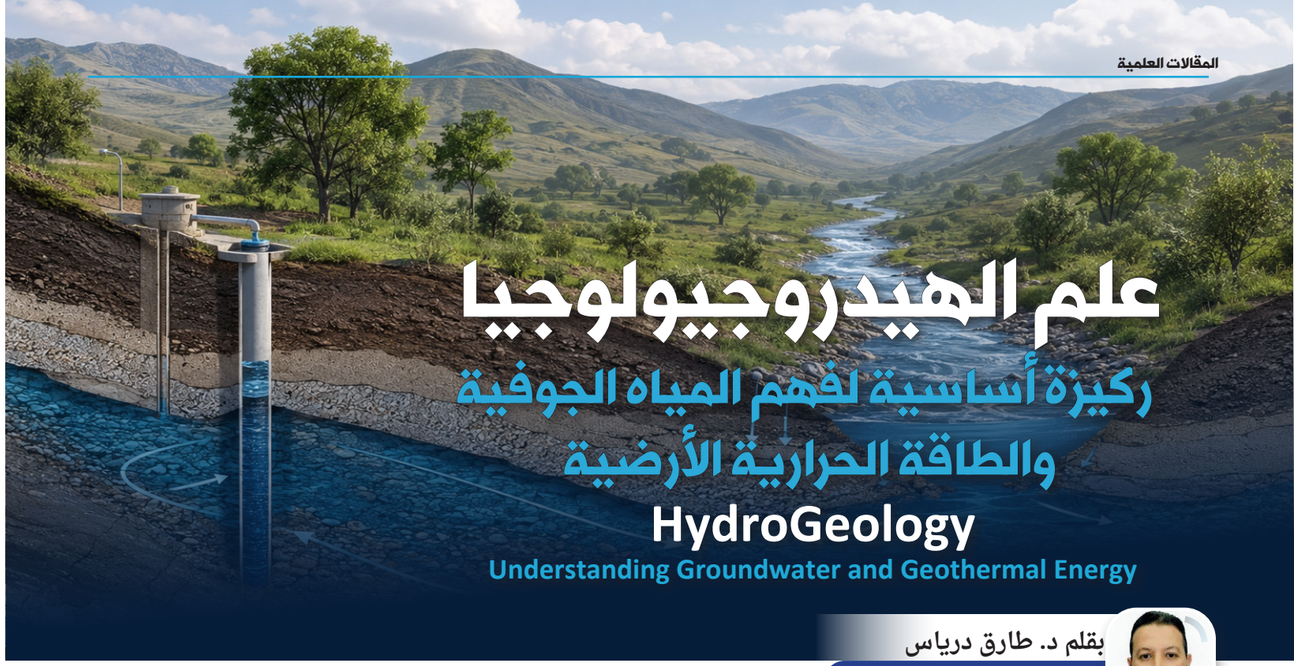
لا يعتمد التوجه الحالي على الألواح التقليدية الثقيلة، بل على أنظمة خفيفة ومرنة قابلة للنقل والتمدد الذاتي. من أبرز هذه التقنيات أنظمة VSAT العمودية، المصممة لالتقاط أشعة الشمس المنخفضة قرب أفق القمر، خاصة في مناطق القطب الجنوبي. وتستخدم هذه الأنظمة ألواحًا مرنة قابلة للطي تعرف باسم ROSA، تتميز بخفة الوزن وسهولة النقل والكفاءة العالية مقارنة بالألواح التقليدية. كما يجري تطوير أنظمة قادرة على تتبع حركة الشمس تلقائيًا لرفع مردود التحويل الطاقوي، إضافة إلى مشاريع لنقل الطاقة لاسلكيًا أو عبر شبكات ذكية تربط بين مناطق الإنتاج ومناطق الاستهلاك. وتُظهر هذه المشاريع أن مستقبل الطاقة القمرية لن يقوم على محطة واحدة معزولة، بل على «شبكة طاقوية قمرية» متكاملة تشبه الشبكات الذكية الحديثة على الأرض.

تخزين الطاقة... مفتاح الاستمرارية

يبقى تخزين الطاقة التحدي المركزي لأي مشروع يعتمد على المصادر المتجددة فوق القمر. فالاعتماد الكامل على البطاريات غير عملي بسبب كتلتها الكبيرة وصعوبة نقلها من الأرض، خاصة عند الحاجة لتغطية فترات الظلام الطويلة. لهذا تتجه الأبحاث نحو خلايا الوقود التجديدية، حيث تُستخدم الكهرباء الشمسية نهارًا لتحليل الماء إلى هيدروجين وأكسجين، ثم يُعاد دمجهما داخل خلايا الوقود لإنتاج الكهرباء ليلًا. هذا النظام لا يوفر الكهرباء فقط، بل ينتج الماء أيضًا، ما يجعله حلًا متعدد الوظائف داخل البيئات المغلقة. ومن المتوقع أن تعتمد القواعد القمرية المستقبلية على مزيج من الطاقة الشمسية، التخزين الهيدروجيني، والبطاريات، أي أن مستقبل الطاقة القمرية سيكون قائمًا على مفهوم «النظام الهجين» لضمان الاستقرار والمرونة التشغيلية.

تصنيع الخلايا الشمسية من موارد القمر

أحد أكثر الاتجاهات البحثية أهمية يتمثل في تصنيع الخلايا الشمسية مباشرة من تربة القمر بدل نقلها من الأرض. فالريغوليث القمري يحتوي على السيليكون والأكسجين ومعادن يمكن استخدامها لإنتاج مواد شبه موصلة. نجاح هذا التوجه سيؤدي إلى تقليل تكاليف النقل بشكل جذري، وسيفتح الباب أمام استقلالية طاقوية حقيقية خارج الأرض. لكن التحدي الأساسي يتمثل في أن عمليات التصنيع نفسها تحتاج إلى طاقة كبيرة، ما يفرض الاعتماد في البداية على أنظمة دعم أولية قبل الوصول إلى الاكتفاء الذاتي. ورغم أن هذه التقنية ما تزال في مراحل البحث، فإنها تمثل خطوة استراتيجية نحو بناء اقتصاد فضائي يعتمد على الموارد المحلية بدل الإمداد المستمر من الأرض. التحول نحو استخدام الطاقات المتجددة على القمر لم يعد فكرة مستقبلية بعيدة، بل أصبح جزءًا من الخطط العملية للبعثات القادمة. ومع التطور السريع في تقنيات الخلايا الشمسية والتخزين الهيدروجيني والشبكات الذكية، تبدو الطاقة الشمسية اليوم الخيار الأكثر واقعية لدعم الوجود البشري طويل الأمد خارج الأرض. غير أن النجاح الحقيقي لن يعتمد على إنتاج الكهرباء فقط، بل على بناء منظومات طاقوية متكاملة قادرة على التكيف مع بيئة قاسية ومعزولة، بأعلى درجات الكفاءة والاستدامة. قد يكون القمر، خلال العقود القادمة، أول مختبر حقيقي تطبق فيه البشرية مفهوم "المدن المعتمدة بالكامل على الطاقات المتجددة" خارج كوكب الأرض.



علم الهيدروجيولوجيا

ركيزة أساسية لفهم المياه الجوفية والطاقة الحرارية الأرضية

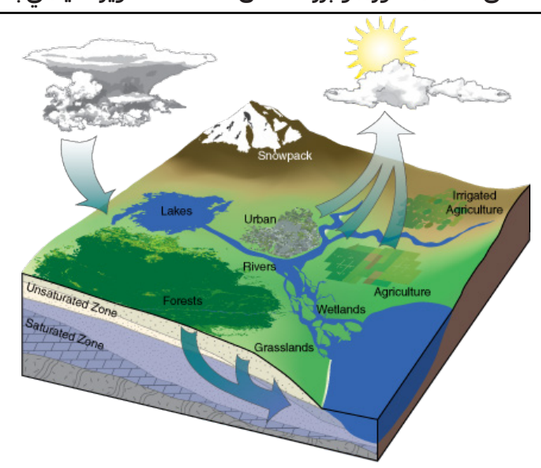
HydroGeology

Understanding Groundwater and Geothermal Energy

بقلم د. طارق درياس
قسم الجيولوجيا جامعة باتنة 2

يُعدّ علم الهيدروجيولوجيا، وهو علم المياه الجوفية، فرعًا أساسيًا من فروع الجيولوجيا يهتمُّ بتوزيع وحركة وخصائص المياه الموجودة في باطن الأرض. يجمع هذا التخصّص -الّذي يتّسم بطبيعته بالتعدديّة التخصصية- بين مبادئ الجيولوجيا والهيدرولوجيا والفيزياء والكيمياء والرياضيات لتوضيح التفاعلات المعقّدة بين المياه والتكوينات الصخرية. إلى جانب دورها الحاسم في إدارة موارد مياه الشرب، تلعب الهيدروجيولوجيا دورًا بارزًا في تطوير الطاقة الحرارية الأرضية، وهي مصدرٌ واعدٌ للطاقة المتجدِّدة، وتحسينها. في هذا المقال نستكشف أساسيات الهيدروجيولوجيا ومفاهيمها الرئيسيَّة، ونسلِّط الضوء على علاقتها الوثيقة بالطاقة الحرارية الأرضية.

الهيدروجيولوجيا هي أحد فروع علوم الأرض الّتي تدرس المياه الجوفية ووجودها وحركتها ونوعيتها داخل طبقات المياه الجوفية. وهي تعتمد على فهم عميق للجيولوجيا الهيكلية (الصدوع والكسور)، وعلم الرواسب (أنواع الصخور والمسامية)، وعلم الطبقات (ترتيب الطبقات الجيولوجية)؛ لتوصيف الخزانات الجوفية. تُعدّ المياه الجوفية مكونًا أساسيًا في الدورة الهيدرولوجية العالمية، حيث تتسرَّب من السطح، وتدور عبر الصخور المسامية والمتصدِّعة، وتظهر أحيانًا في شكل ينابيع. توضّح الصورة أدناه هذه الدورة، وتبرز المناطق المختلفة لتدوير المياه في باطن الأرض.

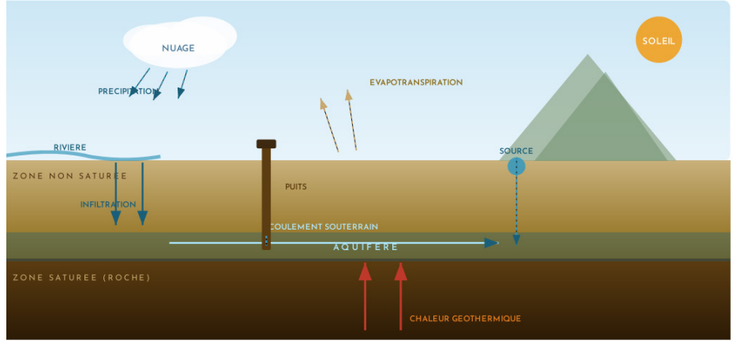


الشكل 1: مخطط يوضح الدورة الهيدرولوجية وحركة المياه بين الهطول، والجريان السطحي، وتسرب المياه إلى الخزانات الجوفية وتغذيتها.

الخصائص الأساسية الّتي تحكم سلوك المياه الجوفية هي المسامية والنفاذية. تمثّل المسامية نسبة الفراغات في الصخور، مما يحدِّد قدرتها على تخزين المياه. أمّا النفاذية، فهي تقيس سهولة تدفق المياه عبر هذه الفراغات. «قانون دارسي» (Darcy›s law) هو المبدأ الأساسي الّذي يصف تدفق المياه في الأوساط المسامية، ويحدِّد العلاقة بين التدفق، والتوصيلية الهيدروليكية (مقياس للنفاذية)، ومساحة التدفق، والتدرج الهيدروليكي.

نحو طاقة حرارية أرضية مستدامة

تستغلّ الطاقة الحرارية الأرضية الحرارة الداخلية للأرض، وهي طاقة متجدِّدة وثابتة. وتقع



الشكل 2: الدورة الهيدروجيولوجية: التسرب، والجريان الجوفي، والتبادل الحراري الأرضي.

Geothermal Energy Types

Geothermal Energy Type	Temperature	Primary Use
Very Low Energy	< 25°C	Geothermal heat pumps (GHPs) for heating and cooling buildings.
Low Energy	30-90°C	District heating, greenhouses, fish farming.
High Energy	> 150°C	Electricity generation.

الشكل 3: أنواع الطاقة الجيوحرارية واستخداماتها.

الهيدروجيولوجيا في صميم عملية الاستغلال هذه، حيث تعمل المياه الجوفية كسائل رئيسي لنقل الحرارة، تنقل الحرارة من الأعماق إلى السطح. ويعتبر التدرج الجيوحراري (The Geothermal Grandien)، الّذي يتوافق مع ارتفاع درجة الحرارة مع العمق (بمعدل 3 درجات مئوية لكلّ 100 متر في المتوسط)، المحرّك الرئيسي لهذا المورد الطاقي.

الهيدروجيولوجيا ليست مجرّد أداة في خدمة الطاقة الحرارية الأرضية؛ بل هي العمود الفقري العلمي لها. يبدأ كل مشروع للطاقة الحرارية الأرضية وينتهي بدراسة هيدروجيولوجية دقيقة بدءًا من التنقيب، ومرورًا بنمذجة الخزانات، وصولًا إلى الرّصد البيئي.

في الوقت الّذي تتسارع فيه وتيرة التحول الطاقي، تتمتّع الطاقة الحرارية الأرضية بميزة كبيرة على مصادر الطاقة المتجدِّدة الأخرى واستمراريتها. على عكس الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح، تتوفر الحرارة الأرضية على مدار 24 ساعة، بغض النّظر عن الظروف الجوية، مع معامل تحميل يتجاوز 90%. يعتمد هذا الأداء الاستثنائي كليًا على الإلمام الهيدروجيولوجي بتدفقات السوائل العميقة.

