15

كيمياء النجوم

Stellar chemistry

التحليل الطيفي هو أسلوب لاكتشـــاف التكوين الكيميائي للمواد من الضوء الذي ينبعث منهـــا. وله مجموعة كبيرة من التطبيقات في الكيمياء والفيزيـــاء، لكنه يمثل أهمية خاصة لعلـــم الفلك الذي فيه يكون الضوء القادم من الأجسام البعيدة هو عادة وسيلتنا الوحيدة لدراستها.

في عام 1835، أعلن الفيلســـوف الفرنسي «أوجســـت كونت» أنه عندمـــا يتعلق الأمر بالنجوم «فنحن لا نعرف أبدًا كيف ندرس تركيبتها الكيميائية بأي وســـيلة». ســـتثبت العقود القليلة التالية أنه كان مخطئًا للغاية، لكن يبدو أنه من غير المنصف انتقاده على عدم بصيرته- فقد تجاهل الكثيرون أيضًا الدليل الذي كان قد اكتشف قبل ذلك بأكثر من 20 سنة.

من عام 1814 فصاعدًا، كان صانع الأدوات البصرية الألماني «جوزيف فون فرانهوفر» قد نشر تفاصيل عن اكتشـــافات باستخدام اختراعيه البصريين الجديدين: المطياف، ومحزز الحيود.

الخط الزمني

1814م	1842م	1848م	1859م
اكتشـــف «فرانهوفـــر» الخطوط الداكنة للضوء في الطيف الشمسي.	وصـــف «دوبلـــر» الإزاحة في الأطوال الموجية بســـبب الحركـــة النســـبية للمصدر والمراقب.	اقـــترح «هيبوليت فيزو» أن تأثير دوبلر ســـيظهر نفسه أوضح ما يكون في إزاحة الخطوط الطيفية.	ربط «كيرشـــوف»، و«بنسن» الخطـــوط الطيفيـــة بوجـــود عناصر معينة.

واستطاعت كلتا الأداتين دراسة طيف ضوء الشمس بدقة أكبر كثيرًا من مجرد تقسيم الضوء باستخدام المنشور الزجاجي. وقد وجد «فرانهوفر» أن طيف الشمس، الذي هو أبعد ما يكون عن قوس قزح المتصل الذي كان «إسحق نيوتن» قد عرفه منذ أكثر من قرن، كان بالفعل مليئًا بخطوط ضيقة داكنة تشير إلى أن هناك ألوانًا محددة من الضوء قد حجبت بفعل مواد مجهولة. وقد رسم «فرانهوفر» أكثر من 574 خطًا في الطيف الشمسي ووجد حتى خطوطًا داكنة في أطياف النجوم الساطعة مثل الشِّعرَى اليَمَانِيَّة (Sirius)، ومنكب الجوزاء، ورأس التوأم المؤخر. وقد أوضح أيضًا أن بعض الخطوط النجمية تطابقت مع تلك التي في الشمس في حين أن بعضها الآخر اختلف.

بصمات العناصر

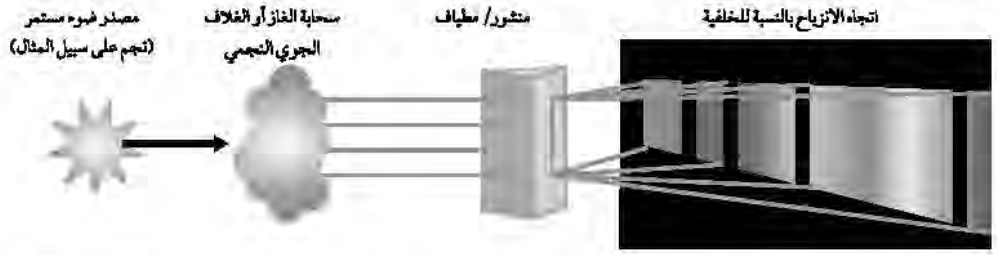
ظل أصل ما يسمى بخطوط فرانهوفر غير واضح حتى عام 1859 عندما ربطها كل من عالمي الكيمياء الألمانيين «جوستاف كيرشوف»، و«روبرت بانسن» بالذرات الموجودة في الغلاف الجوي للشمس. لقد كان «كيرشوف»، و«بانسن» يستخدمان المطياف للتحقيق في ألوان الضوء الناتج عندما تحترق المواد المختلفة باللهب، وقد وجدا أن هذه الألوان تميل إلى أن تصبح خليطًا من ألوان قليلة محددة، وكل عنصر ينتج خطًا طيفيًا ساطعًا فريدًا. وعندما أدركا أن ألوان الضوء المنبعث من المواد المحترقة تتطابق مع بعض الخطوط الداكنة في الطيف الشمسي، استدلا على أن هذه الخطوط الداكنة سببتها العناصر نفسها التي تمتص الضوء.

