مسارات في الفيزياء

مادة الكون العجيبة

البلازما

مقابلة مع الأستاذ الدكتور محمد حسن
المدير التنفيذي المؤسس ثم رئيس الـ TWAS

العدد الثالث
سبتمبر/أيلول 2024

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

مسارات في الفيزياء

رئيس الجمعية الفيزيائية العربية
شعبان خليل

رئيس التحرير
نضال شمعون

فريق التحرير
عادل عوض
شوقي الدلّال
أحمد معروف
محسن زهران

اللجنة الاستشارية
السيّد إبراهيم لاشين
عمار سكجي

الهيئة التنفيذيّة
راوية رمضان
إيمان طه
رند الفار
دانا عبد الغني
ريم بري

فريق التصميم
مسار المطيري
أفنان محمد علي

نبذة عن المجلّة: تهدف مجلّة "مسارات في الفيزياء"، الصادرة عن الجمعية العربية للفيزياء، إلى جعل المعلوماتِ المَعرفيّة العميقة مُتاحةً للقارئ المُثقَّف في العالَم العربي. تشرح مقالاتُ المجلّة، باستخدام عباراتٍ بسيطة في اللغة العربية الفُصحى، الأبحاثَ المُتقدِّمةَ في العلوم الفيزيائية/الرياضية، والتي تُغطّي موضوعاتٍ في علوم الفيزياء/الكيمياء/الرياضيات والهندسة. المجلّةُ ملتزمة بنشر المعرفة الموثوقة، وبتعزيز فهمنا للطبيعة، وبتشجيع الثقافة العلمية في العالَم العربي. كما أنها تبقي القارئ على اطّلاع بأحدث الأخبار العلمية والتقانيّة والابتكارات والأفكار في عالَم العلوم المُثير والمتطوِّر دائمًا. تحتوي المجلّة على مقابلات مع علماء مشهورين وعلى معلوماتٍ إثرائيّة مُفيدة لطلاّب المرحلة الجامعيّة

"Trajectories in Physics", published by the Arab Physical Society, makes what would otherwise be inaccessible, specialist knowledge, accessible to the lay reader in the Arab World. Its articles explain, using simple terms in standard Arabic language, advanced research in the physical/mathematical sciences, including physics/chemistry/mathematics and engineering topics. It is committed to disseminating trustworthy knowledge, enhancing our understanding of the nature, and promoting scientific culture in the Arab World. It also will keep the reader up-to-date with the latest scientific and technological news, innovations and ideas in the exciting, ever-changing world of science. It features interviews with renown scientists and some pedagogical notes useful for university students.

المحتويات

مقدمة رئيس التحرير 3
البلازما العجيبة: مادة الكون 6
الموجات اللاخطية المنتشرة فى بلازما الفضاء 24
الزجاج: مادة هندسية قديمة وتطبيقات متقدمة ولغز علمي 34
مقابلة مع الأستاذ الدكتور محمد حسن رئيس الـ TWAS..... 46
التخليق النووي البدئي: قصةٌ وقيود على نظريّات الثقالة المُعدَّلة 61
تكنولوجيا (تقانة) النانو: من التنبؤات إلى التطبيقات العلمية 76
كتاب: قصّة الكمّ المثيرة 85
كتاب: مُقرَّر أوّلي في نظرية الأوتار 87
علماء، معلِّمون ومربّون: الدكتور مكي الحسني الجزائري..... 89
موضوعات إثرائية..... 91
نوبل في الفيزياء: هانز ألففين Haans Alfven رائد فيزياء البلازما 97
مسألة للطلاب 99
إعلان: مؤتمر دولي في فيزياء الطاقات العالية 101
إعلان عن إطلاق مجلّة 103

مقدّمة رئيس التحرير

نضال شمعون

يسـرّني أن أرحّب بقرّاء العدد الثالث -صيف 2024- من مجـلّة "مسـارات في الفيزيـاء" الصـادرة عن الجمعيّة العـربيّة للفيزياء، وأتقدّم بجزيل شـكري لمن سـاهم وسـاعد في إتمامِه، قبل "موسـم" جـوائز نوبل بداية تشـرين الأوّل-أكتوبر.

لا تزال المجـلّة -كمـا تبيّن على وجـه الخصوص خلال عطـلة الصيف المـاضي- تحتاج إلى تعـريفٍ أكبر في المجتمعـات البحثيّة العربيّة، ولكن ما سـرّني كان أوّلًا وجـودَ ردودِ فعـلٍ إيجابيّة من طلاّب جامـعيّين أنشؤوا زمـرَ مناقشةٍ خـاصّةً بهم يُعلِمون بعضهـم بعضًا من خلالهـا بصدور أيّ عددٍ جديـد من المجلّة، ليبحثوا في الأفـكار المُتضمَّنة، ويحاولوا حلّ المسـائل المطروحة، وثانيًـا استلامَ مقـالاتٍ ألّفهـا طلاّبٌ في مرحـلة الدراسـات العليـا عن مواضيع رسـائل بحوثهـم -ربّما- وجدنـا بعضَها منـاسبةً تمامًا للنشـر في المجلّة، كما فعلنـا في هذا العـدد. وإن وجد البـعض من الطلاّب وخـاصّةً في المرحلة الجامعيّة الأولى بعضَ المواضيع عـاليةَ المستوى، فـهذا يجب أن يكون حافِزًا أكبر لهم على الـدراسة والتحصيـل العلمي من أجـل التخصّص لاحقًـا في بـعض المواضيع المطـروحة. وردتني أيضًا بـعض الآراء عن ضـرورة التسـهيل في لغة المجـلّة بـحيث تكـون موجـهة إلى الـمثقف العـادي وليس المختـص في مجال الفيزياء، ومـع تناغمنا مع وجهة النظـر هذه، ننـوّه إلـى أن المجـلة تتضـمّن مواضيعَ متنوّعة يتطـلّب بعضُها مستوىً معيّنًـا في الفيزياء، مثـل باب المعلومـات الإثـرائيّة الموجَّه بشـكلٍ خاصّ لـطلاّب المرحـلة الجامـعيّة، ولـكن المقـالات عمومًا موجَّـهة إلـى الـمثقَّف العـربي ذي الشغف العـامّ

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

بالعلـوم الفيزيائيّة والريـاضيّة، ولذلـك اشترطنا عدمَ احتوائهـا علـى أيّ صيغ أو معادلات ريـاضيّة معقّدة، وتمنَّينـا فعلًا على مؤلّفيهـا أن تكون لغتهم بسيطة بـحيث يمـكن للـمثقّف العـادي إدراك لبّ المواضيـع المطروحة.

يـركِّز العدد الـراهِن على فيزيـاء البلازمـا التي تمثِّل الحـالةَ الرابعة للمـادة، إلى جـانب الصلبة والسـائلة والغـازيّة، والتي يتواجـد فيهـا أكثـر من 90 % من مـادّة الكـون المـرئي، ولئن كان وجودُهـا الطبيعي في كوكبنـا مقتصـرًا علـى ظواهر قليلة مثـل البرق، مـا يفسِّـر التأخُّـر في توصيفها لغـاية أواخـر القرن التاسع عشـر وبدايات القرن العشـرين، فإنها متوفّرة بكثرة خارج سطحه، ففوقَه تُشـكِّل طبقةَ الأيونسفير في مجالنـا الجـوّي، وفي منظومتنـا الشـمسيّة موجـودةٌ في الفضـاء بين الكـواكب بعـد نفثِهـا عبر الريـاح الشـمسيّة، أمّا على المستـوى الكوني فهي الغـالبة في أقـراص التراكـم حول النجـوم والمجرّات، أو حـول الأجـرام الصغيـرة من مثـل الأقزام البيضـاء أو النجـوم النتـرونيّة أو الثقـوب السـوداء. هنـاك مقـالان عن البلازمـا في هذا العـدد، أحدهمـا هـو المقـال الرئيـسي عن أسـاسيّات فيزيـاء البلازما، من حيث تعريفِهـا وخصائصهـا وطـرق توصيفهـا مـع استخداماتهـا العمـليّة المفيـدة، والآخـر عن بـعض الظواهر اللاخـطّية في بلازما الفضاء. يتطرّق المقالُ الثـالث -الذي كتبـه أحد طـلبة الدراسـات العليا- إلى تخـليق الانفجـار الكبيـر النـووي وكيفيّة اندمـاج جسيمـات البلازمـا البـدئيّة لتتكوّن النكليونـات، التي تنـدمج بدورها لتشـكيل العناصـر الخفيفة، ما يفسِّـر تكـوّن مـادة الكـون بشـكلٍ رئيـس من الهـدروجين والهليـوم بنـسبة ثلاثة أربـاع لربـعٍ تقريبًـا. المقالان المتبقيّان يتعرّضان لموضـوع فيزياء الزجاج، ولموضوع التقـانة النانـويّة، وكلاهمـا يقعان في مجـال فيزياء المادة الـكثيفة.

أجرينـا في هذا العـددَ مقابـلةً مع العالِم السـوداني محمد حـاج علي حـسن، المديـر التنفيذي المؤسِّـس خلال فتـرةٍ تقـارب الربـع قرن ثـمّ رئيـس الأكاديمية العالَـميّة من أجـل تقـدّم العلوم في البلـدان النامية والمعـروفة سـابقًا باسـم أكاديـميّة العلـوم للعالَـم الثـالث TWAS، حيث تحـدّث عن أبحاثـه في فيزيـاء البلازمـا والاندمـاج النـووي، كما شـاركَنا أفكارَه حول تأسيـس ونمـو الـ TWAS جنبًا إلى جنب مـع هيئتيها الـدوليّتين المتصلتين بها، الشـراكة الأكاديميّة البينيّة IAP ومنظـمة المـرأة في العلـوم في العالَم النامي OWSD ، مـع التأكيـد علـى أدوارهـا المهـمة في تـعزيز العلـوم في العالَم النـامي من خلال برامج منح وتعـاونٍ كثيـرة، كنتُ شخصيّاً أحـد المستفيدين منها في بـداية عملي البـحثي القـرن الماضي.

كالعـادة، يضـمّ العـددُ بـابَ أخبـارٍ علـميّة ركّزت على بـعض الظواهـر الفلكيّة مـع خبرٍ عن تحليـل معطياتٍ قـد يقتضي فيزيـاءَ خـارج النموذج المعيـاري، أمّا باب المعلومـات الإثـرائيّة فيتضـمّن من بين مـا يحويه من معارف شـرحًا لمعادلات بولتزمان في النقل، ومعادلات نافييه-ستـوك، وكلّهـا معـادلات ذات صـلة بفيزيـاء البلازمـا، بالإضافة لموضوعٍ عن موضـوعة الاختيار في الرياضيـات البـحتة، وإعلانـاتٍ عن مؤتمـرٍ حـول فيزياء الطاقـات العـالية وعن مجـلَّتَين تقنيّتَين جديـدتَين: "توجّهـات الفيزيـاء النظـريّة Trends in Theoretical Physics" (ارتأينـا ابتـداءً من هذا العدد وخشيةَ اللبس بين هذه المجـلّة ومجلّتنـا اعتمـادَ الترجـمة الحـرفية لكلـمة مسـارات في المقابـل الإنـكليزي في اسـم مجلّتنـا ليغـدو Trajectories in Physics) و"التقـدُّم في فيزيـاء الطاقـات العـالية Progress in High

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

Energy Physics"، وجميـع هذه الفعاليّـات يقودها باحثـون من الجمعية العربية للفيزيـاء، بالإضافة إلى عـرضٍ لكتـابَين -واحدهمـا بسيط والآخـر أكاديمي-، وإيـراد حـلِّ مـسألةِ العدد السـابِق وتقديـم مسألة جديـدة. أضفنـا كذلك موضـوعَين جديـدَين في هذا البـاب، أحدهمـا عن علماء ومـربّين من عالَمنا العربي اعترافًـا بجميلهم علينـا، حيث يسـرّني أن نقدِّم في هذا العـدد نبذةً عن الدكتـور مكّي الحـسني -أستاذ الفيزيـاء في الجامعات السـورية وأمين مجمع اللغة العـربية بدمشق-، أمّا الموضوع الآخـر فيلقي الضوء علـى عالِم حـائزٍ على جـائزة نوبل، واخترنـا في هذا العـدد الكتـابةَ عن عالِـم البلازمـا هانيـس ألفْفِين Hannes Alfven.

في الختـام، أعـود وأقـدِّم كامِل شـكري لـكلّ من سـاهم بإخراج هذا العدد إلى الضوء، وبشـكلٍ خاصّ فـريق التصميـم الذي أتـمّ -بمسـاعدة السيّد محمد حـسن الصَرَفَندي الذي وفّـر الأدوات الملائمة- وفي ظـروف صـعبة إنجاز مهمّته، وبانتظار مسـاهماتكم في عدد خـريف2024- اللاحق

البلازما العجيبة: مادة الكون

علي عبده
أستاذ الهندسة النووية بجامعات ولاية بنسلفانيا وكانساس وزويل سابقة

من منـا سـمع عن كلـمة بلازمـا؟ أنتَ هنـاك يـا من تحـاول أن تختبئ وتتهـرب من الإجـابة عن السؤال

- أنا؟

نعم، أنتَ

- أليست هي بلازما الدم؟

تمهل قليلا: إنها ليست بلازما الدم

- إذن، ماهي؟ أخبرني، فلقد أعييت حيلتي

البلازما هي الحالة الرابعة من المادة

- ماذا تقصد؟ وهل للمادة حالات متعددة؟

نعـم. المادة توجد في ثلاث حالات مشـاهَدة طبيعيا

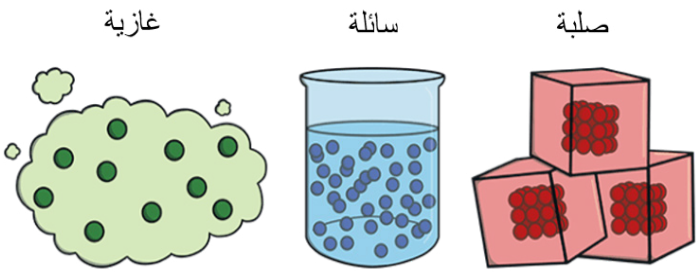
هل لـك أنت تخبرني بهِن؟

- آه، لقد أخذتُ وقتاً كبيرًا في التفكير

دعني أذكِّـرُك بهذه الحالات التي درستها في مراحل دراستك المختلفة وتشـاهدها من حولك ليل نهار

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

أولاً: حالات المادة



الشكل 1: حالات المادة المختلفة.

الحالة الأولى:

هي الحالة الصلبة الموجودة في كثيرٍ من المعادن كالحديد والنحاس ومن اللدائن مثل البلاستيك والرمال والصخور، وغيرها الكثير

وتتميز هذه الحالة ببنائها الذري المترابط في نظامٍ فريدٍ، فذرّاتُها تربطها قوى بينية تجعل من الصعوبة بمكان فكاكَ أحدها من جيرانه، ولذلك تتميز بحجمها الثابت وشكلها الثابت

الحالة الثانية:

هي الحالة السائلة مثل المياه والزيت واللبن والكيماويات السائلة وغيرها الكثير أيضا

وفيها يكون الترابط بين ذراتها أو جزيئاتها أقلَّ من نظيره في الحالة الصلبة ممّا يمكّن هذه الجسيمات من الحركة منزلقةً فوق بعضها البعض، دون أن تكون حركةً مطلقة، إذ لا تستطيع الذرات الهروب من الذرات المترابطة معها، وتتميز هذه الحالة بحجم ثابت تحت نفس الضغط والحرارة وبشكلٍ متغّير تبعًا للإناء الذي توضع فيه

الحالة الثالثة:

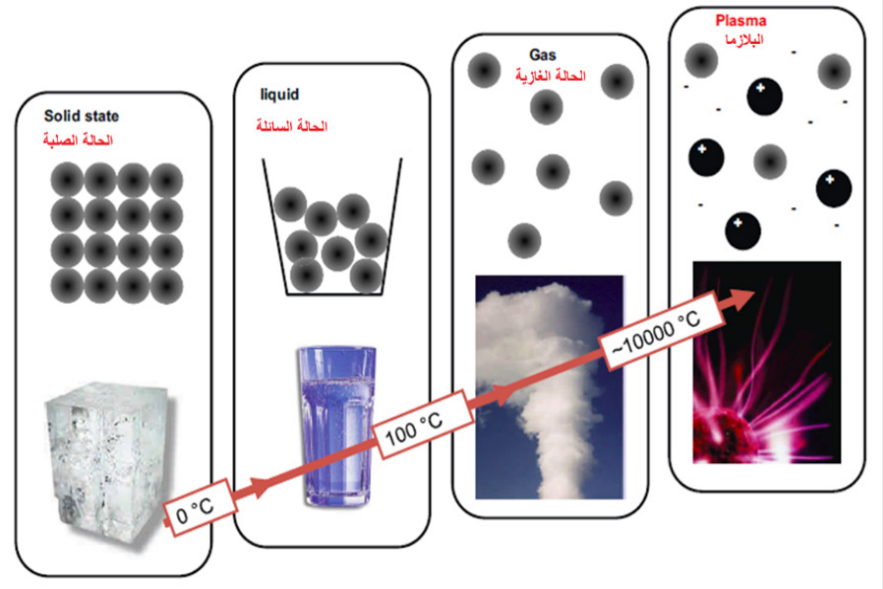
هي الحالة الغازية مثل بخار الماء والسُحب والدخان والغازات، وهي على النقيض من سالفتَيها، فترابط ذراتها شِبه معدوم وليس لها شكل ثابت ولا حجم ثابت، بل تشغل أيَّ حيّزٍ وضعتَها فيه، وذراتها أو جزيئاتها في حركة دائمة تتميز بالتصادمات الثنائية البينية بين الجسيمات ولا يشعر بعضها ببعض إلا عند التصادم

- شوّقتَنا يا صاحِ، فهل من بعد هذه الحالات حالاتٌ أخرى؟

تمهّل قليلا:

دعني أخبرك أولاً كيف تتحول المادة من الحالة الصلبة إلى السائلة فالغازية بالحرارة والتسخين وإمداد الطاقة، وبالتبريد يحدث العكس فتتحوّل من الحالة الغازية إلى السائلة فالصلبة. انظر شكل (2)

فمثلاً عندما نُخرج مكعباً من الثلج من الثلاجة ونضعه في الهواء تكون درجة حرارته صفرًا مئويًّا، ويقوم الهواء بإمداد الثلج بالطاقة الكافية لانصهاره وتحويله لماء، ما يعرَف بالحرارة الكامنة للانصهار latent heat of melting، وتتم هذه العملية عند درجة حرارة ثابتة إلى أن يتحوّل كامل المكعب لماء، وعندما تقوم حرارة الشمس بتسخين الماء ورفع درجة حرارته، فإنها تزوّد جزيئاته بالطاقة، فإذا ما تُرك قِدرٌ



الشكل 2: تحولات المادة بالحرارة والتسخين وإمداد الطاقة.

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

التـسخين ليستمـر إلـى مئة درجة مئـوية في الهواء الطـلق فسيغلي الماء عند هذه الـدرجة ويتحوّل إلى بخـار ماء، والطـاقة اللازمة لفعل ذلـك تُدعى بالحرارة الـكامنة للتبخيـر latent heat of vaporization ، وعند زيـادة الحـرارة سيتحـوّل كامل الماء إلـى بخار ماء

- إذن، مـاذا سيحدث إن سخنّا المادة في الحالة الغازية وأمددناها بالطاقة؟

حسنـاً، إن كانت كافيةً لكسـر الروابـط الذرية بين جزيئاتهـا ومن ثَـم فصـل بـعضٍ من الإلكترونات من ذراتهـا، سنحصـل على خليـطٍ من الأيونـات الموجبة والإلكترونـات السـالبة وجزيئـات الغـاز وذراتـه المتعـادلة، وهـو مـا نطلق عليـه إذا توافـرت بعض الشـروط حـالة البلازما.

- ولكن ما مقدار الطاقة اللازمة لذلك؟

لا تتـعجب يـا صـديقي ولا تنـدهش إذا أخبرتُك أنها تحتـاج لدرجاتِ حـرارةٍ عالية أكبر من عشـرة آلاف من الدرجـات المئـوية، وقـد تصـل إلـى ملايين الدرجات المئـوية. ففي حالة غاز الهيـدروجين مثلا نحتاج إلى كمية من الطـاقة تكافئ 13.6 إلكتـرون فولت (eV)

$$1eV = 1.602176634\times10^{-19}\ Joule$$

هل شـعرت بدوار بعد؟ أتتخيـل ما أقول؟ نعم ملايين الدرجات

- وكيف لنا إمداد مثل هذه الطاقة؟

هنـاك العديـد من الطـرق، مثـل التيـارات الكهربية العـاتية وموجات الميكروويف وأشـعة الليزر الضارية وحِزَم الجسيمـات ذات الطـاقة العالية؟

- مممم

مـهلاً كنت أنتظـر منـك أن تسألني ما المـادة التي تتحمـل احتـواء هذه البلازمـا المتمردة يـا صديقي؟

- ما هي؟

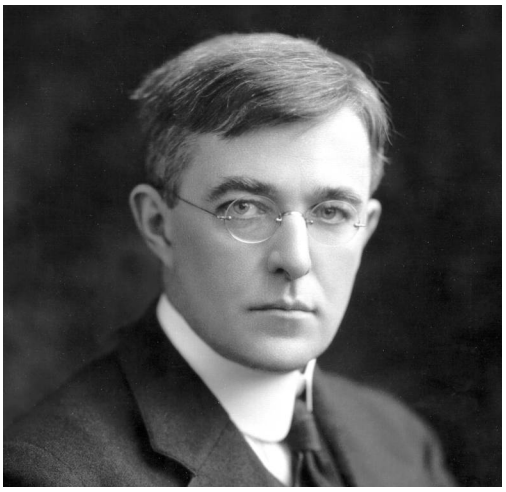
إنهـا المجالات المغناطيسية القـوية والتي تحوي البلازمـا وتمنـع ملامستَهـا لجدار وعاء الحـاوية، ومع كل هذا فالبلازمـا تحاول جاهدة أن تتملّص من احتواء بني البشـر لها في صورهـا الأرضية، وتتصرف كما لو كانت عاقلة

قبـل أن نبحـرَ سـويًّا في الموضـوع، دعني أحدِّثك قـليلاً عن تـاريخ البلازما

ثانيًا: تاريخ البلازما

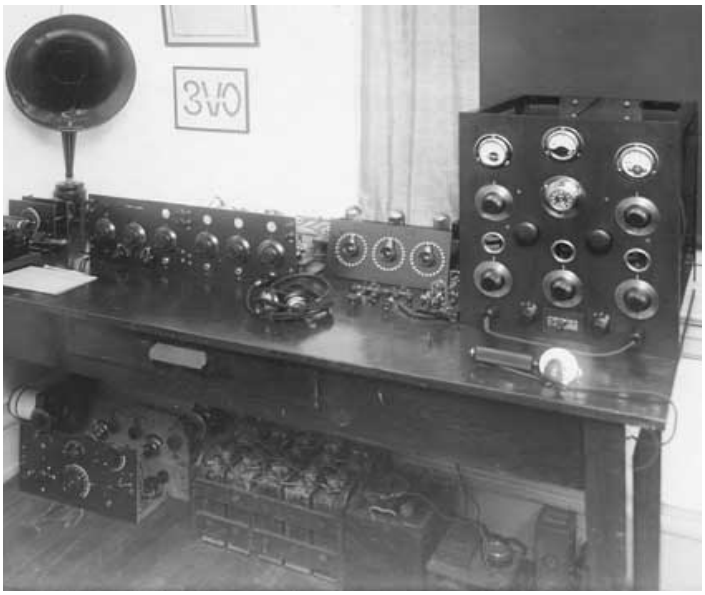
اكتشفهـا في عشـرينات القرن المنصـرم عام (1924) إيـرفينج لانجمور العالم الأمريـكي الحاصل علي جائزة نوبـل في الكيميـاء أثنـاء عملـه في شـركة جنيـرال إلكتريـك وأثناء دراستـه للتفريغ الكهربـائي وتوصيل الكهربـاء في الغـازات، وكان يريد وقتَهـا زيادة التيار الكهربـائي المـار في فتيـلة من التنجـستين لزيـادة استضاءتهـا، وفي أثنـاء عملـه لاحظ تواجـدًا كثيفًـا للإلكترونـات في الغـاز الـمضيء ممّـا دعـاه لإطلاق لفظة البلازمـا علـى هذه الحـالة، لما لها من تشـابه مـع بلازما الدم وحملها لمكوّناتـه، وهي مشتقّة من الكلـمة اللاتينية (*πλάσμα*)وتـعني "شيء متشـكّل"

أدى تطـور البث الإذاعي إلـى اكتشـاف الغلاف الأيـوني للأرض، وهـو طبقة من الغـاز الـمتأين جزئياً



الشكل 3: إيرفينج لانجمور (1881 – 1957) العالم الامريكي الحاصل على جائزة نوبل في الكيمياء 1932

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



الشكل 4: موجات الراديو وتطور البث الإذاعي

في الغلاف الجـوي العلـوي تعكـس موجـات الراديو، وهي مـسؤولة عن إمـكانية استقبال إشـارات الراديو عندمـا يكـون جهـاز الإرسـال فـوق الأفق. اكتشف العلمـاء أن طبقة الأيونوسفيـر موجـودةٌ في حـالة البلازمـا، وعندمـا بـدأت أبحـاث دراسة انتقـال موجات الراديـو للاتصـالات اكتشف العلمـاء أن هذه الـطبقة لهـا تأثيـر كبير على انعـكاس الموجات عنهـا، فبدأت دراسـات مكثفة لـدراسة ظواهر انتقـال الموجات في البلازما

اكتشف بعدهـا العلماء أنّ الكـون المنظور يتكوّن في غالبـه من هذه الحـالة الـعجيبة كمـا هو موضح بالشـكل (5)، والتي تُشـع أضواءهـا في جنبـات هذا الكـون الفسيـح، فالنجـوم كلهـا مكوّنـه من هذه الحـالة التي تستمـد طاقتهـا من اندمـاج ذرات نظائر الهيـدروجين بها، وهو ما يُسـمّى بالاندمـاج النووي، وهذه النجـوم تُعتبـر أفرانًا هائلة في حجمهـا لإنتاج النظائـر الثقيـلة كالحديد وغيره، والشـمس هي أحد تجلّياتهـا، وكذلـك الفراغ المحيط بالمجـرات يسبح في هذه الحـالة الفاتنة، وعلى الأرض توجـد هذه البلازما في ظواهـر الشفق القـطبي وطبقة الأيونوسفيـر

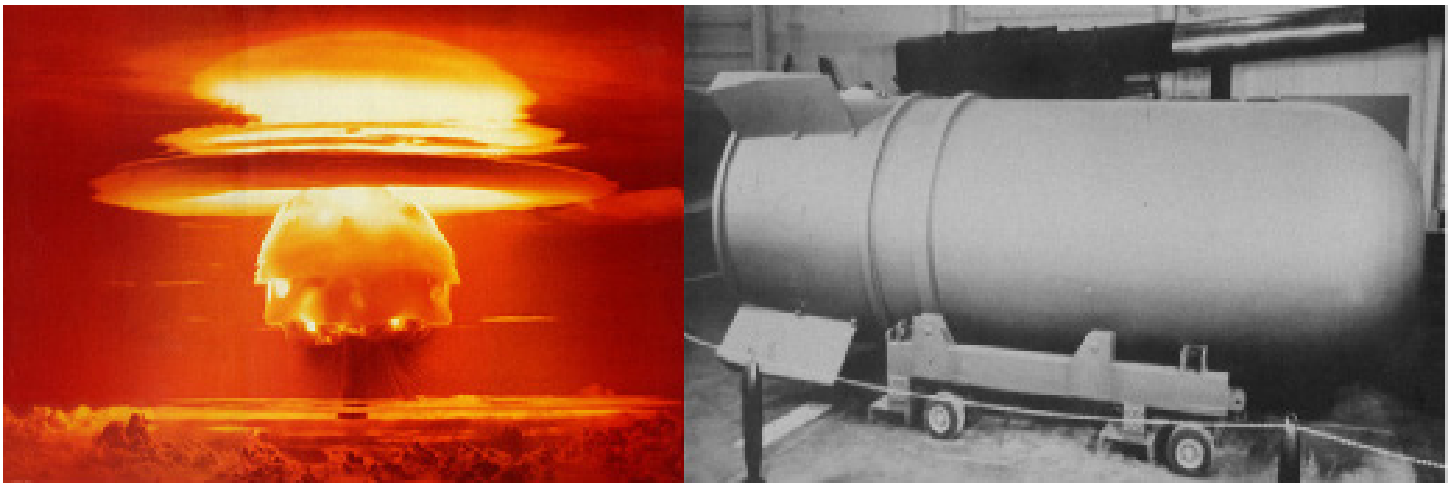
الشكل 5: الكون المنظور يتكون في غالبه من البلازما.

والبـرق ومصابيح الفلـورسنت الـمتألّقة والنيون

كان أحـد الـرواد في هذا المجـال هـو العالِـم هانـس ألفين (حاز علـى جائزة نوبل عـام 1970) الذي طـوّر في عام 1940 تقريبًـا نظـرية هيدروديناميكيات المغناطيـسية (MagnetoHydroDynamic: MHD) أو علـم دراسة الموائـع الممغنـطة الموصِّـلة للكهرباء، حيث يتم التعامل مع البلازما بشـكل أسـاسي كسائل مُوصِّـل (ناقِل). تم استخدام هذه النظـرية على نطاق واسـع وبنجاح لـدراسة البقـع الشـمسية، والتوهجات الشـمسية، والريـاح الشـمسية، وتكـوين النجـوم، ومجمـوعة من المواضيع الأخـرى في الفيزياء الفلكية

الشكل 6: هانز ألفين أثناء تسلمه جائزة نوبل في الفيزياء 1970

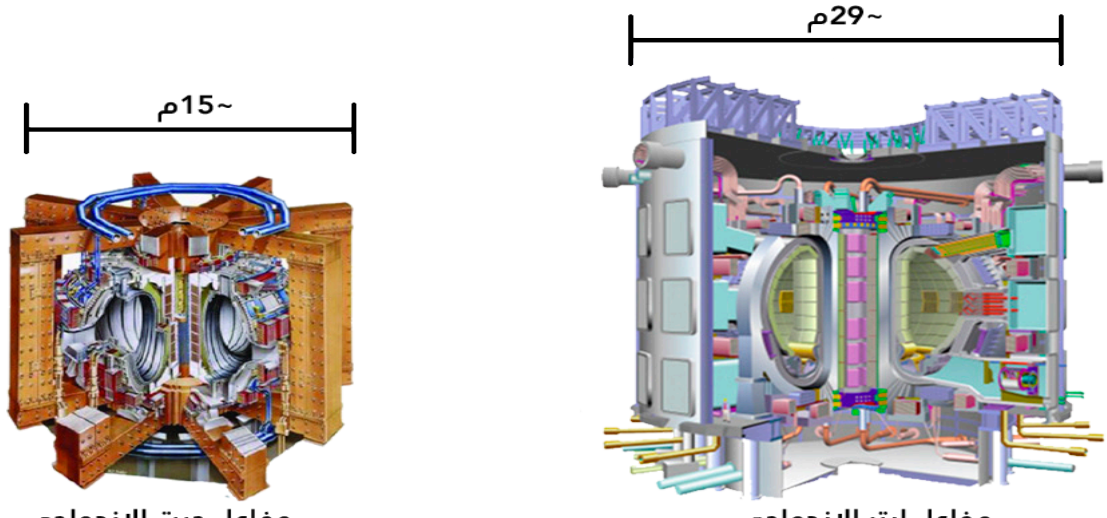
© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



الشكل 7: قنبلة هيدروجينية

وتُوصِّل فيها لكثير من فيزياء الكون وأسباب تكوُّن المجالات المغناطيسية للنجوم

تمكّنت الولايات المتحدة الأمريكية من ابتكار أول قنبلة هيدروجينية في الخمسينيات واختبارها، حيث فاقت في المدى والتأثير قنبلتَي هيروشيما وناجازاكي التدميريَّتَين بألاف المرات، وتبلغ درجة



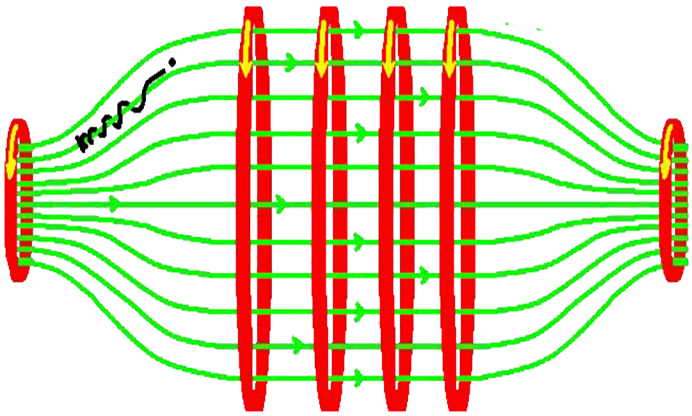
الشكل (8): يوجد العديد من مفاعلات الاندماج النووي التجريبية في العديد من دول العالم

حـرارة تفجيرهـا عـدة ملايين من الدرجـات، ممّـا دفع بسباق محموم لفهـم هذه البلازما ومحاولة ترويضها كمصـدر لإنتـاج الطاقة علـى الأرض

في نهـاية الخمسينيـات قـامت الـدول العظمى، أمريـكا وروسيـا وإنجلتـرا، بـكشف غطاء السـرية عن أبحاثهـا في هذا المجـال وبدأ التعـاون من أجل فهمٍ أفضـل لهذه الحـالة ومحـاولة ترويضها علـى الأرض من أجـل استخدامهـا كمصـدر لا ينضب من الطـاقة. باكتشـاف الـليزر طـوّر العلماء طرقًـا لتوليـد البلازما عن طـريق الاحتـواء التثاقـلي للاندمـاج النـووي (gravitationally confinement)، وبـدأ السبـاق في هذا المضمـار، ومن خلال التطـور غيـر المسبـوق في صنـاعة المُـوصِّلات الفـائقة أصبـح بنـاء تجـارب غيـر مسبـوقة للاندمـاج النـووي بالاحتـواء المغناطيسي كمـا في تجارب ايتر ITER بفرنسـا و فندلشتاين سفن إكـس Wendelstein 7-X بألمانيـا أنظـر الشـكل (8)

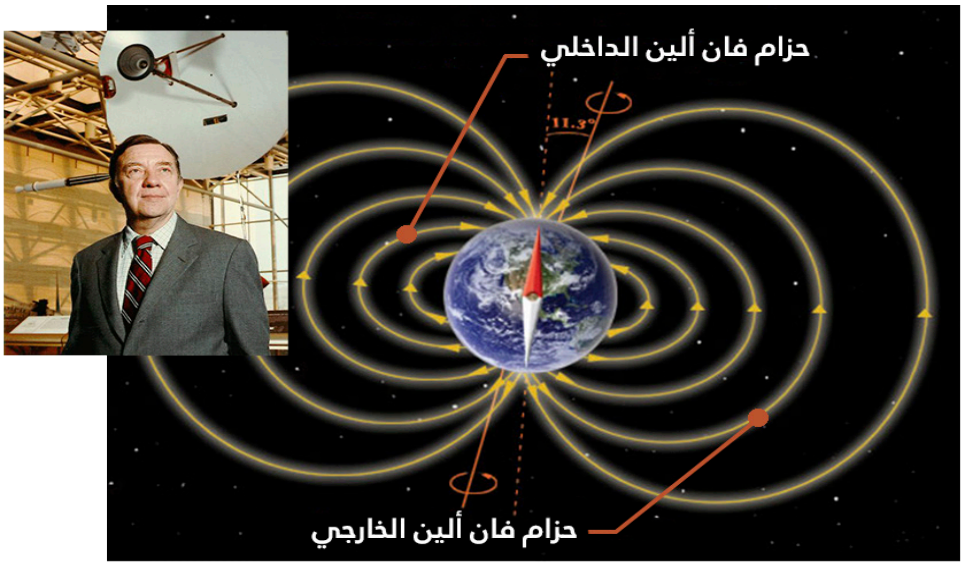
كان اكتشـاف جيمـس أ. فـان إلين في عـام 1958 لأحزمة فـان إلين الإشـعاعية المحيـطة بالأرض، باستخـدام البيانات المُرسَـلة بواسـطة القمر الصناعي الأمريـكي إكسبلـورر، بمثـابة بـداية الاستكشـاف المنـهجي لـلغلاف المغناطيـسي للأرض عبـر القمـر الصنـاعي، وفتح مجـال فيزياء البلازما الفضـائية (انظر المقـال الآخـر في هذا العـدد حـول هذا المجـال)

استعـار علمـاء الفضـاء نظـرية احتـواء البلازمـا بواسـطة المجـال المغناطيـسي من أبحـاث الاندماج، ونظـرية موجـات البلازمـا من فيزيـاء الغلاف الأيوني، وفكـرة إعـادة الاتصـال المغناطيـسي magnetic reconnection كآلية لإطلاق الطـاقة وتسـريع الجسيمـات من الفيزيـاء الفلكية. طـوّر بعدها العلماءُ العديـدَ من الأجـهزة لـدراسة الاندماج النـووي منها الستيلاراتـور Stellarator والتوكامـاك Tokamak والبنش Pinch والمرايـا المغناطيـسية



الشكل (10): المرايا المغناطيسية؛ أحد أجهزة دراسة الاندماج النووي.

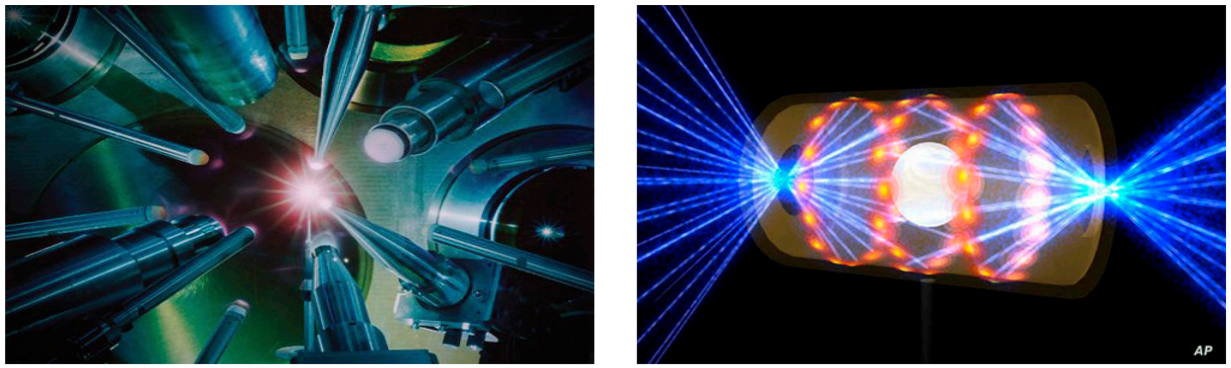
أدّى تطويـر أجهزة الـليزر عالية الطـاقة في الستينيـات إلـى فتـح مجال فيزياء البلازمـا الليزرية. عندما يضـرب شـعاع ليزر عـالي الطـاقة هدفاً صلباً، يتـم التخلص من المادة على الفـور، وتتشـكل البلازما على الحدود بين الشـعاع والهدف. تميل بلازمـا الـليزر إلـى امتلاك خصائص متطـرفة إلـى حـد ما (علـى سبيل المثـال، كثافـات مـميّزة للمـواد



الشكل (9): جيمس أ. فان ألين - أحزمة فان ألين الإشعاعية المحيطة بالأرض.

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

الشكل (11): أدى تطوير أجهزة الليزر عالية الطاقة في الستينيات إلى فتح مجال فيزياء البلازما الليزرية.



الشكل (12): اندماج الاحتواء بالقصور الذاتي.

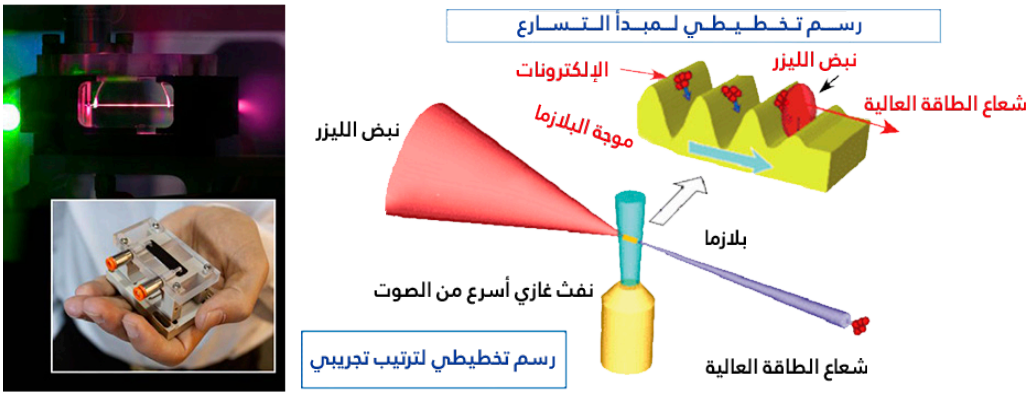
الصلبة) غير موجودة في البلازما التقليدية. (شكل 11)

إن أحد التطبيقات الرئيسية لفيزياء البلازما الليزرية هو النهج المتبع في طاقة الاندماج والمعروف باسم اندماج الاحتواء بالقصور الذاتي Inertial Confinement Fusion. في هذا النهج، يتم استخدام أشعة الليزر شديدة التركيز لتفجير هدف صلب صغير حتى يتم الوصول إلى الكثافات ودرجات الحرارة المميزة للاندماج النووي (أي الموافقة لمركز القنبلة الهيدروجينية)

هناك تطبيق آخر لفيزياء بلازما الليزر مثيرٌ للاهتمام هو استخدام المجالات الكهربائية القوية للغاية لتسريع الجسيمات، حيث يتمّ توليد هذه المجالات عندما تمر نبضة ليزر عالية الكثافة عبر البلازما. يأمل علماء فيزياء الطاقة العالية في استخدام تقنيات تسريع البلازما من أجل تقليل حجم وتكلفة مُسرِّعات الجسيمات بشكل كبير. (شكل 13)

لعلك الآن قد استمتعت معنا بهذه الرحلة البسيطة عن تاريخ البلازما، فلنربط الأحزمة لأننا سننطلق مسرعين في رحلتنا لتعريف علم فيزياء البلازما.

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



الشكل (13): مُسرّعات البلازما.

ثالثًا: تعريف أولي للبلازما

ليس كلُّ غاز متأين بلازما، فلا بدّ من توفّر شروطٍ كي نصفه بأنه بلازما، تتعلّق بـ:

درجة التأيّنDegree of ionization إذ لا بد أن تزيد عن 0.01% لكي يسلك الغاز المتأيّن سلوك بلازما، وتُعرَّف بأنها نسبة الجسيمات المتأينة إلى الجسيمات الكلية

$$\chi = \frac{n_e}{n_e + n_n}$$

حيث n_e كثافة الإلكترونات أي عدد الإلكترونات في وحدة الحجوم، و n_n كثافة الجسيمات المعتدلة.

شبه الاعتدال الكهربائي Quasi-Neutrality

$$n_e \approx n_e$$

إذ يجب أن يكون عدد الجسيمات سالبة الشحنة مساوياً تقريباً لعدد الجسيمات موجبة الشحنة (في حال تأيّن إلكترون واحد في الذرة)، كما أن الجسيمات المشحونة ينبغي أن تكون متقاربة لدرجة أن يؤثر كل جسيم على الكثير من الجسيمات القريبة بدلاً من مجرد التفاعل مع أقرب الجسيمات، فالتأثير الجماعي صفةٌ مميزة للبلازما

عزل ديباي Debye Shielding

فإذا عرّفنا طول ديباي بأنه نصف قطر الكرة المحيطة بالشحنة الكهربائية التي يقل الجهد الكهربائي عند سطحها بنسبة مقلوب الثابت (2.71828 e) عن قيمته عند الشحنة، ويتعلّق بدرجة حرارة وكثافة الإلكترونات، استلزم شرطُ تسمية الغاز بالبلازما أن يكون هذا الطول أصغرَ بكثيرٍ من مقاس الحاوية، فنكتب

$$\Phi(r) = \Phi_0\, e^{\frac{-r}{\lambda_D}} \quad : \quad \lambda_D = \sqrt{\frac{\varepsilon_o K_B T_e}{n_e}}, L \gg \lambda_D$$

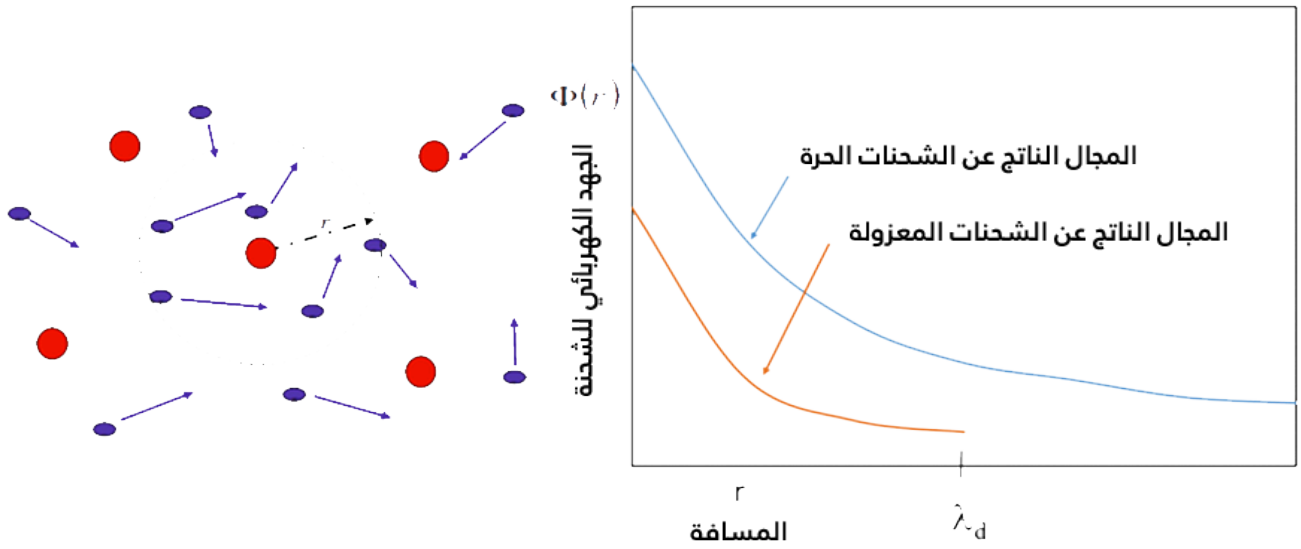
حيث Φ الجهد الكهربائي على مسافة r، و Φ_o الجهد الكهربائي عند الشحنة، و λ_D طول ديباي، و T_e درجة حرارة الإلكترونات، و K_B ثابت بولتزمان، و ε_o ثابت العزل الكهربائي للفراغ، و L بُعْد الوعاء الحاوي للبلازما.

يحدث عزلٌ ديباي بشكل طبيعي في البلازما نتيجة اختلاف الشحنات، فالشحنات الموجبة (الأيونات) يحيط بها العديد من الشحنات السالبة (الإلكترونات) إحاطةً لصيقة، ممّا يؤدي إلى عزل هذه الشحنة الموجبة والتقليل من تأثيرها عند مسافات بعيدة عنها.

عدد الجسيمات في كرة ديباي Number of particles in Debye sphere

$$N_e = \frac{4}{3}\lambda_D^3 n_e >> 1$$

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



الشكل 14: عزل ديباي

لـكي يُـصنَّف الغـازُ الـمتأين كبلازمـا، يجب أن تحتوي كـرةٌ نـصفُ قطرهـا مسـاوٍ لطـول ديباي علـى عدد وفيـر من الجسيمات. هذا الشـرط ضروري نظـراً للتأثير الكبيـر الذي يُحدثـه تقـارب البلازما

تـردّد البلازمـا الإلكتـروني Electron Plasma Frequency

وهـو معـدل اهتزاز الجسيمـات سـالبة الشـحنة (الإلكترونـات) حـول مواضع الجسيمات موجبة الشـحنة (الأيونـات) التي تعتبر ثـابتة لثقَلِها، من حيث أن أيون الهيـدروجين أثقل بحـوالي 1837 مـرة من الإلكترون، ويُعطى بالـعلاقة

$$\omega_e = \sqrt{\frac{n_e e^2}{m_e \varepsilon_o}}$$

حيث n_e كثـافة الإلكترونـات، $\omega_e = 2\pi f_e$ التـردّد الزاوي (النبض) الإلكتـروني للبلازمـا، m_e كتـلة الإلكتـرون، e شـحنة الإلكترون

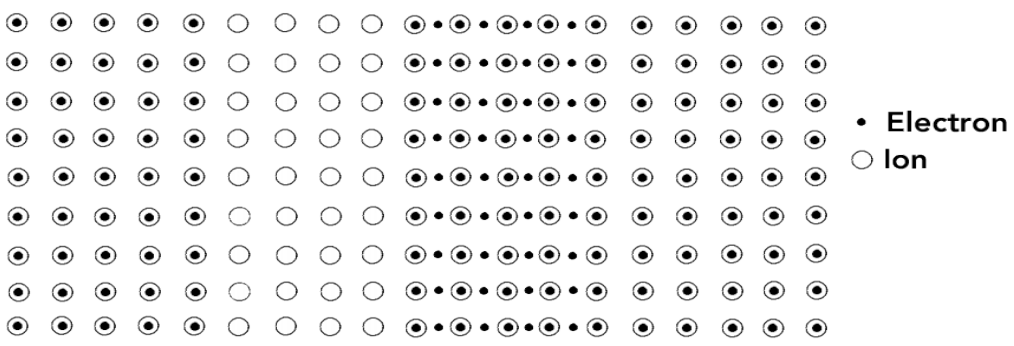
لا بُـدّ أن يكـون تـردد البلازما الإلكتـروني، أو عدد الاهتزازات نتيجة الاستجـابة للتأثيـر الكهربـائي، أكبـر بكثيـر من مُعـدّل اهتزازت التصـادم مع جزيئـات الغاز، وذلـك للمحـافظة علـى درجة التأين ولتحقيق سـرعةٍ في التـوزّع من أجل استعادة حـالة شبة التأين. وغالباً مـا يكون هذا التـردد في الـطيف المِكروي

تردد البلازما الأيوني Ion Plasma Frequency

للأيونـات تـرّدد مماثل لتـردّد الإلكترونـات، وهو أصغر من الأخيـر بحـوالي أربـعين مـرة من أجـل نفس درجة الحـرارة والكثـافة، وهـو في حيز الـطيف الراديـوي، ويُعطـى النبض الأيوني بالـعلاقة (m_i كتلة الأيون)

$$\omega_i = \sqrt{\frac{n_i e^2}{m_i \varepsilon_o}}$$

فتكـون قيمتـا التـردّد الإلكتـروني والأيـوني من أجل $n_e \approx 10^{16}\ m^{-3}$ مسـاويتَين لـ



الشكل 15: تردّد البلازما

$$f_e \approx 9x10^8 s^{-1}, f_i \approx 3x10^6 s^{-1}$$

رابعًا: تصنيفات البلازما

حـوالي 98% من الكـون المنظـور موجـود في حـالة البلازمـا. والبلازما لا تتواجد على الأرض بصورة طبيعية إلّا في ثلاث ظواهـر ألا وهي: طبقة الأيونوسفيـر والبـرق وظاهـرة الشفق القطبي

تُـصنَّف البلازما من حيث محتواهـا من الطاقة إلى قسـمين: بلازما عالية الحـرارة وبلازما منخفضة الحرارة، كمـا وتـصنف من حيث الكثـافة إلـى: بلازمـا عـالية الكثـافة وبلازمـا منخفضة الكثـافة، ومن حيث اتزانها الترموديناميـكي إلـى: حـرارية (أو متزنة) وغير حرارية (أو غير متّزنة)، وهنـاك تقسيمات أخرى أكثر تعقيداً لن يتسـع المقـام لذكرها (انظر الشـكل 15)

في غـالب الأحيـان، نحتاج علـى الأرض إلى أوعية مُفـرَّغة لتوليـد البلازمـا، ولكنْ هناك طـرق أخرى مثل توليدهـا في الهـواء، وتتـراوح كثافتهـا في الكون من جسيـم واحـد في المتـر المكـعب إلـى 1 وأمامه 33 صفـر جسيـم في المتر المكعب، أمـا درجة حرارتها فتمتدّ من عشـرة آلاف إلى مئات الملايين من الدرجات المئوية

- ولماذا إذن هي مضيئة؟

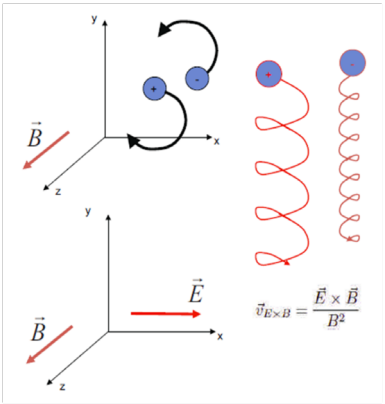
الضـوء الذي تراه إنّمـا يأتي من الذرات عندما ينتقل الإلكترون من مدار أعلى في الطاقة إلى مدار أدنى، فعندها يُفقد الفـرق في الطاقة بين المدارين على هيئة فوتـونِ ضـوءٍ لونُـه يعتمـد علـى هذا الفرق، ولهذا الـسبب تجد هذه الألوان المبهـرة المنطلقة من البلازما

خامسًا: توصيف ودراسة البلازما

يستخـدم العلمـاءُ العديدَ من الطرق الريـاضية لوصف ودراسة البلازمـا، نذكر منها

1. طريقة دراسة الجسيمات

وفي هذه الطـريقة تُـدرس جسيمـات البلازمـا كلاً على حدة، وتُـدرس التأثيـرات البينية ضمن الجسيمات، ولكنهـا طريقة معقدة للغـاية لأنها تحتاج إلى قدرات حاسـوبية جبّـارة من أجـل دراسة هذا العـدد الهائـل من الجسيمـات الذي يتجـاوز في بعض الحالات عشـرة مرفـوعة إلـى أس ثمـانية عشـرة جسيمـا في وحدة الحجـوم (متر مكعب). لهذه الطـريقة تطبيقات عددية في الصنـاعة والبحوث منهـا المغنطرون magnetron ومحركات الدفـع بالبلازما



الشكل 16: معادلات الحركة لجسيم مشحون في مجالات كهربائية ومغناطيسية. يعطي السطر الأول قوّة لورنتز بدلالة الحقل الكهربائي E والحقل المغناطيسي B والسرعة v، بينما يعطي السطر الثاني (الثالث) نبضَ (نصف قطر) الحركة الحلزونيّة اللولبيّة التي تسلكها كتلة m بشحنة q ضمن حقل مغناطيسي،

في هذه الطـريقة، تكتب معـادلات الحركة لنيوتن من أجـل جميـع الجسيمـات في البلازمـا آخذين في الاعتبار القوى البينية ضـمن الجسيمات، وخاصةً القوى الكهربـائية بعيـدة المدى، ثم يقوم العلمـاء بمحاولة حلّهـا عن طـريق الحواسيب الفائقة السـرعة

يـصف نمـوذج الجسيـم الوحيـد single particle model البلازما على أنها عبـارة عن إلكترونات وأيونات فـردية تتحـرك في مجـالات كهربـائية ومغناطيـسية مفـروضة (بدلاً من المجالات المتّـسقة ذاتياً). وبالتالي، يتـمّ وصفُ حركة كلّ جسيم بقانون قـوة لورنتز. وفي

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

العديـد من الحـالات ذات الأهـمية العمـلية، يمـكن التعامل مع هذه الحـركة باعتبارها تراكبًا لحركة دائرية سـريعة نسبيًـا حول نقطة تسـمى مـركز التوجيه مع انجراف بـطيء نسبيًا لـهذه النقطة

2. طريقة النظرية الحركيّة (الكيناتيكية)

وهي طـريقة إحصـائية تَستخـدم معـادلات شبيـهةً بمعـادلة بولتزمـان في النقـل Boltzman Transport Equation لدراسة الحالة الغـازية، ولكنها أكثر صعوبة لوجـود المجـالات الكهرومغناطيـسية في البلازمـا والتي تفتقدهـا الحـالة الغـازية المتعـادلة كهربائياً، وتُمثِّـل إحـدى الطرق الشـائعة لـدراسة البلازما

تُعطـى معـادلة الحـركة من أجـل حسـاب دالّة التوزيـع (f_i) المُعبِّـرة عن كثـافة النـوع الواحـد (i) في فضـاء الطور بالشـكل

$$\frac{df_i}{dt} = \frac{\partial f_i}{\partial t} + \vec{v}_i \cdot \frac{\partial f_i}{\partial \vec{r}} + \frac{\vec{F}}{m_i} \cdot \frac{\partial f_i}{\partial \vec{v}} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial t}\right)_{coll}$$

حيث يشيـر الطـرف الأيسـر إلـى مفهـوم حـركة الجسيمـات الانسيـابيّة عبـر المسـارات في فضـاء الأطـوار، والذي يجري تمثيلُه بواسـطة مؤثر Liouville التفاضـلي المُعبِّـر عن الاشتقاق الجسيـمي أو الكلّي، بينمـا يُشيـر الطـرف الأيمن إلـى التصـادم ويُعبِّر عن تغيـر السـرعة الناجـم عن التصادمـات من خلال مؤثـر تكامـلي يُوضِّحه الشـكل أدناه في حالة صـدمٍ ثنائي.