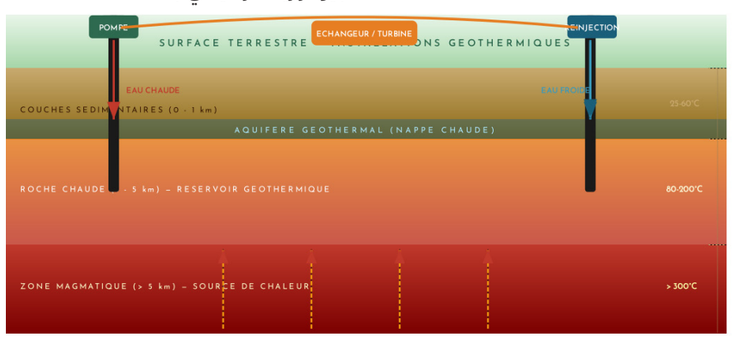
وتُصنَّف الأنظمة الجيوحرارية حسب درجة حرارة وعمق الخزانات المستغلة:

الهيدروجيولوجيا والطاقة الحرارية الأرضية: علاقة تكافلية

يلعب المهندس الهيدروجيولوجي دورًا أساسيًا في كلِّ مرحلةٍ من مراحل مشروع الطاقة الجيوحرارية الأرضية. ويتمثَّل ذلك في تحديد طبقات المياه الجوفية العميقة الّتي تتمتَّع بدرجات حرارة ومعدَّلات تدفّق كافية، وتحديد خصائصها الهيدروديناميكية (المسامية، والنفاذية، والانتقالية)، ونمذجة سلوك الخزّان تحت ضغوط التشغيل. ومن المفاهيم الأساسية مفهوم الزوج الجيوحراري (Geothermal Dual System)؛ الّذي ينطوي على ضخّ المياه الساخنة من بئر إنتاج وإعادة حقنها، بعد تبريدها في نفس الخزان المائي عبر بئر إعادة حقن، ويتيح هذا النظام الحفاظ على ضغط الخزان وضمان استدامة المورد، ويوضح الرسم البياني أدناه كيفية عمل الزوج الجيوحراري.

آفاق واعدة في الجزائر

على الرّغم من الإمكانات الجيوحرارية الجذّابة للغاية، لا تزال الطاقة الجيوحرارية غير معروفة وغير مستغلة في الجزائر. ومع ذلك، في المستقبل القريب، لن يكون الغاز الطبيعي مصدر طاقة مقبولًا لتلبية الطلب على التدفئة في العديد من البلدان المنتجة للغاز، ولا سيما في الجزائر، وتعمل الشركة الوطنية للهيدروكربونات (SONATRACH) حاليًا بالتعاون مع فريقنا البحثي، على دراسة الإمكانات الجيوحرارية الأرضية لبلدنا لضمان انتقال طاقة سلس لاستبدال الطاقة الأحفورية المشتقة من الهيدروكربونات. ومن هذا المنظور يتبلور الدور المحتمل الّذي يمكن أن تلعبه الطاقة الجيوحرارية الأرضية في بلدنا.



الشكل 3: طرق استغلال الطاقة الجيوحرارية.

أبو النصر منصور بن عراق

رائد الهندسة الكروية والفلك الرياضي

Abu al-Nasr Mansur ibn Iraq

Pioneer of Spherical Geometry and Mathematical Astronomy

بقلم د. أبو بكر خالد سعد الله

المدرسة العليا للأساتذة - القبة

ومن المعلوم أنَّ أبا نصر قضى فترة طويلة يفكّر كيف يمكنه بناء مرصد ومدرسة لطلّاب العلم في مسقط رأسه. ولتحقيق هذا المسعى تقرّب من حكّام خوارزم إلى أن حظي بثقتهم. وهكذا لبّى طلبه الملك أبو العبّاس علي بن مأمون بن محمد خوارزمشاه، فتحقّق حلم ابن عراق، وأنشأ مرصدًا ومدرسةً في خوارزم. وفي هذه المدرسة تتلمذ على يديه أبو الريحان البيروني (362هـ/973م-440هـ/1048م)، والّذي كان يهدي مؤلفاته لأستاذه.

وظلّ البيروني يكنّ التقدير والإجلال لابن عراق فكان يلقبّه بأستاذي حتّى في كتبه ومؤلفاته. والواقع أنَّ هذا الاحترام كان متبادلًا بينهما، وكان ابن عراق أيضًا يهدي مؤلفاته لتلميذه. فتوطّدت العلاقات بين العالمين حتّى صارا صديقين حميمين. وقد مكث ابن عراق في خوارزم حتّى دخل السلطان محمود الغزنوي خوارزم عام 407هـ/ 1016م فأخذ معه ابن عراق والبيروني إلى مدينة غزنة. فعاش ابن عراق هناك حتّى وفاته نحو عام 427هـ/ 1036م.

لم يترك ابن عراق أعمالًا تمسّ جميع المعارف بل اختصّ في علم الفلك، مركّزًا على جانبها الرياضي وعلى الهندسة. وكان له الفضل في القيام بأوّل ترجمةٍ كاملةٍ لكتاب «الأكر» (Spherics) لمنلاوس الأسكندراني Menelaus. ذلك أن أسلافه تخلّوا عن جزءٍ من هذا العمل بسبب بعض الصعوبات الّتي واجهوها في المقالة الثّالثة من الكتاب. وتُعدّ ترجمة ابن عراق أوضح وأدقَّ ترجمةٍ للنصّ اليوناني المفقود إلى يومنا هذا.

ومن اهتمامات منلاوس في هذا الكتاب، العلاقات التي تربط أطوال أضلاع المثلث الكروي، وقياس زواياه، ومسائل أخرى. وعلى الرّغم من أنَّ الكتاب يبدو رياضيًا محضًا فإنَّ جزءًا كبيرًا من محتواه كان يتناول مواضيع وثيقة الصِّلة بعلم الفلك مثل حساب إحداثيات الشمس، وتصميم جداول فلكية (أزياج)، ودراسة حركة الشَّمس، وحساب المسافات بين الكواكب، وهو ما لفت نظر علماء الفلك العرب والمسلمين، وفي هذا الكتاب أثبت منلاوس أوّل مبرهنةٍ في حساب المثلثات الكروي تحمل اسمه وتُسمّى أيضًا: «مبرهنة رباعي الأضلاع (الكروي) التام» أو «الشكل القطّاع».

لقد ترجم ابن عراق عمل منلاوس وأبدع فيه حيث صوّب أخطاءً عديدةً واردةً في عدَّة قضايا من الكتاب، سواء في نصِّ النتائج أو في براهينها. فعلى سبيل المثال، نجد ابن عراق يقول في نقده لإحدى المتباينات: «فأمّا وإن تبيّن أنَّ نسبة جيب جـ ز إلى جيب زد أعظم من نسبة جيب جـ ح إلى جيب دهـ فإنَّه ليس من ذلك وحده تبيّن أن نسبة قوس جـ ح إلى قوس دهـ أصغر من نسبة جيب ج ز إلى جيب زد». وبعد ذلك يقدم ابن عراق برهانه.

أبو النَّصر منصور بن علي بن عراق رياضي وفلكي، ذاع صيته ابتداءً من القرن 4هـ/ 10م. وُلد بمدينة خوارزم، ولذا يلقّب أحيانا بالخوارزمي. وقد درس العلوم، وانشغل بالرياضيات، وعلم الفلك حتّى لفت أنظار علماء عصره. تبرز أهمية أعمال ابن عراق العلمية في اهتمامه بتطوير ما يُعرف اليوم بالهندسة الجبرية والهندسة الكروية، وذلك بلجوئه مع علماء آخرين إلى استخدام القطوع المخروطية في حلّ بعض المسائل الجبرية. كما انشغل بالآلات الفلكية وتصحيح الأخطاء الواردة في النظريات التي أخذ بها الفلكيون الّذين سبقوه.

ورغم مكانة ابن عراق فإن المؤرخين يلاحظون ندرة المعلومات المتاحة حول حياته الشخصية. ويعترف مؤرّخ العلوم قدري حافظ طوقان (1910-1971م) بذلك حيث يقول: «لم نتمكّن من العثور على تاريخ ولادة صاحب الترجمة (ابن عراق)، أو تاريخ وفاته، على الرّغم من التحريّات الكثيرة، لكنَّه ولا شكَّ كان من رياضي القرن الرّابع للهجرة، وكان حيًّا حوالي سنة 1000م».

ابن عراق وعلم الفلك

كان ابن عراق ناقدًا ومحققًا في حقل علم الفلك. فقد صحّح مثلًا مؤلَّفًا للرياضي والفلكي الشهير أبي جعفر الخازن (ت.349هـ/960م)، وهو الكتاب المسمى «زيج الصفائح»، فنال شهرةً واسعةً عند معاصريه. قام ابن عراق بهذا التصويب، وهو يعي جيدًا مكانة أبي جعفر الخازن، ويشير في هذا السياق إلى أنَّ الخازن نفسه قد «استدرك على منلاوس» وأنَّ بني موسى بن شاكر، رغم علوّ شأنهم، قد أخطأوا في بعض ما قدّموا بخصوص كتاب الإغريقي أبلونيوس (262ق.م.190-ق.م.) في المخروطات «رغم جلالة قدر ذلك الكتاب».

وعندما تحدَّثت مؤرخة العلوم ماري تيريز ديبارنو Marie-Thérèse Debarnot عن مسألة القبلة وبعض المؤلَّفات الّتي ظهرت فيها حسابات مبتكرة ذات الصلة بنظرية منلاوس المسماة «نظرية رباعي الأضلاع (الكروي) التام»، قالت: «ويبقى من هذه النصوص تلك الّتي كتبها أبو نصر بن عراق وأبو الوفاء البوزجاني. ويُعدّ هذان العالمان مع أبي محمود الخجندي من أعظم الباعثين للتَّجديد الّذي حصل في نهاية القرن العاشر الميلادي».

وكان البيروني تناول بإسهابٍ في كتابه «مقاليد علم الهيئة» القضية المتعلِّقة بمن هو السبّاق، إلى معالجة مسألة سمْت القبلة بطريقة جذرية: أهو الخجندي أو أبو الوفاء البوزجاني أو ابن عراق؟ يقول البيروني في هذه المسألة: «قد كان اجتمع عند أبي سعيد بن محمد بن عبد الجليل (المعروف بالسجزي) عدَّة طرق لفضلاء المهندسين وأصحاب الزيجات في استخراج سمت القبلة بالحساب والتقدير المساحي بالآلات، مختلفة النتائج، عديمة البراهين. وأعلمته أنَّ مولاي ومصطنعي أبا نصر منصور بن علي بن عراق – أيّده الله – شديد القوى على استخراج براهين أمثالها من الحساب، بعيد الغور فيها، سريع الإدراك لها. فسألني مطالبته بتأمّلها، وإزاحة العلَّة في تحقيقها، والكشف عن دواعي أصحابها إليها. ففعلت وعمل أبو نصر في ذلك السّؤال كتابًا وسمّاه بالسموت، وأودعه المطلوب منه، واستنبط في مواضع من ذلك الكتاب لوازم هذا الشكل، من غير قصد منه له إلاّ لما احتاج إليه». ولمَّا علِم البوزجّاني بهذا الكتاب راسل البيروني من بغداد وأكَّد «استحسانه الكتاب واستعظامه إياه»، لكنَّه أعاب على صاحبه إبن عراق استخدامه طرق القدماء موضِّحًا أنَّ له «طرقًا خفيفةً في معرفة السمْت أوجز من تلك وأحسن». وفي رسالة كتبها أبو نصر للبيروني جاء في هذا الموضوع: «وقد كنت أثبت في الجملة الثانية من كتاب السموت بشكل يتبيّن به هذا المعنى .. ومن تأمَّل ذلك الشكل .. وقف على صدق ما أقول وأدعي الآن».

وقد اتَّخذ البيروني في هذه القضية موقفًا بعدما استعرض ما جاء به هؤلاء العلماء، فجاء في حكمه: «فأمَّا أبو نصر فلإحاطتي بجلّ أحواله العلمية، ومشاهدتي إيَّاه منذ تعاطيّ القسم الرياضي، وقيامي بتحصيل ما هو حاصل في خزائنه من الكتب، وإملائه عليّ جميع ما يستخرجه ويستنبطه، ولردّه عن ادّعاء ما لغيره لنفسه، وإنصافه بين المتنازعين في ذلك وتسامحه، متبرّعًا بالانتساب إلى علماء يقصرون عن مرتبته من غير أن يتتلمذ لأحدهم؛ ومع غزارة علم أدبه وذكائه وعجيب فطنة طبع عليه، لست أتّهمه بأخذ هذا الشكل من غيره، بل لا أستجيز لبالي أن يخطر ذلك به لِمَا قدمته من جهة، ولأنه أجاب به وقت المطالبة إيَّاه والحاجة إليه». وقد جاء حكم البيروني على أبي الوفاء البوزجاني قاسيًا حيث قال في آخره: «.. فقبيح به جدًّا أن يفاخر من اخترع في سمْت القبلة ما اختُرع في كتاب السموت».

أزيد من 25 مؤلَّفا

وضع ابن عراق ما لا يقلُّ عن خمسةٍ وعشرين مؤلَّفًا، جلّها رسائل ومقالات، ومنها كتب وردت عناوينها لدى تلميذه البيروني. ومن المحتمل أن تحمل البعض من هذه المؤلَّفات عناوين مختلفة لنفس المضمون. ومن بين تلك الأعمال، وصل إلى مؤرخي اليوم سبعة عشر مؤلفًا، منها سبعة في الرياضيات، والباقي في علم الفلك. وبيّنت جملة هذه المؤلفات طبيعة المواضيع الرياضية والفلكية الّتي انشغل بها ابن عراق. نذكر هنا جلّها:

1. رسالة في «جدول الدقائق».
2. رسالة في» مجازات دوائر السموت في الأسطرلاب».
3. رسالة في «البراهين على عمل محمد بن الصباح في امتحان الشمس».
4. رسالة في «القسي الفلكية وكرية السماء والمسائل الهندسية».
5. رسالة في «معرفة القسي الفلكية بعضها من بعض بطريق غير طريق معرفتها بالشكل القطاع والنسبة المؤلفة».
6. رسالة في «تصحيح ما وقع لأبي جعفر الخازن من السهو في الزيج الشاهاني (زيج الصفائح)».

الشكل 1. صفحة من مخطوطة «استخراج ما بين المركز من المجسطي» لأبي نصر بن عراق، تتضمن رسماً فلكياً ونصاً يوضح حساب موضع الشمس وفق الأساليب الفلكية الإسلامية.

7. رسالة في «براهين أعمال جدول التقويم في زيج حبش الحاسب».
8. رسالة في «ضميمة كتاب الأصول».
9. مقالة في «رؤية الأهلة».
10. «إصلاح كتاب منلاوس في الأشكال الكريّة».
11. كتاب «تهذيب التعاليم».
12. كتاب» المجسطي الشاهي».
13. «استخراج بعد ما بين مركزين من المجسطي الشاهي».
14. «الدوائر التي تحدّد الساعات الزمنية».
15. رسالة في «البرهان على حقيقة مسألتين وقعتا بين أبي حميد الصنعاني وبين منجمي الري».
16. رسالة في «صناعة الأسطرلاب بالطريق الصناعي».
17. رسالة «الأسطرلاب السرطاني المجنح في حقيقته بالطريق الصناعي».

