موت النجوم

في ليل 24/23 شباط 1987، كان أيان شيلتون، عالم الفلك الكندي، يعمل في مرصد لاس كمباناس، الواقع في مرتفعات الأنديز التشيلية. وباختصار، خرج المعاون الليلي من المرصد ونظر بفتور إلى السماء المظلمة. ولكونه عليماً بأحوال السماء، فإنه سرعان ما لاحظ شيئاً غير عادي. فقد شاهد نجماً عند حافة بقعة النور السديمية التي تعرف بالغيمة الماجلانية الكبيرة. لم يكن النجم لامعاً على نحو استثنائي - تقريباً بحجم نجوم منطقة الجبار. والمهم، هو أن ذلك النجم لم يكن هناك في اليوم السابق.

قام المساعد بتنبيه شيلتون إلى الجسم، وفي غضون ساعات، انتشرت الأنباء في كافة أنحاء العالم معلنة أن شيلتون ومساعده التشيلي اكتشفا مستعراً أعظم supernova. وكانت هذه أول مرة يشاهد فيها جسم من هذا النوع بالعين المجردة منذ سجل يوهانز كبلر واحداً عام 1604. فبدأ الفلكيون حالاً في عدد من البلدان بتوجيه أجهزتهم نحو الغيمة الماجلانية الكبيرة. وفي الأشهر التالية، تم فحص سلوك المستعر الأعظم A-1987 في أدق تفاصيله.

وقبل حادثة الاكتشاف المثير هذه ببضع ساعات، كان سُجِّل حادث غير عادي في مكان مختلف جداً - منجم زنك كاميوكا، على عمق كبير تحت الأرض في اليابان. وكان هذا الموقع مكاناً لتجربة طويلة الأمد يقوم بها فيزيائيون لهدف طموح. كانوا يهدفون إلى اختبار الاستقرار النهائي لواحدة من أكثر مكونات المادة أهمية، هي البروتونات. فالنظريات الكبيرة الموحدة التي ظهرت في السبعينيات (القرن الماضي) تنبأت بأن البروتونات قد تكون غير مستقرة إلى حد طفيف جداً، حيث تتفكك أحياناً في شكل غريب من النشاط الإشعاعي. فلو صح ذلك، لكان له مضامين عميقة فيما يخص مصير الكون، كما سنرى فيما بعد.

ولإجراء اختبار تفكك البروتونات، ملأ المجربون اليابانيون حوضاً بألفي طن من ماء فائق النقاوة وركزوا فيه أجهزة عالية الحساسية لكشف الفوتونات. وكان عمل هذه الأجهزة يتمثل بتسجيل الوميض الذي يدل على وجود ضوء يمكن أن يعزى إلى المنتجات العالية السرعة لحوادث تفكك مستقلة. وكان قد تم اختيار موضع تحت الأرض لإجراء التجربة بهدف تقليص تأثيرات الإشعاع الكوني، الذي كان، لولا هذا الإجراء، سيغمر أجهزة الكشف بحوادث زائفة.

وفي 22 شباط، ومضت أجهزة الكشف في كاميوكا ما لا يقل عن إحدى عشرة مرة في غضون عدة دقائق. وخلال ذلك، وفي الجانب الآخر من كوكب الأرض، سجل جهاز كشف آخر في منجم للملح، في أوهايو، ثمانية حوادث. وبما أن انتحار كتلة متزامنة بتسعة عشر بروتوناً كان غير وارد، لذلك كان يجب إيجاد تعليل آخر لهذه الحوادث. وسرعان ما اكتشف الفيزيائيون ذلك التعليل. لا بد من أن تكون معداتهم قد سجلت تدمير البروتونات بعملية أخرى، تقليدية أكثر: القصف بالنيوترينوات Neutrinos.

