16

مخطط هرتسبرنج ـ راسل

The Hertzsprung–Russell diagram

ربما جاءت أهم الاكتشافات في فهم دورة حياة النجوم عندما قارن علماء الفلك في القرن العشرين بين أنواع أطياف النجوم الجديدة التي أضيفت إلى فهرس مع لمعانها، وقد غير الرسم الناتج لخصائص النجوم، والذي أطلق عليه مخطط هرتسبرنج–راسل، علم الفلك للأبد.

كانت أول ثمرة لمشروع بحث «ويليام بيكرنج» في مرصد كلية هارفرد (انظر صفحة 98) هي فهرس درابر للأطياف النجمية، والذي نشر في 1890، وقد احتوى هذا الفهرس الذي جمعت معظمه «ويليامنيا فلمنج» أطيافًا لحوالي 10351 نجمًا ساطعًا. وفي حين استمر العمل في إضافة المزيد من النجوم إلى الفهرس الرئيسي، بحث «بيكرنج» وفريقه من الحواسيب والمكون كله من النساء في بعض الأطياف الأكثر سطوعًا بمزيد من التفاصيل.

الخط الزمني

1890م	تسعينيات القرن التاسع عشر	1901م
نشر أول طبعة من فهرس هنري درابر.	موري» تصبح رائدة في تصنيف للنجوم على أساس عرض خطوط الطيف.	وضع «كانون» النسخة النهائية من مخطط تصنيف هارفرد للأطياف.

نظام موري

ومن بين حواسيب هارفرد الأكثر موهبة كانت «أنتونيا موري» ابنة أخت «هنري درابر» وقد بدأت تلاحظ السمات المهمة في أطياف النجوم الأكثر سطوعًا التي كانت قد أهملت في التصنيف الهجائي البسيط لفلمنج. لم تتنوع خطوط الطيف من نجم لآخر فحسب (مما يشير إلى وجود عناصر مختلفة في غلافها الجوي) بل إن كثافة الخطوط واتساعها اختلف بين نجوم لها كيمياء متطابقة ظاهريًا. وبسبب اعتقاد «موري» أن اتساع الخط يمثل شيئًا مهمًا بالنسبة لطبيعة النجوم اقترحت إعادة ترتيب أنواع الأطياف بحيث تعكس قوتها لكن «بيكرنج»، و«فلمنج» كليهما وجدا أن نظام التصنيف الجديد مفرط التعقيد، وفي نهاية المطاف تركت «موري» المشروع. وعلى الرغم من طلبات «بيكرنج» ، رفضت أن تتخلى عن عملها على اتساعات الخطوط الطيفية وألحت في طلب اعتراف رسمي بمجهودها عندما نشر فهرسها لـ 600 نجم في نهاية المطاف في عام1897.

وعلى الرغم من أن «بيكرنج» استمر في التقليل من أهمية أفكار «موري» إلا أن هذه الأفكار أثرت فيمن جاء بعدها. انضمت «آني جامب كانون» بمجموعة هارفرد لتدرس نجوم نصف الكرة الجنوبية التي كانت تجري إضافتها إلى الفهرس. وقد قدمت نظام التصنيف الخاص بها الذي جمع بين بساطة حروف «فلمنج»، ونهج «موري» في عرض الخطوط. نتج عن ترك عدة حروف ثم إعادة ترتيبها لتعكس الألوان الطيفية من الأزرق إلى الأحمر تسلسلًا من الأنواع الطيفية O، وB، وA، وF، وG، وK، وM.

1908م	1911م	1913م
ربط هرتسبرنج بين اختلافات اتساع الخط عند «موري» باللمعان الكامن للنجوم.	نشر هرتسبرنج شكلًا بسيطًا لمخطط هرتسبرنج-راسل للنجوم في الثريا.	أصدر راسل أول مخطط هرتسبرنج-راسل لتضمين المجموعة الكاملة من النجوم.

