الفصل الرابع

النجوم والجدول الدوري ، ورقم E (إبسيلون)

النجوم «كتفاعلات للاندماج النووي»

فى أوائل القرن العشرين تحدد عمر الأرض بدقة بقياس الذرات المشعة فوجد أنه ٤,٥٥ بليون سنة . وقبلها كان هناك خلاف بين علماء الجيولوجيا والبيولوجيا من جانب وعلماء الفيزياء من الجانب الآخر . فالجيولوجيون والداروينيون قالوا أن عمر الأرض ينبغى أن يكون على الأقل بليون سنة ليتيح ما رصدوه فيها من تغيرات جيولوجية ومن تطور الحياة . ولكن الفيزيائيين وعلى رأسهم لوردكلفن وجدوا من حساباتهم أن حرارة الشمس الداخلية الناتجة عن ضغط الجاذبية لا تكفى لأن تبقى الشمس ساطعة لهذا الزمن الطويل ، «إلا إذا كان هناك مصادر أخرى لهذه الحرارة لا يعرفها العالم بعد» . ومع تقدم العلم فى القرن العشرين تبين للعلماء أن هناك بالفعل مصدر آخر لحرارة الشمس مخزون فى نوى الذرات . فالشمس تستمد وقودها بتحويل الهيدروجين إلى هيليوم فى عملية اندماج نووى تشبه ما يحدث فى القنبلة الهيدروجينة الاندماجية . والهيدروجين هو أبسط الذرات وتتكون نواته من بروتون واحد ، والهليوم هو ثانى أبسط الذرات وتتكون نواته من بروتونين ونيوترونين ويحدث الاندماج النووى فى قلب الشمس وتتولد عنه حرارة شديدة تنتشر فى سائر الشمس للخارج فى سرعة توازن سرعة فقدان الحرارة عند سطح الشمس . وهناك توازن بين تمدد الشمس بالحرارة المنبعثة من فرنها الذرى وتقلصها بفعل الجاذبية . وهذا الفرن الذرى قد أبقى الشمس ساطعة لما يقرب من خمسة بلايين عام . وعندما ينفد الوقود النووى يبدأ قلب الشمس فى الانكماش وتتمدد طبقاتها الخارجية وتتمدد الشمس إلى نوع من النجوم التى تعرف باسم العملاق الأحمر . ويبتلع هذا العملاق كواكبه الداخلية وتتبخر أي حياة باقية على الأرض . ويستمر ذلك لمئات الملايين من السنين . ثم تنفث بعيدا بعض طبقات العملاق الخارجية ، ويستقر القلب فيما يعرف بالقزم الأبيض الذى يسطع بما لا يزيد عن سطوع البدر الكامل حاليا . على أن مدة حياة النجوم ونتيجة احتضارها تختلف من نجم لآخر .

يستطيع علماء الفيزياء الفلكية عن طريق الحسابات والأرصاد أن يعرفوا دورة حياة أى نجم . وكلما كان النجم أكبر فإنه يحرق وقوده بسرعة أكبر ويعيش زمنا أقصر . وإذا كان النجم مثلا أثقل من الشمس بعشرة أمثال ، فإنه يلمع ساطعا أكثر من الشمس بآلاف المرات ويستهلك وقوده بسرعة أكبر ويعيش لزمن أقصر كثيرا من الشمس وينتهى بطريقة أعنف بأن ينفجر فيما يسمى بالسوبرنوفا . ويبقى السوبرنوفا لعدة أسابيع وهو يسطع بقوة عدة بلايين من الشموس ، وينفث طبقاته الخارجية بسرعة خارقة (٢٠٠٠٠ كم/ثانية) لتشكل موجة انفجار تشق طريقها للغاز ما بين

obeikandl.com

النجوم . وبهذه الطريقة يتكون مزيج من الذرات فى غبار ما بين النجوم ، وهذا المزيج هو الذى تصنع منه الشمس والأرض ، ويكون هذا المزيج بمثابة اللبنات التى تتطور على الأرض إلى الحياة . فأصول الحياة والأرض ترجع وراء إلى النجوم التى ماتت قبل تكوين المنظومة الشمسية . وهذه النجوم القديمة هى التى صنعت الذرات التى صنع منها كوكبنا هو وكل ما عليه بما فيه نحن .