والنيوترينوات جسيمات دون ذرية ستمثل دوراً رئيسياً في قصتي، ولهذا فهي تستحق أن نتوقف لدراستها بتفصيل أكبر. فقد طرح وجودها لأول مرة عام 1931 فولفغانغ باولي، الفيزيائي النظري المولود في النمسا، لشرح الجانب المشكل للعملية الإشعاعية المعروفة بانحلال بيتا. وفي حادثة نموذجية لهذا التفكك، يتفكك النيوترون إلى بروتون وإلكترون. والإلكترون، وهو جسيم مضيء نسبياً، يتطاير بطاقة مهمة. وتتمثل المشكلة في أنه في كل حادثة تفكك يكون للإلكترون، كما يبدو، طاقة مختلفة، أقل إلى حد ما من إجمالي الطاقة المتاحة من تفكك النيوترون. وبما أن الطاقة الإجمالية هي نفسها في كل الحالات، فإن الطاقة النهائية تختلف، كما يبدو، عن الطاقة الأصلية. ولكن هذا لا يكفي، لأن حفظ الطاقة قانون أساسي في الفيزياء، ولهذا رأى باولي أن الطاقة الضائعة نقلها جسيم غير مرئي. ولكن المحاولات المبكرة لاكتشاف هذه الجسيمات أخفقت، وأصبح واضحاً أنه إذا كانت موجودة، فلا شك في أنها تتمتع بقدرة نافذة إلى حد لا يصدق. وبما أن أي نوع من جسيم مشحون كهربائياً سوف يُحتَبَل بسهولة من قبل المادة، فإن جسيم باولي يجب أن يكون محايداً كهربائياً - ومن هنا جاء اسم «نيوترينو».

4- موت النجوم

ومع أن أحداً لم يميز فعلاً نيوترينو ما، فإن المنظرين كانوا قادرين على استنتاج المزيد من خواص النيوترينوات. وواحدة من تلك الخواص على صلة بكتلتها.

مفهوم الكتلة مفهوم مراوغ عندما يتعلق الأمر بالجسيمات السريعة الحركة. ذلك لأن كتلة جسم ما ليست كمية ثابتة، بل تعتمد على سرعة ذلك الجسم. فعلى سبيل المثال، إن كرة من الرصاص زنة 1 كغ تزن 2 كغ إذا تحركت بسرعة 260,000 كم/ثا. والعامل الرئيسي هنا هو سرعة الضوء. فكلما كانت سرعة الجسم أقرب إلى سرعة الضوء، أصبح أكثر ثقلاً، وهذا الارتفاع في الكتلة غير محدود. وبما أن الكتلة متغيرة على هذا النحو، فإن الفيزيائيين عندما يتحدثون عن كتلة الجسيمات دون الذرية، فإنما يشيرون إلى كتلتها في حالة السكون تفادياً للالتباس. إذا تحرك جسيم ما بسرعة قريبة من سرعة الضوء، فإن كتلته الفعلية قد تكون عدة أضعافها ساكنة: قد تصبح كتل الإلكترونات والبروتونات الدائرة داخل المسرِّعات الكبيرة للجسيمات أثقل منها وقت السكون بعدة آلاف المرات.

يأتي الدليل إلى قيمة كتلة النيوترون في حالة السكون من حقيقة أن حادث انحلال بيتا سيطلق أحياناً إلكتروناً تقريباً بكل طاقة متاحة، مما لا يترك شيئاً تقريباً للنيوترينو. ومعنى هذا أن النيوترينوات يمكن أن توجد أساساً بطاقة صفر. ووفقاً لمعادلة أينشتاين الشهيرة الطاقة = الكتلة × مربع سرعة الضوء، فإن الطاقة والكتلة متساويتان، وهكذا تدل الطاقة صفر ضمناً على الكتلة صفر. وهذا يعني أن كتلة النيوترينو في حالة السكون يحتمل أن تكون صغيرة جداً، ربما صفراً. فإذا كانت كتلة السكون صفراً فعلاً، عندئذٍ سينتقل النيوترينو بسرعة الضوء. وعلى أية حال، يحتمل أن نجده ينتقل بسرعة قريبة جداً إلى سرعة الضوء.

