

كيف نتعرف على هوية النجوم

أ. لؤي حمزة*

سنحدث في هذه المحاضرة عن عشرة خصائص مختلفة تساعدنا في التعرف على هوية النجوم، وهذه الخصائص هي المسافة، اللعان، السطوع، القدر الظاهري، القدر المطلق، اللون، الحرارة، الحجم، الكتلة، والطيف. ولكن قبل البدء بمحاور البحث هذه سنبدأ بفكرة مصغرة حول الفيزياء الفلكية. وسنحدث عن نشأة الفيزياء الفلكية وأهميتها.

مقدمة حول الفيزياء الفلكية

كيف نشأت الفيزياء الفلكية؟

كانت الفيزياء تقتصر على الظواهر الطبيعية على الأرض وكان علم الفلك يقتصر على الظواهر الفلكية في السماء. وبفضل جهود كثير من العلماء عبر فترة طويلة من السنين تم إيجاد فرع جديد في المعرفة بدمج هذين العلمين ساعد في دفع المعرفة البشرية خطوات كبيرة نحو الأمام ألا وهو الفيزياء الفلكية. ويعتبر العالم البريطاني إسحاق نيوتن أشهر العلماء الذين مهّدوا لذلك، والذي تجرأ على تعميم قوانينه الثلاث لتتطبق على الكون بأسره، وذلك حينما قام بتوحيد قوانين الأرض والسماء بمبدأ شمولي هو: «ما يحدث هنا الآن يحدث هناك في زمن آخر».

أهمية الفيزياء الفلكية

تعتبر الفيزياء الفلكية الآن من أهم فروع علم الفلك لعدة عوامل أهمها أثرها البالغ في تغيير نظرتنا للكون من حولنا من خلال تحويل علم الفلك من علم يعتمد على الملاحظة والوصف فقط إلى علم كمي وموضوعي يمكن التحقق من قوانينه ونتائجه. وقد استطاع علم الفلك من خلال الفيزياء الفلكية رد الجميل للفيزياء من خلال التثبيت من نتائج فيزيائية تحتاج لشروط متطرفة وغريبة يستحيل التحقق منها في المخابر على الأرض مثل:

- 1- الأشعة الكونية التي تشكل وسيلة عملية للتحقق من النسبية الخاصة.
- 2- الثقوب السوداء التي تعتبر خير دليل للتحقق من نظرية النسبية العامة لأينشتاين.
- 3- نظرية النجوم التي ساعدت العلماء على تطوير الفيزياء النووية.

مدى روعة الفيزياء الفلكية

يعتقد الكثير من الناس العاديين أن علم الفيزياء الفلكية الذي يعنى بدراسة النجوم والمجرات والكون من حولنا بواسطة المعايير السابقة يحتاج إلى معدات معقدة ورياضيات متقدمة لفهمه، ولكن الأمر ليس بهذه الصورة تماماً. فعلى الرغم من أن أبحاث الفيزياء الفلكية المتقدمة تحتاج فعلاً لأجهزة رصد فلكية هي نتاج آخر ما توصلت إليه التكنولوجيا اليوم، إلا أن القوانين

* أُلقيت هذه المحاضرة في إطار برنامج السنة السادسة من محاضرات الجمعية بتاريخ 2011/9/25. قام بكتابة وإعداد المحاضرة الأنتسة علياء طرابلسي.

المستخدمة فيها لا تتعدى مستوى التعليم الثانوي. وأما النتائج التي يمكن أن نحصل عليها من قوانين الفيزياء الفلكية البسيطة فلا يمكن تصور مدى روعتها.

مثال تطبيقي: نجم رجل الجبار

يمكننا من خلال الفيزياء الفلكية معرفة الكثير من خواص النجوم والتعرف عليها عن قرب برغم بعدها الشاسع واستحالة الوصول إليها، والأروع هو قدرة الفيزياء الفلكية على معرفة الكثير من خواص النجوم من خلال ضوءها فقط. وعلى سبيل المثال لا الحصر يمكننا عن طريق الفيزياء الفلكية معرفة أن نجم الرجل في كوكبة الجبار (الجوزاء) يبعد عنا مسافة 776 سنة ضوئية و سطوعه الحقيقي يفوق سطوع الشمس بـ 51,000 مرة!! وكتلته أكبر من كتلة الشمس بـ 50 مرة!! وغيرها الكثير من الخواص الأخرى الرائعة للنجوم التي سنتعرف عليها لاحقاً في هذه الرحلة الممتعة والمفيدة.

مقارنة بين الشمس ونجم رجل الجبار

رجل الجبار	الشمس	
776 سنة ضوئية	8 دقائق ضوئية	البعد
0.15	26.78-	القدر الظاهري
6.73-	4.82	القدر المطلق
أبيض مزرق	أصفر	اللون
10,700	5,800	درجة الحرارة (كلفن)
51,000	1	السطوع (سطوع شمسي)
54,288,000 كم	696,000 كم	نصف القطر
17	1	الكتلة (كتلة شمسية)
B7-Ia	G2-V	الطيف

أولاً: المسافة

كيف نقيس المسافة إلى النجوم؟

عند دراسة نجم ما لا بد من تحديد المتغيرات المذكورة سابقاً. ومن بين جميع هذه المتغيرات تلعب المسافة دوراً هاماً، ولا بد من تحديدها أولاً لمعرفة المتغيرات الأخرى. إن تحديد المسافة في علم الفلك كان ولا يزال محفوفاً بالمصاعب والأخطاء، ولا يوجد إجماع على أية طريقة بأنها الأمثل، على الأقل من أجل تحديد المسافة نحو المجرات الموعلة في البُعد والحواف البعيدة لمجرتنا درب التبانة. وهناك طريقتان لقياس المسافة إلى النجوم: الطريقة الأولى هي اختلاف المنظر النجمي، والطريقة الثانية هي النجوم المتغيرة.

