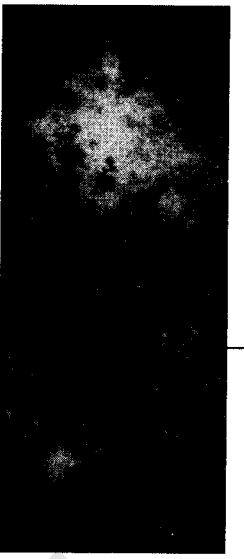
3

النجـوم



انظر إلى النجوم! ارجع البصر في السماء! وتأمل كل تلك الكائنات النارية المنتشرة فيها!

جيرارد مانلي هوبكنز (1844 ـ 1899)
«The Starlight Night»

الأهداف:

- وصف طريقة اختلاف المنظر ومجالها، بوصفها تقنيةً لتحديد المسافات إلى النجوم.
- وصف الأنواع الثلاثة الأساسية من الأطياف وهي: طيف الإصدار، وطيف الامتصاص، والطيف المستمر.
- تفسير كون طيفَي الإصدار والامتصاص متفرِّدَيْن لكل عنصر.
- وصف الأطياف النجمية وصفاً عاماً، وتفسير كيفية تقسيمها إلى أصنافٍ طيفية.
- تفسير طريقة تحديد التركيب الكيميائي لنجم، ودرجة حرارته السطحية، وسرعته الشعاعية عن طريق طيفه.

obeikandl.com

- استنباط معلومات أخرى من الأطياف النجمية.
- بيان طريقة تحديد الحركة الحقيقية لنجم وسرعته في الفضاء.
- بيان الفرق بين السطوع الظاهري والضيائية.
- إبراز العلاقة بين القدْر الظاهري، والقدْر المطلق، والمسافة.
- وصف مخطط H-R وتفسير علاقة كتلة نجمٍ ما بضيائيَّته ودرجة حرارته.
- مقارنة النجوم العمالقة الحُمْر والأقزام البِيض بالشمس من حيث الكتلةُ والقُطر والكثافة.
- التعريف بأربعة أنماطٍ من المنظومات النجمية الثنائية.

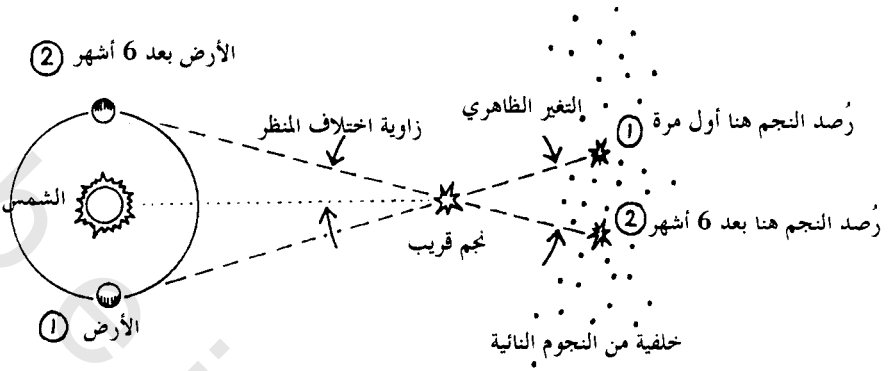
1.3 المسافات إلى النجوم القريبة

تقع النجوم، تلك الأجرام النارية الهائلة، على بُعد تريليونات الكيلومترات خارج نطاق غلافنا الجوي. إلا أن الجزم بالمسافات الحقيقية إلى النجوم كانت ـ ولقرونٍ خَلَتْ ـ مثار حيرة علماء الفلك وتردُّدهم.

تُستعمَل طريقةُ اختلاف المنظر parallax لقياس المسافات إلى النجوم القريبة، وذلك بتحديد موقع نجمٍ بدقة بالنسبة إلى نجوم أخرى، ثم تحديد موقعه مرةً أخرى بعد انقضاء ستة أشهر، عندما يكونُ دورانُ الأرض قد تسبَّب في نقل مواقع المقاريب نصفَ المسافة حول الشمس.

تبدو النجومُ القريبة مُنْزاحةً قرباً وبعداً بالنسبة إلى نجوم أكثر بُعداً، في الوقت الذي تطوف فيه الأرضُ حول الشمس. يُسمّى التغيُّرُ الظاهريُّ الذي يلاحَظ في موقعِ نجمٍ عند رصده من الأطراف المقابلة لمدار الأرض اختلافَ المنظر النجميّ stellar parallax. ويُحسَب بُعد النجم من زاوية اختلاف منظره parallax angle، وهي تساوي نصف التغيُّر الظاهري في الموقع الزاويّ للنجم (الشكل 1.3).

وتحسن الإشارة إلى أن اختلاف المنظر النجميّ صغيرٌ جداً، ويُقاس



الشكل 1.3 اختلاف المنظر النجمي. إن نجماً قريباً من الأرض يُرى من الأطراف المقابلة لمدارها يبدو وقد انزاح موقعه من 1 إلى 2 على خلفية النجوم النائية. (زاوية اختلاف المنظر الحقيقية غايةٌ في الصِّغر).

بالثواني القوسية (") second of arc، حيث $1'' = 1/3600°$. ولتمثيل ذلك تَصوَّرْ أن قرصاً من الأسبرين قد يبدو قطره مساوياً 1" بالنظر إليه من مسافة نحو 2 كم (ميل واحد)! علماً بأن اختلاف المنظر لأقرب النجوم هو أقل من 1" (الملحق 5).

نسمّي فرسخاً فلكياً parsec (pc)[1] المسافةَ إلى نجم افتراضي يبلغ اختلافُ منظره ثانيةً قوسيةً واحدة ("1). وقد وُجد أن فرسخاً فلكياً واحداً يعادل قرابة 31 تريليون كيلومتر (19 تريليون ميل)، أو 3,26 سنة ضوئية.

ولحساب بُعد أي نجمٍ عُلِمَ اختلاف منظره تُستعمل الصيغة التالية:

$$\text{بُعد النجم (بالفرسخ الفلكي)} = \frac{1}{\text{اختلاف المنظر (بالثواني القوسية)}}$$

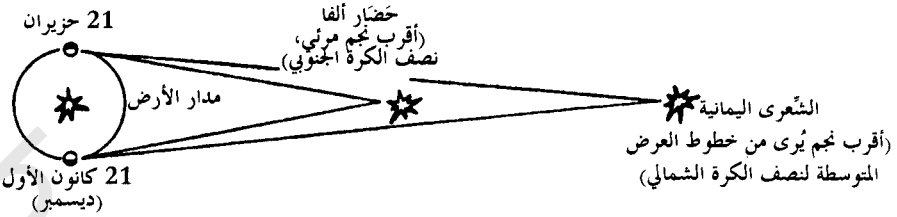
(1) كلمة parsec منحوتة من par = parallax (اختلاف المنظر) وsec = second of arc (ثانية قوسية). (المعرِّب)

ومن المهم أن تعلم أن اختلاف المنظر النجمي يتناقص مع بُعد النجم، وأنه قابلٌ للقياس حتى نحو 0″,01 أي ما يقابل مسافة 100 فرسخ فلكي. على أن اختلاف المنظر الذي أمكن قياسه بدقة حتى الآن لا يستغرق سوى جزءٍ صغير من النجوم التي تقع ضمن هذا البُعد (وعددها 500،000 نجم).

والنموذجُ الأوروبي من ساتل حساب اختلاف المنظر العالي الدقة High Precision Parallax Collecting Satellite (أو Hipparcos اختصاراً)، هو مركبةٌ فضائية تبحث في علم القياسات الفلكية astrometry، استُعملت بين سنتي 1989 و 1993 لدراسة 100،000 نجم من حيث قياس مواقعها وحركاتها واختلافات مناظرها بدقة تامة، ولدراسة 400،000 نجم آخر بدقة أقل. وجاءت تسمية هذا الساتل تخليداً لذكرى [الفلكي الإغريقي] هيپارخوس Hipparchus (الفقرة 7.1)، الذي تمكّن ـ منذ زمنٍ يرقى إلى سنة 120 قبل الميلاد ـ من حساب بُعد القمر عن الأرض عن طريق قياس اختلاف منظر القمر. وثمّة دليلٌ يصنَّف اليوم يسمى دليل هيپاركوس النجمي Hipparcos Star Catalog، يضم معطيات نجميةً وافرةً تضاف إليه وتغنيه حال معالجتها.

ولا بد من توظيف طرائق أخرى غير مباشرة لتحديد المسافات إلى جُلِّ النجوم التي تبعد أكثر من 100 فرسخٍ فلكي.

هل تحب أن تعرف ما يُقصد من أن نجماً ما هو نجمٌ «قريب»؟ استعن بالشكل 2.3 . إذا كان اختلافُ المنظر المعروف لنجم α حَضَار (Alpha Centauri) هو 0″,75، فإن بُعده عن الأرض يقارب 1,3 فرسخ فلكي أو 4,3 سنة ضوئية، أي ما يعادل نحواً من 40 تريليون كيلومتر (25 تريليون ميل). (نجم α حَضَار في واقع الأمر نجمٌ ثنائي، وهو فردٌ من منظومةٍ نجمية ثلاثية إذا ألحقنا به نجم قنطورس القريب Proxima Centauri أقرب نجمٍ ليليٍّ خافت إلينا).



الشكل 2.3 استعمال طريقة اختلاف المنظر لتحديد المسافات إلى أقرب النجوم السواطع إلينا.

إذا كان اختلاف المنظر المعلوم لنجم الشِّعرى اليمانية هو 0",38، فكم يكون بُعده عن الأرض (أ) بالفراسخ الفلكية؟ .....؛ (ب) بالسنين الضوئية؟ .....؛ (ج) بالكيلومترات أو الأميال (على وجه التقريب)؟ .....

الجواب: (أ) 2,6 pc؛ (ب) 5,8 ly؛ (ج) 81 تريليون كيلومتر أو 50 تريليون ميل.

طريقة الحل:

(أ) $1/0'',38$

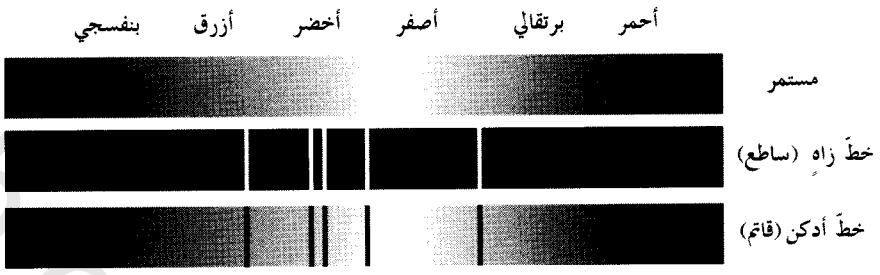
(ب) $(2.6\text{pc}) \times 3.26 \frac{\text{ly}}{\text{pc}}$

(ج) $(2.6\text{pc}) \times 31\text{trillion} \frac{\text{km}}{\text{pc}}$

$(2.6\text{pc}) \times 19 \text{ trillion} \frac{\text{mile}}{\text{pc}}$

2.3 أنواع الأطياف

إننا نعرف الكثير عن النجوم، برغم المسافات الشاسعة التي تفصلنا عنها؛ فمن ضوئها يتمكن علماء الفلك من استنباط قدرٍ مذهل من المعلومات.