هناك خاصية إضافية تتعلق بالطريقة التي تدور فيها الجسيمات دون الذرية ذاتياً. فقد اكتشف أن النيوترونات، والبروتونات، والإلكترونات في حالة دوران ذاتي دائم. وحجم هذا الدوران كمية ثابتة، هي، في الواقع، الكمية نفسها بالنسبة للجسيمات الثلاثة. والدوران الذاتي هو شكل من قوة تحرك زاويّة، وهناك قانون لحفظ كمية التحرك الزاويّة - قانون أساسي كقانون حفظ الطاقة. وعندما يتفكك نيوترون ما، فإن كمية تحركه الزاوي لا بد أن تُحفَظ في منتجات الانحلال. فإذا كان الدوران

الذاتي للإلكترون والبروتون في الاتجاه نفسه، فإن كمية حركتهما الزاوية تجتمعان لتصبحا ضعف كمية الحركة الزاوية للنيوترون. وبالمقابل، إذا كانا يدوران باتجاهين متعاكسين، فإن كميتي حركتهما الزاوية ستُلغيان بحيث تصبح المحصلة صفراً. وفي كلا الحالين، فإن مجموع كمية الحركة الزاوية للإلكترون والبروتون وحدهما لا يمكن أن يساوي كمية الحركة الزاوية للنيوترون. ولكن، عندما نضع في اعتبارنا وجود نيوترينو ما، فإنه يمكن وضع الحسابات بحيث تتوازن بدقة على فرض أن للنيوترينو الحركة الزاوية نفسها كالجسيمات الأخرى. وعندئذٍ، فإن الحركة الزاوية لاثنين من النواتج الثلاثة المنحلة يمكن أن تكون في الاتجاه نفسه، بينما تكون الحركة الزاوية للناتج الثالث بالاتجاه المعاكس.

وهكذا كان الفيزيائيون، ولم يكونوا قد اكتشفوا النيوترينو بعد، قادرين على استنتاج أنه لا بد أن يكون جسيماً شحنته الكهربائية صفر، وكمية حركته الزاوية مماثلة لكمية حركة الإلكترون الزاوية، وكتلته في حالة السكون صغيرة أو غير موجودة، وتفاعله ضعيف مع المادة العادية بحيث لا يترك أثراً تقريباً لانتقاله. وقصارى القول، إنه شبح يدور ذاتياً. وليس هناك ما يبعث على الدهشة في أن تنقضي عشرون سنة تقريباً على حدس باولي بوجود النيوترينوات قبل أن يتم تحديد وجودها بشكل حاسم في المختبر. لقد تم تكوينها بكميات وفيرة في مفاعلات نووية، وهي على الرغم من مراوغتها فإنه يمكن اكتشاف نموذجها العرضي.

لا شك في أن وصول قصفة من النيوترينوات إلى منجم كاميوكا في الوقت نفسه الذي ظهر فيه المستعر الأعظم A-1987 لم تكن مجرد صدفة، وتشبث العلماء بتزامن الحادثتين كتأكيد حاسم لنظرية المستعرات: قصفة النيوترينوات هي بالضبط ما كان يتوقعه الفلكيون منذ زمن طويل من المستعر.

وعلى الرغم من أن كلمة «Nova» اللاتينية تعني «New» أي جديد في الإنكليزية، فإن كلمة المستعر الأعظم A-1987 Supernova لم تكن ولادة لنجم جديد، ولكنها كانت، في الواقع، موت لنجم قديم في انفجار مثير. فالسحابة الماجلانية الكبيرة، التي ظهر فيها المستعر الأعظم، هي مجرة صغيرة تبعد عنا حوالي مئة وسبعين ألف سنة ضوئية. وهذه المسافة قريبة إلى درب التبانة بما يكفي لجعلها تابعاً

4- موت النجوم

لمجرتنا. فهي مرئية بالعين المجردة على شكل بقعة مشوشة من الضوء في نصف الكرة الجنوبي، ولكن رؤية نجومها منفردة تحتاج إلى مناظير كبيرة. وبعد ساعات فقط من اكتشاف شيلتون، تمكَّن الفلكيون الأستراليون من تحديد النجم الذي انفجر من بين بضعة بلايين من النجوم التي تحتويها السحابة الماجلانية الكبيرة؛ وقد حققوا مأثرتهم هذه عن طريق تفحصهم للصحائف الفوتوغرافية السابقة لتلك المنطقة من السماء. كان النجم المبتلى من نوع يعرف باسم العملاق الأزرق B3، وقطره أكبر من قطر الشمس بأربعين مرة تقريباً، حتى أنه يحمل اسم: «ساندیوليك -69° 202».

