17

بنية النجوم

The structure of stars

إن فهم البنية الداخلية للنجوم هو مفتاح تفسير الاختلافات بينها، لكن مع وضع مخطط هرتسبرنج-راسل في مطلع القرن العشرين بدأ علماء الفيزياء الفلكية في تقدير مدى تنوع النجوم تقديرًا سليمًا.

على الرغم من الاكتشافات في التحليل الطيفي النجمي تقريبًا في مطلع القرن العشرين عرف علماء الفلك على نحو مدهش القليل عن التكوين الداخلي للنجوم. كان من المفترض أن الخطوط الطيفية لا تفسر إلا مكونات الغلاف الجوي، أما السؤال عما يقع تحت الكرة الضوئية فبقي بلا إجابة، لكن عالم الفلك الإنجليزي «آرثر إدينجوتن» أثبت أنه من الممكن وضع نموذج متطور للنجوم من الداخل دون الإشارة إلى العناصر الموجودة بالضبط. وقد اشتهر «إدينجوتن» دوليًّا عام 1919 عندما قدم دليلًا تجريبيًّا لنظرية النسبية العامة لآينشتاين (انظر صفحة 289). وكان يبحث أيضًا في بنية النجوم، وفي عام 1926 نشر كتابه شديد التأثير «التكوين الداخلي للنجوم».

الخط الزمني

1906م

بحث شوارزشيلد في التوازن بين الضغط الحراري للنجم وسحب الجاذبية نحو الداخل.

1925م

ناقشت «سيسليا باين» أن الشمس مكونة أساسًا من الهيدروجين.

1926م

قدم كتاب إدينجوتن التكوين الداخلي للنجوم فكرة ضغط الإشعاع الخارجي من اللب.

الطبقات المتوازنة

«للوهلة الأولى، يبدو أن الداخل العميق للشمس والنجوم أقل سهولة في البحث من أي منطقة أخرى في الكون.»

آرثر إدينجوتن

يقوم نهج إدينجوتن على حقيقة أن درجات الحرارة داخل الشمس كانت على نحو واضح حارة بما يكفي لذوبان أي عنصر معروف، كان أن يعامل داخل النجم على أنه مائع محتجز بين سَحب الجاذبية نحو الداخل والقوة الخارجية للضغط الخاص بالنجم. علماء الفلك مثل الألماني «كارل شوارزشيلد» كانوا قد بحثوا بالفعل في هذه الفكرة باستخدام نماذج افترضت أن الضغط الخارجي كان بسبب عوامل حرارية تمامًا لكنهم وجدوا نتائج مختلفة، أما «إدينجوتن» فاعتقد أنه فضلًا عن الضغط الذي تسببه الذرات الساخنة المرتدة بكميات كبيرة من الطاقة الحركية هناك تأثير يسمى ضغط الإشعاع له دور يقوم به أيضًا. وطبقًا لنظريته، كان الإشعاع يولد في لب النجم (ولا يولد تمامًا على سطحه كما كان يعتقد معظم علماء الفلك حينئذ) وهذا يبذل ضغطًا كبيرًا من داخله أثناء انبعاث فوتوناته من الجسيمات المفردة على أعماق مختلفة داخل الشمس.

لقد اضطر «إدينجوتن» إلى استنتاج الكثير من نظريته من المبادئ الأولى، لكنه استنتج أن النجوم لا يمكنها أن تبقى مستقرة إلا إذا حدث توليد الطاقة بالكامل في لبها، عند درجات حرارة تساوي ملايين الدرجات (أكثر بكثير حتى من سطح أكثر النجوم سخونة).

1930م

اكتشف «آنسولد» أن المادة التي في الأجزاء الخارجية للنجوم الشبيهة بالشمس تشكل منطقة حمل حراري.

1938م

احتج «أوبيك» على الفرض العام بأن النجوم مختلطة اختلاطًا جيدًا.