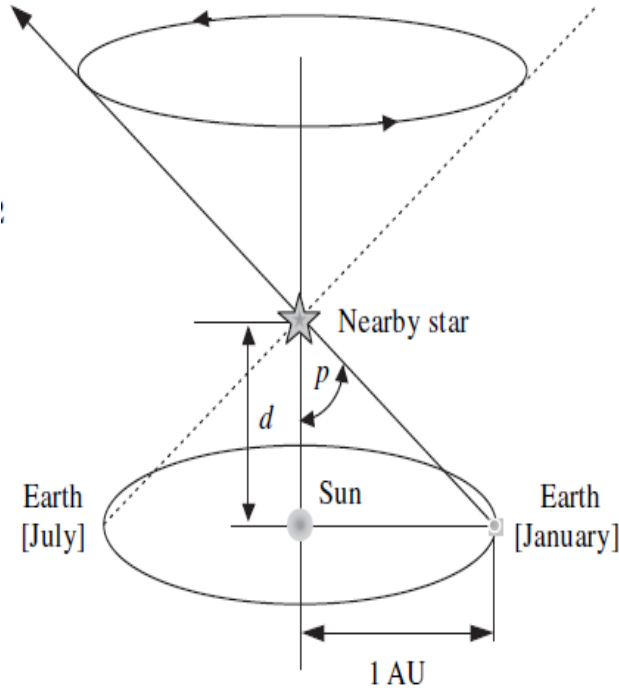
الطريقة الأولى: اختلاف المنظر النجمي

تعتبر طريقة اختلاف المنظر النجمي أقدم الطرق، وهي لا تزال مستخدمة حتى الآن. وهي على الأرجح أكثر الطرق دقة من أجل قياس المسافة نحو النجوم القريبة، وتدعى هذه الطريقة باختلاف المنظر النجمي (parallax). وأول من استخدمها العالم بسل في عام 1838 م على النجم 61 في كوكبة البجعة.

تعتمد هذه الطريقة بشكل أساسي على قياس الزاوية التي يصنعها النجم من موقعين مختلفين على مدار الأرض خلال مدة فاصلة بينهما مقدارها ستة أشهر، والتي يبدو النجم خلالها وقد انزاح بالنسبة إلى خلفية النجوم البعيدة من موضع لآخر.

كيف نقيس المسافة بهذه الطريقة؟

اختلاف المنظر النجمي هو نصف الزاوية التي يصنعها النجم خلال تلك المدة وهو يتناسب عكساً مع المسافة. وإذا كان لنجم ما اختلاف منظر نجمي مقداره ثانية قوسية واحدة (الثانية القوسية = جزء من 3600 من الدرجة القوسية) وخط قاعدة مقداره وحدة فلكية (وهي المسافة الوسطية بين الأرض والشمس ومقدارها 150,000,000 كم) عندئذ يكون بعد النجم واحد بارسك، وهو يعادل 3.26 سنة ضوئية.



اختلاف المنظر النجمي هو الزاوية p .

وعلى نحوٍ مدهش تمتلك جميع النجوم اختلاف منظر نجمي أصغر من ثانية قوسية. والنجوم التي لها اختلاف منظر نجمي أقل من 0,01 ثانية قوسية من الصعب جداً قياس بعدها من سطح الأرض بسبب تأثيرات الغلاف الجوي، وبالتالي لا يمكن قياس نجوم بعدها أكبر من 100 بارسك (326 سنة ضوئية).

وعلى أي حال فإن القمر الصناعي هبارخوس Hipparchus الذي تم إطلاقه سنة 1989 قادر على رصد نجوم اختلاف منظرها النجمي يبلغ 0.001 ثانية قوسية، أي تبعد مسافة تبلغ 1000 بارسك ما يعادل 3260 سنة ضوئية.

ولكن هذا التقدم الرائع في تحديد المسافة بهذه الطريقة لا ينفذ إلا من أجل النجوم القريبة نسبياً، حيث أن أكثر نجوم المجرة أبعد من أن يحسب بعدها بهذه الطريقة، لذلك لا بد من الاعتماد على طريقة أخرى.

الطريقة الثانية: النجوم المتغيرة

ما هي النجوم المتغيرة؟

إن الكثير من النجوم تملك تغيراً دورياً في لمعانها وتدعى هذه النجوم بالمتغيرة (Variable Stars). ومن بين الأنواع العديدة للنجوم المتغيرة يوجد هناك نوعان بشكل خاص لهما فائدة في تحديد المسافة: النوع الأول هو النجوم القيفاوية (Cepheid Stars) والنوع الثاني هو النجوم القيثارية RR Lyrae. كلا النوعين يصنّف كنجوم نباضة (Pulsating Stars) يتغير قطرها دورياً. ويتغير حجم بعضها بشكل ملحوظ بالتقلص تارةً والتمدد تارةً أخرى، وينجم ذلك عن الصراع الهائل بين القوتين المهيمنتين في النجم. والقوتان المهيمنتان في النجوم هما قوى التقالة (الجاذبية) وهي التي تسعى لتقليصه وانهيائه نحو الداخل، وقوى الضغط الناجم عن التفاعلات النووية في باطن النجم والتي تسعى لتمدد النجم وانفجاره للخارج.

ولكن السؤال الأهم الذي يطرح نفسه هو الآتي:

لماذا تنبض النجوم؟

قد تعتقد أن نبض النجم ينتج عن تغير في معدل إنتاج الطاقة في نواة النجم، ولكن الأمر ليس بهذه الصورة لأن الفلكيون وجدوا أن معدل تفاعلات الاندماج النووي يبقى ثابتاً فأدركوا أن هذه الظاهرة تنجم عن تغير معدل الطاقة التي تتسرب من النجم نحو الفضاء. والفكرة بسيطة للغاية ولكنها تحتاج لمزيد من الشرح والإيضاح.