جرى تحري نظرية إمكانية انفجار النجوم لأول مرة في منتصف الخمسينيات (القرن الماضي- م) من قبل علماء الفيزياء الفلكية: فريد هويل، ووليم فاولر، وجيوفري ومرغريت بَرْبِدج. ولكي ندرك كيف يصل نجم إلى مثل هذا التغير العنيف، من الضروري أن نعرف شيئاً ما عن أشغاله الداخلية. النجم المعروف أكثر هو الشمس. بالاشتراك مع أكثر النجوم، تبدو الشمس لا متغيرة؛ ولكن هذا يكذب حقيقة أنها مشتبكة في صراع لا يتوقف مع قوى التدمير. كافة النجوم كرات من الغاز، والجاذبية هي التي تجعلها تتماسك. فلو كانت الجاذبية هي القوة الوحيدة التي تعمل، لانفجرت النجوم في الحال تحت تأثير ثقلها الهائل وتلاشت في غضون ساعات. والسبب في عدم حدوث ذلك هو أن القوة الداخلية للجاذبية تتوازن بواسطة القوة الخارجية لضغط الغاز المنضغط في الداخل النجمي.

هناك علاقة بسيطة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته. فعندما يتسخن غاز حجم ثابت، فإن الضغط يرتفع بصورة طبيعية بما يتناسب مع درجة الحرارة. وعلى العكس، عندما تهبط درجة الحرارة، فإن الضغط يهبط أيضاً. وبما أن الحرارة مرتفعة جداً داخل النجم - عدة ملايين من الدرجات - فإن الضغط يكون هائلاً هناك. وتنتج الحرارة من تفاعلات نووية. والتفاعل الرئيسي الذي يسيطر على الجزء الأكبر من حياة نجم ما هو تحول الهيدروجين إلى هليوم عن طريق الاندماج. يحتاج هذا التفاعل إلى درجة حرارة مرتفعة جداً للتغلب على الدفع الكهربائي الذي يعمل بين النوى. يمكن للطاقة التي تنجم عن الاندماج أن تغذي نجماً على مدى بلايين السنين، ولكن الوقود سيتناقص عاجلاً أو آجلاً، ويبدأ المفاعل بالترنح. وعندما يحدث هذا، تتهدد مساندة الضغط ويبدأ

النجم يخسر معركته الطويلة مع الجاذبية. نجم يعيش أساساً بوقت مستلف، يتحاشى انهياراً جذبياً عن طريق ترشيد احتياطياته من الوقود. ولكن كل كيلوواط يتدفق من السطح النجمي إلى أعماق الفضاء يعمل على تسريع النهاية.

ويُقدَّر أن الشمس يمكن أن تشتعل على مدى عشرة بلايين سنة على الهيدروجين الذي بدأت به اليوم، في خمسة بلايين سنة تقريباً من العمر، أحرق نجمنا المحلي نصف احتياطياته تقريباً (لا ضرورة للخوف حتى الآن). وسرعة استهلاك نجم ما لوقوده النووي يعتمد، إلى حد دقيق، على كتلته. فالنجوم الأثقل تحرق وقوداً بسرعة أكبر، ويجب أن تفعل ذلك، لأنها أكبر حجماً وأكثر لمعاناً، وبالتالي تشع كمية أكبر من الطاقة. والثقل الإضافي يضغط الغاز إلى كثافة ودرجة حرارة أعلى، مما يزيد من سرعة تفاعل الاندماج. فعلى سبيل المثال، إن نجماً ذا عشر كتل شمسية، سيحرق معظم هيدروجينه خلال مدة قصيرة تصل إلى عشرة ملايين سنة.

