قياس النجوم

الأسئلة الرئيسة

1. كيف تُقاس المسافات بين النجوم؟
2. ما الفرق بين السطوع واللمعان؟
3. ما الخصائص التي تستخدم في تصنيف النجوم؟

مفردات للمراجعة

الطول الموجي wavelength: المسافة بين نقطة معينة على الموجة والنقطة التالية المماثلة لها

مفردات جديدة

- الكوكبة constellation
- نجم ثنائي binary star
- فرسخ نجمي parsec
- اختلاف زاوية النظر parallax
- القدر الظاهري apparent magnitude
- القدر المطلق absolute magnitude
- اللمعان luminosity
- رسم هرتزبرونغ - راسل Hertzsprung-Russell diagram
- المتوالية الرئيسة main sequence

الفكرة الرئيسة الفكرة الأساسية إن تصنيف النجوم يستند إلى قياس كل من طيف الضوء ودرجة الحرارة والتركيب.

الربط مع الحياة اليومية عندما تكون في سيارة على الطريق السريع ليلًا وتقترب منك إحدى السيارات على الجهة المقابلة، يبدو الضوء الصادر عنها أشد سطوعًا كما يبدو قطر شعاعه أكبر. قد تكون النجوم البعيدة كبيرة الحجم وساطعة بدرجة مماثلة للنجوم القريبة. لكن بُعد المسافة يجعلها تبدو صغيرة وخافتة.

أنماط النجوم

منذ زمن طويل، شاهدت الكثير من الحضارات النجوم الساطعة وأطلقت مجموعات منها بأسماء حيوانات أو شخصيات أسطورية أو أسماء أجسام يستخدمونها في حياتهم اليومية. وتُعرف هذه المجموعات النجمية أو **بالكوكبات**. أما اليوم، فيصنّف علماء الفلك النجوم إلى 88 كوكبة وفقًا لتسمية الحضارات القديمة لها. ويمكن رؤية بعض الكوكبات طوال السنة، بحسب موقع الراصد. ففي نصف الكرة الأرضية الشمالي، يمكننا رؤية الكوكبات التي يبدو أنها تدور حول القطب الشمالي. وتُعرف هذه الكوكبات بالكوكبات القطبية ومنها كوكبة الدب الأكبر الموجودة فوق معظم نصف الكرة الأرضية الشمالي، والتي تضم مجموعة المغرفة الكبرى.

على عكس الكوكبات القطبية، لا يمكن رؤية الكوكبات الأخرى إلا في أوقات محددة من السنة. وذلك بسبب تغيّر موقع الأرض في مدارها حول الشمس، كما هو مبيّن في **الشكل 9**. على سبيل المثال، يمكن رؤية كوكبة الجبار في نصف الكرة الأرضية الشمالي أثناء الشتاء. ويمكن رؤية كوكبة الجاثي في نصف الكرة الأرضية الشمالي أثناء الصيف. لهذا السبب، تُصنّف الكوكبات إلى كوكبات صيفية أو خريفية أو شتوية أو ربيعية. إنّ أشهر الكوكبات هي تلك التي تقع ضمن دائرة البروج وهي اثنتا عشرة كوكبة تقع في مستوى مدار الشمس على طول المسار نفسه الذي تظهر فيه الكواكب. يمكن رؤية كوكبات مختلفة في النصف الشمالي أو الجنوبي من الكرة الأرضية. أما دائرة البروج، فيمكن رؤيتها في كليهما. وقد اعتمدت الشعوب القديمة على الكوكبات لمعرفة مواعيد الاستعداد للزراعة والحصاد والاحتفالات.

■ **الشكل 9** يمكننا رؤية كوكبات مختلفة في السماء بسبب حركة الأرض حول الشمس.