لنتخيل نجماً عادياً تسود فيه حالة التوازن بين القوتين السابقتين، ثم عندما يتغلب الضغط على الجاذبية في الطبقات الخارجية للنجم يتمدد النجم، وعندما يبلغ النجم أكبر حجم له يعود التوازن للنجم من جديد، ومن ثم تتغلب قوى الجاذبية عند تناقص الضغط لينكمش النجم وهكذا... ولكن هذا لا يعني توقف تمدد النجم خلال الزمن، فلا بد للنجم في نهاية حياته أن يتضخم ويصبح عملاقاً أحمر.

أهمية النجوم المتغيرة

تتمن أهمية هذه النجوم في أن متوسط لمعانها و سطوعها يتغير دورياً بشكل دقيق للغاية. حيث أنه كلما كان الدور الذي يتغير خلاله اللمعان أكبر كان سطوعه أكبر، ودور النجم يمكن قياسه بسهولة نسبياً. وأول من أوجد العلاقة بين الدور والسطوع هي عالمة الفلكية هنريتا ليفيت (Henrietta Leavitt) في عام 1908 حينما كانت تعمل في مرصد جامعة هارفارد.

وهنا يجب التنويه إلى أن تحديد المسافات باستخدام الطرق السابقة لا يعطينا قياسات دقيقة تماماً، وذلك لوجود مقدار من الخطأ لا يمكن تفاديه، ويتراوح هذا الخطأ عادةً من 10% حتى 25%. وعلى سبيل المثال عند وجود 25% من الخطأ في قياس نجم قدر أنه يبعد 4000 سنة ضوئية فإن ذلك يعني أنه يقع على مسافة تتراوح من 3000 إلى 5000 سنة ضوئية.

النجوم القيفاوية

سميت هذه النجوم بهذه التسمية نسبة لأول نجم متغير تم اكتشافه، وهو نجم Cephei-δ عام 1784 على يد هاوي الفلك البريطاني جون غودريك (John Goodricke)، وهو نجم عملاق أصفر يقع في كوكبة قيفاوس، ويتغير لمعانه درجتين خلال زمن (دور) يعادل 5.5 يوماً، وكذلك يتغير سطوعه وحجمه ودرجة حرارته.

وهذه النجوم تكون عادةً هائلة الكتلة وحارة، حيث تكون في أعلى سطوع وحرارة لها عندما يكون حجمها أصغر ما يمكن والعكس صحيح، وهي مهمة لعلماء الفلك لسببين. السبب الأول هو أن النجوم القيفاوية ترى من مسافات هائلة تصل حتى بضعة ملايين من السنوات الضوئية، ويعود ذلك إلى أن سطوعها يفوق سطوع الشمس من 100 حتى 10,000 مرة. أما السبب الثاني فهو وجود علاقة وثيقة بين دورها (مدة تغير لمعانها) ومعدل سطوعها.

أخفت النجوم القيفاوية يفوق سطوعها سطوع الشمس مئات المرات ودورها يوم أو يومان، في حين سطوع أعظمها يصل إلى 30,000 ضعف سطوع الشمس (أي $30,000 L_{\odot}$) ودورها أطبأ بكثير وقد يبلغ قرابة 100 يوم. وباعتماد النجوم القيفاوية كمرجعية يمكن تحديد النجوم حتى مسافة 60 مليون سنة ضوئية.

نجوم RR-Lyrea

سميت هذه النجوم بهذا الاسم نظراً لأن أول نجم منها تم اكتشافه في كوكبة القيثارة (Lyra) وهي أخفت وأسخن النجوم المتغيرة. ولكن بالمقارنة مع النجوم القيفاوية فهي تملك كتلة أقل ودور أقصر يتراوح من 1.5 ساعة حتى 24 ساعة. وهي عادةً أكثر وأصغر منها و سطوعها يتراوح من $10 L_{\odot}$ حتى $100 L_{\odot}$. وبنفس الطريقة يمكن تحديد المسافة باعتمادها كمرجعية حتى مسافة 2 مليون سنة ضوئية.

جدول بأقرب النجوم إلينا

اسم النجم باللغة العربية	اسم النجم باللغة اللاتينية	اسم الكوكبة باللغة العربية	اسم الكوكبة باللغة اللاتينية	بعد النجم عن الأرض
بروكسيما سنتوري	Proxima Centauri	قنطورس	Centaurus	4.22 س.ض
ألفا سنتوري	Alpha Centauri	قنطورس	Centaurus	4.39 س.ض
برنارد	Barnard	الحواء	Ophiuchus	5.94 س.ض
ولف	Wolf	الأسد	Leo	7.8 س.ض
لاند	Lalande	الدب الأكبر	Ursa Major	8.31 س.ض
الشعري اليمانية	Sirius	الكلب الأكبر	Canis Major	8.6 س.ض

ثانياً: السطوع واللمعان

بالرغم من العدد الهائل للنجوم في الكون إلا أن معظمها ينتج الطاقة بنفس الطريقة التي تنتجها الشمس، ولكن هذا لا يعني أن جميعها متشابهة فهي تختلف عن بعضها البعض بعدة جوانب كالكثافة والحجم وغيرها. ويعتبر السطوع (Luminosity أو L) من أكثر الخواص المميزة للنجوم أهمية، والذي يقاس عادةً بالواط أو يقاس بدلالة أضعاف سطوع الشمس (L_{\odot}). والسطوع هو كمية الطاقة التي يشعها النجم في الثانية الواحدة. ونحن لا نستطيع أن نقيس السطوع مباشرة من الأرض لأن المسافة تخدعنا وتخفي عنا السطوع الحقيقي للنجم.