1866م
طور «سيكي» أول نظام تصنيف شمسي بناء على الخطوط الطيفية.

1868م
استخدم «هاجنز» تأثير دوبلر على الخطوط الطيفية لتحديد سرعة ابتعاد النجم عن كوكب الأرض.

1890م
نشر أول إصدار لفهرس «هنري درابر».

1913م
شرح «بور» كيف تنشئ التغيرات في حالات طاقة الذرات الخطوط الطيفية.



أما الشرح الكامل لأصل ما يسمى الآن بخطوط الامتصاص والانبعاث فقد اضطر إلى الانتظار حتى أوائل القرن العشرين عندما وصف عالم الفيزياء الدنماركي «نيلز بور» الطريقة التي تنشأ بها هذه الخطوط من ترتيب جسيمات الإلكترون عند مستويات طاقة مختلفة داخل الذرة. فعندما تصطدم مجموعة واسعة من الضوء (طيف متصل) مثل انبعاثات الجسم الأسود من سطح أحد النجوم (انظر صفحة 91) بالإلكترونات فإن الإلكترونات تمتص الترددات المعينة التي تسمح لها بالقفز لمدة قصيرة إلى مستويات طاقة أعلى، ولما كان لكل عنصر ترتيب ذرات مختلف فإنه ينشئ نمطًا مختلفًا لخطوط الامتصاص. وفي الوقت نفسه، تنشأ خطوط الانبعاث عندما تعود الإلكترونات النشطة إلى مستوى طاقة أقل، ومستقرة أكثر وتتخلص من الطاقة الزائدة على شكل حزمة ضوئية صغيرة (فوتون) له طول موجي محدد خاص به ومن ثم له لون محدد.

في أعقاب اكتشاف «كيرشوف»، و«بانسن» نظر علماء الفلك في خطوط فرانهوفر مرة أخرى ونجحوا في ربطها بالعناصر مثل، الهيدروجين، والأكسجين، والصوديوم، والماغنسيوم الموجودة في الطبقات الخارجية للشمس. في عام 1868، عرف كل من عالم الفلك الفرنسي «جول يانسن»، والبريطاني «نورمان لوكير» على نحو مستقل الخطوط في الطيف الشمسي التي لم يمكن ربطها بأي عنصر معروف. وقد استنتج «لوكير» أن الشمس احتوت على عنصر هام لم يكتشف بعد على كوكب الأرض، وأسماه هيليوم نسبة إلى هيليوس إله الشمس عند الإغريق.

التصنيف الطيفي

ركز علماء فلك آخرون على الأطياف الخطية للنجوم، ومن أكثر العلماء إنتاجية كان «ويليام هاجنز» في لندن، و«أنجيلو سيكي» في روما. وضع «سيكي» نظام تصنيف أساسيًا للأطياف،

وعرف فيه أربع فئات رئيسية من النجوم: النجوم التي لها أطياف تشبه الشمس، والنجوم الزرقاء-البيضاء التي لها أطياف تشبه الشِّعرَى اليَمَانِيَّة (Sirius)، والنجوم الحمراء التي لها نطاقات امتصاص واسعة مثل منكب الجوزاء، والنجوم التي يطلق عليها اسم نجوم كربونية (تكون في العادة حمراء أيضًا لكن لها خطوط امتصاص كربونية قوية).