1975م

اقترح «جوف» استخدام علم الرجفات الشمسية (هيليوسيسمولوجي) لفحص البنية الداخلية للشمس.

وقد أوضح أنه بسبب قلة الإشعاع عند المسافات الأكبر في اللب فإن أي طبقة عشوائية في النجم يمكن أن تتماسك بفعل التوازن الهيدروستاتيكي. بعبارة أخرى، عند كل نقطة في النجم، يكون الإشعاع إلى الخارج، والضغط الحراري كافيين بالضبط لموازنة قوة الجاذبية نحو الداخل.

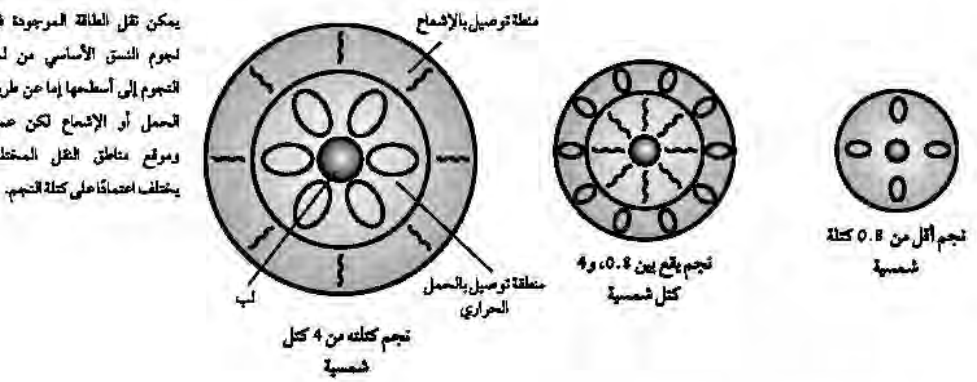
إن البنيـــة الداخلية للنجم، كما قال إدينجوتن، تحكمها التغيرات في عتامة موادها. وهناك عـــالم فلك آخر بريطاني، يدعى «جيمس جين»، قد ناقـــش أنه عند درجات حرارة عالية كهذه ســـتتأين الذرات تمامًا (تنزع منها إلكتروناتها وتصبح مجرد نواة ذرية)، وأدرك «إدينجوتن» أن درجات التأين المختلفة (عند مســـتويات مختلفة من درجة الحرارة والضغط داخل النجم) من شأنها أن تؤثر على ما إذا كان داخل النجم معتمًا أم شفافًا. وقد أثبتت نظرية إدينجوتن لدواخل النجوم نجاحها في التنبؤ بالطريقة التي تتصرف بها النجوم: أبرزها، أنها قدمت تفسيرًا للنجوم التي تنبض في دورات منتظمة (انظر صفحة 172).

طفرة الهيدروجين

تنحية مسألة الكيمياء جانبًا مكنت «إدينجوتن» من التفكير في البنية النجمية تفكيرًا مجردًا للغاية، لكن مثل هذه التفاصيل ضرورية من أجل فهم كيف تلمع النجوم وكيف تنشـــأ وتغير بنيتها على مر الزمن (انظر صفحتي 112، و118) وبالصدفة، كما كان «إدينجوتن» يؤلف كتابه في كامبريدج كانت «سيسيليا باين» تعمل على أطروحة الدكتوراة الخاصة بها في «هارفرد». وفي هذه الأطروحة، اكتشـــفت اكتشافًا رئيسيًا يربط وجود الخطوط الطيفية وقوتها بدرجة حرارة الكرة الضوئية للنجم. وقد أتاح هذا مفتاحًا للتعرف على العناصر المكونة للشمس.

