27

العمالقة الحمر

Red giants

العمالقة الحمر، من بين أكبر النجـــوم في الكون، هي المرحلة الأكثر إثارة في تطور النجوم مثل شمســـنا وهي تلعب دورًا رئيســـيًّا في نشأة العناصر الثقيلة. كان من المعتقد ذات مرة أنها نجوم صغيرة إلا أن طبيعتها الحقيقية لم يُتعرف عليها إلا بعد أن دفنت المفاهيم الخاطئة حول بنية النجوم.

نشأ مصطلح العملاق الأحمر من تقسيم «إجنار هيرتزسبرنج» في عام 1905 للنجوم على حســـب لمعانها إلى أقزام وعمالقة. فقد أدرك هو و«هنري نوريس راسل» أن لمعان هذه النجوم الشديد وانخفاض درجة حرارة ســـطحها يدلان على أن حجمها هائل. ومع ذلك، كان من الواضح أيضًا أنه على الرغم من ظهور هذه النجوم اللامعة في ســـماوات كوكب الأرض إلا أنها نادرة للغاية مقارنة بإخوتها الأقزام الأكثر خفوتًا.

تفسير الوحوش

العمالقة الحمر تتســـم بالضخامة بحيث أنه إذا حل أحدها محل الشمس في نظامنا الشمسي فإن هذا من شـــأنه أن يبتلع مدارات العديد من الكواكب بما فيها كوكب الأرض. في وقت مبكر

الخط الزمني

1920م	1938م	1945م
أثبت «ميكلسون»، و«بيز» ضخامة قطر نجم منكب الجوزاء في كوكبة الجبار.	قدّم «أوبيك» فكرة أغلفة الاندماج التي يســـبب تطورهـــا التغيرات في حجم النجم ولمعانه.	وضع «جـــورج جامـــو» نموذجًا للعمالقـــة الحمـــر على أنهـــا مرحلة متأخـــرة في تطور النجوم الشـــبيهة بالشمس.

مـــن عام 1919 توقع «آرثر إدينجوتن» حجم العملاق الأحمر المشـــهور «منكب الجوزاء» في كوكبة الجبار. وفي السنة التالية استخدم «ألبرت ميكلسون»، و«فرانسيس بيز» تلسكوب هوكر في مرصد جبل ويلســـون في كاليفورنيا والذي كان آنذاك الأكبر في العالم لاســـتهداف منكب الجـــوزاء لإثبات توقع «إدينجوتن». لكـــن من المثير للفضول أن الدليل بدا أنه يشـــير إلى أن العملاقة الحمر وزنها ليس أكبر كثيرًا من النجوم الأقزام العادية. من الواضح أنه يجب أن يكون هناك اختلاف أســـاسي ما بين العمليات التي تؤدي إلى نشأة الطاقة في الأقزام والعملاقة، ولكن ماذا يمكن أن يكون هذا الاختلاف؟

لقد نشـــأ الحل من الاقتراح الجريء لـ «إرنســـت أوبيك» عام 1938 أن النجوم ليست متجانسة (انظر صفحة 121). فقد اقترح ما يخالف كل النظريات السائدة في هذا العصر بشأن الوقت الذي تصبح فيه دواخل النجم مختلطة تمامًا فقال إن إنتاج الطاقة يحدث في مناطق أساسية منفصلة تتراكم فيها نواتـــج اندماج الهيدروجين بمرور الزمـــن. وبتطبيق فكرة «إدينجوتن» للتوازن بين قوة الإشـــعاع الخارجي، وقوة ضغط الجاذبيـــة للداخل أوضح «أوبيك» أن اللب يزداد كثافة وســـخونة كلما استهلك إمداده من الهيدروجين. وفي نهاية المطاف، على الرغم من أن وقود اللب يستهلك إلا أن تأثير حرارته على ما يحيط به يخلق ظروفًا مناسبة لحدوث اندماج في غلاف من المادة حوله.

وبسبب ارتفاع درجات الحرارة تلك فإن «احتراق غلاف الهيدروجين» هذا يحدث بمعدل أسرع كثيرًا من انصهار اللب مما يعزز من لمعان النجم ويتسبب في جعل منطقة الغطاء التي فوق

1952م

اكتشـــف «هويل»، و«فاولر» تفاعـــل ألفا الثلاثـــي لاندماج الهيليوم.

1956م

أوضح «شيكلوفســـكي» أن العملاقة الحمـــر أطاحت بأغلفتهـــا الجوية في الســـدم الكوكبية وأظهـــرت أنويتها كنجوم قزمة بيضاء.