تعالوا نتابع مصير نجم ضخم كهذا. يبدأ تكوّن معظم النجوم من الهيدروجين بصورة رئيسية. و«احتراق» الهيدروجين يتألف من اندماج نوى الهيدروجين - نواة الهيدروجين بروتون واحد - لتشكيل نوى الهليوم العنصري، وتتألف كل نواة من بروتونين ونيوترونين. (التفاصيل معقدة ولا ضرورة إلى الاهتمام بها هنا). «احتراق» الهيدروجين هو المصدر الأكثر فعالية للطاقة النووية، ولكنه ليس المصدر الوحيد. إذا كانت درجة الحرارة في النواة مرتفعة بما يكفي، فإن نوى الهليوم يمكن أن تندمج لتشكيل الكربون، ويؤدي المزيد من تفاعلات الاندماج إلى تشكيل الأكسجين، والنيون، وعناصر أخرى. يمكن لنجم ضخم أن يولّد درجات الحرارة الداخلية الضرورية -تتجاوز بليون درجة - لتقدم هذه السلسلة من التفاعلات النووية المتتابعة، ولكن العائدات تتناقص باطراد. فالطاقة المنطلقة تتناقص مع تشكل كل عنصر جديد. وتتزايد سرعة احتراق الوقود، حتى أن تركيب النجم يتغير شهرياً، ثم يومياً، ثم كل ساعة. ويصبح داخله شبيهاً ببصلة، ذات طبقات تركبت من عناصر كيميائية متتالية بسرعة أكثر جنوناً حتى الآن. وخارجياً، ينتفخ النجم إلى حجم ضخم، أكبر من منظومتنا الشمسية بالكامل، ليصبح ما يطلق عليه الفلكيون العملاق الأحمر.

توسَم نهاية سلسلة الاحتراق النووي بالحديد العنصري، الذي يمتلك بنية ذرية

4- موت النجوم

مستقرة بشكل خاص. وتركيب العناصر الأثقل من الحديد بالاندماج النووي، في الواقع، يكلف طاقة أكثر مما يحرره منها، حتى أنه في الوقت الذي يصل فيه نجم إلى تركيب نواة من حديد يكون قد قُضي عليه بالهلاك. وعندما تتوقف إمكانية المناطق المركزية في النجم عن إنتاج طاقة حرارية، فإن الاحتمالات تميل، بشكل مهلك، لمصلحة قوة الجاذبية. فيترنح النجم على حافة عدم الاستقرار الكارثي، وينقلب أخيراً إلى حفرة جاذبيته.

إن ما يحدث، ويحدث بسرعة، هو التالي: تفقد النواة الحديدية للنجم قدرتها على إنتاج حرارة عن طريق الاحتراق النووي، ولا يمكنها أن تغذي ثقلها الخاص، وتنكمش بقوة كبيرة تحت الجاذبية حتى أن الذرات نفسها تنسحق. وأخيراً، تصل إلى كثافات نووية فيها يساوي كشتبان منها ما يقرب من ترليون طن من المادة. نموذجياً، سيكون عرض النجم المبتلى في هذه المرحلة، مئتي كيلومتر، وستجعله صلابة المادة النووية يقفز. ويكون الجذب الثقالي قوياً جداً بحيث لا يستغرق هذا الارتداد الهائل أكثر من بضعة أجزاء من ألف من الثانية. وعندما تنتشر هذه المأساة في مركز النجم، فإن الطبقات المحيطة من المادة النجمية تنهار على النواة بهزة كارثية مفاجئة. وفي طريقها نحو الداخل بسرعة عشرات آلاف الكيلومترات في الثانية، تواجه ترليونات فوق ترليونات الأطنان من المادة المتفجرة النواة المرتدة المُدمجة بدرجة عالية، والأشد صلابة من جدار من الماس. يعقب ذلك اصطدام عنيف مترنح، يسبب موجة صدمية تتجه عبر النجم نحو الخارج.