1 التركيز

الفكرة الرئيسة

ضوء النجوم كلّف الطلاب بقراءة الفكرة الأساسية والتفكير بشأن النجوم التي يرونها في السماء أثناء الليل. واطلب منهم أن يذكروا كلمات يمكنهم استخدامها للمقارنة بين سطوع النجوم. من الإجابات المحتملة: أكثر سطوعًا، أكثر خفوتًا، أكبر، أصغر. اسأل الطلاب عما إذا كانوا يعتقدون أن سطوع النجم هو مقياس موثوق به لمعرفة حجمه أو بُعده. واشرح لهم أنهم سيجدون إجابة عن هذا السؤال في هذا الدرس.

2 التدريس

محتوى داعم للمعلم

تسمية النجوم في الكوكبات يستخدم علماء الفلك الأحرف اليونانية للإشارة إلى رتبة داخل الكوكبة. فالنجم القطبي على سبيل المثال، وهو ألمع النجوم في كوكبة الدب الأصغر، يُسمى ألفا α الدب الأصغر. وتجدر الإشارة إلى أنه يُشار إلى الرتبة بحرف يوناني لكن اسم الكوكبة لاتيني. وتُستخدم الأرقام حين تفوق أعداد النجوم الساطعة في الكوكبة حروف الأبجدية اليونانية. أما النجوم الخافتة، فيشار إليها بوجه عام بالأرقام وليس بالأسماء.

المطويات®

التنوّع الثقافي

أسماء النجوم لبعض أسماء النجوم تاريخ طويل. فقد سمّى علماء الفلك العرب الكثير من النجوم الأشد سطوعًا، وفي حالات كثيرة تعكس أسماء النجوم أدوارها في الأساطير اليونانية القديمة حول كوكبات النجوم. ومن أمثلة الأسماء العربية، النسر الواقع وفم الحوت وذنب الدجاجة والأفعى اليمانية.

Scanned by CamScanner

تفسير الشكل

تفاعلات النجوم كلما ازدادت كثافة العنقود النجمي، ازداد تقارب نجومه من بعضها. بعد أن يدرس الطلاب الصور في **الشكل 10**، اسألهم عن تأثير النجوم في بعضها. من خلال قوّة جاذبية كلّ منها. بعد ذلك، اسألهم عن تأثر النجوم بمدى التقارب بينها. يمكن أن تتغير مداراتها. اشرح لهم أنّ نتيجة الكثير من حالات التقارب بين النجوم هي تكوّن عنقود كروي منتظم ناعم. كما هي الحال في العنقود الكروي M13. وأنّ العناقيد التي ليست شديدة الكثافة تستغرق وقتًا أطول لتصل إلى هذه الحالة. فمجموعة الثريا على سبيل المثال هي عنقود حديث التكوّن نسبيًا ينطوي على عدد أقل من النجوم وشكله العام غير منتظم.

إنّ العناقيد الكروية ليست كثيفة فحسب، بل هي أقدم أجسام المجرة. بالتالي، فقد حدث فيها الكثير من حالات التقارب بين النجوم. ص م

للتأكد من فهم النص

لا تكون النجوم متقاربة في العناقيد المفتوحة. أما في العناقيد الكروية، فتكون النجوم متقاربة وكبيرة الحجم في العادة.

الربط بالمعرفة السابقة

قياس كتلة النجوم

توفر النجوم الثنائية فرصة جيدة لعلماء الفلك لقياس كتل النجوم. ونُقاس كتل النجوم باستخدام صورة أخرى من قانون كبلر الثالث، الذي طبّقه الطلاب من قبل على حركة الكواكب حيث يمكن إيجاد كتلتي النجمين إذا أمكن رصد مدة الدورة المدارية ونصف المحور الرئيس لهما. تتراوح كتل النجوم عادةً بين أقل من 0.1 ضعف عن كتلة الشمس وما يقارب 150 ضعفًا عن كتلة الشمس.

M13

الثريا

الشكل 10 إنّ العناقيد النجمية عبارة عن تجمعات من النجوم ترتبط بعضها ببعض بفعل الجاذبية. فالثريا عنقود نجمي مفتوح، في حين أنّ M13 عنقود كروي.