3. طـريقة ديناميـكا الموائـع الممغنـطة - المغناطيـسية الهيدروديناميـكية (MHD)

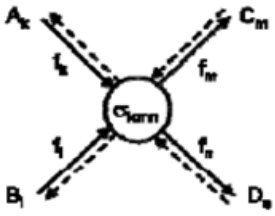
وهي طريقة مُشتقة من النظرية الحركيّة للبلازما، يتمّ فيها دمجُ معادلات ماكسـويل للكهرومغناطيسية مع معـادلات نافيـر- إستوكـس لديناميكا الموائـع، وتُعَدّ من الطـرائق المنتشـرة بكثرة لدراسة فيزيـاء البلازما في العديـد من التطبيقات المختلفة

كان الفيزيـائي السـويدي هـانز ألفين (1908-1995) أحدَ أشـهر العلمـاء المرتبـطين بالمغناطيسية الهيدروديناميـكية، وقـد حصل على جـائزة نوبل في الفيزيـاء (1970) لعملـه الأسـاسي واكتشـافاته في المغناطيسية الهيدروديناميـكية، مع تطبيقاتٍ مثمرة في أجزاء مختـلفة من فيزيـاء البلازمـا

النقـطة المـركزية في نظـرية المغناطيـسية الهيدروديناميـكية هي أن السـوائل المُوصِّلة يمكنها دعـم وتـعزيز المجـالات المغناطيـسية. يقتضي وجودُ المجـالات المغناطيـسية خلقَ قوى تؤثـر بدورها على السـائل (عادةً البلازما)، وبالتالي قـد تؤدي إلى تغيير هندسةِ (أو طوبولوجيا) وقـوة المجالات المغناطيسية نفسـها. تكـمن إحدى أهـمّ القضايا الرئيسية لسـائل مُوصِّـل مـعين في تحديد الشـدّات النـسبية للحركات الناقـلة في السـائل، مقـارنة بالتأثيـرات الانتشـارية الناجـمة عن المقـاومة الكهربائية.

تشـمل الموضوعـات الأخـرى التي تنتـمي إلـى

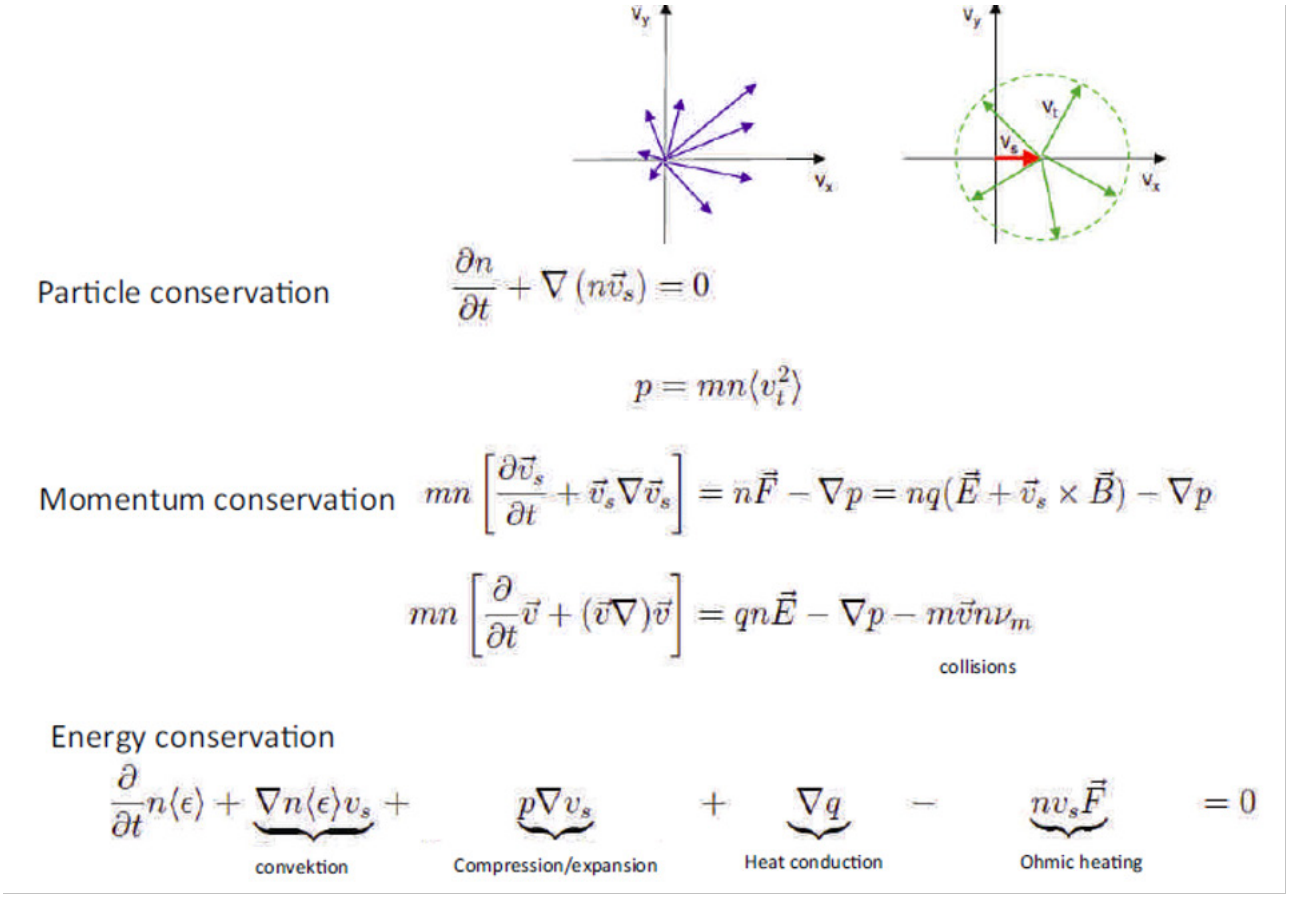
التصادم الثنائي



$$A_k + B_l \xrightarrow[\Delta E_{klmn}]{\sigma_{klmn}} C_m + D_n$$

$$\frac{df_i}{dt} = \frac{\partial f_i}{\partial t} + \vec{v}_i \cdot \frac{\partial f_i}{\partial \vec{r}} + \frac{\vec{F}}{m_i} \cdot \frac{\partial f_i}{\partial \vec{v}} = \left(\frac{\partial f_i}{\partial t}\right)_{coll} = \sum_{\substack{klmn \\ i \ni klmn}} \left[\iint d\Omega d\vec{v}_l \cdot \left|\vec{v}_l - \vec{v}_k\right| \cdot \sigma_{klmn}(v, \vartheta) \cdot (f_m f_n - f_l f_k)\right]^{(i)}$$

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



الشكل 17: ديناميكا الموائع الممغنطة (v_s هي السرعة الانسيابيّة، بينما v_t هي السرعة الحراريّة، بينما ϵ هي طاقة الجسيم و p الضغط)

الإطار الأساسي للديناميكا الهيدرومغناطيسية، على سبيل المثال، اضطراب MHD، وموجات MHD (موجات Alfvén)، والحمل المغناطيسي، وإعادة توصيل MHD، ونظرية الدينامو الهيدرومغناطيسية

في الشكل القياسي غير النسبوي، تتكون معادلات MHD من قوانين المصونية الأساسية للكتلة وكمية الحركة والطاقة، بالإضافة إلى معادلة التحريض للمجال المغناطيسي. يبيّن الشكل 20 هذه المعادلات مكتوبة بواحدات النظام الدولي للواحدات

سادسًا: استخدامات البلازما

تستخدم البلازما في كثير من التطبيقات نذكر منها:

1. تطبيقات في الطاقة لدراسة إنتاج الكهرباء من الاندماج النووي

عبر تحقيق اندماج ذرات الهيدروجين ونظائرها مثل الديوترونات و التريتيونات مع بعضها البعض، ما يُشكِّل مصدرًا لا ينضب ونظيفًا بالمقارنة بالانشطار النووي، تتكوّن نوى أثقل منها مثل الهليوم مع انطلاق طاقة ناتجة عن فرق الطاقة المكافئة للفرق بين كتل مداخيل الاندماج ونواتجه

الاندماج النووي صعب المراس حيث نحتاج إلى طاقةِ احتواءٍ للبلازما لازمة لعملية الاندماج النووي تصل درجات حرارتها لعشرات بل ومئات الملايين من الدرجات المئوية من أجل إعطاء طاقة كافية للنوى موجبة الشحنة للتغلب على قوى التنافر البينية الناتجة عن قانون كولوم للشحنات المتماثلة، فتتقارب من بعضها البعض بما يتسنى للقوى النووية العظمى من جذبها سوياً وإدماجها بدورها في نوى أثقل من مدخلات الاندماج.

مازال هناك الكثير من الجهد والعمل الدؤوب

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

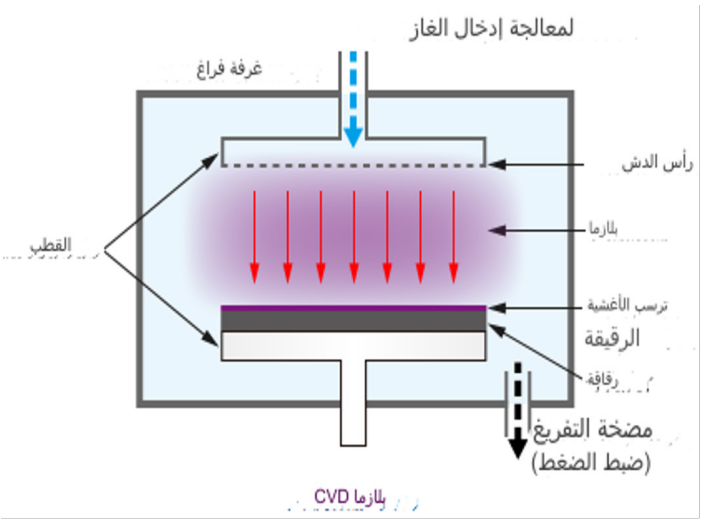
للتغلب على مشاكل كثيرة بعضها يتعلق بفيزياء البلازما واحتوائها وعدم ثباتها وبعضها الآخر يتعلق بأمور هندسية من مثل إيجاد المواد المناسبة للبناء التي ستتحمل هذه البيئة القاسية من حيث الحرارة والإشعاعات النووية.

ما يميز الاندماج النووي أن الوقود المستخدم فيه وهو نظائر الهيدروجين متوافر في كلّ بحار العالم بصورة طبيعية، واستخلاصه من الماء أمر سهل ميسور، كما إن الكمية المستخدمة لتوليد الكهرباء ضئيلة للغاية فكوب من هذه المادة يعطي طاقة آلاف الاطنان من الفحم

2. تطبيقات في الصناعة

للبلازما تطبيقات عديدة في صناعة الإلكترونيات والسيارات والمنسوجات والطلاء وغيرها الكثير. تُتيح نظمُ معالجة السطوح بالبلازما إنتاجَ معدّات فائقة الجودة من حيث الصلابة وزيادة مقاومة التآكل والتوافق الحيوي وتغيير الخصائص البصرية والإلكترونية. يُعَدّ تصنيع الدارات المتكاملة (IC) أحد تطبيقات البلازما الرئيسية، حيث يساهم في حوالي ثلث خطوات إنتاج أشباه الموصلات. يتم إنشاء البلازما في غرفة المعالَجة لتنشيط متسلسلةٍ متحكَّمٌ فيها من التفاعلات الكيميائية على سطح الركيزة. توفِّر معالجة الأغشية الرقيقة هذه في المقام الأول طاقةَ التنشيط، بدلاً من الحرارة، لاستهداف السطوح التي توفّر عمليات الحفر والترسيب والغرس الحرجة على المواد. تتوسع أبحاث البلازما المُتَرَبة Dusty plasma في الصناعة بسرعة بسبب ظاهرة التلوّث الداخلي لمفاعلات البلازما الصناعية المستخدمة في أنظمة IC ومعالجة الأغشية الرقيقة والرش والنقش. يمكن أن يؤثر نمو كتلة الجسيمات النانوية داخل مثل هذه الأنظمة سلباً على سلوك التفريغ لمفاعلات البلازما. وفيما يلي ثلاثة أمثلة لاستخدام البلازما في تصنيع أشباه المُوصِّلات

- الترسيب الكيميائي للبخار المُعزَّز بالبلازما (PECVD)



الشكل 18: الترسيب الكيميائي للبخار المعزز بالبلازما (PECVD)

تُستخدم عملية الترسيب الكيميائي للبخار المعزز بالبلازما (PECVD) لتكوين طبقة من أغشية نيتريد السيليكون (SiN) وأغشية أ كسيد السيليكون (SiO2) في تصنيع أشباه الموصلات السيليكونية

يتم تحويل غاز المادة الخام المزود على الركيزة إلى بلازما بواسطة التيار المباشر (DC) أو تيار التردد اللاسلكي (RF) أو الموجات الدقيقة لتنشيط الجسيمات المثارة المحايدة. إنها طريقة لتكوين طبقة رقيقة عن طريق التسبب في تفاعل كيميائي على الركيزة وترسيب المواد الناتجة

بالمقارنة مع طريقة المعالجة الحرارية التقليدية (طريقة الترسيب الكيميائي البخاري الحراري)، تتميز هذه الطريقة بقدرتها على تكوين طبقة رقيقة عند درجة حرارة منخفضة. ولأنها لا تستخدم جهاز تسخين، فيمكنها التعامل مع الأسطح غير المستوية والأشكال المعقدة

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

- الحفر الجاف بالبلازما (Etching)

الحفـر هو عملية نـحت الأخاديد والأنماط على سـطح الـركيزة. تقليديًـا، يتـم استخدام طـريقة الحفر الرطب باستخـدام محلـول الحفـر. ومـع ذلـك، في السنوات الأخيـرة، أصبـح الحفـر الجـاف باستخدام غـاز الحفر أو الأيونات هو السـائد

الحفـر الجاف بالبلازمـا هـو تقنية تؤدي الحفر عن طريق كشـط سـطح الـركيزة بالبلازما. ويطـلق عليها أيضًـا تقنية الحفر الفيزيـائي الكيميائي

كمـا هـو الحـال في التـرسيب الكيميـائي للبخار للبلازمـا، يتـدفق الغاز على سـطح الـركيزة، ويتحول الغـاز إلـى بلازمـا. في هذا الوقت، تصطـدم الأيونات بالـركيزة لتـعزيز التفاعـل الكيميـائي مـع المـواد الموجـودة في البلازما. هذا يجعل من الممكن كشـطَ سـطح الـركيزة بـدقة على نطـاق ذري

علـى عكـس الحفـر الـرطب، لا يتـم توليد سـائل نفايـات، لذلـك بالإضافة إلـى كونها طـريقة معالجة نظيفة، فإن المعـالجة الأكثـر دقة من الحفـر الـرطب ممـكنة. يمـكن أيضًا استخـدام الحفر الأعـمق لفصل رقـائق أشباه المـوصلات، والمعـروفة باسـم تقطيع البلازما

- التنظيف بالبلازما (Plasma Cleaning)

التنظيف بالبلازمـا هـو تقنية تنظيف تقـوم بتحليـل وتبخيـر المواد العضـوية مثل الزيت الملتصق بسـطح الـركيزة بالبلازمـا. بالإضـافة إلى كونها طـريقة جافة ونظيفة لا تستخـدم الماء أو محاليـل التنظيف، فإنها توفـر أيضًـا مستـوى عاليًـا من التنظيف لا يتـرك أي بقايا

يمـكن لـلتنظيف بالبلازمـا أيضًـا أن يجعل سـطح الجسـم المعـالَج مُحِبًا للمـاء عن طريق كسـر الروابط الجزيئية وتزييـنـه بمجموعات الهيدروكسيل. في عملية تصنيـع أشباه الموصلات، يتم استخدامـه أيضًا لإضافة أُلْفةٍ للمـاء إلـى سـطح PDMS (ثنـائي ميثيـل بولي سيلوكسـان) المنقوش من أجل تحسين التصاق النمط

3. تطبيقات في الطب

أُجـريت التجـارب الرائـدة المبكـرة باستخـدام بلازمـا الضغط الجـوي المنخفض الحـرارة للتطبيقـات الطبية الحيـوية في عقـدٍ امتـد من عـام 1995 إلـى عـام 2004. تضـمنت التجارب الأولى استخـدام تفريغ الحاجز العازل لتعطيل البكتيريا على الأسـطح وفي السـوائل ولتوليـد البلازما النبضية في المحاليل الملحية من أجل التطبيقـات الجـراحية. يُعمـل علـى استخـدام البلازما البـاردة لتطهير الجـروح، وتعزيز تكاثر الخلايـا الليفية، وسـرعان ما تبع ذلـك انفصـال الخلايا.

في نهاية المطاف، جذبت هذه الأعمال الأسـاسية اهتمـام مجتمـع أبحـاث البلازمـا ذات درجـات الحـرارة الـمنخفضة، وشـهد هذا المجـال نمـواً كبيـراً في السنـوات التي تلت عـام 2005 وحتى الـوقت الحاضر. ومنذ ذلـك الـحين تمت متابـعة التطبيقـات في مجال التئـام الجروح وطب الأسنان وعلاج السـرطان وما إلى ذلـك في العديـد من المختبـرات ومـراكز الأبحاث حول العالـم، مـا أدى إلى زيـادة ملحوظة في عـدد ورقات الـمجلات العلميّة حول هذا الموضوع، كما نُشـر العديد من الـكتب حوله. وللبلازما تطبيقـات عديدة في علاج القـرح النـاتجة عن مرض السـكري وعلاج بعض أمراض السـرطانات والتجميـل وعلاج الأسنان

4. تطبيقات في البيئة

تتمتـع البلازما بمجمـوعة من التطبيقـات التكنولوجية في مجـال معـالجة البلازمـا البيئية. نشيـر بمصطلـح معـالجة البلازمـا البيئية إلـى استخـدام البلازمـا لحلّ

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

بعض المشكلات التكنولوجية المرتبطة بالبيئة الطبيعية. وفي هذا الصدد، يتراوح موضوع هذا الجانب في علم البلازما من تخفيف المخاطر البيئية إلى استخدام البلازما لمعالجة المنتجات الثانوية الزراعية وتنقية المياه. يتميز هذا الحقل الفرعي عادةً بتصريفات البلازما الجوية نظراً لأن المادة المراد معالجتها موجودة في عالمنا اليومي. وهذا يتناقض مع معظم معالجة البلازما المادية حيث تتم المعالجة تحت الضغط الجوي بكثير. تشكّل دراسةُ تصريفات البلازما في الغلاف الجوي وتفاعل هذه التصريفات مع المادة جانبًا رئيسيًا من هذا الجهد. في نهاية المطاف، يجب أن تؤدي المعرفة المكتسبة إلى طرق جديدة للحفاظ على بيئتنا آمنة بالإضافة إلى توفير وسيلة أفضل من أجل استخدام الموارد الموجودة لدينا هنا على الأرض وخارجها

يمكن استخدام البلازما لمعالجة الغازات السامة التي تنتَج أثناء تشغيل السيارات والمصانع. تحتوي هذه التصريفات الفعالة على إلكترونات نشطة يمكنها تفكيك الغازات السامة قبل انبعاثها إلى البيئة. يمكن أيضًا استخدام البلازما لمعالجة السلائف الزراعية مثل البذور وكذلك معالجة منتجات النفايات الزراعية. على سبيل المثال، تعتبر قشور الأرز إحدى منتجات النفايات المشتقة من معالجة الأرز، وهي غنية بعنصر السيليكون. يبحث الكثيرون الآن عن كيفيّة استخدام البلازما لاستخراج السيليكون من الدرجة الضوئية من قشور الأرز. إن التنفيذ العملي لمثل هذا النهج يمكن أن يؤدي إلى خفض تكلفة المصفوفات الشمسية

القاتل الرئيسي للأطفال في العالم هو المرض الناجم عن الأمراض التي تنقلها المياه. تعتبر مياه الشرب النظيفة في كثير من النواحي رفاهيةً منتشرة في المقام الأول في البلدان المتقدمة. يقدِّم علمُ البلازما حلولاً محتملة لتنقية المياه. وفي أوروبا بالفعل، تنتشر معالجة المياه بالأوزون المشتق من البلازما على نطاق واسع، وقد ظلت كذلك لفترة طويلة. نركِّز هنا على تطوير التقنيات القائمة على البلازما والتي تتطلب القليل من البنية التحتية بحيث يمكن استخدامها في البلدان المحدودة الموارد والمتخلفة على وجه الخصوص. وفي هذا الصدد، من المستحسن أن يكون لديك جهاز تنقية محمول من أجل تنقية نقطة الاستخدام. وبالتالي يمكن استخدام هذه التكنولوجيا عند الطلب في مجموعة متنوعة من المواقع بدءًا من البرك والجداول وحتى الأنهار، حيث يمكن للمختبر إلقاء نظرة فاحصة على تصريفات البلازما في الماء كوسيلة لمعالجة المياه المحمولة. هدفنا هو فهم فيزياء وكيمياء انهيار البلازما في الماء وتقليل متطلبات الجهد، وبالتالي يمكن تطوير التقنيات على أساس هذا الفهم. يمكن لمثل هذه التقنيات أن تقلل بشكل كبير من عدد الوفيات المرتبطة بالأمراض التي تنتقل عن طريق المياه

وهناك الكثير والكثير من التطبيقات والتي لا يتسع المجال لذكرها هنا.

سابعًا: خاتمة

البلازما هي مادة شديدة السخونة – ساخنة لدرجة أن الإلكترونات تنفصل عن الذرات لتشكل غازًا متأينًا، وهي تشكل أكثر من 99% من الكون المرئي. في سماء الليل، تتوهج البلازما في هيئة نجوم وسُدم وحتى الشفق القطبي الذي يموج أحيانًا فوق القطبين الشمالي والجنوبي. فرع البرق الذي يشق

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

السماء هو البلازما، وكذلك لافتات النيون على طول شوارع مدينتنا. وكذلك شمسنا، النجم الذي يجعل الحياة على الأرض ممكنة

غالبًا ما يطلق على البلازما "الحالة الرابعة للمادة"، جنبًا إلى جنب مع الحالات الصلبة والسائلة والغازية. تمامًا كما يغلي السائل ويتحول إلى غاز عند إضافة الطاقة، فإن تسخين الغاز سيشكل بلازما – حساء من الجسيمات المشحونة إيجابيا (الأيونات) والجسيمات المشحونة سلبًا (الإلكترونات)

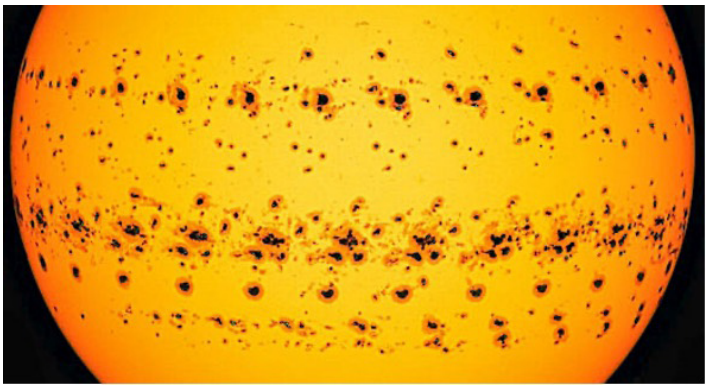
ولأن الكثير من الكون مصنوع من البلازما، فإن سلوكها وخصائصها محل اهتمام شديد من قبل العلماء في العديد من التخصصات. والأمر المهم هو أنه عند درجات الحرارة المطلوبة لتحقيق هدف طاقة الاندماج العملي، تكون كل المادة في شكل بلازما. لقد استخدم الباحثون خصائص البلازما كغاز مشحون لحصرها واحتجازها بواسطة حقول مغناطيسية وتسخينها إلى درجات حرارة أعلى من درجة حرارة قلب الشمس. ويسعى باحثون آخرون إلى استخدام البلازما في تصنيع رقائق الكمبيوتر، ودفع الصواريخ، وتنظيف البيئة، وتدمير المخاطر البيولوجية، وشفاء الجروح، وغير ذلك من التطبيقات المثيرة

المراجع:

1. Introduction to Plasma Physics and Controlled Fusion by F. F. Chen (Third Edition 2016)
2. Fundamentals of plasma physics by P.M. Bellan (2006)
3. Principles of Plasma Discharges and Materials Processing (Second Edition, 2005) by Lieberman, Lichtenberg
4. Plasma physics: An introduction to laboratory, space, and fusion plasmas (2010) by A. Piel
5. Wikipedia
6. The Elusive Plasma-A Journey to the Plasma Wonderland. PPT Presentation.

أخبار علمية

النشاط الشمسي يستمر في الارتفاع



شهد أغسطس/آب 2024 ارتفاعًا غير مسبوق في النشاط الشمسي، حيث تجاوز متوسط عدد البقع الشمسية الشهري 200 لأول مرة منذ 23 عامًا، وهو ما يقارب ضعف التوقعات الرسمية. عند بداية دورة الشمس 25 في ديسمبر-كانون الأوّل 2019 (تستغرق دورة الشمس حوالي 11 سنة، وأُبتُدئ بتسجيلها عام 1755)، توقّع الخبراء أنها ستكون ضعيفة مثل سابقتها دورة الشمس 24، لكن يبدو الآن أنها في طريقها لمنافسة بعض أقوى الدورات الشمسية في القرن العشرين

في مايو/أيّار 2024، شهدنا عاصفة جيومغناطيسية قوية من الفئة المئوية، مع رؤية الشفق القطبي في مناطق مثل جنوب المحيط الهادي وأمريكا الوسطى وجنوب إفريقيا. آخر مرة حدثت فيها البقع الشمسية بهذا المستوى المرتفع كانت في 2001، قبيل عواصف الهالُوين الشمسيّة الشهيرة 2003، وتضمّنت أقوى توهج شمسي مُسجَّل على الإطلاق رغم أنه لا يمكن ضمان تكرار تلك الأحداث، فإن الأرقام الحالية للبقع الشمسية تشير إلى احتمالية حدوث نشاط شمسي مشابه في المستقبل. المصد

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

الرادار الصيني الفائق
يكتشف فقاعة بلازمية فوق الأهرامات المصرية

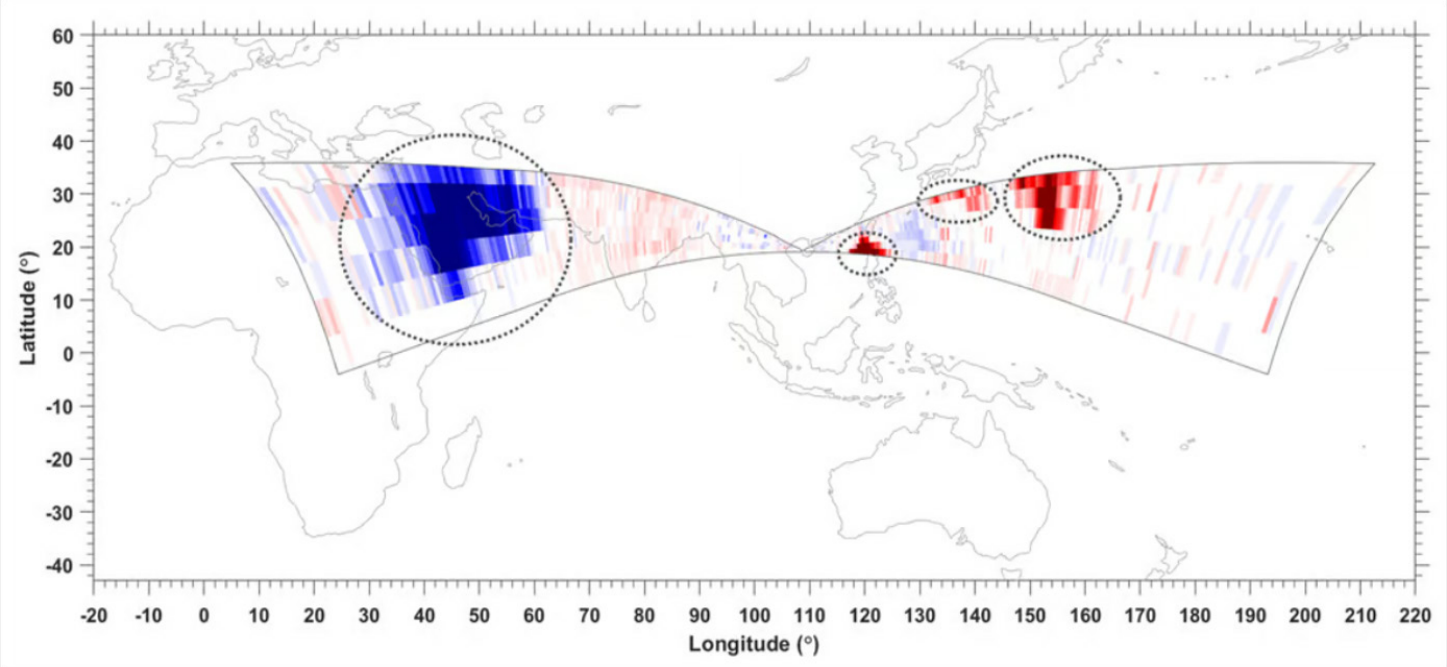
أعلن العلماء الصينيون عن اكتشاف فقاعة بلازمية كبيرة ظهرت فوق أهرامات الجيزة وجزر ميدواي في الوقت نفسه تقريبًا، باستخدام نظام الرادار الفائق "LARID" الواقع في جزيرة هاينان. هذا الرادار القوي، الذي يصل مدى كشفه إلى 9600 كيلومتر، هو الأول من نوعه في العالم القادر على رصد الفقاعات البلازمية في الغلاف الجوي العلوي للأرض

الفقاعات البلازمية هي ظواهر جوية نادرة تحدث في المناطق ذات خطوط العرض المنخفضة نتيجة اختفاء مفاجئ لعدد كبير من الجسيمات المشحونة في الأيونوسفير. هذه الفقاعات، التي يمكن أن يصل قطرها إلى مئات الكيلومترات، تُسبِّب اضطرابات في أنظمة GPS وتقطع الاتصالات عبر الأقمار الصناعية

تمّ تطوير رادار "LARID" العام الماضي، وهو يستخدم تقنياتٍ متقدمةً تُمكِّنه من إرسال موجات كهرومغناطيسية عالية الطاقة ترتد بين الأيونوسفير وسطح الأرض، مما يسمح له برصد الفقاعات البلازمية على مسافات بعيدة. بفضل هذه التكنولوجيا، تمكّن العلماء من تتبع حركة وتشكيل الفقاعات البلازمية في الوقت الحقيقي، وهو إنجاز لم يكن ممكنًا في السابق

تشكل الفقاعات البلازمية تهديدًا متزايدًا للاتصالات وأنظمة الملاحة، حيث تتسبب في اضطرابات في الغلاف الأيوني تؤثر على الأنظمة التي تعتمد على الأقمار الصناعية. يشير العلماء إلى أن هذا الاكتشاف يعد خطوة مهمة في فهم هذه الفقاعات وتأثيراتها على التكنولوجيا الحديثة

المصدر



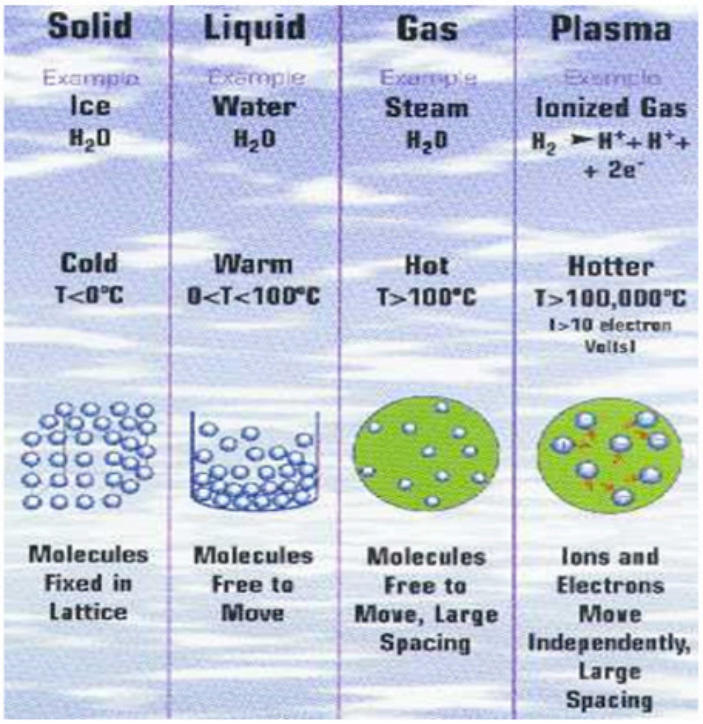
الموجات اللاخطية المنتشرة فى بلازما الفضاء

ابراهيم القماش ومحسن زهران
مجموعة الفيزياء النظرية، كلية علوم المنصورة، مصر

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

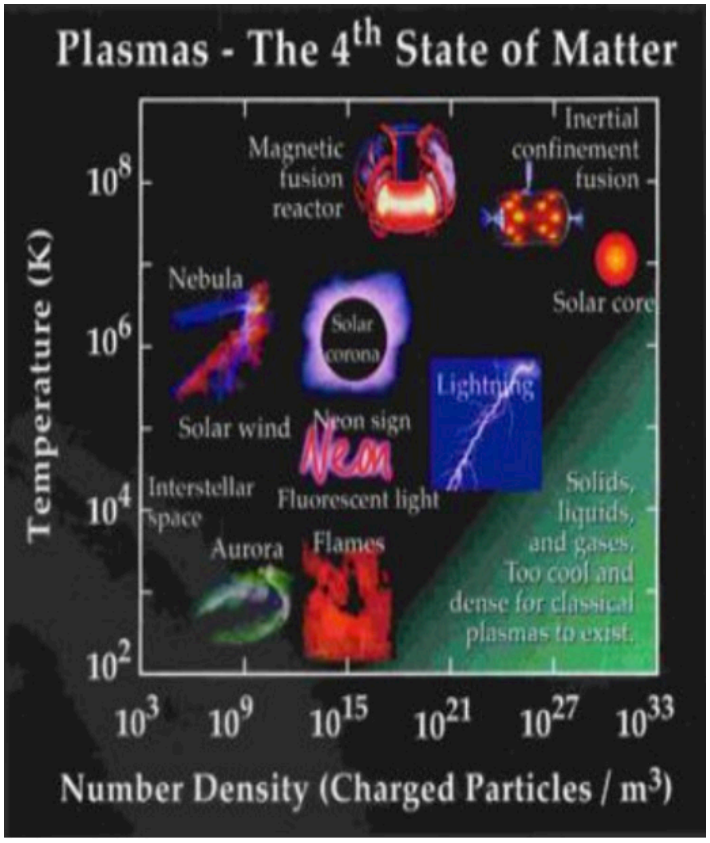
أولاً: فيزياء البلازما في الفضاء – نظرة عامة

فيزيـاء البلازمـا فرع أسـاسي من علـم الفيزياء يدرس سـلوك وخصائـص البلازمـا، التي غالبًا ما يُشـار إليها باسـم الحـالة الرابعة للمـادة (صلبة- سـائلة- غـازية- بلازمـا)، والمثيـر إنهـا تمثِّل نـسبةً أكثـر من 99% من كتـلة الكون الظاهـر أو المرئي القابـل للرصد. البلازما هي غـاز متأيِّن يتكـون من جسيمات مشـحونة تتحرك بحـرية، وعـادة ما تكـون إلكترونـاتٍ وأيوناتٍ مـوجبةً، انظـر الشـكل (1). تحدث هذه الحـالة الـمتأيّنة عندما يتم تـطبيق طاقة كافية على الغـاز، ممّا يتسبب في تحـرر الإلكترونـات من ذراتهـا الأصـلية. وعلـى عكس الغـازات العـادية، تُظهـر البلازمـا سـلوكياتٍ جماعيةً فريـدة بـسبب القـوى الكهرومغناطيـسية طويـلة المـدى بين هذه الجسيمـات المشـحونة



الشكل 1: حالات المادّة الأربع

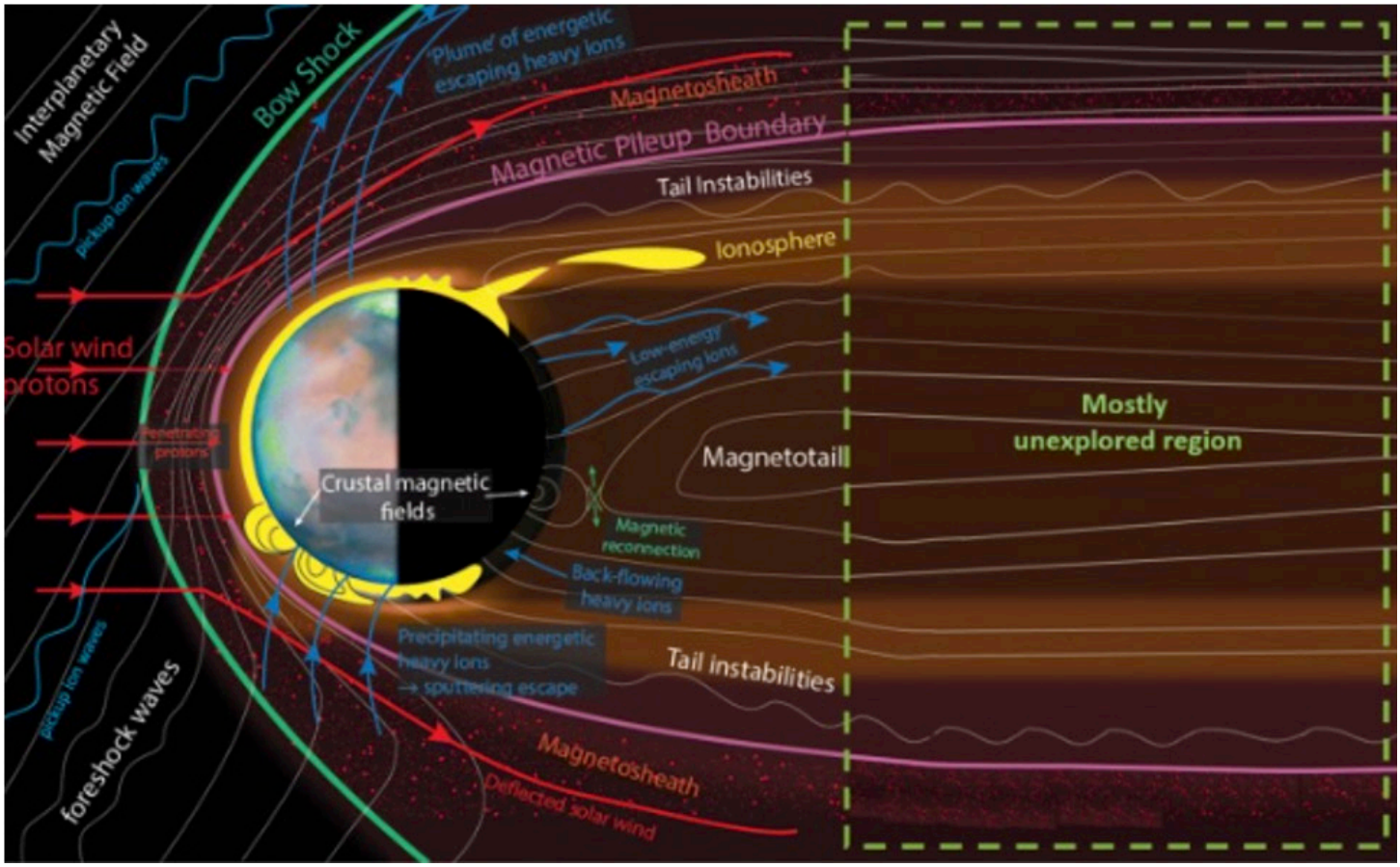
الجديـر بالذكـر أن الخليـطَ النـاتجَ من الجسيمـات المشـحونة يُصبح مـوصّلًا كهربائيًا وسـريعَ الاستجابة للحقـول الكهرومغناطيـسية. كمـا هـو موضـح في الشـكل (2)، يمـكن أن توجـد البلازمـا ضـمن أشـكال عديـدة، فقـد تكـون بـاردةً وضـعيفةَ الكثـافة نسبيًا كمـا هو موجـود في مصابيح الفلور المستشـعّة، كما يمكنهـا أن تكـون سـاخنةً وكثيفةً بشـكل غيـر عادي في قـلب النجـوم. في الـحقيقة، المقـال مخصـص بصفة أسـاسية لشـرح فيزيـاء البلازما المنتشـرة في الفضـاء والمُكوِّنة تقريبًا لمجمل الكـون المرئي، وهذا الموضـوع بالتأكيـد تخصـصٌ أسـاسي في الفيزيـاء الفلـكية وعلوم الفضـاء. يجعـل هذا الانتشـارُ فيزياءَ البلازمـا ضروريةً لتفسير مجموعة واسـعة من الظواهر الكـونية، من أصغـر مقاييـس المجـال المغناطيـسي الكـوكبي إلـى أكبـر الهيـاكل في الكون



الشكل 2: أين توجد البلازما - الحالة الرابعة للمادة

في السياقـات الفيزيـائية الفلكية، توجـد البلازما عبـر نطـاق هائـل من الكثافـات ودرجات الحـرارة، من البلازما الضعيفة في الوسـط بين المجرات إلى البلازما

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



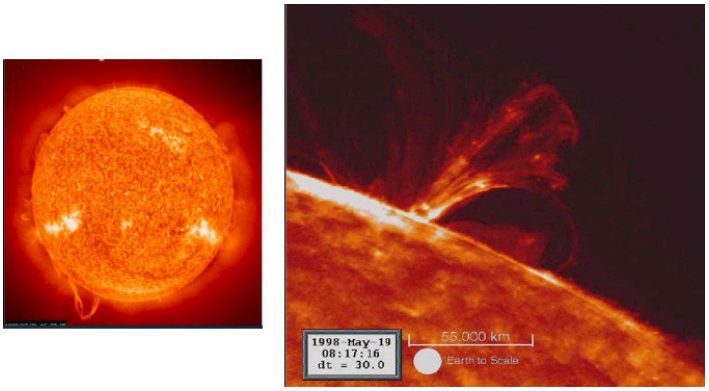
الشكل 3: ظواهر فضائيّة تتضمّن البلازما

شـديدة الكثافة في باطن النجـوم النيوترونية. يتطلب هذا التنـوّع مجمـوعةً واسـعة من الأسـاليب النظرية وتقنيـات المـراقبة لفهـم سـلوك وخصائـص البلازما الفيزيـائية الفلكية بشـكل كامل.

ولعـل من المفيـد أن ندلّـل علـى أهـمية دراسة البلازمـا الفضـائية بذكـر عـدد لا بأس بـه من الأمثلة والظواهـر الكـونية، ومن أهمهـا الريـاح الشـمسية والغلاف الشـمسي. تعتبـر الريـاحُ الشـمسية واحدة من أهـم ظواهـر البلازمـا الفضـائية، وهي عبارة عن تيـار مستمـر من الجسيمـات المشـحونة الصـادرة عن الغلاف الجوي العلوي للشـمس، أو الهالة الشمسية. وتنتقـل هذه البلازمـا، التي تتكـون في الأسـاس من البروتونـات والإلكترونـات، بسـرعات تفوق سـرعة الصوت، حامـلة معها المجال المغناطيسي للشـمس، ومع اتّسـاعها في الفضـاء، فإنها تخلق فقاعة ضخمة تُعـرف بـالغلاف الشـمسي، تمتـدّ إلـى ما هـو أبعد من مـدار بلوتو. يُشـكِّل التفاعل بين الرياح الشـمسية والوسـط بين النجوم حـدودَ الغلاف الشـمسي، التي تحـدِّد حـافةَ بيئة البلازمـا في منظومتنا الشـمسيّة. ومن الجدير بالذكـر أن أهم الأمثلة المُعبِّرة عن البلازما هـو الغلاف المغناطيـسي وبيئات البلازمـا الكوكبية، فعندمـا تـلتقي الرياحُ الشـمسية بكـوكب ذي مجال مغناطيـسي كبيـر، مثـل الأرض، فإنهـا تخـلق غلافًا مغناطيسيًّـا، وتعمـل هذه المنطقةُ المـليئة بالبلازما، التي يُشـكّلها المجـال المغناطيسي للكـوكب، كدرعٍ ضـدَّ الريـاح الشـمسية. يؤدي التفاعـل بين الريـاح الشـمسية والغلاف المغناطيسي إلـى عمليات بلازما معقدة، بمـا في ذلك إعـادة الاتصـال المغناطيسي، وتسـارع الجسيمـات، وتكـوين أحزمة الإشـعاع. هذه العمليـات مـسؤولة عن ظواهر مثـل الشفق القطبي، والعـواصف الجيومغناطيـسية، وأحزمة فـان ألين الإشـعاعية حـول الأرض، انظر الشـكل (3).

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

تمتلك الكواكب الأخرى في منظومتنا الشمسيّة، مثل المشتري وزحل، غلافًا مغناطيسيًّا خاصًّا بها مع بيئات بلازما مميزة. ولذلك تخلق المجالاتُ المغناطيسية القوية لهذه الكواكب العملاقة ومصادرُ البلازما الداخلية، كالأقمار البركانية مثل آيو، غلافًا مغناطيسيًا ضخمًا وديناميكيًا. من الطبيعي أن البلازما مكوِّن أساسي للغلاف الجوي للنجوم، بما في ذلك شمسنا، فالنجوم عبارة عن كرات عملاقة من البلازما متماسكة معًا بفعل الجاذبية. انظر الشكل (4).



الشكل 4: النجوم عبارة عن كرات عملاقة من البلازما

إن دراسةَ فيزياء البلازما أمرٌ بالغ الأهمية لفهم بنية النجوم وتطورها ولتفسير الظواهر المختلفة التي لوحظت في الغلاف الجوي للنجوم. مثلا ترتكز فيزياء الشمس -وهي فرع من فيزياء البلازما الفضائية- على فهم الطبقات الخارجية للشمس، بما في ذلك الغلاف الضوئي والأيونوسفير والإكليل. ولذلك تشرح عملياتُ وقوانينُ البلازما السماتِ والظواهرَ الشمسية الغامضة مثل البقع الشمسية والتوهجات الشمسية والانبعاثات الكتلية الإكليلية، والتي يمكن أن تكون لها بالضرورة تأثيراتٌ كبيرة على الطقس الفضائي والأنظمة التكنولوجية للأرض. كمثالٍ على ذلك، يمكن أن تتسبب الانفجاراتُ الشمسية، مثل القذف الكتلي الإكليلي والتوهجات الشمسية، بحدوث عواصف جيومغناطيسية عندما تتفاعل مع الغلاف المغناطيسي للأرض، وقد تؤدي هذه العواصف إلى تعطيل عمليات الأقمار الصناعية، وإلى التأثير على دقة نظام تحديد المواقع العالمي GPS، وحتى إلى إحداث تيارات في شبكات الطاقة على الأرض، ممّا قد يؤدي إلى انقطاع التيار الكهربائي على نطاق واسع. في الحقيقة إن فهم وتوقع ظواهر الطقس الفضائي أمر بالغ الأهمية لحماية البنية التحتية التكنولوجية لكوكبنا وللمنظومة الشمسية بمنظور أوسع

من الرائع أيضًا أن نُنوِّه إلى أن فيزياء البلازما الفضائية تتعامل أيضًا مع البيئات المتطرفة حيث يصبح سلوك البلازما معقدًا للغاية وغريبًا شاذا في كثير من الأحيان. تشمل الأمثلة على ذلك أقراصَ التراكم حول الثقوب السوداء، حيث تصل البلازما إلى سرعات قريبة من سرعة الضوء وتتعرض لحقولٍ جاذبيةٍ شديدة. في هذه البيئات، تتقاطع فيزياء البلازما مع قوانين النسبية العامة، ممّا يؤدي إلى ظواهر رائعة مثل نفثات البلازما التي تخرج من النَّوى المَجرّية النشطة بسرعات قريبة من الضوء. في هذا المقال، سوف نحصر جهدَنا لفهم أحد أهم الظواهر الفيزيائية التي تتجلّى في فيزياء البلازما الكونية وهي انتشار الموجات البلازمية. إن دراسة الموجات البلازمية وعدم استقرارها تُشكِّل جانبًا بالغ الأهمية في فيزياء البلازما الفضائية حيث تلعب هذه الظواهر الموجية وخصوصًا اللاخطية دورًا مهمًا في نقل الطاقة وتسريع الجسيمات وتسخين البلازما في بيئات فضائية مختلفة. على سبيل المثال، يمكن للموجات البلازمية في الغلاف المغناطيسي للأرض تسريع الجسيمات إلى طاقات عالية، ممّا يساهم

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

في توليـد أو تكـوين أحزمة الإشـعاع وأيضـا في إكسـابها ديناميكيّتَها. ومن الـملاحظ أيضًا في الهالة الشـمسية، أنه يُعتقـد أن عدم استقـرار البلازما يلعب دورًا رئيسيًـا في تـسخين الهـالة إلـى درجـات حرارة تتجـاوز بكثيـر درجـات حـرارة سـطح الشـمس. الجدير بالذكـر أن اللاخـطية الموجودة في النمـاذج الرياضية التي تـصف الظواهر الطبيعية هي المسؤولة بالدرجة الاولـى عن أمـور التعقيـد –التـركيب- والتآزر والإبداع والجمـال الموجـودة في الكـون. ومن هذا المنطـلق نعـطي نبذة مختصـرة عن مفهـوم اللاخـطية في فيزيـاء البلازما

ثانيًا: الظواهر اللاخطيّة في البلازما

علـم البلازمـا من العلـوم اللاخـطيّة التي لا ينـطبق عليهـا مبـدأ التـراكب حيث إن المخرجـات لا تتنـاسب مـع المـدخلات، بخلاف علـم ميكانيكا الكـم الذي هو علـم خـطي يشـكِّل مبـدأُ التـراكب جزءًا جوهريًّـا من أسـاسيّاته. وبسبب التأثيرات اللاخـطية الموجودة في البلازمـا والنـاتجة عن توالـد التوافقيّـات (harmonic generation) وقـوه لـورنتز الكهرومغناطيـسية والتأثيـرات اللاخطية الأخـرى، ينتج العديد من الظواهر اللاخـطية، منهـا مثلا

(1) تكـوُّن الموجات اللاخطية التي تشتهر بها البلازما، مثـل الموجـات السـوليتونية والموجـات التصـادمية والموجات الـمُخيفة.