الشكل 3.3 أنواع الطيف الثلاثة الأساسية كما تُرى باستعمال كاشف الطيف.

ولعلك تذكر أن ضوء النجوم يتألف من أطوالٍ موجية كثيرة ومختلفة. ولدى تفكيك ضوء النجوم إلى أطواله الموجيّة، فإن الطيفَ الناجم يحمل دلالاتٍ ومفاتيحَ ذات قيمةٍ عن النجوم نفسها. وعلم الأطياف spectroscopy هو مبحث تحليل الأطياف spectra (جمع طيف spectrum)، وهي على ثلاثة أنواع أساسية يتولّد كلٌّ منها في ظروفٍ فيزيائية مختلفة.

صِفْ مظهرَ كلِّ نوعٍ من الأطياف التي يمثّلها الشكل 3.3.

(أ) .....

(ب) .....

(جـ) .....

الجواب:

(أ) الطيف المستمر continuous spectrum: صفيفة مستمرة مؤلفة من جميع ألوان قوس قزح.

(ب) طيف الإصدار emission spectrum، أو طيف الخطوط الساطعة bright-line spectrum: نموذج من خطوطٍ زاهية الألوان مختلفة الأطوال الموجية.

(ج) طيف الامتصاص absorption spectrum، أو طيف الخطوط القاتمة dark-line spectrum: نموذج من خطوطٍ دكناء على طيف مستمر.

ملاحظة: يتعامل علماء الفلك اليوم مع الأطياف كرسومٍ بيانية تمثّل الشدة مقابل طول الموجة (الشكل 22.6 ب).

3.3 الخطوط الطيفية

تُعدُّ الذرات مسؤولة عن أنواع الطيف كافة. والذرّة atom هي أصغر جسيمات العنصر الكيميائي.

ويُعرَف اليوم أكثر من 100 عنصر كيميائي (الملحق 4)، لكل عنصر منها نوع الذّرة الخاص به. وكان أولَ مَن وَصَفَ هذا النموذجَ الفيزيائيُّ الدنماركي نيلس بور Niels Bohr (1885 ـ 1962).

وبحسب نموذج بور الذرّي Bohr atom model، تحتوي ذراتُ كل عنصرٍ على نواة nucleus ذات عددٍ فريدٍ من البروتونات protons الموجبة الشحنة، يدور حولها عددٌ مساوٍ من الإلكترونات electrons السالبة الشحنة. وتكون الذّراتُ في العادة متعادلةً كهربائياً.

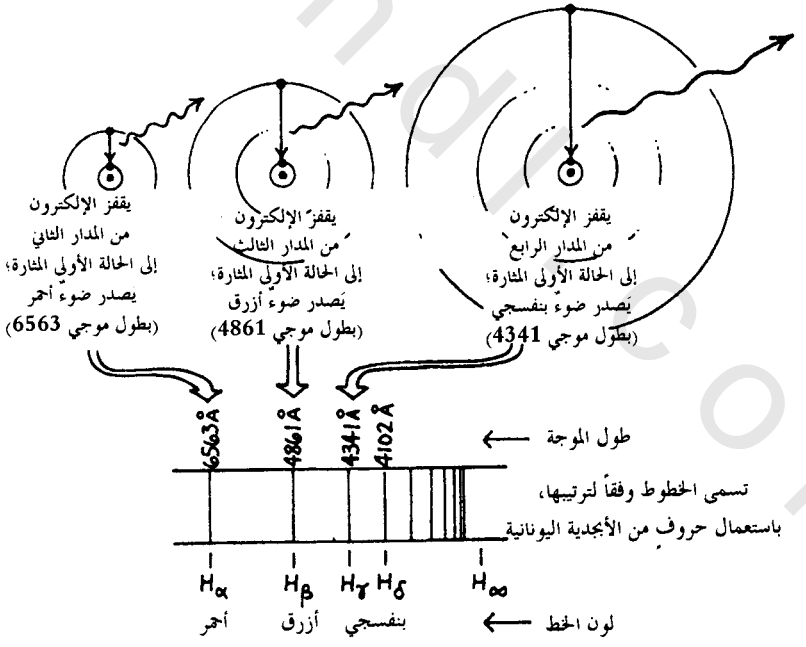
يقتصر وجود الإلكترونات في مجموعةٍ من المدارات المحدَّدة نصف القطر لا تتجاوزها الإلكترونات. ويحمل أيُّ إلكترونٍ في مدارٍ معيَّن طاقةَ ربطٍ binding energy محدَّدة، وهي الطاقة اللازمة لِنَزْعه من الذرّة. ولكلِّ عنصرٍ مجموعته الفريدة الخاصة من المدارات الإلكترونية أو مستويات الطاقة energy levels.

تحمل الذرّةُ غير المُثارة، في حالتها المستقرّة (الحضيضية) ground state، أقلَّ كمية ممكنة من الطاقة. فإذا تزوَّدت بالطاقة الملائمة يقفز أحد الإلكترونات إلى مستوى طاقة أعلى، وتغدو الذرَّةُ في حالةٍ مُثارَة excited

state غير مستقرّة. وعندما يسقط الإلكترون عائداً إلى مداره تُطلِق الذرَّةُ تلك الطاقةَ على صورة كريَّةٍ من الضوء تسمّى الفوتون photon.

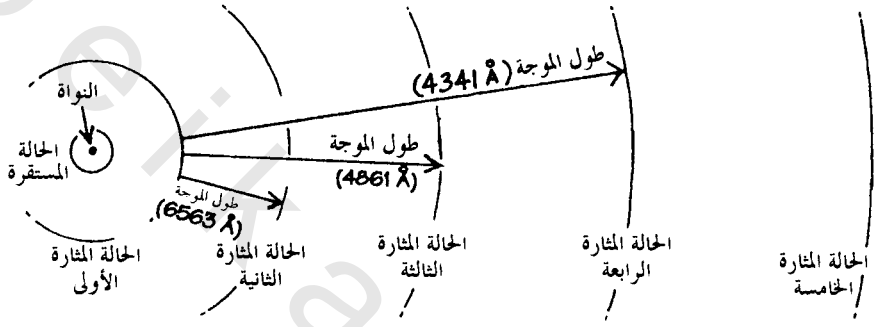
وإذا امتصَّت الذرّةُ طاقةً كافية، أمكنَ انتزاعُ واحد أو أكثر من إلكتروناتها انتزاعاً كاملاً، فتسمّى الذرّةُ ـ التي بقيت الآن بشحنةٍ كهربائية (موجبة) ـ عندئذ أيوناً ion.

تتولَّد خطوط إصدار emission lines زاهية الألوان عندما تقفز الإلكترونات من مستويات طاقةٍ عالية، عائدةً إلى مستويات طاقةٍ أدنى منها. ويتناسب الطولُ الموجيُّ للضوء الصادر عكساً مع فرق الطاقة بين مستويات الطاقة. ولما كان لكلِّ نوعٍ من الذرّات المتعادلة أو المتأيّنة مجموعته الخاصة الفريدة من مستويات الطاقة، اقتضى ذلك أن يكون لكلِّ عنصر كيميائيٍّ مجموعته الخاصة الفريدة أيضاً من خطوط الإصدار الزاهية الألوان (الشكل 4.3).



الشكل 4.3 منشأ المجموعة الفريدة من خطوط الإصدار الحمراء الزاهية والزرقاء والبنفسجية لعنصر الهيدروجين.

وتتولَّد بالمقابل خطوطُ امتصاصٍ قاتمة dark absorption lines فريدة عندما تَمتصُّ ذرّةٌ من عنصرٍ كيميائي ضوءاً، وتقفز الإلكترونات إلى مستويات طاقةٍ أعلى (الشكل 5,3).



الشكل 5.3 منشأ خطوط الامتصاص القاتمة المقابلة لخطوط الإصدار الحمراء الزاهية والزرقاء والبنفسجية لعنصر الهيدروجين.

وهكذا، فإن من شأن طيف الإصدار أو طيف الامتصاص المقابل، أن يحدِّد عملياً العنصرَ الكيميائي الذي يولِّده.

لماذا تُطْلِق الذراتُ ضوءاً مختلفَ الألوان (بأطوالٍ موجيةٍ معيَّنة)؟ .....

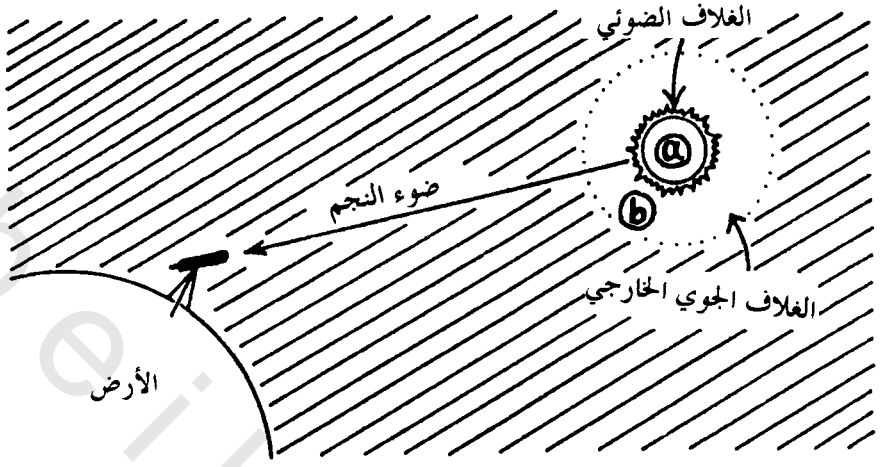
.....

.....

الجواب: لأن كلّ لونٍ (طولٍ موجيّ) يقابل إلكتروناً يقفز من مستوى طاقةٍ معيَّن عالٍ إلى مستوى طاقةٍ آخر أدنى منه.

4.3 أطياف النجوم

الأطياف النجمية stellar spectra بلا استثناء نماذج من خطوطٍ قاتمة



الشكل 6.3 ينطلق ضوءُ النجم الذي نرصده من الغلاف الضوئي للنجم، عابراً غلافَه الجويَّ الخارجي قبل انصبابه في الفضاء.

تتقاطع مع شريطٍ مستمر من الألوان (الشكل 8.3). وقد كان هنري دريبر Henry Draper (1837 ـ 1882) ـ وهو فلكيٌّ أمريكي هاوٍ ـ أوّلَ من تمكّن من تصوير طيفِ لنجمٍ تصويراً فوتوغرافياً سنة 1872.

والنجوم كراتٌ غازية عظيمة مضطرمة، من ذرّاتها أنواعٌ كثيرة تُطلِق ضوءاً من كلّ الألوان. هذا الضوءُ المنطلقُ من السطح المرئي الساطع للنجم، الذي يُسمّى الغلاف الضوئي أو الكرة الضوئية photosphere، ينطمس آيلاً إلى طيفٍ مستمر من الألوان. وفي أثناء انتقال الضوء عبر الغلاف الجوّي الخارجي للنجم، يحصل امتصاصٌ لبعض الألوان (فوتونات ذات أطوالٍ موجية معيَّنة)، فتتولّد عن ذلك خطوطُ امتصاصٍ قاتمة، يستفاد منها في تحديد ماهية العناصر الكيميائية التي تؤلِّف الغلافَ الجويَّ للنجم.

بالاستعانة بالشكل 6.3 حدِّدْ على النجم المنطقة التي يمكن أن ينشأ فيها (أ) طيف مستمر و(ب) طيف امتصاص.