العناقيد النجمية تبدو النجوم الموجودة في الكوكبات متقاربة، لكن لا يوجد ارتباط بفعل الجاذبية إلا بين القليل منها ويعود السبب في ذلك إلى أنّ العين البشرية لا تستطيع تمييز مدى التقارب أو التباعد بين النجوم. فقد يظهر لنا أن نجمين معيّنين متقاربان في السماء، لكن في الواقع قد تفصل أحدهما عن الأرض مسافة تبلغ 100 ألف مليار كيلومتر، فيما تفصل النجم الآخر عن الأرض مسافة تُقدّر بـ 200 ألف مليار كيلومتر. مع ذلك، يستطيع العلماء أن يحددوا النجوم التي ترتبط بعضها ببعض بفعل الجاذبية عن طريق قياس بُعد النجوم وملاحظة الطريقة التي تتفاعل بها جاذبية كل منهما مع جاذبية الآخر. وتُعرف مجموعة النجوم التي ترتبط ببعضها بفعل الجاذبية بالعنقود النجمي. فعلى سبيل المثال، إنّ عنقود الثريا في كوكبة الثور، المبيّن في **الشكل 10**، هو عنقود نجمي مفتوح لأن نجومه ليست شديدة التقارب. وفي المقابل، فإن العنقود الكروي هو مجموعة من نجوم شديدة التقارب، متّخذة بذلك شكلاكرويًا. مثل M13 في كوكبة الجاثي. كما هو موضّح أيضًا في **الشكل 10**. يمكنك الاطلاع على شرح للأنواع المختلفة من العناقيد النجمية في **الشكل 12**.

بيّن فهم النص بين العناقيد النجمية المفتوحة والكروية.

الشكل 11 إنّ أقرب النجوم إلى الشمس هي النجوم المرافقة لـ: الظاهرين في الأسفل وإلى اليسار. هما من أبسط أشكال التجمعات النجمية التي تعرف بالنجم الثنائي.

النجوم الثنائية عندما يرتبط نجمان بفعل الجاذبية ويدوران حول مركز مشترك لكتلتيهما، يُسمّيان **نجمين ثنائيين**. إنّ أكثر من نصف النجوم في السماء هي نجوم ثنائية أو نجوم تقع ضمن أنظمة متعددة النجوم. على سبيل المثال، إنّ نجم القطب الشمالي الساطع المبيّن في **الشكل 11** هو أحد نجمين في نظام ثنائي النجوم. وتبدو معظم النجوم الثنائية للعين البشرية على أنها نجوم مفردة، حتى باستخدام التلسكوب، إذ يكون النجمان شديدي التقارب بحيث لا يمكن أن يبدوا منفصلين. وغالبًا ما يكون أحدهما أكثر سطوعًا من الآخر.

الكراسة اليومية لعلم الأرض

الثريا نظرًا إلى سهولة رؤية عنقود الثريا المفتوح، كان هذا العنقود عنصرًا مهمًا في أساطير الثقافات المختلفة عبر التاريخ. كلّف الطلاب بإجراء بحث والكتابة عن فكرة أو أكثر كوّنتها ثقافة مختلفة عن عنقود الثريا. ص م

(t): Chris Cook/Photo Researchers; (b): John Chumack/Photo Researchers; (b): NASA/H.E. Bond/E. Nelan/M. Barstow/M. Burleigh/J.R. Hollberg
Macmillan/McGraw-Hill Education, حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة

Scanned by CamScanner

تصور
تصور
تصور

الغاية

قارن الطلاب بين الأنواع المختلفة من العناقيد النجمية.