الخيمياء في النجوم

الخيمياء هى محاولة تحويل المعادن الخسيسة كالنحاس إلى معادن ثمينة كالذهب ، ومن هذه المحاولات نشأ علم الكيمياء الحقيقى . وقد نجح علم الكيمياء مؤخرا فى تحقيق ما فشلت فيه الخيمياء أى فى تحويل أحد العناصر إلى الآخر عن طريق التفاعلات النووية .

وهناك ٩٢ عنصر فى الطبيعة مرتبة فى جدول العناصر حسب عدد البروتونات فى ذرة كل منها . ويبدأ الجدول بالهيدروجين عند رقم ١ ثم يرتفع العدد تدريجياً حتى اليورانيوم عند ٩٢. يحدث فى الفرن النووى بقلب النجم أن يندمج الهيدروجين رقم ١ ليتحول إلى الهيليوم رقم ٢ . وعندما ينفذ الهيدروجين يزداد قلب النجم تقلصا فتزيد درجة حرارته بما يؤدى إلى تحول الهيليوم نفسه إلى عناصر أثقل كالكربون . وعندما ينفذ وقود الهليوم فى القلب يزداد تقلص القلب فتزداد حرارته لتندمج عناصره متحولة إلى عناصر أثقل . وإذا كان النجم فى حجم الشمس فإن زيادة الحرارة فى القلب لا يمكن أن تواصل الارتفاع لأبعد من مدى معين تتوقف عنده عملية تحويل العناصر . أما النجوم الأثقل من الشمس فإن الجاذبية فى قلوبها تكون أشد بحيث يمكن أن تقلص القلب لتصل حرارته إلى بلايين الدرجات. وهكذا تستمر سلسلة تحولات العناصر من الأخف إلى الأثقل ، وبعد الكربون يتكون أوكسجين ونيون وصوديوم وسيليكون .. إلخ . وعند الوصول إلى نواة الحديد (٢٦ بروتون) يعجز النجم عن الوصول إلى درجة الحرارة اللازمة لاستخدامه كوقود لأن نواة الحديد فيها قوى تماسك شديدة تلصق بروتوناته معا هى ونيوتروناته . وعندما يصل الحديد فى قلب النجم إلى مقدار معين (حوالى ١,٤ كتلة شمس) تتطلب الجاذبية تماما على قوى التمدد فيتقلص القلب على نفسه فى نجم نيوترونى . وينتج عن هذا التقلص طاقة هائلة تفجر الطبقات من فوق القلب لتخلق ما يسمى نجم السوبرنوفا . وتتطاير بقايا الطبقات المنفجرة فى الفضاء وهى تحوى مزيجا من العناصر التى سبق تحويلها فى النجم . ويكون أكثرها شيوعا هو الأوكسجين ثم الكربون والنيتروجين والسيلكون والحديد . ويكون هناك أيضا آثار من العناصر الأثقل من الحديد وصولا إلى اليورانيوم رقم ٩٢ ، وتتكون هذه الآثار بفعل الحرارة الهائلة التى تصاحب التقلص وموجة الانفجار التى تنفث الطبقات الخارجية .

المنظومة الإيكولوجية لمجرتنا

تتكون النجوم الأولى (منذ حوالى ١٠ بليون سنة) وهى لا تحوى إلا

هيدروجين وهيليوم . ثم تتكون أجيال عديدة من النجوم لتحوى عناصر أثقل ، وتنتقل هذه العناصر للفضاء ما بين النجوم نتيجة الانفجارات أو الرياح العنيفة . ومنذ ما يقرب من ٤,٥ بليون عام تكاثف بعض الغاز والغبار ما بين النجوم ليصبح منظومتنا الشمسية التى تحوى أجرامها الهيدروجين والهيليوم ومعهما الكربون والأوكسجين وآثار من اليورانيوم . فهذه المنظومة بما فيها الأرض تكونت من رماد النجوم الأقدم .

الكفاءة النووية : E (ابسيلون = ٠,٠٠٧)

تحوى نواة الذرة قوة هائلة هى التى تُبقى على بروتوناتها ونيوتروناتها مرتبطة معا. وتتوقف الطاقة الناتجة عن الوقود النووى على الكتلة حسب معادلة أينشتين ط = ك س^{٢} ($E = mc^2$) حيث ط هى الطاقة وك هى الكتلة وس^{٢} هى ثابت مربع سرعة الضوء . أما الطاقة الناتجة عن أنواع الوقود العادية كالبنزين فلا تزيد عن جزء من البليون من طاقة «كتلة السكون»(*) للمادة . فطاقة مواد الوقود العادى تتطلب تفاعلات كيميائية لا تؤثر فى نواة المادة وإنما فحسب تعيد تنظيم مدارات الالكترونات والروابط بين الذرات .