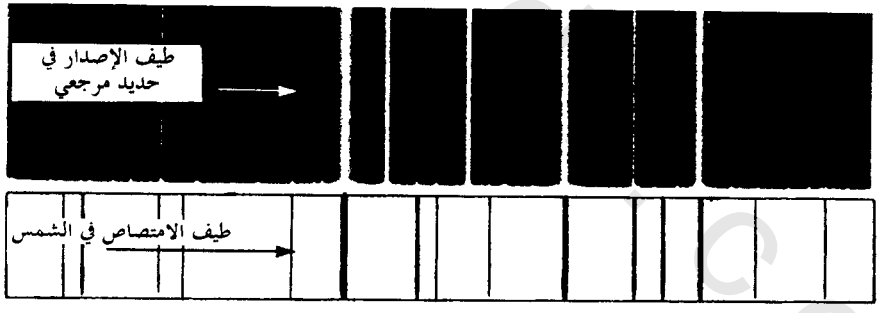
(أ) .....؛ (ب) .....

الجواب: (أ) مستمر؛ (ب) امتصاص.

5.3 التركيب الكيميائي

كانت الشمسُ أولَ النجوم التي جرى تحليلُ طيفِ امتصاصها، إذ تمكَّن الفيزيائيُّ الباڤاري جوزيف ڤون فراونهوفر Joseph von Fraunhofer (1787 - 1826) في سنة 1814 من تسجيل أقوى الخطوط القاتمة، التي تسمى اليوم خطوط فراونهوفر Fraunhofer lines.

ومنذئذٍ وعلماءُ الفلك ماضون في تسجيل وتصنيف آلاف الخطوط القاتمة في طيف الشمس. وبمقارنة هذه الخطوط بالخطوط الطيفية التي تولِّدها عناصرُ كيميائيةٌ مختلفة على الأرض، اكتشفوا أكثر من 70 عنصراً كيميائياً في الشمس (الشكل 7.3).



الشكل 7.3 يتمكن علماء الفلك من تعرُّف عنصر الحديد في الشمس عن طريق مقابلة الخطوط القاتمة في طيف امتصاص الشمس بطيف الإصدار في حديدٍ مرجعيّ.

كيف يمكن تحديد التركيب الكيميائي للنجوم؟ افترضْ أن النجومَ وغُلُفَها الجوّية مؤلَّفةٌ من مكوِّناتٍ واحدة. .....

.....

الجواب: بتحليل الخطوط القاتمة في طيف النجم، ومقارنتها بالخطوط التي يبديها كلُّ عنصرٍ كيميائي على الأرض.

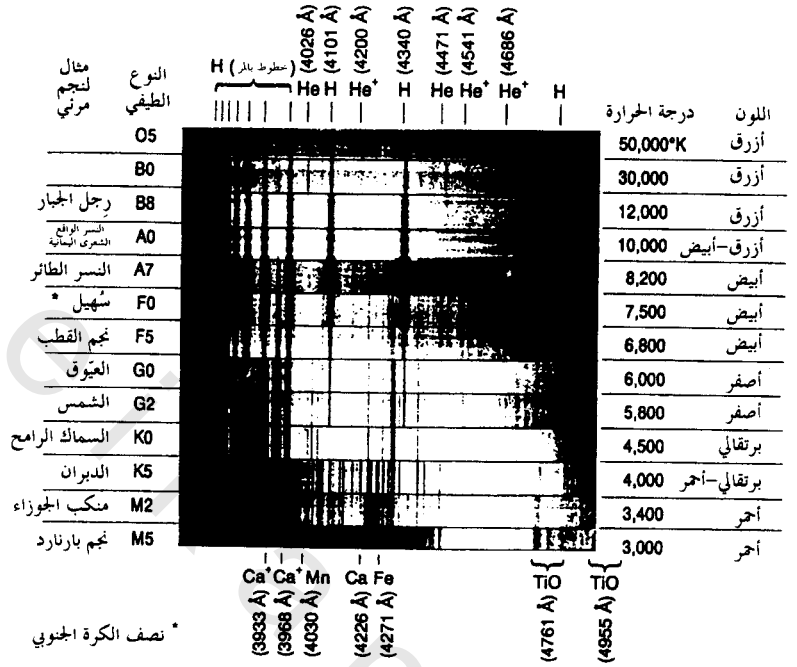
6.3 الأصناف الطيفية

عندما تقارِن أطيافَ نجومٍ من قبيل نجم القطب Polaris أو النسر الواقع Vega بطيف الشمس (الشكل 8.3)، ترى أن بعضها يبدو غير متغيِّر، في حين تظهر أطيافٌ أخرى وقد طرأ عليها تغيُّر بيِّن. يستعان بأطياف الامتصاص في تصنيف النجوم إلى سبعة أنواعٍ رئيسية تسمى الأصناف الطيفية spectral classes.

وقد وُجد أن خطوط الهيدروجين تكون أشدَّ بكثير في أطياف بعض النجوم منها في طيف الشمس. وساد اعتقاد خاطئ في الماضي لدى علماء الفلك أن هذه النجوم تحتوي على نسبة هيدروجين أكبر مما تحويه النجوم الأخرى، فصنَّفوا النجومَ تبعاً لشدة خطوط الهيدروجين في أطيافها، وبترتيبٍ أبجديٍّ بدءاً من أشدِّها (الصنف A) وانتهاءً بأضعفها (الصنف Q).

أجرت الفلكيةُ الأمريكيةُ آني كانون Annie J. Cannon (1853 ـ 1941) دراسات مستفيضةً على الأطياف، وصَنّفتْ أطيافَ 225,300 نجم، وقامت بتعديل نظام التصنيف هذا إلى شكله الحالي، وهو [من الحار إلى البارد]: O B A F G K M. (ولمساعدة طلاب علم الفلك على تذكّر ذلك الترتيب الغريب، استنبط الفلكيون عباراتٍ طريفةً تُعِين أوائلُ كلماتِها على استحضاره؛ منها قولهم: «Oh Be A Fine Girl/Guy Kiss Me»)[1].

(1) أي كوني رقيقةً يا فتاتي وقبِّليني/كن رقيقاً يا فتاي وقبِّلني».
ومنها «Oh, Big And Furry Gorilla, Kill My Roommate». «أيها الغوريلا الضخم الذي يكسوه الفرو؛ تعال فاقتل مَنْ يساكنني الغرفة».
ومنها أيضاً: «Only Brilliant, Artistic Females Generate Killer Mnemonics»، «لا يصوغ عبارات الاستذكار سوى الإناث المتألّقات ممّن يقدّرن الفنَّ وأهله.» (المعرِّب)



الشكل 8.3 الأصناف السبعة الرئيسية للأطياف النجمية، مرتَّبةً تنازلياً وفقاً لدرجة حرارتها. الأطوال الموجيّة للخطوط الطيفية مقيسةً بواحدات الأنغستروم (Å). (He: هليوم محايد؛ H: هيدروجين؛ Ca: كالسيوم؛ Fe: حديد؛ Tio: أكسيد التيتانيوم؛ +He: شاردة هليوم؛ +Ca: شاردة كالسيوم).

ونحن نعلم اليوم أن كلَّ النجوم المرئية هي ذات تركيب واحد تقريباً، فهي مؤلَّفةٌ في المقام الأول من الهيدروجين والهليوم. وقد دلَّلتْ عالمةُ الفلك الأمريكية سيسيليا پين غاپوشكين Cecilia Payne Gaposhkin (1979 - 1900) على أن الفروق في نماذج الخطوط القاتمة للنجوم مردّها أساساً التباينُ الكبير في درجات حرارتها السطحية surface temperatures.

إن تسلسل الأصناف الطيفية، الذي يعبَّر عنه بالحروف التقليدية كما أسلفنا، أمسى أيضاً تسلسلاً دالاً على درجة الحرارة. فنجوم O هي أشدّ النجوم حرارةً، ثم تتناقص درجة الحرارة باستمرار إلى أن تصل إلى نجوم M وهي أبردها. ثم إنّ كلَّ صنف طيفيٍّ ينتظم عشرة صفوفٍ فرعية subclasses

مرقمة من 0 إلى 9 بترتيبٍ تنازلي تبعاً لدرجات الحرارة أيضاً.

ما الخصيصة التي تحدِّد الصنفَ الطيفي لنجم؟ .....

الجواب: درجة حرارته السطحية.

7.3 درجة الحرارة

يبدو أن هناك تبايناً كبيراً بين طيف نجم حارٍّ وطيف نجم بارد. ادرس الشكل 8.3 تجد أن الصورَ الفوتوغرافية تمثِّل الأصنافَ السبعةَ الرئيسية للأطياف النجمية. ويتميّز كلُّ صنف طيفيٍّ (شأنَ الأرقام على ميزان الحرارة) بصفات تدلُّ على درجة حرارة النجم.

والجدول 1.3 يُجمِل الأصنافَ الطيفية للنجوم على الترتيب بدءاً من أعلاها حرارةً إلى أخفضها حرارة، ويشير كذلك إلى درجات الحرارة السطحية التقريبية لهذه الأصناف، والسمات المميّزة لكل صنف.

الجدول 1.3 الصفات المميّزة للأصناف الطيفية

الصنف الطيفي	درجة الحرارة التقريبية (بالكلفن)	أبرز مميزات الصنف
O	أعلى من 30,000	خطوط قليلة نسبياً؛ خطوط من الهليوم المتأين.
B	30,000 ـ 10,000	خطوط من الهليوم المحايد.
A	10,000 ـ 7,500	خطوط هيدروجين قوية جداً.
F	7,500 ـ 6,000	خطوط هيدروجين قوية؛ خطوط كالسيوم متأيّن؛ خطوط معدنية عديدة.
G	6,000 ـ 5,000	خطوط قوية من الكالسيوم المتأيّن؛ خطوط قوية وكثيرة من الحديد المتأين والمحايد، ومعادن أخرى.
K	5,000 ـ 3,500	خطوط قوية من المعادن المحايدة.
M	أدنى من 3,500	شرائط من جزيئات أكسيد التيتانيوم.

وبإمكانك تحديد الصنف الطيفي لنجم جديد، ودرجة حرارته المحتملة، عن طريق مقارنة طيفه بالصور الفوتوغرافية الواردة في الشكل 8.3، وبالسمات المميِّزة للصنف الواردة في الجدول 1.3.

سَمِّ الصنفَ الطيفيَّ ودرجة الحرارة المحتملة لكلٍّ من النجمَيْن (الشكل 9.3) استنباطاً من طيفيهما (أ) .....؛ (ب) .....

الجواب: (أ) من النوع O (أعلى من 30,000 كلڤن)؛ (ب) من النوع M (أدنى من 3,500 كلڤن).

الشكل 9.3 أطياف النجوم.

8.3 منشأ السمات المميِّزة للأصناف الطيفية

تفسِّر النظريةُ الذريّةُ السببَ في الاختلاف الكبير في الأطياف التي تولِّدها النجوم الزرقاء الحارّة (من الصنف O) والنجوم الحمراء الباردة (من الصنف M)، مع أنها مؤلَّفة من مكوِّناتٍ واحدة تقريباً.