(2) تفاعـل جسيمـات البلازما مـع الموجات المنتشـرة فيهـا، وينتج عنـه إمّـا انتقـال الطـاقة من المـوجة للجسيم ممّا يؤدّي إلى تسـارعِه، أو انتقال الطاقة من الجسيـم للموجة ما يقتضي تبـاطؤًا للجسيم وتعاظمًا للموجة

(3) تفاعـل الموجـات مـع بعضهـا البعض، ممّـا يولّد موجـات لم تـكن موجـودة في الأصل.

سنتكلـم باختصـار في هذ المقال عن بعض ظواهر الموجـات اللاخطّيّة، حيث يمـكن لطاقة الاضطراب في الوسـط -نتيجةَ وجـود تأثيـرات غير خطية في وسـط البلازما- أن تتجمع وتنتج عنها موجةٌ تنتشـر في وسط البلازما. أشـهر هذه الموجـات اللاخطية ما يلي

(أ) الموجات السوليتونية (Solitary waves):

في أغسطس 1834 تم اكتشاف الموجات السوليتونية عن طريق المهندس الأسـكتلندي جون رَسِـل حيث إنه كان يقف علـى قنـاة الاتحاد بإدنبره فـرأى رجلًا يركب علـى حصـان يجـر خلفه عـربة، وبعـد تـوقف الحصان تجمّـع الماء وكوّن مـوجةً، ولـكن الأمرَ الغـريب الذي أثار انتباه رَسِـل وجعلـه يتبع هذه الموجة على حصانه تسـعةَ أميـال تمثّـل في أن هذه المـوجة لـم يحدث لهـا انهيـار. ظلّـت المـوجة محـافظةً على شـكلها وسـرعتها مسـافة كبيـرة جـدًّا، وأُطلق عليها اسـمَ مـوجة الانتقـال. من المعروف أن الموجات المنتشـرة في وسـط مثـل الصـوت في الهواء يحـدث لها بعد مسـافة معينة انهيـار، فتتفكك، ولـكن هذه الموجة الغـريبة ظلت محـافظةً على ارتفاعها وسـرعتها، ولم يحـدث لهـا تفكك لمسـافة طويلة

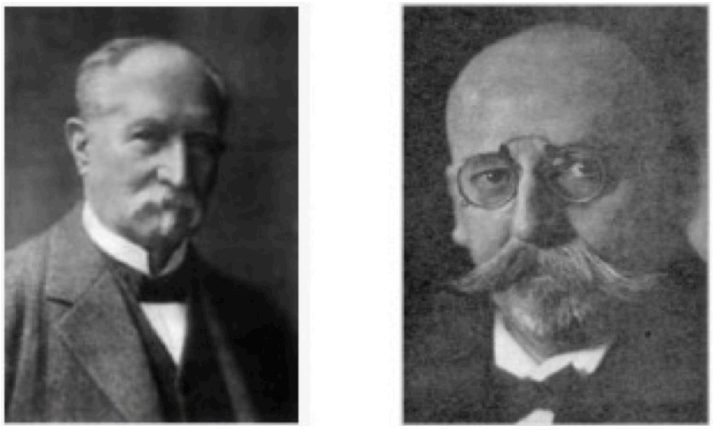
في 1995 استطـاعت مجمـوعة من العلمـاء الأسـكتلنديّين -بعد 160عام من اكتشاف رَسِل لموجة الانتقـال- تكوينَ الموجة مرةً أخـرى في نفس القناة، انظر الشـكل (5).

في عـام 1871 استطاع Boussinesq تفسيرَ لماذا لا تنهـار هذه المـوجة ولا يوجـد فقْـدٌ في طاقتها، حيث أوضـح أن هنـاك توازنًـا بين زيـادة ارتفاع الموجة نتيجةً للتأثيـر اللاخـطي وزيـادةِ عرض المـوجة نتيجةً لتأثيـر التفـكّك، مـا يؤدّي إلـى ثبـات شـكل الموجة.

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

الشكل 5: الموجة السوليتونيّة

ولـكن في عـام 1895 استطـاع الأستـاذ Korteweg وتلـميذه de Vries استنتـاجَ معـادلةٍ ريـاضية لوصف انتشـار هذه المـوجة، وسـميت باسـمهما: معـادلة كـورتيفيغ-دي فريس Korteweg-de Vries equation واختصارًا معـادلة KdV



الشكل 6: العالِمان كورتيفيغ ودي فريس

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + A\psi\frac{\partial \psi}{\partial x} + B\frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3} = 0$$

تحتوي هذه المعادلة علي ثلاثة حدود:

الحـدّ الاول: يعبّـر عن التغيّـر الزمني لارتفـاع الموجة و شكلها

الحـد الثـاني: يعبّـر عن التأثير اللاخـطي للمنظومة علـى المـوجة، حيث المعامل A يحتـوي على الخواص اللاخـطيّة. تؤدي زيـادةُ تأثيـر هذا الحـد إلـى زيادة السـعة، وبالتـالي زيادة سـرعة الموجة، وهـكذا فإن هذا الحـدّ مـسؤول عن تجمّـع طـاقة المنظومة

الحـد الثـالث: يعبّـر عن تأثيـر التفـكّك أو التشتت للمنظـومة على الموجة، ويُسـمّى المعاملُ B معاملَ التحلل أو التشتت. يعمـل هذا الحدّ على تشتيت طاقة الموجة والمنظـومة، ويؤدي إلى زيـادة عرض الموجة وتقليل سـرعتها

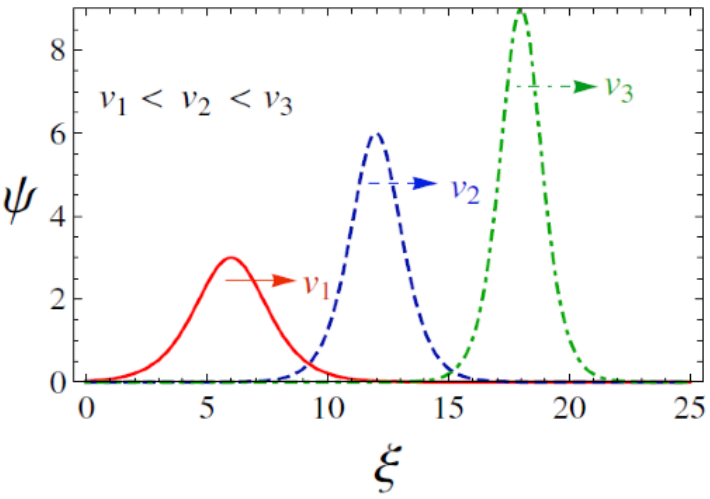
إن تأثيـرَي الحدَّين الثاني والثالث متعاكسـان، حيث يؤدي أحدهمـا إلـى تـركيز وتجميع الطـاقة وبالتالي زيـادة السـعة، بينمـا يؤدّي الثاني إلـى تشتّت وتحلّل الطـاقة، ومن ثـمّ إلـى نقصان السـعة. لذلـك يؤدي التـوازن بين هذين الحـدَّين إلـى ثبات السـعة، فيثبت شـكلُ المـوجة عبـر مسـافات كبيـرة، وهذا ما يـميّز الموجـات السـوليتونية التي رصدها رَسِـل

في عـام 1965، استطـاع العالمـان Kruskal و Zabusky إجـراءَ تجـربة حاسـوبيّة لـدراسة خـواص الموجـات السـوليتونية، ووجدا أن هنـاك نبضةً موجيةً تحـافظ علـى شـكلها وسـرعتها حتـى بعـد إجرائها حـوادثَ صـدمٍ، وأطلقـا عليهـا تسـميةَ السـوليتون (soliton) حيث إنهـا تمتلـك صفةَ الجسيم الذي يحافظ على شـكله بعد التصادم، ولذلـك أضافا المقطع (on) علـى كلـمة (solit) تشبُّهًـا بالإلكتـرون والبروتون

ويُعدّ هذا الأمر من مميّزات الموجات السـوليتونية، فـهي الموجـات التي تحـافظ علـى شـكلها، وتزداد سـرعتها بزيادة السـعة المترافقة مـع نقصان العرض، انظر الشـكل (7).

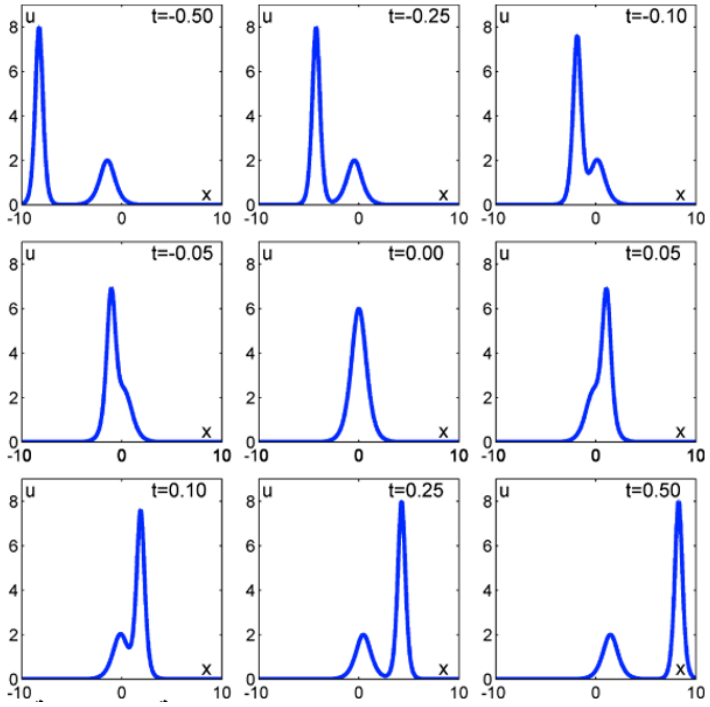
تـمّت مشـاهدة هذه المـوجة في العديـد من الأنظـمة الفيزيـائية والطبيـعية بـل والكـونية، حيث تـمّ رصدُهـا في البلازما المعمـلية والفضـائية، وأيضا تـمّت مشـاهدتُها في المـاء العميق وجـرى رصدُها في الأليـاف الضـوئية، وأيضـا في المـواد الـكثيفة.

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



الشكل 7: الموجة السوليتونيّة

السـوليتون: هوأحد أنواع الموجات السوليتونية التي تحـافظ علـى شـكلها حتـى بعـد التصـادم، ولذلك يمتلـك صفةً من صفـات الجسيـم، ويشـرح الشـكل (8) بالتفصيـل كيفيّةَ تصـادم مـوجتين من موجـات السـوليتون لتخرج كلتاهما محـافظتَين بالكامل على شكلَيهما



الشكل 8: تصادم سوليتونَين

ولذلـك تُعتبَر دراسةُ خواصّ انتشـار وشـكل هذا النوع من الموجـات مهمةً جدًا في فهـم الخواص الفيزيائية للأنظمة

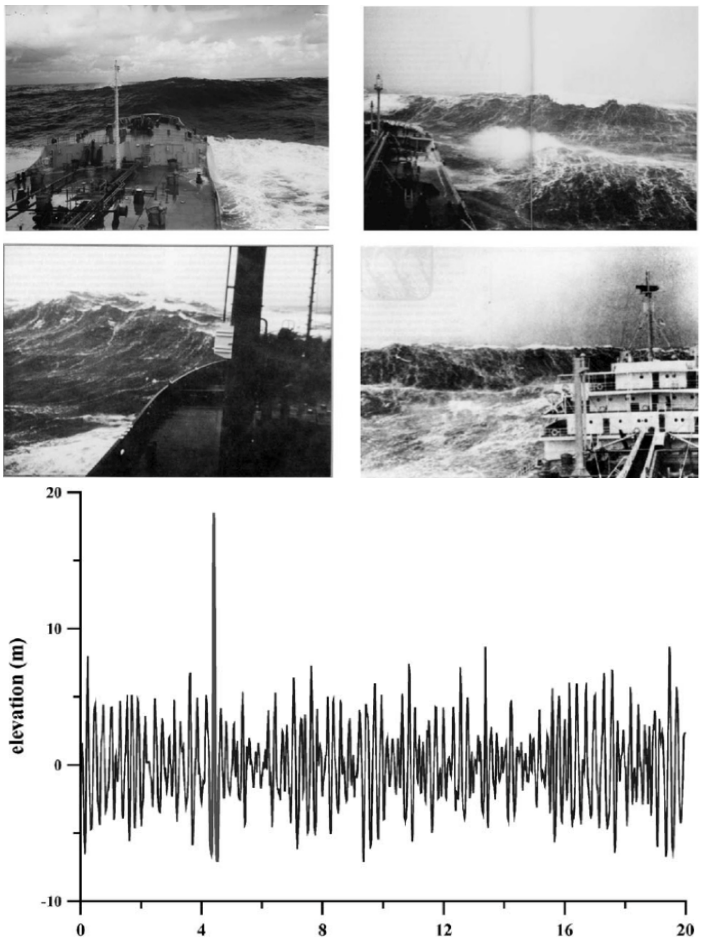
(ب) الموجـات الـمخيفة أو الشـاردة (freak or rogue wave)

دعونا نشـرح مفهوم الموجة الشـاردة بشـكل موجز. بعبـارة بسيـطة، الموجة الشـاردة هي مـوجة كبيرة بشـكل استثنائي وغير متوقعة تظهـر فجأة وتختفي دون أثـر، وقـد لـوحظت هذه الموجات الضخـمة في المحيطـات. وفي الآونة الأخيـرة، تـم تحديـد هذه الموجـات في نظـمٍ فيزيـائية مختلفة، بمـا في ذلك البلازمـا، حيث تمثّـل اضطراباتٍ موضعيةً عاليةَ السـعة تظهر بشـكل غيـر متوقَّـع من ظروف هـادئة، وعلى مـا يبـدو يمـكن أن تكـون هذه الموجـات مصحـوبة بخنـادق (ثقوب) عـميقة، تحـدث قبـل و/أو بعد أعلى قـمة. يمـكن أن تكون لهذه الموجـات آثار كبيرة على مختـلف التقنيـات القائـمة علـى البلازمـا والظواهر الطبيعية

يتحـدث البحـارة عن "جـدران من المـاء"، أو عن "ثقـوب في البحـر"، أو عن عـدة أمواج عـالية متتالية ("الأخوات الثلاث")، تظهر دون سـابق إنذار في ظروف هـادئة خلاف ذلك. بـدءًا من سبعينيّات القرن الماضي، بـدأ علمـاء المحيطـات في تصديقهـم، حيث أشـارت الملاحظـات التي جمعتها صناعتا النفط والشـحن إلى وجـود شيء مـا يشبـه وحشًـا حقيقيًـا من الأعمـاق يبتلـع الـسفن والبحارة بـدون رحـمة أو تحذير

تـمّ أوّل رصـد لـهذه المـوجة من خلال الحصـول علـى البيانـات الآلية لتسجيل الموجة الشـاذّة الخاصّة بمنصّـات نفط مختلفة. يوضّح الشـكل (8) موجةَ "رأس السنة الجديدة" الشـهيرة التي بـلغ ارتفاعها 26 مترًا والتي تـمّ تسجيلهـا في "دراونـر" (منـصة ستاتويـل الجـاكيت، النرويج) في بحر الشـمال في 1 يناير 1995

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



الشكل 9: تسجيل موجة رأس السنة الجديدة (بحر الشمال 1995)

بينمـا لا تزال الآليـات الـدقيقة وراء توليد موجات البلازما الشـاردة قيد الاستكشـاف، يُعتقـد أن العديدَ من العوامـل الرئيسية يسـاهم في تكوينها:

- اللاخـطية: البلازمـا بطبيعتهـا غير خـطية، ما يعني أن التغيّرات الصغيرة في الشـروط الأولية يمكن أن تؤدي إلى نتائج مختلفة بشـكل جذري. تسمح هذه اللاخـطية بتضخيـم اضطرابات الموجة، ممّـا قد يؤدي إلـى تكوين موجات شـاردة

- عـدم الاستقرار التعـددي: تحدث هذه الظاهرة عندما يتـم تعديـل مـوجة مستمرة، ممّـا يؤدي إلى إنشـاء منـاطق ذات سـعة أعلى وأخرى ذات سـعة أقل. تحت ظروف مـعينة، يمكن أن تنمو هذه التعديلات بشـكل كبيـر، ممـا يؤدي إلـى تكوين هيـاكل موضـعية، بما في ذلك الموجات الشـاردة

- تفـاعلات المـوجة مع المـوجة: تدعـم البلازما وجودَ مجمـوعة متنـوعة من أنماط الموجة يمـكن أن تتفاعل مـع بعضهـا البـعض. من الممـكن أن تنقـل هذه التفـاعلاتُ الطـاقةَ بين مكونـات المـوجة المختـلفة، ممّـا يؤدي إلى تضخيـم أنماط معينة وإنشـاء موجات شاردة

- الاضطرابـات الخـارجية: يمـكن للعوامـل الخـارجية، مثـل الاضطراب وتقلبات المجـال المغناطيسي أو حزم الجسيمـات، أن تُدخِل طـاقةً في منظـومة البلازما ما يُحـرِّض على تكـوين الموجات الشـاردة

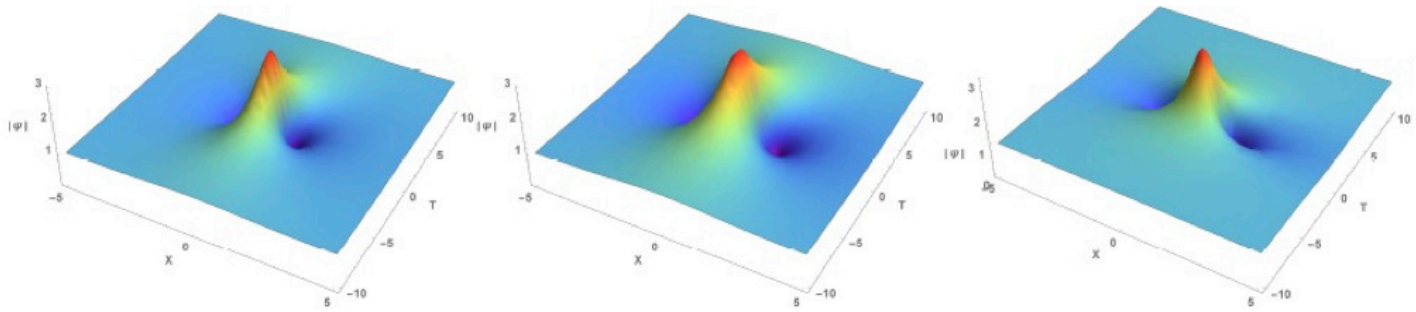
- وأخيـرًا دور السـوليتونات: وهي -كمـا ذكرنا- موجات موضعية مستقرة تحافظ على شـكلها أثناء الانتشـار، غالبًـا ما تُعتبر بمثابة السلائف للموجات الشـاردة، حيث يمـكن أن تتفاعـل وتنـدمج مـع سـوليتونات أخرى، ما يؤدي إلـى إنشـاء هيـاكل أكبـر يمـكن أن تتطور إلى موجات شـاردة

التحديـات في النـمذجة والمحـاكاة: تُعـدّ محاكاة تكـوين وتطـور موجات البلازما الشـاردة بـدقة مهمّةً مُعقّـدة بـسبب النطاق الواسـع للمقاييس المـعنية، والتفاعـل المعقـد بين العمليات الفيزيـائية المختلفة. تُعـدّ مـواردُ الحوسبةِ عـاليةِ الأداء والتقنيـاتِ العددية المتقدمة ضـروريةً لالتقاط ديناميكيـات هذه الظواهر الغـامضة. أثبتت الأجنـدة البـحثية الحـديثة في مجال الموجات الشـاردة أنه يمكن دراسة ظواهرها المعقّدة عن طـريق معادلـه شـرودنجر اللاخـطية ذات الشـكل الريـاضي التالي

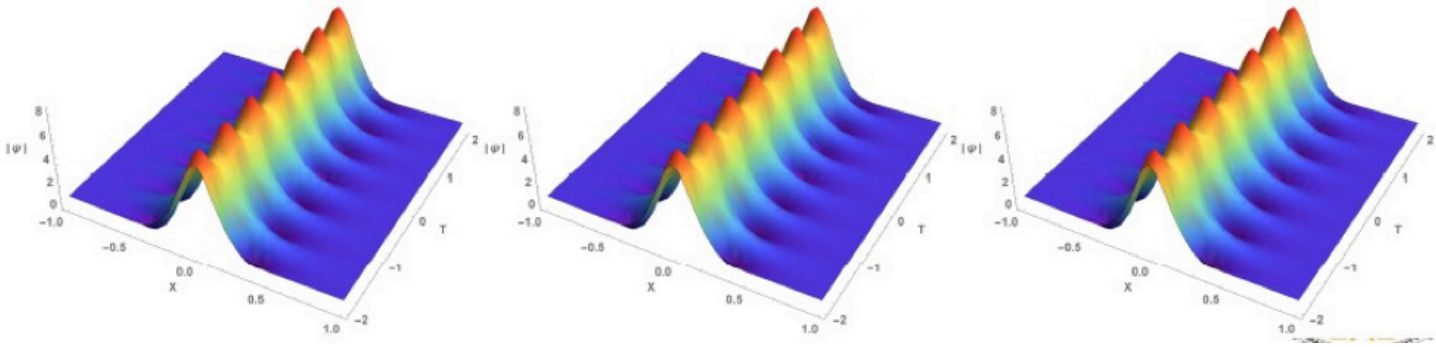
$$i\frac{\partial \psi}{\partial \tau} + P\frac{\partial^2 \psi}{\partial \xi^2} + Q \mid \psi \mid^2 \psi = 0$$

من المهـمّ إدراكُ أن معـادلة شـرودنجر اللاخـطية

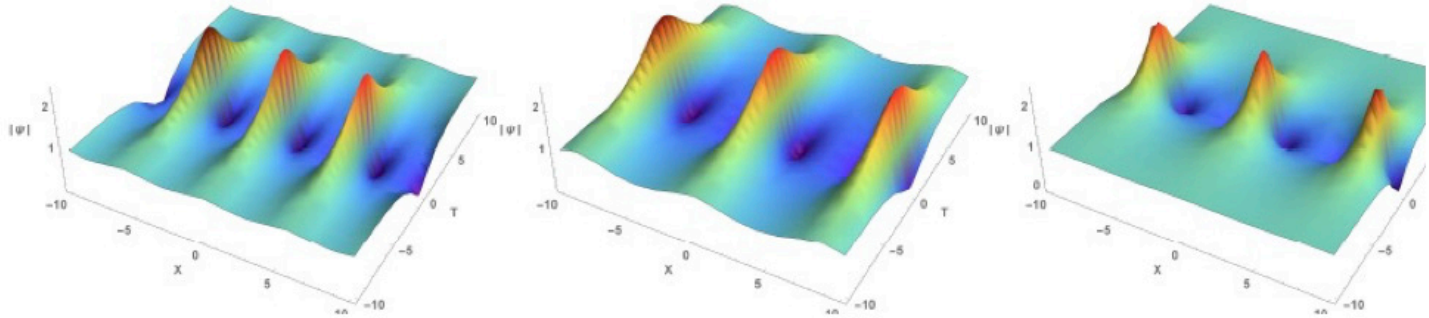
© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



الشكل 10: سوليتون بِرِجرين



الشكل 11: استراحة كوزينتسوف – ما



الشكل 12: متنفَّس أخميديف

تختلف كليًّا عن معادلة شرودنجر في علم ميكانيكا الكم، حيث هناك حدّ يحتوي على دالة الجهد (الكمون) الخطي، أمّا هنا فإن دالة الجهد في الحدّ الأخير هي دالة تعتمد على الدالة نفسها، وبالتالي فهي داليّ غير خطي. لنستعرض الآن بعض سيناريوهات حل المعادلة معتمدين على شكل الحلول في الأبعاد الثلاثة، مبيّنين في الوقت نفسه جمالَ النمذجة وعظمةَ الحلول الناتجة.

1) **سوليتون بِرِجرين (Peregrine soliton):** حلّ يصف تمركزًا في الزمان والمكان. انظر الشكل (10)

2) **استراحة كوزنيتسوف - ما Kuznetsov-Ma breather:** حلّ يصف تركّزًا للطاقة في المكان ودوريّةً في الزمان. انظر الشكل (11)

3) **متنفَّس أخميديف Akhmediev breather:** حلّ يصف تركّزًا للطاقة في الزمان ودوريّةً في المكان انظر الشكل (12)

والجدير بالذكر أن أوّل ظهورٍ للموجات الشاردة أو المخيفة في البلازما المخبريّة كان في عام 2011، ومن ثمّ جرى رصدُ الموجات في العديد من فروع الفيزياء المختلفة مثل البصريّات والمواد الكثيفة والمياه

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

ثالثًا: الاتجاهات والتحديات المستقبلية

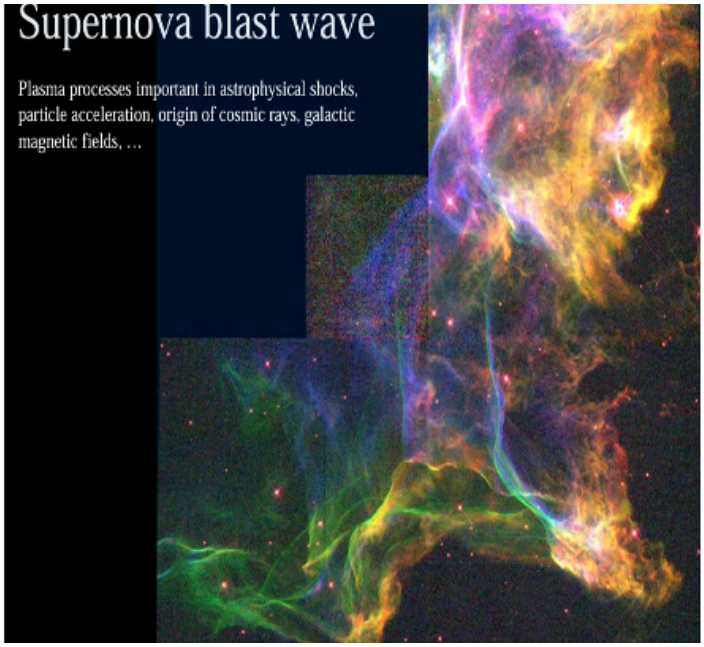
مـع استمرار استكشـافنا للفضاء، تواجـه فيزياء بلازما الفضـاء تحدّيـاتٍ وفرصًا جديدة. ويظل تحـسين قدرتنا علـى التنبؤ بالطقـس الفضائي هدفًـا رئيسيًا يتطلب التقدّمَ في كلٍّ من القـدرات الرصدية والفهم النظري. إن استكشـافَ بيئـات البلازمـا الأكثـر بعـدًا، مثل تلك الموجـودة حـول النجـوم الأخـرى أو في الأطـراف الخارجية لنظامنا الشـمسي، سـوف يقدم آفاقًا مثيرة لاكتشـافات جديدة. تتضمن بعض المجـالات الرئيسية للبـحث الجاري

- فهـمَ آليـات تسـارع الجسيمـات في البيئـات الفيزيـائية الفلـكية المختـلفة
- تطويرَ محـاكاةٍ أكثرَ تطوراً لاضطرابـات البلازما عبـر مقاييـس متعـددة الأبعـاد الهنـدسية
- استكشـافَ دور عمليـات البلازمـا في تكـوين وتطـوّر المجـالات المغناطيـسية الكـونية

لا تزال هنـاك تحديـاتٌ في سـدّ الفجـوة بين عمليـات البلازمـا المجهـرية والظواهـر الفيزيـائية الفلـكية واسـعة النطـاق، وكذلـك في تطويرِ نمـاذجَ محاكاةٍ يمكنهـا التقاطُ تعقيـدِ الأنظـمة الفيزيـائية الفلكية الـحقيقية بدقة. بالإضافة إلى ذلك، تُسـلِّط التطبيقاتُ المحتمَـلة لفيزيـاء بلازمـا الفضـاء الضوءَ علـى الآثار الواسـعة لـهذا المجال، وبما يتجاوز التـحقيق العلمي البـحت، ليعطيَ دفـعةً قـوية لأبحاث طـاقة الاندماج النووي علـى الأرض.

رابعًا: خاتمة

وفي الختـام، فإن فيزيـاءَ البلازمـا الفضـائية مجـالٌ متنـوع وديناميـكي يشـكل أهـمية أسـاسية لفهمنا للكـون ينطـوي في بنيتـه علـى طيفٍ عـريضٍ من الموجات اللاخطية، ومن بينها السـوليتونيّة والشـاردة الـمخيفة. لذلـك، من البيئة القـريبة من الأرض إلـى أقصى أطراف الكـون، تعمل عمليات البلازما والموجات اللاخـطية فيهـا على تحديد سـلوك المـادة والطاقة في الفضـاء. ومـع استمرارنا في استكشـاف ودراسة هذه الظواهـر، فإن فيزيـاء البلازما الفضـائية ستلعب بلا شـك دوراً حاسـماً في تعزيز معرفتنـا بالكون وفي معـالجة التحديـات العمـلية هنا على الأرض (الشـكل 13)



الشكل 13: للإجرائيّات المتضمّنة للبلازما تأثيراتٌ على ظواهر كونية كثيرة، من المستعرات الفائقة (سوبرنوفا) إلى الحقول المغناطيسيّة المجرّيّة مرورًا بتسارع الجسيمات وحوادث الصدم الفلكيّة وأصل الأشعة الكونيّة، وغيرها

المراجع:

1. Chen, F. F. (2016). *Plasma Physics and Fusion Energy*. Springer.
2. Kral, N. A., & Trivelpiece, A. W. (1973). *Principles of Plasma Physics*. McGraw-Hill.
3. Bellan, P. M. (2006). *Fundamentals of Plasma Physics*. Cambridge University Press.
4. Stix, T. H. (1992). *Waves in Plasmas*. AIP Press.
5. Goldston, R. J., & Rutherford, P. H. (1995). *Introduction to Plasma Physics*. Institute of Physics Publishing.

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

الزجاج: مادة هندسية قديمة وتطبيقات متقدمة ولغز علمي

رفيع جبرا
أستاذ في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، دمشق، سوريا
عمرو عبد الغني
عميد معهد البحوث الفيزيقيّة، المركز القومي للبحوث، القاهرة، مصر

أولاً: لمحة تاريخية حول منشأ الزجاج

واكب الزجـاج تطـور الإنسـانية منذ العصر الحجـري حيث استخدم حجر السبج (obsidian) الطبيـعي زجاجي البنية لتشـكيل أدوات القطع والسـهام والمرايا. لا يزال يخيم بعض الظلال على اكتشـاف الزجـاج، وتتفق الآراء على

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

أن خريــطة اكتشــاف الزجــاج لا تتعــدى ســوريا الفينيقية، وبلاد مــا بين النهــرين، ووادي النيــل. وينــسب Pliny 23-79) م) في كتابــه "التــاريخ الطبيــعي" اكتشــاف الزجاج إلى الصدفة عندمــا استخدم تجــار فينيقيون حجارة النطــرون (كربونــات الصوديوم الطبيعية) كمســاند لقدر طــهي طعامهم على ضفاف نهــر Belus الغنية بالرمال

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

عند شـاطىء عكا. وبفعـل نار الموقـد، تفاعلت حجارة النطـرون مـع الرمـال السيليـسية فكان ظهـور مادة زجاجية شافة

ويعتقـد البعض أن أوائل الأواني الزجاجية على شـكل رمـانة المـكتشفة في رأس شـمرا قـد صنـعت في سـوريا في حوالي القرن السـابع عشـر قبـل الميلاد. كما تجمع الآراء على اكتشـاف تقـانة نفخ الزجاج في أوائل القـرن الميلادي الأول في سـوريا

وتزخـر المتـاحف العالـمية بعـدد من الآنية أو الـكؤوس الزجـاجية الشـهيرة من بلاد الشـام ومصر

كأس Sargon- II من العراق،

كأس Ennion وكأس Neikaios من صور- لبنان،

كأس Thutmose من مصر،

إناء Daphne من بلاد الشام.

يحتـوي متحف دمشق ما ينـوف عن 2300 قطعة زجـاجية أثـرية تستـحق التعـرف عليها وإبـراز أهمية وقيـمة بعضها بالوسـائل المعاصرة.

يعتقد سـارتون (Sarton) في كتابـه " تاريخ العلم " أن أول نـص مسـماري علـى رقيـم تنـاول كيفية تصنيـع الزجـاج يعـود إلـى عهد ملـك بابل جوليشـار (-1724 1778 قبـل الـميلاد). ويُعتقـد أيضـاً أن حملة تحتمـس إلى بلاد الشـام قـد نجم عنها انتقـال تقانة الزجـاج إلى مصـر. سـاهم نشـاط الفينيقيين التجاري في انتقـال الزجاج عبر المتوسـط، وتشير المراجع إلى أن الزجـاج قد شـكل معظم غنيمة رومـا بعد انتصارها علـى كليوباتـرا عام 31 م

شـهدت إمبرطـورية رومـا انتشـار صنـاعة الزجـاج وتطويـر الزجـاج الشفاف في الإسـكندرية في نهاية القـرن الـميلادي الأول، واشتهـرت مـراكز جديدة كان أبرزهـا البنـدقية وجنـوه. ومـع انحـدار موقـع رومـا، انتقـلت صنـاعة الزجـاج إلـى غـرب أوروبـا عبـر هجرة بـعض حـرفيي البندقية وجنوه. وخلال القرن 17، نُشـر كتـاب نيـري (Neri) في فلورنسـا حـول فنـون الزجاج (Arte Vetraria)

طـور الإنـكليزي رافنسـكروفت Ravenscroft زجاج الكريستـال، وعمـل الفرنسيـون علـى تطويـر تقـانة الـصب والدرفـلة لانتـاج زجـاج المرايا وعلـى تأسيس شـركة سـان غوبـان (St Gobain)التي زودت قصـر فرسـاي (Versailles) بالمرايـا

شـهد القـرن 19 تطوير الأفـران من قبـل الإخوة سيمنـس (Siemens)، وتطويـر طـريقة سـولفي (Solvay) لتصنيـع الصـود وظهـور الآلات الممـكننة للتشـكيل. وهكذا، انتقل الزجـاج من حرفة إلى صناعة. وفي أواخـر القـرن 19، لعب تطور العلـوم والبصريات، والتضافـر الخلاق بين الزجـاج وحاجاتها المتزايدة إليه وإلـى تحـسين مواصفاته دوراً بـارزاً في تحويل الزجاج من تقـانة إلى علم. وتجدر الإشـارة إلـى أعمال غينان وفرونهوفـر (Guinand و J. Fraunhofer) في مجـال تحـسين تجانس الزجـاج، وأعمال شـوت (Schott) وأب (Abbe) وزايـس (C. Zeiss) في مجـال تنويـع الزجـاج البصـري وربط خواصـه بالتـركيب الكيميائي.

يعتبر تأسيس قسـم تكنولوجيـا الزجاج في جامعة شيفيلد (Sheffield)- بريطانيا عام 1916 تكريسـاً لعلم وتقـانة الزجاج عالميـاً وللتعاون المبكـر بين الجامعات والصنـاعة للاستفـادة من نتـائج البحـوث في صنـاعة الزجـاج وتطبيقاته

ثانيًا: الزجاج في مصر القديمة

يمثـل الزجـاج في عصـر الفـراعنة فن وإبـداع عبـر العصـور. في قـلب الحضارة المصـرية القديـمة، برزت صنـاعة الزجاج كشـاهد على براعة الفـراعنة وإبداعهم

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

الفني والتقني. منذ حـوالي 1500 عـام قبـل الميلاد، بـدأ المصريون القدماء في استكشـاف إمكانيات هذه المادة السـاحرة، ليصبحوا من رواد صناعتها في العالم القديـم. كان الزجـاج في مصر القديـمة أكثر من مجرد مـادة؛ كان تجسيداً للجمـال والثراء والتقـدم التقني. باستخـدام مزيج دقيق من الرمـل الغني بالسيليـكا، والصـودا، والجيـر، طـور الحرفيـون المصريـون تقنيات متقـدمة لصنـع الزجـاج وتشـكيله. ومن أبـرز هذه التقنيـات "تقنية القالب المفقود"، التي سـمحت بإنتاج قطع زجـاجية معقـدة وجميلة

في قصـور الفراعنة ومعابدهـم، كان للزجاج حضور بـارز. فقد استُخدم في صنـع الحلي والمجوهرات، حيث تألقت القلائد والأسـاور المصنـوعة من الخرز الزجاجي الملـون بألـوان زاهية، منافـسة في جمالهـا الأحجار الكريـمة. كما برع المصريون في صنع الأواني الزجاجية الصغيـرة، التي استخـدمت لـحفظ العطـور والزيـوت العطـرية الثـمينة، ممـا يعكـس الاهتمـام بالجمـال والرفـاهية في الحيـاة اليـومية ومن ثـم فقد وثقوا تقنيـات تلـك الصنـاعة وادواتهـم التـى استخدموها سـواء فى تشـكيل وصناعة الزجاج او الحفر وتشـكيل

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

التماثيل

لـم تقتصـر أهمية الزجـاج علـى الزينة فحسب، بل امتـدت إلى المجـال الـديني والجنائزي. فقـد صُنعت التماثيـل الصغيـرة للآلـهة والتمائـم من الزجـاج، معتقـدين أنهـا تجلب الحماية والـحظ لحامليها. وفي المقابـر الفرعـونية، وُضعت القطع الزجـاجية كجزء من الممتلـكات الجنـائزية، لتـرافق الموتـى في رحلتهم إلـى العالـم الآخر. كان للزجـاج المصري قيـمة تجارية كبيـرة أيضـاً. فقـد كان سـلعة مرغـوبة في التبـادل التجـاري مـع الحضارات المجاورة، مما يـدل على تقدير العالـم القديم لجـودة وجمال الزجـاج المصري. وصلت المنتجـات الزجـاجية المصرية إلى بلاد مـا بين النهرين وحوض البحر المتوسـط، ناشـرة معها شـهرة الحرفية المصرية

مـع مـرور الـوقت، طـور المصريـون تقنياتهـم، فتمكنـوا من إنتـاج زجـاج بألـوان متنـوعة وبدرجـات مختـلفة من الشفـافية. هذا التطـور التقني أتـاح استخدامـات جديـدة للزجاج، كاستخدامـه في الزخرفة المعمـارية وصنـع البلاط الزجـاجي لتزيين الجـدران والأثـاث. إن إرث صنـاعة الزجـاج في مصـر القديـمة لـم يقتصر علـى عصرها فحسب، بـل امتـد تأثيره عبر العصـور. فقد سـاهمت التقنيات والتصاميـم المصرية في تطـور صناعة الزجـاج في الحضارات اللاحقة، تاركة بصـمة لا تُمحـى في تـاريخ هذه الصنـاعة العـريقة. كما انتشـر الزجـاج بمصر في العصـر البطلمي لأغراض الاستخدام اليومي في الأطباق المسـطحة والعميقة والأواني والكؤوس والمصابيح والقلادات وفي تطعيم الحـلي أو المرايا

مثّـل الزجاج في عصر الفراعنة قصة نجاح إنسـانية، تجمـع بين الإبـداع الفني والتقـدم التقني. فمن خلال هذه المـادة الـرقيقة والجميـلة، نستطيـع أن نـرى انعكاسـاً لعبقرية الحضارة المصـرية القديمة وقدرتها علـى تحويـل مـواد بسيـطة إلـى تـحف فنية خالدة، تستمـر في إبهارنـا حتـى يومنـا هذا. وتتمثـل قمة الابـداع الفنـى ةالتقنـى فـى القـدرة علـى تلـوين الزجـاج وبدقه شـديده لاستخدامه فـى تصنيع الحلى ومعـالجة بعض المشـاكل التكنولـوجية التـى تتمثل فـى تغيـر قيم معامـل التمـدد الحـرارى بين المعادن والزجـاج المستخدم فـى تزيين الحلى حيث تمكنوا من الحصول على الالـوان المختلفـه من الذهب باستخدام تقنيـات النانـو لتصنيـع زجـاج له معامل تمـدد حرارى مقـارب للحلـى الذهبية كي تحـافظ علـى التصاقهـا لفتـرات زمنية طويله

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

ثالثًا: الزجاج الطبيعي

على العموم، يندر وجود الزجاج قي الطبيعة، ويقتصر ذلك على حالات استثنائية من عدم الاستقرار الترموديناميكي، أو الأفعال الميكانيكية أو الإشعاعية الشديدة، مثل البراكين، أو اصطدام النيازك أو المذنبات بسطح الأرض، أو قي قواقع يعض المشطورات البحرية. فمنذ ملايين السنين، عرف الإنسان حجر السبج (obsidian) الطبيعي واستعمله، كما تشكّلت في صحاري مصر وليبيا قطع من زجاج أصفر غامض، ظلت تحير العلماء وتثير فضول الباحثين لعقود طويلة. هذا الزجاج النادر، الذي عرف باسم "زجاج الصحراء الليبي"، لم يكن مجرد تكوين طبيعي عادي، بل كان محط اهتمام الفراعنة أنفسهم، الذين قدروا قيمته وجماله واستخدموه في صناعة الحلي والمجوهرات الثمينة

بعض قطع زجاج الصحراء الليبية

عندما اكتشف الجيولوجي البريطاني باتريك كلايتون هذا الزجاج لأول مرة في عام 1932، لم يكن يتخيل أن هذا الاكتشاف سيفتح باباً واسعاً للبحث والتنقيب في تاريخ الأرض وعلاقتها بالفضاء الخارجي. فقد ظل أصل هذا الزجاج، الذي يقدر عمره بنحو 29 مليون سنة، لغزاً محيراً للعلماء. تعددت النظريات وتضاربت الآراء حول كيفية تكوينه، من افتراضات حول انفجارات بركانية هائلة إلى تخمينات عن اصطدامات نيزكية عنيفة. لكن ما زاد من غموض هذا الزجاج وأهميته هو اكتشاف استخدامه في الحضارة الفرعونية القديمة. فقد عثر علماء الآثار على قطع من هذا الزجاج في بعض أثمن القطع الأثرية الفرعونية، بما في ذلك القلادة الشهيرة للفرعون الشاب توت عنخ آمون. أضاف هذا الاستخدام في الحضارة الفرعونية بعداً تاريخياً وثقافياً عميقاً لـلغز العلمي المحير

وبعد عقود من البحث والدراسة، يبدو أن العلماء قد توصلوا أخيراً إلى حل هذا اللغز القديم. ففي دراسة حديثة نشرت في مجلة "Communications Earth & Environment"، قدّم فريق من الباحثين نظرية جديدة ومثيرة. تقترح هذه النظرية أن الزجاج الصحراوي الأصفر تكوّن نتيجة حدث فلكي نادر: اصطدام مذنب صغير بالغلاف الجوي للأرض

بعض المجوهرات الفرعونية مع قطع من زجاج الصحراء الليبية

وفقاً لهذه النظرية، كان المذنب يتكون بشكل أساسي من الجليد، وليس من الصخور كما هو الحال مع النيازك. عند دخوله الغلاف الجوي للأرض بسرعة هائلة، تبخر المذنب وأطلق كمية ضخمة من الطاقة الحرارية. هذه الحرارة الشديدة كانت كافية لصهر الرمال على سطح الصحراء، مما أدى إلى تكوين الزجاج الفريد الذي نراه اليوم. ما يدعم هذه النظرية

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

هـو وجـود آثـار لمركبـات عضـوية في الزجـاج تشبه تلـك الموجـودة في المذنبات، إضـافة إلى عدم وجود فـوهة اصطـدام كبيـرة كما هـو متوقع مـع النيازك الصخرية. هذا الاكتشـاف لا يفسـر فقط أصـل الزجاج الصحـراوي الأصفـر، بل يفتـح آفاقاً جديـدة في فهم تـاريخ كوكبنـا وتفاعلاته مع الأجرام السـماوية

إن حـل لغز زجاج الصحراء الأصفر يمثل نقطة التقاء مثيـرة بين علوم الفلـك والجيولوجيا والتـاريخ القديم. فـمن قطـع زجـاجية تزين صـدور الفـراعنة، إلى دليل علـى أحـداث كـونية نادرة، يقـدم لنا هذا الاكتشـاف درسـاً في كيفية ترابط العلـوم المختلفة لفهم عالمنا وتاريخه. وربما، في المستقبل، سيسـاعدنا هذا الفهم الجديـد في دراسة تأثيـرات المذنبـات علـى الكواكب الأخـرى، فاتحـاً بذلـك آفاقـاً جديدة في استكشـاف الفضـاء وفهـم تـاريخ نظامنا الشـمسي. وهكذا، من صحـاري مصر وليبيا إلـى أعماق الفضـاء، يستمر زجاج الصحـراء الأصفـر في إلهام العلماء والبـاحثين، مذكراً إيانـا بأن أسـرار الطبيـعة، مهمـا بدت غـامضة، يمكن كشفهـا بالصبر والبحث العلـمي الدؤوب

هنـاك مثـال آخـر يستـحق الذكـر حـول الزجـاج الطبيـعي. ففي عالـم الأحجـار الكريـمة والمعـادن النـادرة، يبـرز زجـاج مولدافـايت (moldavite) كواحـد من أكثـر المـواد إثـارة للاهتمام وغموضـاً. هذا الحجر الأخضـر الزمـردي، المعـروف أيضاً باسـم "حجـر النجم السـاقط" أو "الزجـاج التـكتيتي (tectite)"، لـه قـصة تمتـد إلـى ملايين الـسنين في المـاضي، وتربط بين الأرض والفضـاء الخـارجي بطـريقة مذهـلة. يعـود أصـل زجاج مولدافـايت إلى حـدث كـوني دراماتيكي وقـع قبل حـوالي 15 مليـون سنة. في ذلـك الوقت، اصطـدم نيزك ضخم بـالأرض في منطقة ما يعرف الآن بجنـوب ألمانيا، مخلفًا فوهة ريس الشـهيرة. قوة هذا الاصطـدام كانت هائـلة لـدرجة أنهـا صهـرت الصخور الأرضية وقذفت بهـا عاليًـا في الغلاف الجـوي. عنـد سقوطهـا مـرة أخرى، تبـردت هذه المـواد المنصهرة بسـرعة، مشـكلة قطـرات زجـاجية خضراء فريـدة من نو عها

زجاج مولدافايت

يتميز مولدافايت بلونه الأخضر الزاهي، الذي يتراوح من الأخضـر الزيتـوني إلـى الأخضر الزمـردي العميق. شـكله غيـر منتظم عادة، مع سـطح مجعـد أو محفور، ممـا يعكس رحلتـه الدراماتيـكية عبـر الغلاف الجوي. صلابتـه تتـراوح بين 5.5 و7 على مقيـاس موس، مما يجعلـه مناسبًا للاستخـدام في المجوهرات. على الرغم من أن الاصطـدام وقـع في ألمانيا، إلا أن معظم قطع مولدافـايت تـم العثور عليهـا في جمهـورية التشيك (خـاصة في منـطقة بوهيميا)، وكذلـك في أجزاء من النمسـا. هذا التوزيـع الفريـد يعكـس مسـار المـواد الـمقذوفة من موقـع الاصطـدام. يعتبـر مولدافـايت ذا أهـمية كبيـرة للعلمـاء، حيث يوفر معلومـات قيمة عن تأثيـرات النيـازك علـى الأرض وتكـوين المواد في ظـروف قـاسية للغـاية. كمـا أنـه يحظـى بشـعبية كبيـرة بين هـواة جمـع الأحجـار الكريـمة والمهتمين بالخصائـص الروحانية المزعومة للأحجـار. يستخدم في صنـع القلائـد والخواتـم والأقراط، خاصة للبـاحثين عن قطـع فريـدة وذات قيمة تـاريخية. كمـا يعتقد بعض

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

الممـارسين أن له خصائص شفـائية وروحانية قوية مع زيادة شـعبية مولدافايت، أصبح الحجر عرضة للاستنزاف والتقليـد. لذا، تـم وضـع قيـود علـى استخراجـه في منـاطق مـعينة للحفاظ علـى هذا المورد النـادر. كما أن سـوق المجوهرات شـهد ظهور نـسخ مقلدة، مما يجعـل التـحقق من أصالة الحجر أمرًا مهمًـا للغاية. لذا يمثـل زجاج مولدافـايت أكثر من مجرد حجـر جميل؛ إنه شـاهد على حدث كـوني دراماتيـكي، ورابط ملموس بين أرضنـا والفضـاء الخـارجي. جمالـه الفريـد وقصته المذهـلة تجعله واحدًا من أكثـر الأحجار إثارة للاهتمام في عالـم المعـادن والجيولوجيا، مذكـراً إيانا بالطبيعة الديناميـكية والمترابـطة لكوكبنا والكـون من حولنا

رابعاً: السمات المُميزة للزجاج

تغيـر معنـى تعبيـر الزجـاج مـع الزمـان من الـدلالة علـى إناء أو حـلية إلى مـادة وظيفية هنـدسية إلى مفهـوم فيزيـائي يعبـر عن حـالة من حـالات المادة. استخـدم الزجـاج تاريخياً حـسب البيئة الجغـرافية في تطبيقـات بـدائية مثل الخرز والحـلي والأواني وكبديل للحجـارة الكريمة. وإذ ينفـرد الزجاج بالشفافية، تطورت استخداماتـه ذات الطبيعة البصـرية حيث يجتمع العلم والتقـانة والجمـال عبـر امتثـال الزجـاج لـكل مفـاتن الضـوء، فكانت النوافذ والمرايا والعدسـات والمواشير. ولـم تقتصر هذه التطبيقات البصـرية على تلبية حاجة وتطبيق محـددين، بل أقامت الدليل علـى أهمية ذلك التضافـر الخلاق بين الزجـاج وعلـم الضـوء، الأمر الذي مهـد السبيل أمـام تطوير وتنويـع الزجـاج للاستجابة للمتطلبـات المتزايدة للأنظـمة البصرية، وأمـام إزاحة الستار عن أبـرز المكتشفات العلمية الحـديثة، وتوطيد المفهـوم العـام لمثـلث المعـرفة- التجديـد- النمـو والتوسـع الذي يشـكل الخـلفية العـامة لمعظـم التغيـرات العـميقة التي غيرت وجه التاريخ الإنسـاني منذ عصـر التنويـر وحتى الثـورة الصناعية

يمثل الزجاج كمـادة وظيفية هندسية، وكمفهوم فيزيـائي لحالة، وكأداة وموضـوع من أدوات ومواضيع البـحث العلمي نموذجاً مثالياً علـى الترابط الوثيق بين البـحث العلمي والتطويـر والتجديـد والابتكار وواحدة من رافعـات البـحث العلمي. وتذهب بـعض الآراء إلى حـد اعتبـار الزجاج محـركاً من محركات الثـورة العلمية التي هزت الغـرب خلال القـرون الخمس الأخيرة

يختـص الزجـاج بعـدد من السـمات العمـومية المميزة لسـلوكه وأدائه وتنوع تطبيقاتـه والتي تنبع من خصـوصية بنيتـه وينـدر أن تجتمـع في غيـره من المواد:

• البنية عديـمة النظـام والتجانـس ووحـدة المناحي الناجـمين عنها،
• ظاهـرة الانتقـال إلـى الحـالة الزجـاجية عنـد درجة حـرارة الانتقـال إلـى الحـالة الزجـاجية Tg،
• التنوع المتدرج اللامحدود للتركيب الكيميائي،
• غيـاب درجة حـرارة انصهـار Tm، والتميـع التدريجي، وتغيـر اللزوجة مـع الحرارة،
• التغير المستمر للخواص الفيزيائية مع الحرارة،
• استقلالية الخـواص الميكانيـكية عن التـركيب الكيميـائي
• غياب الاستقرار الترموديناميكي.

