19

دورة حياة النجوم

The life cycle of stars

لقد ساعد مخطط هرتسبرنج ـ راسل، والاكتشافات التي حدثت في فهم مصادر الطاقة النجمية معًا أخيرًا علماء الفلك على بذل مجهود لفهم أكبر الألغاز العلمية على الإطلاق ألا وهو الطريقة التي بها تحيا النجوم وتموت، لكن الرحلة تضمنت التخلي عن بعض النظريات التي كانت متبناة على نطاق واسع.

لقد طرح وقدم «هنري نوريس راسل Henry Norris Russell» عام 1912 أول مخطط يرسم العلاقة بين لمعان النجوم ونوعها الطيفي وقدم أسئلة ضخمة لعلماء الفيزياء الفلكية. إن العدد الكبير من النجوم التي وجدت على طول قطر النسق الأساسي بين الأحمر الخافت والأزرق الساطع انطوى بوضوح على أن هذا هو المكان الذي تقضي فيه غالبية النجوم معظم حياتها، لكن كيف ينبغي تفسير هذه الأنماط؟ كان لرائدي الرسم التخطيطي وجهتا نظر مختلفتان لكن كلتيهما اعتقدتا أن الرسم يعكس تطور النجم. لقد شك «راسل» أن النجوم تبدأ

الخط الزمني

1913م	1926م	1938م
فسر علماء الفلك مبدئيًا النسق الأساسي في مخطط هرتسبرنج ـ راسل على أنه مسار تطوري.	سلط «إدينجوتن» الضوء على أهمية علاقة الكتلة ـ اللمعان بالنسبة للتطور النجمي.	ذهب «أوبيك» إلى أن المادة النجمية ليست مختلطة جيدًا مما يؤدي إلى وجود حدود لإمداد الوقود ومن ثم عمر النجوم.

حياتها كعمالقة حمر، وتنكمش لتصبح نجومًا زرقاء لامعة، ثم تخفت ببطء وتتحرك إلى أسفل النسق الأساسي وتبرد كلما تقدم بها العمر. أما أفكار «إجنار هرتسبرنج» فكانت أقل تحديدًا لكنه اعتقد أن النسق الأساسي والمجموعة الأفقية من العمالقة متعددة الألوان والعمالقة الضخمة متعددة الألوان الموجودة بطول الجزء العلوي من الرسم التخطيطي تمثلان مسارين تطوريين مختلفين.

عمر النجوم

مدة عمر النجوم يمكن أن تختلف اختلافًا كبيرًا اعتمادًا على كتلتها وتكوينها. فالنجوم الثقيلة يمكن أن تكون لها كتلة تساوي عدة مرات كتلة الشمس لكنها تشرق بعدة آلاف مرة من لمعان الشمس. ولذلك تحرق وقودها أسرع من الشمس بكثير، وفي حين أن شمسنا ستقضي حوالي 10 مليار سنة في النسق الأساسي (تدمج الهيدروجين والهيليوم في لبها) ومئات ملايين السنين في مراحل لاحقة من تطورها فإن نجمًا كتلته 8 كتل شمسية يمكن أن يستنفد الإمدادات التي في لبه من الهيدروجين فقط في بضعة ملايين من السنين مع قصر المراحل الأخرى من دورة حياته قصرًا كبيرًا أيضًا.

الكتلة هي أهم العوامل التي تؤثر في عمر النجم. ودرجات الحرارة الأعلى والضغوط في لب النجوم الضخمة تسمح لدورة اندماج دورة كربون ـ نيتروجين ـ أكسجين الأكثر كفاءة إلى حد كبير بأن تكون هي السائدة (انظر صفحة 116) في حين أنه في النجوم الأقل ضخامة سلسلة بروتون بروتون الأكثر هدوءًا هي التي تولد معظم الطاقة.. والتكوين أيضًا يلعب دورًا: فدورة كربون ـ نيتروجين ـ أكسجين لا يمكن أن تحدث إلا إذا كان الكربون موجودًا حتى يقوم بدور المادة الحفازة، ولما كان الكون قد أصبح غنيًا بالكربون بمرور الوقت (انظر الفكرة 42) فإن دورة كربون ـ نيتروجين ـ أكسجين كانت أقل أهمية في الأجيال السابقة من النجوم.