إن لكل عنصر كيميائي درجةَ حرارة وكثافةً تميِّزانه، يكون عندهما في أقصى فاعليته من حيث توليد خطوط الامتصاص المرئية.

obeikandl.com

فعند درجات الحرارة العالية جداً، كما في النجوم O، تتأيَّن ionize ذرات الغاز، أي تتحطّم، ولا يَسلَم من التأيُّن إلا الذراتُ المُحْكَمَةُ التماسك من قبيل الهليوم المتأيِّن إفرادياً، وبذلك تَسُود خطوطُ الذرات المتأيِّنة الطيفَ. فإذا كانت درجة الحرارة قريبةً من 5800 كلڤن، كما في النجوم G كالشمس، بقيت ذراتُ المعادن كالحديد والنيكل متعادلةً وغير منصدعة. وعند درجات حرارةٍ أدنى من 3500 كلڤن، كما في النجوم M، قد توجد حتى جزيئات من مثل أكسيد التيتانيوم.

ماذا يعني غيابُ خطوط الامتصاص المميِّزة لعنصرٍ معيَّن كالهيدروجين في طيف نجم ما؟ هل هذا يعني بالضرورة أن النجمَ لا يحتوي على ذلك العنصر؟ فسِّر ذلك .....

.....

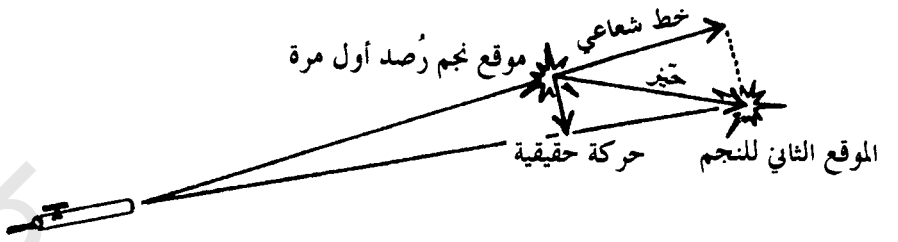
الجواب: لا. إن درجة حرارة النجم هي التي تحدِّد أيَّ أنواع الذرات يمكن أن يولِّد خطوطَ امتصاصٍ مرئية.

9.3 الحركات

تتحرّك النجومُ بسرعةٍ فضائية space velocity، أي بحركة في الفضاء بالنسبة إلى الشمس، تبلغ الكيلومترات في الثانية.

وللسرعة الفضائية مركِّبتان، تقاسان كلاً على حدة، هما: السرعة الشعاعية radial velocity، وهي سرعة الحركة على طول خط النظر، نحونا أو بعيداً عنّا؛ والحركة الحقيقية proper motion، وهي مقدار التغيُّر الزاويّ لموقع النجم كلَّ سنة (الشكل 10.3).

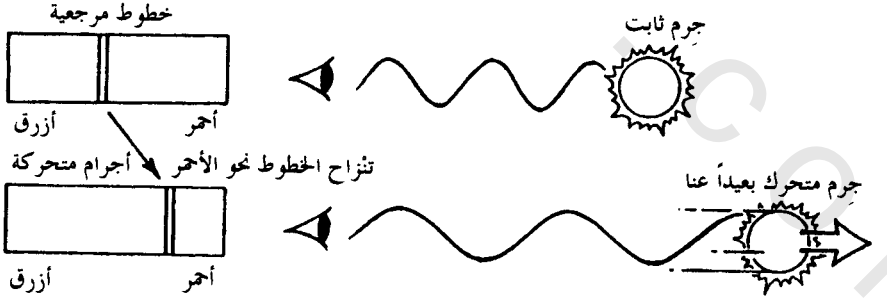
تتحدّد السرعةُ الشعاعيةُ لنجمٍ من تحليل طيفه. وقد اكتشف الفيزيائيُّ النمسوي كريستيان دوپلر Christian Doppler (1803 ـ 1853) ما سمِّيَ انزياح



الشكل 10.3 مركّبتا السرعة الفضائية: السرعة الشعاعية والحركة الحقيقية.

دوپلر Doppler shift، وهي ظاهرةٌ تنطبق على كل ضروب الحركة الموجيّة. فإذا تقارَبَ منبعٌ للأمواج وراصدٌ أو تباعدا، تغيَّرت الأطوالُ الموجيّةُ المرصودة.

تُقارَن الخطوطُ الطيفية لنجم (أطواله الموجية) ـ فيما يخصّ أيَّ عنصرٍ فيه كالحديد مثلاً ـ بطيفٍ مرجعيّ. وتوصَف الأطوال الموجيّة لنجم بأنها قصيرة (انزياح أزرق blueshift) أو طويلة (انزياح أحمر redshift) تبعاً لكون النجم متحركاً نحونا أو بعيداً عنّا (الشكل 11.3).



الشكل 11.3 انزياح دوپلر. تقارَن خطوطُ طيف جِرم سماوي، فيما يخص عنصراً معيّناً فيه، بخطوط مرجعية. تدلّ الخطوط الطيفية المنْزاحةُ نحو الأحمر على أن الجِرمَ يتحرك بعيداً عنّا.

إن التغيُّرَ في الطول الموجيّ ($\Delta\lambda$) مقسوماً على الطول الموجي لمنبعٍ ثابت (λ) يتناسب مع السرعة النسبية (v) (ما لم تكن معادلةً لسرعة الضوء c). ونكتب:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V}{C}$$

تقاس الحركة الحقيقية كل نحو 20 ـ 30 سنة. وقد وُجد أن معدّل هذه الحركة للنجوم المرئية كافة لا يتجاوز 0,1 ثانية قوسية (0″.1) سنوياً، وهو معدَّلٌ طفيف لا يمكنك معه ملاحظة أيّ تغيُّرٍ في مظهر كوكبتك النجمية المفضّلة مهما طال عمرك. لو أنك بُعثتَ لترصد السماء بعد 50،000 سنة من الآن لرأيتها وقد اختلف مظهرها اختلافاً كبيراً (الشكل 12.3).

الشكل 12.3 تدلّ الحركةُ الحقيقية لمجموعة الدبّ الأكبر النجمية اليوم على أن المجموعة ستتخذ مظهراً جديداً مختلفاً بالكلية في المستقبل البعيد.

ما مقدار التغيُّر الزاويّ المتوقَّع لموقع نجمٍ مرئي عادي بعد 50،000 سنة؟ .....

.....

الجواب: 5000 ثانية قوسية، أو 1,39° (أي ما يزيد على القطر الزاويّ للقمر، و هو $\frac{1}{2}$°، ثلاث مرات تقريباً).

طريقة الحل: 0″.1 سنوياً × 50,000 سنة = 5000″

10.3 خصائص أخرى

يمكن استنباط معلماتٍ أخرى تتعلق بالنجوم عن طريق إجراء قياساتٍ دقيقة لـ شكل الخطوط الطيفية spectral line shape.

فيعبَّر عن كثافة الغاز density، وهي الكتلة في وحدة حجم، بوساطة ما يسمى اتساع الخطوط التصادمي collisional broadening؛ إذ يتولَّد خطٌّ طيفيّ متّسع عندما يزداد معدّل تصادم الذرات في النجوم ذات الكثافة العالية.

ويعبَّر أيضاً عن الدوران المحوريّ axial rotation، وهو دوران النجم حول محوره، بوساطة ما يسمى اتساع الخطوط الدوراني rotational broadening؛ فالخط الطيفي المتسع ـ إن أمكن رصده ـ قد يُحدِث انخفاضاً في حدود معدَّل دوران النجم حول محوره.

يَحدث انشطارٌ أو اتّساعٌ في الخطوط الطيفية بوجود حقلٍ مغنطيسي magnetic field، وهو مجالٌ أو موضع يتكشَّف عن قوىً مغنطيسية، ويُطلق على هذه الظاهرة اسم مفعول زيمان Zeeman effect، بحيث يكون مقدار الانشطار منوطاً بشدة الحقل المغنطيسي.

تجدر الإشارة هنا إلى أن هذه الأنواع المختلفة من الاتساع غيرُ ملحوظةٍ للعين المجرَّدة، بل يمكن تعيينها بالتحليل الدقيق لشكل الخط الطيفي باستعمال مقياس طيفٍ حسّاس.

اذكر ثلاث خصائص لنجم تتصل بشكل خطوطه الطيفية

(1) .....؛ (2) .....؛

(3) .....

الجواب: (1) الكثافة؛ (2) الدوران المحوري؛ (3) شدة الحقل المغنطيسي.

11.3 تفكيك طيف نجم

اكتب فقرةً موجزة تُجمِل فيها أسلوب الفلكيين في استنباط الخصائص المختلفة لنجمٍ من طيفه .....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

الجواب: يجب أن تتضمن نبذتك الأفكار الآتية:

(1) التركيب الكيميائي، يُستنبط من وجود الخطوط المميِّزة لعناصر معيَّنة؛

(2) درجة الحرارة، تستنبط من الصنف الطيفي؛

(3) سرعة حركة النجم باتجاهنا أو بعيداً عنّا، تُستنبط من انزياح دوبلر في خطوط الطيف؛

(4) الكثافة، والدوران المحوري، والحقول المغنطيسية السطحية، تُستنبط من شكل الخطوط.

12.3 الضيائية

يفرِّق الفلكيون بين السطوع الظاهري apparent brightness لنجم، وهو مظهر النجم في السماء، وضيائيته luminosity، وهي كمية الضوء الفعلِّية التي يرسلها النجم في الفضاء كل ثانية.

obeikandl.com

ولما كانت الشمسُ مألوفةً لنا أكثر من سائر النجوم، فإن ضيائيةَ النجوم الأخرى تقاس غالباً بدلالة ضيائية الشمس (L⊙)[1] Sun's luminosity ، وهي تساوي 3.85×10^{26} واط. وعلى سبيل التبسيط نقول إن ضيائية الشمس تعادل ضيائية 3850 مليار تريليون مصباح كهربائي استطاعة كلٍّ منها 100 واط تعمل كلها معاً.

وأعلى النجوم ضيائيةً يفوق ضيائيةَ الشمس مليون مرة أو أكثر، في حين لا تتجاوز أخفتُ النجوم 0,0001 ضيائيةَ الشمس.

فنجم رِجْل الجبّار Rigel في كوكبة الجبار Orion مثلاً هو أعلى ضيائيةً من الشمس بنحو 60،000 مرة.

اشرح لماذا تبدو الشمسُ لنا أسطع بكثير من نجم رِجْل الجبّار

.....

.....

.....

الجواب: إن بُعد رِجْل الجبّار عن الأرض أكبر 50 مليون مرة (1400 سنة ضوئية) أو يزيد من بُعد الشمس عنها (وهو زهاء 150 مليون كيلومتر، أو 93 مليون ميل). ويتوقف السطوعُ الظاهريُّ لنجم على درجة ضيائيته وبُعده معاً.