بنـاءً علـى هذه السـمات، يوفـر الزجـاج طيف المتناقضـات في الخـواص، فهو شفـاف وعاتم، متين وقـصف، قـاس وطري، عـازل وناقـل، خامـل وفعال، مستقر وعديم الاستقرار، مطواع وعصي. وبفضل هذه الخـواص الفريدة كمرشـح اصطفـائي للضـوء، وحاجز حـراري، ومقاوم للتآكل، ومادة هنـدسية، يحتل الزجاج

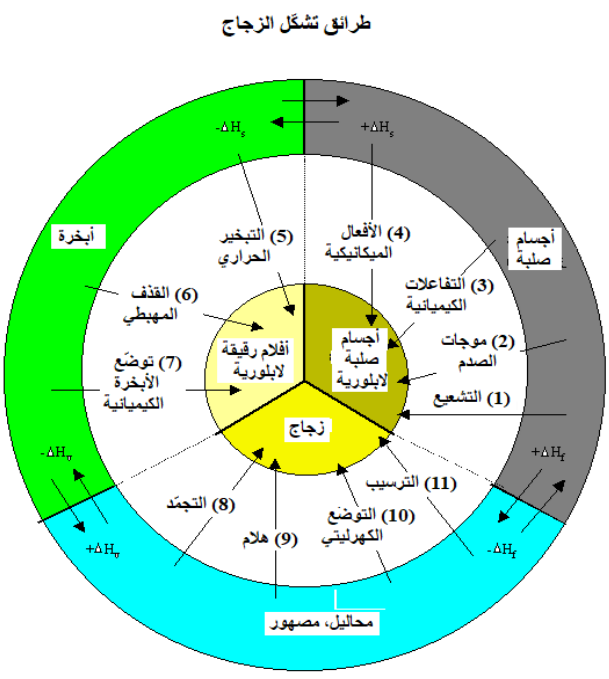
© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

مكاناً مرموقاً في الحياة اليومية، وتمتد تطبيقاته من أعماق البحار السحيقة إلى الفضاء الكوني الفسيح مروراً بقطاعات البناء والتشييد، والتعليب والتغليف، والنقل والمواصلات، والاتصالات والطاقة، والصحة والزراعة والصناعة. ولعلّ خير الأمثلة على ذلك علم الضوء والبصريات. تُعدّ البصريات بامتياز خير برهان على تنوع الزجاج واتساع مجال تغيُّر خواصه الفيزيائية. ففي طيف الضوء الواسع، ينفرد كل مجال طيفي بعدد من أنواع الزجاج التي تلبي خواصها البصرية متطلبات النفوذية في ذلك المجال. فزجاج السيليكا يتلاءم مع مجال الأمواج فوق البنفسجية، وزجاج الفلوريدات والكالكوجينات يستجيب لمجال الأمواج تحت الحمراء، والزجاج الغني بالرصاص بالسماكة المناسبة يقي من الإشعاعات مثل أشعة X والإشعاعات النووية. وفي مجال الطيف المرئي، يسمح زجاج النوافذ باختراق نور النهار، وتعرض الشركات المختصة عشرات أنواع الزجاج التي تتمتع بقرينة إنكسار، n، بين 1.3g2.1 وتَبدُّد الضوء، v، بين 15g95، ما يلبي معظم متطلبات حسابات النُّظم البصرية (يشير v إلى تَبدُّدالضوء أي تغير n ضمن المجال المرئي بدلالة طول الموجة)

أما فيما يتعلق بالزجاج المُلوَّن، فإن إضافة كميات قليلة من المعادن الانتقالية أو الأتربة النادرة يُمكّن من الحصول على طيف واسع من الألوان لأغراض الزينة والعمارة وزجاج الليزر المشوب بالنيوديم لتطبيقات الاندماج النووي والتضخيم

خامسًا: طرائق تشكُّل الزجاج

الزجاج هو منتج صنعي بامتياز، فالزجاج الطبيعي لا يتشكّل إلا في شروط استثنائية وبكميات محدودة وخصائص لا توفر إمكانية الاستثمار على مستوى واسع يلبي احتياجات البشرية ومتطلبات تطورها. وعلى الرغم من هيمنة تقانة الانصهار والتبريد على تصنيع كافة أنواع الزجاج واسعة الإنتاج والاستخدام منذ القدم وحتى الآن، فقد تكلّلت جهود البحث والتطوير خلال القرن الأخير في استنباط أكثر من عشر طرائق مختلفة للحصول على الزجاج والحالة الزجاجية انطلاقاً من حالات المادة الثلاث. وتكمن أهمية الطرائق اللاتقليدية للحصول على الزجاج في تطبيقاتها المتقدمة ذات القيمة المضافة العالية مثل الأغشية الرقيقة للتطبيقات البصرية والإلكترونية والألياف الضوئية



سادسًا: التوجهات الحديثة في الزجاج

تنويع طرائق تشكل الزجاج والحالة الزجاجية

على الرغم من هيمنة تقانة الانصهار والتبريد على تصنيع كافة أنواع الزجاج واسعة الإنتاج والاستخدام، فقد تكللت جهود البحث والتطوير خلال القرن الأخير في استنباط أكثر من عشر طرائق مختلفة للحصول على الزجاج والحالة الزجاجية انطلاقاً من حالات المادة الثلاثة. وتكمن أهمية الطرائق اللاتقليدية

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

للحصـول على الزجـاج في تطبيقـات الأغشية الرقيقة في البصريـات والإلكترونيات الصغرية وغيرها. وتتسـم هذه الطـرائق بدرجات عـالية من النقـاوة وبمحدودية الطـاقة الإنتـاجية التي تتراوح بين مستـوى الغرامات وحتـى مستـوى الكيلوغـرام وبقيـمة مضـافة عالية لتطبيقاتهـا. ومن الأمثلة البارزة على منتجات الطرائق اللاتقليـدية لتحضيـر الزجـاج نذكـر الألياـف البصـرية والأغشية الـرقيقة العـازلة في الـدارات المتكامـلة وغيرهـا من التطبيقـات البصرية

في مجـال طـرائق تشـكيل الزجـاج المسـطح واسـع الإنتـاج, فقد كـرس Alastair Pilkington سبع سنوات لتطويـر تقـانة تشـكيل الزجـاج بالتعويـم, لـكن نجاح وانتشـار هذه التقـانة عالمياً منذ عـام 1959 قد اعتبر ثـورة في تكنولوجيـا الزجاج وقـد حقق لأصحابها وما يزال أرباحـاً طائلة

تنويع التركيب الكيميائي للزجاج

اقتصـر الزجـاج القديـم علـى سيليـكات الصوديـوم والكالسيـوم التي مـا تزال تغـطي معظـم أنـواع الزجاج المسـطح والمجوف، وتشتق منـه هذه الأنواع عبـر تغييـر التـركيب الكيميـائي. وتجدر الإشـارة إلى أن الزجـاج السيليـكاتي الحـديث لا يختـلف كيميائيـاً عن الزجـاج الفينيقي القديـم. لـكن الإنتـاج العالـمي للزجـاج يشتمل اليـوم على مئات التـراكيب الكيميائية المختـلفة التي لا يتضـمن بعضها أي نسبة من أكسيد السيليسيوم

شـكّلت أعمـال شـوت O.Schott وأب E. Abbe وزايـس C. Zeiss باكـورة الجهود العلـمية المنهجية في مجال تنويع الزجـاج البصري وربط خواصه بالتركيب الكيميـائي. وخيـر دليـل علـى تعـدد هذا التـركيب وتنـوع خواص الزجـاج يتمثل في كاتالوكات الشـركات المصنعة للزجـاج البصري التي تتضمن عشـرات الأنواع من الزجاج

تمخضت بحوث القرن العشـرين عن اكتشـاف أنواع جديـدة تمامـاً من الزجـاج الذي أصبـح يشتمـل على الزجاج البـوري والزجاج الفوسفاتي وزجاج الهالوجينات وزجـاج الكالكوجينات والزجـاج المعدني

يمـكن أيضـاً الإشـارة إلـى ابتـكار زجـاج الـليزر، والزجـاج المقـاوم للصـدمة الحـرارية، والسيراميـك الزجـاجي، والزجـاج الحيوي، والزجاج الايـوني، والزجاج عديـم التمـدد، وتزجيج النفايـات النـووية، والسـماد الزجـاجي وغيـر ذلك

ومن الأمثـلة الحـديثة علـى دور البـحث العلـمي في تطويـر منتج زجـاجي قديـم وواسـع الاستخدام، يمكن الإشـارة إلـى النـوافذ الزجـاجية ذات النفوذية الاصطفـائية والنـوافذ ذاتية التنظيف

تعـميق فهـم بنية وسـلوك وخـواص الزجـاج وتطبيقاتـه الجديـدة

بعـد آلاف السنين على اكتشـاف الزجـاج واستخدامه، لا تزال بنية الزجـاج وسـلوك الحالة الزجاجية يشـكلان واحـدة من مـعضلات الفيزيـاء. وتتمحـور البحـوث المعاصـرة حـول استخـدام الإمكانـات الحاسـوبية المتقـدمة في نـمذجة بنية الزجاج وربطهـا مع نتائج دراسـات البنية باستخدام الأشعة السينية والنوترونية

ولا يقتصـر الأمـر علـى الدراسـات والأبحـاث الأسـاسية، وإنما يرتبط بتطبيقات هـامة أبرزها الزجاج المتلـون ضوئيـاً (photchromic glass) والزجـاج المتلون كهربائيـاً (electrochromic glass) وطرائق تقـوية الزجاج وتحـسين خواصـه الميكانيـكية. وفي هذا المجـال، تكتسب البحوث المتعـلقة بتعميق فهم سـطح الزجاج أهـمية خـاصة، حيث أظهرت الدراسـات

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

حول ميكانيك الكسر، وسرعة انتشار الكسر الارتباط الوثيق بين السطح والمقاومة الكيميائية، وتقدير عمر المنتج في ظروف الاستخدام، وآليات تقوية الزجاج ومعالجة سطحه، وتوضع الأغشية الرقيقة التي تسمح بتحقيق وظائف جديدة غير متوفرة في صفيحة الزجاج الأصلية. وفي هذا الصدد، تجدر الإشارة إلى الزجاج عديم الابتلال والزجاج ذاتي التنظيف

تطوير أداء صناعة الزجاج وتحسينها

تعتبر صناعة الزجاج من الصناعات المستهلكة للطاقة، وفي ظل تزايد أسعارها، تسعى فرق البحث الأكاديمية والصناعية لتخفيض استهلاك الطاقة في صناعة الزجاج عبر تغيير نوع الوقود المستخدم، وفهمٍ أفضل لآليات الاحتراق، والنمذجة الحرارية للأفران وللتبادلات الحرارية خلال مراحل صهر الزجاج، والمراجعة الشاملة لتصميم الأفران. من جهة أخرى، تتركز نشاطات البحث على تخفيض كلفة المنتج الزجاجي عبر إطالة عمر الأفران من خلال دراسة آليات تآكل آجر الأفران وتحسين خصائصه الحرارية والميكانيكية

ومع تزايد الوعي العام لقضايا البيئة، واستصدار القوانين الصارمة للحد من التلوث والمحافظة على البيئة, تعمل صناعة الزجاج على اتخاذ كافة الإجراءات الهادفة إلى تقليل الانبعاثات الغازية والغبار والحد من طرح الزجاج المستعمل في الطبيعة. وحيث يتميز الزجاج كأقدم المواد ذات التلدن الحراري، تطورت خلال السنوات الأخيرة صناعة موازية تعتمد على التجميع الواسع والمنظم للزجاج المستخدم وإعادة صهره مع الخلطة الزجاجية أو بشكل مستقل للحصول على منتجات جديدة.

تطوير تطبيقات الزجاج

مع الاستمرار في العديد من التطبيقات الواعدة في مجال البناء والعمارة والمتمثلة في انتاج الزجاج عالي الأداء والعازل للحرارة وللصوت، والزجاج الذكي القابل للتحكم في شفافيته، يأتي استخدام الزجاج في تصنيع الخلايا الشمسية لتوليد الطاقة النظيفة. وفى مجال الالكترونيات، حيث يستخدم الزجاج الرقيق والمرن في صناعة شاشات الهواتف الذكية والأجهزة اللوحية ونقل البيانات بسرعات فائقة. ثم في مجالات الطب والتكنولوجيا الحيوية، حيث يستخدم الزجاج في صناعة العدسات الطبية والأدوات الجراحية ويمتد الى تطوير أنواع من الزجاج القابلة للتحلل الحيوي لاستخدامها في إصلاح العظام والأنسجة

تعريف الزجاج

بعد هذه الرحلة عبر العصور والجغرافيا، ما قد يكون التعريف المنهجي الجامع والشامل للزجاج؟ تشترك طرائق تحضير الزجاج في تحطيم البنية البلورية للمادة أو لمزيج المواد المكوِّنة له وخلق بنية غير بلورية عديمة الانتظام. ويجب أن يتضمن التعريف الشمولي للزجاج (من دون تمييز بين التقانات والتركيب الكيمياوي)، السِّمة المميزة له وهي ظاهرة الانتقال إلى الحالة الزجاجية (glass transition phenomenon) التي تحصل لدى كل دورة تميع حراري للزجاج عند درجة حرارة يرمز لها Tg وتقترن بقيمة ثابتة لـلّزوجة مهما كان منشأ الزجاج وتركيبه

عرّفت الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM) عام1945 الزجاج على النحو التالي: الزجاج هو منتج انصهار لا عضوي تَبرّد حتى الحالة الصلبة دون تبلور. يقتصر هذا التعريف على تقانة الانصهار ويفتقر إلى

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

السـمة المميزة للزجاج.

بنـاءً علـى ذلك، يكـون التعريف العمـومي للزجاج علـى النحـو الآتي: «الزجاج هو جسـم صـلب لا بلوري يتمتع بظاهرة الانتقال إلـى الحالة الزجاجية». وهكذا، فـكل زجـاج هو جسـم صلب لا بلـوري، أما كل جسـم صـلب لا بلوري، فـلن يُعـدّ زجاجـاً إلا إذا أظهر ظاهرة الانتقـال إلى الحـالة الزجاجية

وبعـد آلاف السنين على اكتشـافه، يبقـى الزجاج مادة هنـدسية متطورة وفاعـلة في تطبيقات تقانية تقليـدية ومتقـدمة، ولغزاً علميـاً يخفي المزيـد من التطـورات الواعدة

المراجع:

1. History of Glass", https://www.historyofglass.com.
2. The Origins of Glassmaking, in Corning Museum of Glass, https://www.cmog.org/article/origins-glassmaking.
3. H. Scholze, Le verre: nature structure et propriétés (Institut du verre, France 1969).
4. Jerzy Zarzycki, Glasses and the vitreous state, Cambridge (1991).
5. H. Rawson, Inorganic Glass-Forming Systems (Academic Press, United Kingdom 1967).

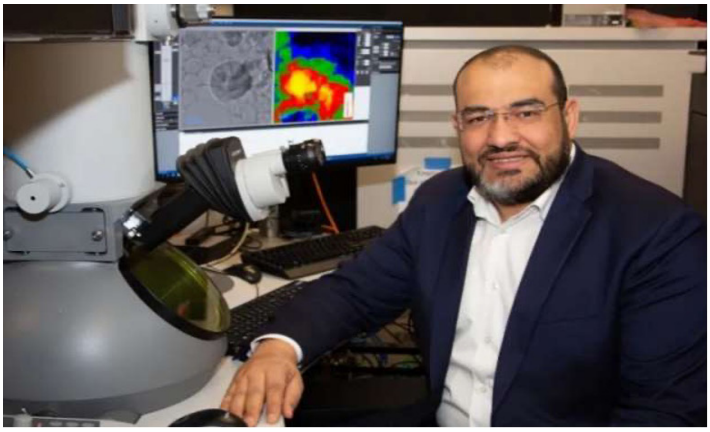
أخبار علمية

جامـعة أريزونـا تطور أسـرع مجهر في العالم لـرؤية حركة الإلكترونات

تمـكن باحثـون في جامـعة أريزونـا من تطوير أسـرع مجهـر إلكتـروني في العالـم قادر علـى التقاط صور "مجمـدة" للإلكترونـات أثناء حركتهـا، وهي جسيمات تتحـرك بسـرعة هائـلة قـد تتيـح لهـا الـدوران حول الأرض عـدة مـرات في ثـانية واحـدة. يتوقـع العلماء أن يؤدي هذا التطـور إلـى إحـداث ثـورة في مجالات الفيزيـاء والكيمياء والهندسة الحيـوية وعلوم المواد العالـم المصـري دكتورمحمـد حـسن، أستـاذ الفيزياء والعلـوم البصرية في الجامعة، قـاد فريق البحث الذي نشـر مقـالاً علميـاً في عـام 2024 بعنـوان "المجهـر الإلكتروني في نطاق الأتوثانية والانعراجAttosecond electron microscopy and diffraction" في مجـلة "سـاينس أدفانـسز Science Advances" (الأتّـو هـو جزء من الكنتليـون 1018 جزء). وأوضـح دكتور حسن أن هذا المجهـر يعمل ككاميرا فائقة السـرعة، مشـابهة لأحـدث الكاميـرات في الهواتف الذكية، حيث يسـمح بـرؤية تفاصيـل لـم تـكن مـرئية من قبل، مثـل حركة الإلكترونـات. وأكـد أن هذه التقنية ستُمـكِّن المجتمع العلـمي من فهم الفيزياء الكمـومية المتعلقة بحركة الإلكترونات

يعتمـد هذا المجهر الإلكتروني علـى نبضات إلكترونية سـريعة للغاية تقاس بالأتوثـانية، وهي جزء من مليار مليـار ثـانية. وقـد نجح فـريق البـاحثين في تـحقيق إنجـاز غير مسبـوق، وهو توليـد نبضة إلكترونية واحدة في نطـاق الأتوثـانية، مـا يتيـح التقاط لـحظة حركة الإلكتـرون وتجميدها بشـكل غيـر مسبوق.

يُتوقـع أن يُحـدث هذا المجهـر المتطـور، الذي أطلق عليه العلماء "الأتميكروسـكوبي" (Attomicroscopy)، تطـورات كبيـرة في دراسة الظواهـر علـى المستوى الذري والإلكتـروني، مـا سيسـهم في تقـدم مجالات متعـددة تشـمل العلـوم الفيزيـائية والمجـالات التـطبيقية الأخـرى. المصـادر 1 و 2



© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

Wikipedia

مقابلة مع الأستاذ الدكتور محمد حسن المدير التنفيذي المؤسس ثم رئيس الـ TWAS

يسعدنا ويشرفنا أن نرحب بكم، الأستاذ الدكتور محمد حاج علي حسن، في هذه المقابلة الخاصة مع مجلتنا "مسارات في الفيزياء"، التي تصدرها الجمعية العربية للفيزياء. ونهدف إلى تسليط الضوء على مساهماتكم البارزة في مجال الفيزياء، وخاصة في فيزياء البلازما والاندماج النووي، بالإضافة إلى دراسة حركة الرمال والغبار في البيئات الصحراوية. كما نود منكم أن تشاركونا رؤيتكم حول أعمالكم الإداريّة حيث كنتم المديرَ التنفيذيَّ المؤسّس لمدةٍ تقرب من الربع قرن ثم رئيس الأكاديمية العالمية من أجل تقدّم العلوم في البلدان النامية TWAS، جنبًا إلى جنب مع هيئتيها الدوليّتَين ذاتَي الصلة: الشراكة الأكاديميّة البينيّة (IAP) ومنظمة المرأة في العلوم في العالَم النامي (OWSD)، مع التأكيد على أدوارها المهمة في تعزيز العلوم والتكنولوجيا والابتكار (STI) في جميع أنحاء العالَم النامي

تمّ تحضير الأسئلة وإجراء اللقاء من قبل أعضاء فريق مجلّة "مسارات": إيمان، رند، دانا

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

أولاً: هـل يمكنكم أن تبدؤوا بمشـاركتنا القليلَ عن شغفكـم المبكـر بالعلـم؟ مـا هي اللحظات المحـورية التي وضعتكم على هذا المسـار؟

بـدأ شغفي المبكر بالعلوم، وخـاصة الرياضيات، عندما كنت طالبًا في المدرسة الثانوية في السـودان، وازداد هذا الشغف في جامـعة الخرطـوم. بتفـوقي في دراستي في كلية العلـوم، كنت واحـدًا من بين أفضل ثلاثة طلاب حصلـوا على منحة لـدراسة الرياضيات في المملكة المتحـدة حتى مستوى الدكتوراة. كانت هذه المبـادرة تهدف إلى جذب الطلاب المتـميزين لمتابعة الرياضيـات والانضمام إلـى هيئة التدريس

بينمـا قبِـل زميلاي العـرضَ بشغف، اختـرت في البـداية دراسةَ الهنـدسة. ومـع ذلـك، بعد شـهرين، أدركت أن اهتمـامي الـحقيقي يكـمن في الهنـدسة الرياضيـاتيّة، ممّـا دفـعني للعودة إلـى كلية العلوم وقبـول المنـحة. أكمـلت درجة الرياضيـات في جامعة نيوكاسـل ودرست الماجستير في الرياضيات التطبيقية في معهـد الرياضيـات في جامـعة أكسفورد

خلال فتـرة وجـودي في أكسفـورد، كان لـدي زميـل كندي يشـارك معي المـكتب وكان يقوم بعمل الدكتوراة في فيزياء البلازما. شرح لي أهمية الاندماج النـووي في توفير إمـدادات طاقة غيـر محدودة، مما أثار حماسي. بعد مناقشةٍ مع مشـرفه حول المسـائل البـحثية المثيرة في فيزياء البلازمـا النظرية، قررت أن أتابـع بـحثي للدكتوراة في هذا المجال تحت إشـرافه

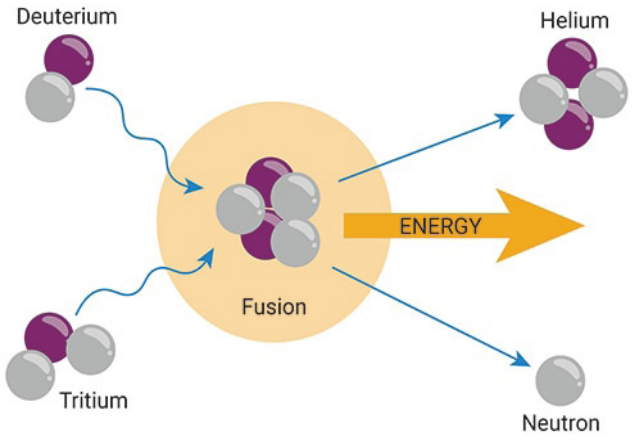
ثانياً: هل يمكنكـم أن توضّحوا لنا مجال بحوثكم في مجـالات فيزيـاء البلازما / الاندمـاج النووي وكذلـك دراسة البيئات الصحراوية؟

بشـكل عـام، يمـكن تقسيـم أنشـطة بـحثي إلـى منـطقتين

المساهمة في فيزياء البلازما النظرية:

قـمتُ باشتقاق معـادلة حركيّة عـامة للبلازما متعددة الأنـواع في مجـال مغناطيـسي خـارجي. باستخـدام تقنيـاتٍ ريـاضية، يمـكن اختزالُ المعـادلة إلى شـكل يُسـهِّل بشـكل كبير العديـدَ من الحسـابات المعتمدة عليها

كما اشتققت أشـكالًا مبسـطة من المعـادلة تُستخدم في عـدة دراسـات في تجـارب البلازمـا المخبـرية، بما في ذلـك دراسة استرخاء درجة الحـرارة ودوال التوزيع لجسيمـات البلازما في تجـارب الاندماج



تشكيل الهليوم عبر اندماج الديتريوم والتريتيوم Aglinet

المسـاهمة في العلـوم البيئية، والجيولوجيـا، وعلـوم الفضاء

طـوَّرتُ نمـاذجَ ريـاضية وفيزيـائية لفهـمِ حـركةِ وتأثيـرِ جسيمات التربة التي تحملها الرياح وتشـكيلاتِ الهيئـاتِ السـطحيّة المعقَّـدة النـاتجة مثـل الكثبـان الرمـلية، الموجـودة في الصحارى أو على الشـواطئ. تتشـكل الكثبـان عـادةً عندمـا تحمـل الريـاح الرمـال إلـى منـطقة محـمية خـلف عقبة. كما طـوّرتُ نماذج ريـاضية لتحـسين فهمنا لإجـرائيّة بدء وانتقـال الغبار ومـواد الجسيمـات الصناعية، ثمّ طـورتُ ودرست نماذج ريـاضية من أجـل تحقيق فهـمٍ أعمق للـدرجة العالية

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

من الارتبـاط بين الأجزاء المتغيـرة من مجالات الجاذبية والمجـالات المغناطيـسية للأرض. أخيرًا، قـمتُ بصياغة ودراسة نمـاذج ريـاضية للغـازات بين الكـواكب وغبـار المذنبـات مـا أدى إلـى فهم أعـمق لتطورها

حركة الرمال وكيفيّة تشكيل الكثبان الرمليّة

ثالثًـا: ما هي التطورات الأكثـر وعدًا في فيزياء البلازما اليوم، وكيف ترون تأثير هذه التطورات على مجـالات أخرى من العلوم والتكنولوجيا؟

فيزيـاء البلازمـا، أي دراسة الجسيمـات المشـحونة المتأثرة بالحقـول الكهربائية والمغناطيـسية الذاتية، شـهدت مؤخرًا العديـد من التقدمات الرائـدة. من بين هذه التقدمـات، يُعتبـر تطويـر الطـاقة النـاتجة عن الاندمـاج الأكثر أهمية ووعـدًا، حيث لديه القدرة على توفيـر طـاقة غير محدودة وخـالية من الكربـون. وقد حققت التجـارب الأخيـرة في الاندمـاج نتـائج ملحوظة في تـحقيق خرجٍ طاقيّ صـافٍ ومُنضبِط يتجاوز الدّخْل، ممّـا يدل علـى تقـدم كبيـر في هذا المجال

تـحقّق إنجـازٌ بـارز العـامَ المـاضي في المملـكة المتّحـدة في مخبـر الاندمـاج الأوروبي المشتـرك ذي الطـارة (JET: Joint European Torus) في أكسفـورد، حيث تـم تسجيـل رقم قياسي عالـمي جديد من خلال توليـد 69 ميغـا جـول من الطاقة على مـدى 5 ثوان. كان لي شـرف العمـل في هذا المخبر المعروف لمدة ثلاث سنـوات خلال دراستي للدكتـوراة. علـى الرغـم من أن JET مُقـرَّر أن يتـمّ إيقافـه، إلا أن إرثـه يستمـر من خلال خَلَفِـه، المفاعـل التجـريبي النـووي الحراري الـدولي (ITER)، الذي من المتوقـع أن يبـدأ عملياتـه في عـام 2025 ويُبنـى علـى إنجـازات JET الرائدة

يتـميّز ITER كأكبر تجربة علـمية دولية في التاريخ، حيث تجتمـع 35 دولة للتعـاون في هذا المشـروع الطمـوح. كمـا أنـه يُعتبـر أكثـر المشـاريع العلـمية تـكلفة حتـى الآن، بتـكلفة تقـدر بحـوالي 40 مليـار دولار. إن الحجـم الهائـل والطبيـعة التعـاونيّة في ITER يسـلطان الضوء على أهميتـه في دفع الابتكار العلـمي والتكنولـوجي العالـمي

بعيـدًا عن هدفـه الرئيـسي المتمثـل في تحقيق طـاقة الاندمـاج المستـدامة، تدفـع فيزيـاء البلازمـا التقـدم في عـدة مجـالات حيـوية، بمـا في ذلـك الابتـكارات في المغانـط فـائقة التوصيـل، وتـعزيز تقنيـات التصويـر الطبي مثـل أجهزة التصويـر بالرنين المغناطيسي، وتحسينـات علم المواد التي تؤدي إلى مـواد صنـاعية أقوى وأكثـر متـانة، وعمليـات تصنيع أشبـاه المـوصّلات (أنصـاف النواقـل) بشـكل أفضـل،

منظر جوّي لمنشأة ITER
ITER

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

وأنظـمة دفـع فضـائية أكثـر كفاءة

رابعًـا: طـوال مسيرتكـم المـهنية المتـميزة، شغلتـم العديـد من المنـاصب المؤثِّـرة. هـل يمكنكم أن تشـرحوا لنـا رحلتكم إلى أن أصبحتم رئيسًـا للأكاديـمية العالـمية من أجـل تقـدّم العلـوم في البلدان النامية، والمعروفة سـابقًا باسـم أكاديمية العلوم للعالَـم الثالث (TWAS)؟

عنـد عودتي إلى الخرطـوم من أكسفورد، بعد حصولي على درجة الدكتوراة، شـعرت سـريعًا بإحسـاس محبط بالـعزلة. بدون الوصول إلـى المجلات الحـالية وبغياب أيّ عالِم يعمـل في مجالي البحثي للتحدث معه، بدأتْ إنتاجيتي البحثية تتلاشـى بشـكل متزايـد. في نفس الـوقت، كان والدي، الذي كان رجلَ أعمـال ناجحًا، يريد مني مسـاعدته في توسيع أعماله وطلب مني السفر إلـى إيطاليـا لشـراء آلاتٍ لمصنـع الصابـون الجديـد الخـاص به. كنت سـعيدًا بفعل ذلك لأنه منـحني أيضًا الفـرصة لزيارة المركز الـدولي للفيزياء النظرية (ICTP) في تريستـا. هنـاك، التقيت لأول مـرة بالأستـاذ عبد السلام، المدير المؤسـس للمركز. شـرحت له التحديات البـحثية التي واجهتهـا في السـودان ونوايـاي في الابتعـاد عن البـحث والعمـل مـع والـدي. بـدا عليـه القـلقُ العميق، ومن أجل مسـاعدتي على البقاء في مجـال العلـوم دون أن يسـرقني عالَم التجـارة، عرض عـليّ عضوية الزمالة في ICTP، والتي قبلتها بسـرور. مـكنني تـعييني كزميلٍ مشـاركٍ في ICTP من السفر إلـى تريستـا عدة مـرات على مـدار السنـوات القليلة التـالية، ما كسـر عزلي في الـمنزل، واستأنفت عملي البـحثي بنشـاط في فيزياء البلازمـا النظرية

بـدأت مسـاهماتي الهامة في العلوم الشـموليّة والمنظمـات العلـمية في عـام 1983 عندمـا تـمّت دعـوتي من قبل المدير العام للـوكالة الدولية للطاقة الذرية (International Atomic Energy Agency: IAEA) واليونسـكو من أجـل العمـل في لجنةٍ كُلِّفَت بإنشـاء إرشـادات وتوجيهاتٍ للـ ICTPخاصّةٍ بالفترة من 1983 إلـى 1993. في الوقت نفسـه، دعـاني الأستاذ عبـد الـسلام أيضًـا لزيـارة المركز لمـدة ستة أشـهر. تضـمنت مسؤولياتي تـعزيزَ أنشـطة ICTP في الدول النـامية وتنظيـم الاجتمـاع التأسيـسي لأكاديـمية العلـوم للعالَم الثـالث(TWAS)

سـاعدتُ في وضـع قواعـد تنظيميّة لجـائزة ICTP للفيزيـائيين من الـدول النامية وطـورت قواعد جديدة للزمـالة التشـاركيّة للأعضـاء والمعاهـد مـع الـ ICTP . علاوة علـى ذلـك، سـاعدت في تأسيـس جمعيـات الفيزيائيين والريـاضيين في مناطق مختلفة من العالم النـامي. بالإضـافة إلـى عمـلي مـع ICTP، سـاعدت الأستـاذ سلام في إطلاق TWAS وتنظيـم اجتماعهـا الأول في عـام 1983، حيث تمّ بالإجماع تعيينه رئيسًـا مؤسسًـا، وتـعييني كأول مديـر تنفيذي للـ TWAS . علـى الرغـم من أن الاجتماع التأسيـسي لـ TWAS كان ناجحًـا للغاية، إلا أنه لم تتوفـر أموال لإطلاق برامجها. الـحقيقة هي أن العديـد من المناصـرين والممـولين للعلـوم الدولية في ذلـك الوقت لم يـروا الحاجة إلى منظـمة مثل TWAS.

لـم يحـدث ذلـك إلا في عـام 1985، بعـد قضائي عامًـا في مختبر لورانـس ليفرمور مستفيـدًا من منحة فولبـرايت، عندمـا أبـلغني سلام أن وزيـر الخـارجية الإيطـالي، جوليـو أندريـوتي، قـرّر تقديـم 1.5 مليون دولار لافتتـاح TWASرسـميًا وإطلاق برامجهـا. طـلب مني العـودة إلـى تريستـا لمـدة ثلاثة أشـهر للمسـاعدة. لم أدرك في ذلك الـوقت أن هذه الإقامة

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

التي استمرت ثلاثة أشـهر ستتحـول إلى التزامٍ استمر لمـا يقـرب من 25 عامًـا، حيث عملت كمديـر تنفيذي لـ TWAS . خلال تلـك الفتـرة، وبفضل الدعم المستمر من الحكـومة الإيطـالية، شـهدت TWAS نمـوًا كبيرًا في عضويتهـا وبرامجها والاعتراف الـدولي بها، مما جعل الأكاديـمية صوتًـا رائدًا للتميز في العلـوم في العالَم النامي.

في عـام 1988، نظـمت TWAS مؤتمـرًا كبيرًا حول النسـاء العامِلات في مجال العلـم في الدول النامية، مـا أدى إلـى تأسيـس منظـمة المـرأة في العلـوم في العالَـم النـامي(Organization for Women in Science for the Developing World: OWSD)، التي تتخذ من تريستـا مقـرًا لهـا تـحت إدارة TWAS . تضم OWSD حاليًـا أكثـر من 10,000 عضـوًا، ممّـا يجعلهـا أكبر منظـمة نسـائية في العالم.

في عـام 2000، وخلال اجتمـاع جمعيتهـا العـامة في طوكيو، قررت أعضاء الشـراكة الأكاديـميّة البينيّة (InterAcademy Panel: IAP) نقـل مـركز أمانتها من لنـدن إلى تريستـا لتكون تحت استضـافةTWAS . في عـام 2003، وافقت الحكـومة الإيطـالية علـى قانون لتمويـل كل من TWAS وIAP علـى أسـاس سنـوي. وفي العام نفسـه، قررت الشـراكة الـطبيّة الأكاديميّة البينيّة (InterAcademyMedical Panel: IAMP) أيضًـا نقـل أمانتهـا من واشنـطن إلـى تريستـا. في عـام 2016، قـررت IAP وIAMP الاندمـاج في شبـكة عالـمية واحدة تُدعى الشـراكة الأكاديميّة البينيّة(IAP) . تضـمّ الـ IAP الجديدة 150 أكاديـميّة عضوة وتعمل بالتعـاون الوثيق مـع شبكاتها الإقليـمية ذات الصلة من الأكاديميـات في أفريقيـا والأمريـكيّتَين وآسيـا وأوروبا. تشـمل عضـوية IAP ثمـاني أكاديميات فقط في العالَـم العربي

تجعل هذه المنظمات الثلاث (TWAS، OWSD، IAP) مع الـمركز الـدولي للفيزياء النظـريّة (International Centre for Theoretical Physics: ICTP) والمـركز الـدولي للهنـدسة الـوراثيّة والتقـانة الحيـويّة (International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology: ICGEB) من تريستـا مكانًـا فريـدًا للتعـاون الـدولي في العلـوم والتكنولوجيـا والابتكار (Science, Technology & Innovation: STI) والسياسـات العلمية العالَـمية. كنت محظوظًا بقدرتي علـى المسـاهمة في تطويـر ونمـو هذه المنظومة الفريـدة من المنظمات الدولية، مـا يُعرف بـ "منظومة تريستا"

المركز الدولي للفيزياء النظرية في تريستا، ويضمّ أيضًا المكاتب الرئيسيّة للـ TWAS
ICTP

خامسًـا: هل يمكنكم أن تصفـوا للقارئ العربي الأهداف/الأنشـطة الرئيـسية للأكاديـمية العالـمية للعلـوم وهيئتَيهـا الـدوليّتَين ذاتَي الصـلة: الشـراكة الأكاديـميّة البينيّة (IAP) ومنظـمة المرأة في العلـوم في العالَم النامي (OWSD)، وكيف تهـدف هذه المؤسّسـات على وجـه التحديـد إلـى دعـم العلمـاء في البلدان النامية؟ كيف يمكن لمنظمة OWSD أن تسـاعد

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

في مواجـهة التحديـات التي تواجه المرأة في العالـم العربي؟

الأهـداف الرئيـسية للـ TWAS والبـرامج المصمـمة لمعالجتهـا هي

أ. الاعتـراف والدعـم وتشجيع التـميز في العلوم في الـدول النـامية: من خلال انتخـاب مـا يصـل إلـى 50 عضوًا جديدًا سنويًا، ومنـح الجوائز والميداليات للعلماء المتـميزين والمستـحقين، وضمـان التمثيـل العـادل للنسـاء العالمات البـارزات والعلماء من مجموعة الدول المتخلفة في مجـال العلوم والتكنولوجيا (Science & Technology-Lagging Countries: STLCs عبـارة عن 66 دولة اختارتهـاTWAS ، تضـمّ جميـع الـدول الأقل نمـوًا، والدول ذات الدخل الـمنخفض وبعض الدول ذات الدخل المتوسـط-المنخفض)

ب. تـلبية احتياجـات العلمـاء الشبـاب في مجمـوعة الـدول المتخـلفة في مجال العلـوم والتكنولوجيا: من خلال تقديـم منحـات بـحثية في العلـوم الأسـاسية، ومنـح جـوائز سنـوية، والاعتـراف بالعلمـاء الشبـاب المتميزين كأعضاء شباب مشـاركين في TWAS، ودعم المؤتمـرات الإقليـمية السنـوية للعلمـاء الشباب

ت. تـلبية احتياجات مجموعـاتِ البحث الجامعية الواعدة في مجمـوعة الـدول المتخـلفة في مجـال العلـوم والتكنولوجيـا ونقصِ التمويل المحـلي للبحث العلمي الذي يـعيق نموهـا: من خلال تحديـد ودعم مجموعات البـحث الـكفؤة من خلال التمويل التنافـسي، وتوفير منـح بـحثية لتـعزيز إنتاجيتهـا وقدراتهـا التـدريبية، وتقييـم تأثيـر مجموعات البـحث المختـارة والمُموَّلة، خـاصة تلك التي تعمل في العلوم الأسـاسية و علوم التقانة والهندسة والرياضيات (Science, Technology, Engineering & Mathematics: STEM

ث. تـعزيز التعـاون بين الجنـوب والجنـوب في العلوم والتكنولوجيـا والابتـكار(STI) : من خلال إبرام اتفاقيات مـع الحكومـات والمؤسسـات في الـدول النـامية لاستضـافة طلاب الدكتوراة وما بعـد الدكتوراة. حاليًا، تُقدِّم TWAS أكثر من 300 منحة دراسـات عُليا وما بعد الدكتـوراة للـطلاب من مجموعة الـدول المتخلفة في مجـال العلـوم والتكنولوجيا للدراسة في مـراكز التميّز في الأرجنتين، والبرازيـل، والصين، والهند، والمكسيك، وباكستـان، وجنـوب إفريقيا. بالإضافة إلـى ذلك، توفِّر TWAS فرصًـا للعلمـاء البـاحثين النشـطين لزيارة دول نـامية أخرى كأعضاء، وتمـكين أعضاء TWAS من شغل منـاصب أستـاذية بـحثية في الدول الأقـل نموًا لدعم التعليـم والبحث

ج. تـعزيز الروابط بين المجتمعـات العلمية في الجنوب والشـمال: تنفّذ TWAS برنـامج خبـراء زائـرين لتمـكين العلماء من الشـمال من زيارة المؤسسـات في الجنوب ودعـم طلاب ما بعـد الدكتـوراة من الـدول المتخلفة في مجال العلـوم والتكنولوجيا للتدريب في الشـمال مـع الالتزام بالعـودة إلى الوطن. بالإضـافة إلى ذلك، تواصل TWAS زيادة مشـاركة الأعضاء من الشمال في مؤتمراتهـا العامة والنـدوات المتخصصة

ح. تـعزيز الاستراتيجيـات التي تعتمـد علـى العلـوم والتكنولوجيـا والابتـكار لتنفيذ أهـداف التنـمية المستـدامة: وذلـك من خلال تعزيز الصـلة بين العلوم والسياسة والدبلوماسية، والتي غالبًا ما تكون ضعيفة في البلـدان النـامية. تشـمل جهود الـ TWAS إنشـاء شبكات مواضيـعية thematic للتـميّز من أجل معالجة أهـداف التنمية المستدامة المحـددة (المياه والطاقة والأمن الغذائي والصـحة وتغير المناخ) من خلال تبادل أفضل الممارسـات وإجراء البحـوث المشتركة والتدريب؛

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

ونشـر التقاريـر المستنـدة إلـى الأدلة والمتعـلقة بالسياسـات؛ وتنظيـم اجتماعـات المنـاقشة مع صنّاع القرار والقطاع الخـاص؛ واستضافة ورش عمل إقليمية وأقاليـميّة حـول السياسة العلـمية مع كبـار العلماء وصنّـاع السياسـات والدبلومـاسيين؛ وإجـراء دورات دبلوماسية علـمية للعلماء الشباب وصناع السياسـات

شعار المكتب الإقليمي للـ TAWS في العالَم العربي، وشعار مؤسّسة الـ OWSD ذات الصلة

الأهـداف الرئيـسية للـ IAP والبـرامج المصممة لمعالجتهـا هي

أ. بنـاء قـدرات الشبـكات الإقليـمية للأكاديميـات وأعضائهـا من خلال: دعـم التعـاون وزيـادة قـدرات الشبـكات الإقليمية الأربع التابـعة وأعضائها الوطنيين من خلال المنـح والفـرص المـهنية؛ تـعزيز قـدرة الأكاديميـات القائـمة علـى الجـدارة بالشـراكة مـع الشبـكات الإقليـمية المعنية، دعم تشـكيل أكاديميات جديـدة وخـاصة في أفريقيـا والعالم العـربي حيث لا توجـد لدى غـالبية البلـدان أكاديميات علـمية وطنية

ب. بنـاء قـدرات الأكاديميـات والشبـكات الإقليـمية لتقديـم المشـورة المستقـلة القائـمة علـى الأدلة والموثـوقة بشأن القضايـا العالـمية والإقليـمية والـوطنية من خلال

1. تطويـر تقاريـر تجميعية عالية الجـودة وفي الوقت المنـاسب، وبيانـات تـوافقية، وتـدخّلات أخـرى بشأن قضايـا ذات أهـمية إقليـمية وعالـمية، مُؤطَّـرة حول أهـداف التنـمية المستدامة للأمم المتحـدة واتفاقية إطار عمـل الأمـم المتحدة

2. بنـاء العلاقات مع صنّاع السياسـات في هيئات صنع السياسـات العالـمية والحفـاظ عليهـا، بمـا في ذلك الأمـم المتحـدة ووكالاتهـا المتخصـصة؛ والمنظمات الإقليـمية مثل الاتحـاد الأوروبي والاتحـاد الأفريقي ومنظـمة التعـاون الاقتصـادي والتنـمية؛ والبنـك الـدولي والبنـوك الإنمـائية الإقليـمية، ومـع صنّـاع السياسـات الـوطنيين من خلال الأكاديميـات الوطنية الأعضـاء في الـ IAP.

ت. تـعزيز تعليـم العلـوم ومحـو الأمية العلـمية من خلال: إصلاح وتطويـر تعليـم العلـوم علـى نطـاق عالَمي، وخاصة في المـدارس الابتدائية والثانوية، مع أسـلوب تربوي قائم علـى الاستقصـاء (تعليم العلوم القائـم علـى الاستقصـاء، Inquiry-Based Science Education: IBSE)؛ ودعـم إنشـاء مـراكز العلـوم والمتـاحف العلـمية في البلـدان التي لا تمتلكهـا

الأهـداف الرئيسية لـ OWSD والبرامج المصممة لمعالجتها هي

أ. زيادة مشـاركة المرأة في البلدان النامية في البحث العلـمي والتكنولوجي والتدريـس والقيادة من خلال: تقديـم زمالات للنسـاء العالِمات من مجمـوعة البلدان المتخـلفة في العلـوم والتكنولوجيـا (STLCs) للقيام بأبحـاث الدكتـوراة في العلوم الطبيـعية والهندسية وتكنولوجيـا المعلومات في معهـد مُضيفٍ في دولة نـامية أخرى في الجنـوب العالمي

ب. دعم النسـاء العالمات في بـداية حياتهن المهنية من خلال: منـح مـا يصـل إلـى 50.000 دولار أمريكي للنسـاء اللاتي أكمـلن درجة الدكتـوراة في مجـالات العلـوم والتكنولوجيا والهنـدسة والرياضيات (STEM) ويعمـلن في معهـد أكاديـمي أو بحثي علـمي في مجمـوعة بلـدان الـ STLCs. من المتوقـع أن تسـاعد

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

المنـحةُ حائزاتِهـا -بالإضافة إلى تـعزيز أبحاثهن- على تطويـر علاقـات مـع مجمـوعة متنـوعة من الشـركاء من القطـاعين العـام والخـاص لتحويل أبحاثـهن إلى منتجـات قابـلة للتسـويق. من خلال دعم عـددٍ متزايد من العلمـاء في بـداية حياتهـم المـهنية، تعمـل الـ OWSD على إنشـاء شبكة من العلمـاء المتميزين من النسـاء القـادرات علـى تقديم الإرشـاد فَيَـكُنَّ قدوة للجيـل القـادم من القيـادات النسـائية في مجـالات العلـوم والتكنولوجيـا والهنـدسة والرياضيات

ت. الاعتـراف بالعلمـاء النسـاء في بـداية حياتـهن المـهنية والاحتفـال بـهن من خلال: تقديـم جـوائز للعالِمـات من البلدان النامية اللاتي قدّمن مسـاهمات كبيـرة في البـحث والتعليـم. ومن الأمثـلة على هذه الجوائز جـائزة OWSD-Elsevier Foundation، للعلماء النسـاء في بـداية حياتـهن المـهنية مـمّن يعمـلن ويـعشن في البلدان النامية واللاتي يكُنَّ في المراحل الأولـى من حياتـهن العلـمية. يجب أن يكـون لـدى الحـاصلات علـى المنـح تأثير واضـح علـى بيئة البحث، سـواء على المستـوى الإقليـمي أو الـدولي، ويجب أن يـكُنَّ قد حصلن علـى درجة الدكتـوراة في العلوم والتكنولوجيـا والهنـدسة والرياضيـات في السنـوات العشـر الماضية

أودّ هنـا الاستطـراد قـليلًا في موضوع الـ OWSD في الـدول العربية

هنـاك 1113 عالـمة من الدول العـربية أعضاء في منظـمة OWSD، يمثـلن أكثـر من 10٪ من إجمـالي العضـوية التي تزيـد عن 10000.