كانت كثافة الخطوط الطيفية قد فسرت فيما سبق على أنها دلالة مباشرة على الوفرة النسبية للعناصر في الغلاف الجوي للنجم، لكن «باين» أظهرت أنها في الواقع كانت في الغالب بسبب

الاختلافات في درجات الحرارة. وباستخدام هذا النهج الجديد حسبت أن نسب الأكسجين، والسيليكون والكربون في الغلاف الجوي للشمس كانت على نطاق واسع شبيهة بتلك التي على كوكب الأرض، لكنها وجدت أيضًا أن نجمنا احتوى على كميات من الهيليوم والهيدروجين على نحو خاص أكبر مما سبق أن اعتقد أي أحد. واستنتجت «باين» أن هذين العنصرين هما المكونان السائدان في الشمس، بل وفي كل النجوم. واستغرقت فكرتها عدة سنوات لتصبح مقبولة على نطاق واسع.



مناطق انتقال الطاقة

أحد المواضيع الحاسمة التي أخطأ فيها «إدينجوتن» كان افتراضه أن داخل النجم متجانس ويتكون من العنصر نفسه في جميع أنحائه. لقد اعتقد أن إنتاج الطاقة في أكثر المناطق المركزية سخونة من شأنه أن يتسبب في جعل النجم كله يختلط، وأن تيارات الحمل من شأنها أن تحمل المادة الأكثر سخونة إلى أعلى وتهبط المادة الأكثر برودة لأسفل مما يضمن أن الداخل قد خلط خلطًا تامًا.

لكن طبقًا للنظريات التي طرحها «إرنست أوبيك» للمرة الأولى عام 1938، فإن المادة المنتشرة في لب النجم تبقى هناك طوال حياته. اللب محاط بمنطقة إشعاعية عميقة فيها ترتد الفوتونات ذات الطاقة العالية من الجسيمات فتولد ضغوطًا هائلة.

في النجوم الشبيهة بالشمس هذا اللب مغطى بطبقة أخرى من مادة موصلة بالحمل أكثر برودة نسبيًّا أثبت وجودها عالم الفيزياء الفلكية الألماني «آلبرخت آنسولد» في عام 1930. وهذا التغيير في أسلوب نقل الطاقة تسببه مرحلة انتقالية فيها تصبح المادة الأكثر برودة معتمة فجأة. في الجزء العلوي من المنطقة، تصبح الشمس شفافة مجددًا لكن الجسيمات عند ذاك تكون أقل تكدسًا بكثير لذلك فإن الإشعاع

علم الرجفات الشمسية

إن الطريقة الأكثر مباشرة لدراسة بنية الشمس أو أي نجم آخر هي استخدام الموجات الصوتية التي تموج باستمرار داخلها، وهذه الموجات الزلزالية مماثلة لتلك التي تسبب حدوث الزلازل على كوكبنا. وفي عام 1962 اكتشف علماء الفيزياء الشمسية من معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا والذين استخدموا التحليل الطيفي لدراسة الشمس نمطًا متذبذبًا من الخلايا كل منها قطره حوالي 30000 كم (19000 ميل) تتحرك لأعلى وأسفل في دورة مدتها 5 دقائق تقريبًا. افترض أن هذه الخلايا هي تأثير سطحي حتى عام 1970 عندما قام عالم فيزياء شمسية إنجليزي يدعى «روجير أولريش» باقتراح أنها يمكن أن تكون نمطًا موقوفًا تسببه الموجات التي تهتز للخلف والأمام في داخل الشمس. بعد بضع سنوات عام 1975 شرح «دوجلاس جوف» كيف يمكن أن تستخدم موجات P المتذبذبة لـ«أولريش» في سبر داخل الشمس. ومن خلال الطريقة التي تؤثر بها الموجات على أنماط السطح عرف «جوف» الحدود داخل الشمس، مثل تلك التي بين منطقتي الحمل الحراري والمنطقة الإشعاعية.

المنبعث من الغاز الصاعد يمكن أن يتسرب بسهولة إلى الفضاء. وهذا هو ما يكون السطح الساطع أو الكرة الضوئية للنجم والتي نراها من كوكب الأرض.

الفكرة الرئيسة

تتوازن الجاذبية مع الضغط توازنًا ممتازًا داخل النجوم