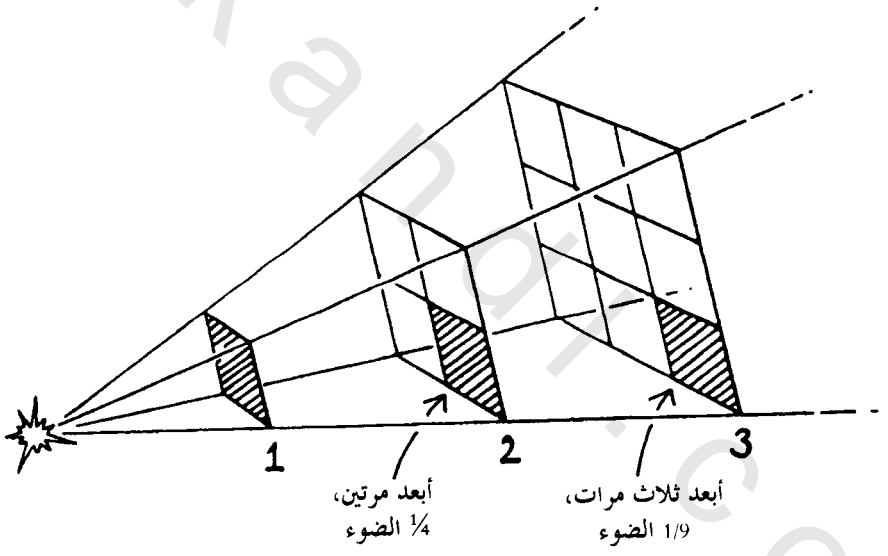
13.3 انتشار الضوء

من غير الممكن الجزم أيّ نجوم السماء أعلى ضيائيةً بمجرَّد النظر إليها؛ فكلما بَعُدَ النجمُ انخفضت درجةُ سطوعه الظاهري.

(1) كثيراً ما يستعمل الفلكيون الرمز ⊙ (وهو رمز هيروغليفي مصري قديم) للتعبير عن الشمس. وعليه فإن $(R\odot)$ ترمز إلى نصف قطر الشمس، و $(M\odot)$ إلى كتلتها، و$(L\odot)$ إلى ضيائيتها، وهكذا... (المعرِّب)

obeikandl.com

ينتشر الضوءُ الصادر من منبع باطّراد في جميع الاتجاهات، بحيث تتناقص كميةُ ضوء النجم الساطعة على وحدةٍ للمساحة بنسبة مربَّع المسافة الفاصلة عن النجم. تسمّى هذه العلاقة قانون التربيع العكسي inverse square law (الشكل 13.3). إذن فلو تساوت ضيائيةُ نجمَيْن، وكان بُعد أحدهما عنك ضعفَيْ بُعد الآخر، بدا النجمُ البعيدُ بدرجة سطوع تساوي $\frac{1}{2^2} = \frac{1}{4}$ سطوع النجم الذي هو أقرب، لأنك تتلقى رُبعَ الضوء في عينيك[1].



الشكل 13.3 قانون التربيع العكسي. إن كمية ضوء النجم نفسَها التي تسطع على مربع واحد عند 1 تنتشر لتضيء أربعة مربعات تساويه عند 2، و تسعة مربعات تساويه عند 3. تتناقص إذن درجة السطوع الظاهري لنجم بتزايد مربع بُعده.

(1) يمكن تعميم قانون التربيع العكسي ليشمل أي قانون تتغيَّر فيه كميةٌ فيزيائية بتغيُّر المسافة الفاصلة عن المنبع بنسبة مقلوب مربَّع تلك المسافة. (المعرِّب)

obeikan.com

إن السطوع الاستثنائي لشمسنا يعزى إلى قربها منّا. فلو تصوَّرنا أن موقعها أعمق 100،000 مرة في فضاء الكون، فبكم مرة ستبدو أضعف سطوعاً؟

.....

الجواب: ستبدو أضعف 10 مليارات مرة، أو بدرجة سطوع نجم الشِّعرى اليمانية.

طريقة الحلْ:

$$\frac{1}{(100,000)^2} = \frac{1}{10,000,000,000}$$ (أي أضعف سطوعاً 10 مليارات مرة)

14.3 القَدْر الظاهري

القدر الظاهري apparent magnitude هو درجة سطوع نجمٍ كما يبدو لنا (انظر الفقرة 7.1). ويقضي سُلَّم الأقدار magnitude scale الحديث بأن نجماً من القدر الأول أسطعُ 100 مرة بالتمام من نجمٍ من القدر السادس.

تتَّفق هذه النسبة مع آلية استجابة أعيننا لزيادات سطوع النجوم. فما تراه أعيننا على أنه زيادةٌ خطّيةٌ في السطوع (فارق قدرٍ واحد) يقاس بالضبط على أنه ازدياد هندسي في السطوع (أي بزيادة سطوع تعادل الجذر الخامس للعدد 100 أو 2,512 مرة).

إن فروق الأقدار بين النجوم تعبِّر عن السطوع النسبي للنجوم. والجدول 2.3 يدرج نِسَبَ السطوع التقريبيةَ المقابلة لنماذج فروق أقدارٍ منتخَبة.

تذكَّرْ أن الأرقام السالبة للأقدار تدلّ على أسطع الأجرام، في حين تشير أكبرُ الأرقام الموجبة للأقدار إلى أخفتها.

استعن بالجدولين 2.3 و 3.3 لمعرفة كم يزيد السطوعُ الظاهري للشمس على سطوع نجم الشِّعرى اليمانية. فسِّر ذلك.

.....

.....

.....

الجواب: هي أسطع 10 مليارات مرة.

طريقة الحل:

فرق القدْر هو $25,5 \cong (-1,5) - (-26,7)$، وهذا يقابل نسبة السطوع 10،000،000،000 : 1.

الجدول 2.3 فروق القدْر ونِسَبُ السطوع

فرق القدْر	نسبة السطوع
1 : 1	0,0
2,5 : 1	1,0
6,3 : 1	2,0
16 : 1	3,0
40 : 1	4,0
100 : 1	5,0
251 : 1	6,0
10,000 : 1	10,0
1,000,000 : 1	15,0
100,000,000 : 1	20,0
10,000,000,000 : 1	25,0

obeikandl.com

الجدول 3.3 معطيات لنماذج أقدار منتخَبة

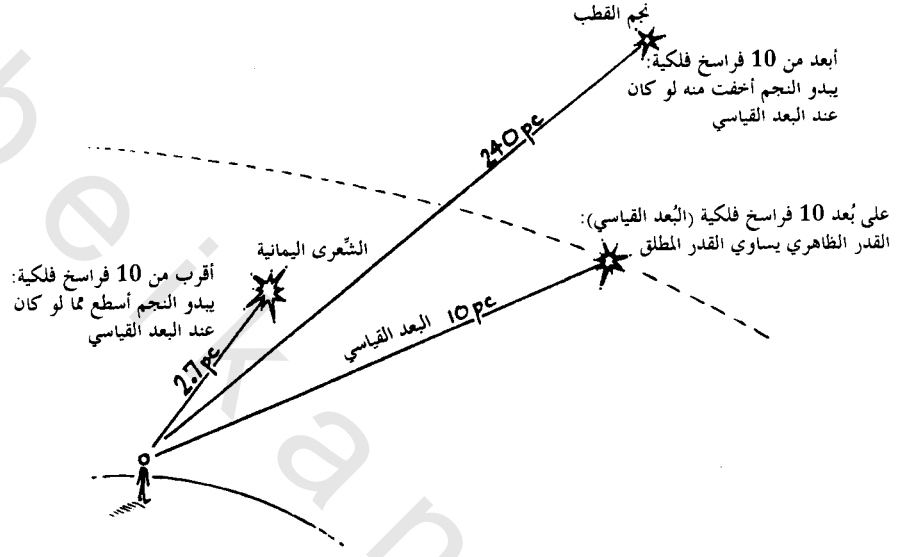
موضوع الدراسة	الوصف	القدر الظاهري	القدر المطلق
الشمس		- 26,7	4,8
مصباح كهربائي باستطاعة 100 واط	عند 3 م (10 أقدام)	- 18,7	66,3
القمر	بدراً	- 12,5	32
كوكب الزُهرة	عند سطوعه الأعظمي	- 4,7	28
نجم الشِّعرى اليمانية	أسطع النجوم	- 1,5	1,4
نجم α حَضَار	أقرب نجم منظور	0	4,4
مجرَّة المرأة المسلسلة (أندروميدا)	أبعد جِرمٍ منظور	3,5	- 21

15.3 القَدْر المطلق

القدر المطلق absolute magnitude هو درجة الضيائية، أي كمية الضوء الفعلية التي يطلقها نجمٌ في الفضاء. ولو كان في وسعك أن ترى كلَّ النجوم مصطفَّةً على مسافةٍ واحدة من الأرض لأمكنك أن تعاين الفروقَ في درجة سطوعها الحقيقية.

يعرِّف علماءُ الفلك القدرَ المطلق لنجم على أنه قدره الظاهري بافتراض وقوعه على بُعدٍ قياسيٍّ عنّا هو 10 فراسخ فلكية. وبإلغاء الآثار المترتبة على البُعد، يمكنهم استعمال مقايسات القدر المطلق لتحديد الفروق في الخرج الضوئي الفعلي للنجوم (الشكل 3.14).

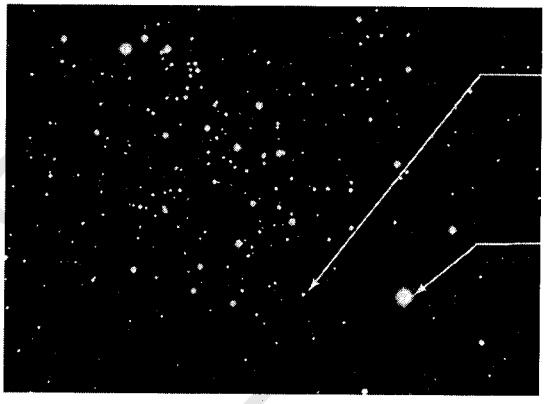
فإذا وُجد نجمٌ على بُعد يزيد على 10 فراسخ فلكية عنّا، كان قدره الظاهري أكبر - عددياً - من قدره المطلق. (الأرقام الكبيرة الموجبة للأقدار تدلّ على أجرام خافتة). على سبيل المثال، يبعد نجم القطب 240 فرسخاً فلكياً، وقدره الظاهري 2,3+، وقدره المطلق 4,6-.



الشكل 14.3 القَدْر المطلق والقَدْر الظاهري.

بالمقابل، فإن نجماً يقلّ بُعده عن 10 فراسخ فلكية، يكون قدره الظاهري أصغر - عددياً - من قدره المطلق. واستناداً إلى ذلك فإن الشِّعرى اليمانية Sirius يبعد عنّا 2,76 فرسخين فلكيين، وقدره الظاهري 1,5 - ، لكن قدره المطلق +1,4 فقط.

ادرس النجمَيْن الساطعَيْن ذَنَب الدجاجة Deneb والنسر الواقع Vega، واستَعِنْ بالجدول 1,1 لملء المخطط التالي. ثم اذكر (أ) أيهما يبدو أشد سطوعاً؟ .....؛ (ب) أيهما أعلى ضيائيةً فعلاً؟ .....؛ (ج) ما العامل الذي جعل جوابَيْك عن (أ) و (ب) مختَلِفَيْن؟ .....



الشكل 15.3 حشودٌ نجمية، يظهر منها الفرق بين القدر الظاهري والقدر المطلق. النجم البعيد (أسطع حقيقةً لكنه يبدو أخفت من الآخر): m = 12.3؛ M = 2.6؛ d = 871 فرسخاً فلكياً. النجم القريب: m = 8.0؛ M = 5.8؛ d = 28 فرسخاً فلكياً.

نجمان ساطعان

النجم	كوكبته	قدْره الظاهري	قدْره المطلق
ذنب الدجاجة	الدجاجة Cygnus	(أ)	(ب) .....
النسر الواقع	الشلياق Lyra	(ج)	(د) .....

الجواب: على المخطط: (أ) 1,25؛ (ب) -7,5؛ (ج) 0,03؛ (د) 0,6.

(أ) النسر الواقع (لأن قدْره الظاهري أصغر عددياً).