منذ عـام 1997، تعمل منظمة المـرأة في العلوم والتكنولوجيـا في المنـطقة العـربية بنشـاط لتـعزيز مشـاركة النسـاء في مجال العلوم وتأثيـرهن. وهناك حاليًـا فروع وطنية نشـطة في مصـر والأردن والمغرب وفلسـطين والسودان واليمن. وتُقدَّم زمالات الدكتوراه والمـهنة المبكِّـرة للنسـاء في جيبـوتي وفلسـطين والسـودان، في حين تتوفـر زمـالات الدكتـوراة أيضًـا للنسـاء في سـوريا واليـمن. بالإضـافة إلـى ذلـك، استضافت معاهـدُ في البحرين ومصر والأردن والمغرب وعمان والسـودان زميلات الدكتوراة من منظمة المرأة في العلـوم والتكنولوجيا في المنـطقة العربية، التي يتمثـل هدفهـا في زيـادة تأثيـر المرأة العـربية على تصميـم وتنفيذ البحـوث العلـمية، وبالتـالي تـعزيز مشـاركة المرأة في مجـال العلـوم والتكنولوجيا في المنـطقة العربية

سادسًـا: هـل يمكنكـم مشـاركتنا رؤاكـم حول أيّ مبـادرات حـديثة أطلقتهـا الـ TWAS والتي وجدتموهـا مصيـريّةً بشـكل خـاص؟ وبشـكل أكثـر تحديـدًا، كيف أثرت جائـحة كوفيد19- على البـحث العلـمي في العالـم النـامي، ومـا هي التدابيـر التي اتخذتها TWAS للتخفيف من هذه التأثيرات؟

قـامت TWAS بالتعـاون مع الشـركاء مؤخـرًا بتصميم وتنفيذ المشـروعين التـاليين المتعـلقين بتغيّر المناخ وكوفيـد19-، وهمـا المشـكلتان الأكثـر تحديًـا اللتان تواجهان البشـرية

أ. منـح مشـروع مؤسـسة TWAS-Elsevier للمسـاواة بين الجنـسين والعمـل المناخي:

يدعـم المشـروع المبـادرات التي تـعزز المسـاواة بين الجنـسين وتـلبي احتياجـات المجتمـع المتعـلقة بالمنـاخ. تُمنـح هذه المنح، التي تبـلغ قيمتها حوالي 25000 دولار أمريـكي لكل مشـروع، لفـرقٍ مكوَّنة من 2-5 عالمـات. وتـركِّز المشـاريع، التي تقودهـا عالمات

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

من البلـدان النـامية، علـى الحلـول العمـلية للمنـاخ مثـل استعادة أشجـار المانغـروف والإدارة المستدامة للأراضي. وتهـدف المبادرات إلى إحداث تغيير ملموس وتسترشـد بالهـدف رقـم 13 من أهـداف التنـمية المستـدامة، والذي يـعزز العمـل المنـاخي العاجل

ب. منـح IsDB-TWAS لأبحاث الاستجابة السـريعة في مرحـلة ما بعـد كوفيد-19:

أبـرم البنـك الإسلامي للتنـمية (IsDB) وTWAS شـراكةً لدعم أبحاث الاستجابة السـريعة بشأن تحديات مـا بعـد كوفيـد19-. يمـوِّل برنـامج المنـح المشتركة للأبحـاث ونقـل التكنولوجيا IsDB-TWAS التعـاونَ بين البـاحثين من 57 دولة عضـو في البنـك الإسلامي للتنـمية. في كل عـام، يتـم اختيـار مشـروع مشتـرك واحـد، حيث تتقاسـم مجموعتـان بحثيتـان من دول مختـلفة ما يصل إلـى 100000 دولار أمريكي. تغطي المنـح معداتِ البـحث، وتعزيز المـرافق، وتنقّل العلماء للتـدريب. يجب أن يكـون مقـر إحـدى المجموعات في إحـدى الدول الأعضاء الأقل نمـواً في البنك الإسلامي للتنمية

سـابعًا: مـا الـدور الذي تلعبه مشـاريع التعاون الـدولية في اسـتـراتيجية الأكاديـمية العالمية للعلـوم، وكيف تعملـون علـى تـعزيز هذه الشـراكات عبـر القـارات بين أمـم ذات قـدرات علـمية متباينة؟ وبشـكل أكثر تحديـدًا، استفاد العديـد من العلمـاء في العالم الثـالث من منح زمـالة الأكاديـمية العالـمية للعلـوم لـطلاب الدكتوراة/مـا بعـد الدكتوراة/البحـوث العلمية في مـراكز الجنـوب، حيث توجـد معظـم المراكز المتقـدمة في الصين/الهند وأميـركا اللاتينية، لذا نتسـاءل لمـاذا لا توجـد مراكز مماثـلة في العالَـم العربي؟

لقـد كان التعـاون الـدولي في مجال العلوم، سـواء فيما بين بلدان الجنوب أو بين الشـمال والجنوب، هدفًا رئيسيًـا لـ TWAS لأكثـر من أربـعين عامًـا. يتـمّ دعم استـراتيجية TWAS للتعـاون فيمـا بين بلـدان الجنوب من خلال اتفاقيـات مـع الحكومات والمؤسسـات في البلـدان النـامية، التي تـستضيف وتغـطي النفقـات المحـلية لطلاب الدكتوراة ومـا بعد الدكتوراة من دول الجنـوب الأخرى، وخـاصة مجمـوعة البلـدان المتخلفة في مجـال العلـوم والتكنولوجيـا. تُقـدِّم TWAS أكثر من 300 منـحة دراسية سنويًـا، ممّـا يـكلف البلـدان المضيفة أكثـر من 4 ملايين دولار لفترة دراسة مدتها ثلاث سنوات

بالإضـافة إلـى ذلك، يسـمح برنامج التعـاون فيما بين بلـدان الجنـوب للبـاحثين النشـطين في الجنـوب بزيـارة مـراكز التـميز في البلـدان النـامية الأخـرى كمشـاركين زملاء. كمـا تقـدم أيضًا درجـات الأستاذية البـحثية لأعضـاء TWAS، مما يمكنهم من المسـاعدة في التدريـس والبـحث في المؤسسـات في مجموعة البلـدان المتخـلفة في مجـال العلـوم والتكنولوجيا

لا يزال الطـلب علـى بـرامج التعـاون بين بلـدان الجنـوب في TWAS مرتفعًـا بسبب المشـهد العلمي العالَـمي المتغيـر. في عـام 1983، عندمـا تأسـست TWAS، سـاهمت البلدان النامية بنسبة 15% فقط من المنشـورات العلـمية العالـمية في الـمجلات الدولية المُحكَّـمة، ولكن بحلـول عام 2016، ارتفـع هذا الرقم إلـى 44%، ويرجع ذلك أساسًـا إلى الزيـادة الملحوظة في المنشـورات في الـصين وعـدد قليـل من البلدان النامية

وفي عـام 2016، تفـوّقت الـصين علـى الولايات

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

المتحـدة في إنتـاج الأوراق البحثية المُحكَّـمة، تليها الهنـد والبرازيل وإيـران وتركيا وماليزيـا، وجميع هذه البلـدان الآن من بين أفضل 20 مسـاهمًا على مستوى العالم

وفي عـام 2022، سـاهمت الصين بنـسبة 26.9% من إجمـالي عـدد المنشـورات علـى مستـوى العالم، أي ضـعف العـدد الذي أنتجته الولايـات المتحدة التي سـاهمت بنسبة 13.7%. الـدول النـامية الأخرى التي تـمّ إدراجهـا ضـمن أفضل 15 بلـدًا منتجًا للمنشـورات العلـمية في عـام 2022 هي الهنـد والبرازيل وإيران

للاستفادة من هذا النمو، يجب على TWAS توسيع تعاونهـا بين بلـدان الجنـوب، وهي تهدف مـستقبلًا إلـى تقديـم 1000 منـحة دراسية سنويًّا، مقـارنةً مع 300 الآن، وإلـى إعطاء الأولوية للزمالات في المجالات التحويـلية مثل إنتـرنت الأشيـاء، والذكاء الاصطناعي، والرقـمنة، وعلـم الجينوم لمعـالجة القضايا الحاسـمة في البلـدان النامية

نتيجة للزيـادة الكبيـرة في جودة البـحث والتعليم في عـدد من البلـدان النـامية، يتزايـد الطـلب علـى المنـح الـدراسية فيمـا بين بلـدان الجنـوب بشـكل مستمـر، ممـا يجعـل من الضـروري لــ TWAS متابعة اتفاقيـات جديدة مع مراكز التـميز في البلدان الأخرى، لا سيمـا الـدول العـربية التي لـم يتـم التوصـل إلى أي اتفاقيـات فيهـا حتـى الآن. تمتلك الـدول العربية العديـد من مراكز التميز، خاصة داخـل أفضل الجامعات في منطقة الخـليج. تبذل TWAS حاليًا جهودًا للتوصل إلـى اتفاقيـات مع عـدد قليـل من هذه البلدان لدعم البرنامج

تجـدر الإشـارة إلـى أن بـرامج التعاون فيمـا بين بلـدان الجنوب توفر فوائد كبيرة للبلدان المضيفة، حيث تجـلب أفـرادًا من ذوي المؤهلات العـالية والموهوبين لمتابـعة التعليم العالي والبحث، وبالتالي المسـاهمة في تـعزيز البحث والتعليم في المـراكز المضيفة

باعتبارهـا أكاديـمية عالمية للعلوم لتـعزيز العلوم والتكنولوجيـا والابتـكار في العالم النامي و مع وجود 15% من أعضائهـا في الشـمال، تتمتع TWAS بمكانة فريـدة للـعب دور رئيـسي في تـعزيز الروابـط بين العلمـاء والمؤسسـات في الشـمال والجنوب. يشـمل نُشـطاءُ TWAS بين الشـمال والجنـوب ما يلي

أ. برنـامج أسـاتذة TWAS البـاحثين في أقـل البلـدان نمواً:

يمـكن تـعيين زملاء TWAS في الشـمال كأسـاتذة TWAS بـاحثين لمـدة عـام واحـد. سيقومـون بزيـارة مؤسـسة مُضيفة في إحـدى أقـل البلـدان نمواً لمدة 2-4 أسـابيع. توفِّـر TWAS دعمًـا ماليّـا السفـر؛ بينما يغطي المـركز المضيف نفقات المـعيشة. فقط زملاء TWAS والمنتسبـون الشبـاب / الخرّيجـون هـم فقـط المؤهلون

ب. برنامج خبراء TWAS الزائرين:

يسـاعد هذا البرنامج المؤسسـات في البلـدان النامية، وخـاصة أقـل البلدان نمواً، علـى إقامة روابـط طويلة الأمـد مع قـادة العالم في مختلف المجـالات العلمية للتعـاون البـحثي والتـدريب. توفّـر TWAS دعم السفر ويغطي المـركز المضيف النفقـات المحلية

ت. دعم طلاب ما بعد الدكتوراة:

تقـدم TWAS بالتعاون مع المؤسسـات الـمضيفة في الشـمال منحًـا دراسية لـطلاب مـا بعد الدكتـوراة من مجمـوعة البلدان المتخـلفة في العلـوم والتكنولوجيا لزيـارة المؤسسـات البـحثية في الشـمال من أجـل التعـاون البحثي والتـدريب المتقدم، مع ضمـان التزام

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

الـطلاب بالعـودة إلـى بلدانهـم الأصلية للمسـاهمة والمسـاعدة في زرع وتـعزيز العلـوم والتكنولوجيـا والابتـكارات من أجل التنـمية وتحـسين تعليم العلوم علـى جميـع المستويات

ثامنًا: بصفتكـم الإداريّة وخبرتكـم العميقة في دبلومـاسية العلـوم، كيف تتخيلـون مستقبـل التعـاون العلـمي العالَمي، وخـاصة في معالجة التحديـات العالـمية مثـل تغير المنـاخ والتنمية المستدامة؟

دبلومـاسية العلـوم هي منـصة تُسـهّل التعاون بين مختـلف البلـدان والمجتمعـات بغض النظـر عن الاختلافـات السيـاسية أو العلاقـات المتوتـرة. وعلى هذا النحو، تتشـكل دبلومـاسية العلوم من خلال أربعة اتجاهات

أ. استخـدام الأدوات العلـمية لتحـسين العلاقـات بين الـدول التي لديهـا علاقـات متوتـرة سياسيا؛

ب. الحاجة إلـى التعاون الدولي في التصدي للتحديات العالمية

ج. الحـاجة إلـى تطوير وتنفيذ مشـاريع علمية ضخمة؛

د. الحاجة إلى شـراكة عالـمية في مجال العلوم لدعم بناء القدرات في مجمـوعة البلدان المتخلفة في مجال العلـوم والتكنولوجيـا. ومن الأمثلة على ذلك

1. خطـاب الرئيـس أوبامـا في القاهـرة عـام 2009 حيث حـدد خططًـا لاستخـدام العلوم من أجـل تحسين العلاقـات بين الولايـات المتحـدة والعالَـم الإسلامي، بمـا في ذلـك فتح مراكز التـميّز العلـمي في أفريقيا والشـرق الأوسـط وجنـوب شـرق آسيـا، وتـعيين مبعـوثين إلـى كل منـطقة. وقـد زار عـدد كبيـر من العلماء الأمريـكيين البارزين هذه المنـاطق كمبعوثين و البرنـامج لا يزال مستمـرًّا

2. إن التصـدي للتحديـات العالّـمية مثل تغيـر المناخ والأوبئة والأمن الغذائي وتـحقيق أهـداف التنـمية المستـدامة سـوف يتطـلب الشـراكة والتعـاون بين جميـع البلدان في العالم، كما هـو محدد بوضوح في الهـدف 17 من أهـداف التنـمية المستـدامة. وتلعب الأمـمُ المتحدة دوراً هاماً في إنشـاء منصـات عالمية لجميـع البلـدان من أجـل تـحقيق أهـداف التنـمية المستـدامة، وتشـمل هذه

جائـحة كوفيـد19: قـامت منظمة الصـحة العالمية بتيسيـر البحوث التعاونية علـى مستوى العالم، والتي أدت إلـى تطويـر اللقاحات وتوزيعهـا في جميع أنحاء العالم، من خلال مبـادرة كوفاكس

تغيـر المنـاخ: التعـاون الـدولي في مجـال البحـوث المتعـلقة بالنماذج المنـاخية، واستراتيجيات التخفيف، وعمليـات التـكيف التي يتـم تسـهيلها من خلال اتفـاقية إطار عمل الأمـم المتحـدة بشأن تغير المناخ والـهيئة الحكـومية الـدولية المـعنية بتغيـر المناخ

فقدان التنـوع البيولوجي: لرصد التنـوع البيولوجي وحمايتـه واستعادتـه، يُعـدّ التعـاون العالَـمي أمـرًا ضروريًـا. تعمـل منظمات مثـل الاتحاد الـدولي لحفظ الطبيـعة (International Union for Conservation of Nature: IUCN) واتفـاقية التنـوع البيولـوجي (Convention on Biological Diversity: CBD) علـى تسـهيل خطط العمل واستراتيجيات الحفظ عبر الدول

الأمن الغذائي: يتطلب ضمان الأمن الغذائي العالمي ومكافـحة الجـوع إجـراء بحوث تعـاونية حـول الزراعة المستـدامة، والمحاصيـل المقـاومة للمنـاخ، وتقنيات الزراعة المبتكـرة. تدعـم منظـمة الأغذية والزراعة (الفـاو) الجهود الـدولية الـرامية إلى تحـسين النظم والسياسـات الغذائية

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

التحـول إلـى الطـاقة المتجـددة: لمكافـحة تغير المناخ بشـكل فعـال، يُعدّ التحولُ إلـى مصادر الطاقة المتجـددة أمرًا حيويًـا ويتطلب تعاونًا دوليًـا. تستفيد الأبحـاث المتعـلقة بتقنيـات الطـاقة النظيفة وتنفيذ هذه الحلـول من تبـادل المعرفة والمـوارد في جميع أنحـاء العالـم. تعمـل وكالة الطـاقة الـدولية علـى تسـهيل التعاون الدولي في مجال الطـاقة النظيفة

3. أمثـلة علـى المشـاريع العلـمية الـدولية: مفاعل التجـارب النـووية الحـرارية الـدولي (ITER) المذكـور سـابقًا والذي يعـد أكثـر مشـاريع التعـاون الـدولي طموحًـا، والأكثـر تعقيـدًا والأكثـر تـكلفة

صفيفة الكيلومتر المربع في جنوب أفريقيا وأستراليا

مثـال ثانٍ هـو صفيفة الكيلومتـر المربع (Square Kilometer Array: SKA) التي تـم بناؤهـا في جنـوب إفريقيـا وأستراليـا والتي تعـد أكبر تلسـكوب راديوي في العالم

4. أمثـلة عديـدة علـى دور التعاون الـدولي في بناء ودعـم القدرات العلـمية في البلـدان التي تتخلف عن بقية العالـم، ويقود هذه البرامج العديدُ من المنظمات الـدولية بما في ذلك TWAS والمـراكز الدولية للعلوم مثـل المركز الـدولي للفيزياء النظـرية ICTP والمركز الـدولي للهندسة الـوراثية والتقـانة الحيوية ICGEB في تريستـا، بالإضـافة إلـى المراكز الـدولية للعلوم الزراعية العامـلة في بلدان نامية مختلفة تحت إشـراف المجموعة الاستشـارية للبحـوث الزراعية الدولية

تاسـعًا: مـا هي التحديـات الثلاثة الكبرى التي تواجه العلوم والمؤسسـات البـحثية في العالم النـامي اليوم؟

إن التحـدي الأكثر أهمية، والذي تتصدى له الأكاديمية العالـمية للعلـوم بنشـاط، يتلخـص في بنـاء قـدرات الجامعـات والمؤسسـات البحثية في مجمـوعة البلدان المتخـلفة في مجـال العلـوم والتكنولوجيـا. ويتضمن ذلـك تحـسين جـودة البـحث والتعليـم لجذب وتدريب الـطلاب الموهـوبين. ومن الأهـمية بمكان أن يشـمل ذلـك أيضًا تطويـر الريادة المحلية والعالـمية والحفاظ عليهـا في مجـالات العلـوم والتكنولوجيـا والابتـكار. وإذا لـم يتم إعطاء هذه القضية الأولـوية، فإن هجرة الأدمغة المستمرة سـوف تستمـر في استنزاف أفضل العلمـاء من العالـم النامي، وخـاصة من مجمـوعة الـ STLCs.

ويتلخـص التحـدي الثـاني في تـحقيق أهـداف الأمـم المتحـدة للتنـمية المستـدامة (Sustainable Development Goals: SDGs) بحلـول عـام 2030، حيث تهـدف كل دولة إلـى تـحقيق هذه الأهـداف، ولـكن من غيـر المرجـح تـحقيق تقدم كبيـر في غياب القـدرة على تطوير ونشـر التقانات المتقدمة. تُشـكِّل مثـل هذه القدرات التقـانيّة ضرورةً أسـاسية لمعالجة القضايـا العالمية المعقدة مثل تغيـر المناخ، والصحة، والتنـمية المستدامة

أمـا التحـدي الثـالث، وهـو قضية طويـلة الأمـد بالنـسبة لأغـلب البلـدان النـامية، فيتمثـل في زيادة التمويـل المخصـص للبـحث والتطويـر إلى مـا لا يقل عن 1% من النـاتج المحـلي الإجمـالي. علـى سبيـل

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

المثـال، لـم تتمـكن أي دولة في أفريقيـا والعالـم العـربي من تـحقيق هذا الهـدف حتـى الآن، ولـم تـحقق ذلك سـوى 5 دول في العالم النـامي (الصين، البرازيل، تركيـا، تايلاند، ماليزيـا). إن الاستثمار الكافي في البـحث والتطويـر أمر حيوي لتـعزيز الابتكار، ودفع النمـو الاقتصادي، وحـل التحديات المحـلية والعالَمية.

هذه التحديـات الثلاثة مترابـطة بشـكل وثيق. إن تـعزيز قـدرة الجامعـات والمؤسسـات البـحثية يمكن أن يسـاعد في تـحقيق أهـداف التنـمية المستدامة. وفي الـوقت نفسـه، فإن زيادة الاستثمـار في البحث والتطويـر من الممـكن أن تعمـل علـى تمـكين هذه المؤسسـات من تطويـر ونشـر التقانـات المتقـدمة الضرورية للتنمية المستـدامة. وتعد الجهود التعاونية في هذه المجـالات ضـرورية لإحـداث تأثيـر دائم

عاشـرًا: احتفـلت TWAS بالذكـرى الأربـعين لتأسيسـها العام المـاضي، مـا هي الأولويات التي توصـون بهـا TWAS خلال السنـوات الأربع القـادمة؟

1. يجب علـى TWAS التـركيز علـى تـعزيز شـركائها الإقليـميين الخمـسة. وينبغي عليهـم أن يتحملـوا المزيـد من المسؤوليـات الإدارية المتعـلقة ببـرامج بنـاء القـدرات، وخـاصة زمـالات الدكتوراة وتـدريب ما بعـد الدكتوراة. سيتيح هذا التغييـر لأمانة TWAS في تريستـا مزيدًا من الوقت لمعـالجة التحديات والأهداف الجديـدة. والأهـم من ذلـك أن هذا يتطـلب زيـادة التمويل للشـركاء الإقليميين، وهو ما ينبغي أن يكون جزءًا لا يتجزأ من جهـود جمـع الأمـوال

2. ينبغي علـى TWAS تعزيز دورها كمدافع عن "العلم من أجـل السيـاسة" و"السيـاسة من أجـل العلم" في البلـدان النامية. ويمـكن القيام بذلـك من خلال إصدار بيانـات وتقاريـر قائـمة علـى الأدلة حـول القضايـا المهـمة للجنـوب العالَـمي. بالإضـافة إلـى ذلـك، يمـكن لـ TWAS تنظيـم ورش عمل ونـدوات ذات صلة بالسياسـات تشـمل الأكاديميين وصانعي السياسـات من مختـلف البلـدان لمنـاقشة التحديـات المشتركة

3. مـع وجود أكثر من 1400 زميـل منتخب، حان الوقت لتحـسين تنوعهـم ومشـاركتهم. ومن المثيـر للقلق أن أكثـر من 70% من زملاء TWAS يأتـون من عـدد قليـل من البلـدان، وهناك نقص في النسـاء والعلماء الشبـاب في الأعضـاء. علاوة علـى ذلـك، فإن غالبية أعضـاء الأكاديـمية، ربما أكثـر من 95%، غير نشـطين في شؤون الأكاديـمية. هنـاك حـاجة كبيـرة لمعالجة هذه القضايـا بشـكل عاجل لجعل TWAS أكثر شـمولاً وتشاركية

4. ينبغي علـى TWAS تـعزيز اتصالاتهـا مـع أصحاب المصلـحة الرئيـسيين مثـل وزارات العلـوم، ووزارات المـالية، وأكاديميات العلـوم، والصناعات القائمة على العلـوم والتكنولوجيـا في الجنـوب العالَمي.

لقـد أنشأت TWAS في عـام 1988 شبـكةَ العالم الثـالث للمنظمات العلمية (Third World Network of Scientific Organizations: TWNSO)، والتي تحـولت فيما بعد إلى اتحـاد العلوم والتكنولوجيا والابتكار من أجل الجنـوب (Consortium of Science, Technology and Innovation for the South: COSTIS) بنـاءً على طـلب مجموعة الـ 77. وعلى الرغـم من أن هذا التحول حظي بدعـم قوي من الأمم المتحـدة والدول الأعضاء في مجمـوعة الـ 77، إلا أن COSTIS لا تعمـل حاليًـا، علـى الرغم من وجودها في أمـانة مجموعة الـ 77. إن إعادة تنشيـط COSTIS يمكن أن تلعب دورًا حيويًا في المضي قدمًـا باستراتيجيتها

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

حـادي عشـر: أخيـرًا، مـا هي النصيـحة التي تقدمونهـا للعلمـاء والإداريين المستقبـليين الذين يطمحـون إلـى السيـر علـى خطاكـم، وخـاصة أولئـك من العالَـم العـربي؟

هنا ما يمكن أن أنصح به:

1. اختـر المجال العلمي الذي يثيـر اهتمامَك وشغفَك. العـاطفة تدفع إلـى الابتـكار والتـحفيز. عندما يكون لديك فضـول حقيقي، فمن المرجـح أن تنجح

2. الالتحاق بالمؤسسات ذات السمعة الطيبة والسعي لتـحقيق التميّز الأكاديمي. الأسـاس التعليمي القوي يفتـح الأبـواب أمـام فـرص البـحث المتقـدمة. التزم بالتعلـم مـدى الحيـاة من خلال حضـور ورش العمـل والمؤتمرات والندوات لمـواكبة التطورات الجديدة في مجـال عملك.

3. الانخراط مع شبكة متنـوعة من الأقران والموجِّهين والعلمـاء الـدوليين. يُعدّ التعـاونُ أمرًا بـالغ الأهمية في العلـوم الحـديثة ويمـكن أن يؤدي إلـى فـرص جديـدة ومـوارد مشتركة وأفكار مبتكـرة قد لا تتمكن من تحقيقهـا بمفردك.

4. العلـم لـه تحدّياته، والانتكاسـات أمـر لا مفر منه. تعلّـمْ من حـالات الفشـل، وقـم بتـكييف أسـاليبك، واستمـر في الـمضي قدمًا.

5. تنـاول في بحثـك حـلَّ القضايا المحـلية والعالَمية. اهـدَفْ إلى إحـداث تأثيـر ملموس علـى المجتمع. إن معـالجة المشـاكل الملحة مثـل تغير المنـاخ، والصحة العـامة، والأمن الغذائي، واستـدامة الطـاقة لا تؤدي إلـى تقـدّم العلـوم فحـسب، بـل تعـود بالنفع على البشـرية أيضا

6. لا تحصـر نفسـك في مجـال واحـد، بـل استكشف تخصصـاتٍ متعددة وحاوِل سـدَّ الفجـوات بينها، وهذا يمكن أن يؤدي إلى حلول مبتكرة للمشـاكل المعقدة. علـى سبيـل المثـال، أدّى بـحثي في فيزيـاء البلازما النظـرية إلـى تطبيقات غير متوقـعة في دراسة حركة الغبـار في الأراضي الجـافة، مـا أظهـر قيـمة النهج متعـدّد التخصصات.

7. ادعُ إلـى تـعزيز العلـم داخـل مجتمعـك، من خلال تشجيـع الاستثمار في التعليـم والبنية التحتية البحثية والسياسـات الداعمة، والانخراط مع صانعي السياسات، والمشـاركة في المناقشـات العـامة، وإلهـام الجيـل القـادم من العلماء

يتقـدّم فريق تحرير مسـارات بالشـكر الجزيل للأستاذ الدكتـور محمـد حاج عـلي حـسن، المديـر التنفيذي المؤسِّـس لمدّةٍ تقـارب الربع قرن ثـم رئيس منظّمة TWAS الـدوليّة، على منحنـا هذه الفرصة الرائعة من وقتِـه الكريم لإجـراء هذه المقابلة

إيمان طه

رند الفار

دانا عبد الغني

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

أخبار علمية

القمر الكامل: السوبرمون، القمر الأزرق

في 19 أغسطس-آب 2024، شهد العالم ما يعرَف باسم السوبرمون supermoon، وهو الأول من أربعة ظهورات متتالية له في عام 2024 (ظهر أيضًا في 18 سبتمبر-أيلول، وسيظهر كذلك في 17 أكتوبر-تشرين الأوّل و18 نوفمبر-تشرين الثاني) حيث يتجلّى فيها القمر بحالةٍ عملاقة، وكان مرئيًا من عدة مناطق حول العالم.

يُشير مصطلح "السوبرمون" إلى القمر عندما يكون في أقرب نقطة له من الأرض، ممّا يجعله أكبرَ وألمعَ من المعتاد، واقِعًا في الوقت نفسه على استقامةٍ واحدة مع الشمس والأرض. بالإضافة إلى كونه سوبرمون، كان القمرُ أيضًا "قمرًا أزرق"، أي القمرَ الثالثَ في فصلٍ تظهر فيه أربعة أقمار كاملة (بدلًا من ثلاثة). لم يظهر القمر بلون أزرق، ولكن تسميته ترتبط بتقاليد تعود إلى عام 1528. ويُعرف أيضًا بأسماء أخرى مثل "قمر الحصاد"، حيث كان يساعد الفلاحين في جمع محاصيلهم بفضل ضوئه الساطع والمستمر

في هذه الليلة، رافق القمرَ العديدُ من الظواهر الفلكية، مثل ذروة مشاهدات كوكب زحل. وكان القمر مرئيًا لثلاثة أيام، بدءًا من صباح الأحد 18 أغسطس-آب وحتى صباح الأربعاء 21 أغسطس-آب. المصد

كسوف جزئي للقمر العملاق في 18 سبتمبر-أيلول 2024

شهد العالم في 18 سبتمبر-أيلول 2024 ظاهرة فلكية مميزة تمثلت في كسوف جزئي للقمر العملاق المعروف بـ"قمر الحصاد"(Harvest Moon)، والذي استمتع برؤيته هواة الفلك والمصورون من مختلف القارات، بما في ذلك أوروبا، الأمريكيّتان وأفريقيا

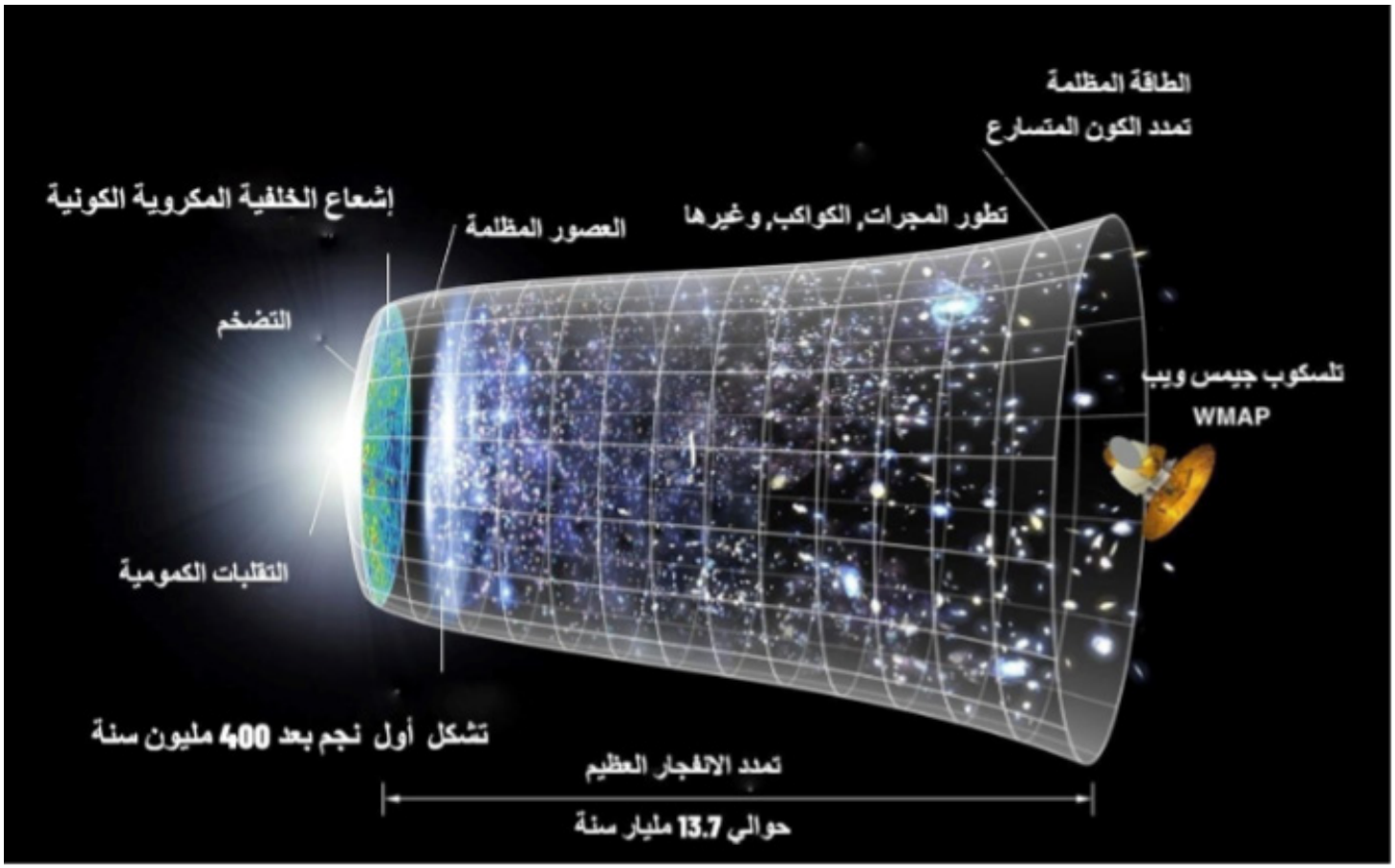
تزامن هذا القمر مع ظواهر فلكية أخرى؛ فقد كان قمر الحصاد، الذي يظهر عادة في سبتمبر-أيلول بالقرب من الاعتدال الخريفي، قمرًا عملاقًا، حيث بدا أكبر وألمع من المعتاد بسبب اقترابه من الأرض في نقطة "الحضيض"(perigee). وعلى الرغم من أن قمر الحصاد لا يختلف شكله عن الأقمار الكاملة الأخرى، إلا أنه اكتسب اسمه التاريخي بسبب توقيته الذي كان يُساعد الفلاحين على إكمال حصادهم

خلال هذا الكسوف الجزئي، غطّى ظلُّ الأرض جزءًا من سطح القمر، ما أدّى إلى إظلام جزئي ملحوظ في السماء بين الساعة 01:41 و05:47 بتوقيت بريطانيا (غرينتش+1). ورغم أن التأثير كان طفيفًا، إلا أنه كان مرئيًا بوضوح لعشاق الفلك. المصد

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

التخليق النووي البدئي
قصةٌ وقيود على نظريّات الثقالة المُعدَّلة

محمد يحيى العمر
طالب ماجستير بقسم الفيزياء، كلية العلوم، جامعة دمشق، سوريا



الشكل 1: خط زمني لتاريخ الكون. فريق)ناسا NASA/ مسبار (WMAP العلمي

أولاً: رحلة إلى فجر الكون: ملامح من التاريخ الكوني

في صباح الكون الأول، قبل ما يقارب 13.8 مليار سنة، تبدأ قصتنا. في تلك اللحظة البعيدة، لم يكن هناك زمان أو مكان كما نعرفهما اليوم؛ لم يكن هناك شيء، بل كان هناك فراغ لا نهائي، ومن نقطة صغيرة تُعرف باسم التفرد الأولي (Singularity)، انطلقت الشرارة الأولى للحدث الأعظم في تاريخ الكون: الانفجار العظيم (Big Bang)، حيث احتوت هذه النقطة الصغيرة جدًّا على مجمل المادة والطاقة الموجودتَين في الكون حينها. ومن خلال هذا الانفجار الكوني الهائل، وُلد الكون وظهرت ملامحه الأولى، ليبدأ مسارٌ طويلٌ من التطور والتمدد

بدأت الحقبةُ الأولى من الكون بما يُسمى عصر بلانك (The Planck Era)، وهي فترة زمنية قصيرة للغاية تسبق ما يُعرف بزمن بلانك، والذي يُقدر بحوالي 10^{-43} ثانية وهو أصغر فترة زمنية ذات معنى فيزيائي، ويُعتقد عندها أن القوى الأربعة الأساسية في الفيزياء{الثقالة، الكهرومغناطيسية، النووية القوية، والنووية الضعيفة{كانت مُوحَّدة تحت طاقة هائلة في صورة قوة عظمى واحدة. حتى يومنا هذا، يحاول العلماء والفيزيائيون تطوير نظرية تُوحِّد هذه القوى، ومن أبرز هذه النظريات نظريّة التناظر الفائق (Supersymmetry)، والأوتار الفائقة (Superstrings)، والثقالة الفائقة (Supergravity)

مع استمرار تمدد الكون وانخفاض درجات حرارته بعد عصر بلانك، بدأت هذه القوى في الانفصال عن بعضها البعض تدريجيًا. كانت الثقالة هي أولى القوى التي تميّزت وانفصلت عن القوة المُوحِّدة الكبرى للقوى الأخرى. وهنا، يبدأ الكون في

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

الدخـول إلـى عصر جديـد يُعرف باسـم عصـر النظرية التوحيـديّة الكبـرى (The GUT Era) ، ويمتـد من10^{-43} ثـانية إلى 10^{-36} ثانية تقريبًا، وهي فترة حاسـمة في تـاريخ الكون حيث انفصـلت القوة النـووية القوية عن القـوة الكهروضـعيفة (القوة التي تجمـع بين القوة الكهرومغناطيـسية والقوة النووية الضعيفة)، وتُعرف هذه اللـحظة بكسـر التناظـر (symmetry breaking) للقوة التوحيديّة الكبـرى. وكان لذلك دور جوهري في تطـور الكـون، إذ يُعتقد أنـه في غضون ذلـك الوقت، نـمت أجزاءٌ من الكون كانت بحجم الذرة إلى حجم يقارب حجم منظومتنا الشـمسيّة. حـدث هذا التضخم الهائل بسـرعة تتجاوز سـرعة الضـوء التي تبلغ

$$c \approx 3\times10^{8}\ \ m/s,$$

دون أن يخالف ذلك مبدأ النسبية، لأن هذه السرعة عنت سـرعة تمدّد نـسيج زمكان الكون، وليست سـرعة لمـادّة أو لنقـل معلومات، وبالتـالي لا يتـعين عليها الالتزام بحدود سـرعة الضوء. يُشـار هنـا إلى أن نظرية GUT قـد تـم اقتراحها من قبـل الفيزيـائيَّين شيلدون غلاشـو (Sheldon Glashow) وهـوارد جيورجـاي (Howard Georgi) في أوائل السبعينيّات، حيث تفترض النظـرية توحيدَ القـوى الفيزيـائية الثلاثة عند طاقات أعلـى من 10^{14} (GeV جيجـا إلكترون فـولت)، وبالرغم أن القـوة النووية القـوية قد تمـايزت، إلا أن مستوى الطـاقة في الكـون كان لا يزال مرتفعًـا جدًا إلى الحد الذي لـم يسـمح بتشـكل البروتونات والنترونـات. في هذا الـوقت المبكـر، كان الكـون عبـارة عن "بحر صاخب من الكـواركات"، حيث لـم تـكن الجسيمات الأسـاسية قـد بـدأت في التجمع لتشـكيل المـادة التي نعرفها اليوم

تُعد مشـكلة الحرارة العـالية التي واجهها الكون في بداياتـه من أعقـد المسـائل في علـم الكونيات، ولكن ما سـاعد في حلّ هذه المشـكلة نظـريّةٌ تُعرَف بالتضخـم الكـوني (inflation). استمـرّ هذا التضخـم، الذي بدأ كما يُعتقَد عند كسـر تناظـر القوة التوحيديّة الكبـرى أو بعده ببرهة وجيزة، لوقت قصير جدًا، حوالي 10^{-32} ثـانية. كان هذا التمدد أسيًا، ما يعني أن الكون تضـاعف حجمه مراتٍ عديـدة خلال هذه الفترة الزمنية القصيـرة للغـاية، وبعـد انتهـاء فتـرة التضخم واصل الكـون تمـدّدَه ولكن بسـرعة أقل بكثيـر، وهو التمدد الذي لا يزال مستمـرًا حتـى يومنا هذا

بعـد انتهـاء التضخـم، استمـرت درجـات الحـرارة بالانخفـاض بشـكل تـدريجي، إلـى أن وصـلت إلـى النقطة التي انفصـلت فيها القوة الكهرومغناطيسية عن القـوة النووية الضعيفة، وذلك حـوالي 10^{-12}ثانية بعـد الانفجـار العظيـم. عنـد هذه المرحـلة، انخفضت درجة الحـرارة إلـى مـا دون 10^{15} K، أي مـا يفـوق بتريليـون مرة حرارةَ سـطح الشـمس. بفضـل التجارب الحـديثة في فيزيـاء الجسيمـات، تمـكن العلمـاء من دراسة الحـالات الفيزيـائية عند درجـات حرارة تصل إلى 10^{17} K، وهـو مـا يتيح لنـا فهم الظـروف التي كانت سـائدة في الكون بعد 10^{-14} ثـانية من حدوث الانفجار العظيم

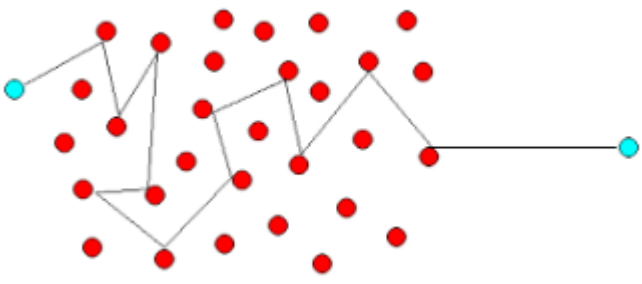
لـم تنتهِ رحلة استكشـاف أسـرار تلـك الفترة بعد. ففي تلـك الأثناء، تشـكلت المادة والمـادة المضادة بكميـات متسـاوية تقريبًـا، وكانتـا في تـوازنٍ حراري نتيجةً للتفـاعلات التي تسبّبت بها الفوتونات النشـطة الموجـودة في تلـك الفتـرة. ومـع ذلـك، لـم تتمكن الجسيمـات من قطـع مسـافة كبيـرة قبـل أن تلتقي بجسيماتهـا المضـادة، فتُفني بعضَهـا بعضًا وتتحول مـرة أخـرى إلـى طـاقة صـرفة. كانت هذه العمـلية

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

مستمـرة بين تكـوّن الجسيمات وفنائهـا حتى لحظة مـرور زمن يقـدر ب 0.001 ثانية بعـد الانفجار العظيم. عنـد هذه النقـطة، تمـدد الكـون وبـرد إلـى درجة كافية، ولـسبب ما لا يزال غيرَ مفهوم تمامًا، تشـكلت جسيمـات المـادة بنـسبة تزيـد قـليلاً عن جسيمـات المـادة المضادة

لـو كان مقدارا المادّة ومُضادِّها متطـابقَين تمامًا، لـكان الكـون قـد انتهـى إلـى فنـاءٍ كامـلٍ لجميـع الجسيمات، ولما تبقّى سـوى الفوتونـات. ولكن وجودَ تفـاوتٍ طفيف بين المـادة والمـادة المضـادة - بـلغ نـسبة تقريبية تعـادل (مليار وبروتـون واحد لكل مليار بروتـون مضـاد)- هو ما سـمح ببقاء المـادة الباريونية التي تُشـكّل كلَّ مـا نـراه اليوم في الكـون من نجوم وكـواكب ومجرات

في هذه اللحظـات الأولـى من عمـر الكـون، كانت الجسيمـات في حـالة تـوازن حـراري كامل داخل مـا يسـمى بالحَسـاء البَـدْئي (primordial soup) أو البلازمـا البَـدْئية (primordial plasma)، وهي مزيج من الجسيمـات الأولية المشـحونة مثـل البروتونـات، والنِّترونـات، والإلكترونـات. هذه الحـالة يُعبّـر عنهـا رياضيًـا بالـعلاقة $\Gamma \gg H$، والتي تشيـر إلـى أن معدل التفاعـل بين الجسيمـات Γ كان أعلـى بكثير من معدّل تمـدد الكون H ، المعـروف بثابت هابـل. بعبارة أخرى، كان المسـار الحر الوسطي للجسيمات المتناسب عكسًا مـع Γ أقصـرَ بكثيـر من نـصف قطر هابـل المتناسب عكسًـا مع H.



الشكل 2: المسار الحرّ الوسطي

يستمـر هذا التـوازن حتـى تصل منظـومةُ الكون إلى مرحلة يتسـاوى فيهـا معدل التفاعل Γ مع معدل هابـل H (أي $\Gamma \sim H$). عنـد هذه النقـطة، يحـدث فصل لأحـد أنـواع الجسيمـات عن البلازما البـدائية، وهو ما يعرف بعمـلية التجمّد (freeze out). عندما يحدث ذلك، يتم كسـر التوازن الكيميـائي وتبقى تلـك الجسيمات بوفـرة ثـابتة وتُحـسب باستخـدام معـادلة بولتزمـان (Boltzmann equation)

يجـدر بالذكـر أن معـدل التفاعـل Γ يختـلف حسب نـوع الجسيمات والتفـاعلات الأسـاسية المرتبطة بها، وبالتالي فمفهـوم التجمّد -الصالـح لجميع الجسيمات المعـروفة (وربمـا غيـر المعـروفة) في الكـون المبكر جـدًا- يحـدث في أوقات مختـلفة حسب نـوع الجسيم. وهنـا يكمن جوهر التاريخ الحـراري للكون، حيث يتحكم في تطـور هذا التـاريخ تغيّر معـدلات التفاعلات

ثورة هابل: من الثبات إلى التمدّد

في أوائل القرن العشـرين، قدم ألبرت أينشتاين نظرية النـسبية العامة التي تصف الجـاذبية (الثقالة) كانحناء في الزمـكان. وبالرغـم من أن معادلاتـه أشـارت إلـى أن الكـون في حـالة تمدد أو تقلّـص، إلا أن أينشتاين، معتقـدًا أن الكـون ثـابت، أدخـل مـا يعـرف بـ الثابت الكـوني لمـوازنة هذه القـوى وإبقاء الكـون ثابتًا بلا تمدّد

وهذا مـا تغير في عـام 1929عندمـا اكتشف الفلكي إدوين هابـل أن الكـون يتمدّد من خلال مـراقبة انزياح الضوء القادم من المجـرات البعيدة نحو الأحمر، اعتمادًا علـى مـا يعـرف بتأثيـر دوبلـر. غيّـرَ هذا الاكتشـافُ الصـورةَ تمامًـا، حيث أظهـر أن الكون ليـس ثابتًا كما كان يُعتقد سـابقًا. وعندما علـم أينشتاين بذلك، وصف

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

الثـابت الكـوني بأنـه "أكبر خـطأ في حياتـه"، لأنه لو وثق بنتـائج معادلاتـه الأصـلية، لـكان قـد تنبأ بتمدّد الكون قبـل هابل

أدّى اكتشـاف هابل المذهل لتمـدد الكون إلى صياغة قانون هابل، ووفقًا لهذا القانون، كلما زادت المسـافة بيننـا وبين مجـرة مـا، ازدادت سـرعةُ ابتعادها، وهو ما عبرت عنه المعادلة الشـهيرة

$$v = H_0\ d$$

حيث v سـرعة ابتعـاد المجـرات و d المسـافة الفاصلة عن الأرض، بينمـا يمثـل H_0 ثـابت هابل الـراهِن، الذي يعبـر عن معدل توسـع الكـون الحاليّ

لم يـكن قانون هابل مجرّدَ اكتشـاف علـمي أو وصف ريـاضي لسـرعات المجـرات؛ بـل كان نافذة إلـى تاريخ الكـون اعتبرَت بمثـابة ثـورةٍ في فهمنـا لطبيعته، إذ يُعَـدّ دليلًا قويًـا على تمـدد الكون.

في الواقِـع، إذا قمنـا بتتبع هذا التمدد إلى الوراء في الزمن، نجـد أن المسـافات بين المجـرات تصغر بشـكل تـدريجي، ما يـعني أن الكون في المـاضي كان أصغر حجمًـا وأكثـر كثـافة. من خلال هذا الاستقـراء نحـو المـاضي، يمكننـا الوصول إلـى لحظة زمنية حاسـمة، وهي اللـحظة التي وُلـد فيها الكـون من نقطة تفرّد أولية ذات كثـافة وحرارة لامتنـاهيتَين، ممّا يُعزز نظرية الانفجـار العظيم

ثانيًا: تخليق النَّوى الخفيفة في الانفجار العظيم (Big Bang Nucleosynthesis)

بـدأت هذه المرحـلة الحاسـمة في تـاريخ الكـون عندمـا كان عمـر الكـون لا يتجـاوز واحـد ملّي ثـانية فقـط، وكانت درجة حرارتـه تقـدر بحـوالي 1 MeV. في تلـك اللـحظة، كانت البلازمـا الكـونية تحتـوي علـى جسيمـات نسبوية في حـالة توازن حـراري، مثل الفوتونـات، والإلكترونـات، والبوزيترونـات، إلـى جانب جسيمـات نسبـوية منفصـلة -أي متجمّـدة لا تلاقي جسيمـاتٍ تتفاعل معها إلاّ نادرًا- مثـل النِّترينُوات. كما ضـمّت البلازمـا جسيمات غيـر نسبوية مثـل الباريونات (مثـل النكليونات: البروتونات والنترونـات) ، وتعد نسبة الباريـون إلـى الفوتون

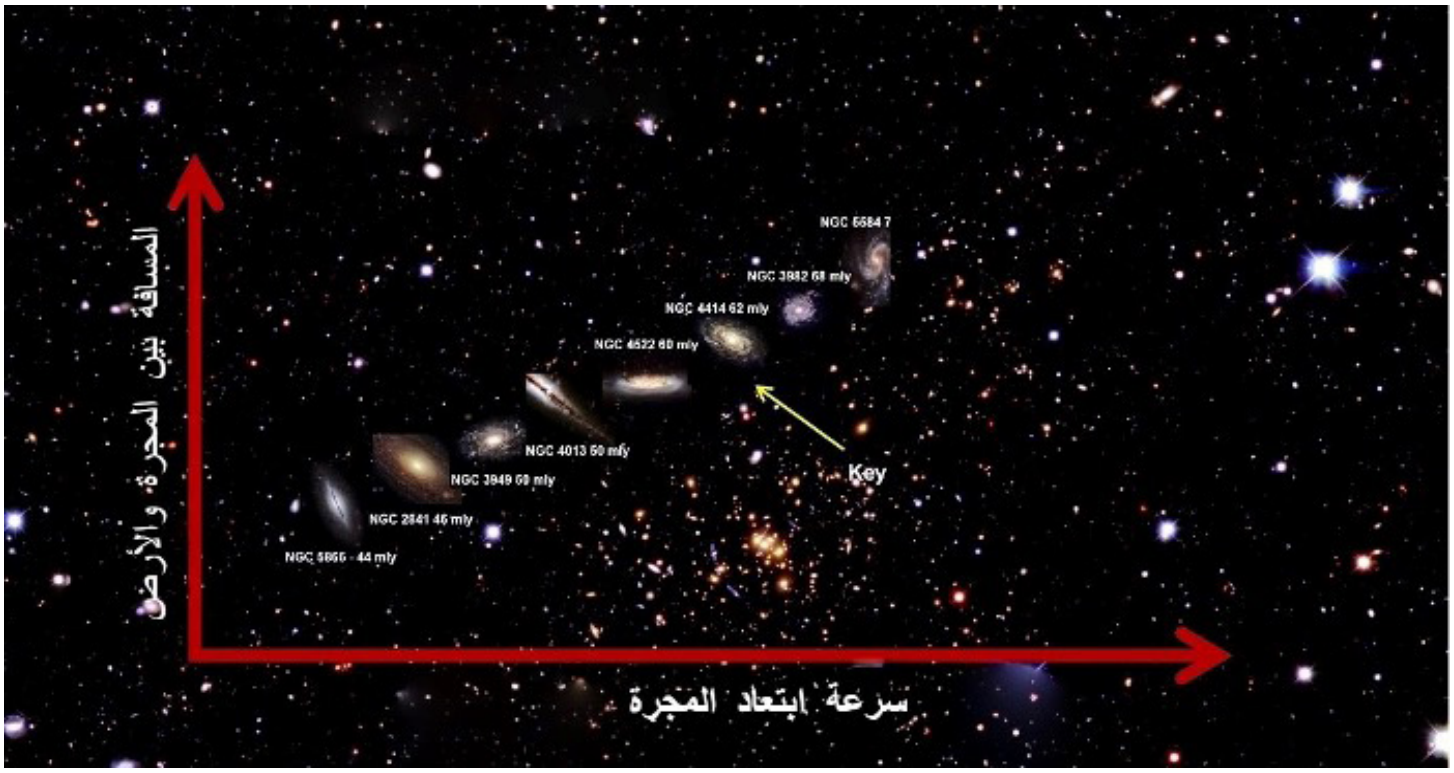
$$\eta_b \equiv \frac{n_b}{n_\gamma}$$

من الأبطـال الرئيـسيين في قصتنـا، فـهي تؤثر بشـكل رئيسي على الوفرة النـسبية للعناصر الخفيفة الـمُنتَجة في الانفجار العظيـم، حيث أن وفرة الهِليوم المتوقعة تكون حسـاسة لـ η_b. التقديـر الحالي لنسبة الباريـون إلى الفوتون هو تقريبًـا: $\eta_b \approx 6.1 \times 10^{-10}$ ما يـعني أنه لكل 10^{10} فوتـون في الكون، يوجد حوالي 6.1 باريون

أمـا بالنـسبة للنـوى فـكانت سـاخنة وكثيفة بما يـكفي للاندمـاج وتكـوين عناصـر أثقل، ولـكن حرارةَ الكـون كانت عـاليةً بشـكلٍ كافٍ لتحطيمهـا، لـدرجة أن النـوى كانت تتفـكّك بمجـرد تشـكلها. استمـر هذا الاندمـاج والتفـكك حتـى حـوالي 3 دقـائق بعد الانفجـار العظيـم، عندمـا بـرد الكـون بـدرجة كافية لتبـلغ درجةُ حرارتـه 10^9 K ، وهنـا يتـوقّف التفـكّك. في هذه اللـحظة من التـاريخ الكـوني، كانت غـالبية المـادة الباريـونية (وهي المـادة التي تشـكل النّوى الذرية) قـد تـوزعت بنـسب محددة: حـوالي 75٪ منها كانت في شـكل الهيـدروجين، بينمـا 25٪ منها كانت في شـكل الهِليـوم، أما بقية العناصر، مثـل الليثيوم، فقـد تشـكّلت بكميـات ضئيـلة جدًا (واحد علـى مليار من وفـرة الهيـدروجين)

يُعَـدّ هذا التوزيعُ الدقيق للوفـرة النسبيّة للعناصر

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



الشكل 3: قانون هابل

الخفيفة من النجاحات العظيمة لنظرية الانفجار العظيم، حيث تتوافق التنبّؤات النظريّة بنسب تلك العناصر الأولية مع ما نرصده في الكون اليوم وبدقة مذهلة. في نهاية عصر التخليق النووي، احتوى الكون على المزيج "الأولي" من الهيدروجين والهِليوم والليثيوم الذي دخل في تكوين النجوم الأولى. استمرت تلك العملية العظيمة قرابة 20 دقيقة فقط، ثم أصبحت درجات الحرارة غيرَ كافية لحدوث المزيد من التفاعلات النووية، ما أدّى إلى توقف تلك العمليات وتحديد نسب العناصر الكيميائية الأساسية التي شكّلت البنية الأولية للكون

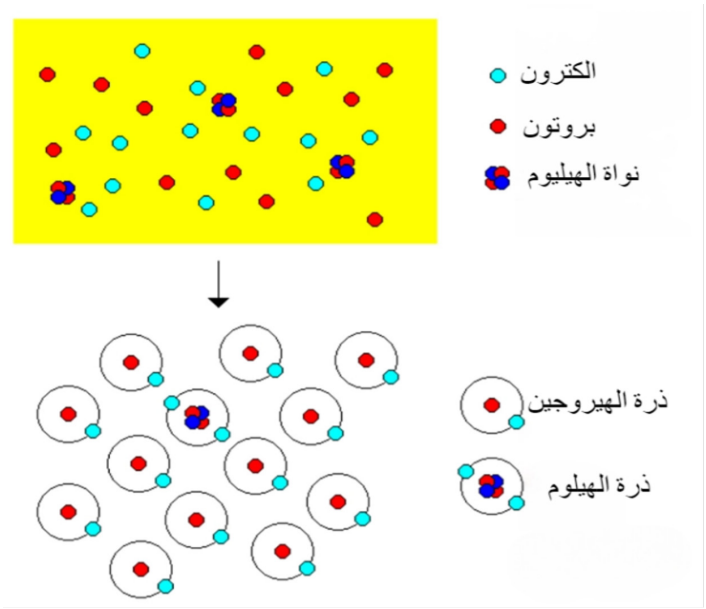
لا تقتصر أهمية هذه العملية، والمعروفة بتخليق النّوى الخفيفة (Big Bang Nucleosynthesis: BBN) على إنتاج العناصر الأساسية فحسب، بل تُستخدم أيضًا كأداة قوية من أجل تقييد النماذج الكونية، لأنه يمكن للعلماء من خلال تحليل وفرة هذه العناصر الخفيفة استنتاجُ العديد من الخصائص الأساسية للكون، مثل كثافة الباريونات ومعدّل التمدد في تلك الحقبة

عند العودة إلى بدايات الكون بعد الانفجار العظيم، كان الكون لا يزال يموج بالضوء والجسيمات الأولية، وكانت تلك الجسيمات مُحتجَزةً ضمن بحرٍ هائل من البلازما الكثيفة. كانت هذه البلازما تتألف من جسيمات مشحونة كالإلكترونات والبروتونات، وكانت الفوتونات (الضوء) تصطدم بالجسيمات باستمرار، ما يمنعها من الانتشار بحرية، فلم يكن الضوء قادرًا على التحرك بعيدًا عن تلك البلازما ليصلَ إلى خارجها

ومع مرور الزمن، بعد حوالي 380 ألف سنة من الانفجار العظيم، حدث تحوّلٌ جوهري، إذ بدأت الإلكترونات بالارتباط مع نوى الذرات لتشكيل ذرات محايدة، بسبب انخفاض حرارة الكون المتمدِّد عن القيمة اللازمة للتأيين، وهي عملية تعرف باسم إعادة الارتباط (Recombination). هذا الحدثُ المفصلي كان يعني أن الجسيمات المشحونة أصبحت أقلَّ عددًا

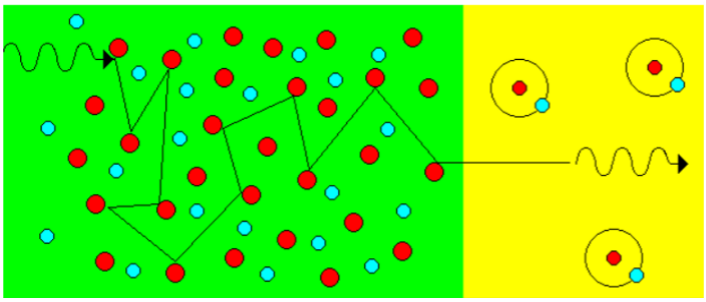
© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

بكثيـر، وبالتـالي أصبح الضوء قادرًا على الانتشـار دون أن تعترضـه البلازمـا. مـع هذا التحـول، أصبـح الكـون شفافًـا للمـرة الأولـى في تاريخه، وبـدأ الضوء الذي كان مـحتَجَزًا يتـدفق بحـرية في جميـع الاتجاهات



الشكل 4: إعادة الارتباط (Recombination)

هذا الضـوء الذي بـدأ بالانتشـار منذ تلـك اللحظة البعيـدة في الزمن لا يزال يتحـرك في أرجـاء الكـون حتـى يومنـا هذا، وقد وصل إلينا على شـكل إشـعاع الخـلفيّة المكـروي الكـوني CMB، الذي يتـميّز بدرجة حـرارة منخفضة جدًا، تبلغ حوالي 2.7 كلفن قي الوقت الراهِن