1945م

«جامو» يفسر العمالقة الحمر على أنها مرحلة متأخرة في تطور النجوم الشبيهة بالشمس.

1956م

بيّن «إيوسيف شكلوفسكي» أن السدم الكوكبية هي عمالقة حمراء أطاحت بأغلفتها الجوية.

1961م

وصف كوشيرو هياشي مسارات التطور النجمي السابق للمتتالية الرئيسية.

علاقة الكتلة ـ اللمعان

رسخت مختلف النظريات التي تزاحمت لتثبت مكانتها حتى منتصف العشرينيات من القرن الماضي فكرة أن النجوم كانت تستمد طاقتها من شكل من أشكال الانقباض الجذبي (انظر صفحة 112) لكن كتاب «آرثر إدينجوتن» عام 1926 عن بنية النجوم جلب نهجًا جديدًا للخطوات. بدأ «إدينجوتن» العمل من نموذجه النظري لدواخل النجوم. فأجرى حسابات بأن هناك علاقة أساسية بين الكتلة واللمعان في جميع النجوم تقريبًا: كلما كان النجم أكبر ضخامة ينبغي أن يكون أكثر سطوعًا.

«النجوم لها دورة حياة مثل الحيوانات؛ فهي تولد، وتنمو، وتمر بتطورات داخلية محددة وفي النهاية تموت.»

هانز بيث

لم تكن هذه الفكرة جديدة، وهرتسبرنج نفسه سبق أن وجد بعض الأدلة عليها في النجوم الثنائية (انظر الفكرة 23) ومع ذلك فإن نهج «إدينجوتن» أثبت نظريًا أن الكتلة تزيد بزيادة كل من اللمعان ودرجات حرارة السطح الأكثر ارتفاعًا، وعلى افتراض أن النجوم لها كتل ثابتة خلال حياتها فكان من المستحيل للنجوم أن تغير من توازن درجة حرارتها وسطوعها دون تغيرات كبيرة في مصدر الطاقة الداخلي لها. وكانت النتيجة أن النجوم التي تتبع نموذج «إدينجوتن» للبنية النجمية ستكون مستقرة في مكان واحد على النسق الأساسي لمخطط هرتسبرنج ـ راسل معظم حياتها ـ وهو مكان سيتحدد عند ميلاد النجم من قبل الكتلة التي تشكلت فيها.

وهذا التفسير الثوري الجديد لمخطط هرتسبرنج–راسل قوبل بشك مدو بين زملاء «إدينجوتن»، لأسباب ليس أقلها المشكلة المستمرة لمصادر الطاقة النجمية. وقد ساعد «إدينجوتن» بنفسه في دحض نموذج الانقباض الجذبي القديم لكن البديل المفضل كان نموذج

افـتراضي «لفناء المادة» (انظر صفحة 114) الذي من شـأنه أن ينتج طاقة وفيرة ويسـمح للنجوم بالتألق ربما لتريليونات السنين لكنه أيضًا يسبب نقصًا كبيرًا في كتلة النجم على مدى عمره. وعلى أسـاس هذا الافتراض، بدا التطور تحت النسق الأساسي ـ حيث تفقد النجوم كتلتها وتخفت كلما تقدم بها العمر ـ أمرًا منطقيًّا.

لم يكن إلا في أواخر الثلاثينيات من القرن العشرين، مع عمل «بيث» المتطور على تفاعل سلسـلة بروتون بروتون (انظـر صفحة 115) أن بدأ كل شيء يصبـح مفهومًا. فمن أجل إطلاق خرج الطاقة المرصود مـن النجوم، لا بد أن يحدث اندماج نووي بمعدل سرعة أكبر من عملية الفناء، لكن لا بد أن يكون لا يزال قادرًا على إبقاء نجم مثل الشـمس يلمع لمعانًا مطردًا لمليارات السـنين. والأكثر من ذلك أنه سيكون هناك فقد في الكتلة قليل نسبيًّا ما بين بداية حياة النجم ونهايتها.