1962م

عرّف «شوارزشيلد»، و«هارم» وميض الهيليـــوم. وهـــو تغيير مفاجـــئ في بنية العمـــلاق الأحمر يســـبب بـــدء احتراق الهيليوم.

الغـــلاف تتمدد تمددًا هائلًا وتكون عملاقًا أحمر. ولأن احـــتراق الغلاف يبدد الوقود بسرعة، رأى «أوبيك» أنه سيكون مرحلة قصيرة نسبيًّا في دورة حياة النجم مما يفسر سبب كون العمالقة الحمر أندر كثيرًا في مجرتنا من النجوم الأقزام.

ما وراء غلاف الهيدروجين

«الوقت الذي يستغرقه النجم في تطوره ليصبح عملاقًا أحمر لا بد أن يكون أقصر كثيرًا من الفترة التي سيقضيها في النسق الأساسي.»
جورج جامو

بحلول أوائل الخمســينيات، رسخت الأفكار القائلة بأن اندماج الهيدروجـــين هو المصدر الرئيسي لطاقة النجوم وأن احتراق الغلاف هو المحرك لتطور العمالقة الحمر. كان الســـؤال البديهي التالي هو ما إذا كانت تفاعلات الاندماج الأخرى يمكن أن يكون لها دور أيضًـــا. كان الهيليوم مثـــيرًا للاهتمام على نحو خاص لأنه ينتج بوفـــرة في المراحل الأولى من اندماج الهيدروجين. بدأ مختلف علماء الفيزياء الفلكيـــة والعلماء النوويين في تركيز اهتمامهم على سلســـلة معينة من تفاعلات اندمـــاج الهيليوم باعتبارها إحدى الطرق الممكنـــة التي قد تبقى بها النجوم لامعة وأيضًا تولد بعضًا من أكثر العناصر الثقيلة وفرة في الكون. وقد جاء الحل في شكل تفاعل ألفا الثلاثي (انظر المربع صفحة 169)، وهو تفاعل اندماج بين أنوية الهيليوم التي تشتعل عندما يصل لب النجم العملاق الأحمر الذي ينهار ببطء إلى كثافة ودرجة حرارة حرجتين.

وبمجـــرد أن يصبح احتراق الهيليوم ممكنًا فإنه ينتشر في اللب في حدث يســـمى «وميض الهيليوم». إعادة اشـــتعال اللب هذه لها تأثير كبير على البنية الداخلية للنجم، ويتســـبب ضغط الإشعاع المستعاد من اللب في جعل غلاف الهيدروجين المحترق يتمدد ويصبح أقل كثافة كلما قلت سرعة الاندماج ونتيجة لذلك ينكمش النجم ككل ويصبح أقل لمعانًا قليلًا. تستنفد إمدادات اللـــب من الهيليوم بسرعة كبيرة، وبعدهـــا ينتقل اندماج الهيليوم إلى غـــلاف خاص به تحت الغلاف المحترق للهيدروجـــين فيضيء النجم مرة أخرى ويتمدد. بالنســـبة للغالبية العظمى للنجوم تقترب

النهاية بسرعة ـ فاللب الذي أصبح حينئذ غنيًّا بالكربون والأكسجين يستمر في الانكماش لكنه لا يصل أبدًا إلى درجات الحرارة القصوى الضرورية للبقاء للتنفيذ مرة أخرى.

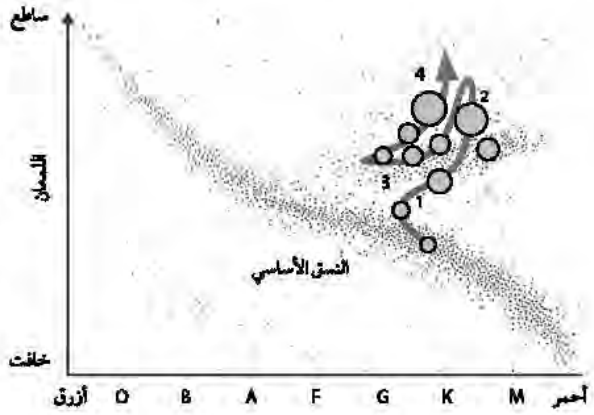
وفي وقت متأخر من تطور العمالة الحمر أرسل العديد منها نبضات في طبقاتها الخارجية، تزيد وتتقلص بسبب عدم الاستقرار في بنيتها الداخلية (انظر صفحة 172). وهذه التذبذبات يمكن أن تصحبها تغيرات جوهرية في اللمعان إما أن تكون تغيرات مباشرة في الطاقة الخارجة للنجم، أو نتيجة لطبقات معتمة من الغاز والغبار الغني بالكربون الذي يلقى خارج الجزء العلوي من الغلاف الجوي ويحجب ضوء الكرة الضوئية تحته.