الشكل 5: ضوء الـ CMB

ومـع مـرور الزمن تعززت نظـرية الانفجـار العظيم، التي كانت في بداياتهـا مجـرد افتـراض نظـري، بأدلة علـمية ورصـدية قـوية. يُعَدّ اكتشـافُ الـ CMB في منتـصف القرن العشـرين أحد أبـرز هذه الأدلة، إذ قدّم دليلًا مباشـرًا علـى أن الكـون كان، في مرحلة ما، في حـالة سـاخنة وكثيفة بشـكل لا يُصَـدَّق. إضـافة إلى ذلـك، فإن النـسب الـدقيقة للعناصـر الخفيفة مثـل الهيـدروجين والهِليـوم، والتي تتطـابق مع مـا تتنبأ بـه النمـاذج النظـرية لتخـليق العناصـر بعـد الانفجار العظيـم، إنّمـا تُـعزّز من صـحة النظـرية. يعطينا هذا التـوافق بين النمـاذج الرصدية والنظـرية فهمًا عميقًا لطبيـعة الكـون وكيفية تطـوره من حـالة شـديدة الحـرارة والكثـافة إلـى مـا هو عليـه اليوم

أ. عنق زجاجة الدِّتريوم: النواة الاندماجيّة الأولى

عندمـا نعود إلى دراسة تخليق العناصـر الخفيفة التي حـدثت في مرحلة مبكرة من عمر الكـون، نجد أن هذه العمـلية بدأت عندمـا كانت درجة حـرارة الكون حوالي 109 كالفن (مـكافئة لطـاقة 0.1 MeV)، عندما كانت النكليونـات من البروتونات والنترونـات تمثِل المكوناتِ الرئيـسيةَ للمـادة التي تتفاعـل فيما بينها لتشـكيل نـوى الذرات الأولى

إذا ركزنـا علـى التفـاعلات النـووية بين البروتونات والنترونـات، نجـد أنها لـعبت دورًا حاسـمًا في تحديد تكـوين العناصـر الأولية في الكون

$$n \leftrightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e \quad \text{(beta decay تحلّل بيتا)}$$
$$p + e^- \leftrightarrow \nu_e + n \quad \text{(electron capture أسر إلكتروني)}$$
$$p + \bar{\nu}_e \leftrightarrow e^+ + n \quad \text{(inverse beta decay تحلّل بيتا العكسي)}$$

سـوف تؤدي هذه التفـاعلات الى تشـكيل النواة الاندمـاجيّة الأولى: نواة الدتريـوم، وهي نواة مكونة من بروتـون واحـد ونتـرون واحـد. تُعتبـر هذه النـواة البـدئية نقطةَ الانطلاق نحـو تكوين الهِليوم والعناصر الأثقـل، ولكن قبل أن يحدث ذلـك، كان على الكون أن يتجـاوز عقبةً مهمة تُعرف باسـم عنق زجاجة الدتريوم

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

(The deuterium bottleneck)

في هذا السياق، يُشير هذا المُصطلَح إلى العائق الذي واجهته نوى الدتريوم أثناء تكوينها. نظريًا، كان يجب أن تتشكل نوى الدتريوم عندما تصل درجة حرارة الكون إلى مستوىً يماثل طاقةَ ربطِها، والتي تبلغ MeV 2.2، وهي قيمة أصغر بكثير من طاقات ارتباط النوى الأخرى. تُعرَّف طاقةُ الربط Binding Energy بأنها الفرق بين الكتلة الإجمالية للنواة وكتل مكوّناتها من البروتونات والنترونات، وتعبِّر عن كمية الطاقة التي تربط الجسيمات داخل النواة والتي تتحرّر عند تشكيلِ النواة انطلاقًا من هذه جسيماتِها المُكوِّنة

$$B_N = Zm_p + (A - Z)m_n - m_N$$

حيث m_N هي كتلة النواة، وZ العدد الذرّي (عدد البروتونات)، و A العدد الكتلي (عدد النكليونات)، و mp، mn كتلتا البروتون والنترون على الترتيب. حيث إن كتلة نواة الدتريوم هي MeV 1875.62، بينما مجموع كتلتَي النترون والبروتون هو MeV 1877.84، فيكون الفرق بين هاتين القيمتين مساويًا لطاقة ربط الدتريوم B_D = 2.22 MeV

مع ذلك، فإن تشكُّل الدتريوم عند بلوغ درجة حرارة الكون قيمةً تكافئ طاقةَ ربطه أمرٌ لم يحدث فورًا بسبب وفرة الفوتونات في الكون بوجود مليار فوتون لكل بروتون وإلكترون، وهذا أمر مهم جدًا لأنه وفقًا لتوزيع بولتزمان ماكسويل الكلاسيكي -حيث تتوزّع طاقات الفوتونات حول قيمة وسطيّةٍ- فإن عديدًا من الفوتونات كان بطاقةٍ أعلى من 2.2 MeV، وبالتالي قادرًا على تحطيم نواة الدتريوم المتشكّلة حديثًا. لذلك، استمر الدّتريوم في التحطم عند تشكّله، ما أدى إلى تأخير تكوين العناصر الأثقل مثل الهِليوم

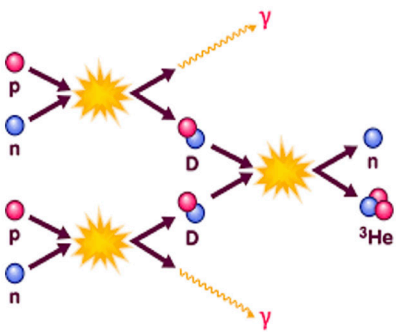
مثّل إذن عنقُ زجاجة الدتريوم عقبةً أساسية في تطوّر الكون المبكر. لكن مع استمرار الكون في التمدّد والاتّساع والتبرُّد، تراجعت الطاقة الحركية للفوتونات، وأصبحت أقل قدرة على تدمير الدّتريوم. عند هذه النقطة، تمكن الدّتريوم المتشكِّل من الثبات والبدء في التفاعل مع جسيمات أخرى لتشكيل نوى الهِليوم

إن تخطي هذه المرحلة لم يكن مجرد خطوة صغيرة في مسار الكون، بل كان بمثابة نقطةِ تحول حاسمة. فقد مكّنتِ هذه التفاعلات المتسلسلة الكونَ من الانتقال من حالة تسودها الجسيمات الأولية إلى حالة يمكن فيها تكوين العناصر التي ستشكِّل فيما بعد النجوم والمجرات والكواكب، وبالتالي كلَّ ما نراه حولنا اليوم

ب. الهليوم ^{4}He

بعد التغلب على عنق الزجاجة للدتريوم، بدأت عمليات تخليقِ العناصر الخفيفة (BBN) في تفاعلات متسلسلة، أدّت إلى تكوين الهِليوم وبعض العناصر الخفيفة الأخرى. تشمل هذه التفاعلات دمجَ نوى الدّتريوم مع بروتونات ونترونات إضافية لتكوين نوى الهِليوم3- والهِليوم4-، وكذلك كميات ضئيلة من الليثيوم

$$p + n \rightarrow D + \gamma$$
$$D + D \rightarrow {}^3He + n$$
$$D + 3He \rightarrow {}^4He + p$$



الشكل 6: تشكّل الهليوم4

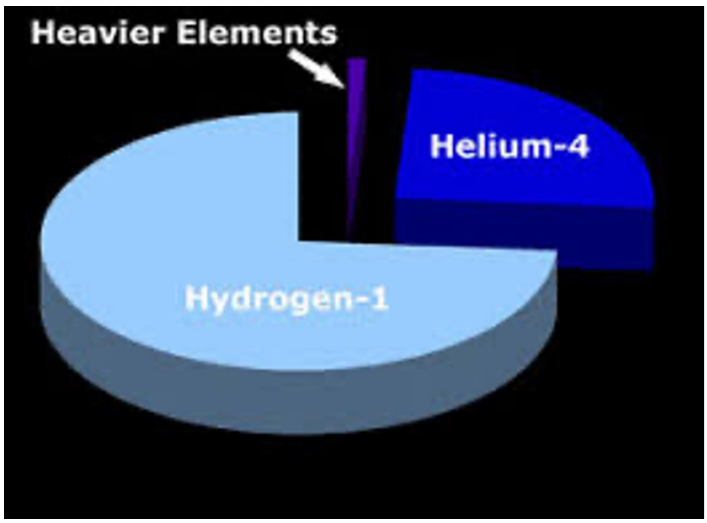
© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

يتعلق التنبؤ الرئيسي لعملية التخليق النووي البدئي (BBN) بتكوين نواة الهليوم 4He الذي يشكّل العنصر الأكثر وفرة بين العناصر التي نتجت في هذه المرحلة المبكرة من تاريخ الكون. يعود السبب الرئيسي وراء هذه الوفرة الكبيرة إلى طاقة الربط العالية لنواة الهِليوم، والتي تبلغ حوالي 7 MeV. تجعل طاقةُ الربط هذه تجعل نوى الهِليوم أكثر استقرارًا وأقل عرضة للتفكك بالمقارنة مع العناصر الأخرى

عندما نتحدث عن طاقات الربط النووي، فإنها عادة ما تقع في نطاق الميجا إلكترون فولت MeV. تفسِّر هذه الحقيقةُ عدمَ الشروعِ بعملية التخليق النووي إلا بعد أن انخفضت درجة حرارة الكون إلى ما دون 1 MeV. بالرغم من أن قيمَ كتل النترونات والبروتونات نفسَها تقع ضمن نطاق الجيجا إلكترون فولتGeV، إلا أن التفاعلات الضعيفة لتحلّل بيتا أو الأسر الإلكتروني بين النترونات والبروتونات استمرت في تعديل نسبة وجود كل منها حتى وصل الكون إلى درجات حرارة مناسبة لتشكيل النوى

في تلك الفترة، كانت نسبة الباريونات إلى الفوتونات في الكون صغيرة جدًا، ما جعل من الصعب على هذه الباريونات أن تتفاعل لتكوين نوى جديدة في درجات الحرارة العالية. ومع انخفاض درجات الحرارة إلى ما يقرب من 0.1MeV، بدأت الفرصة تُتاح لتشكيل عناصر مثل الدتريوم والهِليوم

ومع ذلك، حتى عند هذه النقطة التي أصبح من الصعب عندها على النوى أن تتفكك بفعل الفوتونات، ظلت معدلات التفاعل النووي بطيئة جدًا لإنتاج عناصر أثقل من الهِليوم، فلم يكن الوقت ولا الظروف مواتية لإنتاج عناصر أخرى أثقل بكميات ملموسة. وهكذا، انتهت مرحلة التخليق النووي البدئي، مُكوِّنة العناصر الأساسية الخفيفة التي شكّلت اللبنات الأولى للكون الذي نعرفه اليوم



الشكل 7: وفرة الهليوم والهدروجين

لحساب وفرة الهِليوم (^{4}He) بدقة، يجب اللجوء إلى حل معادلات بولتزمان لجميع النوى، وهي مجموعة من المعادلات التفاضلية المعقدة والمترابطة. تتطلب هذه العملية أخذَ تأثير العديد من الجسيمات الأولية المتواجدة في تلك المرحلة من الكون بعين الاعتبار. ولكن، على الرغم من أهمية هذه الحسابات، فإن تحقيق نتيجة دقيقة تمامًا من خلال التحليل الرياضي الصرف يكاد يكون مستحيلاً بسبب تعقيد الظروف الفيزيائية المحيطة

على سبيل المثال، هناك ورقات علمية منشورة تحاول حساب وفرة الهِليوم بشكل تحليلي، ولكنها تضطر إلى استخدام تقريبات قاسية. من بين هذه التقريبات إهمالُ التأثيرات الطفيفة التي يُحدثها إحصاء فيرمي-ديراك على اللبتونات (مثل الإلكترونات والنترينُوات)، وكذلك إهمال الفروقات الصغيرة في درجات الحرارة بين الفوتونات والنترينوات أثناء التحوّلات فيما بينها، حيث تؤثّر تلك الفروقات،

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

بالرغم من ضآلتها، على النتائج الدقيقة، ما يعني أن الحسابات التحليلية لا يمكن أن تصل إلى دقة عالية بما يكفي إلا مع قبول هامش خطأ يصل إلى حوالي 10%

عادة، يتم استخدامُ صيغ شبه تحليلية لتقدير كيفية تغيّر وفرة الهِليوم بناءً على عدة عوامل، مثل عمر الحياة للنترون τ_n، ونسبة الباريونات إلى الفوتونات η، وعدد نكهات (أي أنواع flavor) النترينوات N_ν. من الأمثلة على هذه الصيغ، نجد ما نشره برنشتاين Bernstein في عام 1989، حيث قدّم صيغة تقريبية لحساب Y_p وفرة الهِليوم ^4He:

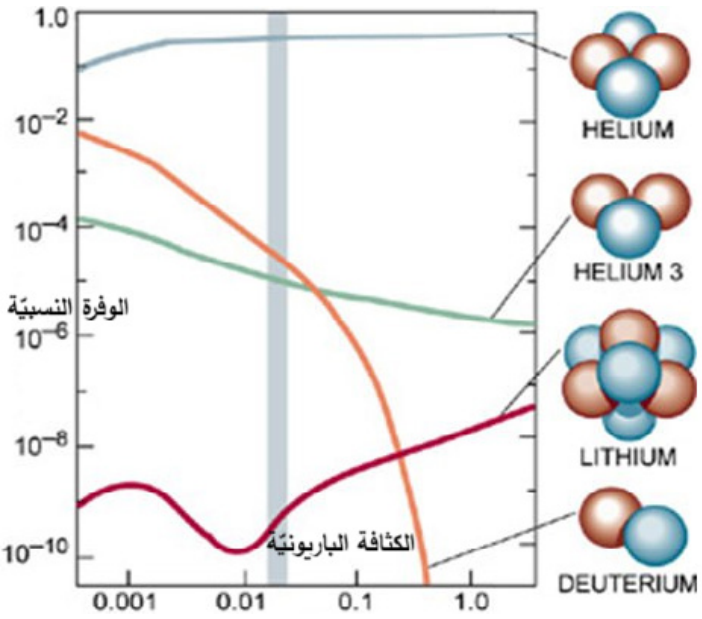
$$Y_P = 0.230 + 0.013(\mathcal{N}_\nu - 3) + 0.014(\tau_n - 10.6) + 0.011(\eta \times 10^{10})$$

من جانب آخر، هناك النتائج العددية التي تعتمد على حسابات حاسوبية مُعقّدة تأخذ في الاعتبار كلَّ العوامل المؤثرة بدقة أعلى. ومن الأمثلة على تلك الحسابات أبحاث كولب وتيرنر Kolb and Turner في كتابهم المشهور والمنشور عام 1990، حيث تمّ التعبير عن وفرة الهِليوم -أي النسبة بين كتلة الهِليوم والكتلة الكلية للمادة في الكون- كدالة في نسبة الباريونات للفوتونات η_0 على الشكل التالي

$$Y_P = 0.2262 + 0.0135 \log\left(\frac{\eta_0}{10^{-10}}\right)$$

القيمة التجريبية لـ Y_p تُقارب 0.24 إلى 0.25، ما يعني أن حوالي 24% إلى 25% من المادة في الكون تتكون من الهِليوم

تبقى الحسابات الدقيقة لوفرة الهِليوم مرتبطة بشكل كبير بالتطورات التقنية والحاسوبية، حيث تُعتبر النماذج الحاسوبية هي الطريقة الأكثر موثوقية للحصول على نتائج دقيقة. تتيح هذه الحساباتُ للعلماء دراسةَ تأثير كلٍّ من المتغيّرات على وفرة العناصر الأولية التي تشكلت في الكون المبكر، وتساهم في دعم نظريات الانفجار العظيم وتحديد معايير الكون الدقيقة في مراحله الأولى.



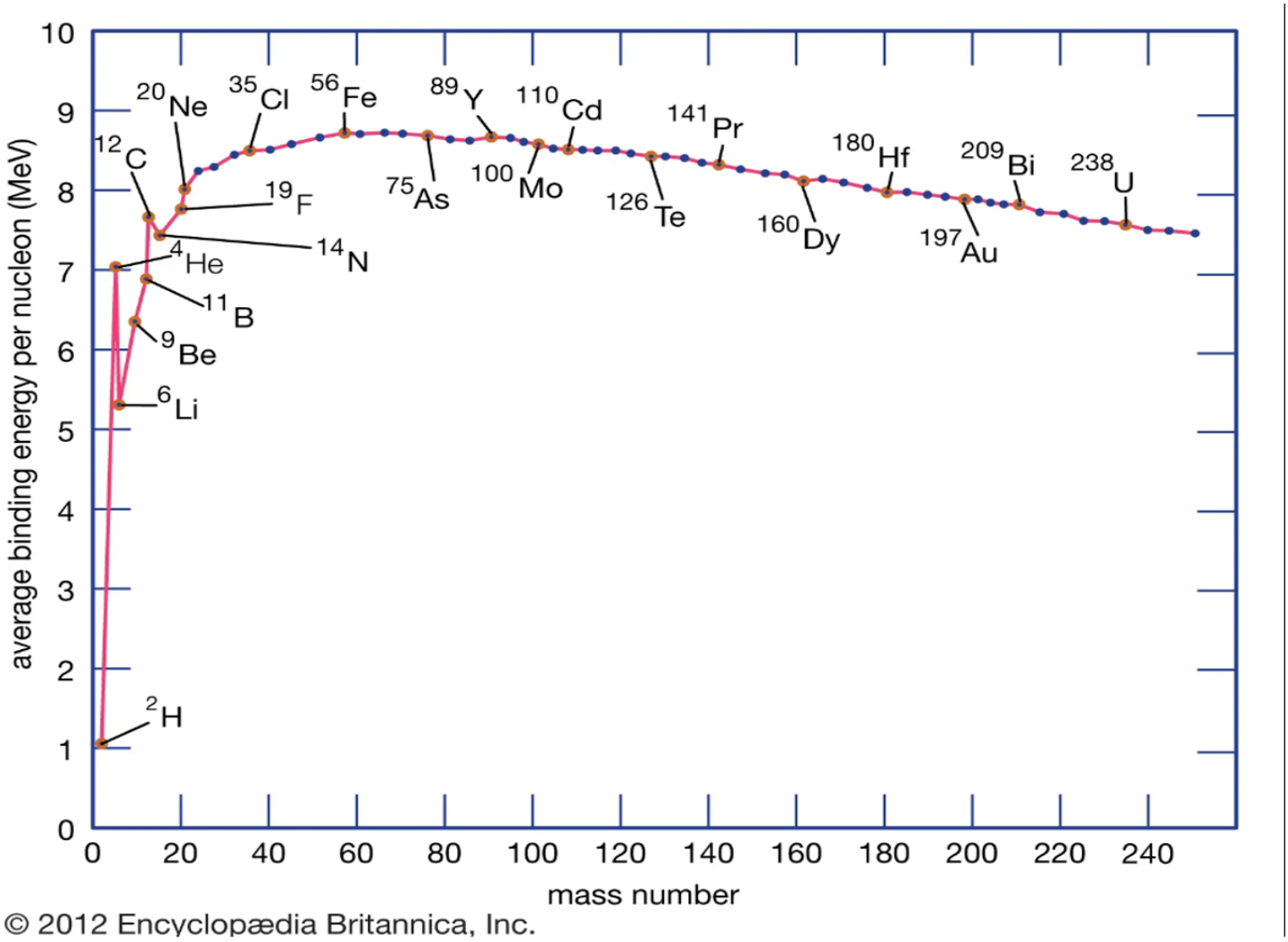
الشكل 8: اعتماد الوفرة النسبية للعناصر الخفيفة على النسبة الطاقيّة الباريونيّة

ج. أحفاد الهِليوم: العناصر الأثقل

لم تنتهِ قصة التخليق النووي بعد. على الرغم من أن العناصر الثقيلة لم تتشكل بعد، إلا أن الكون كان قد وضع الأساس لما سيأتي لاحقًا. كما ذكرنا، بعد حوالي 380,000 سنة، عندما انخفضت درجة الحرارة بشكل كافٍ وارتبطت الإلكترونات بالنوى لتشكيل الذرات المحايدة، بدأ الضوء بالتحرك بحرية. بعد ذلك، انطلق الكون في مرحلة جديدة مستعدًّا للعصور التي ستأتي فيها النجوم والمجرات وتُكمِل بناء العناصر الأثقل من خلال اندماجات نووية أكثر تعقيدًا داخل النجوم

لإنتاج العناصر الأثقل، مثل الكربون، الأوكسجين، والحديد، هناك حاجة إلى ظروف مختلفة تتطلب درجاتِ حرارةٍ وضغوطًا أكبرَ بكثير مما كان موجودًا

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



الشـكل 9: طاقـات ربـط العناصر بـدلالة العدد الكتلي. لاحظ القيـمةَ الصغيرة لطاقة ربـط الدتريوم (عنق الزجـاجة)، والقيمة العظمى حوالي الحديد

في الكـون المبكـر. توجد هذه الظـروف في النجوم، فتحدث في قلوبها عمليـاتُ الاندماج النووي(nuclear fusion) ، حيث تتحـد نـوى العناصـر الخفيفة لتشـكيل عناصـر أثقـل، وجميع العناصـر وصولا للحديد تتشـكّل في النجـوم العـادية خلال حياتها

أمـا العناصـر الأثقـل من الحديـد، فتتكـون في أحـداث أكثـر تطرفًا، مثل الانفجارات النجـمية العملاقة (supernovae) أو في اندماجـات النجـوم النتـرونية، حيث تكـون الطـاقةُ المطلوبة لتشـكيل هذه العناصر مُتاحةً

ثالثًـا: قيـود التخـليق النـووي علـى الثقـالة المُعـدَّلة

سـاهمت أعمـال كل من ألبـرت أينشتـاين ودايفيـد هيلبـرت في تطوير نظرية النـسبية العامة في أوائل القرن العشـرين بدور حاسـم في تمكين البشـرية من صيـاغةِ نظـريةٍ قابـلةٍ للاختبـار عن الكون. كما أشـرنا سـابقًا، شـهدت مسيـرة أينشتـاين منعطفًـا عندمـا تراجـع عن فكـرة الثـابت الكوني، وذلك بعد اكتشـاف هابـل لظاهـرة تمـدد الكـون. ولـكن الثـابت الكوني عـاد للظهـور في الأبحـاث العلـمية في أواخـر القرن العشـرين، بعد اكتشـاف أن تمدّدَ الكون يتسـارع. وقد فسّـر العلماء هذا التسـارعَ بوجود "الطاقة المظلمة"، تلـك القـوة الغـامضة التي قـد تتناغـم مـع الثـابت الكـوني الذي أدخلـه أينشتاين في البـداية. في هذا

السيـاق الجديـد، يظهـر الثـابت الكـوني في نموذج الكونيـات القياسي ΛCDM، حيث يـرمز Λ إلى الثابت الكـوني المرتبـط بالطـاقة المظلـمة، وCDM إلـى "المادة المظلـمة الباردة" التي تشـكل جزءًا هامًا من بنية الكون

وتُعتبـر الطـاقة المظلـمة أحـد أكبر الألغـاز التي تواجـه العلمـاء في يومنـا هذا، إذ لا تزال طبيعتُهـا الـحقيقية غامضةً، ومـا زال البحث جاريًـا لفهم دورها في مستقبـل الكون

توجـد نظريـات أخرى تلعب دورا مهمـا في دراسة تمـدد الكون المتسـارع منها نظريـات الثقالة المعدلة مثـل *f(T)* و *f(R)* و غيرها، ولفهمها علينا أوّلًا الاطلاع ولـو سـريعًا على فكـرة النـسبية العـامة التي تمثل الأسـاسَ لنظريات الثقـالة المُعدَّلة

تصف معادلة المجال الشهيرة لأينشتاين

$$G_{\mu\nu}=\kappa T_{\mu\nu}$$

الـعلاقةَ بين توزيع الكتلة والطاقة في الفضاء والزمن (الزمـكان) وبين انحنـاء هذا الزمـكان، وتُعبِّـر عن تأثير المـادة والطـاقة علـى هنـدسة الكون. علـى الجانب اليـميني، يمثل $T_{\mu\nu}$ مـا يعرف بموتـر الإجهاد-الطاقة، والذي بـدوره يعبر عن كثافة الطـاقة والزخم والضغط داخل المنظـومة الفيزيائيّة، أمّا على الجانب اليسـاري فنجـد $G_{\mu\nu}$، موتّـر أينشتاين، الذي يُعتبر مقياسـاً دقيقاً لـكيفية انحنـاء الزمـكان تـحت تأثير الكتـلة والطاقة، ويبقى κ ثـابتَ تناسبٍ بين المـادّة والهندسة

يمـكن استنتـاج معـادلة المجـال هذه من مبـدأ الفعـل الأصغـري (Least Action Principle) من خلال البـحث عن قيـمة أصغـريّة للفِعـل، أي لتكامـل التابع اللاغـرانجي علـى فضاء الزمـكان الربـاعي الأبعاد عند تغييـر متريّته

$$S_{GR}=\frac{1}{2\kappa}\int d^4x\sqrt{-g}\,R$$

حيث R مقياس ريتشي السـلمي، وهـو مقدار رياضي يعبّـر عن انحنـاء الزمـكان، بينما يمثِّل و محـدِّدَ المتريّة الخاصّة بالزمكان.

بعـد حـلّ معـادلة المجـال، تظهـر لنـا معـادلات فريدمـان الشـهيرة التي تـصف تطـور الكـون، ومن بينهـا معـادلة فريدمـان الأولـى

$$H^2=\frac{8\pi G}{3}\rho$$

حيث H ثـابت هابـل الممثِّـل لمعدل تمـدد الكون، و ρ الكثافة الطـاقيّة في الكون

تكـمن الفكرة الجوهرية في الثقـالة المُعدَّلة في السـماح بمزيـد من المـرونة في وصف تطـور الكـون عن طـريق اختيار شـكل مناسب للـدالة *f(R)* تحلّ محلّ R مقيـاس ريتشي السـلمي في اللاغـرانجي أعلاه. عبـر اتّبـاع هذه الإجـرائيّة، يمـكن للعلمـاء تفسيـر تمـدّد الكـون المتسـارع الذي تمّ اكتشـافه في أواخر التسـعينيات دون الحـاجة إلـى افتـراض وجـود طاقة مظلمة غـامضة

توفِّـر البيانـات الرصدية ووفـرة العناصـر الخفيفة النـاتجة عن الانفجار العظيـم في مراحل الكون المبكر واحـدة من أقوى الاختبـارات التجريبية لعلـم الكونيات والفيزيـاء الأسـاسية، من حيث إنهـا تفـرض قيـودًا لتحديد شـكل تابـع *f(R)* ، فمن الممـكن أن تُحدِّد قيمَ ثـوابت التنـاسب لنماذج معينة أو ترفض نماذجَ بشـكل كامـل في حـال لـم تجتز هذه القيود.

علـى الرغم من الأمل الكبيـر الذي حدا العلماء في أن ينجـح نمـوذج *f(R)* في تفسير التمدّد المتسـارع، لا

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

تزال هنـاك تحديـات تواجـه تبنّيَ هذه النظـرية. من ناحية أولى، اختيارُ الشـكل المنـاسب للدالة $f(R)$ ليس مهمة بسيطة، فهناك العديد من الأشـكال المحتملة، ويحتـاج العلمـاء إلـى تقييدها بناءً على المشـاهدات الفلـكية والتجـارب. من ناحية ثـانية، على الرغم من أن النمـوذج يقدّم حلولًا لبعض المسـائل الكـونية (قيود الـ BBN، التمدّد المتسـارِع، قيود السـوبرنوفا) كلّاً على حـدى، إلا أنه كثيـرًا ما يـعجز عن تفسيرها معًا

تقتـرح بـعض نمـاذج الثقـالة الكمـومية -التي تعـود في أصولِهـا لمحـاولات أينشتـاين توحيـد الكهرمغناطيـسيّة مـع الثقـالة- وجودَ حقـلٍ يعبّر عن فَتْـلٍ أو التـواء الزمـكان (torsion)، ويمـكن صيـاغةُ نمـاذجَ هنـدسيةٍ للثقـالة تختلف عن النـسبية العامّة من خلال وجـود هكذا حقل ضـمن دالّةٍ في اللاغرانجي $f(T)$. تُعـدّ مثل هذه النماذج بـديلًا عن النسبية العامة، ويمكنهـا بدورِها إعطاءُ تفسيرٍ للطـاقة المظلمة في الكـون يعتمد علـى توصيف الزمـكان بالالتواءات فيما يعرف بالثقـالة الموازية عن بعد teleparallel gravity، حيث ينتج عن حـل معـادلة المجـال لــ $f(T)$ معـادلةُ فريدمـان الأولـى المُعدَّلة

$$H^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho + f(T)$$ حدود

حيث يـوافق الحـدّ الأول من جانبها اليـميني النسبيةَ العامة

يمـكن الآن استخـدام قيـود التخـليق النـووي البـدئي لتحديـد شـكل $f(T)$ في الواقِـع، يتطـلب الــ BBN أن يكـون أيُّ تعديـلٍ يطـرأ على ثـابِت هابل صغيـرًا للغـاية أثناء عصر هيـمنة الإشـعاع (يمتد هذا العصـر لفتـرة من رتبة زمن الـ CMB والمسـاوي تقريبًا 380,000 سنة)، وبالتـالي يتوجّب على أيّ انحرافات عن النـسبية العـامة خلال تلـك الفترة المبكـرة أن تكون مقمـوعةً بشـكل ملحوظ. يقـود هذا الأمـرُ إلى فرض قيـود صـارمة على القيم المسـموح بها لثـابت هابل عندمـا تؤخذ الثقـالة المعـدلة في الحسبان.

لفهـم تأثير هذه الانحرافـات، يمكننا قياس الفرق بين ثـابت هابل في النـسبية العامة وبينه في الثقالة المعـدلة، وتحليل هذا الانحـراف من خلال حلّ معدَّلَي تحـول البروتـون إلـى نتـرون والعكس، مـا يقود الى فـرض قيـود تتعـلق بـاختلاف درجتَي حـرارة التجمّد الخـارجي (freeze out) بين النـسبية العـامة والثقالة المعدلة

هنـاك معاييـر أخـرى يمـكن استخدامهـا لدراسة الثقـالة المُعـدّلة، مثـل القيـود المستخلـصة من التخـليق الباريـوني أو من قياسـات إشـعاع الخـلفية الكونية (CMB). تُعتبر هذه القياسـات حسّـاسةً بشكل كبيـر لتوزيـع المـادة والطـاقة في الكـون المبكـر. علاوة علـى ذلك، يمكن الاعتماد علـى بيانات التخليق النـووي التي نحصل عليها من السـوبرنوفا مثل (SNe Ia) بـدلاً من الاعتمـاد فقـط على BBN.

رابعًا: خاتمة

قـد تبدو قـصة التخـليق النووي في الدقـائق الثلاث الأولـى من عمر الكون بسيطة وسـريعة، لكنها كانت اللـحظة التي قـررت فيها قـوانينُ الفيزياء ما سيكون عليـه هذا الكـون. تلـك الدقائق الثلاث لـم تكن مجرّدَ حـدث فيزيـائي، بل كانت بـدايةً لكونٍ مـليء بالنجوم والكـواكب والحيـاة، وكانت العناصـر الخفيفة التي تشـكلت خلالهـا بمثـابة اللبنـاتِ التي ستبني هذا الكـون على مـرّ الزمن

و لا يزال يتمدد .....

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

المراجع:

1. Steven Weinberg (2008) Cosmology. Oxford University Press, New York.
2. Dodelson S, Schmidt F. Modern Cosmology, Second Edition. Modern Cosmology, Second Edition. 2020 Jan 1.
3. J. Islam, "An Introduction to Mathematical Cosmology," 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 2002.
4. Bernstein J, Brown LS, Feinberg G. Cosmological helium production simplified. Rev Mod Phys 1989
5. Kolb EW, Turner MS. The Early Universe. 1990.
6. Cai YF, Capozziello S, De Laurentis M, Saridakis EN. f(T) teleparallel gravity and cosmology. Reports on Progress in Physics. 2016.

أخبار علمية

مخبـر السيرن يؤكد حـدوث تحوّلات فـائقة النـدرة في الجسيمات دون الذريّة، مـا قـد يلمِّـح إلـى فيزيـاء جديدة

في أحـد مصادمـات الجسيمات في مخبـر سيرن، حدثٌ نـادر الحـدوث يجعلنـا علـى مقـربة من حـافة فيزياءَ جديدة

بعـد سنوات من إجراء ما يُعرف بتجـربة NA62، تمكنت فيزيـائية الجسيمـات كريستينـا لازروني من جامـعة برمنجهـام في المملكة المتحـدة وزملاؤها من تحديد وملاحظة وقيـاس تحلـل جسيم كاون kaon مشـحون إلى بيون pion مشـحون وزوج نيوترينو-نيوترينو مضاد تجريبيـاً. وقد قدم الباحثون نتائجهـم في ندوةٍ علميّةٍ في السيرن

إنـه أمـر مثير. والـسبب وراء سـعي الفـريق إلى هذا النـوع المحـدد للغـاية من قنـوات التحلّـل بلا هـوادة ولأكثـر من عقـد من الزمان هو أنها ما يُعـرف بالقناة "الذهبية"، وهذا يـعني أنهـا ليـست نـادرة بشـكل لا يُصـدَّق فحـسب، بل إنهـا أيضًـا متوقَّعة بشـكل جيد من خلال الرياضيـات المعقـدة التي تشـكل النمـوذج القيـاسي للفيزياء

إن هذه النـدرة والـدقة تجعلهـا مقياسًـا شـديد الحسـاسية لاكتشـاف الفيزيـاء الجديـدة. ولـكن من خلال جمـع كمية هائـلة من البيانات التي تغطي عدداً لا يحصـى من تصادمات الجسيمات، تمـكن الفريق من تأكيد اكتشـافهم على أنه دقيق وفقاً لمعيار "خمسة سيغما" الشـهير لليقين الإحصائي. تقول لازروني: "إن هذا التحليـل الصـعب هـو نتيجة عمل جمـاعي ممتاز، وأنـا فخورة للغـاية بـهذه النتيجة الجديدة"

تتكـون الكاونـات من مزيج من كـوارك وكـوارك مضاد مختـلف النكـهة مرتبطَين بقـوة قـوية، وهي تتحلل بسـرعة بطريقة فريدة من نوعها يصفهـا الفيزيائيون بأنهـا "غـريبة". وقـد جعـلت هذه الخـاصية الغـريبة منهـا أداة مفيـدة في تحديـد قواعـد كيفية سـلوك الجسيمـات بشـكل عام

إن إنتـاج الكاونـات ليـس صعبـاً بشـكل خـاص، إذا كانت لدينـا المعـدات المنـاسبة. وباستخـدام مُسـرِّع البروتـون الفـائق في السيرن، أطلق الباحثون شـعاعاً من البروتونـات عـالية الطـاقة علـى هدف ثـابت من البريليـوم، وهذا ينتج حزمةً ثانـويةً من حـوالي مليـار جسيـم في الثـانية، حـوالي 6% منها يكـون كاوناتٍ

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

مشـحونة. لا تتمتـع الكاونـات بعمـر طويـل؛ فـهي تتشـكل وتتحلـل في جزء من مائة مليـون من الثانية. لذا، في هذه الـحزمة الثانـويّة، يحـدث تحلّـلٌ للكاون باستمـرار، ويتحـول عمومًا إلـى قرين للإلكتـرون أثقل يسـمى الميون، ونيوترينو. ومع ذلـك، في حوالي 13 من كل 100 مليـار تحلّل كاون، تكـون النتيجة نيوترينو مضـاد، ونيوتريـنو، وجسيـم غيـر مستقـر يتكـون من نكـهة (أو نوع، من مثل العلـوي أو السفلي أو الغريب أو الفـاتِن أو القعـري أو الذروي) أخـرى من الكـوارك وكوارك مضـاد يسـمى البيون

تقـاول لازرينـو: "إن نـدرة هذا الاضمـحلال تعـود إلى حقيقة أنـه يحـدث فيـه تغيـر في نكـهة الكـوارك، والذي يحـدث بواسـطة بـوزون Z وينتج عنـه بيونـات ونيوتريـنـوات. ولا يمـكن أن يحـدث هذا إلا من خلال عمـلية معقـدة إلـى حـد مـا، ومن هنـا ندرته.

إن حجـم (عـدد مرّات) تحلـل الكاون المطلـوب لمراقبة هذه العمـلية فلكي، ولكن هذا ليس نهاية التحديات. فـمن المعروف أن النيوترينوات يصعب اكتشـافها كما هي، وسـوف تفنـى مع مضادّاتها على الفـور تقريبًا؛ وفي تجـربة NA62، لا يبذل الباحثـون أي محـاولة للـكشف عن زوج النيوتريـنـو والنيوترينو المضاد

إن البيـون المشـحون فقط، أو "π^+"، هو الإبرة، وسـط كـومة القش الضخـمة من تحللات الكاون المشـحونة الأخرى (K^+)

تقـول لازرينـو: "كل تحـللات K^+ الأخـرى التي نريـد التخلـص منهـا تسـمى الخـلفية، ولديهـا جسيمـات قابـلة للـكشف. ويتلخّـص التحـدي في اكتشـافها جميعًـا، بـحيث عندمـا نـرى K^+ يتحلّـل إلـى π^+ ولا شيء آخـر، نكـون متأكدين من أننا لـم نفقد أيَّ شيء وأن هذه هي الإشـارة حقًـا"

ولـهذا الـسبب، عندمـا أعـلن الفـريق عن مجموعتـه الأولـى من النتـائج في عـام 2019، لـم يكونـوا عند مستـوى خمـسة سيغمـا من اليقين الإحصـائي الذي حققـوه في اكتشـافهم، والآن، لقد وصلوا إلى هذه العتبة

الآن وبعـد أن تـم تحديد قناة التحلّل، يمـكن للباحثين الانتقـال إلـى البـحث عن أي انحرافـات قـد تشير إلى فيزيـاء جديـدة. إن عـدد تحـلّلات الكاون إلـى البيون والنيوترينو/النيوتريـنـو المضـاد التي لاحظهـا الفريق أعلـى من 8.4 لـكل 100 مليـار التي تنبأ بها النموذج القيـاسي، لكنـه لا يزال ضمن معايير عـدم اليقين من أجـل العثـور علـى فيزيـاء جديـدة، يجب ملاحظة انحـراف أعلـى في عـدد التحـلّلات. تقـول لازروني: "لقـد كان النمـوذج القيـاسي جيـدًا جـدًا في التنبؤ بالملاحظـات حتى الآن، لكننا نعلـم أنه لابد وأن يكون بـه بـعض العيـوب. فهـو لا يتضـمن نموذجًـا للمادة المظلـمة، كمـا أن اختلال التـوازن بين المادة والمادة المضـادة أقـل بكثير ممـا هو مطلـوب لتمثيل الكون. وبشـكل عـام، نتوقع ظهـور فيزياء جديـدة. ولكن ما هي بالضبـط، فهـو أمـر غير معـروف. ولكن بشـكل عـام نتوقع وجـود جسيمـات (وقوى) جديـدة". تُكمِل قائـلةً: "لقد جمعت NA62 بالفعـل المزيدَ من البيانات، وستستمـر في ذلـك لمـدة ثلاث سنـوات أخرى. ومع مجمـل البيانـات، سنكـون قـادرين على تحديـد ما إذا كانت متـوافقة مع النمـوذج القيـاسي بدقة"

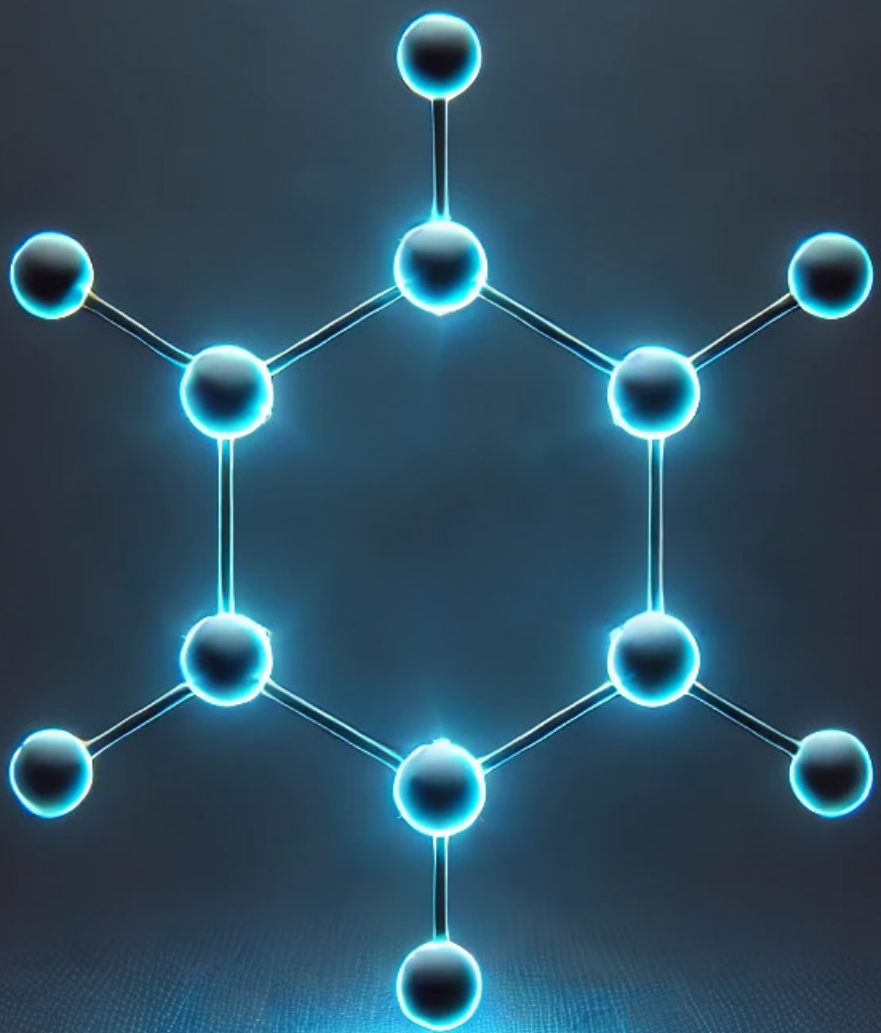
يا له من أمر مثير.

المصدر

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

تكنولوجيا (تقانة) النانو
رحلة من التنبؤات إلى التطبيقات العلمية الحديثة

هشام محمد السيد, أستاذ علوم المواد بقسم الفيزياء, كلية العلوم, جامعة عين شمس, مصر



المقدمة

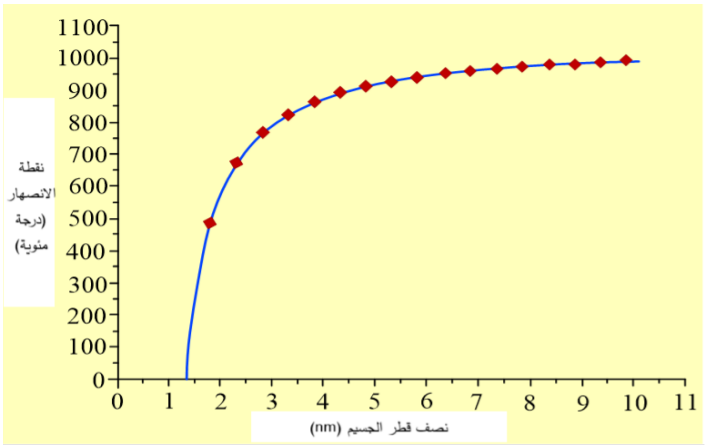
تعتبر مصطلحات تكنولوجيا النانو والجسيمات النانومترية وعلوم النانو من المصطلحات الأكثر تداولًا - بلغة منصات التداول الاجتماعي - بين الأوساط العلمية المختلفة خلال العقدين والنصف الماضيين. ونشير هنا إلى مقولة عالم الفيزياء الفذّ ريتشارد فيمان أثناء إلقاء محاضرته الشهيرة عام 1959 أمام الجمعية الفيزيائية الأمريكية والتي تنبأ فيها بهذا الفرع من العلوم بمقولته التي غدت معروفة "هناك متسع كبير في القاع"، ولذلك يعتبره كثير من العلماء المؤسِّس لتكنولوجيا النانو.

وقد أسهم هذا الفرع من العلوم في تقديم العديد من الابتكارات والتطبيقات في كثير من مناحي حياتنا اليومية التي أصبح من الصعب -أو قلْ من المستحيل- الاستغناء عنها.

وهذا المقال هو محاولة متواضعة لإلقاء الضوء على الفيزياء التي تحكم المواد النانومترية وأثر ذلك في بعض التطبيقات التكنولوجية الحديثة.

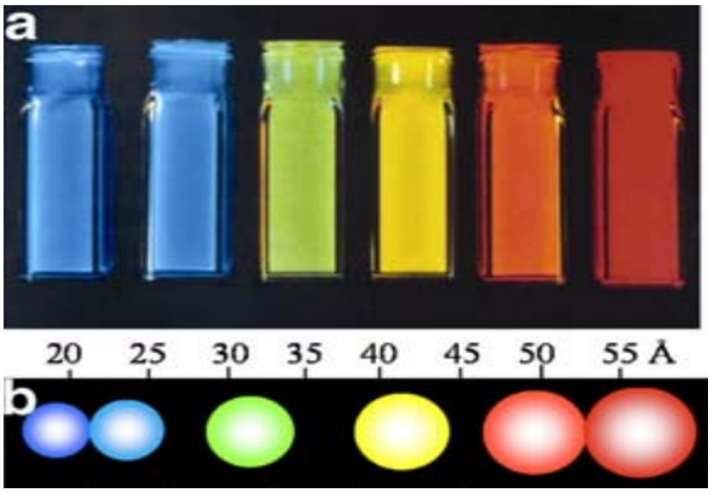
أولاً: الخواص الذاتية للمادة

من المعلوم - وعبر مئات السنين – أن للمادَّة خواص ذاتية أو متأصّلة (Intrinsic properties) وهي الخواص التي لا تعتمد على كمية المادَّة مثل درجتي حرارة الانصهار والتجمد وكثافة المادة ومعاملات التوصيل الحراري والكهربي ودرجة الشفافية الضوئية ..... إلخ، وذلك بالطبع عند ثبات درجة الحرارة والضغط، وهذه الخواص هي ثوابت لكل مادَّة كبصمة الإصبع. كان الاعتقاد السائد هو أنه لا يمكن المساس بهذه الثوابت لو ضمّنَّا نقاء المادَّة وثبات متغيرات القياس (درجة الحرارة والضغط الجوي). ظل هذا الاعتقاد سائدًا إلى أن تمّ قياس هذه الخواص في أحجام متناهية في الصغر (في حدود 50 نانومتر أو أقل) حيث لوحظ تغيرٌ دراماتيكيٌّ في هذه الخواص والتي كانت تعتبر عنوانًا لهذه المواد. ومن أمثلة ذلك درجة انصهار المعادن، فمن المعلوم أن درجة انصهار معدن الذهب تساوي 1064 درجه مئوية، فإذْ بها تصبح 900 درجة عند حجم 5 نانومتر، وتصل إلى 500 درجة عند حجم 2 نانومترا! (انظر الشكل 1)



الشكل 1: تغيّر نقطه انصهار معدن الذهب بتغير حجم جسيماته المصدر [2]

يتغيّر معامل الامتصاص الضوئي لأشباه الموصِّلات بتغيّر حجم المادَّة عند بلوغها الأبعاد النانومترية. من أمثلة ذلك مادَّة سلينيد الكدميوم (CdSe) والتي يتغير لونها في المحاليل المعلقة تبعًا لحجمها في نطاق النانومتر(انظر الشكل 2)



شكل 2: تغير لون مركب سلينيد الكدميوم (CdSe) بتغيّر حجم جسيماته. المصدر [2]

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

تتأثـر القابلية المغناطيسية للمـواد الحديديَّة أيضًا تأثـرًا كبيـرًا بحجم المـادَّة في نطـاق النانومتر. فعلى سبيـل المثـال، تقـلّ القابـلية المغناطيـسية لعنصـر الحديـد في نطـاق النانومتـر بنسبة تتجـاوز 30% عن مثيلتهـا لعنصر الحديـد في الأحجام الأكبـر من نطاق ميكروميتـر. ويوجـد العديـد من الأمثـلة علـى تغيّـر خصائـص المادة عنـد الأبعـاد النانوية.

ثانيًا: تغيّر خواص المواد بتغيّر حجمها

نعـطي في هذا الجزء مثالًا توضيحيًّا على تغيُّر خواص المـادَّة وفقًـا لحجمهـا. تخيـل مكعبًـا طـول ضلعه x فإن حجمه يصبح x^3، ومسـاحة أسـطحه الستَّة تساوي $6x^2$. الآن نقـوم بتقسيم المكـعب إلى ثمانية مكعبات، وحينهـا نلاحظ أن المسـاحة السـطحية أصبـحت $12x^2$، بينمـا بقي الحجـم ثابتًـا. فإذا مـا قمنـا بتقسيـم كل مكـعب إلـى ثمانية أقسـام أخرى فسنجد أن مسـاحة السـطح زادت لتصبـح $24x^2$، وهـكذا كلمـا زاد عـدد التقسيمات ازادت مسـاحة السـطح بشـكل مطّرد

جيّد ولكن ما علاقة ذلك بما نناقش؟

نتنـاول في التالي البنية الذريَّة أو الجزيئيَّة للمادَّة، فـالذرات أو الجزيئات في المـادَّة الصلبة لها نوعان

أ. ذرات (أو جزيئـات) داخـلية: وهـى الموجـودة داخل لب المـادَّة ويتـميز هذ النـوع من الذرات (أو الجزيئات) بتماثـل الروابط التي تربطها مـع الذرات المجاورة لها في جميـع الاتجاهـات، وبالتالي تكون طـاقة ترابطها بالمـادَّة كبيرة.

ب. ذرات (جزيئـات) سـطحية: وهـى الموجـودة علـى السـطح الخارجي للمادَّة. وهذه الذرات (أو الجزيئات) لا تتمتـع بنفس ميزة ذرات اللب حيث إن الوسـط المحيط بهـا ليس متمـاثلًا، وبالتالي يكون عـدد الروابط التي تربطهـا بالمـادَّة أقـل من مثيلتها داخل الـلب، وينتج عن ذلـك طاقة ترابط بالمادَّة أصغـر من تلك التي في اللب

ولمـا كانت الخـواص الميكانيـكية وكذلـك درجة حـرارة الانصهـار للمـادَّة تعتمـد علـى قـوة ونـوع الروابـط الكيميـائية، لذلـك تختلف الخواص بـاختلاف المـادَّة وأيضًـا حجمها

في حـالة المواد ذات الحجـم الكبير، يكون عدد الذرات (أو الجزيئـات) داخـل اللب أكثـر بكثير من عددها علـى السـطح، وذلـك لصغر مسـاحة سـطح المـادَّة، ولذلـك تعتمـد خـواص المـادة اعتمـادًا رئيسيًّا على الذرات (أو الجزيئـات) داخـل اللب

بتقليـل حجـم المادَّة إلـى نطاق النانـو، تزداد مسـاحة السـطح زيـادة مطـردة وكبيـرة جـدًا (راجع مثـال المكعب) ليصبـح عـدد الذرات (أو الجزيئات) على السـطح أكبر من مثيلتهـا داخل اللب، وبالتـالي تتغير طبيـعة الروابط المؤثرة في خـواص المادة ممَّا يؤدي إلـى تغيّر الخـاصية ذاتها

لتوضيـح هذه الفكـرة سأعـطي مثـالا رقميًّا. فـمن المعلـوم أن التـركيب البلـوري لعنصـر الذهب هـو مكعب بطـول 0.41 نانومتر. لو تخيلنـا مكعبًا من الذهب طـول ضلعـه 1 ميكروميتـر، وبحـسبة صغيـرة نجـد أن عـدد بلـورات الذهب في هذا المكـعب تكون في حـدود 14.5×10^9 بلـورة، بينمـا يسـاوي عـدد البلـورات على السـطح الخـارجي 35.6×10^6 بلورة، أي بنـسبة تبـلغ 0.24% فقـط من العـدد الـكلي. الآن لنتخيـل تقسيـم هذا المكعب إلى عـدد من المكعبات بطـول ضلع 5 نانومتر، فسنجد حينهـا أن عدد البلورات في المكـعب الواحد مسـاوٍ لـ 1814 بلّـورة بينما عدد البلّورات السـطحية 815 بلورة، أي ما يشـكّل نسبة 45 % من عـدد البلّـورات الـكلّي، وإذا كان طول المكعب

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

مساويًا 2 نانومتر، فتصل نسبة البلورات على السطح في هذه الحالة إلى 84 %. هذا يعني أن الخواص الفيزيائية في الأبعاد النانومترية تعتمد اعتمادًا أساسيًّا على طبيعة الروابط على السطح وليس على داخل لب المادَّة، وهو ما يفسّر التغيّر الكبير لنقطة انصهار الذهب كلما قل حجم حبيباته في نطاق النانومتر

ثالثًا: البنية النانوية وميكانيكا الكم

ما طرحناه في المقطع السابق يمثل تفسيرًا عيانيًا(macroscopic) لما يحدث للمادَّة في نطاق النانومتر، ولفهم أعمق لهذه التغيرات أدعو القارئ للإبحار قليلا في يمّ ميكانيكا الكم وعلاقتها بفهم سلوك المواد عمومًا، وفي نطاق النانو خصوصًا

كما هو معروف، تبعًا لنظرية ميكانيكا الكم فإن معرفة الدالة الموجية المصاحبة للإلكترون في الوسط المحيط به تسمح بحساب شكل مستويات الطاقة، وكذلك قيم الطاقة لهذه المستويات. ولحساب هذه الدالة يجب حل معادلة شرودنجر بعد معرفة شكل الجهد المؤثر على هذا الإلكترون. ولحل هذه المعادلة للإلكترون داخل المادَّة الصلبة نحتاج لكثير من التقريبات من أجل تبسيط شكل دالة الجهد المؤثر على الإلكترون في هذه المواد. وباستخدام الكثير من الحسابات تمّ التوصل إلى أن طاقة الإلكترونات داخل المادَّة تشكل حزمة (band) وليس مستوياتٍ للطاقة. وحسب حالة الإلكترون، يوجد نوعان من الحزم الإلكترونية

1. حزمة التكافؤ (valance band): ومعناه أن طاقة الإلكترون تجعله مرتبطًا بأيونات المادَّة، فهو غير حرّ الحركة

2. حزمة التوصيل أو النقل (conduction band): ومعناها أن طاقة الإلكترون كافية لكسر الرابطة بينه وبين نواة المادَّة، وبالتالي يصبح الإلكترون حرًا

يُسمَّى الفرق في الطاقة بين الحزمتين بفجوة الطاقة (energy gap) . يحدّد مقدارُ فجوةِ الطاقة وشكلُ حزمِ الطاقة الخواصَّ الكهربية والمغناطيسية والضوئية للمادة.