الشكل 2: إسطرلاب فلكي يُستخدم لرصد الأجرام السماوية وحساب الزمن والإحداثيات.

باباراتزي العلوم

بقلم:جمال ميموني، الشيماء أمين خوجة
وحدة البحث في الوساطة العلمية - CERIST

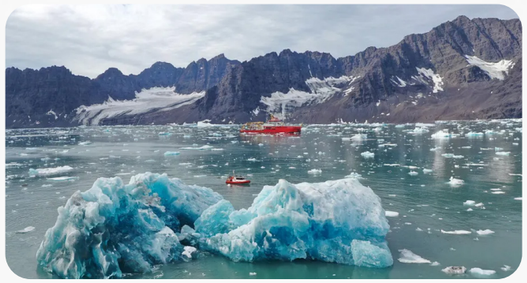
آخر المستجدات العلمية

كتابة 100 كلمة باستخدام ChatGPT
تستهلك زجاجة مياه!

أظهرت دراسة حديثة، أن كتابة رسالة بريد إلكتروني واحدة من 100 كلمة باستخدام تطبيق ChatGPT، تستهلك ما يقارب حجم زجاجة مياه. وبيّنت ورقة بحثية بعنوان «جعل الذكاء الاصطناعي أقل عطشًا» نُشرت في مجلة Communications of the ACM وأعدها باحثون في جامعة كاليفورنيا، ريفرسايد، أنه من المتوقع أن تستهلك البنية التحتية العالمية التي تعالج استفسارات الذكاء الاصطناعي ما يعادل نصف كمية المياه التي تسحبها المملكة المتحدة سنويًا بحلول عام 2027، بينما يُستخرج جزء كبير من هذه المياه من مناطق تعاني أصلًا من جفاف شديد. وتبلغ كمية المياه اللازمة لكتابة رسالة من 100 كلمة نحو 519 ملليلترًا، وهو حجم قريب بما يكفي من زجاجة مياه قياسية. ويشمل هذا الرقم المياه المستخدمة مباشرة لتبريد خوادم مركز البيانات، والمياه المستخدمة بصورة غير مباشرة لإنتاج الكهرباء التي تستهلكها تلك الخوادم. ويقدّر فريق البحث نفسه أن المحادثة الواحدة المستمرة مع روبوت دردشة، والمُعرّفة بأنها تتكون من 10 إلى 50 تبادلًا، تستهلك كمية مياه تقارب 500 ملليلتر. ويزداد هذا الرقم بالمقدار نفسه كلما امتدت المحادثة. وأصبحت مراكز البيانات الحديثة، التي بُنيت خصيصًا لتشغيل تطبيقات الذكاء الاصطناعي، أكبر حجمًا وأكثر كثافة وأعلى إنتاجًا للحرارة، لذلك بات بإمكان مجمع واحد ضخم لمراكز بيانات الذكاء الاصطناعي فائقة النطاق أن يستهلك في يوم واحد كمية من المياه تفوق ما تستخدمه بلدة يبلغ عدد سكانها عشرة آلاف نسمة في جميع احتياجاتها.

EARTH & CLIMATE

روبوتات ذاتية القيادة
تستكشف الصفائح الجليدية الخطرة في غرينلاند



تستعد بعثة علمية هذا الصيف لإطلاق عدد من الروبوتات والطائرات ذاتية القيادة والغواصات غير المأهولة وأجهزة الاستشعار إلى غرينلاند، بهدف دراسة ذوبان الجليد بدقة غير مسبوقة. وتندرج هذه المهمة ضمن مشروع GIANT، الذي يهدف إلى جمع بيانات ميدانية تُستخدم لتحسين النماذج المناخية التي تساعد العلماء وصناع القرار على التنبؤ بالتغيرات المحتملة في التيارات المحيطية الكبرى التي تسهم في تنظيم مناخ الأرض الأمر الذي يساعد على التنبؤ بمستقبل ارتفاع مستوى سطح البحر وتأثيراته المحتملة على المجتمعات الساحلية حول العالم. ويأمل العلماء في تطوير نظام إنذار مبكر يرصد التغيرات الخطيرة في الأنهار الجليدية قبل وصولها إلى نقطة اللاعودة. فالمنطقة التي يلتقي فيها الجليد بمياه البحر تُعد من أخطر البيئات الطبيعية وأكثرها تعقيدًا، إذ تنهار كتل جليدية ضخمة بصورة مفاجئة، بينما تتشكل تحت الماء تيارات ودوامات تجعل الاقتراب من موقع الذوبان أمرًا شديد الخطورة على الباحثين. لهذا ستستعمل البعثة طائرات مسيّرة لتصوير الأنهار الجليدية من الجو، وقوارب وغواصات روبوتية لمسح الأجزاء المغمورة تحت سطح الماء، بالإضافة إلى أجهزة استشعار تُثبت مباشرة داخل الجليد لقياس درجة الحرارة، وشدة الاضطرابات المائية، ومعدل الذوبان في الزمن الحقيقي. كما سيستخدم الفريق خوارزميات الذكاء الاصطناعي لتحليل البيانات المتوافرة وتحديد أفضل المواقع لنشر هذه الأجهزة، مما يسمح بسد الفجوات في القياسات وتحسين فهم العمليات التي تتحكم في ذوبان الجليد. ويأمل الباحثون أن تسهم هذه البيانات في تطوير نماذج مناخية أكثر دقة.

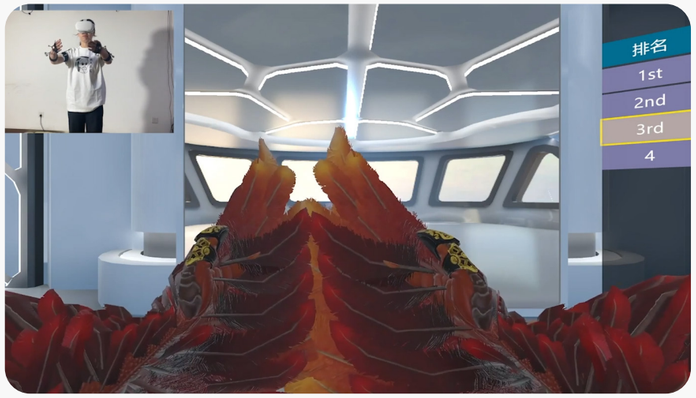
BIOLOGY

أصداف تتحول إلى موطن بحري
يحتضن آلاف الأنواع من الكائنات البحرية

توصل باحثون إلى أن أصداف المحار كانت سببا في تحسين جودة المياه في خليج المكسيك، واستعادة التنوع البيولوجي الساحلي إضافة الى إعادة بناء شعاب المحار البحري التي تدهورت على مدار السنين. فبين عامي 2007 و 2024 أعادت ولاية فلوريدا أكثر من 500 ألف طن من أصداف المحار والمحار البحري المعاد تدويرها إلى خليج المكسيك، بعد جمعها من المطاعم ومصانع معالجة المأكولات البحرية، بدلًا من التخلص منها مع النفايات. رغم تعرض المشروع لعدة انتقادات باعتباره مجرد إلقاء نفايات في البحر إلا أنه وبعد عقدين من الزمن تمكن العلماء من حصد نتائج مذهلة. إذ غطت البكتيريا الأصداف بطبقة حيوية (Biofilm)، والتي تعتبر بيئة مناسبة لاستقرار ونمو كائنات بحرية أخرى. كما أدى تحلل الأصداف تدريجيًا في إطلاق الكالسيوم إلى المياه، مما هيأ ظروفًا كيميائية ملائمة لعدد كبير من الكائنات البحرية. وهذا ما حسن أيضًا جودة المياه، لأن المحار يعمل طبيعيًا على ترشيح مياه البحر. كما وجد الباحثون علاقة بين استعادة الشعاب وانخفاض ازدهار الطحالب الضارة، وتحسن الظروف البيئية التي تدعم تنوعًا أكبر من النباتات والحيوانات البحرية.

NEUROSCIENCE

تعلّم 25 شخصًا الطيران بأجنحة افتراضية...
فكيف تغيّرت أدمغتهم؟

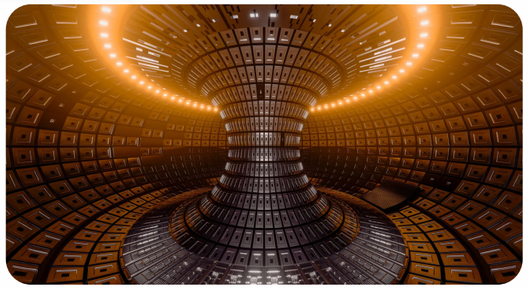


أظهرت دراسة نُشرت في مجلة Cell Reports أن تدريب الأشخاص على استخدام أجنحة افتراضية يجعل أدمغتهم تستجيب للأجنحة بطريقة أقرب إلى استجابتها للأطراف الحقيقية، مما يجعل هذه الأجنحة تبدو وكأنها جزء من أجسامهم وهذا ما يبين بوضوح مدى مرونة الدماغ البشري. فإذا كان الدماغ قادرًا على دمج شيء غير بشري كالجناح ضمن تمثيله للجسم، فمن المحتمل أن يكون قادرًا أيضًا على دمج أنواع أخرى من الأطراف. وقام ييانغ كاي (Yiyang Cai) بتصميم برنامج تدريبي استمر أسبوعًا كاملًا، مستندًا إلى المبادئ الميكانيكية لطيران الطيور. وارتدى خلاله المشاركون خوذات الواقع الافتراضي وأجهزة تتبع الحركة، ليشاهدوا أنفسهم عبر مرآة افتراضية، على هيئة كائنات تشبه الطيور، تمتلك أجنحة كبيرة مكسوة بريش ذي لون بني مائل إلى الحمرة. وعندما يدير هؤلاء الأشخاص معاصمهم ويحرّكون أذرعهم بحركة الرفرفة، كانت الأجنحة تتحرك بالتزامن مع حركاتهم. خلال سلسلة من المهام التدريبية، تعلّم 25 مشاركًا تدريجيًا التحكم في أجنحتهم الافتراضية. فقد استخدموها لإبعاد كرات هوائية متساقطة، والحفاظ على التحليق فوق منحدرات شاهقة، بل وحتى توجيه أنفسهم للطيران عبر حلقات معلقة في الهواء. وبعد انتهاء البرنامج التدريبي، لاحظ الباحثون أن أجزاءً من المنطقة المسؤولة عادةً عن الاستجابة لصور أجزاء الجسم المعروفة بالقشرة البصرية، بدأت تستجيب بصورة أقوى لصور الأجنحة المختلفة، كما أصبحت استجابتها للأجنحة تشبه استجابتها للأطراف العلوية. وتشير هذه النتيجة إلى قدرة الدماغ، على إعادة تنظيم نفسه قد تكون أوسع بكثير مما كان يُعتقد سابقًا.

PHYSICS

هل تستطيع مفاعلات الاندماج النووي

كشف سر المادة المظلمة؟



اقترح فريق دولي من الفيزيائيين طريقة نظرية جديدة قد تُمكّن مفاعلات الاندماج النووي من إنتاج جسيمات افتراضية تُعرف باسم الأكسيونات (Axions)، وهي من أبرز المرشحين لتفسير المادة المظلمة التي يُعتقد أنها تشكل معظم مادة الكون. ونشرت الدراسة في مجلة Journal of High Energy Physics، حيث بيّن الباحثون أن النيوترونات عالية الطاقة الناتجة عن تفاعلات الاندماج داخل المفاعل قد تتفاعل مع جدرانه أو مع جسيمات أخرى، مما قد يؤدي إلى إنتاج الأكسيونات أو جسيمات مشابهة لها. وإذا أمكن رصد هذه الجسيمات مستقبلًا، فقد تمثل خطوة مهمة نحو فهم طبيعة المادة المظلمة. ومن الطريف أن هذه الفكرة ظهرت قبل سنوات في المسلسل الشهير The Big Bang Theory، عندما حاولت شخصيتا شيلدون كوبر وليونارد هوفستاتر إثبات إمكانية إنتاج الأكسيونات داخل مفاعل اندماج، إلا أن حساباتهما انتهت بالفشل. ويشير أحد مؤلفي الدراسة، البروفيسور يوري زوبان من جامعة سينسيناتي، إلى أن فريقه تمكن أخيرًا من إيجاد آلية نظرية مختلفة قد تجعل ذلك ممكنًا. ورغم أن الشمس تُعد مصدرًا أكثر كفاءة لإنتاج الأكسيونات عبر العمليات النووية الطبيعية، فإن الباحثين يعتقدون أن مفاعلات الاندماج قد توفر بيئة تجريبية محكومة تسمح بدراسة هذه الجسيمات مباشرة، مما قد يفتح نافذة جديدة للبحث في أحد أكبر ألغاز الفيزياء الحديثة.

SPACE WEATHER

هل يوجد رابط بين العواصف الشمسية

وحدوث الزلازل الأرضية؟

توصلت دراسة جديدة من جامعة كيوتو إلى أن العواصف الشمسية قد تؤثر بشكل غير مباشر في حدوث بعض الزلازل. حيث اقترح الباحثون نموذجًا نظريًا جديدًا يفترض أن النشاط الشمسي القوي يغيّر الشحنة الكهربائية في الأيونوسفير، مما قد يولد مجالات كهربائية تنتقل إلى مناطق الصدوع الضعيفة في القشرة الأرضية. وإذا كان الصدع الجيولوجي قريبًا أصلًا من الانهيار، فقد تساهم هذه الضغوط الكهربائية الإضافية في تحفيز حدوث الزلزال. ويؤكد الباحثون أن هذا النموذج لا يعني أن العواصف الشمسية تسبب الزلازل مباشرة، ولا يمكن استخدامه للتنبؤ بالزلازل، بل يقدم آلية فيزيائية محتملة تفسر كيفية تفاعل طقس الفضاء مع الصدوع الجيولوجية المهيأة للانكسار. كما أشار الفريق إلى أن بعض الزلازل القوية في اليابان، وقعت بعد فترات شهدت نشاطًا شمسيًا مرتفعًا مثل زلزال شبه جزيرة نوتو عام 2024. ومع ذلك، شدد الباحثون على أن هذا التزامن لا يثبت وجود علاقة حتمية سببية، وإنما قد يشير إلى عامل إضافي يستحق المزيد من الدراسة. ويسعى الفريق في أبحاثه المستقبلية إلى دمج بيانات الأيونوسفير وطقس الفضاء مع القياسات الجيولوجية، لمعرفة ما إذا كانت هذه الاضطرابات تؤدي بالفعل دورًا في التأثير على استقرار الصدوع الزلزالية.

