29

العمالقة الفائقة

Supergiants

إن أكثر النجوم سـطوعًا في الكون يفوق لمعانها لمعان الشمس مليون مرة، وهي تتراوح ما بين العمالقة الفائقة الزرقـاء المضغوطة لكن ثقيلة الحجم، وحتى العمالقة الضخمة الحمراء المتضخمة التي تقل عنها في الحجم لكن لا تقـل عنها في الروعة، ومثل هذه الوحوش النجمية تلعب دورًا مهمًا في نشر العناصر الثقيلة في الكون.

إن البحث عـن ألمع النجوم وأثقلها هواية دائمة لعلماء الفلـك، لكن إثبات الفيزياء التي وراءهـا كان انطلاقة مهمة في فهمنا للكون ككل. يـأتي مصطلح العمالقة الضخمة من موضع تلك النجوم على مخطط هرتزسـبرنج ـ راسل وقد شكل «ويليام ويلسون مورجان»، و«فيليب سي كينان»، و«إديث كلمان» في الأربعينيات والخمسينيات تقسيمًا من نجوم ذات «فئات لمعان» مختلفة تلازم أنواعها الطيفية. وغالبًا ما تعرف فئة اللمعان باسم تصنيف MK، أو تصنيف يركس (انظر المربـع صفحة 181)، وكل منها في هذا النظام يشـار إليه برقم روماني. أقزام النسـق

الخط الزمني

1843م	1867م	1943م
انفجر النجم المتغير الأزرق اللامع «إيتا كارينـا» لكي يصبـح لفترة وجيزة ثـاني أكثر النجـوم لمعانًا في السماء.	عـرّف «تشـارلز وولـف»، و«جورجس رايت» الأمثلة الأولى من نجوم وولف ـ رايت.	أطلـق «مورجـان»، و«كينـان»، و«كيلـمان» مصطلـح العمالقـة الضخمة على أكثر النجوم سطوعًا في نظام التصنيف الخاص بهم.

الأساسي العادية هي فئة V بينما تنقسم العمالقة الضخمة إلى فئة Ia، وIb ثم أضيفت فيما بعد فئة من العمالقة الفائقين أكثر سطوعًا وهي الفئة o.

وقد اقترح «آرثر إدينجوتن» في وقت مبكر من العشرينيات أن هناك حدًّا للمعان بعده لا يستطيع أي نجم أن يبقى مستقرًّا في مواجهة الضغط الخارجي للإشعاع. ولما كانت هناك علاقة تربط الكتلة واللمعان، فإن ذلك يضع حدًّا أقصى لكتلة النجوم المستقرة. وحتى عهد قريب، كان من المعتقد أن هذا الحد في حدود بضع عشرات من الكتل الشمسية لكن الآن أصبح من المفهوم أن مجموعة واسعة من العناصر تؤثر على استقرار النجوم وتسمح لها بأن تزداد دون أن تنفجر منفصلة عن بعضها البعض في عملية التشكل.

«يبدو أن هناك علاقة عامة بين الكتلة الكلية لتجمع ما والنجم الأضخم كتلة في هذا التجمع.»

بول كروثر

ومن ثم، فإن أثقل النجوم المعروفة اليوم هو «R136a1»، وهو نجم ضخم يبلغ 265 كتلة شمسية ويقع في قلب تجمع نجوم صغيرة كثيف في مجرة سحابة ماجلان الكبرى.

وحوش متنوعة

تتغلب الجاذبية في أكثر النجوم ضخامة على الميل الطبيعي للتمدد مما يؤدي إلى بقاء النجوم في صورة عمالقة ضخمة زرقاء مضغوطة نسبيًّا درجات حرارة سطحها في حدود عشرات

1954م

أوضح «هويل» الطريقة التي تستطيع بها العمالقة الضخمة توليد مجموعة متنوعة من عمليات الاندماج.