شرح العمالقة

بقي قول «إدينجوتن» أن النجوم تقضي معظم حياتها في نقطة واحدة على النسق الأساسي مصونًا، لكن كانت لا تزال هناك أسـئلة رئيسية يجب أن تجاب بشأن الطريقة التي تتلاءم بها أنواع النجوم الأخرى مع القصة، ومثلما حدث، في السنة نفسها التي نشر فيها «بيث» أفكاره عن الاندماج، طرح عالم الفلك الأستوني «إرنست أوبيك» رؤية جديدة للبنية النجمية التي كان لها أيضًا آثار هامة للتطور.

إن افتراض «إدينجوتن» أن المادة داخل النجم يجري تقليبها باسـتمرار وخلطها معًا كان قد لاقى قبولًا واسـعًا في المجتمع الفلكي، ويعني ضمنًا أن جميع هذه المادة كان متاحًا في نهاية المطـاف كوقود، لكن «أوبيك» جـادل من أجل نموذج طبقي فيـه تبقى نواتج

الاندماج في اللب. وهذا يعني أن إمداد النجوم من الوقود كان أكثر محدودية بكثير، كما أكد أيضًا أن اللب يصبح أكثر كثافة وسخونة ببطء على مر الزمن أثناء اندماج وقوده الهيدروجيني مع الهيليوم. وكان اللب المتموج الموصل عن طريق الحمل محاطًا بغلاف هيدروجيني عميق آخر فيه كانت الطاقة تنقل للخارج في الأســـاس عن طريق الإشعاع وكانت المادة جميعها، التي تشـــكل الغالبية العظمى من النجم، في العادة غير متوفرة لتقوم بدور وقود الاندماج، لكن هذا يمكن أن يتغير في النجوم الأقدم. وبالبناء على فكرة اقترحها «جورج جامو» لأول مرة، قال «أوبيك» إن الاقتراب من لب متزايد الســـخونة يمكن أن يسخن الجزء السفلي من الطبقة المشعة حتى تصبح هي أيضًا قادرة على إدامة تفاعلات الاندماج. وهذا من شأنه أيضًا أن يتسبب في توسيع حجم الغلاف كثيراً.

يقضي النجم معظم فترة عمره في اندماج الهيدروجين مع الهيليوم في لبه (1)، وعندما يستهلك إمداد اللب من الوقود (2)، يتقلص اندماج الهيدروجين إلى القشرة المحيطة وفي النهاية، تزداد كثافة ودرجة حرارة اللب المتقلص إلى درجة كافية لدعم اندماج الهيليوم (3).

إن النموذج الطبقي لـ«أوبيك» من شـــأنه أن يثبت أنه مفتاح تفسير أنماط التطور، لكن مضت بعض السنوات قبل أن يصبح النموذج مقبولًا على نطاق واسع. قاد «جورج جامو» محاولات لوضع نموذج لبنية النجوم العمالقة الحمر وموضعها في التسلسل التطوري، لكنه ضل مرارًا وتكـــرارًا بفعل الاعتقاد بأن النجوم لا بد أن تكـــون مختلطة جيدًا. لم يكن حتى عـــام 1945 عندما قام بإدخال النهج الطبقي في نموذجه وأوضح أن العمالقة الحمر مرحلة لاحقة في تطور النجوم العادية نسبيًا حيث يتسبب اندماج الهيدروجين في غلاف حول اللب

في جعلها أكثر سطوعًا وأكبر من أسلافها في النسق الأساسي. وقد أدرك «جامو» أن العملاق الأحمر في نهاية المطاف من شـــأنه أن يطيح بطبقته الخارجية ويعرض لبه المستنفد كقزم أبيض ســـاخن لكن خافت (انظر صفحة 190). وهذه التطورات كانت مجرد خطوات أولى مؤقتة نحو تفسير القصة المعقدة للتطور ما بعد النسق الأساسي.

الفكرة الرئيسة

إن دورة حياة النجم تتحدد بكتلته عند ميلاده