عندما يحدث تفاعل نووى باندماج الهيدروجين إلى هيليوم ، سنجد أن نواة الهيليوم وزنها ٩٩,٣٪ من وزن البروتونين والنيوترونين اللذان صنعاها . والفارق بين الكتلتين هو ٠,٧٪ ينطلق كطاقة حرارة . وبالتالى فإن الوقود الذى يمد الشمس بالطاقة فى قلبها يحول ٠٠٧, من كتلتها إلى طاقة (الفارق فى الكتلة بين نواتى الهيدروجين ونواة الهيليوم) . وعندما يتحول الهيليوم إلى عناصر أخرى حتى الحديد فإن هذه الكتلة التى تتحول لطاقة تكون ٠٠١, فقط .

يعتمد مقدار الطاقة المنطلقة بالاندماج النووى على شدة القوة التى تربط معا مكونات النواة ، أى البروتونات والنيوترونات ، بحيث تقاوم التنافر الكهربى الذى يحدث بين البروتونات . وتسمى قوة الربط أو اللصق هذه بالقوة النووية الشديدة . وهى مختلفة عن القوتين التى سبق مناقشتها أى الجاذبية والكهرباء فنحن لا نخبر مباشرة القوة النووية الشديدة كما نخبر الجاذبية والكهرباء ، كما أن هذه القوة تعمل فحسب على مسافات صغيرة جدا بمدى من مقاييس نوى الذرات .

هذه القوة النووية الشديدة هى مصدر الطاقة الذى يمد الشمس بالحرارة لزمن طويل ، وهذه الحرارة هى أحد الشروط المسبقة لوجودنا . وبدون الطاقة النووية كانت الشمس ستنكمش خلال ١٠ ملايين سنة كما قال كلفن منذ قرن .

(*) كتلة السكون هى كتلة الجسم بمعزل عن الكتلة الاضافية التى يكتسبها أثناء الحركة حسب نظرية النسبية .

obeikandl.com

تضبيط E

لو كانت قيمة E أقل مما هى عليه سيصبح الهيدروجين أقل كفاءة كوقود ولن تعيش الشمس زمنا طويلا . كذلك سيصعب تحول الهيدروجين إلى هيليوم ، ويظل الكون يتكون فحسب من الهيدروجين من غير أى تحولات كيميائية . وربما تظل النجوم تتشكل فى هذا الكون ، ولكنها تكون بلا وقود نووى . وهكذا فإنها تنكمش لتنتهى إلى بقايا باردة . ولن تتكون أى عناصر أثقل لتتشكل منها الكواكب .

ولو زادت قيمة (E) لما وُجدنا نحن ، لأنه لن يتبقى عندها أى هيدروجين من الانفجار الكبير ، لأنه مع زيادة E لن تبقى أى بروتونات منفردة وإنما سيرتبط كل بروتونين معا مباشرة وبسهولة فلا يبقى هيدروجين ليوفر طاقة للنجوم ، ولا يوجد أى ماء .

وبصرف النظر عن طريقه تكون العناصر فإن أى تغير فى قيمة (E) يؤثر فى طول جدول العناصر . فلو كانت القوة النووية الشديدة أضعف فإن هذا سيزحزح رقم أشد النوى ترابطاً عما هو عليه الآن ، أى رقم ٢٦ للحديد ، ليصبح رقما أقل فى الجدول ، ويخفض عدد النوى المستقرة فى الجدول لأقل من ٩٢ ، وهذا يؤدى إلى كيمياء فقيرة . وعلى عكس ذلك لو زادت قيمة (E) فإن هذا يزيد من استقرار الذرات الثقيلة . وهذا لن يزيد الكيمياء ثراء كما قد يظن البعض ، لأننا مثلا لا نزيد اللغة ثراء عندما يزيد عدد حروفها الأبجدية . وستصبح الكيمياء أشد تبلدا لو غاب الأوكسجين ٨ والحديد ٢٦ ، وأكثر تتبلدا على وجه الخصوص لو قل الكربون ٦ .

وهكذا فإن المزيج الفعلى الموجود للعناصر يعتمد على قيمة (E) ولن يكون هناك إمكان لوجود محيط حيوى لو كانت قيمة (E) ٠,٠٠٦ أو ٠٠٨, بدلا من ٠٠٧, .