محتوى داعم للمعلم

أنواع العناقيد إنّ النوعين الرئيسيين من العناقيد النجمية هما العناقيد الكروية والعناقيد المفتوحة. والعناقيد النجمية الكروية أقدم عمرًا وتتكوّن من عناصر أخف ونجومها متقاربة وتتّخذ شكلًا كرويًا. تحوي مجرة درب التبانة ما يقارب 200 عنقود كروي (رغم اختلاف التقديرات) يقع معظمها في الهالة. أما العناقيد المفتوحة، التي تُسمّى أيضًا العناقيد المجرية، فهي أحدث عمرًا وتحوي عناصر أثقل من تلك الموجودة في العناقيد الكروية ونجومها ليست متقاربة بل متباعدة. كما تحوي العناقيد المفتوحة نجومًا أقل وتقع بالقرب من المستوى المجرّي.

استراتيجيات التدريس

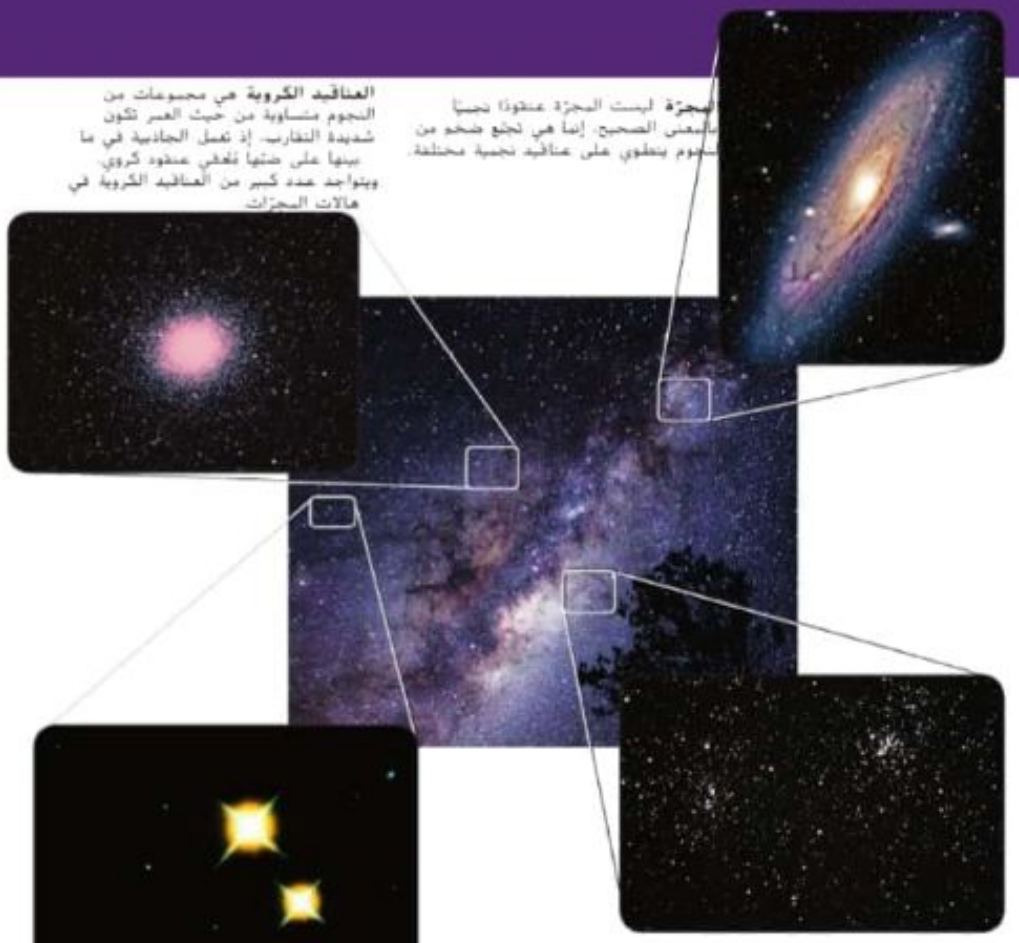
سيعرف الطلاب أكثر عن الهالات ومواقع العناقيد الكروية في الوحدة التالية. أما الآن، فاشرح لهم أن الهالة هي المنطقة المحيطة بالانتفاخ المركزي للمجرة.