ترافق موجة الصدمة نبضة هائلة للنيوترينوات، التي تحررت فجأة من مناطق النجم الداخلية أثناء تحوله النووي النهائي - تحول تنسحق فيه إلكترونات وبروتونات الذرات النجمية مع بعضها لتشكيل النيوترونات. فتصبح نواة النجم، بشكل فعال، كرة عملاقة من النيوترونات. وتقوم موجة الصدمة مع النيوترينوات بنقل كمية كبيرة من الطاقة نحو الخارج عبر الطبقات المتراكبة من النجم. وتمتص الطبقات الخارجية من النجم كثيراً من هذه الطاقة فتنفجر في محرقة نووية بضراوة لا يمكن تصورها. وعلى مدى بضعة أيام، يشع النجم بكثافة عشرة بلاين من الشموس، ولكنه سرعان ما يخبو بعد بضعة أسابيع.

الدقائق الثلاث الأخيرة

تظهر المستعرات مرتين أو ثلاثاً خلال القرن في مجرة نموذجية كدرب التبانة، وقد دُوِّن ظهورها في التاريخ من قبل فلكيين اعترتهم الدهشة لرؤيتها. والمستعر الأكثر شهرة لاحظه المراقبون الصينيون والعرب عام 1054م في مجموعة السرطان. ويبدو النجم المحطم اليوم كسحابة ممزقة من الغاز المتمدد تعرف باسم سديم السرطان.

إن انفجار المستعر الأعظم A-1987 أضاء الكون بوميض غير منظور من النيوترينوات. كانت نبضة من قوة مترنحة. فاخترِق كل سنتيمتر مربع من الكرة الأرضية - حتى على الرغم من أنها تبعد عن الانفجار مسافة مئة وسبعين ألف سنة ضوئية - بمئة بليون نيوترينو، ولم يعرف سكانها الهانئون أنهم أُمطِروا بسرعة خاطفة بعدة ترليونات من الجسيمات من مجرة أخرى. ولكن أجهزة كشف تفكك البروتونات في كاميوكا وأوهايو أوقفت تسعة عشر من تلك الجسيمات. ولولا هذه المعدات، لمرَّت النيوترينوات بدون أن تُلاحَظ، كما جرى عام 1054.

ومع أن المستعر ينذر بموت النجم المعني، فإن الانفجار يحمل جانباً خلاقاً بالنسبة له. فالتحرير الهائل للطاقة يسخن الطبقات الخارجية للنجم إلى حد فعال جداً بحيث يصبح المزيد من تفاعلات الاندماج النووي ممكناً لفترة قصيرة من الزمن، فيمتص أكثر مما تحرر من الطاقة. وفي هذا الفرن النجمي النهائي والأشد حرارة، تتشكل العناصر الثقيلة غير الحديد، كالذهب، والرصاص، واليورانيوم. إن هذه العناصر، مع العناصر الأخف، كالكربون والأكسجين، التي كانت قد تشكلت في مراحل مبكرة من التركيب النووي، تُقذَف إلى الفضاء، لتمتزج هناك ببقايا عدد لا حصر له من المستعرات الأخرى. وأثناء الآباد التالية، تُغرَف هذه العناصر الثقيلة إلى أجيال جديدة من النجوم والكواكب. ولولا تصنيع ونشر عناصر كهذه، لما أمكن أن تكون هناك كواكب كالكرة الأرضية. فالكربون والأكسجين اللذان يهبان لنا الحياة، والذهب الذي ندخره في مصارفنا، وصفائح الرصاص في سقوف منازلنا، وقضبان اليورانيوم التي تستخدم وقوداً في مفاعلاتنا النووية - كلها مدينة بوجودها الأرضي لغصات الموت التي عانت منها نجوم اختفت تماماً قبل أن تظهر شمسنا إلى الوجود. وإنها لفكرة لافتة تلك التي تفيد بأن مادة أجسادنا ذاتها مؤلفة من الرماد النووي لنجوم ماتت قبل زمن طويل.