عدسة هواة الفلك

مغامرة فلكية في قلب صحراء الجزائر

رحلة بين النجوم والنقوش الصخرية

بقلم عمر عبد الوهاب

مصوّر فلكي، ورئيس قسم الفلك بجمعية مصطفى محمود- مصر

في رحلةٍ لم تكن مجرّد انتقال جغرافي، بل ارتحالًا في أعماق الشَّغف البشري بالسماء، حططتُ رحالي في أرض الجزائر، كان ذلك في ماي 2025. لطالما كان الفلك هو اللّغة الموحّدة الّتي نتحدّث بها جميعًا كأبناءٍ لهذا الكون، وفي هذه الزيارة، كانت وجهتي الأولى هي مدينة قسنطينة، مدينة الجسور المعلَّقة، والّتي ترتفع وكأنَّها تُحاول ملامسة النّجوم، لتكون نقطة الانطلاق لحدثٍ استثنائي.

تادرارت الحمراء في قلب الطاسيلي، حيث تعانق الأقواس الصخرية درب التبانة في أحد أنقى سماءات العالم.

بدعوةٍ كريمةٍ من جمعية الشِّعرى لعلم الفلك، إحدى أنشط وأعرق الجمعيات الفلكيَّة العربية، تشرّفتُ بالمشاركة في فعاليات مهرجان علم الفلك الجماهيري في الجزائر. ما أدهشني هناك لم يكن فقط روعة التنظيم، بل تلك اللّمعة في عيون الحضور. شباب، أطفال، وعائلات بأكملها جاؤوا ليتشاركوا النظر عبر التلسكوبات، ويتساءلوا عن أسرار الكون. لقد عايشت زخما علميا شاركت فيه ثلّةً من العلماء من ربوع العالم، وقدّمتُ ورشة عمل متخصّصة في «التصوير الفلكي». حاولنا معًا كسر الحواجز التقنية المعقّدة، ونقلتُ للمشاركين خلاصة تجاربي في اقتناص ضوء النّجوم الباهت باستخدام الكاميرات والمعدّات الفلكية المتخصّصة. كانت نقاشاتنا حول المعالجة، وتتبّع الأجرام السماوية تعكس تعطّشًا حقيقيًّا لدى الشّباب الجزائري لتوثيق جمال السّماء. في قسنطينة التقيتُ بالصديق المصور الفلكي فيصل دمري، عضو جمعية الشعرى لعلم الفلك، وقرّرنا أن نغوص في رحلةٍ غريبةٍ وعجيبة في صحراء الجزائر للاستكشاف والتصوير الفلكي.

تادرارت الحمراء...

على الحدود بين كل من الجزائر وليبيا والنيجر تقع صحراء تادرارت، صحراء الجبال المريخية الحمراء، والأحجار التي تحمل لون غروبٍ أبدي، وذاكرة الأرض من آلاف السنين. تقع تادرارت الحمراء أو «تادرارت لاروج»، هذه السلسلة الجبلية الأسطورية الممتدة جنوب شرق الجزائر على بعد نحو 2200 كيلومتر في قلب صحراء التاسيلي. تشتهر تادرارت الحمراء بتكويناتها الصخرية الخرافية التي تشبه منحوتات فنية ضخمة من كوكب آخر، وكأنها مسرح مفتوح لحكايات الزمن السحيق. المنطقة جزء من حديقة الطاسيلي الوطنية، وهي مُدرجة ضمن قائمة التراث العالمي لليونسكو، وتشتهر بمناظرها الطبيعية التي دفعت كثيرين إلى تشبيهها بسطح كوكب المريخ.

تعتبر الطاسيلي القريبة من تادرارت، أغنى متحف مفتوح لفن ما قبل التاريخ في العالم، حيث تحتوي على أكثر من 15000 لوحة ونقش صخري تعود إلى ما بين 10000 إلى 2000 سنة قبل الميلاد، وهي في الأساس عبارة عن مناظر صيد لحيوانات ضخمة من فيلة، زرافات، وأبقار. كما تضم رموزا فلكية يعتقد بعض الباحثين أنها مرتبطة بتتبع النجوم أو دورات القمر، إضافة إلى رسومات مدهشة لكائنات بشرية بملامح غريبة، ما بين تفسيرات رمزية، دينية، أو حتى من وحي الخيال العلمي.

حدث فلكي نادر

ومن صحراء الجزائر رصدت أنا والصديق فيصل دمري حدثا فلكيا نادرا، تحديدا على بعد 15 كيلومترا من أكاكوس على الحدود بين الجزائر وليبيا. كنا نوجه الكاميرات في اتجاه الجنوب الشرقي في انتظار شروق المجرة، وكان فيصل يصور الأذيال النجمية في اتجاه الشمال. وعندما

الرسومات الصخرية في الطاسيلي ناجر، سجلّ بصري يوثق حياة الإنسان والحيوان في الصحراء منذ آلاف السنين.

رأيت هذا القوس الأبيض الغريب، ناديت بسرعة على فيصل ليراه. في البداية ظننت أنه سحابة بيضاء أو بخار ماء خلفته طائرة، ولكننا اكتشفنا أن الأمر يتعلق بعاصفة شمسية مفاجئة أضاءت السماء بقوس أبيض نادر. ففي فجر يوم 17 ماي 2025، حصلت عاصفة مغناطيسية مفاجئة على كوكب الأرض، رغم أن العلماء لم يتوقعوا حدوثها. السبب كان كتلة غازية ضخمة انفجرت من الشمس.

بمجرد أن اصطدمت الكتلة الشمسية بالغلاف المغناطيسي للأرض، بدأت الجسيمات المشحونة تدخل الغلاف الجوي وتسبب تفاعلات نتجت عنها أضواء الشفق القطبي (Aurora) التي لم تُرَ في صحراء الجزائر، لكن المفاجأة هي أن الظاهرة شوهدت في أماكن بعيدة جدًا عن القطبين، مثل ولاية نبراسكا في أمريكا!

سر «الظل السماوي» في صحراء تاسيلي

وفي قلب صحراء تاسيلي ناجر، تلك الرقعة السحرية من الأرض التي تحتضن آلاف الرسوم والنقوش الغريبة، وتهمس صخورها بأسرار الزمن، تناقلت قبائل الطوارق حكاية قديمة، لا ترويها إلا نار المخيم تحت سماءٍ مرصعة بالنجوم. تقول الأسطورة إنه في زمنٍ بعيد، سكن أحد الوديان المقدسة في تاسيلي رجل يُدعى تينازروت، وكان حكيم القبيلة، ومرشد النجوم. قيل إنه كان يبصر ما لا يُبصر، ويحدّث الرياح، ويقرأ رسائل ما في النفوس. ذات ليلة، وبينما كان تينازروت يتأمل السماء، رأى شهابًا ضخمًا يشق الظلام ويسقط خلف جبل «إيلامن». تبعه وحده، على قدميه، لثلاث ليالٍ دون طعام ولا ماء. وعند وصوله، لم يجد نارًا ولا رمادًا، بل وجد صخرة تتوهج بلون غريب وكأنها حجر مشتعل هبط من السماء إلى الأرض.

وبحسب الأسطورة فإن تينازروت وضع يده على الصخرة، فغاب عن وعيه، وعندما استيقظ كان محاطًا بكائنات نورانية، لا هي بشر ولا آلهة، وجوههم بلا ملامح وأعينهم تشع بنبضٍ سماوي. قالت له: «لقد اخترناك، يا ابن الرمال، لتحمل نور السماء إلى الأرض، لكن النور لا يُعطى مجانًا.. عليك أن تعيش ألف عام دون أن تُرى.» منذ تلك اللحظة، اختفى تينازروت. لكن كل من ينام تحت سماء تاسيلي، في الليالي التي تشتعل فيها المجرة كأنها شريط من الحكايات، قد يرى ظلاً يمرُّ، لا يترك أثرًا في الرمال.. يُسمونه «الظل السماوي». يقول الطوارق إن من يراه، يُمنح رؤية قلبه، فإن كان قلبه نقيًا، يرى ذلك النور، وإن كان ظله مثقلًا بالخوف، يضِل في المتاهة الصخرية، ويختفي كما اختفى تينازروت.

غادرتُ الجزائر تاركا ورائي بلدا يزخر بتنوع لا يمكن أن يجتمع إلا في الأساطير: جبال تُنبت الحكمة، غابات تهدئ الروح، ومدنٌ تكاد أن تنطق بالجمال، لكنّ الروح؟ الروح وجدت مرساها في مكانٍ آخر.. في الصحراء.

في صحراء الجزائر، رأيت الأرض تصمت لتتكلم السماء. وهناك، حين انفردت بالكون، شعرت أن النجوم لم تكن نقاطًا من ضوء، بل رسائل، وأن رحلتي لم تكن استكشافًا لبلد.. بل كشفًا لحقيقةٍ في داخلي.

إشراف: د. جمال ميموني و ياسمين بوالجدري

حتى لا تنسى فلسطين

الرسامة الفلسطينية

فاطمة علي أبو عودة

"

يا ابنَ أكثر من أبٍ,

كم كُنْتَ وحدكْ

القمحُ مُرٌّ في حقول الآخرينْ

والماءُ مالحْ

والغيم فولاذٌ.وهذا النجمُ جارحْ

وعليك أن تحيا وأن تحيا

وأن تعطي مقابلَ حبَّةِ الزيتون جِلْدَكْ

كَمْ كُنْتَ وحدكْ

محمود درويش

"

Son of more than my father
How alone you were
The wheat is bitter
In the fields of others
And the water tastes of salt
The clouds are steel
And this star can scar
And you have to live and be alive
And in exchange for an olive
Have to give your skin
How alone you were

Mahmoud Darwish

مبادرة «غزّة تقرأ».. معركة من أجل إنقاذ الذاكرة

ياسمين بوالجدري

متخصصة في الإعلام العلمي

لا تُستهدف المباني وحدها في الحروب، بل تُستهدف أيضًا الذّاكرة والمعرفة وكل ما يَمنح الإنسان القدرة على التفكير والأمل. وفي غزّة؛ لم يقتصر الدمار على المنازل والبنية التحتيّة، بل امتدّ ليطال المكتبات والجامعات ودور النّشر، مُهدِّدًا بإلغاء أحد أهمّ مقوّمات الحياة الثقافية والتعليميَّة. من قلب هذه المأساة وُلدت مبادرة «غزّة تقرأ»، بوصفها استجابةً ثقافيَّةً وإنسانيَّةً تسعى إلى إعادة الحقِّ في القراءة لشعبٍ يعيش تحت وطأة حرب لا تعترف بأيّ حدود.

رسم توضيحي لمكتبة فرع شمال غزة التابع لجامعة القدس المفتوحة قبل تدميرها. آيسيغول نَيِيم العالم.

من غزّة وأوروبا والولايات المتّحدة، قرّر نحو ثلاثين شخصًا، التطوّع من أجل إنقاذ ذاكرة أماكن القراءة والكتابة في غزّةَ الّتي دمّرها الجيش الإسرائيلي، فأسّسوا مشروع «غزّة تقرأ»، والّذي يُعتبر ردًّا على تدمير الكتب والثقافة القرائية في القطاع. جميع أنواع المكتبات والأرشيف في المدارس، والمراكز الثقافيّة، والمباني البلدية، والجامعية والتاريخيَّة، إلى جانب دور النشر، والمطابع، والمكتبات التجارية، وحتّى المقاهي الأدبية، استُهدفت بشكل واسع ومنهجي في غزّة، بدءًا من الأسبوع الّذي تلا السّابع أكتوبر 2023 مباشرةً، فمنذ 9 أكتوبر، تعرّضت المكتبة المركزيّة للجامعة الإسلاميَّة وأرشيف قصر العدل للقصف، ومنذ ذلك الحين، تواصلت عمليات التدمير.

لقد أدَّت الحرب إلى اختفاء عشرات الآلاف من الكتب والنصوص والوثائق والأعمال المكتوبة وسط أنقاض المباني الّتي تمَّ قصفها أو تفخيخها، كما دُمِّرت الصحف، السجلّات الأرشيفيّة، المخطوطات، مقتنيات التراث، وكتب الأطفال، والكتب المدرسية والجامعية، بل وحتّى النوتات الموسيقيّة، والقصائد. إضافةً إلى كلّ هذا، تعمّد الاحتلال تخريب خوادم الحواسيب ممَّا يعني استحالة الوصول إلى الموارد الرقميَّة، وإفناء شكل آخر من أشكال القراءة.

دومينيك دوبار.

تقول دوبار إنَّ ما يحدث في غزَّة يرسم صورةً لعالم ثقافي ينهار بالكامل، رغم ذلك، تُشير إلى أنَّ هناك بارقة أمل، ففي ماي 2025، أنشأ طلّاب من غزَّة مكتبةً رقميَّةً بدائيَّةً عبر جمع نسخ إلكترونية من المقالات والأبحاث لتعويض فقدان مكتباتهم.

إنشاء مكتبة افتراضية

حدّدت مبادرة غزَّة تقرأ ثلاثة مجالات رئيسيَّة تلتزم من خلالها بالعمل على استعادة القراءة، أوَّلها إنشاء مكتبة افتراضية تُعوّض آثار تدمير خوادم الجامعات والمكتبات في غزَّة، وذلك من خلال توفير موارد إلكترونيَّة على منصَّةٍ رقميةٍ خفيفة يسهل الوصول إليها عبر الهواتف الذكية، بحيث تحتوي على مواد قراءة مخصَّصة لمختلف الفئات، مثل الأطفال، وطلَّاب الجامعات، ومتعلّمي اللغات الأجنبية. ومن شأن هذه المكتبة أن تُساهم في استعادة شروط التعليم على جميع المستويات، ودعم الطلّاب الّذين يتعلّمون اللغات الأجنبية عبر الإنترنت.