لزيادة توضيح أوجه الاختلاف بين العناقيد الكروية والعناقيد المفتوحة، اطلب من الطلاب رسم مخطط يقارنون فيه بين هذين النوعين من العناقيد.

تصور
تصور
تصور

تصور تجمّعات النجوم

الشكل 12 عندما ننظر إلى السماء في الليل، تبدو مواقع النجوم متباعدة بشكل عشوائي من أفق إلى آخر. لكن عند إمعان النظر، تبدأ برؤية مجموعات من النجوم تبدو تغطي منطقة واحدة. وتُعرف هذه التجمعات بالعناقيد النجمية، وهي ترتبط في ما بينها بفعل الجاذبية، أي إن جاذبية كل منها تتفاعل مع جاذبية الآخر بشكل يضمن بقاء النجوم ضمن مجموعة.



المجرّة ليست المجرّة عنقودًا نجميًا بالمعنى الصحيح. إنما هي تجمّع ضخم من النجوم ينطوي على عناقيد نجمية مختلفة.

العناقيد الكروية هي مجموعات من النجوم متساوية من حيث العمر تكون شديدة التقارب. إذ تفعل الجاذبية في ما بينها على نحو يُفضي عنقود كروي. ويتواجد عدد كبير من العناقيد الكروية في هالات المجرّات.

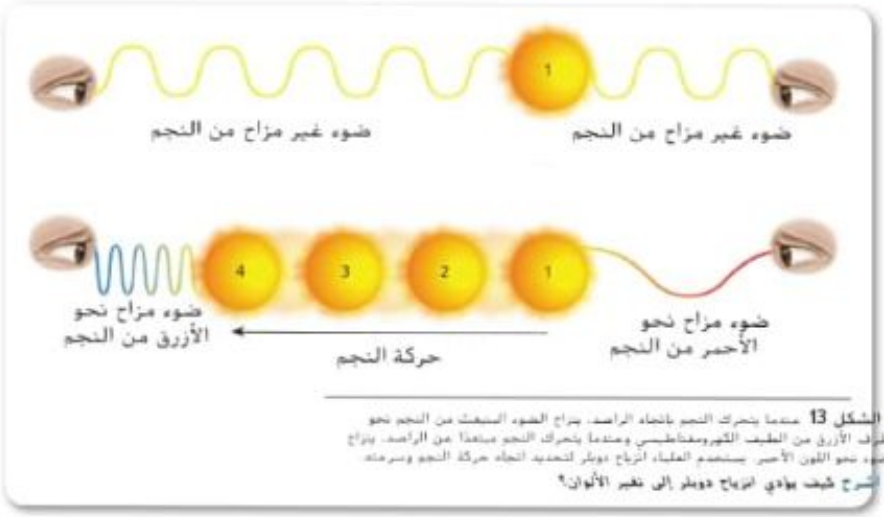
العناقيد المفتوحة هي مجموعات من النجوم المتباعدة فلولايز محكمة التنظيم. ويظهر في الصورة عنقودان مفتوحان حديثا التكوين ضمن كوكبة حامل رأس الغول. ويحويان خليطًا أنواع نجوم أكثر حموضةً من الشمس، بالإضافة إلى نجوم عملاقة وفوق عملاقة.

النجوم الثنائية هي أصغر التجمعات النجمية. إذ تتكوّن من نجمين قد يكونان يدوران حول مركز واحد للجاذبية.

التدريس المتمايز

ضعاف البصر اطلب من الطلاب إعداد نماذج للعناقيد الكروية والعناقيد المفتوحة والنجوم الثنائية باستخدام صلصال النمذجة ثم قم بإدارة مناقشة بينهم حول أوجه الاختلاف بين بنى هذه العناقيد. على سبيل المثال، تناقشوا واصنعوا نموذجًا عن الطريقة التي يدور بها النجمان الثنائيان حول مركز جاذبية واحد. وتناقشوا عن الارتباط بين شكل العناقيد الكروية وكثافتها وقوة السحب الناتجة عن الجاذبية بينها.