4- موت النجوم

انفجار المستعر لا يدمره تماماً. فعلى الرغم من أن الجائحة تشتت معظم المادة، فإن النواة المتفجرة التي قدحت الحادثة تبقى في مكانها. ولكن مصيرها أيضاً يبقى دقيقاً. فإذا كانت كتلة النواة صغيرة إلى حد ما - لنقل، ككتلة شمسية - فإنها سوف تشكل كرة من النيوترونات بحجم مدينة صغيرة. والأكثر احتمالاً، أن يدور هذا «النجم النيوتروني» حول نفسه مسعوراً، ربما أكثر من 1000 دورة/ثا، أو 10% من سرعة الضوء على السطح. وهو يكتسب هذا الدوران الذاتي المدوخ لأن الانفجار ضخَّم، إلى حد هائل، الدوران البطيء نسبياً لنجم الأصلي؛ وهذا هو المبدأ نفسه الذي يسبب الدوران الذاتي الأسرع في مزالج الجليد عند ضم أذرعها. وقد اكتشف الفلكيون الكثير من هذه النجوم النيوترونية السريعة الدوران. ولكن سرعة الدوران تتباطأ تدريجياً عندما يخسر الجسم الطاقة. فعلى سبيل المثال، تباطأ الآن النجم النيوتروني في وسط سحابة السرطان إلى 33 دورة/ثا.

وإذا كانت كتلة النواة أكبر نوعاً ما - لنقل، عدة كتل شمسية - فإنها لا يمكن أن تستقر كنجم نيوتروني. فشدة الجاذبية تكون قوية جداً إلى درجة لا يمكن معها حتى للمادة النيوترونية - أشد المواد المعروفة صلابة - أن تقاوم انضغاطاً إضافياً. وعندئذٍ، يتم إعداد المسرح لحدث مرعب وكارثي أكثر من المستعر. فنواة النجم تواصل الانهيار، وفي أقل من جزء من الألف من الثانية تكوِّن ثقباً أسود وتغيب فيه.

ينتهي النجم الضخم إذن إلى نسف نفسه إلى قطع صغيرة، مخلفاً نجماً نيوترونياً أو ثقباً أسوداً محاطاً بانتشار الغازات المقذوفة. وما من أحد يعرف عدد النجوم التي قضت نحبها حتى الآن بهذه الطريقة، ولكن درب التبانة وحده يمكن أن يحتوي على بلايين من هذه الجثث النجمية.

عندما كنت طفلاً، كان يساورني خوف رهيب من إمكانية انفجار الشمس. ولكن لا خطر في أن تصبح مستعراً. فهي صغيرة جداً. ومصير النجوم المنيرة، بشكل عام، يكون أقل عنفاً من مصير قريباتها الضخمة. أولاً، تتواصل العمليات النووية التي تلتهم الوقود بسرعة أكثر رصانة؛ ففي الواقع، يمكن لنجم قزم عند الحافة السفلى لنطاق الكتلة النجمية أن يتألق بثبات على مدى ترليون سنة. وثانياً، لا يمكن لنجم منير أن يولد حرارة داخلية عالية بما يكفي لتركيب حديد، وبالتالي، إطلاق انفجار كارثي.

الشمس، نموذجياً، نجم ضعيف الكتلة إلى حد ما، يشتعل بثبات بواسطة وقوده من الهيدروجين ويحوِّل داخليته إلى هليوم. ويستوطن الهليوم عادة في النواة المركزية التي هي خاملة بقدر ما يتعلق الأمر بالتفاعلات النووية: يحدث الاندماج على سطح النواة. ولهذا، فإن النواة بالذات غير قادرة على الإسهام إلى توليد الحرارة المهمة اللازمة لإسناد الشمس في مواجهة قوى الجذب الساحقة. ولمنع الانهيار، لا بد للشمس من توسيع نشاطها النووي نحو الخارج، بحثاً عن هيدروجين جديد. وفي غضون ذلك، تنكمش نواة الهليوم تدريجياً. ومع انقضاء الآباد، سيتغير مظهر الشمس على نحو لا يمكن الإحساس به نتيجة للتبدلات الداخلية. فهي ستنتفخ حجماً، ولكن سطحها سيبرد إلى حد ما، مما يضفي عليها تموجاً لونياً ضارباً إلى الحمرة. ويستمر هذا الميل حتى تتحول إلى نجم أحمر عملاق، ربما خمسة أضعاف ما هي عليه الآن. والفلكيون يعرفون العمالقة الحمر، وتقع في هذه الفئة عدة نجوم مضيئة معروفة تماماً في سماء الليل، كالدبران، والمَنكِب، والسماك الرامح. ويؤشِّر الطور العملاق الأحمر بداية النهاية لنجم صغير الكتلة.