عند تصغير المادة إلى مقياس النانو يصبح عدد الذرات المحيطة بالإلكترونات أقل بكثير من مثيلاتها في حاله الأحجام العيانية، وبالتالي تتغير أشكال حزم الطاقة وكذلك فجوة الطاقة بين الحزمتين المشار إليهما سابقًا، وتبعًا لذلك تتغير الخواص الكهربية وكذلك الضوئية للمواد

تمّ تطوير العلاقة بين حجم المادة والفجوة الطاقيّة الإلكترونية في البلورات النانوية لأشباه الموصّلات بواسطة لويس بروس (Louis Brus) من أجل الحصول على طاقة فجوة النقاط الكموميّة (quantum dots) من العلاقة

$$E_{g(qd)} = E_{bulk} + \frac{h^2}{8R^2}\left(\frac{1}{m_e^*}+\frac{1}{m_h^*}\right) - \frac{1.8e^2}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r R^2}$$

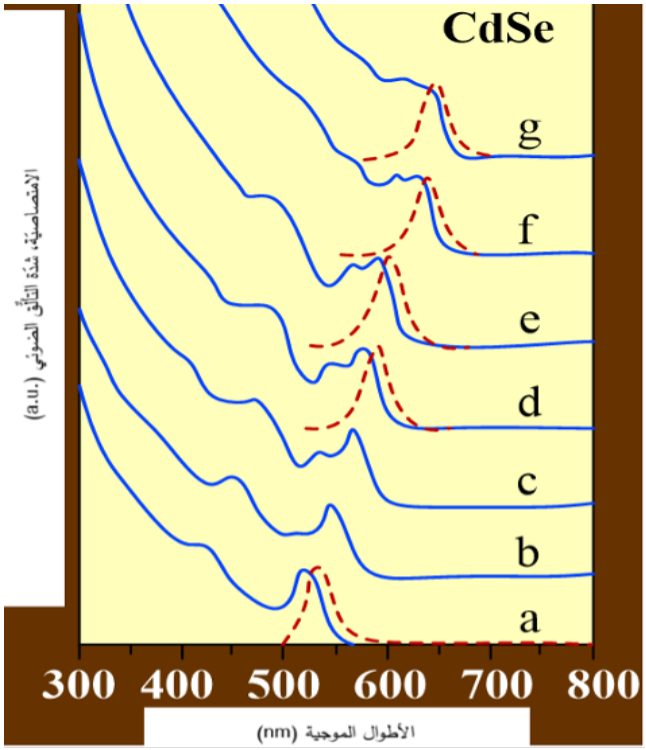
حيث $E_{g(qd}$ طاقة الفجوة للنقطة الكموميّة (quantum dot)، و E_{bulk} طاقة الفجوة للمادّة، و h ثابت بلانك، وR قطر النقطة الكمية، و m_e^* الكتلة الفعالة للإلكترون المثار، و m_h^* الكتلة الفعالة للثقب المثار (excited hole)، و سماحية الفراغ، و السماحية النسبية

من هذه العلاقة، يمكن التحكم في طاقة الفجوة لكثير من أشباه الموصلات عن طريق التحكم في حجم حبيبات المادَّة أثناء التحضير، وهذا له أثر كبير جدًا في مجال تصنيع الخلايا الشمسية

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

رابعًا: ذرات صناعية

نعم، كما قرأت عزيزي القارئ! يمكن إنتاج مستويات طاقة جديدة تماثل مثيلاتها في ذرة الهيدروجين ولكن بقيم مختلفة، وهو ما يسمى بالنقاط الكموميّة (Quantum Dots). يحدث ذلك في أشباه الموصّلات عندما تصبح أبعاد الحبيبة في حدود ما يسمى نصف قطر بور (Bohr radius) أو أقل. في هذه الحالة، عندما ينتقل الالكترون من حزمة التكافؤ إلى حزمة التوصيل يترك خلفه ثقبًا موجبًا في حزمة التكافؤ، ونتيجةً لصغر حجم المادَّة يحدث تفاعل كهربي (جهد كولون) بين الإلكترون والثقب الموجب، يماثل التفاعلَ بين الالكترون والبروتون في ذرة الهيدروجين. تُنتِج حالةُ الاقتران بين الالكترون والثقب مستوياتِ طاقةٍ جديدةً لم تكن موجودة في أصل المادَّة، وبالتالي تعطى خواصَّ ضوئية جديدة يمكن التحكم فيها عن طريق التحكم في حجم حبيبات المادَّة وشكلها



الشكل 3: تغير معامل الامتصاص للنقاط الكمومية بتغير حجمها. المصدر [4]

يوضح الشكل 3 ظهورَ خطّ امتصاص جديد لمركب CdSe عند حجم 5 نانومتر والذي له إزاحة ناحية الأزرق كلما صغر حجم المادَّة

خامسًا: علم تصميم المواد الجديدة

لقد أسفرت جهود العلماء في دراسة فيزياء المواد النانومترية إلى فهم سلوك الإلكترون في المادَّة نتيجة تغير شكل المواد وحجمها ممَّا فتح مجالًا جديدًا في التقانة، وهو تصميم مواد نانومترية بمواصفات يتم تحديدها من قبل مصممين للمواد ودراسة خواصها ببرامج المحاكاة عن طريق الحاسوب قبل تحضيرها بالمعمل ممَّا وفر الكثير من الجهد والوقت والمال. وأمثلة تلك الموادّ أكثر من أن يُحصيَها هذا المقال، وسأعطي أمثلةً عن ذلك

١. المواد النانوية المعتمدة على الكربون

المكون الرئيسي في هذا النوع من المواد النانوية هو الكربون. وهي إمَّا أن تكون على شكل أنابيب نانوية من الكربون، ويتم تضمين الأنابيب النانوية الكربونية مع صفائح الجرافين ولفها في أنبوب. هذه المواد أقوى بكثير من الفولاذ ويمكن أن تستخدم لتعزيز هياكل السيارات وغيرها من التطبيقات. الأنابيب النانوية الكربونية لها نوعان: النوع أحادي الجدار والنوع متعدد الجدران

الشكل الآخر هو الفوليرينات، وتشمل ترتيب ذرات الكربون بحيث تشكل هيكلاً قفصيًّا مجوَّفًا يحوي ستين أو المزيد من ذرات الكربون. وهيكل هذه المواد يشبه كرة القدم المجوفة ذات الكربون الخماسي والسداسي حيث يتم تنظيم الوحدات في نمط منتظم. يتميز هذا التصميم لذرات الكربون بقدرتها العالية على التوصيل الكهربي وبقوة متانة عالية

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

2. المواد النانوية المعدنية

تشـمل الموادُّ النانوية المعـدنية الأسـاسية الأيونـاتِ المعـدنيةَ ثنائية وثلاثية التـكافؤ. هناك طرق مختلفة لتحضيـر جسيمـات المعـادن النانـوية مثـل الطـرق الكيميـائية أو الضـوئية أو الكيميـائية، وباستخـدام عوامـل الاختزال، يتـم اختزال الأيونـات المعـدنية إلى جسيمـات نانـوية معـدنية. تتـميز هذه الجسيمـات بمسـاحة سـطحية عـالية وقـدرة امتصـاص جيـدة للجزيئـات الصغيـرة، وتُستخـدم علـى نطـاق واسـع في مجـالات مختـلفة مثـل المجال الـطبي لتشخيص وعلاج بـعض الأورام السـرطانية، وذلـك باستخـدام جزيئـات الذهب النانومترية، كما يمـكن توظيفها في مجـال التعقيـم من البكتريا باستخـدام جزيئات الفضة النانومتـرية. يمـكن تصميـم المـواد ليـس فقـط من جزيء نانـوي واحـد ولكن أيضًـا بخلـط جزيئَين أو أكثر مـع التحكـم في الحجـم. من خلال تطعيـم معـادن مختـلفة، يمـكن تغيير خـواص حتى العناصـر الأرضية النـادرة، كمـا يمـكن تغيير خـواص بـعض العناصر عن طـريق تطعيمهـا بعناصـر أو بتركيبـات مختلفة

3. المواد النانوية من أشباه الموصلات

كما أوضـحتُ من قبل، تمتلك المـواد النانوية المكوَّنة من أشبـاه المـوصلات خصائصَ معـدنيةً وغير معدنية. ولـهذه المـواد فجـواتُ طـاقةٍ واسـعةٌ، وتُظهـر خصائصَ مختـلفةً عند تعديلهـا. تُستخدم هذه المواد علـى نطـاق واسـع في التـحفيز الضـوئي والأجهزة الإلكترونية. في الآونة الأخيرة، اجتذبت المواد النانوية المـركبة من الجـرافين وأشبـاه المـوصلات اهتمـام البـاحثين، حيث يمـكن للجـرافين تحـسين الخصائـص الفيزيـائية والكيميائية لأشباه المـوصّلات، كما يمكن استخدام مـواد الجرافين المركبة في زيادة حسـاسية استشـعار الغازات وتحـسين الخصائص الكهروضغطية

وأكتفي هنا بـهذه الأمثلة والتي لا يمكن حصرها في مقال واحد

سادسًا: آفاق جديدة

فتـح فهـمُ فيزياء المـواد النانومترية وكذلـك التطور الكبيـر في طرق تحضيرها والتحكم الـدقيق بأحجامها وشـكلها -بـل وطـرق ترتيبهـا مـع بعضهـا البعض- آفاقًـا لا حدود لها لصنـاعة مواد كانت تعتبر من الخيال العلـمي في وقت ليـس ببعيـد. ومن أمثلة ذلك

١. المصعد الفضائي

تخيـل كابلًا طولـه 36000 كيلومتـر يمتـد من خـط الاستـواء علـى الأرض ويُثبَّت في قمـر صنـاعي عنـد الطـرف البعيد. يدور النظام مـع دوران الأرض، ويمكن للمتسـلقين أن يصعـدوا الكابل حامـلين الحمولات ثم يطلقونهـا في الفضاء. هـل هذا ممكن؟ لبنائه نحتاج لمـادَّة أقوى من الفولاذ بعشـرات المـرات وفي نفس الـوقت تكـون كثافتهـا أقل منـه بكثير. فـمن أين لنا بـهذه المادَّة؟

يعـطي علـمُ المـواد النانومتـرية إجـابةً على هذا الـسؤال: إنها أنـابيب الكربـون النانـوية، حيث أوضحت الدراسـاتُ أن مقـاومةَ الشـدّ لأنابيب الكربـون النانوية تتفـوق على قـوة مـوادّ مثـل الفـولاذ - الذي يعتبر بالفعـل من أقـوى المواد المعـروفة للبشـرية – حيث تزيـد بمئات المرات وفي نفس الـوقت هي أخف بأكثر من ست مـرات. هذه القـوة الاستثنـائية نـاتجة عن هيـكل أنـابيب الكربـون النانوية الفريـد والمتميز إلى جانب غيـاب العيوب الهيـكلية والذي يسـمح للأنابيب بتحمـل أحمال هائـلة دون أن تنكسـر. بالإضـافة إلى ذلـك، تسـاهم أبعـاد الأنـابيب النانـوية في قوتهـا الكبيـرة، حيث إن أيَّ عيـوب علـى المستـوى الذري

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

نـادرة جدًا. تجعـل هذه الخصائص، إلى جـانب المرونة العـالية والقدرة على التحمل، أنـابيبَ الكربون النانوية بمثـابة "الأبطال الخـارقين" في علم المواد، ممّا يمهد الطـريق لابتـكارات ثـورية مثل مصاعـد الفضاء

2. طاقية الإخفاء

كان ذلـك عنوانًا لفيلـم سينمائي كوميـدي في أواخر الخمسينـات من القرن الماضي، وكان يتحدث عن شيءٍ يمـكن أن يُخفيَ الأشخاص عن الأنظـار إذا تمّ ارتداؤه! تأتي المـواد النانـوية لتجعـل هذه الشيء أمرًا يمكن أن يكـون واقعًا فعليًّا

أتـاحت تكنولوجيـا النانو تحضيرَ ما يسـمى بالمواد الخـارقة (Metamaterials) ، وهي نـوع من المـواد يتـمّ تصميمـه بـحيث تمتلـك خصائـصَ نـادرة الوجود في المواد الطبيعية. كلـمة"Metamaterial" مشتقة من الكلـمة اليونـانية "meta" التي تـعني "مـا وراء" أو "بعـد"، والكلـمة اللاتينية "material" التي تـعني "مـادة" أو "مـادة خـام". تتكـون هذه المـواد من مصفوفـات لعناصـر متعددة مصنـوعة من مواد مركبة مثـل المعـادن والبوليمـرات، وعـادة مـا يتـم تـرتيب هذه المـواد في أنمـاط متكـررة علـى مقاييس أصغر من الأطـوال المـوجية للموجـات الكهرومغناطيـسية التي تؤثـر عليهـا. تستمـدّ الموادُّ الخـارقة خصائصها ليـس من المـواد الأسـاسية المكـونة لهـا، بـل من تصميمهـا الهيـكلي النانومتري الجديـد، حيث يمنحها شـكلُها الـدقيق، وهندستهـا، وحجمهـا، وتوجّهُها، وترتيبهـا خصائصَ ذكيةً قـادرة على التلاعب بالموجات الكهرومغناطيـسية: عن طريق حجبها أو امتصاصها أو تعزيزهـا أو ثنيهـا، من أجل تـحقيق فوائـد تتجاوز ما هو ممـكن مـع المـواد التقليدية

عنـد تصميـم هذه المـواد بشـكل منـاسب، يكون لها معامل انكسـار سـالب لبـعض الأطوال المـوجية ممـا يتيـح للضـوء الانحناء حول الأجسـام بطـرق غير طبيـعية، وهو ما يجعلها غير مـرئية في هذا النطاق من الأطـوال الموجية

في العـام 2006، قـامت مجمـوعة من البـاحثين بجامـعة ديـوك بتصميـم هذه المـواد في إخفـاء الأجسـام ولـكن في نطـاق الموجـات الـدقيقة (microwave region) ، ولا تزال الدراسـات النظـرية والمعمـلية تحـاول تصميـم هذه المـواد لتعمل في نطـاق الضـوء المـرئي، وأعتقـد أن مـا خفي عنا من هذه الدراسـات كان أعظـم

سابعًا: كلمة أخيرة

هذه الكلـمة أتقدم بهـا لزملائي من البـاحثين العرب في هذا المجـال. يُعتبَـر علـمُ النانـو من المواضيـع المتعـددة التخصصـات ولن يتأتـى تقـدّمٌ في هذا المجـال إلا بتعـاون التخصصات العلـمية المختلفة مع بعضهـا البـعض وليس بأبحـاث الغرف المغـلقة على نفسها .

المراجع

1. V. H. Grassian. When size really matters: Size-dependent properties and surface chemistry of metal and metal oxide nanoparticles in gas and liquid phase environments. Journal of Physical Chemistry C, 112(47):18303–18313, 2008.

2. Dabbousi BO, RodriguezViejo J, Mikulec FV, Heine JR, Mattoussi H, Ober R, Jensen KF, Bawendi MG, (CdSe)ZnS Core-Shell Quantum Dots: Synthesis and Characterization of a Size Series of Highly Luminescent Nanocrystallites, (1997) J. Phys Chem B 101:9463–9475.

3. G. Schmid, Nanoparticles: From theory to application, Wiely–VCH, 2004, 21–24.

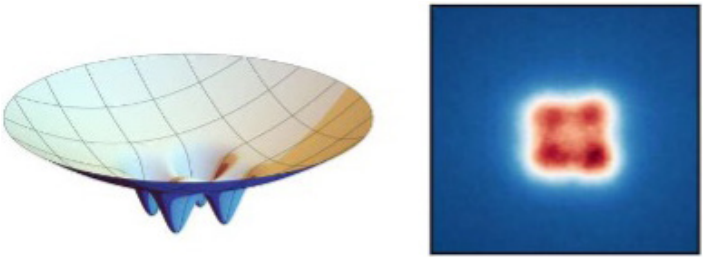
4. Talapin DV, Rogach AL, Kornowski A, Haase M, Weller H , Highly Luminescent Monodisperse CdSe and CdSe/ZnS Nanocrystals Synthesized in a Hexadecylamine-Trioctylphosphine Oxide-Trioctylphospine Mixture. Nano Lett 1:207–211, (2001).

5. Saiful Saad, Newly developed 'invisibility cloak' can protect soldiers from thermal imagery, Textile Today, November 11, 2023.

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

أخبار علمية

بصمة على الفوتون الفائق باستخدام قوالب نانوية

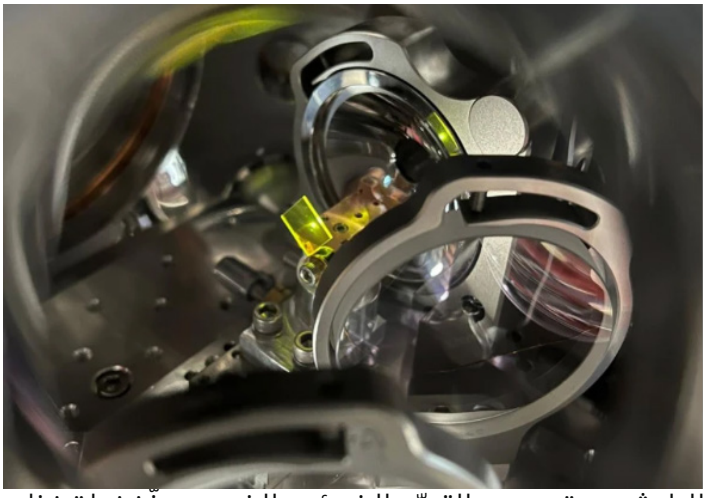


نجح باحثون من جامعة بون في تشكيل "بصمة" على الفوتون الفائق، وهو نوع من الضوء يتشكل عندما تندمج آلاف الفوتونات تحت ظروف خاصة، فعند تبريد عدد كبير من جسيمات الضوء إلى درجة حرارة منخفضة للغاية وفي نفس الوقت محصورة في مساحة مضغوطة، فإنها تصبح فجأة غير قابلة للتمييز وتتصرف مثل فوتون فائق واحد. يطلق الفيزيائيون على هذا تكاثف بوز-أينشتاين وعادة ما يشبه بقعة ضبابية من الضوء

باستخدام قوالب نانوية صغيرة على الأسطح العاكسة، تمكن فريق جامعة بون من إنشاء بنية شبكية مكونة من أربع نقاط ضوئية. المصدر

الساعة النووية: ثورة في قياس الزمن بدقة غير مسبوقة تقترب من الواقع

في إنجاز جديد، اقترب الفيزيائيون خطوة من تطوير "الساعة النووية"، التي تعتمد على قياس التغيرات الطاقية داخل نوى الذرات، وهو ما قد يؤدي إلى تحسينات كبيرة في القياسات الدقيقة وفتح آفاق جديدة في الفيزياء الأساسية. استطاع



الباحثون تحديد التردّد الضوئي الذي يحفِّز نواة نظير الثوريوم229- للانتقال إلى حالة طاقة أعلى، وهو ما يُمثِّل "دقةَ" الساعة النووية، بدقة أعلى بـ100,000 مرة من الجهود السابقة. تم نشر هذا البحث في مجلة "Nature" بقيادة جون يي من معهد JILA في كولورادو

تعمل الساعاتُ النووية بطريقة مشابهة للساعات الذرية، لكنها تعتمد على انتقالات الطاقة في النواة، وليس بين الإلكترونات. ما يجعل هذه الساعات مميَّزةً هو أنها قد تكون أكثر دقة واستقرارًا، نظرًا لأن الجسيمات في النواة أقل حساسية للاضطرابات الخارجية مثل المجالات الكهرومغناطيسية، ممّا يجعل الساعة النووية أقلَّ عرضة للتشويش وأكثر ملاءمة للاستخدامات المتنقلة والبيئات القاسية

استخدم فريقُ البحث جهازَ ليزر يُعرف بـ"مشط التردد"، والذي يضخ مجموعة من الترددات الضوئية الدقيقة التي تسمح بتحفيز نوى الثوريوم229-. هذا الجهاز ليس ساعة بالمعنى التقليدي بعد، ولكنه خطوة هامة في الطريق نحو تطوير ساعة نووية متقدمة يفتح هذا الإنجاز الأبواب أمام إمكانية استخدام الساعة النووية لاكتشاف المادة المظلمة، التي تشكل حوالي 85٪ من المادة في الكون. ونظرًا لأن تردد الساعة النووية يتحدد بالقوى النووية التي

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

تربـط النواة معًا، يمكن أن تكشف السـاعةُ عن تأثيرات المـادة المظلمة على هذه القـوى في حال وجودها

الفرق بين الساعة النووية والذرية:

السـاعات الذرية هي أكثـر السـاعات دقةً في العالـم حاليًا، حيث تعتمد على تـردّد الضوء المستخدم لتحريك الإلكترونـات بين مستويات الطـاقة داخل الذرات. ولكن السـاعات النـووية تعتمد علـى التغيرات الطـاقية بين البروتونـات والنيوترونـات داخـل النـواة، وهي عمليات تتطـلب تـردّدات أعلى، ممّـا يجعلها أكثر سـرعة وربما أكثر دقة

الابتـكار الجديـد في السـاعة النـووية قـد يجعلهـا قـادرة علـى التفـوق علـى السـاعات الذرية الحـالية التي تتمتـع بـدقة هائـلة تـكاد لا تفقد سـوى ثانية واحـدة كل 40 مليار سنة. وبفضل ثبات ودقة السـاعة النـووية، يمـكن استخدامهـا في تطبيقـات متقدمة مثـل أنظمة الـملاحة الفضـائية والمـراقبة الـدقيقة لـلزمن في البيئـات القاسية

علـى الرغـم من وجـود بـعض التحديات، يـرى العلماء أن هذا الابتـكار يمثـل خطـوة هـامة نحـو مستقبـل السـاعات فـائقة الـدقة، حيث يمكن للسـاعة النووية أن تكون 100 مليون مرة أكثر حسـاسية من السـاعات الذرية الحـالية من أجـل اكتشـاف تغيـرات دقيقة في القـوى الأسـاسية التي تحكم الكـون. المصد

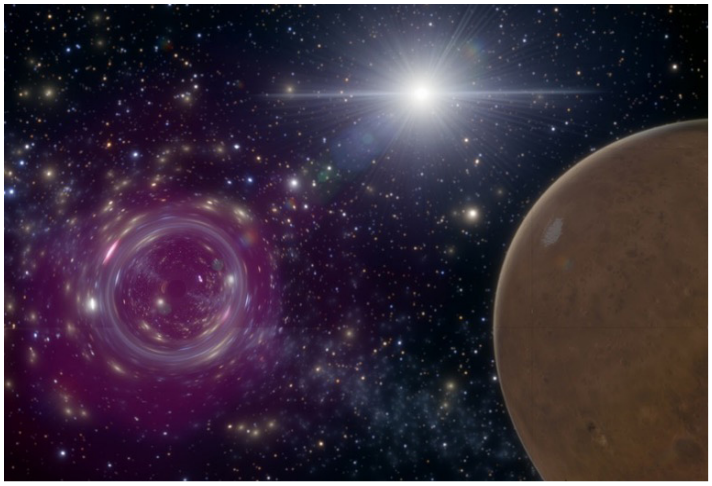
دراسة من معهد ماساتشـوستس للتكنولوجيا :اهتزاز في مدار المريخ قد يـكشف عن المادة المظلمة

في دراسة حـديثة صـادرة عن معهد ماساتشـوستس للتكنولوجيـا (MIT)، يقتـرح العلمـاء أن اهتزازًا طفيفًا في مـدار كـوكب المريخ قـد يكون مؤشـرًا على مرور ثقب أسـود بـدئيّ مجهـري، ممّـا يفتـح البـاب أمـام إمـكانية اكتشـاف المـادة المظلـمة. تشيـر الدراسة إلـى أن هذه الثقـوب السـوداء البـدئيّة primordial، التي يُعتقـد أنهـا تشـكلت في اللحظـات الأولى بعد الانفجـار العظيم، قد تكون مـسؤولة عن جزء كبير من المـادة المظلـمة في الكون

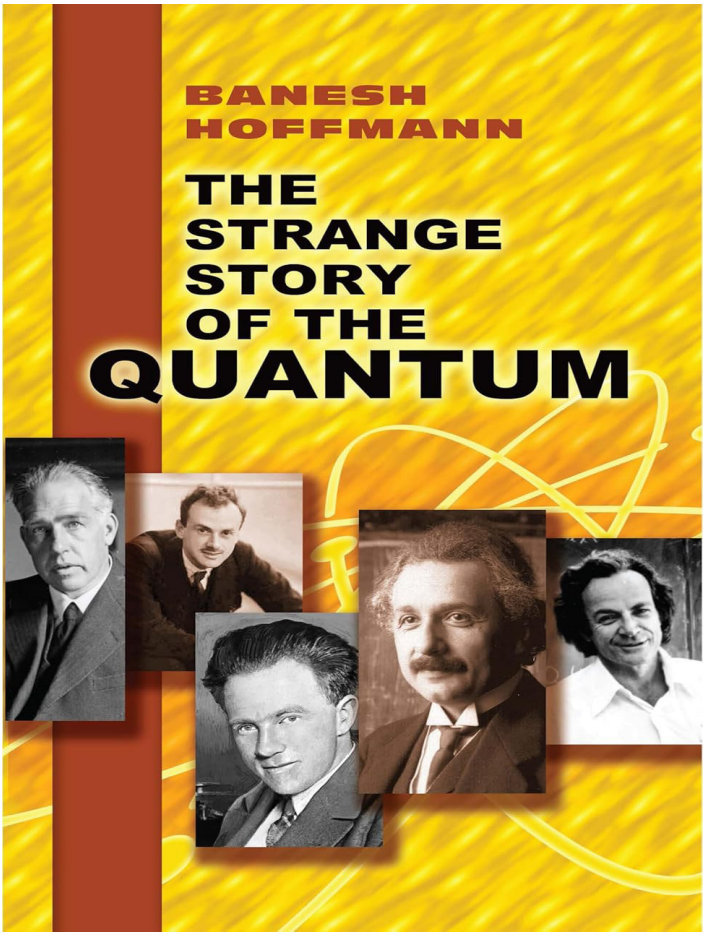
وفقًـا للبحث، يمكن لـهذه الثقوب السـوداء الصغيرة أن تمـرّ عبـر النظام الشـمسي مـرة واحدة كل عشـر سنـوات، ممـا يـسبب اهتزازًا طفيفًا في مـدار المريخ قـد يصـل إلـى متر واحـد. ورغـم أن هذا التغيـر يبدو ضئيلاً مقـارنة بمسـافة المريخ البعيـدة عن الأرض، إلا أن التكنولوجيـا الحالية قادرة على قياسـه بدقة تصل إلـى سنتيمترات

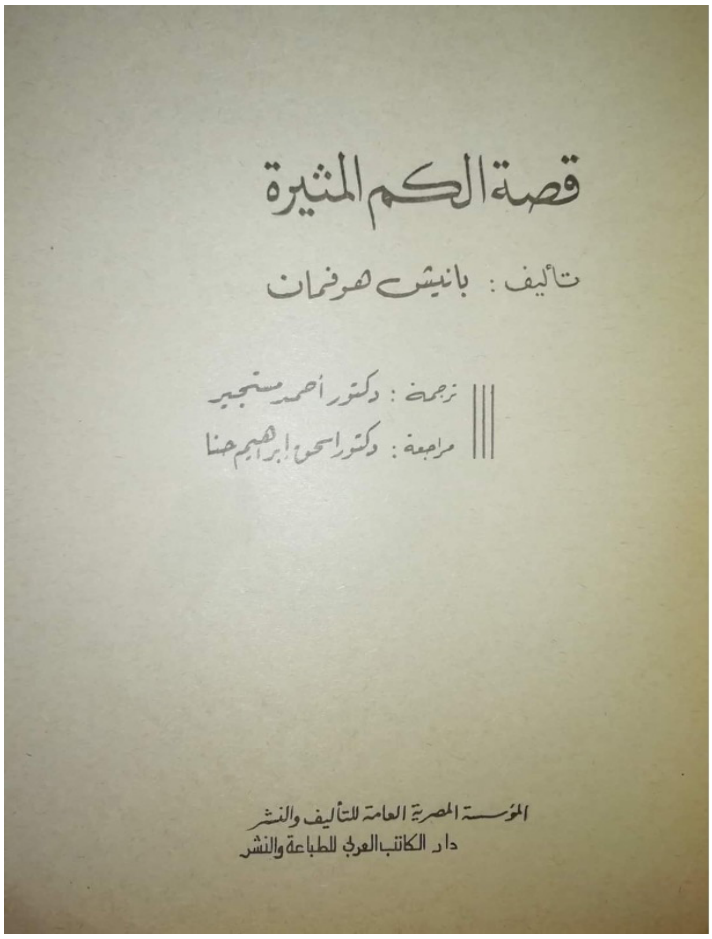
الدراسة التي نُشـرت عـان 2024 في مجـلة "فيزيكال ريفيـو دي" (Physical Review D) تضـم فريقًـا من العلمـاء من MIT وجامـعة ستانفـورد وجامـعة كاليفورنيـا، وتفتـح آفاقًـا جديـدة لفهـم دور المادة المظلـمة في تشـكيل الكـون

علـى الرغـم من أن الاكتشـاف يتطـلب تحـليلاً دقيقًا للبيانـات وتـمييزه عن التأثيرات النـاتجة عن الكويكبات العـادية، فإن العلمـاء متفائلـون بأن هذا البـحث قـد يمثـل خطوة هامة في رحلة الكشف عن أسـرار الكون الغـامضة. المصد



© 2024 الجمعية العربية للفيزياء





كتاب:
قصّة الكمّ المثيرة
The Strange Story of the Quantum

"من بين الكتب التي حاولت تقديم وصف لتاريخ ومحتويات الفيزياء الذرية الحديثة والتي وصلت إلى انتباهي، فإن هذا الكتاب هو الأفضل. إن الجمال الآسر لنثره، والإبداع في تنظيمه، والملاءمة الغريبة للتشبيهات التي يستخدمها، كل ذلك يجعل من يقرأ هذا الكتاب يدرك لماذا يستحق مثل هذا الثناء الفاخر." - هنري مارجيناو، أستاذ الفيزياء، جامعة ييل

على الرغم من أن هذا الكتاب الرائع الذي كتبه هوفمان في عام1947 (وتم تحديثه في عام 1958) قد يبدو قديمَ الإصدار، أو خارج التاريخ، كما يقال في سوق الكتب العلمية، إلّا أنه من وجه نظرٍ عادلة يُعتبَر كتابًا خالدًا.

في الحقيقة يمكن القول بأريحية تامة إنه من أفضل الكتب على الإطلاق في شرحه ميكانيكا الكم للعامّة بصورة جادة وصحيحة، على خلاف كثيرٍ من الكتب العلمية الشعبية. يرجع سبب ذلك لموهبةٍ غيرِ طبيعية لهوفمان في تتبّع تطور علم ميكانيكا الكم وأفكارها زمنيًا بكلّ تعقيداتها وتشابكها، وفي استخدامه لأفضل التشبيهات والتعليقات من أجل مساعدة القارئ على فهم أكثر أفكار الكمّ غرابة وإثارة.

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

إن هذا الكتاب، الذي لا يعتمد على الرياضيات على الإطلاق، ولكنه وفيٌّ تماماً لمفاهيم ميكانيكا الكم الأساسية، يروي لنا القصة الرائعة للثورة الأكثر شمولاً في الفيزياء منذ نيوتن.

يبدأ الكتاب بتمهيدٍ مهم عن الاحساس بعالَم جديد وغريب وهي إرهاصات الكمّ الأولى بدايةً من عرضه لحلّ معضلة إشعاع الجسم الأسود المثالي على يد بلانك عام 1900. يتعرّض المؤلف في الفصل الثاني من الكتاب إلى عبقرية و جمال فكر أنشتاين الثوري في معالجة معضلة انبعاث الالكترونات من أسطح بعض المعادن عندما يسقط عليها ضوء ذو موصفات معينة في ظاهرة تدعى المفعول الكهروضوئي.

يتجلّى إحساس القارئ بجمال لغة هوفمان وتمكنّه العلمي بوضوح حينما نصل الى الفصل الرابع المُعَنْوَن بـ "موجة أم جسيم"، وهذا سؤالٌ حاكِمٌ لكلّ الجسيمات الذرية، ويختتم الفصلُ بشرح أجمل تجارب الفيزياء، وهي التداخل، حينما تُجرى باستخدام جسيمات مادية مثل الإلكترون بدلا من كمّ الضوء (الفوتون).

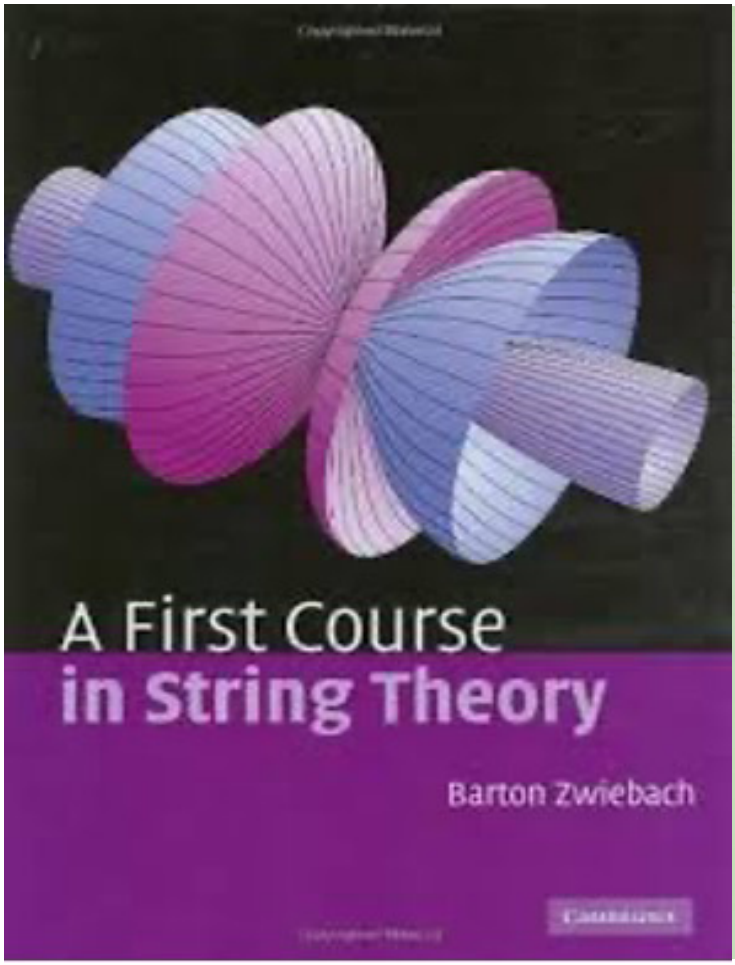
تم تخصيص الفصلَين الخامس والسادس لشرح الأسباب المنطقية التي جعلت ذرة بوهر -على الرغم من بعض أفكارها الثورية الخاصّة بتكميم مدارات الذرة- تفشل في تفسيرِ كاملِ طيفِ أبسط العناصر الكونية وهو الهيدروجين. تتجلّى قمةُ الدراما فى الكتاب حينما يتناول المؤلف قدسيةَ وعمومية مبدأ عدم اليقين لهاينزبرج بشرحٍ وافر و أمثلةٍ حيّة ثم يعقبه بمعادلة شرودنجر وهي في الحقيقة الكأس المقدسة لميكانيكا الكم بغرابة تركيبها الرياضي و التفسير الإحصائي لدالتها الموجية. الكتاب قصّة واقعية لما عانه أبطال الكمّ الأفذاذ من بلانك و أنشتاين مرورًا بهانيربرج وشردونجر وظهور الزاهِد بول ديراك بأناقته وأدواته الرياضية و إبداعه في خلق صورةٍ أكثر عمومية لميكانيكا الكم.

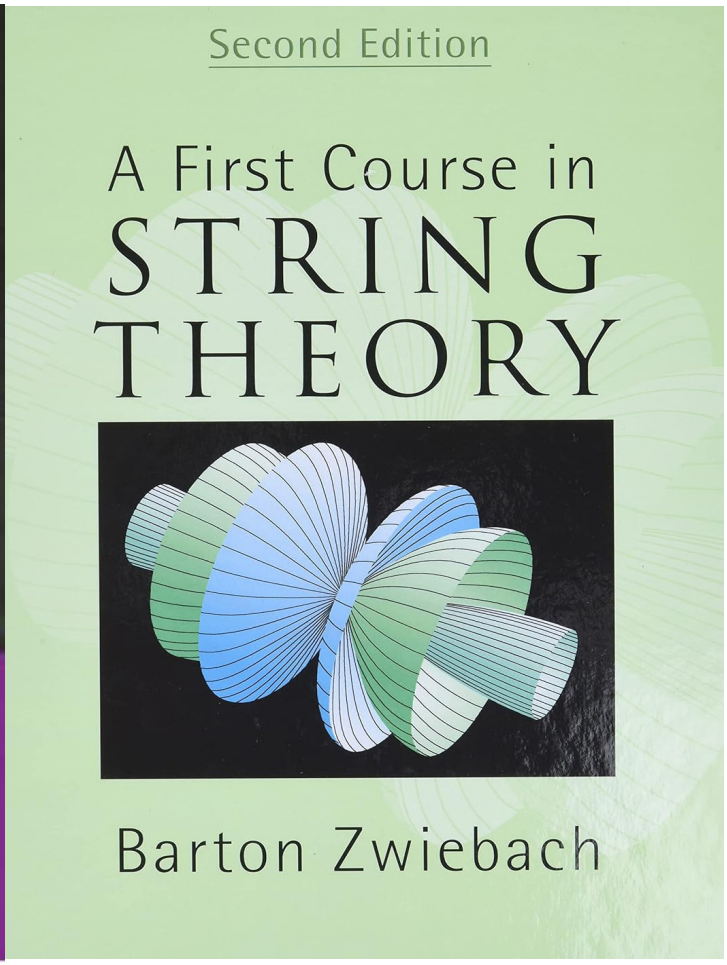
أجمل ما قيل عن الكتاب إنه رائِع بمعلوماته، وبليغٌ بلغته الواضحة التي يمكن لأي شخص أن يفهمها تقريبًا. يُستَهَلّ الكتاب ببدايةٍ لكتابٍ درامي حقًا، ولكن في النهاية، عندما يتم ربط جميع النقاط، تحصل على أوضح تفسير لسبب عشوائية العالم الكمومي، ولكنه ليس كيفيًّا مثل رمي العملة المعدنية. في النقاط التي تحتاج فيها الأشياءُ حقًا إلى شرحٍ واضح قدر الإمكان للقارئ، يفعل المؤلف ذلك تمامًا ويترك مخطَّط كتابة القصة جانبًا، مع التأكد من أن القارئ يفهم حقًا جميع الظواهر الكمومية غير العادية.

نسخة الكتاب التي نستعرضها هي نسخة مُنقَّحة صدرت عن دار نشر دوفر ومن حسن الطالع أن هذا الكتاب الجميل له أكثر من ترجمة إلى اللغة العربية، أشهرها ترجمه المرحوم د. أحمد مستجير، وصدرت عن الهيئة المصرية العامّة للكتاب 1968، ويعتبرها كثيرٌ من القرّاء قصةً توضيحيةً وجذّابة عن التقدم العلمي والأشخاص الرائعين المشاركين فيها، وبالتالي لا يزال الكتابُ مناسِبًا للقارئ العربي المُثقَّف في بداية القرن الحادي والعشرين.

المؤلف فى سطور: حصل بانيش هوفمان (1906-1986) على درجة الدكتوراة من جامعة برينستون، وفي معهد برينستون للدراسات المتقدمة، تعاون مع ألبرت أينشتاين وليوبولد إنفيلد في إعداد الورقة البحثية الكلاسيكية "معادلات الجاذبية ومسألة الحركة". كما قام هوفمان بالتدريس في كلية كوينز لأكثر من 40 عامًا

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء





كتاب:

مُقرَّر أوّلي في نظرية الأوتار

A First Course in String Theory

لـ بارتون زفيباخ Barton Zwiebach

ينبـع الجدل الدائر حـول نظرية الأوتـار من ندرة الأدلة التجـريبية التي تدعمها وما تقتضيه من التناظر الفائق والأبعـاد المكانية الإضـافية. لقد كافـح نظريو الأوتار من أجـل التوصّل إلى تنبؤات قابـلة للاختبار من شأنها أن تبـرهن على صحة النظريّة،، وكثيـرًا ما أعقب فتراتِ الإثـارة أزمنةٌ خيبة. تتعلق المعضلة الحالية بالمشـهد الطـاقيّ في النظـرية والبـحث عن مبـدأٍ انتقائي من شأنـه أن يـميز حـالةَ الخلاء في النظـريّة من بين عدد هائل من الحـالات الممكنة.

بـدأت الثـورة الأولـى في الأوتـار في منتـصف ثمانينـات القرن العشـرين عندمـا بيّن غـرين و شفارتز أن التناظـر الفـائق يـروِّض اللانهائيّـات في النظرية؛ وتنبّأا بأن أبعـاد الزمـكان هي 10، فكان لزامًا مناقشةُ مسألة وجـود أبعاد عيانية كبيرة أربـعةٍ فقط، وكيفيّة تـراصّ الأبعاد الستّة الأخرى لتغـدو من بعد بلانك ربّما (10^{-33}سم).

لأجـل كلّ هذا تتمتّـع نظـريّة الأوتـار بسـمعةٍ مـروِّعة عند الطلّاب، ولـهذا الغرض أتى كتـاب بارتون

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

زفيبـاخ في أنـه يتوجّه لـطلاّب المرحـلة الأولى، فلا يفتـرض مُسبَقًا -حتى- دراسةَ مقـرّرٍ في نظريّة الحقل الكمـومي، بـل يتطـلب مجـرّد معـرفةٍ سـابقةٍ أوّليّة بنظـرية الكـم والنـسبية. يُسـلِّط الكتـابُ الضوءَ على السـمات الأسـاسية للنظـرية التي تجعلهـا مختـلفة تمامًـا عن النظريات القائمة علـى الجسيمات النقطيّة، مـا يجعله مناسبًـا لطلاب المرحـلة الجامـعيّة الأولى المتقدِّمين من أجل إطلاعِهم على أسـاسيّات النظريّة، ولـكن يمكن كذلك لطلاّب الدراسـات العليا الاستفادة العـميقة منه.

تتعـرّض الفصـول الأولـى إلـى نظريّات النـسبية الخـاصّة والعـامّة والكهرمغناطيـسيّة في أبعـاد عَمـوميّة، ثـم تنـاقش الأوتـارَ غيـر النسبـوية تليهـا معـالَجة نسبـوية. تتبـع ذلـك فصـولٌ عن التكميـم للجسيمـات ثـم للأوتار، مع إجراء الحسـابات في معيار gauge المخـروط الضوئي. أخلص الـمؤلِّف في كتابه حقًـا لهدفـه المتمثـل في جعـل نظـرية الأوتار في متناول الـطلاب الجامـعيين المتقـدّمين، وكان صادقًا بشأن الوعـود والتحديات الجـادة التي لا تزال النظرية تواجههـا، فنظرية الأوتار ليست كلها وردية، والطلاب يتعلمـون ذلـك منذ البداية.

تتعـرّض فصـول القسـم الثـاني من الكتـاب إلى مواضيع الثورة الثانية في الأوتار، عن عالَم الغشـائيّات Branes والنظـريّة الأمّ M theory والمثنويـات التي تربطهـا مع بناتِها النظريّات المتنوّعة التي تتجلّى في ظـروف خـاصّة، كما تربـط هذه النظريات مـع بعضها البـعض. يقـدم زفيبـاخ هذه الموضوعـات المتقدّمة بوضـوح يعالِج الصعوبـاتِ التي يواجهها الطلاب عادةً عنـد التعامل مع غشـائيّات D وغشـائيّات D_p ومثنوية *T(duality)* للأوتـار المغلقة والمفتـوحة؛ فيدركون مع قراءة الفصـول كيفيةَ تآثر الأوتار مع بعضها أو كيفيةَ ارتبـاط نظـرية الـ M ذات الأبعاد الـ 11 بنظريات الأوتار ذات الأبعاد العشـرة، ومـا إلى ذلك.

إن النـص يطـور الحـدس قبـل الشـكلية، وعـادة مـا يكـون ذلـك من خلال أمثـلة مبسـطة وتوضيحية، مثـل ميكانيـك الكـمّ ببعد متـراصّ أو عبر إجـراء أمثلة تشـابهيّة مع الأوتار الموسيقية وأوضاعها الاهتزازية. وتماشيـاً مـع فكرة التعلّـم من خلال الممـارسة، فإن المسـائل وراء كلّ فصـلٍ تشـكل جزءاً لا يتجزأ منـه. لذلـك، يمكن فـعلًا البـدء بكتـاب زفيبـاخ في دراسة الأوتـار قبـل الانتقـال إلـى كتبٍ أعلـى مستوى مثل مجلَّدَي كتاب بولتشينسـكي (نظـرية الأوتار، كامبريدج 1998)

يضـمّ الإصـدارُ الثـاني، الذي يتّسـم بالشـمول في تغطيتـه، مُقابـلَةَ correspondence AdS/CFT الشـهيرة بين فضـاءٍ هندسيّ مـعيَّن ونظـريّةِ حقولٍ معيـاريّة تـعيش علـى حـدوده، علاوةً على منـاقشةٍ للتفـاعلات الشـديدة ومقـدِّمة إلـى الأوتار الفـائقة.

هناك فضـول كبير حول نظـرية الأوتار، ليس فقط بين طلاب الفيزيـاء الجامعيين ولـكن أيضًا بين العلماء المحتـرفين خـارج المجـال، وهذا الجمهـور يحتاج إلى نـصّ يذهب إلـى أبعـد من الروايـات الشـعبية ولـكن بـدون التفاصيـل التقنية الكامـلة المـوافقة لمنهـاج الدراسـات العليـا. نقـول وبثقة إن كتاب زفيبـاخ يلبّي هذه الحـاجة بطـريقة واضحة وسـهلة الوصول إليها.

Publisher: Cambridge University Press (2004); Second edition (2009)

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

علماء، معلّمون ومربّون

إقـرارًا بأهـميّة الأبحـاث العلـميّة التي قـام ويقـوم بهـا باحثون عـرب عبر التـاريخ وفي الـوقت الحاضِـر، واعترافًا بفضل الأسـاتذة والمعلّمين العرب وجهودهـم في مجال التربية والتعليـم بهـدف تنشئة جيلٍ يعتمد الثقافةَ نبراسًـا يوجّهه نحو مجتمـعٍ علميّ، نقدِّم في هذه الزاوية نبذةً عن شخـصيّة عـربيّة قـامت بدورٍ علميٍّ متميّز، سـواءٌ أكان ذلك في مجال البـحث العلمي أم في مجـال التعليم.

الدكتور مكي الحسني الجزائري
أمين مجمع اللغة العربية بدمشق

نشأته وحياته

ولـد محمد مـكي الحـسني الجزائـري سنة 1932 في دمشق لأسـرة علم وفضل، جدُّهـا الأمير المجاهد عبد القادر الحـسني الجزائري

نال شـهادة الـدراسة الثانوية من (مـدرسة جودة الهاشمي) سنة 1949، وكان تلقَّى في هذه المدرسة دروس العـربية عن أسـاتذة كبـار؛ كالأستـاذ سـعيد الأفغـاني، ثم حـاز إجازة العلـوم الفيزيـائية الرياضية من (كلية العلوم-جامـعة دمشق) سنة 1954 بتقديـر امتيـاز، وعُين معيـدًا في قسـم الفيزيـاء في كلية العلوم سنة 1955، وأتقن خلال ذلك اللغتين الإنكليزية والفرنـسية. أُوفـد بعـد أدائـه الخـدمة الإلزامية إلى (جامعة موسـكو الحكـومية)، وكان أوَّل سـوري يوفَد إلى الاتحاد السـوفييتي للقيام بدراسـات عـالية في الفيزيـاء النـووية، وحصـل علـى شـهادة الدكتـوراه سنة 1965 بتخصـص: (التفـاعلات النووية عند الطاقات المنخفضة)

ولمـا عـاد إلـى دمشق سنة 1965 عُين مدرّسًـا في قسـم الفيزياء في كلية العلـوم بجامعة دمشق، وترقَّـى في سـلَّم الـهيئة التدريسية، فأصبـح أستاذًا مسـاعدًا سنة 1970، ثـم أستـاذًا سنة 1975، وظـلَّ يـدرّس جميع المواد العلـمية التي أُسندت إليه بكفاية واقتـدار إلى أن أُحيل علـى التقاعد سنة 1998، وتخلَّل ذلـك إعارته إلـى (دار المعلمين العليـا) بمكة المكرمة مـدة سنة دراسية، تبعتهـا إعـارة ثانية إلـى (جامعة

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

الجزائـر) سنة 1975 مدة ثلاث سنـوات دراسية

انتُخب الدكتـور محمـد مكي الحـسني عضوًا عاملًا في مجمـع الـلغة العربية بـدمشق عـام 2001، حيث تبـوّأ منصبَ أمينِـه العام سنة 2008 ومـا يزال يشغل هذا المنـصب حتـى الآن. شـارك ويشـارك في أعمال عـدة لجـان؛ منها لجنة مصطلحـات العلـوم الفيزيائية التي يرأسـها والمـسؤولة عن إصـدار معجـم الفيزياء وتوسِعاته

نشـر في مجـلة المجمـع مـا يربـو عن 40 مقـالًا بـدءًا من سنة 1990، معظمهـا تـحت عنـوان (صفحة لغـوية) ذكَّـر فيهـا بأهم قواعد الـلغة العـربية التي يحتـاج إليهـا الكتَّـاب، ونبَّه فيها على بـعض الأخطاء الشـائعة الدائرة على الألـسنة والأقلام، وصدر له من مطبوعات المجمـع 7 كتب.

من آثاره

أولًا: في التأليف

1. القياسـات الفيزيـائية وتحليـل نتائجها، منشـورات جامـعة دمشق، 1974.
2. الكهربـاء والمغنطيسية، منشـورات جامعة دمشق، 1981، 1987، 1990.
3. المدخـل إلـى الفيزياء النـووية، منشـورات جامعة دمشق، 1983، 1986.
4. الـلغة العـربية لغير المختـصين، منشـورات جامعة حـلب، 1985/1986.
5. نحو إتقان الكتابة العلمية باللغة العربية، منشـورات مجمع اللغة العربية، 2009، 2011، 2015، 2018.
6. معجم مصطلحات الكيمياء (بالمشـاركة)، منشـورات مجمع الـلغة العربية، 2014.
7. معجـم مصطلحات الفيزياء (بالمشـاركة)، منشـورات مجمع اللغة العـربية، 2015.