(ب) ذنب الدجاجة (لأن قدْره المطلق أكثر سلبية ـ عددياً ـ).

(ج) بُعد النجوم عنّا.

16.3 حساب المسافات من الأقدار

يسمى الفرق بين القدْر الظاهري (m) والقدر المطلق (M) مُعايِر (مُعامل) المسافة distance modulus (m-M). وتكتب الصيغة كما يأتي:

$$m - M = 5\log\left(\frac{\text{المسافة مقدّرة بالفراسخ}}{10}\right)$$

ومن الممكن قياس القدْر الظاهري لنجم مباشرة. وفي حالة نجم ناءٍ تعذَّر قياس خطأ منظره ولكن عُرِفَ قدْرُه المطلق (من دراسة طيفه مثلاً)، يمكن الاستعانة بمعاير المسافة لحساب بُعده.

من الشكل 15.3 أعطِ مُعايِر المسافة للنجمين

(أ) القريب .....

(ب) البعيد ..... .

الجواب: (أ) 2,2؛ (ب) 9,7.

17.3 مقايسات

أكِّدْ استيعابك لما عُرِض حتى الآن، بالإجابة عن الأسئلة التالية المتعلقة بأربعة من النجوم المجاورة للشمس، الواردة مواصفاتها في الجدول التالي:

أربعة نجوم قريبة

اسم النجم	قدْره الظاهري	قدْره المطلق	صنفه الطيفي	اختلاف منظره (")
α حَضَار	0,0	4,3	G	0,742
الثعبان	4,7	5,9	K	0,176
نجم بارنارد	9,5	13,2	M	0,549
النسر الطائر	0,8	2,1	A	0,194

أيُّ هذه النجوم هو :

(أ) أشدُّها حرارة؟ ..... (ب) أكثرها برودة؟ ..... (ج) أسطعها مظهراً؟ ..... (د) أخفتها مظهراً؟ ..... (هـ) أعلاها ضيائية فعلية؟ ..... (و) أخفضها ضيائية فعلية؟ .....

(ز) أقربها؟ ..... (ح) أقصاها؟ .....

اشرح إجابتك.

obeikandl.com

الجواب:

(أ) النسر الطائر، صنفه الطيفي A؛ (ب) نجم بارنارد، صنفه الطيفي M؛

(ج) α حَضَار، قدره الظاهري 0.0؛ (د) نجم بارنارد، قدره الظاهري 9.5؛

(هـ) النسر الطائر، قدْره المطلق 2.2؛ (و) نجم بارنارد، قدْره المطلق 13.2؛

(ز) α حَضَار، اختلاف منظره = 0".742،

أو بُعد = $\frac{1}{\text{اختلاف منظره}} = \frac{1}{0".742}$ = 1.3 فرسخ فلكي؛

(ح) الثعبان، اختلاف منظره = 0".176،

أو بُعده = $\frac{1}{0".176}$ = 5.7 فرسخ فلكي.

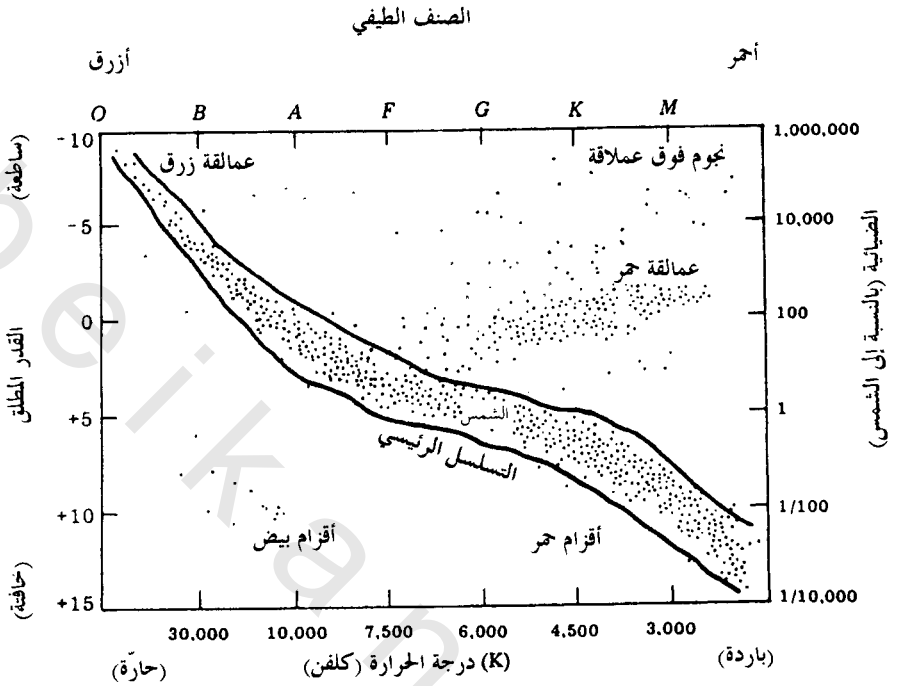
18.3 مخطط هرتزسبرونغ ـ راسل

عُرِفت الصلةُ بين ضيائية النجوم ودرجة حرارتها في مطلع القرن العشرين، عندما اكتشفها اثنان من علماء الفلك كلٌّ على حدته: الأمريكي هنري راسل Henry N. Russell (1877 ـ 1957) والدنمركي إجنار هرتزسپرونغ Ejnar Hertzsprung (1893 ـ 1967)[1]. ومخطط هرتزسپرونغ ـ راسل Hertzsprung Russell (H-R) diagram (أو «مخطط "H-R اختصاراً) رسمٌ بيانيٌّ للضيائية مقابل درجة الحرارة، وهو بِمَنْزلة إمام للفلكيين يعودون إليه على نطاق واسع للتوثُّق من صحة نظرياتهم (الشكل 16.3).

تمثِّل كلُّ نقطةٍ على مخطط H-R نجماً تُقرأ درجةُ حرارته (صنفه الطيفي) على المحور الأفقي، ودرجة ضيائيته (قدره المطلق) على المحور الشاقولي.

(1) إن هذا الجهد العلمي المتزامن من عالِمَيْن يعمل كلٌّ منهما مستقلاً عن الآخر، وعلى طرفَيْن متقابلين من المحيط الأطلسي، لهو مثالٌ صارخٌ على أن التطوُّر العلميَّ في كل زمان وحدةٌ متكاملةٌ لا يجزِّئها البُعد المكاني. (المعرِّب)

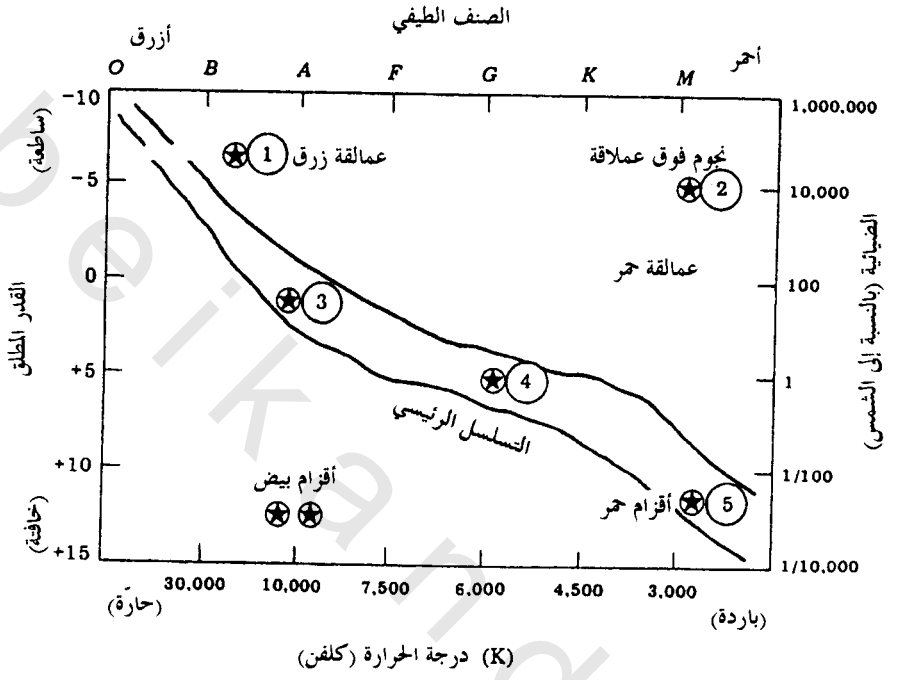
obeikandl.com



الشكل 16.3 مخطط H-R يمثل عدداً كبيراً من النجوم. لاحظْ تزايُدَ درجةِ الحرارة من اليمين إلى اليسار، وتزايد درجة الضيائية من الأسفل إلى الأعلى.

ومن المهم ملاحظة أنه عند اختيار عدة آلاف من النجوم اختياراً عشوائياً، وتمثيلها بيانياً على مخطط H-R، أنها تقع ضمن مناطق محدَّدة. وهذا النموذجُ يوحي بوجود علاقة ذات معنى تربط بين ضيائية نجم ودرجة حرارته، وإلا لكانت النقاط متبعثرةً كيفما اتفق في جميع أنحاء المخطَّط.

يلاحَظ أن نحو 90 بالمئة من النجوم تنتشر على شريط يسمّى التسلسل الرئيسي main sequence يمتد [قطرياً] من الزاوية العليا اليسرى (نجومٌ عملاقةٌ زرقاء blue giants حارّة وساطعة) للمخطط، إلى الزاوية السفلى اليمنى (نجومٌ قزمةٌ حمراء red dwarfs باردة وخافتة). هذا مع العلم بأن الأقزام الحمراء هي أكثر أنواع النجوم القريبة شيوعاً.



الشكل 17.3 مخطط H-R غير تام لنجومٍ مختارة.

أما نسبة الـ 10 بالمئة الباقية من النجوم فتقع إما ضمن المنطقة اليمنى العليا (نجوم عملاقة giants وفوق عملاقة supergiants باردة وساطعة)، وإما في الزاوية اليسرى السفلى (أقزام بيضاء white dwarfs حارة وخافتة).

حدِّد موقعَ النجوم التالية المبيّنة على مخطط H-R في الشكل 17.3. تجد القدْر المطلق لكل نجم بين قوسين. استعِنْ بالشكل 8.3 لمعرفة درجة الحرارة والصنف الطيفي.

(أ) رِجْل الجبّار (6,6 ـ) .....

(ب) النسر الواقع (0,6) .....

(ج) الشمس (4,8) .....

(د) منكب الجوزاء (5,0 ـ) .....

(هـ) نجم بارنارد (13,2) .....

الجواب: (أ) 1 ؛ (ب) 3 ؛ (ج) 4 ؛ (د) 2 ؛ (هـ) 5.