فعلى سبيل المثال لو كانت الشمس أبعد بمرتين فسيكون سطوعها أضعف بمقدار أربع مرات، ولو كانت أبعد بعشر مرات فسيكون سطوعها أضعف بمئة مرة. أي أنه لو رصدنا الشمس من نجم A-Centauria فستبدو أخفت مما هي عليه بما يعادل 70 مليار مرة!!!!

ثالثاً: القدر

يلاحظ هاوي الفلك عندما ينظر إلى السماء ليلاً اختلاف النجوم في اللمعان. فالبعض منها لامع والبعض الآخر أقل لمعاً. وأما الغالبية المتبقية فهي خافتة. إن هذه الصفة المميزة أي لمعان النجوم تدعى بالقدر (magnitude) والذي يشار إليه في أي مرجع فلكي بأنه ما يبدو للراصد بالعين المجردة.

ويعد القدر واحداً من أقدم الطرق المستخدمة لتصنيف في علم الفلك والذي لا يزال يستخدم حتى الآن. وكان أول من ابتكره العالم الفلكي اليوناني هيبأرخوس (Hipparchus) عام 129 ق.م والذي صنف النجوم وفق أقدارها كما يلي:

- نجوم القدر الأول: هي ألمع النجوم في السماء.
- نجوم القدر الثاني: لمعانها أضعف من القدر الأول بمرتين.
- نجوم القدر الثالث: لمعانها أضعف من القدر الثاني بمرتين.
- نجوم القدر السادس: كانت أضعف النجوم التي استطاع أن يراها.

وبين نجوم القدر الثالث والسادس تقع نجوم القدرين الرابع والخامس.

واليوم نستطيع أن نرى نجومًا أضعف من ذلك بكثير، وبالتالي أصبح مجال الأقدار أكبر من ذي قبل. فالأجهزة الآن تستطيع رصد النجوم حتى القدر ثلاثين. ولأن هذا المقياس متعلق بلمعان النجم الذي يبدو للراصد من الأرض لذلك فهو يدعى بشكل أدق بالقدر الظاهري (Apparent Magnitude) ويرمز له m.

وقد بقي تصنيف النجوم بهذه الطريقة على حاله منذ هيبّارخوس وحتى القرن التاسع عشر - وبالتحديد في العام 1856- على يد العالم نورمان بوغسن (Norman Pogson) حيث وضع أسساً علمية دقيقة لهذا المقياس وقام بقياس الضوء المنبعث من النجوم بدقة. وتوصلوا آنذاك إلى أن النجوم من القدر الأول ألمع مئة مرة من نجوم القدر السادس. وتم إعادة صياغة تعريف القدر الظاهري وفق هذا المعيار :

الفرق بين خمسة أقدار يعادل مئة ضعف والفرق بين أي قدر والذي يليه مباشرة يبلغ 2.512

وباستخدام هذا المقياس الحديث سنجد أن عدة أجرام سماوية سيكون لها أقدار سالبة. فعلى سبيل المثال:

- نجم الشعرى اليمانية (وهو ألمع نجم في السماء) قدره الظاهري يبلغ -1.44.
- كوكب الزهرة (وهو ألمع كوكب وثالث ألمع جرم سماوي) قدره الظاهري الأعظمي -4.4.
- القمر (وهو ثاني ألمع جرم سماوي) قدره الظاهري -12.6.
- الشمس (وهي ألمع جرم في السماء) قدرها الظاهري -26.7.

ويبدو نجم الشعرى اليمانية أضعف بـ 13,200,000,000 مرة مما تبدو عليه الشمس على الرغم من أنه أكثر سطوعاً منها (وطبعاً ذلك يعود لعامل المسافة). فمقياس القدر الظاهري لا يخبرنا ما إذا كان النجم لامعاً بسبب قربه منا أو خافتاً بسبب صغره أو بعده. لذلك يلجأ الفلكيون إلى معيار أكثر دقة وهو القدر المطلق (Absolute Magnitude) ويرمز له M، والذي يعرف كما يلي:

القدر المطلق لنجم هو لمعانه فيما لو كان على مسافة تبلغ عشرة بارسك

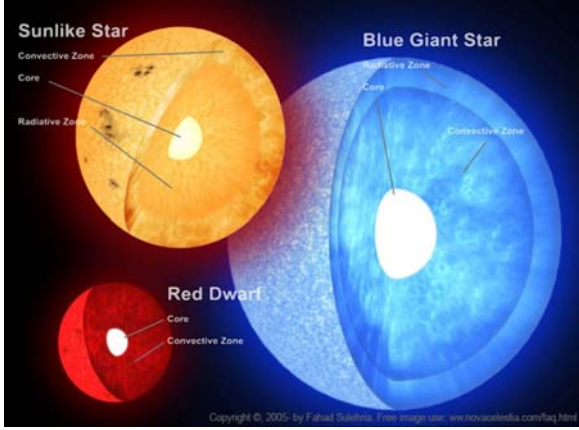
وقد تم اختيار هذه المسافة اعتماداً على طريقة اختلاف المنظر النجمي المذكورة سابقاً وهذا المعيار سمح لنا بمعرفة اللمعان الحقيقي للنجم بشكل دقيق جداً. فعلى سبيل المثال يبلغ القدر المطلق لنجم الذنب (Deneb) في كوكبة البجعة (Cygnos) (وهو أحد النجوم الرئيسية في المثلث الصيفي) -8.73 مما يجعله أحد أكثر نجوم السماء لمعناً فعلياً. في حين إن نجم Van Biesbroeck لديه قدراً مطلقاً يبلغ +18.6 مما يجعله من أبهت نجوم السماء فعلياً.