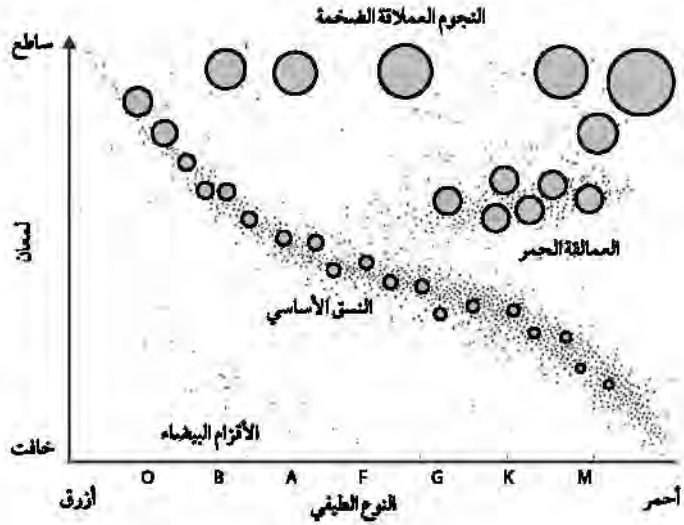
الأطياف هي المفتاح

«لقد ساعد تصنيف النجوم ماديًّا في جميع دراسات بنية الكون.»

آني جامب كانون

بعد بضع سنوات، تولى عالم الفلك الدنماركي «إيجنار هيرتسبرنج» مسؤولية حل لغز اختلافات عرض الخطوط. وقد استخدم قاعدة عبقرية وعملية لتقدير مسافة النجوم التي لم يتمكن من قياسها مباشرة عن طريق نهج الانزياح، ومن ثم تقدير سطوعها. وكقاعدة عامة، ناقش أن النجوم الأبعد تظهر حركات حقيقية أصغر (الحركة على أساس سنوي عبر السماء، وتسببها الحركة النسبية للنجم ونظامنا الشمسي). ومن ثم يمكن أن تستخدم الحركة الحقيقية كبديل غير دقيق للمسافة- إذا أظهر نجمان المقدار الظاهري نفسه فإن المرء يمكن أن يخمن أن النجم ذا الحركة الحقيقية الأصغر كان أكثر بعدًا ومن ثم له لمعان كامن أكبر.

عرف هيرتسبرنج باستخدام هذه الطريقة تقسيمًا واسعًا بين النجوم ذات الألوان المماثلة، ففصل النجوم اللامعة العملاقة عن الأقزام الأكبر عددًا لكن أكثر خفوتًا ولا سيما التي عند الطرف الأكثر برودة للطيف. وعندئذ اكتشف أن النجوم ذات الخطوط الطيفية الضيقة كانت أكثر لمعانًا من تلك التي لها خطوط واسعة، ودعم هذه الفرضية عن طريق القيام بجهد جهيد في حساب المسافة إلى عدة



مجموعات من النجوم. (السبب وراء الفرق في اتساع الخط أصبح في نهاية المطاف واضحًا بعد سنوات قليلة- انظر صفحة 181).

في عام 1911، نشر «هرتسبرنج» رسمًا بيانيًّا يقارن بين السمات الطيفية للنجوم في تجمع الثريا (بالنيابة عن حرارة سطحها، والنوع الطيفي لـ«آني جامب كانون») مع مقاديرها الظاهرية (انعكاس لمقاديرها المطلقة، لأن جميع نجوم التجمع تقع على المسافة نفسها). وعلى الرغم من أن الرسم بالضرورة محدود لأن النجوم التي يمثلها جميعها متشابهة على نحو كبير إلا أنها أظهرت اتجاهًا لا لبس فيه- كلما كان النجم أكثر لمعانًا كان سطحه أكثر سخونة.

المسافات ومخطط هرتسبرنج-راسل

إن إنشاء مخطط هرتسبرنج-راسل جعل من الممكن الحصول على فكرة تقريبية للمعان الكامن للنجوم (ومن ثم مسافتها) ببساطة من خصائصها الطيفية. لكن النسق الأساسي، والمناطق الأخرى يمكن أن تكون واسعة للغاية لدرجة أن استنتاج لمعان نجم مفرد من نوعه الطيفي بمفرده دومًا ما ينطوي على كمية محددة من التخمين، ولحسن الحظ، يسمح مخطط هرتسبرنج-راسل أيضًا بقياسات أكثر دقة للمسافة لتجمعات النجوم- وهو أسلوب يسمى مطابقة النسق الأساسي.