Scanned by CamScanner



الشكل 13 عندما يتحرك النجم باتجاه الراصد، يزاح الضوء المنبعث من النجم نحو الطرف الأزرق من الطيف الكهرومغناطيسي وعندما يتحرك النجم مبتعدًا عن الراصد، يزاح الضوء نحو اللون الأحمر. يستخدم العلماء انزياح دوبلر لتحديد اتجاه حركة النجم وسرعته.

اشرح كيف يؤدي انزياح دوبلر إلى تغير الألوان؟

انزياح دوبلر إنّ أشهر طريقة لمعرفة ما إذا كان نجم ما هو أحد نجمين ثنائيين هي إيجاد انزياحات الأطوال الموجية الطفيفة للضوء المنبعث منه. وهو ما يعرف بانزياح دوبلر. فمع حركة النجم إلى الأمام والخلف على امتداد خط الرؤية، كما هو مبيّن في **الشكل 13**، يحدث انزياح في الخطوط الطيفية الصادرة عنه. وإذا كان النجم يتحرك باتجاه الراصد، تنزاح الخطوط الطيفية باتّجاه الأطوال الموجية الأقصر، وهو ما يعرف بالانزياح نحو الأزرق. أما إذا كان النجم يتحرك مبتعدًا عن الراصد، فتنزاح الأطوال الموجية لتصبح أطول وهو ما يعرف بالانزياح نحو الأحمر. وكلما ازدادت السرعة، ازداد الانزياح. وبالتالي يمكن استخدام القياسات الدقيقة للأطوال الموجية للخط الطيفي في تحديد سرعة تحرّك نجم معين. لكن لا يمكن لعلماء الفلك أن يحددوا إلا جزءًا من حركة النجم المتجهة نحو الأرض أو المبتعدة عنها، وذلك نظرًا إلى عدم وجود انزياح دوبلر للحركة على الزاوية الصحيحة لخط الرؤية. ويمكن استخدام انزياح دوبلر في الخطوط الطيفية لاكتشاف النجوم الثنائية أثناء حركتها حول مركز كتلتها باتجاه الأرض، أو بالاتجاه المتباعد عنها في كل دورة. الجدير بالذكر أنه لا توجد طريقة تمرّ بها ما إذا كان الذي يتحرك هو النجم أو الراصد أو كلاهما. ولا يمكن تفسير تعرض أحد النجوم لانزياحات دوبلر دورية سوى بأنه أحد نجمين ثنائيين. تعرف النجوم التي يجري تحديدها بهذه الطريقة بالنجوم الثنائية الطيفية. ويمكن للنجوم الثنائية أن تمدّنا بالكثير من المعلومات عن الخصائص الفردية للنجوم.

مواقع النجوم والمسافات بينها

يستخدم علماء الفلك وحدتين لقياس المسافات الكبيرة. الوحدة الأولى، التي ربما تعرفها، هي السنة الضوئية (ly) وهي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة. وتساوي 9.461×10^{12} km. أما الوحدة الثانية التي يستخدمها علماء الفلك كثيرًا، فهي **الفرسخ الفلكي** وهي وحدة أكبر من السنة الضوئية إذ أن (pc) تساوي 3.26 ly أو 3.086×10^{13} km.

McGraw-Hill Education جميع الحقوق محفوظة © مجموعة ماكجرو-هيل للتعليم

سؤال حول الشكل 13
إذا كان النجم يتحرك باتجاه الراصد، تنزاح الخطوط الطيفية باتّجاه الأطوال الموجية الأقصر. وهو ما يُعرف بالانزياح نحو الأزرق. أما إذا كان النجم يتحرك مبتعدًا عن الراصد، فستنزاح الخطوط الطيفية باتّجاه الأطوال الموجية الأطول وهو ما يُعرف بالانزياح نحو الأحمر.