جدول بألمع عشر نجوم في السماء

اسم النجم العربي	اسم النجم اللاتيني	اسم الكوكبة العربي	اسم الكوكبة اللاتيني	قدره الظاهري
الشعرى اليمانية	Sirius	الكلب الأكبر	Canis Major	-1.44
سهيل	Canopus	السفينة	Carina	-0.62
رجل الظلمان	Alpha Centauri	الظلمان	Centaurus	-0.28
السماك الرامح	Arcturus	العواء	Bootes	-0.05
النسر الواقع	Vega	القيثارة	Lyra	0.00
العويق	Capella	ممسك الأعنة	Auriga	0.08
الرجل	Rigel	الجبار	Orion	0.18
الشعرى الشامية	Procyon	الكلب الأصغر	Canis Minor	0.40
آخر النهر	Achernar	النهر	Eradinus	0.45
منكب الجبار	Betelgeuse	الجبار	Orion	0.45

رابعاً: اللون والحرارة

عندما ننظر إلى السماء نرى معظم النجوم باللون الأبيض وبالطبع يوجد بعض النجوم التي تبدو بألوان أخرى. فعلى سبيل المثال نجم منكب الجبار (α Orion) معروف بلونه الأحمر، وكذلك الأمر بالنسبة لنجم قلب العقرب (α Scorpi). في حين أن



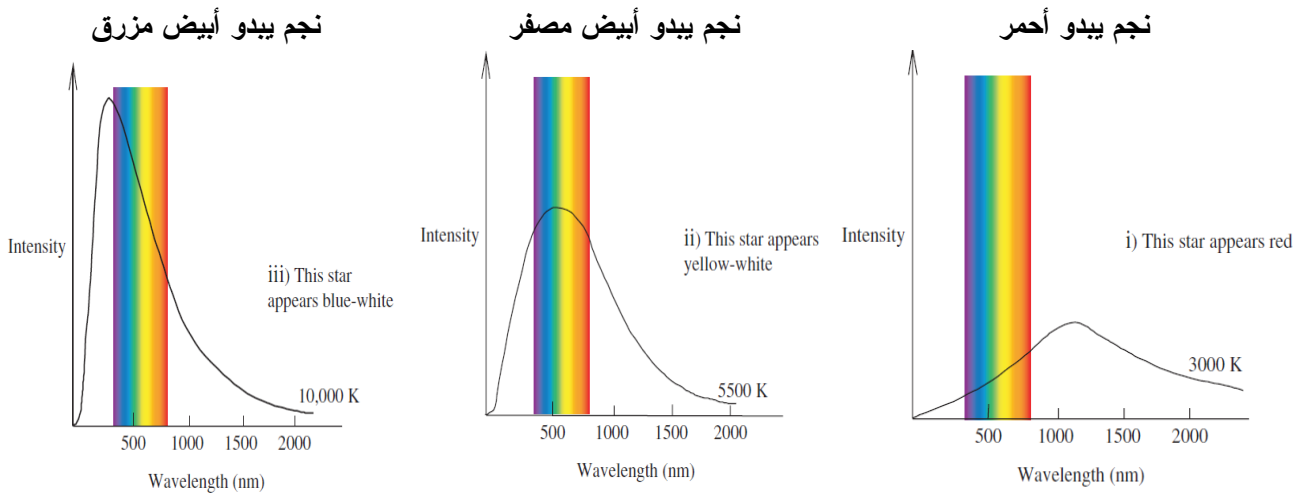
نجم العبوق (α Aurigae) له اللون الصفرة، وأما نجم النسر الواقع فيمتاز بلونه الأبيض المزرق. وعلى أي حال فإن غالبية النجوم لا تبدو ألوانها متباينة كثيراً عند النظر إليها بالعين المجردة. أما حين ننظر إليها بالمنظار أو بالتلسكوب فإن الأمر سيتغير كثيراً، حيث ستبدو النجوم مختلفة من حيث اللون وتدرجه بشكل مثير.

ويتحدد لون النجم بدرجة الحرارة على سطحه. فالنجم الأحمر درجة حرارته أقل من النجم الأصفر، والذي درجة حرارته أقل من النجم الأزرق وهكذا... وقد تم الوصول إلى هذه النتائج انطلاقاً من قانون العالم فين الذي ينص على ما يلي:

النجوم ذات الحرارة المنخفضة تصدر معظم طاقتها بالطيف الأحمر إلى ما دون الأحمر (Infrared) في حين أن النجوم الحارة جداً تصدر طاقتها بالطيف الأزرق إلى ما فوق البنفسجي (Ultraviolet)

بعض النجوم الحارة جداً تصدر معظم طاقتها كأشعة فوق بنفسجية ولذلك لا يصلنا من ضوئها المرئي إلا جزء صغير. والأكثر من ذلك أن الكثير من النجوم تصدر معظم طاقتها كأشعة تحت الحمراء ولذلك نحن لا نراها على الإطلاق. والشيء المدهش أن معظم هذه النجوم صغيرة الكتلة ومنخفضة الحرارة تشكل نسبة 70% من نجوم مجرتنا، ولكن لا يمكن أن نخرج في ليلة صافية لنرصدها مباشرة بالعين المجردة أو بالتلسكوبات البسيطة.

وفيما يلي رسم توضيحي يبين كيفية توزيع إصدارات النجوم الكهرطيسية على مختلف الأطياف ودرجات الحرارة المقابلة لذلك.