وكان خُصّص لـه ركن لغوي في (مجلة جامعة دمشق) بعنـوان (نحو إتقان الكتابة العلـمية باللغة العربية)

ثانيًا: في الترجمة

1. الاهتزازات والترموديناميـك (تأليف فاينمان) (ترجمة بالاشتـراك)، وزارة التعليم العالي، دمشق، 1974.
2. الضوء والإشعاع (تأليف فاينمان) (ترجمة بالاشتراك)، وزارة التعليم العالي، دمشق، 1974.
3. الميكانيـك (تأليف فاينمـان) (ترجـمة بالاشتـراك)، وزارة التعليـم العـالي، دمشق، 1974.
4. النظائـر المشـعة في الحيـاة اليـومية، منشـورات هيئة الطـاقة الذرية، دمشق، 1985.
5. معجـم المصطلحـات العلـمية والتقنية في الطاقة الذرية (بالاشتراك)، هيئة الطاقة الذرية، دمشق، 1986.
6. نشـوء العصـر الذري (تأليف مـاكاي)، دار طلاس للدراسـات والترجـمة والنشـر، دمشق 1993.
7. المرشـد إلـى واحدات القيـاس (تأليف جـاك ليبوا)، دار طلاس للدراسـات والترجمة والنشـر، دمشق 1995.
8. مستقبـل العلم (إعداد أكاديـمية العلوم الفرنسية)، دار طلاس للدراسـات والترجمة والنشر، دمشق، 1995.
9. البـحث عن اللانهاية: حل أسـرار الكـون (تأليف فريزر وليلستـول وسيليفاك)، (ترجـمة بالاشتراك)، دار طلاس للدراسـات والترجمة والنشر، دمشق، 1997.

كمـا قام بمراجـعة وتدقيق أكثـر من ثمـانية مُؤلَّفات ومعاجم.

تتقدّم أسـرة مجلّة مسارات بأطيب التحيّات للدكتور الحـسني وتتمّنى له طول العمر.

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

موضوعات إثرائية

معادلة بولتزمان

تعد معادلة بولتزمان Boltzmann equation من المعادلات الأساسية في الميكانيكا الإحصائية وتعد حجر الأساس في فهم الديناميكا الحرارية (الترموديناميك) thermodynamics والنظرية الحركية kinetic theory التي تُعدّ جسرًا يصل بين الفيزياء الصغريّة والفيزياء الكبريّة

تصف المعادلةُ حركةَ أعداد كبيرة من الجسيمات بالمعنى الإحصائي، فتسمح باستنتاج منهجي لعمليات النقل العيانية مثل الانتشار وتدفق الحرارة والتوصيل (الناقليّة) انطلاقًا من القوانين المجهرية الصغريّة الأساسية للطبيعة. على الرغم من أنها تنطبق فقط على النظم المخفّفة غير الكثيفة، إلا أنها تشكل أساسًا لنظريات ذات أهمية عملية وتقانية هائلة، مثل ديناميكيات السوائل والهواء والبلازما. تشكل هذه المعادلة الأساسَ المتين لوصف النظم التي ليست في حالة توازن، وخاصة لتحليل العمليات التي تؤدي إلى التوازن

لوصف سلوك النظم العيانية مثل الغازات أو السوائل، لا يحتاج المرء إلى معرفة الخصائص التفصيلية لجميع الجسيمات الفردية التي تشكل الغاز أو السائل. لحسن الحظ، لأن هذا من شأنه أن يتضمن حلّ جملة مُكوَّنة من 1023 معادلة مقترنة أو أكثر. يكفي معرفة الخصائص المتوسطة للجسيمات، وهنا يأتي دور الاعتبارات الإحصائية

تصف المعادلة التوزيعَ الإحصائي للجسيمات في الغاز باستخدام دالّة التوزيع Distribution function، $f(r,v,t)$ وذلك لأن توزع الجسيمات يتغير بمرور الوقت بسبب الاصطدامات بين الجسيمات التي تؤثر على سرعة الجسيمات وموضعها وتُقرِّب النظام من التوازن الديناميكي الحراري (توزيع ماكسويل-بولتزمان)

تمثِّل دالة التوزيع f احتمالية العثور على جسيم في موضع معين r ، بسرعة v في وقت t.

الشكل العام لمعادلة بولتزمان:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \boldsymbol{v}.\nabla_{\boldsymbol{r}} f + \boldsymbol{a}.\nabla_{\boldsymbol{v}} f = \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_{coll}$$

$\frac{\partial f}{\partial t}$ يمثل هذا الحد التطورَ الزمني لدالة التوزيع.

$\boldsymbol{v}.\nabla_{\boldsymbol{r}} f$ يشير هذا الحد إلى أن توزيع الجسيمات سيتغير أثناء تحركها عبر الفضاء بسرعة v.

$\boldsymbol{a}.\nabla_{\boldsymbol{v}} f$ وهو الحد المسؤول عن التغير في سرعة الجسيمات بسبب القوى الخارجية التي تؤدي إلى تسارع الجسيمات حيث a التسارع الناتج عن القوة الخارجية المطبقة (مثل الحقول الكهربائية أو الجاذبية)

$\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_{coll}$ حد التصادم وهو الحد الأكثر تعقيدا فهو يصف كيف تتغير سرعات الجسيمات عندما تصطدم ببعضها البعض.

لاحِظ أن الحدّ الأيسر من المعادلة يعبِّر عن

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

الاشتقاق الـكلّي أو الجسيمي لـدالّة التوزيع بالنسبة لـلزمن، وبالتـالي فـهي تـصف التطـوّر الزمني لدالّة التوزيع.

بيّن ماكسـويل أنـه من أجـل منظـومة متـوازنة ومتجانـسة، فإنـه في غياب قوى خـارجيّة، تكون دالّةُ التوزيـع معتمدةً على السـرعة فقط وبشـكل غوصيّ متمـركِزًا حـول وسـطِها ومقترِبًا من الصفـر بعيدًا عن وسـطي السرعة.

معادلة بولتزمان في البلازما:

في نظـمٍ مثل البلازما التي تعد غـازات متأينة ، تكون معـادلة بولتزمان أداة ضرورية لفهم سـلوك جسيمات البلازمـا المشـحونة (الإلكترونـات والأيونـات) ذات الشـحنة q والكتـلة m والتي تهيـمن عليهـا القـوى الكهرومغناطيـسية طويـلة المـدى والتي تظهـر في حـد تغيـر السـرعة – التسـارع – النـاتج عن القوة الكهرومغناطيـسية أي قـوة لـورنتز (بـسبب وجـود الحقـل الكهربـائي E الذي يعمـل على تغيير سـرعة الجسيمـات والحقـل المغناطيـسي B الذي يؤدي إلى انحراف الجسيمات المشـحونة ممـا يتسبب في اتباعها

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \boldsymbol{v}.\nabla_{\boldsymbol{r}} f + \frac{q}{m}(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}).\nabla_{\boldsymbol{v}} f = \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_{coll}$$

مسـارات حلزونية

علمـا أن حد التصادمات يكون أكثـر تعقيدا في البلازما بسبب تفـاعلات كولون طويلة المدى

تستخـدم معـادلة بولتزمـان في دراسة ظواهـر مثـل التوصيل أو الناقـليّة conductivity والانتثار diffusion وانتشـار الموجـات wave propagation في البلازما

لا يمـكن التوصـل إلى حلول دقيقة لمعـادلة بولتزمان بـسبب تعقيدهـا و بالتـالي يتـم اللجـوء إمّـا إلـى التقريبـات من أجـل الحلـول التحليـلية أو إلـى الحلول العددية.

بالنـسبة للبلازمـا، غالبًـا مـا يتـم إجـراء تبسيطـات مثـل معـادلة بولتزمان الخـالية من التصـادم (معادلة فلاسـوف Vlasov)، حيث يتـم إهمـال حـد التصادمات الذي يعـد الأكثر تعقيدا في بلازمـا مفاعلات الاندماج أو البلازمـا الفضـائية بـسبب درجـات الحـرارة العـالية

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \boldsymbol{v}.\nabla_{\boldsymbol{r}} f + \frac{q}{m}(\boldsymbol{E} + \boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B}).\nabla_{\boldsymbol{v}} f = 0$$

عندمـا تكـون التصادمـات نادرة

تعتبر معادلة فلاسوف أساسية في دراسة ديناميكيات البلازمـا الخـالية من التصـادم، مثـل تفـاعلات الموجة والجسيمـات wave-particle interactions ، وتذبذبات البلازما plasma oscillations.

معادلات نافييه-ستوكس

تُستخـدم الديناميكا المـائية (الهيدروديناميكا) لوصف تدفق الأوسـاط المستمـرة مثل الغـازات والعديد من أنـواع السـوائل والبلازمـا. وتُستخـدم في النـمذجة الحاسـوبية لتحـسين تصميـم الـسفن والطائـرات والسيـارات الريـاضية من حيث الاستقـرار والمقـاومة. وتُستخـدم المعـادلات أيضًـا لـلتنبؤ بالطقـس، بمـا في ذلـك المحـاكاة الحاسـوبية للأعاصيـر والعواصف والتسـونامي

المعـادلات الثلاث للهيدروديناميـكا هي في الأسـاس قـوانينُ مصـونيّةٍ، ويمكنهـا وصف مجموعة واسـعة من ظواهـر النقـل لأنهـا تحتـوي علـى عدد لا بأس بـه من البارامتـرات. وقـد تـم الحصـول علـى هذه المعـادلات في الأصل من خلال دراسة السـوائل، ولـكن يمـكن الحصول عليها أيضًـا انطلاقًا من معادلة بولتزمان من خلال تحليل متوسـطات المقادير المصونة

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

أثنـاء تصادمـات جسيـمين، ألا وهي: الكتـلة والزخـم والطاقة

إن المسألة الصعبة جدًا التي لا تزال تواجه المجتمع الريـاضي والفيزيـائي في هذا المجـال هي فهـمُ ظاهـرة الاضطـراب الـدوّامي turbulence بالتفصيـل انطلاقًـا من المبـادئ الأوليّة النظـريّة، وبنائهـا كحلّ لمعـادلات نافييه-ستوكـس. علاوةً علـى ذلـك، هذه المعـادلات ذات أهمية كبيرة أيضًا من الناحية الرياضية البـحتة، إذ علـى الرغم من استخدامها الواسـع، إلا أنه لـم يُثبَت بعـد مـا إذا كانت الحلول الملسـاء موجودة دائمًـا في منطقةٍ بثلاثة أبعاد -أي مـا إذا كانت قابلة للاشتقـاق بلا حدود عنـد جميع نقاط المنـطقة- فيما يُسـمّى بمسألة الوجود والأملـسيّة لنافييه-ستوكس. وقـد اعتبـر معهـد كلاي للرياضيـات هذه المـسألةَ واحـدةً من أكثـر المسـائل المفتوحة أهـميّة، وعرض جـائزة قدرهـا مليـون دولار أمريكي لحلّهـا أو لإيجاد مثـال معاكس

تيتّـم كلـود لويس نافييـه (فرنسـا، 1785-1836) صغيـرًا عندمـا كان في الثـامنة من عمـره، وتُرك في رعـاية عمّـه المهنـدس المـدني الذي حـاول تـحفيز اهتمامـه بالهنـدسة. درس في مـدرسة البوليتكنيك، ثـمّ التحق بمدرسة الجسـور والمعابِر وغـدا بعد تخرّجه بـانيَ جسـورٍ مشـهورًا. لقـد توصـل إلى المعـادلات المعـروفة باسـمه من خلال حجج خـاطئة في عـام 1822، وأضحـى في عـام 1831 أستـاذًا في مـدرسة البوليتكنيك.

أمّـا جـورج جابرييـل ستوكـس (1819-1903) فقد كان ابن رئيـس كليّة سـليجو في أيرلنـدا، ودرس في كامبريـدج ضـمن مجموعة شـملت نظريّين مشـهورين أمثـال اللـورد كيلفن، واللـورد رايـلي. شغل ستوكس الكـرسي اللوقي -وهو أكثـر مناصب الرياضيـات هيبةً في العالَـم- وتـرأّس الجمـعية الملكية لمـدة لا تقل عن 30 عامًـا!. وتعلّقت أهم أعمالـه بالهيدروديناميكا

تستند معـادلات نافيه-ستوكس إلى مصونيّة ثلاث كميّات أسـاسية في تفـاعلات الجسيمات الأسـاسية: الكتـلة والزخم والطاقة، حيث ترتبـط بها ثلاثة حقول: كثـافة الكتـلة ρ(r,t)، وحقـل السـرعة u(r,t والكثـافة الطـاقيّة (طـاقة واحـدة الكتـلة) ε(r,t، حيث تتطـلب المعـادلات معرفةَ معادلتَي الحالة للوسـط المدروس

واحدة تربط الضغط بالكثافة ودرجة الحرارة:

$$P = P(\rho,T),$$

وثـانية تربـط الكثـافة الطـاقيّة بالكثـافة ودرجة الحرارة:

$$\varepsilon = \varepsilon(\rho,T)$$

بالنـسبة للنظـم الغـازية خفيفة التـركيز، يجـري تعـريف هذه الحقـول علـى أنهـا متوسِّـطات علـى السـرعات باستخـدام دالة توزيـع بولتزمـان، كمـا في التعابيـر التـالية حيث تعتمد الحقول الناجمة على r و t فقـط (تـرمز n إلى عدد الجسيمـات في واحدة الحجم،

$$\rho(\mathbf{r},t) = m\int f(\mathbf{r},\mathbf{v},t)\,d^3\mathbf{v} = mn(\mathbf{r},t)$$

$$\rho(\mathbf{r},t)\,\mathbf{u}(\mathbf{r},t) = m\int \mathbf{v} f(\mathbf{r},\mathbf{v},t)\,d^3\mathbf{v}$$

$$\rho(r,t)\epsilon(r,t) = \frac{1}{2}m\int |\boldsymbol{v}-\boldsymbol{u}|^2 f(\mathbf{r},\mathbf{v},t)\,d^3\boldsymbol{v}$$

وكتـلة كلّ منهـا m):

يمـكن للمرء بعد ذلـك استخدام معـادلة بولتزمان عن التطـوّر الزمني لـدالّة التوزيـع f من أجـل استنتاج

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\mathbf{u}) = 0$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{u}\cdot\nabla\right)\mathbf{u} = \frac{\mathbf{F}}{m} - \frac{1}{\rho}\nabla\left(P - \frac{\eta}{3}\nabla\cdot\mathbf{u}\right) + \frac{\eta}{\rho}\nabla^2\mathbf{u}$$

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{u}\cdot\nabla\right)\epsilon = -\frac{P}{\rho}\nabla\cdot\mathbf{u} + \frac{K}{\rho}\nabla^2 T$$

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

معـادلات نافييه-ستوكس

إنهـا مجمـوعة عـامة جـدًا من المعـادلات، ومن حيث المبـدأ تـصف أيضًـا الديناميـكا الهـوائية، على الرغـم من أن البارامتـرات ستكـون مختـلفة جـدًا. في هذه المعـادلات، تمّ إجراء عـدد من التقريبات من خلال إدخـال العديـد من البارامتـرات الظواهـريّة المـميّزة للسـائل، مثـل موتّـر الضغـط P، ومعامِل الـلزوجة η، ومعامِـل التوصيـل الحراري K (تـمّ إسقاط حـدٍّ يعتمد علـى اللزوجة في المعادلة الثـالثة من أجل التبسيط)

لاحظ أن المعـادلة الأولـى هي في الواقـع مجرد معـادلة الاستمـرارية للسـائل. أمّا المعـادلة الثـانية فتؤول إلـى معـادلة أويلـر (أو بشـكلٍ مـكافئ إلـى قانـون نيـوتن) إذا تـمّ ضبط الـلزوجة علـى الصفر، إذ ضـمن الصـورة الأويلـريّة لميكانيـك الموائـع يعطي الجـانب اليسـار من المعـادلة والممثِّـل للاشتقـاق الجسيـمي التسـارعَ، بينمـا يعبِّـر عن القـوّة المؤثِّرةِ الجـانبُ الأيمن

ما يتعلمه المرء من مقـاربة معادلة بولتزمان لمثل هذه المنظـومة الظواهـريّة من المعـادلات العيـانية هـو أن البارامتـرات الظواهريّة نفسَـها يمكن فهمها على أنها متوسّـطات معينة على درجـاتٍ مجهرية من الحـرية، وبالتالي يمكن حسـاب التصحيحـات عليها من حيث المبدأ بطـريقة منهجية

نـرى أن مثـل هذه المعـادلات تأخذ شـكلًا معقدًا إلـى حدّ ما، ومـع ذلك فـهي ليست سـوى تعبيرٍ عن عـدد من قـوانين المصـونيّة البسيطة المُـطبَّقة على منظـومةٍ متعـدّدة الجسيمـات، حيث تُمثِّـل الجـوانب اليسـرى فقـط النقـلَ بـسبب الحمـل الحـراري الحـرّ للتـدفق المتضـمِّن إجـراءَ عمـليّة اشتقـاق جسيمي، بينمـا تحتـوي الجوانب اليمنـى على تأثيـرات الإجهاد والـلزوجة، ما يؤدي إلى سـلوك انتثـاري مُعقَّد للمائع قـد يؤدي إلـى تـدفّق مضطـرب دوّاميًّا

يمـكن استخـدام المعـادلات لـوصف تدفقـات السـوائل عبـر الأنـابيب، وفي الأنهـار، وحـول السفن أو أجنـحة الطائـرات. في حـالات خـاصة، من الممـكن إجـراء تبسيطات كبيرة للمعـادلات. على سبيل المثال، يمـكن بسـهولة اشتقاق معـادلة برنـولي التي تربط بين الضغط والسـرعة لتدفق السـوائل الثابتة، وكذلك معادلة انتشـار الموجات الصـوتية، لأنها مجرد موجات كثـافة طـولية. كمـا أنـه عند ضبـط حقل السـرعة u علـى الصفـر، تؤول معادلة الطاقة بشـكل أسـاسي إلـى معـادلة الانتثار لتـدفق الحرارة

موضوعة الاختيار

د. عمران دلول

مدرس في الجامعة الافتراضية السورية SVU

تُعتبـر موضوعة الاختيار واحـدةً من أكثر القضايا جدليةً في الرياضيـات من حيث أنّ نتائجها تتصادم مع الحدْس أو الفطـرة. تنـص هذه الموضـوعة ببسـاطة على أنه إذا كانت لدينا تشـكيلةً من المجموعات المنفصلة وغير الخـالية، فعندها يمـكن "اختيار" عنصر من كل مجموعة وتشـكيل "مجموعة" ذات عناصر غير مكرَّرة

أليـست هذه الموضـوعة واضـحةً بحـدّ ذاتهـا ولاتستـحق المنـاقشة؟

في الـحقيقة، تبـدو هذه الموضوعة للوهـلة الأولى كذلـك ، لـكن إن أمعنّـا النظر ستظهر الإشـكالية. إننا نحن البشـر كائنـات محدودة نـعيش في عالمٍ محدود، لذا من الطبيـعي أن نتخيـل أنّ هذه الموضـوعة تعبـر عن تشـكيلة منتـهية من المجموعـات غيـر الخـالية والمنفصـلة. ففي هذه الحـالة ستغـدو الموضـوعة

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

استعارة راسل حول أهمية موضوعة الاختيار، ففي حال غياب القانون نكون أمام ورطة

مقبولة ولاتحتاج للذكر. لكن إن تأملنا حالة أنّ التشكيلة مؤلفة من عدد "غير منتهٍ" من المجموعات المنفصلة فستكون المسألة أكثر تعقيداً. ولتوضيح الأمر لابدّ من ذكر استعارة الفيلسوف وعالم الرياضيات العريق برتراند رسل والتي نوجزها كما يلي

لنتخيل لو أنّ لدينا تشكيلةً لانهائيةً من الجوارب وطُلِبَ انتقاء جورب واحد من كل زوج، فعندها ستكون المسألة بسيطة حيث سنختار الجورب " اليساري" من كل زوج وبذلك يتم المطلوب. لكنّ المشكلة تكمن في حالة أنّ تشكيلة الجوارب هذه متجانسة، فعندها "سيصعب" الاختيار ونكون أمام مشكلة. يعود السّبب في ذلك لغياب "القانون" الذي بموجبه يتم الاختيار، ففي حالتنا كان القانون هو الجورب "اليساري". أمّا في الحالة الثانية، وفي ظل غياب هذا القانون أصبح الأمر مربكاً

لتلافي هذا الأمر، تمّ وضع موضوعة الاختيار التي تضمن "اختيار" عنصر من كل مجموعة من دون وجود "قانون" للاختيار وبغض النظر عن عدد عناصر التشكيلة (فقد تكون غير قابلة للعد!) والحصول على مجموعة من دون إنشاء مسبق كما في حالة الاستقراء والعلاقات التراجعية

إذاً نفهم من هذه المناقشة أنّ موضوعة الاختيار تضمن وجود مجموعة ذات عناصر متمايزة من "أية تشكيلة من مجموعاتٍ منفصلة غير خالية" من دون الحاجة لقانون للاختيار وهذا الوجود مضمون من دون عملية إنشائية سواءً بالاستقراء أو بعلاقاتٍ تراجعية أو غير ذلك، الأمر الذي أثار حفيظة عدد كبير من الرياضيين الذين تمسكوا بفكرة الإنشاء

لقد كان أول تطبيق لهذه الموضوعة من قبل الرياضي الإيطالي فيتالي Vitali بالشكل التالي لنعرّف على المجال

$$[0,1]\subset R$$

علاقةً بالشكل التالي:

$$x\sim y\Leftrightarrow x-y\in Q.$$

فعندها نجد أنّ هذه العلاقة هي علاقة تكافؤ. وبذلك تمثل صفوف تكافؤ هذه العلاقة "تجزئةً" للمجال الواحدي. إذاً تشكيلة صفوف التكافؤ هذه تلبي غرضنا من حيث أنّها تشكيلة من المجموعات المنفصلة غير الخالية، حيث يأتي دور موضوعة الاختيار لتضمن وجود " مجموعة" عناصرها مختارة من كل صف تكافؤ وذلك على الرغم من أنّ هذه التشكيلة " غير قابلة للعد". ما يميّز هذه المجموعة هو الآتي

- غير قابلة للعد.

- غير قابلة للقياس وفق مفهوم لوبيغ. الأمر الذي يجعلها تتغير بالطول عند إجراء دوران أو انسحاب لها وهذا ما يتعارض من الحس العام من حيث أننا معتادون على فكرة أنّ المجموعة يبقى

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

طولهـا على حاله عند إجراء أو انسـحاب أو دوران لها

ولاحقـاً استخدمهـا بانـاخ وتارسـكي في برهـان حقيقة مثيـرة للدهشة وهي ماندعوها اليوم بمفارقة بانـاخ – تارسـكي والتي تنص على أنـه إذا كانت لدينا كـرةً صـلبة وقمنـا بتفكيكها لخمـسة أجزاء ثـمّ قمنا بتدويـر هذه الأجزاء وإعـادة تجميعها، فسنحصل على كـرتين كل منهمـا تشـابه الأصـل بـدلاً من واحـدة. يكـمن الأمـر في أنّ القطـع الخمسة هذه عبـارةً عن مجموعـاتٍ غيـر قابلة للقيـاس تم إنشـاؤها بناءً على موضـوعة الاختيـار. ولذلـك عنـد تحريـك هذه القطع سيتغيـر حجمها أو طولهـا وذلك لأنّ خـاصية اللاتغير أو الصمـود Invarience في القيـاس تنحصر فقط في مجموعـات لوبيغ

أوجه موضوعة الاختيار

هنـاك عبـارات مكافئة لـهذه الموضـوعة ونذكر منها مبـدأ التـرتيب الحـسنWell-Order Principle ذلـك المبـدأ الذي استخدمـه جـورج كانتور لتعـريف الأعداد الترتيبية والأسـاسية Ordinals and Cardinals وذلك " لعـد" عناصـر أية مجمـوعة من خلال تذييـل عناصرها بأدلة مأخـوذة من عددٍ تـرتيبي ما، حيث نعني بالتذييل هنا إنشـاء تقابل واحد لواحد ما بين المجموعة وعناصر عـددٍ تـرتيبي ما. فقد عرّف كانتور العـدد الترتيبي بأنه مجمـوعة مـرتبة جيداً بـعلاقة الانتماء بـحيث أنّ عنصر فيهـا عبـارة عن مجمـوعة جزئية فيها. ولعـلّ من بين التطبيقات هو إنشـاء مبدأ الاستقـراء العابر للمنتهي Transfinite Induction ذلك المبدأ الواسـع الاستخدام في الهنـدسة الذي يتيـح لنـا "عـد" مستقيمـات المستوي وتطبيق هذا المبدأ لإنشـاء مجموعة مؤلفة بالضبـط من عنصرين من كل مستقيم Two-point Set. المـدهش أنّ هذه المجموعة غيـر قابلة للقياس وفق مفهوم لـوبيغ. إضافةً للعديـد من الأمور الهامة في نظـرية المجموعـات والهنـدسة، حيث استخدم كوديل هذا المبـدأ لـرد الرياضيات بأكملهـا لنظام المجموعات حيث رتّبـه لطبقـاتٍ بناءً على هذا المبـدأ. يُدعى حالياً هذا التسلسل بتسلسـل فون-نيومان للمجموعات The von Neumann hierarchy of sets

وأيضـاً هناك عبـارة مـكافئة وهي تمهيدية زورن Zorn's Lemma واسـعة الاستخـدام ولاسيمـا في برهـان أنّ لكل فضـاءٍ شـعاعيَ "قاعدة"

نخلـص من هذه المنـاقشة لتبيـان أنّ موضـوعة الاختيـار " متأصـلة" في الرياضيـات. بـل إنهـا جوهـر وليـست "عَـرَضْ" لمـا لهـا من الأهـمية الكبـرى في إثبـات العديـد من القضايـا الريـاضية. لطالمـا كانت الرياضيـات عديـمة الجـدوى من دون اللانهـاية فيها، فإنهـا ستكـون كذلـك في غيـاب هذه الموضـوعة

مراجع للاستزادة:

1-Ivan Khatchatourian, The Axiom of Choice, available at: https://www.math.utoronto.ca/ivan/mat327/docs/notes/11-choice.pdf

2-Avery Robinso, THE BANACH-TARSKI PARADOX available at: https://math.uchicago.edu/~may/REU2014/REUPapers/Robinson.pdf.

3- SYLVIA DURIAN, SOME TRANSFINITE INDUCTION DEDUCTIONS, available at: http://math.uchicago.edu/~may/REU2018/REUPapers/Durian.pdf

4- BURAK KAYA, SET THEORY, Lecture notes, available at: https://users.metu.edu.tr/burakk/lecturenotes/320lecturenotes.pdf.

5- Vitali Set, https://en.wikipedia.org/wiki/Vitali_set

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

نوبل في الفيزياء

"تُعد جائزة نوبل رمزًا عالميًا للتميّز الإنساني، شاهدةً على إبداع الإنسان ومثابرته في السعي وراء المعرفة. أُسست الجائزة وفقًا لوصية ألفريد نوبل عام 1895 لتكريم الإنجازات البارزة في مجالات الفيزياء، الكيمياء، الطب، الأدب، السلام، والعلوم الاقتصادية. وفي مجال الفيزياء تحديدًا،ٌتبرِز الجائزةُ الاكتشافاتِ التي وسّعت مداركنا عن الكون، بدءًا من أدق الجسيمات إلى الفضاء الشاسع. يتم اختيار الفائزين بعناية فائقة كل عام لضمان أن عملهم يمثل تقدماً كبيراً، مما يلهم الأجيال القادمة لمزيد من الابتكار والاستكشاف. . تهدف هذه السلسلة من المقالات الى تسليط الضوء على الإنجازات الاستثنائية للفائزين بالجائزة فى الفيزياء، ومساهماتهم التي أثرت في العلم الحديث وفهمنا للعالم."

هانز ألففين Haans Alfven
رائد فيزياء البلازما

ولد هانز ألففين في 30 مايو 1908 في العاصمة السويدية ستوكهولم. أبدى هانز اهتمامًا مبكرًا بالعلوم، وكان شغوفًا بشكل خاص بالرياضيات والفيزياء. حصل على درجة الدكتوراة في الفيزياء النظرية من جامعة أوبسالا عام 1934. خلال هذه الفترة، كانت الفيزياء النظرية في مرحلة تطور هائلة، بفضل إسهامات علماء مثل ألبرت أينشتاين ونيلز بور. إلا أن هانز اختار التركيز على المجالات التي لم تكن قد نالت نفس القدر من الاهتمام مثل فيزياء البلازما.

في منتصف القرن العشرين، كان فهم البلازما، التي تشكل حوالي 99% من الكون المرئي، لا يزال في

بداياتـه. قـاد هـانز الثـورة العلـمية في هذا المجال من خلال تقديمـه نظريـات جديدة حـول كيفية تفاعل البلازما مـع الحقول المغناطيـسية. كانت إحدى أعظم إسـهاماته هي تطوير نظرية المغناطوهيدروديناميكا (Magnetohydrodynamics) والتي تـدمج بين ديناميكات السـوائل والكهـربية المغناطيسية لوصف سـلوك البلازمـا. تعتمـد المغناطوهيدروديناميكا على فكـرة أن البلازمـا تعمل كسـائل مغناطيـسي يتفاعل مـع الحقول المغناطيـسية والكهربـائية. يمكن لهذه النظـرية أن تفسـر الظواهر الطبيعية مثـل التوهجات الشـمسية والريـاح الشـمسية والشفق القـطبي. وتستخـدم أيضـا في تصميم المفـاعلات النووية التي تعتمـد علـى الاحتـواء المغناطيسي، وهو الأسـاس لفهم الطـاقة النـووية الاندماجية

في عـام 1970، حصـل هـانز ألففين على جـائزة نوبل في الفيزيـاء تكريمًـا لإسـهاماته الرائـدة في فيزياء البلازمـا. في البـداية، لـم تـحظَ نظرياته بقبـول كبير من المجتمـع العلمي. كان هناك تـردد بين الفيزيائيين التقليـديين في قبـول تطبيقات نظرية السـوائل على البلازمـا، لكن بمرور الوقت، ومع تزايـد الأدلة التجريبية علـى صـحة أفـكاره، أصبـح هـانز أحـد أعظـم علماء الفيزيـاء في عصره

إلـى جانب عملـه في فيزيـاء البلازما، لعب هـانز دورًا بـارزًا في تطويـر علـم الفضـاء الحـديث. قـدم هـانز نظريات حول كيفية تأثيـر المجالات المغناطيسية على جسيمـات مشـحونة في الفضـاء، وقد سـاعدت هذه الأفـكار في تفسيـر ظواهـر مثـل الحزام الإشـعاعي للأرض (حزام فان ألين) والرياح الشـمسية. أثرت أعماله على الـرحلات الفضـائية والبحـوث المتعـلقة بطبيعة الفضـاء بين الكـواكب والمجرات.

نشـر هـانز ألففين أكثـر من 200 ورقة بـحثية خلال مسيرتـه الأكاديمية. كما ألّف عددًا من الكتب العلمية. من أبـرز هذه الكتب

1. "Cosmical Electrodynamics". (الديناميـكا الكهربـائية الكـونية): يعـد هذا الكتـاب أحـد أعظـم إسـهاماته، حيث قدم فيه المبادئ الأسـاسية لتفاعل البلازمـا مـع الحقـول المغناطيـسية
2. "Worlds-Antiworlds: Antimatter in Cosmology" (عوالم-عوالـم مضـادّة: المـادة المضـادة في علـم الكـون): تنـاول في هذا الكتاب نظرياتـه حول المادة والمـادة المضـادة في الفضاء
3. "Atom, Man, and the Universe" (الذرة والإنسـان والكـون): يعـرض هذا الكتـاب أفكاره حول تأثيـر الفيزيـاء علـى الحيـاة والكون.
4. "Evolution of the Solar System" (تطـور النظـام الشمسي): شارك في تأليفه مع غوستاف أرهينيوس، ويتنـاول الكتـاب النظريـات المتعـلقة بتطـور النظام الشـمسي من منظور فيزيائي
5. "Living on the Third Planet" (الحيـاة علـى الكوكب الثالث): يتنـاول هذا الكتاب البيئة والأرض من منظـور علـمي بيئي، وهو من الـكتب التي كتبها مع زوجته كيـرستين ألففين
6. "Cosmic Plasma" (البلازمـا الكـونية): يعتبـر هذا الكتـاب من الـكتب المتخصـصة في دراسة البلازمـا الكـونية وتأثيراتهـا علـى الظواهر الفضـائية.

إلـى جـانب أوراقه البـحثية وكتبه، ألقى هـانز العديد من المحاضـرات وشـارك في العديـد من المؤتمـرات العلـمية الـدولية. كان لـه تأثيـر كبيـر في تطويـر المنـاهج الـدراسية المتعـلقة بفيزيـاء البلازما وعلوم الفضـاء في الجامعـات حـول العالم

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

مسألةٌ للطلاب

نهـدف في هذه الزاوية إلـى تـدريب طلاّبنـا علـى حلّ بعض المسـائل التي تتطـلّب بعض التفكيـر. نختار عادةً مثل هذه المسـائل من الأسئلة التي تُلقى في المسـابقات (ومنها مسـابقات الأولمبيادات الدوليّة). في كلّ عـدد، سـوف نعـرض حلّاً لمسألة عُرضت في العدد السـابق ونقدِّم مـسألة جديدة

مسألة غير محلولة (فيزياء، سنة ثانية)

يوجد غـاز إلكتروني ذو كثافة منخفضة ضمن منطقة يخيّـم فيها حقـل مغناطيسي في الاتّجاه z شـدّته تحقّق

$$B \gg \frac{mk_BT}{\hbar e}$$

حيث T درجة الحـرارة؛ m eg كتلة وشـحنة الإلكترون على التـرتيب. تحصر الجدرانُ التي تُعَدّ حواجز كمونية عالية الغـازَ ضمن المنطقة

$0<z<L$ ،

ونـرمز بـ p_0 لضغـط الإلكترونـات الأوّلي على هذه الجدران.

تَرِد موجةُ صدمٍ بشكلِ حاجزٍ كموني ارتفاعُه U0=100 kB T وتنتشـر بسـرعة u ضـمن هذه المنـطقة، مـا يـعني أنه بينما تكـون الطاقة الـكامنة للإلكترونات معـدومةً من أجـل z > ut، فإن هذه الطـاقة تغـدو U_0 من أجل z<ut.

أوجِـد الضغـط المُطبَّق علـى الجدران عندمـا تقطع المـوجةُ المسـافةَ L بين الجـدران. افترِض أن

$$u \ll \sqrt{\frac{k_BT}{m}}$$

وأهمِل الكمون الكهرسـاكِن للتأثـر بين الإلكترونات، كما افترِض الغازَ غيـر منحلّ وبالتالي يمكن استخدام توزيع ماكسويل.

مسألة العدد الماضي (فيزيـاء، بعد إتمام مُقـرَّر أوّلي في علم الكون)

تُطلَق رصاصةٌ ضمن كون روبرتسون-ووكر المتمدد،

$$ds^2 = -dt^2 + R^2(t)\left[\frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2\left(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2\right)\right]$$

سـرعتها V_1 (بالنـسبة لراصِـدٍ كـوني ثـابت في الإحداثيات المتحـركة ضمن تمدد الكون comoving). بعـد برهة تمـدّد خلالها الكون بمقـدار عامِلِ مقاسٍ (scale factor): $(1+z)^{-1}$، غدت سـرعةُ الطلقة بالنسبة للراصـد الكـوني الموضـعي في موضـع الرصـاصة الجديـد مسـاويةً لــ V_2. نعتبر c=1. بـرهن العلاقة

$$\frac{\gamma_2 V_2}{\gamma_1 V_1} = \frac{1}{1+z} : \gamma(V) = (1-V^2)^{-\frac{1}{2}}$$

واستنتِج عبـارة الانزيـاح نحـو الأحمـر المـوافقة للفوتونـات

الحل

بتـطبيق قانـون هَبْـل ($\delta V = Hdr$) وتـركيب السـرعات المـوازية لمحـور واحـد في النـسبيّة الخـاصّة

$$(u \circ v = \frac{u+v}{1+uv})$$

تغدو السـرعة الصرفة للرصاصة التي تمرّ بسرعةٍ V في مرجـع صـرفٍ موضعي مـوافقٍ لراصد كوني مسـاويةً في مرجـعٍ صـرفٍ موضعي مـوافق لراصد كـوني آخر

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

بعــد اجتيازها مســافة صرفة dr لـ

$$V - (1 - V^2)\ V\, dR/R$$

مع إهمال الحدود من الرتبة الثانية وأعلى للمقدار dr لأنه لدينا:

$$\delta V = Hdr = HVdt = \frac{\dot{R}}{R} Vdt = V\frac{dR}{R}$$
$$V' = \frac{V - \delta V}{1 - V\delta V} = V - (1 - V^2)\delta V + O(\delta V)^2$$
$$= V - (1 - V^2)\ V\frac{dR}{R} + O(\delta V)^2$$

نستنتج $\boldsymbol{\gamma(V) = (1 - V^2)^{-\frac{1}{2}}}$ لأنه $\frac{\gamma_2 V_2}{\gamma_1 V_1} = \frac{1}{1+z}$:

$$\frac{dV}{dR} = -(1 - V^2)\frac{V}{R} \Rightarrow \frac{dV}{V(V^2 - 1)} = \frac{dR}{R} = dV\left(\frac{-1}{V} + \frac{1/2}{V+1} + \frac{1/2}{V-1}\right)$$
$$\Rightarrow \ln R = -\ln V + \frac{1}{2}(\ln(1+V) + \ln(1-V)) + C = \ln\frac{\sqrt{1-V^2}}{V} + C$$
$$\Rightarrow \gamma V = \frac{V}{\sqrt{1-V^2}} = \frac{c}{R} = c(1+z) \Rightarrow \frac{\gamma_2 V_2}{\gamma_1 V_1} = \frac{1+z_2}{1+z_1} \overset{z_2=0\ (R_2=1)}{=} \frac{1}{1+z}$$

إذن من أجل جسيم بكتلة غير معدومة فإن الاندفاع النسبوي ينزاح نحو الأحمر بمقدار (1+z) مع تمدّد الكون.

من أجل الفوتونات:

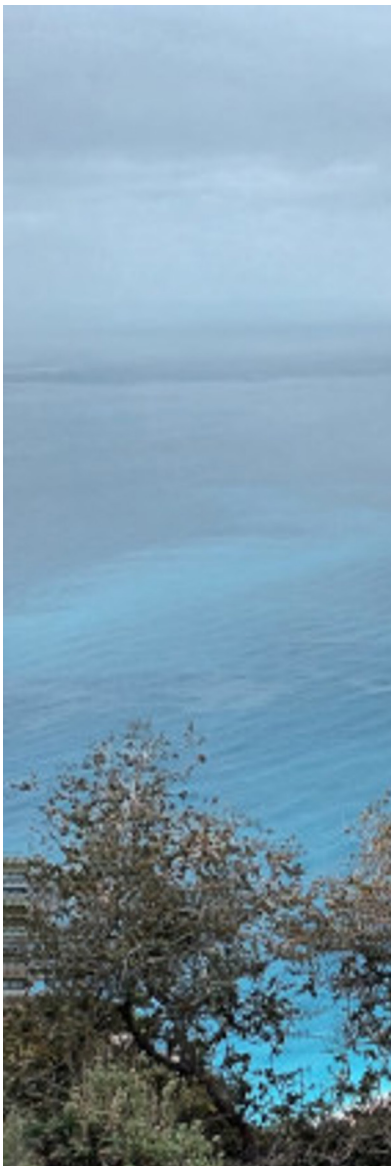
$$V \to 1 \Rightarrow E = P = h\upsilon$$
$$P = m\gamma V \Rightarrow \frac{\gamma_2 V_2}{\gamma_1 V_1} = \frac{P_2}{P_1} \overset{photon}{=} \frac{h\upsilon_2}{h\upsilon_1} = \frac{\upsilon_2}{\upsilon_1} = \frac{1}{1+z}$$

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

إعلان
مؤتمر دولي في فيزياء الطاقات العالية

أنطاليا-تركيا

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء



يمثـل المؤتمـر الـدولي لفيزيـاء الطـاقة العـالية (ISHEP) تجمعًـا مهمًـا للعلمـاء والبـاحثين والخبـراء في مجـال فيزياء الطاقة العـالية. وباعتباره المؤتمـر الافتتاحي في سلسـلة من المؤتمـرات المخطط لهـا في أنطاليا، تركيا، يهـدف الـ ISHEP إلى توفير منصة شـاملة لمناقشة ونشـر أحـدث التطورات في كل من الجـوانب التجريبية والنظرية لـهذا المجال

سـوف يتضـمن المؤتمـر عروضًا ومحاضـراتٍ رئيـسية ومناقشـاتٍ جماعية وجلسـاتِ ملصقـات تغطي مجموعة واسـعة من الموضوعات في مجال فيزيـاء الطاقة العالية، ويشـمل ذلـك على سبيـل المثـال لا الحصر المناقشـات حـول المكونات الأسـاسية للمـادة وتفاعلاتها واستكشـاف الجسيمات والقـوى الجديدة التي تتجـاوز النموذج القيـاسي في فيزيـاء الجسيمـات. بالإضافة إلـى ذلك، سيكون علـم الكونيات نقطة محـورية، مـع استكشـاف أصـول الكـون وتطـوره وبنيته واسـعة النطـاق، بما في ذلـك موضوعات مثـل المادة المظلمة والطـاقة المظلمة والتضخم وإشـعاع الخلفية الكـونية المِكـروية والنتـائج التجـريبية من مصـادم الهدرونات الكبيـر (LHC). علاوة علـى ذلك، سيتـم التركيز على الأبحـاث في فيزيـاء الكون في لحظاتـه الأولى، بما في ذلـك ديناميكيـات الانفجـار العظيم، والتخـليق النووي البـدْئي، وتوليد الهياكل الكـونية، والاختراقـات الأخيرة في اكتشـاف الموجـات الثقالية

يوفر ISHEP فرصة فريدة للباحثين لمشـاركة نتائجهـم وتبادل الأفكار وتعزيز التعاون مـع الزملاء من جميـع أنحـاء العالم. سيعمل المؤتمـر أيضًا كمنصة لطلاب الدراسـات العليـا والبـاحثين في بـداية حياتهم المهنية من أجل تقديـم أعمالهم والتواصل مع المتقدّمين في هذا المجال

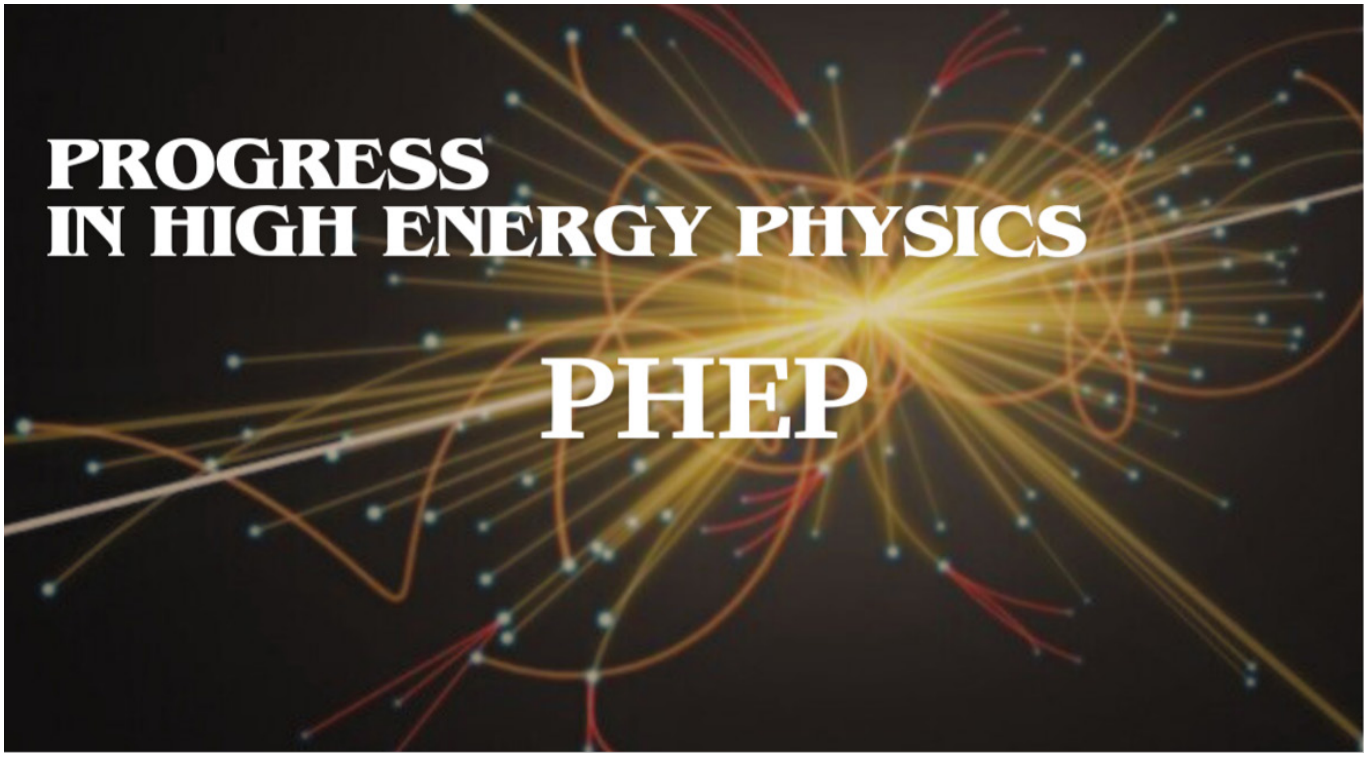
موعد المؤتمر: 21-18 أكتوبر/تشرين الأوّل 2024

انتهز الفرصة وسارع للتسجيل

إعلان عن إطلاق مجلّة

"التقدُّم في فيزياء الطاقات العالية"

تصــدر عن دور نشــر أندروميــدا، المملــكة المتّحدة، ويــرأس تحريرَها الدكتــور شــعبان خليل رئيس الجمــعية العــربية للفيزياء

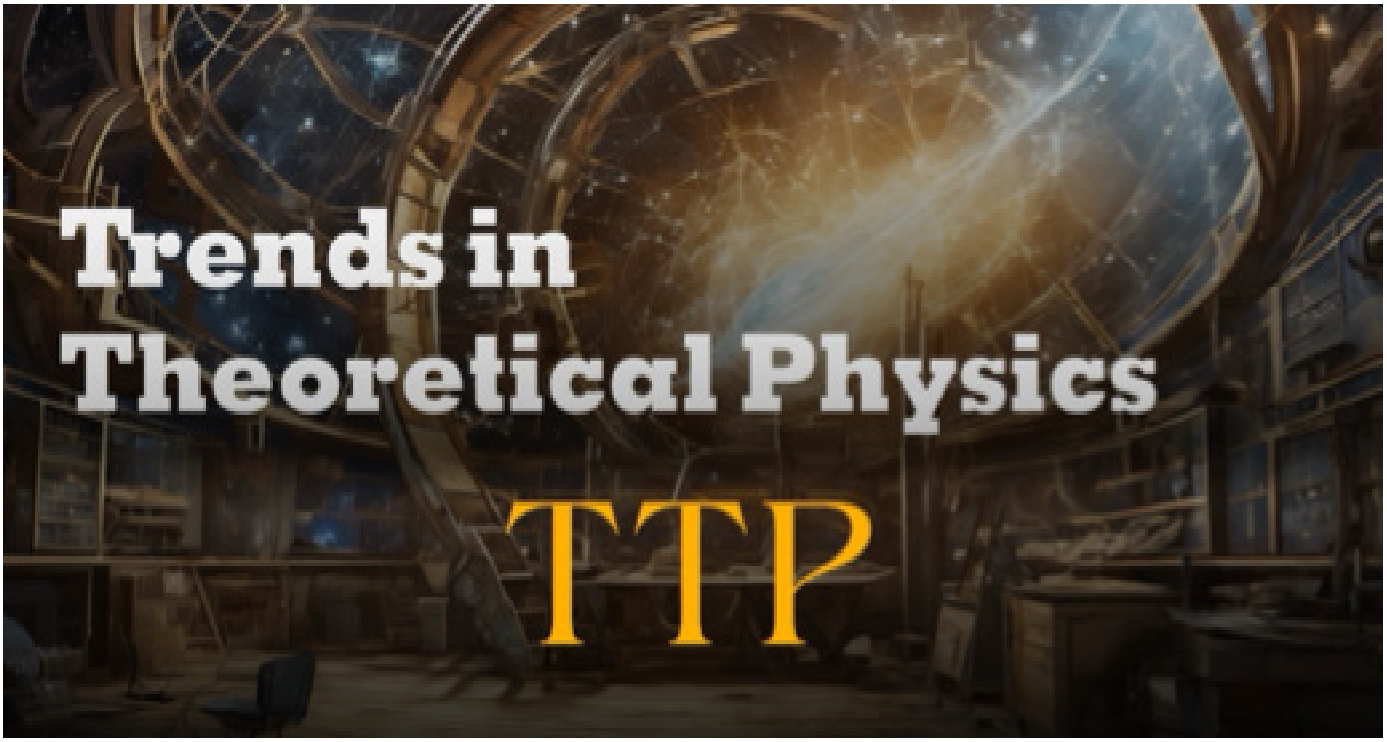


"التقــدم في فيزيــاء الطاقة العالية" (PHEP) هي مجــلة مُحكَّمة مفتوحة المصدر تركِّز علــى الجوانب النظرية والظواهــرية والتجــريبية لفيزياء الجسيمــات، فضلاً عن الجــاذبية وعلم الكونيات والكون المبكــر. تهدف مجلة التقــدم في فيزيــاء الطــاقة العالية إلــى تزويد مجتمع فيزيــاء الطاقة العالية بمنصةٍ لنشــر ورقاتٍ ورســائل ومراجعــاتٍ شــاملة للنتــائج المهــمة في هذا المجال، فتهدف إلى تســهيل نشــر الأبحاث والــرؤى الرئيسية، والمســاهمة في تقــدم المعرفة وتعزيز الحــوار بين الباحثين

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

"اتّجاهات الفيزياء النظريّة"

تصـدر عن دور نشـر أندوميـدا، المملـكة المتّحدة، ويـرأس تحريرَها الدكتور نضال شـمعون عضو مجلس إدارة الجمـعية العربية للفيزياء



مجـلة "اتجاهـات الفيزيـاء النظـرية" (TTP) مجـلة أكاديمية شـاملة مُحكَّمة دوليًّـا ومفتوحة المصـدر، ملتزمة بنشـر الأبحـاث والتطـورات الرائـدة في الفيزيـاء النظرية، مُقـدِّمةً منصةً محـورية للعلماء والبـاحثين من أجل المشـاركة في تبـادل الأفـكار والتعـمق في الاتجاهـات المتطورة والمتنـوعة داخل الفيزيـاء النظرية

تغـطي مجـلة TTP مجمـوعة واسـعة من المواضيع ضـمن الفيزياء النظـرية، بما في ذلك علـى سبيل المثال لا الحصـر: الفيزيـاء الفلـكية، فيزياء المادة الـكثيفة، النسبية العامة وعلـم الكونيات، فيزياء الطـاقة العالية، الفيزيـاء الريـاضية، الفيزيـاء النووية والبلازمـا، المعلومات الكمـومية والحـوسبة الكمومية، الفيزيـاء الذرية والجزيئية والكيميـاء الكمـومية، الفيزيـاء الإحصائية والفيزياء الحيـوية النظرية

ترحب المجلة بالمسـاهمات التي تغطي الأبحاث النظرية والمحاكاة الحاسـوبية والدراسـات متعددة التخصصات التي تسـاهم في تعزيز فهمنا للمبادئ الفيزيائية الأسـاسية وتطبيقاتها عبر مجالات مختلفة

© 2024 الجمعية العربية للفيزياء

هذه المجلة

- صادرة عن الجمعية العربيّة للفيزياء ArPS
- تهـدف إلـى تبسيط العلـوم الفيزيـائيّة والريـاضيّة وجعل المعارف العـميقة في هذه العلـوم متـاحةً أمـام القارئ العـربي المثقَّف

يحوي العدد الثالث:

- مقابـلةً مـع الأستـاذ الدكتور محمد حاج علي حـسن المدير التنفيذي المؤسِّـس ثم رئيـس الأكاديمية العالـمية من أجل تقدّم العلوم في البلـدان النامية TWAS
- مقالاً أساسيًّا يغطّي موضوع فيزياء البلازما وخصائصها وتطبيقاتها العملية
- أربـعة مقـالات عن الظواهر اللاخطية في بلازما الفضـاء، وعن تخليق الانفجار الكبير النـووي واستخدامـه في اختبـار نظريـاتٍ في الثقالة المعـدّلة، وعن فيزيـاء الزجاج، وعن التقـانة النانوية.
- تغـطيةً لأخبـار علميّة متنـوّعة تمتدّ من أسـرع مجهر لرؤية حـركة الإلكترونات، إلى تجـربة NA62 ومـا قـد تعنيـه من فيزياء خارج نطـاق النموذج القيـاسي للجسيمات، مـرورًا بظواهر فلكيّة عديـدة وغيره
- مواضيـعَ إثـرائيّة عديدة، منها معـادلات بولتزمان ومعـادلات نافييه-ستوك المهمّة في فيزيـاء البلازمـا، مع استعـراضِ كتبٍ مرجعيّة وعرضِ مـسألةٍ ذات فوائد تعليميّة، بالإضـافة إلـى إعلانـاتٍ عن مؤتمـرٍ لفيزياء الطاقـات العـالية وعن انطلاق مجـلّتَين علـميّتَين ذواتَي صـلةٍ بالجمعية العـربيّة للفيزياء
- نبذة عن الأستـاذ الدكتـور مـكي الحـسني كشخـصية علـمية عـربية، وعن العالِـم هانيـس ألففِن كحـائزٍ علـى جـائزة نوبـل عن أعمالـه في فيزيـاء البلازما.