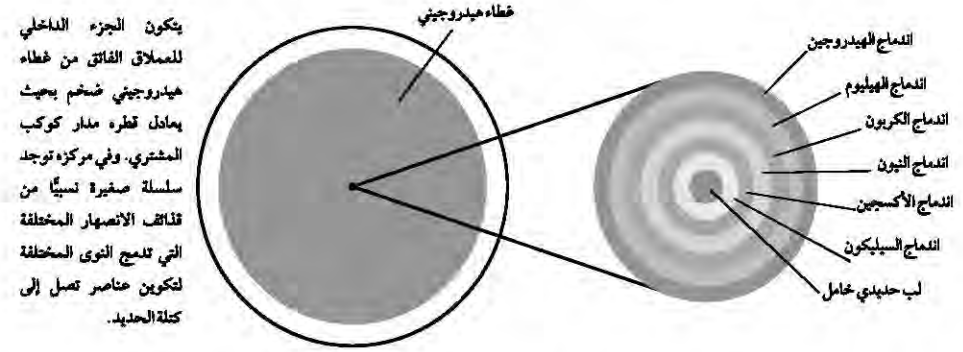
1971م

صاغ «كينان» التعريف الحديث للنجم العملاق الفائق.

2010م

اكتشف «بول كروثر»، وآخرون أثقل النجوم المعروفة، وهو «R136a1» في سحابة ماجلان الكبرى.

الآلاف من الدرجات. ومع ذلك، ثبتت صحة النقطة الأساسية لـ«إدينجوتن» في المجموعة المختلفة من النجوم العملاقة الضخمة التي كانت قد درست ذلك الوقت، والتي تقول إن شدة لمعان النجوم الضخمة تجعلها غير مستقرة. النجوم المتغيرة الزرقاء المضيئة (LBVs) هي نجوم متطورة للغاية (على الرغم من أن عمرها لا يتجاوز بضعة ملايين من السنين بفضل فترة العمر المعجلة لأكثر النجوم ضخامة) وحجمها، وسطوعها، ودرجة حرارة سطحها تتأرجح بشدة عند اقترابها من نهاية حياتها القصيرة.



والعملاقة البيضاء الضخمة المعروفة باسم نجوم وولف ـ رايت إلى حد ما أقل ضخامة من النجوم المتغيرة الزرقاء المضيئة (LBVs)، وقد كشف طيفها عندما رصدت للمرة الأولى في ستينيات القرن التاسع عشر أنها محاطة بغازات سريعة التمدد، وأنها تخفق في الانصياع لعلاقات الكتلة، ودرجة الحرارة، واللمعان، وهي أحد الأمثلة الكلاسيكية لنظرية إدينجوتن عمليًا: تبدأ النجوم حياتها بالكثير من اللمعان لدرجة أن الرياح النجمية السريعة تنزع طبقاتها السطحية. وكشف الطبقات الأعمق، والأكثر سخونة يزيد فقط من الضغط الخارجي للإشعاع، مما يؤدي إلى خلق تأثير كبير يمكن أن يجعل النجم يفقد مقدارًا كبيرًا من كتلته ـ ربما عشرات قيمة الشمس ـ خلال حياة احتراق الهيدروجين القصيرة، والفقد السريع في الكتلة له تأثير كبير على الطريقة التي تتطور بها النجوم في مراحل لاحقة من حياتها.

أما العملاقة الضخمة الصفراء الأكثر برودة هي نجوم قد استنفدت هيدروجينها الأساسي وتتوسع في اتجاه مرحلة العملاقة الضخمة الحمراء. وأثناء قيامها بذلك،

تعبر «شريط عدم الاستقرار» في مخطط هرتزسبرنج ـ راسل وتصبح نجومًا متغيرة قيفاوية (انظر صفحة 172). وبفضل الفقد المبكر للمادة فإن هذه النجوم تميل إلى أن تصبح أقل ضخامة من النجوم المتغيرة الزرقاء المضيئة (LBVs)، حيث تصل كتلتها إلى حوالي 20 شمسًا. ومن ناحية أخرى، العمالقة الفائقة الحمراء هي ناتج التوسع أثناء المراحل النهائية للتطور النجمي. ومثل العمالقة الحمر، تُكون اندماجًا ينتقل من لب النجم إلى واحد أو أكثر من الأغلفة التي تشبه الطبقات. هذه هي أكبر النجوم في الكون من حيث الحجم وأقطارها تكافئ مدار كوكب المشتري أو أكبر. ومع ذلك لا يصل إلى هذه المرحلة إلا النجوم التي كتلتها حتى 40 كتلة شمسية، أما النجوم الأثقل فتصل إلى نهايات عنيفة في مرحلة المستعر الأعظم وهي لا تزال في مرحلة النجوم المتغيرة الزرقاء المضيئة (LBVs).