في الوقت نفسه، كان «هاجنز» أول من يدرك أن الضوء الذي ينبعث من الأجرام المتفرقة التي تعرف باسم السدم يتكون من عدد قليل من خطوط الانبعاث الدقيقة واستنتج استنتاجًا صحيحًا أنها سحب هائلة من غاز بين نجمي ساخن ونشط. وكان «هاجنز» رائدًا للتصوير الفلكي،

تأثير دوبلر

إن وجود خطوط الامتصاص في ضوء النجوم يقدم مجموعة ملائمة جدًّا من العلامات لقياس حركة النجوم بفضل تأثير دوبلر، وهو إزاحة في تردد الموجات التي تصل إلى المراقب وطولها الموجي وتتوقف على الحركة النسبية لمصدر الموجة. وقد اقترح لأول مرة على يد عالم الفيزياء الأسترالي «كريستيان دوبلر» عام 1842 الذي أمل في تفسير الألوان المختلفة لضوء النجوم: الضوء القادم من النجوم التي تتحرك نحونا له ترددات أعلى وأطوال موجية أقصر وتميل إلى الزرقة، بينما الضوء القادم من النجوم التي تتحرك مبتعدة عنا له ترددات أقل، وأطوال موجية أكبر ويظهر محمرًّا. ومما يدعو للأسف لدوبلر أن سرعة الضوء الكبيرة جعلت التأثير أضعف كثيرًا مما كان دوبلر قد توقع (في كل الظروف باستثناء الظروف القصوى - انظر صفحة 244) - لكنه أثبت في موجات الصوت عام 1845.

إن تأثير دوبلر ليس هو تفسير ألوان النجوم لكن «الانزياحات الحمراء»، و«الانزياحات الزرقاء» في خطوط الامتصاص من مواضعها المتوقعة يمكن أن تستخدم لقياس سرعة حركة الجسم نحو كوكب الأرض أو بعيدًا عنه بدقة. وكان «ويليام هاجنز» من بين أوائل من حاولوا ذلك في النجوم لكن «آنجيلو سيكي»، وعالم الفلك الألماني «هيرمان فوجل» في سبعينيات القرن التاسع عشر كانا هما من نجحا في استخدام إزاحات دوبلر في خطوط الامتصاص على أجزاء مختلفة من الشمس لكي يشرحوا دورانها.

واستمر في عمل بعض من أولى فهارس الأطياف النجمية الفوتوغرافية الشاملة لكن عمل «هاجنز» حجب بفعل جهود «هنري درابر» والإرث اللاحق له- وهو طبيب أمريكي وفلكي هاو قام بالتقاط أولى الصور الفوتوغرافية لكل من الأطياف النجمية وأطياف السدم قبل أن يموت بالتهاب الجنبة في عمر 45 فقط في عام 1882. وفي عام 1886 تبرعت أرملة «درابر» بالأموال والمعدات لمرصد كلية هارفرد لتمويل المشروع الفلكي الأكثر طموحًا في ذلك العصر: فهرس أطياف نجمية فوتوغرافي واسع النطاق. وعرف باسم فهرس «هنري درابر» واستغرق تقريبًا أربعة عقود ليكتمل، وفي نهاية المطاف وصف أطياف أكثر من 225000 نجم.

«إن الطريق مفتوح لتحديد التركيب الكيميائي للشمس والنجوم الثابتة.»

روبرت بانسن

إن القوة الدافعة وراء الفهرس كان هو مدير المرصد إدوارد بيكرينج، لكن الجزء الأكبر من العمل نفذه فريق من النساء يعرفن في التاريخ باسم «حواسب هارفرد». كان دافع «بيكرنج» لتوظيف النساء مدفوعًا جزئيًا بمسائل تتعلق بالميزانية: فقد كانت النساء تتقاضين أجورًا أقل من الرجال ومن ثم استطاع دفع تكاليف تعيين فريق أكبر لتحليل الكميات الضخمة من البيانات التي ولدها مسح الصور الفوتوغرافية. ومع ذلك أظهر الكثير من عضوات فريقه مواهب علمية هائلة وكن مسؤولات عن العديد من الاكتشافات الهامة في الطريقة التي نفهم بها خواص النجوم.

الجزء الأكبر من أعمال الفهرسة الأولية كان وظيفة أول موظفة عينها «بيكرنج» التي ولدت بأسكتلندا «ويليامينا فليمنج»، فقد وسعت نظام تصنيف «سيكي» وحددت لكل نجم حرفًا بسيطًا من A إلى N بناء على قوة خطوط الهيدروجين في طيفه (مع تعيين الحروف O، وP وQ

للأجسام التي لها طيف غير عادي). وهذا النظام، الذي استخدم في أول فهرس لدرابر والذي نشر في 1890، سيخضع لتغييرات رئيسية عديدة قبل أن يصبح بالشكل الذي نستخدمه الآن.

الفكرة الرئيسة

يحمل ضوء النجم بصمات التركيب الكيميائي