ويتضمن تطوير هذه المكتبة الافتراضية جانبًا تقنيًا أساسيًا، كما يشمل مشاركة موارد متعدِّدة اللغات مخصَّصة للشَّباب، بدعم من مكتبات وجامعات ومزوِّدي حزم رقمية ودور نشر من أنحاء العالم. وقد بدأ الطلاب والمعلّمون في غزّة بالفعل في إنشاء نوعهم الخاص من المكتبات الافتراضية، وتبادل الموارد النصيّة عبر تطبيقات المراسلة.

جرد شامل لأماكن القراءة المدمَّرة

كما تهدف مبادرة «غزَّة تقرأ» بحسب القائمين عليها، إلى القيام بجرد شامل قدر الإمكان لتوثيق تدمير الأماكن التي تُنتَج، وتُحفَظ، وتُخزَّن، وتُنشَر فيها الكتب والمواد المكتوبة الأخرى، وكذلك توثيق المواد المكتوبة التي دُمِّرت أو تضرّرت منذ أكتوبر 2023. ويتضمّن هذا الجرد تفاصيل دقيقة حول تاريخ وتدمير كلّ مؤسّسة أو مجموعة، من تاريخ الإنشاء، تاريخ التدمير، التحديد الجغرافي، الخلفية التاريخية، المواد والأنشطة الّتي كانت تُمارَس، التوثيق الفوتوغرافي، الشهادات، وغيرها.

ويهدف هذا الجرد أيضًا إلى تقييم احتياجات طلّاب الجامعات في غزّة من حيث القراءة، ورسم خريطة شاملة لكلِّ الأماكن المرتبطة بالقراءة الّتي تمَّ تدميرها، كتمهيد لمرحلة إعادة الإعمار القادمة، علمًا أنَّ نحو 4000 طالب يواصلون دراستهم بفضل البرامج الّتي وضعتها مبادرة التضامن الأكاديمي مع فلسطين.

ويُجرى هذا التقييم بشكل مستمر بالتعاون مع قرّاء غزَّة، سواءً من هم على الأرض أو في المنفى، بحيث يوجّه القائمين على المبادرة عملية استعادة جميع المعلومات المتعلّقة بالمباني والمجموعات التي فُقدت، بالإضافة إلى تكريم أمناء المكتبات والأرشيف الذين استُشهِدوا، وكذلك كلّ من استخدم أو أنشأ أو عمل مع المواد المكتوبة، ممّن لقوا حتفهم أو لا يزالون يموتون نتيجة القصف، أو الأمراض، أو المجاعة. يعمل مشروع «غزة تقرأ» أيضًا على تطوير استراتيجية، ومناصرة، وحشد كل القطاعات المرتبطة بالكتب وعالم الكتابة، ممّن هم على استعداد للتعاون ودعم الجهود المبذولة.

قدور فارغة تختصر مأساة إنسانية
أزمة الغذاء تُفاقِم معاناة النّازحين في غزّة

ياسمين بوالجدري
متخصصة في الإعلام العلمي

في مخيَّم جنين للنَّازحين بخان يونس جنوب قطاع غزَّة، يتجمَّع عشرات الرجال والأطفال وهم يحملون قدورًا فارغةً، مطالبين المنظمات الدولية بمواصلة تقديم المساعدات وعدم التخلِّي عن النَّازحين الّذين يواجهون ظروفًا قاسيةً.

لقد أثار قرار منظمة المطبخ المركزي العالمي (World Central Kitchen - WCK) تقليص توزيع وجباتها الساخنة في قطاع غزّة إلى النصف، من نحو مليون وجبةً يوميًا إلى 500 ألف وجبة بسبب «ضغوط مالية متزايدة»، احتجاجات بين الفلسطينيين الذين يعتمدون بشكل كبير على هذه المساعدات في ظل أزمة إنسانية وغذائية متفاقمة، لم تكن فيها الأواني الفارغة مجرد أدوات منزلية، بل تحولت إلى رمز لجوع يهدد حياة آلاف الأسر التي تنتظر وجبة قد تكون الوحيدة خلال يومها.

يؤكد سكان المخيم أن تقليص عمل المطبخ المركزي العالمي لا يعني فقط نقص عدد الوجبات، بل فقدان أحد أهم مصادر الدعم اليومي. فقد كانت المنظمة تدير مطابخ مجتمعية تخدم مخيمات النازحين، من بينها مخيمات تضم آلاف الأشخاص الذين يعيشون في ظروف بالغة الصعوبة.

لكن أزمة المساعدات في غزة لا ترتبط فقط بقدرة المنظمات الإنسانية على التمويل، بل تتصل أيضًا بالقيود المفروضة على دخول المساعدات وعمل المؤسسات الإغاثية. فقد أيدت المحكمة العليا الإسرائيلية قواعد تسجيل جديدة وصارمة على منظمات الإغاثة الدولية العاملة في غزة والضفة الغربية المحتلة، ما أثار مخاوف من صعوبة استمرار العديد من الجهات الإنسانية في العمل.

وتشمل الإجراءات الجديدة تقديم قوائم تفصيلية بأسماء الموظفين، وهو ما رفضته بعض المنظمات خشية تعريض العاملين الفلسطينيين فيها للخطر. كما أن سلطات الاحتلال ألغت تراخيص عدد من الوكالات الإنسانية الكبرى بعد رفضها الالتزام بهذ ه الإجراءات، فيما حذرت منظمات الإغاثة من أن أي تراجع إضافي في عمل المؤسسات الإنسانية قد يؤدي إلى فراغ يصعب تعويضه، خصوصًا أن الاحتياجات في غزة تتزايد يومًا بعد آخر.

ولا يقتصر تأثير تقليص عمل المطبخ المركزي العالمي على الجانب الغذائي فقط، إذ أدى القرار إلى فقدان مئات الفلسطينيين وظائفهم. فقد كانت المنظمة تشغّل آلاف العمال في مطابخها المجتمعية، في قطاع وصلت فيه نسبة البطالة إلى أكثر من 80 بالمئة وفق الجهاز المركزي للإحصاء الفلسطيني.

وقال أحد العاملين في المنظمة، خلال احتجاج نظمه موظفون فقدوا وظائفهم، إن القرار حرم عائلات كثيرة من مصدر دخلها، في وقت تعتمد فيه أسر عديدة بشكل كامل على الوجبات التي تقدمها المنظمة.

أما بالنسبة للأسر النازحة، فإن توقف هذه الوجبات يعني فقدان آخر ما تبقى من شبكة الأمان. تقول فاطمة عبد الله البسيوني، وهي أم فلسطينية نازحة في خان يونس: «في السابق، كان المطبخ المركزي العالمي يوفر وجبات، وكان الناس بالكاد يستطيعون تدبير أمورهم. كان الغداء يصل، أما الفطور والعشاء فلم يكونا متوفرين إلا من

خلال المساعدات المحدودة للغاية. الآن، إذا توقف المطبخ المركزي العالمي، فلن يكون هناك فطور ولا غداء ولا عشاء.»

وفي الوقت نفسه، تشير تقارير محلية ودولية إلى استمرار النقص في دخول المساعدات إلى القطاع. فقد أكد المكتب الإعلامي الحكومي في غزة أن عدد شاحنات المساعدات التي تدخل فعليًا أقل بكثير من الأعداد المتفق عليها، وأن نقص الوقود يمثل أزمة إضافية تعيق مختلف جوانب الحياة.

كما وثقت الأمم المتحدة تدهور الوضع الغذائي، مشيرة إلى انخفاض تدفق المساعدات، وإلى أن العديد من العائلات أصبحت تعتمد على كميات محدودة جدًا من الغذاء. وأكدت المنظمة الدولية أن القيود المفروضة على المعابر ومنع دخول بعض الإمدادات الأساسية أدت إلى نقص مزمن في الغذاء والدواء والاحتياجات الضرورية.

ومنذ بداية الحرب على غزة في أكتوبر 2023، قُتل مئات العاملين في مجال الإغاثة، بينهم سبعة من موظفي المطبخ المركزي العالمي الذين قتلوا في غارة استهدفت قافلتهم في دير البلح عام 2024. وتحذر منظمات حقوقية وإنسانية من أن استمرار تراجع المساعدات قد يعيد خطر المجاعة إلى الواجهة، خاصة في ظل عدم وصول الإمدادات بالحجم المطلوب لتلبية احتياجات السكان.

في خضم هذا المشهد المأساوي والخطير، يبقى القِدر الفارغ الذي رفعه أحد المحتجين في خان يونس صورة تختصر معاناة شعب بأكمله وشاهدا على حاجة ملايين المدنيين إلى مساعدات تتجاوز حدود الإغاثة المؤقتة نحو حماية حق الإنسان الأساسي في الغذاء والأمان.

45 درجة مئوية تحت الخيام
إبادة بيئية متواصلة منذ قرن

تحت حرارة لاهبة تبلغ 45 درجة مئوية داخل الخيام، يعاني الفلسطينيون في غزة من ظروف معيشية لا تُطاق، تتفاقم بسبب الحصار الإسرائيلي الذي يُقيّد بشدّة الوصول إلى المياه والوقود ومواد البناء وإعادة الإعمار. ويُحذّر العاملون في المجال الإنساني من العواقب الصحية الوخيمة، من الإرهاق والجفاف والتوتّر الاجتماعي، وصولاً إلى احتمالية ارتفاع الوفيات بين كبار السن والأطفال، فيما يندّد خبراء حقوق الإنسان بـ»فصل عنصري بيئي» يهدف إلى جعل الأراضي الفلسطينية غير قابلة للحياة.

ولا تقتصر هذه الاستراتيجية على غزة، بل تمتدّ إلى الضفة الغربية حيث يُقيّد الماء بنحو 83 لتراً للفرد يومياً، مقابل 165 لتراً للمستوطنين الإسرائيليين، مع حرمان الفلسطينيين من الوصول إلى البحر والمساحات الطبيعية. وتُوصَف هذه الممارسات بـ»الإبادة البطيئة» من قبل المدافعين عن الحقوق، إذ لا تُعتبر هذه الإبادة البيئية وليدة اليوم، بل هي حلقة في مسلسل متواصل منذ الانتداب البريطاني، ويعمّقها الاحتلال الإسرائيلي الذي يتسبّب في انهيار بيئي ممنهج.

يأتي ذلك في وقت كشف مكتب الأمم المتحدة للشؤون الإنسانية أن 67% من سكان غزة يعانون انعدام الأمن الغذائي و10% يقتربون من المجاعة.

في مواجهة هذا التدمير، لا يبقى أمام الفلسطينيين سوى «الصمود» كشكل من أشكال المقاومة والتمسّك بالأرض.

الشاطر الصغير

اكتشف • تعلم • تساءل

إشراف:

الشيماء أمين خوجة

في هذا العدد

59 كيف بدأ الإنسان رحلته مع السماء!

60 تعرف على قصة حياة النجوم!

61 اختبر معلوماتك

كاريكاتير

تبادلنا الأدوار... دون أن ننتبه.

تعرف على قصة حياة النجوم

بقلم: خديجة طوبال
نادي العنقاء للفلك

في ليلة هادئة، عندما ننظر إلى السماء ونرى النجوم تتلألأ فوقنا، قد نتساءل: من أين تأتي هذه النجوم؟ وهل لها قصة مثل قصصنا؟

تبدأ القصة في أعماق الكون، في أماكن بعيدة جدًا لا يمكننا الوصول إليها. هناك تنتشر سحب هائلة من الغاز والغبار تُسمّى السُّدُم. تبدو السُّدُم هادئة، لكنها في الحقيقة أماكن مليئة بالحركة، ومنها تبدأ ولادة النجوم.

داخل السُّدُم تتجمع كميات كبيرة من الغاز بفعل الجاذبية. شيئًا فشيئًا تقترب هذه الغازات من بعضها حتى تتكوّن كرة ضخمة وساخنة تُسمّى النجم الأوّلي. ومع ازدياد الحرارة والضغط في قلبها، تبدأ بإنتاج الضوء والطاقة. عندها يولد نجم جديد ويبدأ رحلته في الكون.

لكن النجوم لا تكون جميعها متشابهة، فبعضها صغير الحجم يُعرف بالأقزام الحمراء، وبعضها متوسط الحجم مثل شمسنا، بينما يكون بعضها الآخر عملاقًا وأكثر سطوعًا وحرارة.

خلال معظم حياته يعيش النجم على طاقة يصنعها بنفسه، ففي قلبه يتحول الهيدروجين إلى هيليوم، وتُنتِج هذه العملية كميات هائلة من الطاقة. لهذا السبب يضيء النجم ويرسل نوره وحرارته عبر الفضاء لملايين أو حتى مليارات السنين.

ومع مرور الزمن يبدأ الوقود في النفاد وهنا تدخل القصة فصلها الأخير. فإذا كان النجم صغيرًا أو متوسط الحجم، فإنه يتمدد ويصبح عملاقًا أحمر، ثم يفقد طبقاته الخارجية ويبرد تدريجيًا حتى يتحول إلى قزم أبيض، وهو نجم صغير وساخن لم يعد قادرًا على إنتاج الكثير من الطاقة.

أما إذا كان النجم ضخمًا جدًا، فإن نهايته تكون أكثر درامية. فعندما ينفد وقوده يحدث انفجار هائل يُسمّى المستعر الأعظم. يضيء هذا الانفجار الفضاء بقوة مذهلة، ثم يترك وراءه شيئًا جديدًا.

أحيانًا يتكوّن نجم نيوتروني، وهو نجم صغير جدًا لكنه شديد الكثافة بشكل لا يُصدق. ولتخيّل مدى كثافته، يمكننا أن نتخيل أن كتلة الأرض كلها تُضغط حتى تصبح بحجم حبة بازلاء صغيرة. ورغم صغر حجمها، فإنها ستحتفظ بكتلتها الهائلة، لذلك يُعدّ النجم النيوتروني من أكثر الأجسام كثافة في الكون.

أحيانًا يتكوّن ثقب أسود، وهو منطقة في الفضاء تمتلك جاذبية قوية جدًا لدرجة أن أي شيء يقترب منها، حتى الضوء، لا يستطيع الهروب.

قد يبدو لك أن القصة تنتهي هنا، لكنها في الحقيقة لا تنتهي أبدًا. فبقايا النجوم المنفجرة تنتشر في الفضاء وتختلط بالغاز والغبار، لتصبح جزءًا من السُّدُم من جديد. ومن هذه السُّدُم تولد نجوم أخرى.

هكذا تدور القصة بلا توقف: تولد النجوم في السُّدُم، وتعيش ملايين السنين وهي تضيء الكون، ثم تموت تاركةً وراءها المواد التي تساعد على ولادة نجوم جديدة. لتستمر رحلة النجوم عبر الكون جيلًا بعد جيل.

