المقتطف

الجزء الرابع من المجلد الثامن والتسعين

١ ابريل سنة ١٩٤١ — ٣ ربيع اول سنة ١٣٦٠

سر طاقة الشمس

وأدوار زيدتها ونقصانها

لاحياة على الارض ولا حركة بغير أشعة الشمس . فما مصدر طاقتها ؟ ومتى بدأت تولدها وتخزنها ؟ والى متى تستطيع أن تمضي تمدنا بها ؟ وكيف نشأت شمسنا وما يكون مصيرها ومصير ارضنا بعد أن تنفد مصادر طاقتها

قيس مقدار مايقع عمودياً من اشعاع الشمس على مساحة سنتمتر مربع من سطح الارض في الثانية فاذا هو ١٣٥٠٫٠٠٠ ارج (erg) وذلك بعد حساب مايمتصهُ الهواء في خلال اختراق الأشعة لهُ . فاذا حوّلنا هذا القدر من الطاقة الشمسية الى مايقابله من طاقة الفحم ، وجدنا أن أرضاً مساحتها نصف مائة قدم مربعة تتلقى من طاقة الشمس في يوم عادي قدراً يعدل الطاقة المستخرجة من فحم ثمنهُ بضعة جنيهات . وغنيٌّ عن البيان أن الشمس تتلقى جزءاً صغيراً جداً من مجموع مايشعهُ الشمس من طاقة في الفضاء

وتقدَّر حرارة سطح الشمس بنحو ستة آلاف درجة . وليس في العالم مادة لا تتحول غازية بفعل حرارة هذه شدتها . ولذلك فجميع العناصر على سطح الشمس في حالة غازية . وتدل مباحث أخرى رياضية وتجريبية على أن حرارة قلب الشمس تبلغ عشرين مليون درجة أو أكثر قليلاً . ولو كان في الوسع أن نصنع مدفأة صغيرة لا يصهر معدنها بفعل الحرارة العالية وولدت

فيها شعلة حرارتها من رتبة حرارة قلب الشمس ، لكفت حرارة هذه الشعلة لاشعال كل مايقع حول المدفأة في دائرة نصف قطرها مائة ميل

ومن الخطإ أن نظن أن الغازات في الشمس لطيفة مخلخلة البنيان . فالغازات التي تحاوطها على سطح الأرض أنظف وأقل كثافة من السوائل والجوامد . ولكن الضغط في باطن الشمس عالٍ جداً يبلغ عشرة آلاف مليون جوّ . ففي حالة كهذه تضغط الغازات حتى لقد تفوق في كثافتها كثافة السوائل والجوامد المألوفة أي إنها في حالة طبيعية غير مألوفة على سطح الأرض

وشدة الضغط وقبول الغازات للانضغاط يفضيان الى زيادة الكثافة في مادة الشمس زيادة كبيرة سريعة وفقاً للانتقال من سطح الشمس الى قلبها . وقد حسب فريق من العلماء أن كثافة قلب الشمس أعظم من كثافة الشمس جملة واحدة نحو خمسين ضعفاً . ولذلك يعتبر العلماء أن كثافة الغازات في قلب الشمس تفوق كثافة الزئبق ستة أضعاف . ويقابل هذا أن غاز طبقات سطح الشمس لطيفة ، والضغط الجوي في جوّ الشمس — Chromosphere وهو غلافها الخارجي — لا يبلغ أكثر من جزء من الف من ضغط هواء الأرض

فعند ما نسأل ما مصدر حرارة الشمس ، متذكرين درجات هذه الحرارة العالية ، نعلم أن عمل الاحتراق المعروف على سطح الأرض لا يكفي لتوليد هذه الحرارة العالية ولا لتوليدها مدة طويلة كافية تتفق وعمر الشمس . فقد ما تحرق غراماً من الفحم تولد طاقة لا تزيد على جزء من خمس مائة الف جزء من الطاقة التي تولدها غرام من كتلة الشمس في خلال تاريخها . ولو كانت الشمس من الفحم وبدأت تشتعل في عصر الفرعون الأول لما كانت الآن إلاّ رماداً باردا