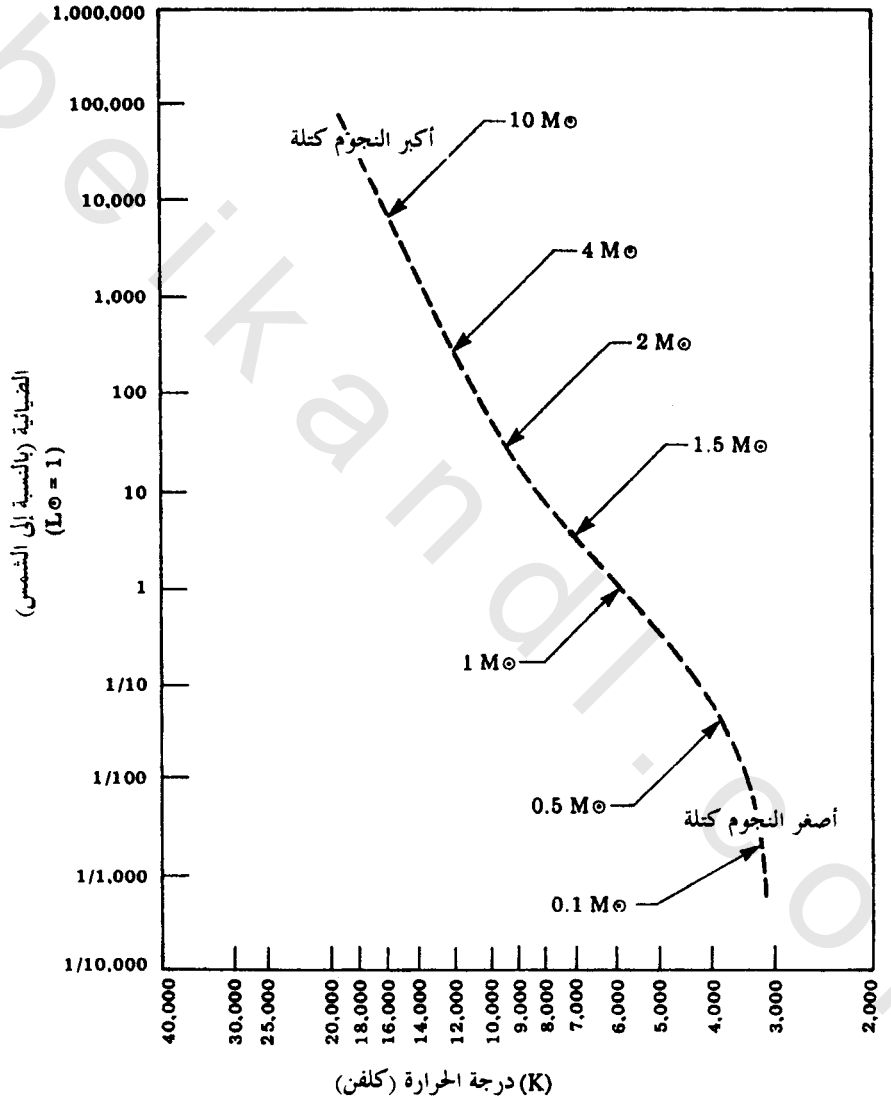
19.3 علاقة الكتلة بالضيائية

إن كتلةَ mass نجمٍ ما (أي مقدار ما يحويه من مادة) هي التي تحدِّد موقعَه على التسلسل الرئيسي.

والتسلسل الرئيسي نَسَقٌ متتابع من النجوم بترتيبٍ متناقص الكتلة، يبدأ بأكبرها كتلةً وأعلاها ضيائيةً في الطرف العلوي، وينتهي بأصغرها كتلةً وأدناها ضيائية في الطرف السفلي (الشكل 18.3).

بيّنت التجربةُ أن علاقة الكتلة بالضيائية mass-luminosity relation لنجومٍ من التسلسل الرئيسي منتميةٍ إلى منظوماتٍ ثنائية تقضي بأن ضيائية نجمٍ تزداد بازدياد كتلته، أي أن هذه الضيائية متناسبةٌ تقريباً مع كتلته مرفوعةً إلى الأسّ 3,5.

إن كتلة الشمس mass of the Sun (أو $M_\odot$ اختصاراً) تساوي 2×10^{30} كغ، أي ما يقارب 333،000 مرة كتلة الأرض. وقد وُجد أن الكتلَ النجمية لا تتفاوت كثيراً على امتداد التسلسل الرئيسي كتفاوت درجات الضيائية النجمية. فكتلة أعتمِ الأقزام الحمراء يناهز عُشْر كتلة الشمس. (وقد يضيء جِرمٌ شبيهٌ بنجم، تقع كتلته بين 1/100 و1/10 كتلة الشمس يسمى القزم البنّي brown dwarf، لمدة وجيزة، إلاّ أن صِغَرَه لا ينهض به لأنْ يَسْخُنَ بدرجة تكفي لكي يصبح نجماً). كذلك فإن أكبر كتلةٍ لنجمٍ مستقر يزيد على كتلة الشمس نحواً من 60 إلى 75 مرة.



الشكل 18.3 كُتَل بعض نجوم التسلسل الرئيسي النموذجية. ($M\odot$ = كتلة الشمس)

ما الخاصيّة الأساسية التي تحدِّد موقعَ نجم على التسلسل الرئيسي لمخطط H-R ؟ بتعبير آخر: ما الذي يحدِّد درجةَ ضيائيته ودرجةَ حرارته؟ .....

الجواب: كتلته.

20.3 قياسات النجوم وكثافاتها ✪

إن شمسنا هي النجمُ الوحيد الذي يقع على مقربةٍ كافية تتيح لعلماء الفلك إجراءَ قياساتٍ مباشرة عليه.

يبلغ قُطر الشمس 1,39 مليون كيلومتر (قرابة 864،000 ميل)، وذلك يساوي مجموع أقطار 109 أرَضِين لو تراصفت إحداها إلى جانب الأخرى.

وإذا عُرِفَتْ ضيائيةُ نجمٍ ودرجةُ حرارته المطلقة، أمكن من ثمّ حساب نصف قطره بتطبيق قانون ستيفان ـ بولتزمان في الإشعاع Stefan-Boltzmann radiation law الذي ينص على أن ضيائيةَ نجم (L) تتناسب مع مربَّع نصف قطره (R) مضروباً في القوة الرابعة لدرجة حرارة سطحه (T). فتُكتب المعادلة:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

حيث σ هي ثابت ستيفان ـ بولتزمان (الملحق 2).

وتتفاوت قياساتُ النجوم على التسلسل الرئيسي، من ضخمة جداً هي العمالقة الزرق ـ البيض التي يناهز نصفُ قطرها 25 مرة نصف قطر الشمس ($R_\odot$) إلى النجوم الأقزام الحمر الباردة المعروفة لدى الفلكيين، التي لا يتجاوز نصفُ قطرها 1/10 نصف قطر الشمس لا أكثر.

أظهرت الدراسات أن أضخم النجوم هي النجوم فوق العملاقة supergiants من قبيل منكب الجوزاء Betelgeuse في كوكبة الجبّار Orion، إذ يزيد نصفُ قطر هذا النجم على نصف قطر الشمس زهاءَ 400 مرة. تَصوَّرْ

إمكانَ اتساع منكب الجوزاء لأكثر من مليون نجم كشمسنا بداخله! ويُذكَر أن أصغر النجوم الشائعة هي الأقزام البيض التي يقارب حجمُها حجمَ الأرض.

تبلغ كثافةُ density الشمس الوسطيةُ، أي الكتلة في وحدة الحجم، 1,4 غ/سم^3، وهي أعلى بقليل من كثافة الماء. فالنجوم العمالقة الحمر وكذلك النجوم الأقزام البيض تقارب في كُتَلها كتلةَ الشمس، غير أنها تتفاوت كثيراً في أحجامها.

ماذا تقول في كثافات العمالقة الحُمر والأقزام البيض قياساً إلى الشمس؟ .....

.....

.....

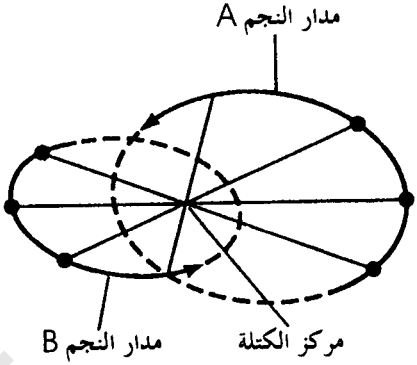
.....

.....

الجواب: كثافة العمالقة الحُمر منخفضةٌ جداً قياساً إلى الشمس، فهي تحتوي على مقدار الكتلة نفسه ضمن حجم أكبر بكثير. (كثافتُها الوسطية تقارب كثافةَ الخواء هنا على الأرض). أما الأقزام البيض فكثيفةٌ جداً، فهي تحتوي على مقدار الكتلة نفسه متراصّاً داخل حجم أصغر بكثير. (ملءُ ملعقةٍ صغيرة من مادةِ قزمٍ أبيض قد تزن عدة أطنان على الأرض).

21.3 منظوماتٌ نجمية مزدوجة

قد يبدو الكثير من النجوم للعين المجرَّدة نجوماً منفردةً وهي في الواقع ليست كذلك. يتكوَّن النجمُ الثنائي (الثنائية النجمية) binary star من نجمين يدوران حول مركز ثقالةٍ مشترك في أثناء انتقالهما عبر الفضاء معاً (الشكل 19.3). ويمكن حساب كتل هذه النجوم من القياس الزاويّ ودَوْر مداراتها.



الشكل 19.3 تتألف الثنائيةُ النجميةُ من نجمين A و B يدوران حول مركز كتلةٍ مشترك، ويتماسكان بفعل قوة الجذب التثاقلي المتبادل.

تصنَّف الثنائيات النجميّة بحسب الطريقة التي تُرصد فيها.

ويمكن - باستعمال مقراب - «فكُّ» ثنائيةٍ نجميّةٍ مرئيّة visual binary بحيث تُرى كنجمَيْن منفصلَيْن. ويُعرف حتى اليوم أكثرُ من 70،000 ثنائية مرئية، اكتُشِف أوَّلُها، وهو نجم الإزار Mizar من كوكبة الدب الأكبر، سنة 1650. وهناك نجم ألبيريو Albireo البديع من كوكبة الدجاجة Cygnus، بلونيه الأصفر والأزرق، ومثل ذلك كثير مما يمكن رؤيته حتى باستعمال مقراب صغير. (انظر: «مصادر مفيدة»، ولاسيما ما كان منها دليلاً للراصدين، في نهاية الكتاب).

ثم إن كثيراً من النجوم المرئية قد تقترن بنجوم رفيقة companions لا تُرى لخفوتها الشديد. يسمى هذا النوع من النجوم بالثنائية النجمية القياسية astrometric binary، وهي نجمٌ مرئي يلازمه نجمٌ رفيقٌ غير مرئي، يُستدَلُّ على وجوده من الحركة الحقيقية المتغيِّرة للنجم المرئي. ونجم الشِّعرى اليمانية الساطع (Sirius A) من كوكبة الكلب الأكبر Canis Major، كان ثنائيةً قياسية منذ سنة 1844، عندما تراءت طبيعته للعلماء، وحتى سنة 1862 عندما رُصِد رفيقه الكابي (Sirius B).

أما الثنائية الطيفية spectroscopic binary فلا يمكن رؤية عنصرَيْها منفصلَيْن بوساطة المقراب، بل تستبين طبيعتُها الثنائية من طيفها، إذ يظهر انزياح دوبلر متغيِّر في الخطوط الطيفية للنجم كلما اقترب من الأرض وابتعد عنها. وقد جرى تحليل ما يقرب من ألفٍ من الثنائيات الطيفية حتى اليوم. ومن الأمثلة عليها العنصرُ الساطع من نجم الإزار (Mizar A).