كيف بدأ الإنسان رحلته مع السّماء؟

بقلم: مهدي فضلان
الجمعية العلمية الفلكية لولاية الجزائر

هل تساءلتم يومًا أيّها الشطّار الصّغار: كيف بدأ علم الفلك؟ تعالوا في رحلةٍ شيّقةٍ لمعرفة القصّة كاملةً، هيًّا بنا نركب آلة الزّمن ونعود للماضي، لنرى كيف شاهد أجدادنا السّماء.. استعدّوا، فالرّحلة ستبدأ الآن..

الحضارات القديمة

نحطُّ الآن في زمن الحضارات الكبرى الّتي جاءت بعد عصور ما قبل التّاريخ، حيث اكتشف الإنسان معارف جديدة عن السّماء، وتعلّمت مختلف الشّعوب طرقًا لفهم حركة الأجرام السّماويّة. في بابل؛ طوّر العلماء الرياضيات، وقسّموا الدائرة إلى 360 درجة، وتوقّعوا الخسوف والكسوف. وفي مصر القديمة، اعتمد الفلّاحون على نجم «الشعرى اليمانية» لمعرفة فيضان النّيل وبداية الزّراعة. كما ساهمت حضاراتٌ أخرى كالهند والصين في فهمنا لحركة الأجرام، وهكذا بدأت المعرفة الفلكية تتوسّع بين الحضارات.

تأخذنا آلة السّفر عبر الزّمن الآن لعصر الإغريق، حيث انتقل الفهم عند اليونانيين إلى مرحلةٍ أكثر دقّةٍ، وبدأوا باستخدام العقل والرياضيات. فاقترح «أفلاطون» و«أرسطو» كروية الأرض، واستدلّ أرسطو على ذلك من شكل ظلّها على القمر أثناء الخسوف. وتمكّن «إراتوستينس» من حساب محيط الأرض بدقّةٍ كبيرةٍ اعتمادًا على قياس الظّلال والمسافات بين المدن. أمّا «بطليموس»، فقد وضع أشهر نموذج فلكي يفسّر حركة الكواكب والكون بشكل رياضي وعقلي، ورغم عدم صحّته لأنّه كان يعتبر الأرض مركزًا للكون، إلّا أنّه كان خطوةً مهمّةً في تطوّر العلم، واستمرّ اعتماده لقرونٍ طويلةٍ.

المسلمون..عباقرة السماء ومطوّرو الأدوات الفلكية

تطوّر علم الفلك بشكلٍ كبيرٍ، حيث لم يكتف العلماء بترجمة علوم اليونان والهند، بل طوّروها وأضافوا إليها اكتشافاتٍ مُهمّةٍ. اهتمّوا بالفلك لأغراض دينيّةٍ وعلميةٍ، فأنشأوا مراصد لمراقبة السّماء بدقّةٍ، وسجّلوا مواقع النُّجوم، ووضعوا جداول فلكية عُرفت باسم «الزيج». كما طوّروا وحسّنوا العديد من الأدوات الفلكية، وابتكروا أدوات جديدة مثل الإسطرلاب، والربع المجيب، والسدس الفلكي. ومن أبرز علماء هذه الفترة: البتاني، البيروني، الصوفي، وابن الشاطر، الّذين قدّموا إنجازاتٍ مهمّةٍ في قياس الزّمن وحركة الكواكب، لتكون هذه الحضارة مرحلةً أساسيّةً في تطوّر العلم، ومُمهّدةً للمحطّة القادمة.

ولادة الفلك الحديث

في عصر النّهضة بدأت الثورة العلمية الّتي غيّرت فهمنا للكون. اقترح «كوبرنيكوس» بأنّ الشّمس هي مركز النظام الشمسي، ثمّ جاء «تيكو براهي» الّذي رصد السّماء بدقّةٍ لسنواتٍ دون تلسكوب. واستخدم «كبلر» هذه المعطيات ليكتشف أنّ الكواكب تدور في مدارات بيضاوية. بعد ذلك استخدم «غاليليو غاليلي» التلسكوب لمراقبة السّماء، فشاهد جبال القمر وأقمار المشتري. لقد قدّم للبشرية أدلة قوية تدعم أن الأرض ليست مركز النظام الشمسي، ووضع «إسحاق نيوتن» قانون الجاذبية الّذي يفسّر حركة الكواكب، ليؤسّس بذلك لعلم الفلك الحديث.

بعد ذلك، أصبح علم الفلك علمًا واسعًا يشمل دراسة الكون كلّه. أوضح «آينشتاين» أنّ الجاذبية انحناءٌ في نسيج الزّمكان (زمان +مكان)، كأنّه نسيجٌ من حرير، والأجرام الكبيرة تصنع انحناءً فيه، واكتشف العلماء أنّ الكون يتمدّد، وأنّ مجرّتنا واحدة من مليارات المجرات. وأرسل الإنسان مركبات فضائيّة لاستكشاف الكواكب، كما وصلت بعض المسابير إلى خارج النظام الشمسي مثل «فوييجر ١»، ونعيش اليوم عصر استكشاف القمر عبر مهمة «أرتميس»، إضافةً إلى التلسكوبات الفضائية مثل «هابل» و«جيمس ويب» الّتي تكشف أسرار الكون العميقة.

كانت رحلة علم الفلك رحلة بحثٍ وتأمّل وشغف، جعلت الإنسان يفهم الكون ويتفكّر في خلق اللّه سبحانه وتعالى. أمّا الآن يا عالِم المستقبل، السّماء مليئةٌ بالأسرار الّتي تنتظر من يكتشفها، فهل أنت مستعدّ لبدء مغامراتك نحو النّجوم؟ ربّما تكون أنت العالِم القادم الّذي يرفع اسم الجزائر ويخدم العلم، أو من يكتشف أسرارًا جديدةً في الفضاء تُغيّر تاريخ البشرية. تذكّر أنّ كلّ اكتشافٍ عظيمٍ بدأ بسؤالٍ بسيطٍ ونظرةٍ إلى السّماء، فالمستقبل ينتظر من يحلم ويجرؤ على الاستكشاف!

اختبر معلوماتك عن كسوف الشمس

أكتب الإجابة الصحيحة

إعداد:
حمدوش إسراء ومحمد سراج
جمعية الشعرى لعلم الفلك

1 ما الذي يحدث أثناء كسوف الشمس؟

أ تختفي الشمس خلف القمر.
ب يمر القمر بين الأرض والشمس.
ج تدور الأرض حول الشمس.

الإجابة: .....

2 في أي طور يكون القمر عندما يحدث كسوف الشمس ؟

أ محاقا (أي مظلما تماما و لا يرى).
ب بدرا (دائرة كاملة).
ج هلالا .

الإجابة: .....

3 هل يمكن النظر إلى الشمس مباشرة أثناء الكسوف؟

أ نعم.
ب لا، لأنه قد يضر العينين.
ج فقط إذا كانت السماء غائمة.

الإجابة: .....

4 كم تستغرق ظاهرة كسوف الشمس كاملة عادة ؟ ..

أ بضع دقائق فقط.
ب يوم كامل.
ج بضع ساعات.

الإجابة: .....

5 كيف تبدو السماء أثناء الكسوف الكلي للشمس؟

أ تشبه وقت الغروب أو الليل لبضع دقائق.
ب تصبح مضيئة أكثر.
ج تمطر مباشرة.

الإجابة: .....

6 ما الأداة الآمنة لمشاهدة كسوف الشمس؟

أ النظارات الشمسية العادية.
ب نظارات خاصة بكسوف الشمس.
ج العين المجردة.

الإجابة: .....

7 هل يرى جميع سكان الأرض كسوف الشمس في الوقت نفسه؟

أ لا، يراه فقط من يمر فوقهم ظل القمر.
ب نعم.

الإجابة: .....

8 في أي وقت يرصد كسوف الشمس؟

أ في الليل.
ب عند شروق الشمس فقط.
ج في النهار.

الإجابة: .....

9 أي جسم سماوي يسبب كسوف الشمس؟

أ المريخ.
ب القمر.
ج الزهرة.

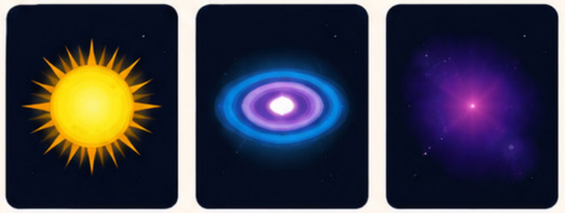
الإجابة: .....

الإجابات

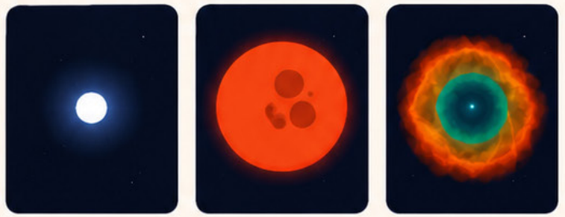
9. ب 8. ج 7. أ 6. ب 5. أ 4. ج 3. ب 2. أ 1. ب

ألعاب وتحديات

رتب الصور حسب دورة حياة النجم متوسط الكتلة



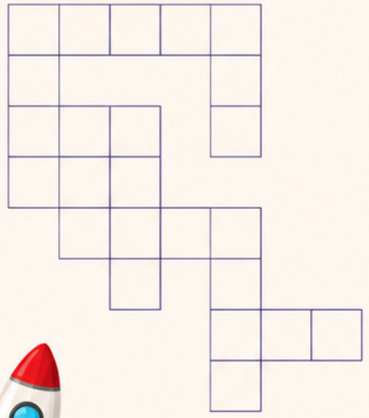
( ) ( ) ( )



( ) ( ) ( )

بنك الكلمات : سديم، نجم أولي، نجم عملاق أحمر، سديم كوكب، قزم أبيض

الكلمات المتقاطعة



أفقيا

2. جسيمات صخرية أو معدنية تدخل الغلاف الجوي وتترك أثرًا مضيئًا
3. الفرع العلمي الذي يختص بدراسة الأجرام وحركتها في الكون
4. المسار الإهليلجي الذي يتبعه جسم حول نجم أو كوكب
5. الجسم السماوي الذي يضيء في الليل ويكمل الأرض

عموديا

1. جسم يدور حول نجم ويملك جاذبيةً تسمح بوجود أقمار
2. جسم يبعث ضوءًا وحرارةً في الفضاء بسبب تفاعلات نووية داخله
3. الذي تنتشر فيه النجوم والمجرات
4. تجمع هائل من النجوم والغازات والغبار يحيط بهما جاذبية مشتركة

الحل

1 (سديم) 2 (نجم أولي) 3 (نجم)
4 (عملاق أحمر) 5 (سديم كوكبي) 6 (قزم أبيض)

حل الكلمات المتقاطعة:

أفقيا: 2- نيازك، 3- فلك، 4- مدار، 5- قمر.
عموديا: 1- كوكب، 2- نجم، 3- فضاء، 4- مجرة.

الأخبار الفلكية الوطنية

بقلم:عدنان صاولي
جمعية سهيل لعلم الفلك

رصد الاحتجابات الكوكبية من قلب صحراء أدرار

نأخذكم في رحلة معنا إلى قلب جمعية السهيل لعلم الفلك، لعيش تجربة الاحتجابات الكوكبية (Asteroid Occultations) من التخطيط إلى الميدان، وإلى غاية نشر النتائج، وللتعرّف على الخطوات التقنيّة واللوجستية الّتي خاضتها الجمعية بالتعاون مع فريق الرصد بقيادة الدكتور بابا عيسى جوناي، رائد علم الفلك التشاركي، لتسجيل رصد ناجح للكوكب القزم «هوميا» والكويكب «LU28 2013» في أعماق صحراء أدرار.

تبدأ العملية التقنية قبل أسابيع من الحدث من خلال دراسة خرائط الحسابات الفلكية، لتحديد استراتيجية التمركز حسب حجم الجرم المستهدف، فبالنسبة للمسارات الكبيرة (مثل الكوكب القزم هوميا)، ولأنّ حجم هذا الأخير كبير، فالظل الذي يصنعه على الأرض يكون عريضًا، ويمتدّ لمئات الكيلومترات. لهذا كان التحدي المطروح هو توزيع التلسكوبات على مسافات متباعدة جغرافيًا لالتقاط خطوط رصد متوازية، ممّا يسمح برسم الشكل الخارجي الدقيق للجرم، واكتشاف ما يحيط به من حلقات.

أمّا بالنّسبة للمسارات الصغيرة والدقيقة (مثل الكويكب LU28 2013)، فهنا يكون هامش الخطأ شبه منعدم لأنّ مسار الظل ضيق جدًا وخاطف، فأيّ انزياح بسيط في التقدير يعني فشل في الرصد. لذلك، تطلّبت الخطّة تقريب المسافات بين محطّات الرّصد لتكون على بُعد كيلومترات قليلة فقط من بعضها البعض، لضمان التقاط الظل بشكل حتمي.

بعدها ننتقل إلى الميدان بين لوجستيك التنقل وحماية المعدات فبمجرد تحديد نقاط الرّصد على الخريطة، بدأت مرحلة الانتقال إلى أدرار، ونقل أجهزة بصرية وإلكترونية حسّاسة لمسافات طويلة في البيئة الصحراوية، وهذا يتطلّب إجراءات خاصة. أوّلًا، تأمين الأجهزة الفلكية؛ حيث تمّ تغليف وتثبيت التلسكوبات بعناية داخل وسائل النقل، لحمايتها من الاهتزازات المستمرّة في الطرقات، والتي قد تؤثّر على دقّة المرايا والعدسات الميزانية.

بالإضافة إلى ذلك، تم توفير الطاقة المستقلة، نظرًا للرصد في مناطق نائية، أين قام الفريق بتجهيز بطاريات ومحوّلات طاقة ذات سعة كبيرة تُشحن مسبقًا، لضمان تشغيل كاميرات التبريد، ومحركات التلسكوبات طوال الليل دون انقطاع.