يوجد هنا نقطة أخرى هامة وهي أن النجوم الحارة تصدر الطاقة المنبعثة منها بكل الأطوال الموجية وذلك بسبب الطاقات العالية لكل الفوتونات. ومن الأمور المثيرة حقاً هو أن بعض النجوم الحارة جداً بحيث أن الحرارة على سطحها قد تبلغ بضعة ملايين من الدرجات تشع طاقتها على شكل أمواج قصيرة جداً وفي الواقع تصدر أشعة إكس (X-Ray)، وهي النجوم النيوترونية. ويجب التنويه إلى أنه عندما نتحدث عن حرارة نجم ما فإننا نقصد درجة الحرارة على سطحه. أما درجة الحرارة الداخلية فلا يمكن قياسها مباشرة بل عن طريق القوانين النظرية.

خامساً: الحجم

تبعد النجوم عنا مسافات هائلة ومهما حاولنا تكبيرها ستبقى مجرد نقطة مضيئة. لذلك كيف يمكننا قياس حجم النجم الحقيقي؟ الجواب غاية في البساطة حيث نعتمد على المعيارين التاليين:

1. سطوع النجم الذي يشتق من المسافة واللمعان (تدفق الطاقة).

2. درجة حرارة سطح النجم التي تحدد من تصنيف النجم الطيفي.

بعد ذلك لا يعدو الأمر مجرد كونه حسابات تستخرج من بضعة علاقات. وباستخدام هذه الطريقة توصل الفلكيون إلى أن الكثير من النجوم أصغر من الشمس، في حين أن بعضها الآخر يفوق حجم الشمس بألاف المرات بل وحتى ملايين المرات. ذكرنا سابقاً بأن السطوع يحدد كمية الطاقة المنبعثة من سطح النجم في كل ثانية وبالتالي فإن السطوع ليس إلا تدفق الطاقة مضروباً بمساحة السطح الكروي للنجم. يمكن أن نستنتج بأن النجم البارد الذي له تدفق طاقي منخفض قد يكون ساطعاً للغاية إذا كان نصف قطره كبيراً كفاية (سطحه كبير كفاية). كما أن النجم الحار قد يكون غير ساطع بشكل كبير إذا كان نصف قطره صغيراً (مساحة سطحه ليست كبيرة). مما سبق نستنتج بأن درجة الحرارة فقط غير كافية لمعرفة سطوع النجم بل يلزم أيضاً معرفة نصف قطره.

وعلى الرغم من انه أصبحنا قادرين على معرفة السطوع واللمعان ودرجة الحرارة ونصف القطر لنجم ما بشكل دقيق ومستقل إلا انه غالباً ما يكون من المفيد إيجادها بدلالة ما يقابلها بالنسبة للشمس. فعلى سبيل المثال من السهل لأحد ما أن يتصور ويتفهم بأن نجماً ما درجة حرارته أسخن من الشمس عشر مرات أكثر من أن نقول له بأن درجة الحرارة على سطحه تبلغ 54,000.

سادساً: الكتلة

قام العالم الفلكي جوهانز كبلر في عام 1600م بالانضمام للعالم الفلكي تيخو براهي، وبعد تسع سنوات أي عام 1609 توصل لقوانينه الثلاثة بالاعتماد على أرصاد معلمه العالم تيخو براهي التي استغرقت عشرين عاماً وكانت أدق أرصاد فلكية في عصره على الإطلاق.

ولأخذ العلم فإنه في الخامس والعشرين من شهر آب من نفس العام 1609 قام العالم الشهير غاليليو غاليلي باستخدام التلسكوب لأول مرة للنظر للسماء وأحدث ثورة في علم الفلك. وقبل أن نتحدث عن الكتلة يجب أن نتحدث عن النجوم الثنائية.

النجوم الثنائية

النجوم الثنائية (والتي تدعى أحياناً النجوم المزدوجة) هي نجوم تبدو بالعين المجردة كنجم واحد، لكن حين ترصد بالتلسكوبات تبدو كنجمين منفصلين. في الواقع قد تبدو بعض النجوم المفردة بالتلسكوبات كمنظومة نجمية متعددة !!

ولكن هناك بعض النجوم التي تبدو مزدوجة ولكنها ليست كذلك، والسبب هو توضعها أمام نجم آخر ظاهرياً أي على نفس خط النظر للراصد ويفصل بينهما فعلياً مسافة هائلة. أما بالنسبة للنجوم الثنائية فقد تكون قريبة نسبياً من بعضها البعض أو بعيدة، وقد تتراوح مدة دورانها حول نفسها من عدة أيام إلى عدة أشهر أو حتى عدة سنوات. وأحياناً يكون تصنيف بعض النجوم الثنائية معقد للغاية.

تصنيف النجوم الثنائية

يمكن تصنيف النجوم الثنائية على النحو التالي:

- النجوم الثنائية البصرية (Optic Binaries): هي نجوم ثنائية يمكن مشاهدة النجمين فيها بالعين المجردة أو بالتلسكوب نظراً لوجود مسافة كافية بينهما، ومثالها نجم إيبسيلون القيثارة.
- النجوم الثنائية الطيفية (Spectroscopic Binaries): هي نجوم ثنائية صعبة الفصل أي لا يمكن تمييز النجمين الثنائيين عن بعضهما البعض لعدة عوامل حتى بأقوى التلسكوبات، لذلك لا يمكن معرفة أنها ثنائية إلا بالتحليل الطيفي لها.
- النجوم الثنائية الكسوفية (Eclipsing Binaries): هي نجوم ثنائية يدور أحدهما أمام الآخر بالنسبة للراصد مما يسبب تغيراً في لمعان النجم بشكل دوري، مثل نجم الغول (Algol) وهو بيتا برشاوس (Perseus).
- النجوم الثنائية الثقالية (Astrometric Binaries): هي نجوم ثنائية لا يمكن اكتشاف النجم المرافق لأحدها إلا بآثره الثقالي على حركة النجم الرئيسي مثل نجم الشعرى اليمانية في كوكبة الكلب الأكبر.