تفاعل ألفا الثلاثي

تعرف العملية المسؤولة عن دمج الهيليوم في الكربون في ألباب النجوم المتطورة باسم «تفاعل ألفا الثلاثي» لأن نواة الهيليوم العادية (المكونة من بروتونين ونيوترونين) مكافئة لجسيمات ألفا المنبعثة من بعض المواد المشعة. المرحلة الأولى من العملية تنطوي على نواتي ذرتي هيليوم تتحدان لتكوين نواة بريليوم 8-. نظير البريليوم هذا غير مستقر بدرجة عالية ويتفكك طبيعيًّا إلى نواتي هيليوم تقريبًا على الفور، لكن عندما تتخطى الظروف في اللب قيمة معينة تستطيع نواتا الهيليوم تكوين البريليوم أسرع من قدرته على التفكك. وعندما يبدأ البريليوم في التراكم في اللب، تصبح المرحلة الثانية من العملية ممكنة- وهي الاندماج مع نواة هيليوم أخرى لتكوين الكربون. ووفقًا لنماذج التفاعلات النووية في أوائل الخمسينيات من القرن العشرين، من المستبعد أن تحدث هذه العملية حتى عندما يتم إجبار نواتي البريليوم الهليوم على التفاعل معًا، لكن عالم الفيزياء الفلكية البريطاني «فريد هويل» أدرك بشكل جلي أنه يجب أن يحدث إذا كانت النجوم ستشكل الكربون، ومن ثم تنبأ بوجود «رنين» بين طاقات الأنوية الثلاثة المعنية من شأنه أن يجعل حدوث الاندماج أكثر احتمالًا. وعلى الرغم من شكوك مؤسسة الفيزياء النووية، إلا أن فريق «ويليام ألفريد فاولر» اكتشف في وقت لاحق هذا الرنين في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في عام 1952.

الغاية النهائية

شرح عالم الفلك السوفييتي «أوسيف شكلوفسكي» مصير العمالقة الحمر عام 1956، فقد وجد حلقة تطورية مفقودة في شكل السدم الكوكبية. يبدو أن هذه الفقاعات الجميلة للغازات بين النجمية التي تشبه الساعة الرملية والتي تشبه الحلقات والمضاءة بفعل نجم أبيض ساخن في منتصفها تتمدد بسرعة هائلة. وقد أدرك «شيكلوفسكي» أن هذه السمات من شأنها أن تجعل السدم الكوكبية أجرامًا لها عمر قصير جدًّا بالنسبة للفلك (ربما لا تبقى إلا بضعة آلاف من السنين) واستنتج أنها لا بد أن تكون مرحلة متوسطة بين جرمين آخرين أكثر انتشارًا. ويبدو أن النجم الأبيض الساخن الذي في المركز هو نسخة أكثر سخونة من «قزم أبيض» (انظر صفحة 191) المصير النهائي لجميع السدم الكوكبية. وفي هذه الأثناء، تظهر الأغلفة الغازية تشابهًا قويًّا مع أغلفة العمالقة الحمر ـ هل يمكن أن يكون هذا هو أصلها؟.



عندما يستهلك النجم الشبيه بالشمس الهيدروجين في لبه فإن هذا النجم يخرج عن النسق الأساسي في مخطط هيرتزسبرنج ـ راسل، ويلمع ويتضخم (1) ليصبح عملاقًا أحمر (2). احتراق لب الهيليوم يشهد أيضًا تحركه في الفرع الأفقي (3) لكن عندما يخرج احتراق الهيليوم أيضًا في غلاف فإن النجم يتضخم مجددًا ويتحرك إلى ما يسمى فرع العملاق المقارب (4).

الأبحاث التي أجريت في وقت لاحق دعمت هذا الاستنتاج الجريء، ففي عام 1966 أوضح «جورج أوجدين»، و«بيتر جولدريتش» بالضبط الطريقة التي يستطيع بها الغلاف الجوي لعملاق أحمر أن يتسرب ليصبح سديمًا كوكبيًّا، في حين أنه في الفترة الواقعة بين الخمسينيات والسبعينيات استخدم

«مارتن شوارزشيلد»، و«ريتشارد هارم» في برينستون أجهزة الكمبيوتر لوضع نموذج لقصة العمالقة الحمر بأكملها مع تعقيد متزايد. وفي الآونة الأخيرة، كشـفت الصور المأخوذة من تليسـكوب هابل الفضائي والمراصد الحديثة الأخرى عن تفاصيل أكثر حول مراحل الموت في النجوم مثل الشمس.

الفكرة الرئيسة

العمالقة الحمر هي نجوم شبيهة بالشمس عتيقة ومتطورة