والحقيقة أن فكرة الاحتراق نفسها لا تتفق وأحوال الشمس . ففي طيف الشمس خطّا الكربون والاكسجين وهما عنصرا الاحتراق . ولكن حرارة الشمس أعلى من ان تدع مجالاً لاحتراق هذين العنصرين . فنحن نفهم الاحتراق على انهُ تفاعل المادة القابلة الاحتراق مع الاوكسجين فتتولد من التفاعل مواد مركبة وتنطلق طاقة حرارة . ولكن شدة الحرارة في كتلة الشمس تحل المركبات المعقدة الى عناصرها . فبخار الماء يحل ايدروجيناً وأوكسجيناً وثاني اكسيد الكربون يحل كربوناً وأوكسجيناً . فالغازات التي تتقوم بها كتلة الشمس يجب ان تكون عناصر لا مركبات

***

وقد عجز علم الطبيعة في القرن الماضي عن تفسير مشكلة طاقة الشمس وسرها . ولكن كشف ظاهرة انحلال المادة الاشعاعي ، واحتمال تحويل العناصر بعضها الى بعض ، اطلقا ضوءاً على هذا

السر الغامض . ذلك ان العلم الحديث أبان أن في باطن نوى الذرّات تختبيء مقادير عظيمة من الطاقة

هذه الطاقة الذرية subatomic التي كشفت أولاً منطلقة من تلقاء نفسها من ذرّات العناصر المشعة ، تنطلق في أحوال خاصة في تيار عظيم تفوق طاقتهُ ملايين الأضعاف طاقة التفاعلات الكيميائية المعروفة كتفاعل الاحتراق . واذا كانت الشمس المكونة من فحم متصل تتحول رماداً في خمسين قرناً أو ستين ، فانها وهي تستمد طاقتها من العالم الذري تستطيع ان تمضي في اطلاق طاقتها العظيمة ملايين والوف الملايين من السنين

إلاّ اننا نعلم أن العناصر المشعة التي من قبيل الاورانيوم والثوريوم ليست على جانب من الوفرة في جسم الشمس بقدر هذه الطاقة العظيمة التي تنطلق منها . ولذلك لا مفرّ لنا من القول بأنّ طاقة الشمس مردُّها الى تحوُّل العناصر العادية المستقرة الى عناصر مشعة

فما هي الأساليب المتبعة في هذا الأنون الكوني ، حيث يحدث تحول واسع النطاق في نوى الذرّات فتنطلق هذه المقادير العظيمة من الطاقة ؟

***

كان الجواب الاول عن هذا السؤال من مقترحات باحثين شابين في سنة ١٩٢٩ احدهما يدعى روبرت أتكنسن والثاني فرتز هوترمانز . ومؤدى رأيهما ان الاصطدامات التي تقع في قلب الشمس بين نوى الذرّات المتطايرة ، في جوّ عالي الحرارة ، تحدث تحولاً في هذه النوى من نمط التحوُّل الذي تحدثهُ القذائف التي يطلقها العلماء بوسائلهم القاصرة على نوى الذرات في معامل البحث على سطح الأرض

ويجب ان نذكر ان العناصر في جوّ هذه حرارتهُ الشديدة ، ليست مجموعة من الذرّات والجزيئات ، بل هي نوى ذرّات جردت من كهيرباتها وكهيرباتفصلت بعضها بعض . ونحن نعلم أن الكهيربات تنزع من النوى اذا كانت الحرارة اقل من حرارة باطن الشمس . فصورة باطن الشمس حيث يقع التفاعل بين النوى مولداً مقادير عظيمة من الطاقة ، هي صورة نوى مجرّدة من كهيرباتها وكهيربات منفصلة بعضها عن بعض وجميعها تتحرك هنا وهناك بغير ضابط أو نظام

ودوام الاصطدامات بين النوى في باطن الشمس بفعل الحرارة العالية والحركة ، يجعل تأثير الاصطدام اعظم واقوى من طريقة قذف النوى في معمل البحث بقذائف شتى . فاذا اخذنا قدراً من مزيج الايدروجين والليثيوم وأحميناه الى درجة واحدة فان الاصطدامات الشديدة بين دقائق هذين العنصرين تستمر حتى تتحوّل جميع النوى الى هليوم . وفي هذه الحالة ينطلق