أهمية النجوم الثنائية

إن ما يجعل النجوم الثنائية مهمة للغاية لدى الفلكيين هو استخدامها في تحديد كتل النجوم، والتي تعتبر بدورها مهمة في معرفة تطورها. وقد اصطلح فلكياً بأن يدعى النجم الأكثر لمعاناً بين النجمين بالنجم الرئيسي والآخر بالنجم الثانوي أو المرافق. ونلاحظ بأن الاصطلاح لا يُعنى فيما إذا كان أحدهما أكبر كتلةً من الآخر أو إذا كان النجم اللامع (الرئيسي) أقل سطوعاً من النجم الآخر (المرافق).

ومن أهم صفتين مميزتين للنجوم الثنائية:

- المسافة الفاصلة بينهما (Separation): وهي المسافة الزاوية بين النجمين، وتقاس بالثانية القوسية من النجم الأبعد للأخفت.
- زاوية التوضع بينهما (PA=position angle): وهي التوضع النسبي للنجم المرافق بالنسبة للنجم الرئيسي يقاس بالدرجة.

العلاقة بين كتلة النجم وحياته

تعتبر كتلة النجم من العوامل الهامة لمعرفة حياة النجوم وموتها، فالوقت اللازم من تشكل النجم الأولي وحتى يصبح واحداً من نجوم السلسلة الرئيسية يعتمد على كتلته. فعلى سبيل المثال فإن النجوم الفائقة الكتلة (supermassive stars) تقوم بكل شيء بوتيرة أسرع، فنجم أولي كتلته كبيرة كفاية قد ينهار في غضون مليون عام أو أقل، في حين أن نجماً كتلته ككتلة الشمس قد يستغرق 50 مليون عام حتى تنتهي حياته.

هذا يعني أن نجماً فائق الكتلة في حشد نجمي ما قد يولد ويعيش ثم يموت في حين أن هناك نجماً صغيراً الكتلة قد يكون لم يكمل مرحلة تشكله الأولى. ويجب الإشارة إلى أن النجوم الساطعة الساخنة الزرقاء هي الأكبر كتلة، في حين أن النجوم الباهتة الباردة الحمراء هي الأقل كتلة. وبشكل عام كلما ازدادت كتلة النجم كلما ازداد سطوعه، فعلى سبيل المثال نجم كتلته $10 M_{\odot}$ يكون سطوعه $3000 L_{\odot}$ ، في حين أن نجماً كتلته $0.1 M_{\odot}$ له سطوع $0.001 L_{\odot}$.

تمضي النجوم معظم حياتها في السلسلة الرئيسية، وقليل من عمرها كنجوم أولية. فمثلاً يستغرق نجم أولي كتلته عادل كتلة الشمس فترة 20 مليون عام حتى يصبح من نجوم السلسلة الرئيسية. في حين أن نجماً كتلته $20 M_{\odot}$ سيستغرق فقط 20,000 عام. وشمسنا بقيت 5 بليون سنة كأحد نجوم السلسلة الرئيسية، وسوف تبقى كذلك لمدة 5 بليون سنة أيضاً.

وبقيت نقطة هامة يجب الإشارة إليها وهي أن كتل النجوم لها حدود. فبواسطة النماذج النظرية والمحاكاة توصل الفلكيون إلى أن النجوم التي لها كتلاً تتراوح من $150 M_{\odot}$ وحتى $200 M_{\odot}$ تقريباً لا يمكن أن تتشكل لأن الضغط الناجم عن التفاعلات النووية داخلها يتغلب على قوى الجاذبية فيها مما يؤدي إلى تمزيقها لأجزاء. كما أن النجوم التي لها كتل أقل من $0.08 M_{\odot}$ لا يمكنها أن تبلغ نواتها درجة الحرارة المنشودة لولادتها (10 مليون كالفن) فلا تستطيع بالتالي بدء التفاعلات النووية اللازمة لاشتعالها. وتدعى هذه النجوم بالنجوم البنية القزمة (Brown Dwarf Stars)، وهي تشغل الفراغ على سلم الحجم بين النجوم الصغيرة والكواكب الغازية العملاقة. وهذا النوع من النجوم يخسر كل الطاقة الحرارية بداخله على شكل أشعة تحت حمراء لتبرد ببطء مع مرور الزمن، لذلك يكون من الصعب اكتشافها عادةً. فأول نجم من الأقزام البنية تم اكتشافه عام 1995 م وكتلته $0.05 M_{\odot}$.

سابعاً: الطيف

سننتقل الآن إلى الأداة الأهم التي تحتل حيز الزاوية بين مواضيع الفيزياء الفلكية الأخرى، وهي من المواضيع الممتعة للدراسة والبحث ولتي تثير الدهشة حقاً. فمن مجرد النظر لضوء نجم ما يمكن أن نتعرف من خلال طيفه على كم هو ساخن وكم يبعد عنا وفي أي اتجاه يتحرك وهل يدور أم لا وما هو عمره وكم تبلغ كتلته وغيرها من الأمور.