فئات اللمعان

اكتشف عالم الفيزياء الألماني «يوهانز ستارك» عام 1913 ظاهرة تعرف باسم اتساع الضغط والتي تجعل خطوط الامتصاص أو الانبعاث الطيفي المصاحبة لغاز معين تصبح أوسع عندما يكون الغاز تحت ضغط أكبر. وهذا ينتج عن زيادة عدد التصادمات مع جسيمات الغاز مما يؤدي إلى حدوث تغيرات طفيفة في الطاقة الكلية التي تنبعث من كل ذرة مفردة أو تمتصها كل ذرة مفردة.. وقد أدرك «مورجان وكينان» من مرصد «يركس أنه من الممكن استخدام ذلك لتقدير حجم النجوم». نظرًا إلى أن الغازات الموجودة في الكرة الضوئية لنجم صغير كثيف تقع عند ضغط أعلى من الضغط الواقع على الكرة الضوئية لنجم عملاق متضخم فإن النجوم القزمة إذن ينبغي أن يصدر عنها خطوط طيف أوسع من خطوط طيف العمالقة. وقد كان هذا أحد الإبداعات الرئيسية لنظام مورجان ـ كينان، أدى إلى إنشاء طريقة مختصرة لتحديد لمعان النجوم.

وبمجرد أن تم الدمج بين هذه الطريقة المستقلة عن قياس حجم النجم وبين المعلومات عن اللون ونوع الطيف أصبح من الممكن مباشرة استنتاج لمعان النجوم، وعن طريق الاتساع استنتاج بعدها المرجح عن كوكب الأرض. وقد أوضح ذلك للمرة الأولى أن العديد من أنواع النجوم التي تبدو في الظاهر غير مرتبطة ببعضها البعض، والتي لها ألوان وسمات مختلفة في الحقيقة جميعها عمالقة فائقة شديدة اللمعان.

أفران العناصر

أوضح «فريد هويل» عـــام 1954 العمليات التي تحدث داخل العمالقة الفائقة، فقال إن الضغط الهائل الذي تبذله الطبقات الخارجية لهذه النجوم من شـــأنه أن يضغط ألبابها في وقت متأخر من حياتها مما يؤدي إلى جعلها ســـاخنة جدًّا لدرجـــة أن عمليات الاندماج لا تنتهي في تفاعل ألفا الثلاثي كما تفعل في النجوم الشـــبيهة بالشـــمس (انظر صفحة 169)، بل يســـتمر الاندماج فتضطر أنوية العناصر إلى الاتحاد معًا مثل الكربون والأكســـجين، جنبًا إلى جنب مع الهيليوم المتبقي لبناء عناصر ثقيلة على نحو متزايد مثل النيون والسيليكون.

تستطيع العملية الجارية في نهاية المطاف تكوين عناصر حتى الحديد، والكوبالت والنيكل- وهي أثقل العنـــاصر والتي يطلق تكونها طاقة أكبر مما يمتص. أمـــا أصل العناصر الأثقل من الحديد فإنه مع ذلك بقي لغزًا. ثم في عام 1952 اكتشف الفريق المكون من الزوجين جيوفري ومرجريت بوربيدج عددًا من النجوم غـــير العادية بدت ثرية بهذه العناصر الأثقل. ونظرًا إلى أنها لا يمكن أن تكون قد تكونت من اندماج مباشر فإن الطريقة البديلة الوحيدة لتفســـير هذا التكون هي القصف البطيء للنواة الأخف باســـتخدام النيوترونات الفردية تحت الذرية. وقد جذب عمل الزوجين انتباه «ويليام ألفريد فاولر» فبدآ العمل معه هو و«هويل» وكانت النتيجة النهائية مقالة مراجعة معروفة باســـم «B2FH» في عام 1957 (مأخوذة من اختصارات أســـماء مؤلفيهـــا). وقد أوضح ذلك للمرة الأولى ليس فقط دور الاندماج النووي بل أيضًا نوعين من أنواع التقاط النيوترون هما: الالتقاط البطـــيء والالتقاط السريع في عملية تخليق المواد داخل النجوم الضخمة. وقد كان عالم الفيزياء الفلكية الكندي «ألاســـتير جيه دبليو كاميرون» يتبع مسارًا مشابهًا في البحث لكن على نحو مستقل، وربط فيه بين عملية التقاط النيوترون السريعة،

وانفجارات المستعر الأعظم (انظر صفحة 187)، وقد ثبت أن هذا هو الخطوة الأخيرة الحاسمة في تفسير أصل العناصر داخل النجوم.

الفكرة الرئيسة

النجوم ثقيلة الوزن تعيش سريعًا وتموت صغيرة في العمر