من النوى المتحوّلة ، في اثناء تحولها ، قدر عظيم من الطاقة يكفل استمرار حماوة المزيج الى ان تفد النوى المعرّضة لهذا التحوّل

فتكل الحاجة الى رفع درجة حرارة المزيج حتى يبدأ التفاعل

والغالب ان الشمس بدأت عمرها كتلة ضخمة من غاز على درجة واطئة من الحرارة ، وان حرارتها ازدادت رويداً رويداً بتأثير التجاذب بين دقائقها ، وبانجذابها تقلصت وكان من أثر تقلصها تولد حرارة جديدة في باطنها ، فلما بلغت حرارة باطن هذه الكتلة الغازية ، درجة كافية لاحداث التفاعل المتقدم وصفهُ بين النوى ، كفى انطلاق الطاقة الذرية من النوى المتحوّلة بتأثير هذا التفاعل ، لمنع الشمس من تقلّص آخر ، ولاستمرار التفاعل بين النوى ، فبلغت الشمس حالتها المستقرة التي هي عليها الآن

***

ان طبقات الشمس الخارجية ، تضبط انطلاق الطاقة من باطنها . فاذا حدث ، لسبب ما ، ان ضعف التفاعل بين النوى المولد للطاقة ، أعقبهُ تقلّص في مجموع كتلة الشمس ، ينشأ عن التقلّص زيادة الحرارة ، — لأن التقلص يفضي الى زيادة معدّل الاصطدام بين النوى — فيعود انطلاق الطاقة الى معدله السابق . واذا حدث لسبب ما ، ان زاد التفاعل بين النوى وزاد مقدار الطاقة المنطلقة ، أعقب ذلك تمدّدٌ ، ينشأ عنهُ زيادة المشع من طاقة الشمس وهبوط في معدل الاصطدام بين النوى ، فيقل التفاعل ويهبط مقدار الطاقة المنطلقة الى معدله السابق

غير ان التفاعل بين الايدروجين والبليوم سريع جداً فلا يكفي منبعاً رئيساً لطاقة الشمس . لأن تحوّل البليوم والايدروجين الى هليوم لا يستغرق اكثر من بضع ثوانٍ اذا كانت الحرارة عشرين مليون درجة . يقابل هذا ان التفاعل بين البروتونات ونوى الأكسجين بطيء جداً فلا يفي في تغيير حرارة الشمس

أما التفاعل الذي يرجع اليهِ معظم ما يتولد في الشمس وما ينطلق منها من طاقة فقد كشفهُ الدكتور هـ ز بيث Herbe! بجامعة كورنيل والدكتور كارل فون فيساكر وهو لا يحصر في تفاعل واحد ولكنهُ سلسلة من التحولات حلقاتها مرتبط بعضها ببعض ، أي انهُ تفاعل مسلسل

فاذا كان مقدار الايدروجين وافياً توقف معدل التحول على نسبة الكربون أو النتروجين في كتلة الشمس . واذا سلّمنا بأن نسبة الكربون في كتلة الشمس تبلغ واحداً في المائة — بحسب علم الفلك الطبيعي — فاننا نجد أن « بيث » استطاع أن يثبت أن مقدار الطاقة

المنطلقة من الشمس على اعتبار ان معدّل الحرارة ٢٠ مليون درجة ، يطابق المقدار المنطلق منها فعلاً . ولكن اذا فرض ان حرارة قلب الشمس ٥٠ مليون درجة فان الدورة تستغرق خمسة ملايين من السنين اي أن كل نواة من الكربون أو النتروجين دخلت في هذا التفاعل تخرج منهُ ثانيةً بعد هذا الزمن وكأنها لم تمس

فاذا ينتظر من تحوّل في شمسنا نتيجة لاستنفاد وقودها الايدروجيني ؟ يبدو لأول وهلة أن هذا يفضي الى نقص مستمر في مقدار الطاقة المتولدة فيها . وهذا يعني أن شمسنا سالكة طريقاً يفضي بها رويداً رويداً الى التنام والبرودة