بعدها نصل إلى مرحلة تقسيم الفرق وجاهزية النصب الميداني، حيث تعتمد جاهزية جمعية «سهيل» على التوزيع الصارم للمهام بين الأعضاء، وقد تمّ تقسيم المشاركين إلى مجموعات ميدانية مصغرة، توزّعوا على النقاط المحددة عبر نظام «جي بي أس». وفور الوصول، انطلق العمل المتسلسل تحت ضغط عامل الوقت، بداية بتركيب العتاد ومواجهة الطبيعة، فقمنا بنصب الحوامل الحديدية للتلسكوبات وتثبيتها جيدًا لحمايتها من الرياح المحمّلة بالغبار، والّتي قد تؤثّر على الأسطح الزجاجيّة للمرايا، بعدها تمّ توجيه محاور التلسكوبات بدقة نحو القطب السماوي (Polar Alignment) لضمان ميزة التتبع التلقائي للنجم المستهدف، وتفادي خروجه من حقل الرؤية أثناء الحركة الالتفافية للأرض.

وفي المرحلة الثالثة تمّ ضبط وضوح الصورة FOCUS والكاميرات، من خلال ربط الكاميرات الفلكية بالحواسب وضبط وضوح الصورة بدقة عالية للحصول على نجوم نقطية حادة، وهو أمر أساسي لنجاح عملية قياس الضوء. وأخيرًا، ولمزامنة الوقت العالمي –وهذه هي أهمّ مرحلة– تمّ ربط أنظمة التسجيل بتوقيت أقمار GPS بدقة تصل إلى أجزاء من الألف من الثانية. فالخطأ في ثانية واحدة يعني ضياع حسابات مدار الكويكب تمامًا.

وفيما يخص العتاد المستعمل، يُشترط أن يكون هناك تكامل لتغطية كافة الاحتمالات أثناء الرصد، فقد تمّ توزيع العتاد التقني بذكاء بين الفرق:

1/ تلسكوب Celestron C8 EdgeHD: تم الاعتماد عليه لضمان الحصول على صور نجوم حادة وصافية على كامل مساحة كاميرا التصوير، ممّا يقلل من الأخطاء التقنية أثناء تحليل البيانات.

2/ تلسكوب Skywatcher 350 Flextube (قطر ١٤ بوصة): وُظّف بفضل فتحته الكبيرة لتجميع أكبر قدرٍ من الضوء، مما سمح برصد النجم الباهت جدا، والخاص بالكويكب LU28 2013، ورصد أيّ تغير طفيف في الإضاءة لحظة الحجب.

الثمرة العلمية للرصد

النجاح الميداني لفرق جمعية «سهيل» تكلل باستخراج «المنحنيات الضوئية» للاحتجاب (وهي رسوم بيانية توضح لحظة اختفاء النجم وعودته). هذه المعطيات لا تبقى مخزنة في الحواسب الشخصية، بل يتم رفعها فورا إلى منصات ومواقع دولية مشتركة مخصّصة لبيانات الاحتجابات الفلكية.

تشكل هذه البوابات الرقمية حلقة الوصل المثالية؛ حيث يرفع الهواة المحترفون أرصادهم الميدانية الموثوقة، ليستعملها الباحثون والأكاديميون في المراصد الدولية كبيانات جاهزة لتحليل أبعاد وأقطار الكويكبات، ممّا يثبت احترافية وجاهزية الكفاءات الجزائرية في المحافل العلمية الدولية.

الأخبار الفلكية العربية

أبرز أنشطة بعض الجمعيات والمبادرات الفلكية في الوطن العربي

بقلم:بسمة دياب
الجمعية الفلكية الأردنية

الأردن

الجمعية الفلكية الأردنية
محاضرات وفعاليات رصد

تم تنظيم برنامج محاضرات أسبوعيّة مع بثّ عبر تطبيق «زوم» في منتدى الجمعية الفلكية الأردنية، ومن بينها محاضرة «من المشغل إلى النجوم» حول تطوير تقنيات التلسكوب، قدّمها رامي عزب ويوسف الشيشاني، وكانت نتاج عملهما على مدى أسابيع. كما قدّم خالد التل محاضرةً في أساسيّات فلكية بعنوان «ظواهر فلكية جميلة». وضمن سلسلة قدّمت أفنان أبو قليشة «فيزياء ومبادئ عمل التلسكوب». وتحضيرًا للفعاليات الرمضانية كانت هناك ورشة بعنوان: «ما نحتاج فهمه عن الهلال» بإشراف مروان الشويكي وأفنان أبو قليشة ودلال اللالا ويحيى عيد، وتبع ذلك فعاليتا رصد كبيرتان في مدرسة حكومية بإشراف كل من حسين لبزو وجمانة حجازين، لتُتوّج هذه الفعاليات برصد حاشد أقامته الجمعية بالتعاون مع جامعة عمّان العربية، وذلك بإشراف رئيس الجمعية عمار السكجي، بحضور المئات لرصد هلال رمضان 1427 هـ. كما نظّمت عدّة خرجات رصدية كان آخرها في منطقة «سدّ الحرث» جنوب شرق عمان بإشراف عدلي الحلبي وإمام حمدي.

سوريا

الجمعية الفلكية السورية
نشاطات لفائدة طلبة المرحلة الإعدادية

واصلت الجمعية الفلكية السورية فعالياتها خدمةً لأعضائها وللمجتمع المحلي في شتّى المدن السورية، ومن ذلك تنفيذ نشاط مع طلبة المرحلة الإعدادية المتوسطة بالتعاون مع مؤسسة « رياديو المناخ» بمناسبة يوم التساوي «Equal Day Event» والّذي نظّمه مكتب لبنان لتعليم الفلك تحت رعاية اتّحاد الفلك الدولي.

كما كان هناك نشاط حاشد لالتماس هلال رمضان شارك فيه كادر الجمعية وعائلات ومهتمّون، إضافةً إلى تنظيم ملتقياتٍ كان آخرها مشاركة الجمعية الفلكية السورية في المؤتمر السنوي التّاسع والثلاثين لتاريخ العلوم عند العرب، والّذي نظّمه معهد التراث العربي في جامعة حلب في إبريل/نيسان.

العراق

فريق دار السلام الفلكي ببغداد
أطفال يستكشفون قبة الأسرار الفلكية

قام فريق دار السلام الفلكي ببغداد في العراق، وبإشراف سماح فلاح وثلّة من الشباب والشابات الواعدين، بتنظيم فعاليات متنوّعة من أهمّها سلسلة من المخيمات والخرجات الرّصدية في أماكن منتقاة، بعيدًا عن التلوّث الضوئي، ومن ذلك المخيّم الفلكي الكشفي الّذي أقيم لصالح مديرية شباب ورياضة المثنى، عقب ذلك تم توزيع شهادات المشاركة على المشاركين.

من جهة أخرى تم تنشيط قبّة الأسرار الفلكية المتنقّلة في عروضها المقدمة للأطفال والنّاشئة، حيث تلقت تفاعلًا كبيرًا.

فلسطين

جامعة بيرزيت في فلسطين
أنشطة رصدية رغم ظروف الاحتلال

وسط ظروفٍ صعبةٍ يعيشها الأهل في مختلف مناطق فلسطين بسبب التّضييق تحت الاحتلال، تأثّرت الأنشطة الفلكية لصعوبات التنقّل خاصّة، الأمر الّذي حاصر الفعاليات الفلكية.

رغم ذلك كانت هناك محاولاتٌ للعمل، ومن ذلك ما يقوم به مرصد «ميشيل وسنية حكيم» من خدمةٍ فلكيةٍ لطلبة جامعة "بير زيت". من أمثلة ذلك تنظيم أنشطة رصدية محدودة، كان من بينها رصد وتصوير مذنب «ليمون» C/2025 A6- Lemmon من طرف عدي زغل، أحمد دقة وخطاب أبو الرب.

الأخبار الفلكية الإفريقية

بقلم:جمال ميموني
وحدة البحث في الوساطة العلمية

مؤتمر الجمعية الأفريقية لعلم الفلك لعام 2026

كان الحدث الأبرز في النصف الأول من العام هو المؤتمر السنوي السادس للجمعية الأفريقية لعلم الفلك، الذي استضافته جامعة بوتسوانا الدولية للعلوم والتكنولوجيا في كاساني، في الفترة الممتدة من 22 إلى 27 مارس 2026. وشهد المؤتمر أكبر حضور في تاريخ الجمعية، حيث تجاوز عدد المشاركين المسجلين 600 مشارك، وحضر أكثر من 200 شخصياً. وفي هذا المؤتمر، مُنح الدكتور غودسون فورتشن آي (من جامعة كوبربيلت في زامبيا) جائزة أفضل أطروحة دكتوراه على مستوى أفريقيا، وذلك لأبحاثه حول انفجارات أشعة غاما.

وقد تحدت دراسته الافتراض التقليدي بأن الفوتون عديم الكتلة، مستنتجة كتلة غير صفرية للفوتون ($1.58\pm0.009\times10^{-37}$ kg) استناداً إلى التأخيرات الزمنية في وصول الفوتونات. بطبيعة الحال، لم يقبل الجميع هذه النتيجة، بما في ذلك كاتب هذا القسم. كما تطوع أكثر من 50 شخصاً للتواصل مع أكثر من 500 متعلم و30 معلماً في منطقة تشوبي، حيث قدموا التوجيه المهني وورش عمل في الروبوتات وعروضاً بالقبة السماوية المتنقلة. وشهد المؤتمر أيضاً النسخة الرابعة من هاكاثون الجمعية الأفريقية لعلم الفلك، الذي تحدى 28 طالباً أفريقياً لتطوير نماذج تعلم آلي قادرة على تقدير المسافات الانزياحية للمجرات والكوازارات، باستخدام بيانات ضوئية متعددة النطاقات.

جنوب أفريقيا تستضيف أسبوع كارمان

للمرة الأولى في تاريخه الذي يمتد سبع سنوات، سيُقام أسبوع كارمان المرموق في القارة الأفريقية، ومن المقرر عقده في الفترة من 2 إلى 6 نوفمبر 2026 في كيب تاون.

وسيستضيف الحدث، الذي يُقام بدعوة فقط، 15 من قادة الفضاء العالميين البارزين لتعزيز التعاون عبر الحدود وبناء الثقة في قطاع الفضاء.

مشروع SKA-Mid يحقق «الترابط الأول»

حقق مرصد مصفوفة الكيلومتر المربع «الترابط الأول» باستخدام اثنين من أطباقه متوسطة التردد في جنوب أفريقيا، وقد أثبت هذا الإنجاز الهندسي الحاسم بنجاح لأول مرة قدرة الأطباق على العمل معاً كجهاز تداخل.

التعليم وبناء القدرات

أ- فتح باب الترشح لمنح PAP2SN:

في 2 أبريل 2026، فتحت الشبكة الأفريقية لعلوم وتكنولوجيا الكواكب رسمياً باب التقديم لمنح التنقل الأكاديمي، حيث يمول البرنامجُ الطلاب الأفارقة لدراسة الماجستير والدكتوراه في علوم الكواكب والفضاء، مع تخصيص 50% من المنح بشكل صريح للنساء والمرشحين من الفئات المهمشة.

ب- المدرسة الصيفية للجمعية الفلكية الأفريقية في علم الفلك والفيزياء الفلكية (بنين)

وفي الفترة من 6 إلى 9 يوليو 2026، أُقيمت المدرسة الصيفية للجمعية الأفريقية لعلم الفلك في علم الفلك والفيزياء الفلكية، في قسم الفيزياء بكلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة أبومي كالافي. وقد ولدت هذه المبادرة من مناقشات سابقة في فبراير 2026 بهدف دمج علم الفلك والفيزياء الفلكية في البرامج الجامعية القائمة. وتمثلت الأهداف الأساسية في دعم المدرسة الصيفية، وتشكيل مستقبل تدريس علم الفلك في بنين، وتعزيز التعاون الدولي، وتحديد الأنشطة البحثية المستقبلية. وقد شارك في الحدث نحو 25 مشاركاً، واستهدف تحديداً المحاضرين الجامعيين ومرشحي الدكتوراه والأكاديميين في بداية مسيرتهم المهنية لخلق تأثير مضاعف للمناهج الفلكية في الجامعات البنينية. ونُظّمت المدرسة بجهود مشتركة بين جامعة أبومي كالافي والجمعية الأفريقية لعلم الفلك، وحظيت بدعم دولي كبير من الاتحاد الفلكي الدولي، ومرصد جنوب أفريقيا للراديو الفلكي، وجامعة جنوب أفريقيا، ومجلة العلوم الأفريقية African Science Star ومركز البحث العلمي والتقني في الجزائر.

الجزائر توسع الأسطول الفضائي الأفريقي

في يناير 2026، أطلقت الجزائر بنجاح قمرين صناعيين جديدين، وهما ALSAT-3A و ALSAT-3B، إلى المدار. وقد وسّع هذا الإنجاز الوجود الأفريقي في مدار الأرض، ليصل العدد الإجمالي للأقمار الصناعية التي أطلقتها الدول الأفريقية منذ عام 1998 إلى 69 قمراً، مما يعزز قدرات القارة في مراقبة البيئة والاستجابة للكوارث.

أول اتصال مباشر لكينيا مع محطة الفضاء الدولية

أعلنت وكالة الفضاء الكينية أنها ستستضيف أول جلسة اتصال مباشر في تاريخ البلاد مع رواد الفضاء على متن محطة الفضاء الدولية في 7 أغسطس 2026. وسيُعقد هذا الحدث في نيروبي، وهو مصمم لتعزيز تعليم العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات وإلهام جيل جديد من الشباب الكيني، مما يجعل كينيا الدولة الأفريقية الوحيدة المختارة لدورة 2026 من برنامج ARISS.

الإنجازات في البنية التحتية والتمويل

شهد مطلع العام التزامات مالية ودولية كبرى لمشاريع البنية التحتية المستضيفة في أفريقيا، ومن أبرزها مضاعفة ميزانية التلسكوب الجنوب أفريقي (SKA)، حيث أعلنت وزيرة المالية الجنوب أفريقية في فبراير 2026 أن البلاد ستضاعف إنفاقها على البنية التحتية لمشروع مصفوفة الكيلومتر المربع، وتخصص ميزانية 2026 مبلغ 3 مليارات راند إضافية على مدى ثلاث سنوات لتمديد مصفوفة ميركات، ومراكز معالجة البيانات، وربط ألياف بصرية إلى كيب تاون. وفي يونيو 2026، وقّعت الجمعية الأفريقية لعلم الفلك مذكرة تفاهم مع الجمعية الأوروبية لعلم الفلك، حيث تُرسي الاتفاقية إطاراً طويل الأمد لتعزيز التنقل الثنائي للباحثين، وتطوير القدرات، والتعاون في البنية التحتية الفلكية بين أفريقيا وأوروبا. كما أُعلن في 17 يونيو 2026 أن مدينة كيب تاون بجنوب أفريقيا ستستضيف أسبوع كارمان المرموق في نوفمبر 2026، وهي المرة الأولى التي يُقام فيها هذا الحدث العالمي الحصري، بدعوة فقط لقادة الفضاء البارزين، في القارة الأفريقية.