ومع أن عملاقاً أحمر يكون بارداً نسبياً، فإن حجمه الكبير يضفي عليه سطحاً ضخماً مشعاً، مما يعني تألقاً إجمالياً أكبر. وستواجه كواكب الشمس وقتاً عصيباً، حيث تهاجمها زيادة التدفق الحراري على مدى أربعة بلايين سنة. ستصبح الأرض، قبل ذلك بوقت طويل، غير صالحة للسكنى، فتختفي محيطاتها، ويتشقق غلافها الجوي. وبما أن الشمس تتمدد دائماً، فإنها سوف تغمر بغلافها الناري عطارد، ثم الزهرة، وأخيراً الأرض. وسيتحول كوكبنا إلى جمرة، تتشبث بعناد بمدارها حتى بعد احتراقها؛ وستكون غازات الشمس الحارة الحمراء ضعيفة جداً حتى أن الشروط ستقارب فراغاً، يمارس جذباً بسيطاً على حركة الأرض.

وجودنا ذاته في الكون هو نتيجة لاستقرار استثنائي لنجوم مثل الشمس، التي يمكن أن تشتعل بثبات مع تبدل طفيف على مدى بلايين السنين، وهي فترة طويلة بما يكفي لتطور الحياة وازدهارها. ولكن هذا الاستقرار سينتهي في طور العملاق الأحمر. فالمراحل المتعاقبة في سيرة نجم كالشمس تكون معقدة، وشاذة، وعنيفة، تترافق بتبدلات مفاجئة نسبياً في السلوك والمظهر. والنجوم الهرمة قد تقضي ملايين السنين في حالة خفقان، أو تلقي قذائف الغاز. وقد يشتعل الهليوم في نواة النجم لتشكيل

4- موت النجوم

الكربون، والنتروجين، والأكسجين - وبذلك تتأمن طاقة حيوية ستساعد النجم فترة أطول. وعن طريق تنفيس غلافه الخارجي إلى الفضاء، يمكن لنجم أن يؤول مصيره إلى التقشر نزولاً إلى نواة الكربون - الهيدروجين.

بعد هذه الفترة من النشاط المعقد، تستسلم النجوم ذات الكتل الصغيرة والمتوسطة، بصورة حتمية، إلى الجاذبية وتنكمش. والانكماش لا يرحم، ويتواصل حتى ينضغط النجم إلى حجم كوكب صغير، الذي يصبح جسماً يعرفه الفلكيون باسم القزم الأبيض. وبما أن الأقزام البيضاء صغيرة جداً، فإنها تكون معتمة جداً، على الرغم من حقيقة أن درجات الحرارة على سطوحها يمكن أن تكون أكبر من درجة حرارة الشمس. ولا يرى أحدها من الأرض بدون مساعدة المنظار.

وقدر شمسنا أن تصبح قزماً أبيض في المستقبل البعيد. وعندما تبلغ ذلك الطور، فإنها سوف تبقى حارة على مدى بلايين عديدة من السنين؛ وسيصبح حجمها الضخم مدمجاً جداً إلى حد تحتبل معه حرارتها الداخلية بفعالية أكبر من أفضل العوازل المعروفة. ولكن، بما أن الفرن النووي الداخلي سيغلق نهائياً، فلن تكون هناك احتياطيات من الوقود لتعويض التسرب البطيء للإشعاع الحراري إلى أعماق الفضاء البارد. وببطء بالغ الشدة، سوف تبرد وتعتم بقية القزم الذي كان مرة شمسنا الجبارة، حتى تباشر تحولها النهائي، وتتصلب تدريجياً إلى كريستال ذي صلابة استثنائية. وأخيراً، تتلاشى تماماً، وتبتلعها بهدوء ظلمة الفضاء.