ولكن بحث العلامة « جامو Gamow » يدل على ان الشمس على الرغم مما تقدم سالكة الآن طريقاً يفضي بها رويداً رويداً الى زيادة الحرارة والاشراق

ذلك ان معدل التحول في نوى الذرات لا يتوقف على مقدار العنصر المتفاعل (وهو الايدروجين) بل على درجة حرارة التفاعل كذلك . ولا يخفى ان الهليوم الذي يتولد في باطن الشمس نتيجةً لتفاعل الايدروجين، أكثف من الايدروجين وأقل شفوفاً منهُ. فالطاقة السالكة طريقها من باطن الشمس الى سطحها الاشعاع ، تجد في الهليوم ستاراً اخترافه أشق عليها من اختراق ستار الايدروجين فيزيد مجمع الطاقة في باطن الشمس . وهذا يفضي بدوره الى زيادة معدل حرارة الشمس والى زيادة معدل التفاعل النووي وزيادة معدل الطاقة المتولدة من هذا التفاعل . ولا بدَّ من أن يزيد على الزمن برغم ستار الهليوم ، مقدار الطاقة المنطلق من سطح الشمس لكثرة المخزون في باطنها . وبعد انقضاء زمن معين يزداد هذا المقدار مائة ضعف في حين أن مقدار الايدروجين في كتلة الشمس يكون قد قارب النفاد

ولكن هذه الحالة لا تحدث تغيراً في الحرارة المتولدة والمنطلقة فحسب بل تحدث تغيراً في حجم الشمس فيزيد حجمها أولاً — لأن زيادة حرارة الباطن تفضي الى زيادة الحجم فيزيد الاشعاع ويقل التفاعل — ثم بعد ذلك يبدأ حجمها في الضمور

وزيادة حرارة الشمس بمقدار مائة ضعف يرفع معدّل حرارة سطح الارض الى درجة غليان الماء . واذا كانت الصخور لا تنصهر عند ما تبلغ هذه الحرارة ، فالبحار والمحيطات تبلغ درجة الغليان

***

من المتعذر علينا ان نتصور حيًّا ما باقياً على سطح الارض في مثل هذه الاحوال . ولكن يجب ان نذكر ان التغيُّر في اشعاع الشمس بطيء جدًّا . يدلُّ على ذلك ان في اثناء العصور

الجيولوجية المعروفة . خسرت الشمس مقدار واحد في المائة من ايدروجينها ، ولكن معدل حرارة الأرض لم يزد الا بضع درجات

غير ان الارتفاع البطيء المتدرج في معدل حرارة سطح الأرض، يحتمل ان يصحبهُ تطوُّر في عالم الاحياء بحيث تصبح الاحياء قادرة على العيش في بيئة حرارتها أعلى من حرارة بيئتها الحالية . ولكن لما كانت الاحياء العليا — كما نعرفها — عاجزة عن العيش في ماء غالٍ ، فالغالب ان ارتفاع الحرارة يصحبهُ تنكُّسٌ وانحطاط في انواع الأحياء . ولذلك يرجح ان تكون الأنواع العليا من الأحياء قد اندثرت من الأرض قبل ان تبلغ حرارة سطحها على المعدَّل درجة الغليان

ومتى استنفدت الشمس آخر ايدروجينها تغدو وهي مجرَّدة من مصادر الطاقة الذرية ، وعندئذٍ تبدأ في التقلُّص . ولكن الحرارة الناشئة عن التقلُّص لا تكفي لبث الروح فيها بعثاً جديداً ، وهي اذا قيست بالطاقة الذرية لم تكن شيئاً مذكوراً . وعندئذٍ تبدأ الشمس في الانحطاط اي في الضمور وضعف الاشراق . وعندئذٍ تشرف على «الموت»

وقد تصور الشمس في هذه المرتبة من تحولها كتلةً صخرية باردة . ولكن هذا تصوُّر خاطىء . والغالب ان حالة باطن الشمس تكون حينئذٍ على غير ما نعهدهُ من احوال المادة على سطح الأرض