مقراب سالت يتعاون مع مرصد فيرا روبين

في فبراير 2026، بدأ المقراب الجنوبي الأفريقي الكبير والتلسكوب الآلي لي سيدي (بقطر متر واحد) رسمياً في متابعة التنبيهات الفلكية الصادرة عن مرصد فيرا روبين الواقع في تشيلي. وبالاستفادة من الموقع الجغرافي لجنوب أفريقيا وبرنامج المرصد الذكي، ستوفر هذه التلسكوبات توصيفاً طيفياً مفصلاً وسريعاً للأحداث الديناميكية مثل المستعرات الأعظمية والثقوب السوداء المتوهجة.

اكتشاف قياسي بواسطة تلسكوب ميركات

اكتشف علماء الفلك باستخدام تلسكوب ميركات الراديوي الجنوب أفريقي أبعد ميزر هيدروكسيل عملاق تم اكتشافه على الإطلاق، وهو عبارة عن «ليزر فضائي» طبيعي، يقع في مجرة تندمج بعنف على بعد أكثر من 8 مليارات سنة ضوئية. وقد تم التقاط الإشارة الخافتة في خمس ساعات فقط من وقت الرصد، بمساعدة عدسة الجاذبية.

«فشار» الخيال العلمي

بقلم: د. هشام قرقوري

فيلم: مشروع هيل ماري

يروي فيلم Project Hail Mary، المقتبس عن رواية آندي وير، قصة عالم الأحياء رايلاند غريس الذي يستيقظ وحيدًا على متن مركبة فضائية، ليكتشف أنه في مهمة مصيرية لإنقاذ الأرض من ظاهرة غامضة تهدد بانخفاض طاقة الشمس.

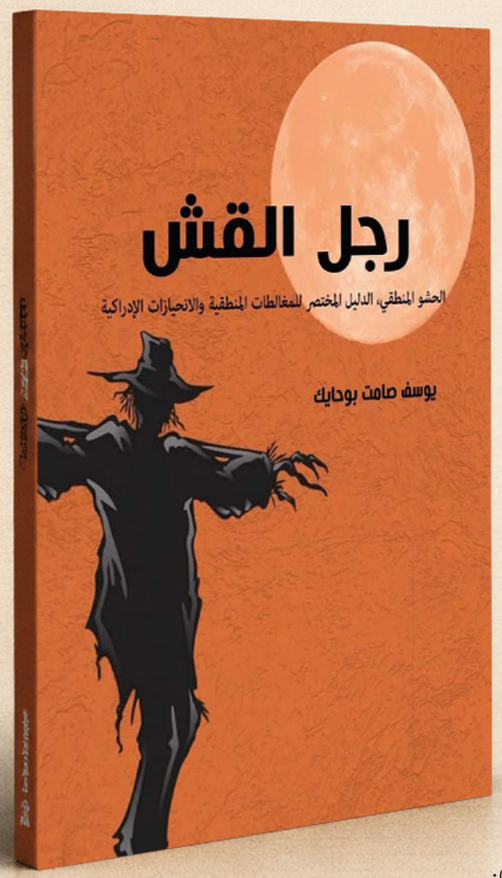
يمزج الفيلم بين الخيال العلمي ومفاهيم حقيقية في الفيزياء الفلكية والأحياء الدقيقة، حيث يعتمد الأبطال على المنهج العلمي، والتجارب، والتحليل الطيفي، والاستنتاج المنطقي لفهم المشكلة وإيجاد الحلول. ورغم أن الفرضية الأساسية خيالية، فإن طريقة تناولها تجعل الفيلم من أكثر أعمال الخيال العلمي احترامًا للعلم.

يؤكد الفيلم أن المعرفة، والتعاون، والإبداع العلمي هي أعظم أدوات البشرية لمواجهة المجهول، ويقدم تجربة مشوقة تذكرنا بأن العلم لا يقتصر على المختبرات، بل قد يكون مفتاح إنقاذ العالم.

خير جليس

رجل القش

بقلم: ياسمين بوالجدري



يعتبر كتاب «رجل القش: الدليل المختصر للمغالطات المنطقية والانحيازات الإدراكية» ، للمهندس يوسف صامت بوحايك، الباحث الجزائري في مجال الذكاء الاصطناعي والحوسبة، دليلا فعليا يساهم في تقريب وتبسيط المنطق اللاصوري والتفكير النقدي لغير المتخصصين.

في بداية الكتاب يشرح المؤلِّف مفاهيم أساسية تتعلق بالتفكير وعلاقته بالمنطق، والاستدلال وتركيبه الصحيح، ثم مفهوم المنطق، ليوضح بعد ذلك العلاقة بين الدليل والتفسير المنطقي ووجهات النظر، معتمدا على أسلوب سلس ومفهوم مدعم بأمثلة من نقاشاتنا اليومية، قبل أن يبدأ في شرح مختلف المغالطات المنطقية والانحيازات الإدراكية التي يمكن أن يقع فيها العقل البشري بقصد او عن غير قصد.

ويستعرض الكاتب أهم المغالطات المنطقية فيشرح الأخطاء الشائعة في الاستدلال وكيفية الرد عليها، مثل «مغالطة رجل القش» التي تعني تحريف حجة الخصم لتسهيل مهاجمتها، بالإضافة إلى مغالطات أخرى كالتعميم المتسرع والمنحدر الزلق ومغالطة الشخصنة وغيرها. كما يقدم المؤلِّف مجموعة من الانحيازات الإدراكية، ليوضح كيف تتأثر أحكامنا العقلية بأمور كالانطباع الأول، والانحياز التأكيدي.

باستخدام لغة بسيطة تتجنب المفاهيم الفلسفية المعقدة، يكشف لنا الكتاب أساليب الخداع المستعملة في عملية الاستدلال ومواطن الخلل المرافقة لها في عملية التفكير، لذلك يُعد مرجعًا مهمًا لغير المتخصصين الراغبين في التعمق في المنطق اللاصوري والتفكير النقدي.

Editorial

Between the Pulsations of the Stars and the Sorrows of Humanity

A century ago, astronomy barely touched upon the secrets of the stars. Today, we conceive the star as the most fundamental object in the universe. Much like the biological cell is the elementary building block of living things, the star is the indispensable matrix for cosmic complexity, forging the heavy elements essential to life. Within its core, these heavy elements are forged, and around it, planetary systems organize, weaving the backdrop of galactic ecology.

This eleventh issue plunges you into the heart of the "Stellar World." In our main dossier, our contributors explore the internal workings of these thermonuclear reactors. We also have the honor of hosting within our pages the Danish researcher Jørgen Christensen-Dalsgaard, a major figure in stellar physics and the spiritual father of asteroseismology, a booming field that probes stellar vibrations to map the invisible interior of stars. Furthermore, we give the floor to Carla Sharpe for the Africa2Moon project, a landmark initiative led by the Foundation for Space Development Africa aimed at deploying the continent's first scientific mission to the Moon while inspiring the next generation of African scientists and engineers.

As usual, the various other sciences are generously covered. Notably, we welcome the Algerian researcher Karim Zaghib, a world authority on lithium batteries, who deciphers for us the future of this "white gold" of the energy transition and the strategic opportunities it holds for Algeria. Moreover, from fundamental physics to regional technological advancements, this issue offers a rich and accessible panorama for all curious minds. Our usual sections, including the spaces dedicated to young readers and major scientific news, continue to build bridges between academic rigor and public dissemination.

Yet, our eyes cannot turn away from earthly realities. The dossier on Gaza is here, as always, with a special focus on the "Gaza Reads" (غزة تقرأ) initiative. Amidst the rubble, this campaign demonstrates that knowledge remains the ultimate weapon of resilience. Just as stars convert their matter into light, the people of Gaza transform their pain into an exemplary intellectual awakening. Out of the ashes of destruction, the light of reconstruction will undoubtedly emerge. May this issue remind us that the quest for knowledge is inseparable from human dignity. Asteroseismology teaches us to listen to the hidden vibrations of the stars; history compels us to listen to the pulsing courage of oppressed peoples.

Jamal Mimouni

Table of Contents

Thematic Dossier : The Stellar World

- How Stars are Born and how they Die?, Hichem Guergouri
- Stellar Diversity: How Light Reveals the Secrets of the Universe , Omar Nemoul
- When Stars Break the Rules of Physics, Jamal Mimouni
- Pa 30: Solving an 850 - Year-Old Mystery, Jamal Mimouni
- The Issue's Guest: Jørgen Christensen-Dalsgaard: The Astronomer Who Taught Us to Listen to the Stars
- 2026 Shaw Prize in Astronomy: Two Scientists Win for Their contribution to Stellar Astrophysics

General Science Articles & Activities

- Interview with Carla Mitchell The Woman Behind "Africa2Moon" Project
- Interview with Prof. Karim Zaghib: Lithium.. The White Gold
- Mission Artemis II: A Renewed Dream of Returning to the Moon, Echeima Amine Khodja
- Beyond Solar Panels: The Hidden Science Behind Clean Energy, Aissa Meflah
- Solar Energy on the Moon, Fatima Zahra Benarab
- Hydrology; Understanding Groundwater and Geothermal Energy, Tarek Drias
- Abu al-Nasr Mansur Ibn Iraq, Boubaker Khaled Sadallah
- An Astronomical Adventure in the Heart of the Algerian Sahara, Amr Abdulwahab

Science Paparazzi

- Latest Science News, Jamal Mimouni & Echeima Amine Khodja

Special Issue's file

- Daughter of More Than One Father: Palestinian Artist Fatima Ali Abu Ouda
- "Gaza Reads" Initiative: A Battle to Save Memory — Yasmine Bouldjedri
- Empty Pots Tell a Human Tragedy: The Food Crisis Deepens the Suffering of Gaza's Displaced
- 45°C Under the Tents: A Century of Ongoing Environmental Destruction

The Smarties Corner

- Discover the Life Story of Stars — Khadidja Toubal
- How Did Humanity Begin Its Journey with the Sky? — Mehdi Fadlane
- Test Your Knowledge of Solar Eclipses — Israa & Mohamed Siraj Hamdouche
- Test Your Knowledge, Echeima Amine Khodja

From Each Nebula a Star

- Algerian, Arab & African Astronomy Activities
- Popcorn...Science and Fiction: Project Hail Mary, Hichem Guergouri
- The Best Companion Reader: "The Scarecrow", Yasmine Bouldjedri

فريق المجلّة

رئيس التحرير
ياسمين بوالجدري

الإشراف العام و التدقيق العلمي
جمال ميموني

مسؤول التصميم و الأعمال الفنية
هشام قرقوري

التدقيق اللغوي
ياسمين بوالجدري، فلة داود

التحرير
عمر نمول، هشام قرقوري، ياسمين بوالجدري، جمال ميموني، الشيماء أمين خوجة، فلة داود

Editor in Chief
Bouldjedri Yasmine

General Supervision
Jamal Mimouni

Design & Graphics
Hichem Guergouri

The Editorial Team
Omar Nemoul, Hichem Guergouri, Yasmine Bouldjedri, Jamal Mimouni, Echeima Amine Khodja, Fella Daoud

Linguistic Review Team
Yasmine Bouldjedri, Fella Daoud

+213 (0) 771 56 06 58
http://mediation.cerist.dz/chiheb
www.cerist.dz
chihebmagazine@gmail.com

اللجنة العلمية

جمال ميموني	CERIST & جامعة قسنطينة 1 - الجزائر
نضال قسوم	الجامعة الأمريكية بالشارقة- إ. ع. م.
حمزة لبيض	NQCC & RAL - Oxford - المملكة المتحدة
نسيم سغواني	مركز CRAAG - الجزائر العاصمة - الجزائر
شراف شابو	جامعة سطيف - الجزائر
سفيان كمون	رئيس الجمعية الفلكية التونسية - تونس
محمد عودة	مركز الفلك الدولي، ICOP، أبو ظبي- إ. ع. م.
عمر فكري	مكتبة الإسكندرية، المركز العلمي - مصر
روجيه حجار	جامعة سيدة اللويزة Notre Dame - لبنان
سليمان بركة	جامعة الأقصى، غزة، وجامعة كالغاري، ألبيرتا، كندا
رياض بغدادي	جامعة نيويورك - أبوظبي - الإمارات العربية المتحدة

Jamal Mimouni	CERIST & Univ. Constantine1, Algeria
Nidhal Guessoum	American Univ. of Sharjah, UAE
Hamza Labiad	NQCC - RAL Space Oxford., UK
Nassim Seghouani	CRAAG, Algiers, Algeria
Charaf Chabou	Sétif Univ., Algeria
Sofien Kamoun	Société Astronomique de Tunisie ‹SAT›, Tunisia
Mohamed Odeh	Intl. Center of Astronomy, ICOP, Abu Dhabi, UAE
Omar Fikri	Bibliotheca Alexandrina, Science Center, Egypt
Roger Hajjar	Notre Dame Univ., Lebanon
Suleiman Baraka	Al-Aqsa Univ., Gaza & Univ. Calgary, Alberta, Canada
Riyadh Baghdadi	NewYork Univ., Abu Dhabi, UAE

"Scientific Echiheb" *is a science magazine edited by the Research Unit in Scientific Mediation (CERIST-Constantine) and the Sirius Astronomy Association at Constantine in Algeria, in collaboration with the Directorate of Scientific Research and Technological Development (DGRSDT). It tackles scientific issues of timely relevance with a strong focus on astronomical ones. It aims at spreading scientific culture through original articles written by astronomers both professional and amateurs, as well as students from various scientific fields, making sure that the information provided is from reliable sources and we are strongly committed to relentlessly fight against this new age curse that is fake news.. It also makes a point of bringing the facts from leaders in the fields around the world by conducting extensive interviews with some of them.*

The name of the magazine is inspired by the Echiheb magazine founded by Sheikh Abd El-Hamid Ibn Badis, the founder of the Association of Algerian Ulema which was instrumental in preparing the Algerian people for the struggle for independence.

الشهاب العلمي

mediation.cerist.dz/chiheb

من تصوير: عمر عبد الوهاب بصحراء الجزائر

A M R A B D U L W A H A B