لما كانت جميع النجوم في تجمع معين تقع فعليًّا على المسافة نفسها من كوكب الأرض، فإن الاختلافات في مقدارها الظاهري هي انعكاس مباشر للاختلافات في مقاديرها المطلقة. وهذا يجعل من الممكن رسم مخطط هرتسبرنج ـ راسل لتجمع محدد ينبغي له أن يظهر الخصائص نفسها لتوزيع النسق الأساسي مثل النسخة المعممة، ومن ثم فإن إيجاد الفرق بين السطوع المرصود والسطوع الكامن هو ببساطة مسألة حساب للإزاحة بين الرسمين، ولما كان العديد من النجوم مشتركة فمن الممكن عمل ذلك بدقة عالية.

وبالطبع كما هو الحال في معظم الأساليب الفلكية، هناك بعض العوامل المعقدة- على سبيل المثال، نسبة العناصر الثقيلة في نجوم التجمع تؤثر على توزيعها إلى حد ما. كما أن التجمع كلما أصبح أقدم، بدأت النجوم الأكثر ضخامة في ترك النسق الأساسي، ومن ثم فمن المهم تحديد نجوم النسق الأساسي الفعلية بدقة واستبعاد النجوم المتطرفة.

توسيع المخطط

على مدى الستين التاليتين، طور «هنري نوريس راسل» الذي كان يعمل في جامعة برينستون عمل «هرتسبرنج» بمخطط أكثر طموحًا بكثير استنادًا إلى الفكرة نفسها. أظهر رسم «راسل» مجموعة من النجوم أوسع كثيرًا، بما فيها تلك التي في تجمع القلائص (مجموعة أقدم وأكثر تنوعًا) وتلك التي يمكن استنتاج لمعانها بدقة من قياسات الانزياح. وقد قارن الرسم بين النوع الطيفي والمقدار المطلق المقدر مما أدى إلى الكشف عن بعض الأنماط الأساسية للمرة الأولى.

تقع الغالبية العظمى من النجوم على شريط قطري، وتتراوح من نجوم باردة وحمراء إلى نجوم ساخنة وزرقاء. وهذه المجموعة، التي عرفها هرتسبرنج من قبل، شملت جميع أقزامه، وسميت بالنسق الأساسي. أما النجوم العملاقة والعملاقة الضخمة الأقل شيوعًا فكانت متناثرة في جميع أنحاء الجزء العلوي من الجدول بجميع الألوان ودرجات الحرارة بتركيزات قوية من النجوم الحمراء اللامعة والعمالقة ذات اللون البرتقالي التي تظهر في فرع من النسق الأساسي.

لقد أثبت مخطط هرتسبرنج ـ راسل أنه مؤثر بشدة، واستمر علماء الفلك على مدى العقدين التاليين في الإضافة إليه. دائمًا ما تقع أنواع معينة من النجم المتغير (انظر صفحة 172) في مناطق محددة من المخطط، في حين أن الأنواع الجديدة من النجوم التي اكتشفت سدت فجوات (انظر صفحة 190). والحقيقة أن أعدادًا هائلة من النجوم التي تقع على النسق الأساسي أظهرت أن هذا هو المكان الذي تقضي فيه الغالبية العظمى من النجوم معظم حياتها. ويمكن عكس النهج كله-التحليل الدقيق لطيف النجم بمفرده يستطيع أن يكشف عن مكانه على الرسم مما يؤدي

إلى إعطاء ليس فقط قياس نوعه الطيفي وحرارة سطحه بل أيضًا فكرة تقريبية عن لمعانه الكامن ومن ثم بعده عن كوكب الأرض.

الفكرة الرئيسة

مقارنة اللون والسطوع تكشف أسرار النجوم