***

ان الغازات تشرُ للضغط لأن الفراغ بين ذرَّة واخرى ، وجزيء وآخر ، فراغ كبير جدًّا وبخاصة بالقياس الى احجام الذرَّات . وعندما تنخ الهواء في عجلة سيارة لا نضغط جزيئات الهواء نفسها وانما نقلل المسافات التي تفصل بينها . ولكن اذا مضينا في ضغط الهواء ، ولاسيما اذا برَّدنا الهواء المضغوط نحول سائلاً وعندئذٍ تعجز زيادة الضغط عن نقص حجم السائل نقصاً يذكر . أما السوائل والجوامد فذراتها وجزيئاتها قريب بعضها من بعض قرباً متفاوتاً وهذا سر المشقة في ضغطها ونقص حجمها

على اننا نعلم أن الذرات نفسها فراغ على الأكثر ، وان معظم كتلة الذرَّة مركز في نواتها . والكهربات واقفة في اطباق سديمي حول النواة على أبعاد كبيرة جدًّا بالقياس الى حجم النواة والكهربات نفسها ، حتى لتبلغ مسافة الكهربات في بعض الذرات الوفاً من أضعاف حجم النواة نفسها

ولكن بالضغط الشديد ، أو بالحرارة العظيمة والضغط الشديد، قد تتحشك الذرات فتشغل حيزاً من المكان اقل كثيراً من الحيز الذي تشغلهُ وهي في حالتها الطبيعية . أي أن الكهيربات البعيدة عن النواة مثلاً تتداخل في مناطق الكهيربات القريبة من النواة وكذلك تصبح المادة المحشوكة على هذا الوجه كثيفة جداً حتى لقد زن البوصة المكعبة منها — كما في رفيق الشعري — ٦٢٠ طناً، وحتى اذا ذهب رجل يبلغ وزنهُ على سطح الارض ١٥٠ رطلاً الى سطح نجم من هذا القبيل ووقف عليهِ بلغ وزنهُ على سطحهِ ٢٥٠ الف طن . ويبلغ من شدة جذب كتلة النجم لهُ ان ينضغط وينبسط كأنهُ واقع تحت كتلة بارجين ضخمتين

وقد حسب العلماء مبلغ الضغط الذي يفضي الى هذه الحالة غير المألوفة من حالات المادة ، فاذا هي ١٥٠ مليون جوّ ، بقاياها الضغط في مركز الارض فاذا هو لا يزيد على ٣٢ مليون ضغط . أي ان كتلة الارض وضغطها على مركز الارض لا يكفي لضغط الذرّات وحشكها على النحو المتقدم ولكن كتلة المشتري تفوق كتلة الارض ٣١٧ ضعفاً . فالضغط الواقع تحت مركزهِ قريب جداً من الضغط اللازم لتحويل المادة الى هذه الحالة العجيبة . واذا كانت الذرات في باطن المشتري لم تضغط وتحشك فانها قريبة من ذلك الحدّ بحيث لو زادت كتلتهُ الزيادة اللازمة لصغر حجمه وزادت كثافته

وكل جسم تزيد كتلتهُ تزيد كثافتهُ على كتلة المشتري لا بدَّ ان يفضي ضغط كتلتهِ الى انضغاط ذرّاتهِ فيقصر قطرهُ و يصغر حجمهُ بغير ان تقلَّ كتلته وكل ما هنالك ان معدَّل كثافتهِ يزيد

فالمشتري أكبر جسم من المادة الباردة يمكن ان يكون

والشمس عند ما تبلغ مرتبة « الموت » الكوني اي عندما يصغر حجمها ويقل اشعاعها ، تكون أصغر حجماً من المشتري مع أنها أعظم كتلة منهُ

وقطرها حينئذٍ يكون من قبيل قطر الارض فتوضع في طبقة « الأقزام البيض » وقد دعيت اقزاماً لصغر حجمها ووصفت بالبياض لشدة تألق سطحها وارتفاع حرارتها الى نحو درجة البياض

> تحيل حضرات القراء على مقالين في هذا الموضوع أحدهما مقال : نجوم الأقزام البيض مقتطف مارس ١٩٤٠ ص ٢٥٥ والآخر فصل : آفاق الكون ، حجمه وحرارة نجومه وهو الفصل الاول في كتاب (آفاق العلم الحديث)