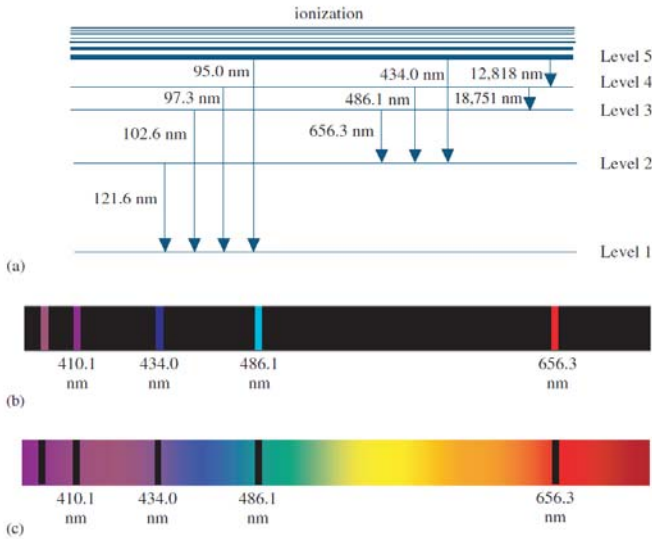
والتصنيف الطيفي للنجوم قد يبدو نظرياً مهمة سهلة، ولكن الأمر ليس بهذه البساطة عملياً. ولكن كل ما نحتاجه هو جهاز التحليل الطيفي (Spectroscopy) الذي يجعلنا ننظر لضوء النجم بطريقة خاصة بالاستفادة من أن الضوء الأبيض المنبعث من النجوم ليس إلا اتحاداً للأطياف السبعة المعروفة.

وحالياً يتم إضافة كاميرا خاصة (CCD) لعدسة التلسكوب العينية. والطيف الذي نحصل عليه هو خريطة للضوء القادم من النجم تتألف من كل إصدارات الضوء المنبعث والتي تصدر وتنتشر وفقاً لأطوالها الموجية (ألوانها). ولذلك فكميات الضوء المختلفة عن سلم الأطياف المألوفة يمكن قياسها بسهولة. فالنجوم الحمراء تصدر معظم ضوءها بالطيف الأحمر، والنجوم الزرقاء تصدر معظم ضوءها بالطيف الأزرق.

وتوجد نقطة هامة يجب أن نلاحظها في الطيف، فهو لا يحتوي فقط على خطوط مضيئة، وإنما توجد أيضاً خطوط معتمة تدعى خطوط الامتصاص (absorption lines) والتي تتكون في الغلاف الجوي للنجم. وفي حالات نادرة توجد خطوط لامعة في أطياف النجوم تدعى خطوط الإصدار (emission lines) في حين تتواجد بغزارة في أطياف السدم.

إن الإلكترونات في الطبقات السطحية للنجوم لا تملك سوى طاقات محددة فقط كدرجات السلم. بأخذ ذرة الهيدروجين على سبيل المثال نجد أن الإلكترون قد يقفز من سوية طاقة أدنى إلى سوية طاقة أعلى عند امتصاصه طاقة ما، ثم لا يلبث أن يعيد إصدار الطاقة التي امتصها من جديد على شكل فوتون ضوئي صادر. وهذا الفوتون يملك صفة فريدة وهي أن طاقته تعادل بالضبط كمية الطاقة التي خسرها الإلكترون مسبقاً أي أن لهذا الفوتون طولاً موجياً وتواتراً محددين.

عندما يسخن غاز الهيدروجين لدرجات حرارة عالية في سطح النجم تزداد وتيرة التصادم بين الذرات مما يدفع الإلكترونات لسويات طاقة أعلى ونحصل بذلك على طيف لخطوط الإصدار. أما خطوط الامتصاص فمصدرها هو اختلاف كميات العناصر في الغلاف الجوي الأبرد لبعض النجوم. وبالتالي الفوتونات لا تصدر فحسب بل تمتص أيضاً.



فبالنسبة لغاز الهيدروجين عندما ينتقل الإلكترون من سوية الطاقة 2 إلى السوية 1 فهو يصدر فوتوناً طول موجته 121.6 نانومتر، والعكس صحيح. وتسمى عملية قفز الإلكترونات بين سويات الطاقة المختلفة بالانتقال (transition).

التصنيف الطيفي

تعرفنا مسبقاً أن النجوم تتمايز فيما بينها بعدة معايير، والآن سنرى تمايزها بأطيافها. وقد اصطلح تصنيف النجوم بأحرف لاتينية كبيرة وفقاً لتناقص درجات حرارتها كما يلي:

O B A F G K M L R N S

يبدأ هذا التسلسل من النجوم الأسخن الزرقاء O & A حتى النجوم الأبرد الحمراء K, M, & L. أما النجوم R, N & S فهي متداخلة مع النجوم من النمط M وتم إعادة تصنيفها كنجوم من النمط C للدلالة على نجوم الكربون. وبدوره كل نمط طيفي تم تقسيمه إلى عشر أنماط جزئية مرتبة (من 0 حتى 9). فمثلاً نجوم A1 أسخن من نجوم A8 والتي هي بدورها أسخن من نجوم F0. وفيما يلي تصنيف النجوم وفق سطوعها:

- I • عملاق فائق (Super Giant):
- II • عملاق لامع (Bright Giant):
- III • عملاق (Giant):
- IV • تحت عملاق (Sub Giant):
- V • قزم (Dwarf):
- VI • تحت قزم (Sub Dwarf):
- VII • قزم أبيض (White Dwarf):



ملحق بأهم المراجع العلمية للمحاضرة:

- Teach Your Self Visually Astronomy, Richard Talcott, Wiley, 2009.
- The Brightest Stars, Fred Schaaf, Wiley, 2008.
- Introduction to Astronomy and Cosmology, Ian Morison, Wiley, 2008.
- Astrophysics is easy, Mike Inglis, Springer, 2007.
- Fundamental Astronomy, Finnish Scientists, Springer, 2007.
- Astrophysics decoding the cosmos, Judith Irwin, Wiley, 2007.
- Our Place In The universe, Norman Glendenning, Imperial College Press, 2007.
- A Companion to Astronomy and Astrophysics, Kenneth Lang, Springer, 2006.