وتتوضَّع الثنائيةُ الكَسوفة eclipsing binary بحيث يمرّ أحد النجمَيْن من أمام رفيقه، فيحجب الضوءَ عن رؤيتنا عند مسافات زمنية منتظمة. فيلاحَظ تغيُّر منتظمٌ في درجة سطوع هذا النوع من الثنائيات النجمية. وتستطيع رؤيةَ الثنائية الكَسوفة المعروفة في الأوساط الفلكية، والمسماة رأس الغول Algol من كوكبة فرساوس Perseus، التي تنتقل من أسطع قدرٍ لها 2,2 إلى أدنى قدر 3,5 في نحو يومين و 21 ساعة.

والنجمُ المزدوج البصري optical double زوجٌ من النجوم يبدو أحدُ عنصرَيْه قريباً من الآخر في السماء عند رصده من الأرض، إلا أنه في الواقع أكثر بُعداً بكثير مما قد يظهر. ولا تربط أحدهما أي علاقة فعلية بالآخر.

اختبر حدّةَ إبصارك بالبحث عن نجمَي الإزار Mizar والسُّها Alcor المكَنَّيان بالمخبارَيْن the testers اللذين يؤلِّفان مزدوجاً بصرياً يقع في قبضة الدبّ الأكبر.

ما وجه اختلاف نجمٍ مزدوجٍ بصريٍّ عن ثنائيةٍ نجميةٍ مرئية؟ .....

.....

.....

الجواب: إن نجمَي المزدوج البصري متباعدان، وليس ثمة علاقة حقيقية تربط بينهما، على حين يتماسك نجما ثنائيةٍ مرئية في جوّ الفضاء بفعل تجاذبهما التثاقلي.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل الثالث وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. عُدْ إلى الجدول الوارد في الفقرة 17.3. من اختلاف المنظر أوجد المسافة إلى نجم بارنارد

(أ) بالفراسخ الفلكية .....؛

(ب) بالسنوات الضوئية .....

2. علِّلْ كون الخطوط الطيفيَّة الساطعة (القاتمة) للضوء الصادر عن (الممتَصِّ بفعل) ذرات عنصر هي خطوط متفرِّدة لذلك العنصر .....

.....

.....

.....

.....

3. اشرح آلية تكوُّن الطَّيْف .....

.....

.....

.....

.....

4. صنِّفْ أنواعَ الخطوط الطيفية التالية وفقاً لترتيب ظهورها في النجوم،

obeikandi.com

تنازلياً حسب درجة الحرارة.

..... (1) خطوط هيدروجين قوية جداً.

..... (2) هليوم متأيِّن.

..... (3) شرائط من جزيئات أكسيد التيتانيوم.

..... (4) هليوم محايد.

..... (5) معادن محايدة.

..... (6) معادن متأيِّنة.

5. قابل الخصائصَ التالية المستنبَطة من طيفٍ نجميّ بالطريقة التي تناسبها إلى اليسار.

..... (أ) التركيب الكيميائي. (1) انزياح دوبلر.

..... (ب) درجة الحرارة. (2) الصنف الطيفي.

..... (ج) السرعة الشعاعية. (3) شكل الخط.

..... (د) كثافة الغاز، (4) الخطوط المميِّزة.

والدوران المحوري،

والحقل المغنطيسي.

6. تبلغ الحركة الحقيقية لنجم الشِّعرى اليمانية 1,34" سنوياً. احسب كم سيتغيَّر موقع هذا النجم على الكرة السماوية في غضون السنوات الألف المقبلة .....

7. عرِّفِ السرعة الفضائية .....

.....

obeikandl.com

8. عُدْ إلى الجدول 1.1، وقابلْ كلَّ صفةٍ من العمود الأيمن بواحدٍ من النجوم الأربعة في العمود الأيسر، وذلك بالاستفادة من أقدارها الظاهرية، وأقدارها المطلقة، وأصنافها الطيفية.

..... (أ) أشدّها حرارة.

..... (ب) أبردها.

..... (ج) أعلاها ضيائية.

..... (د) أدناها ضيائية.

..... (هـ) أسطعها.

..... (و) أخفتها.

..... (ز) أقربها.

..... (ح) أبعدها.

(1) منكب الجوزاء.

(2) الشِّعرى الشاميّة (الغميصاء).

(3) السنبلة.

(4) الشِّعرى اليمانيّة.

9. أثبت المسمَّياتِ التاليةَ على مخطط H-R في الشكل 20.3:

(1) حرارة النجم السطحية (كلڤن).

(2) الضيائية المطلقة (الشمس = 1).

(3) الصنف الطيفي.

(4) القدْر المطلق.

(5) التسلسل الرئيسي.

(6) عمالقة حمر.

(7) أقزام بيض.

(8) نجوم فوق عملاقة.

(9) عمالقة زرقاء.

(10) أقزام حمر.

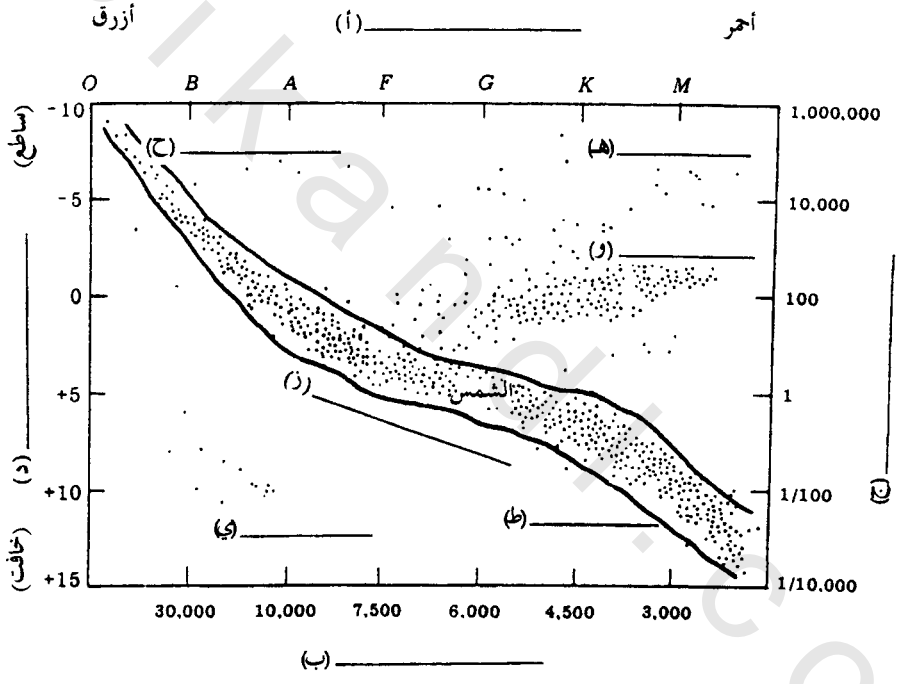
obeikandl.com

10. ما هي الخاصّية الأساسية التي تحدِّد موقعَ نجمٍ على التسلسل الرئيسي (أي درجةَ حرارته وضيائيتَه)؟ .....

11. استعن بمخطط H-R لتفسير وجوب كون النجوم العمالقة الحمر كبيرة جداً، والنجوم الأقزام البيض صغيرة جداً مقارنةً بالشمس .....

.....

.....



الشكل 20.3 مخطط H-R غير تام

obeikandl.com

12. وائم:

..... (أ) يمكن استبانة عنصرَيْه باستعمال مقراب.

(1) النجم الثنائي القياسي.

..... (ب) يُستدَلّ على رفيقه غير المرئي من الحركة الحقيقية المتغيِّرة للرفيق المرئي.

(2) النجم الثنائي الكَسوف.

..... (ج) تتكشف طبيعتُه الثنائية من طيفه.

(3) النجم المزدوج البصري.

..... (د) تتغيَّر درجةُ سطوعه بانتظام عندما يحجب أحدُ النجمين رفيقَه عن رؤيتنا.

(4) الثنائي الطيفي.

..... (هـ) ليس ثمة علاقة فعلية تربط بين عنصريه.

(5) الثنائي المرئي.

obeikandl.com

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. (أ) 1,8 فرسخ فلكي؛ (ب) 6,0 سنوات ضوئية.

(الفقرة 1.3)

طريقة الحل: اختلاف المنظر المعلوم هو 0",549

ومن ثم: 1 ÷ 0",549 = 1,8 فرسخ فلكي.

2. إن كل خطٍّ طيفيٍّ هو ضوءٌ ذو طولٍ موجيٍّ معيَّن تُصْدِره (أو تمتصُّه) الذَّرةُ عندما يقفز أحد إلكتروناتها بين مستوى طاقة (مدار) عالٍ وآخر أخفض منه. ولما كان لكل عنصرٍ مجموعته الفريدة الخاصة به من المدارات المتاحة، استتبع ذلك أن يكون له مجموعته المميِّزة من الخطوط الطيفية كذلك.

(الفقرتان 2.3 و3.3)

3. النجومُ كراتٌ غازيةٌ عظيمةٌ متَّقدة، من ذرّاتها أنواعٌ كثيرةٌ تُطلِق ضوءاً من كل الألوان. يَعبر هذا الضوءُ - الصادر عن سطح النجم - الغلافَ الجويَّ الخارجيَّ للنجم، وهناك تَمتَصُّ ذراتُ كلِّ عنصرٍ أطوالَها الموجيَّة المميّزة، وهكذا يتقاطع نموذجٌ من خطوطٍ قاتمة مع شريط الألوان المستمر، ذلك هو طيف النجم.

(الفقرتان 3.3 و4.3)

4. 2؛ 4؛ 1؛ 6؛ 5؛ 3

obeikandl.com

(الفقرة 7.3)

5. (أ) 4؛ (ب) 2؛ (ج) 1؛ (د) 3

(الفقرة 3.3 والفقرات 5.3 إلى 10.3)

6. "1340، أو ثلث درجة تقريباً.

طريقة الحل: الحركة الحقيقية = 1,34" سنوياً. 1 درجة = 3600"

(1,34" سنوياً) × 1000 سنة

(الفقرة 9.3)

7. هي سرعة نجمٍ بالنسبة إلى الشمس.

(الفقرة 9.3)

8. (أ) 3؛ (ب) 1 ؛ (ج) 1؛ (د) 2؛ (هـ) 4؛ (و) 3؛ (ز) 4؛ (ح) 1

(الفقرات 6.3 و7.3 و12.3 إلى 16.3)

طريقة الحل:

النجم	الصنف الطيفي	المسافة (ly)	القدر الظاهري	القدر المطلق
منكب الجوزاء	M	522	0,45	- 5,0
الشِّعرى الشامية (الغميصاء)	F	11,4	0,41	2,8
السنبلة	B	262	0,98	- 3,6
الشِّعرى اليمانية	A	9	- 1,44	1,5

9. (أ) 3؛ (ب) 1 ؛ (ج) 2؛ (د) 4؛ (هـ) 8؛ (و) 6؛ (ز) 5؛ (ح) 9؛ (ط) 10؛ (ي) 7

(الفقرة 18.3)

10. كتلته.

obeikandl.com

(الفقرة 19.3)

11. النجوم العمالقة الحمر باردةٌ نسبياً لكنها مضيئة؛ ومن ثم فلا بد أن يكون لها طاقة إشعاع سطحية كبيرة. أما النجوم الأقزام البيض فهي حارّةٌ نسبياً لكنها خافتة؛ ومن ثم فلا بد أن يكون لها طاقة إشعاع سطحية محدودة في الفضاء.

(الفقرات 18.3 إلى 20.3)

12. (أ) 5؛ (ب) 1؛ (ج) 4؛ (د) 2؛ (هـ) 3

(الفقرة 21.3)

obeikandl.com