استخدام تشبيه

التغير في الموجات الصوتية تحدث تغيرات في الموجات الصوتية مماثلة لانزياح دوبلر في لون النجم. ويسهل ملاحظة التغير في الموجات الصوتية في مواقف من الحياة اليومية. اسأل الطلاب عمّا إذا كانوا قد لاحظوا من قبل تغيرًا في صوت صفارة الإنذار الخاصة بسيارة الشرطة أو سيارة الإسعاف عند مرور إحداها في الجوار. واسألهم عمّا إذا كان الصوت قد ارتفع أم انخفض عندما ارتفع الصوت مع اقتراب مصدره وانخفض مع ابتعاده. ما وجه الشبه بين التغيرات في الصوت والانزياح نحو الأحمر ونحو الأزرق؟ يشبه الانزياح نحو الأحمر في ألوان النجوم انخفاض الصوت أثناء ابتعاد مصدره. أما الانزياح نحو الأزرق في ألوان النجوم، فيشبه ارتفاع الصوت أثناء اقتراب مصدره. ض م

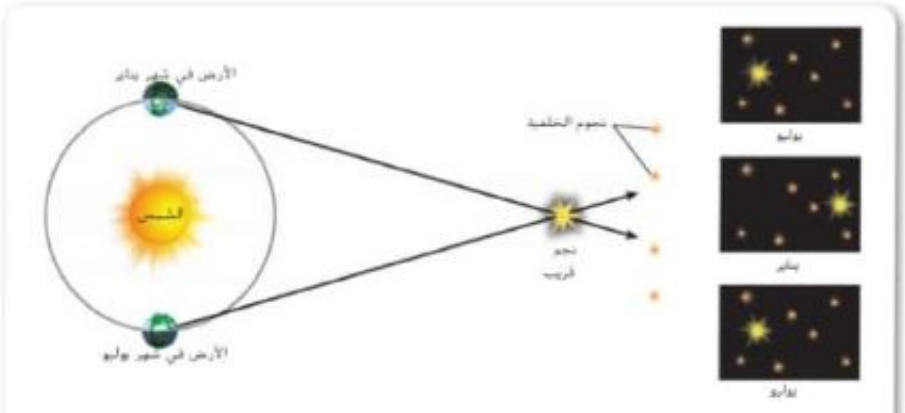
طبّق م ـفاهيم علم الأرض

الكشف بـ الرادار قد يهتم الطلاب بمعرفة أنّ الشرطة تستخدم تأثير دوبلر لقياس سر عات السيارات. تنعكس انبعاثات ليز رية تحت حمراء بطلقها جهاز الرادار عن السيارة القادمة فيتغيّر طولها الموجي تبعًا لحركة السيارة. ويتضمن الجهاز دوائر تقيس الإزياح في الطول الموجي وتحدد سرعة السيارة. اسأل الطلاب عـ ما إذا كان هذا انزياحًا نحو الأحمر أو انزياحًا نحو الأزرق.
انزياح نحو الأزرق ع ض م

الكراسة اليومية

دليل على حركة الأرض إن الدليل الوحيد القاطع على دوران الأرض حول الشمس هو القياسات الدقيقة للنجوم. وقد كان أول دليل قطعي على حركة الأرض ملاحظة انحراف ضوء جات المطر حي النجوم سنة 1727. حيث تتسبب حركة الأرض عمودياً على خط الرؤية الممتد باتجاه نجم معين في حدوث إزا حة ظاهرة لموقع النجم. اطلب من الطلاب إعداد رسم توضيحي أو كتابة فقرة لشرح أن هذه الإزاحة الظاهرة تشبه الميل الظاهر في ن بركض شخص في عاصفة. تؤدي حركة الشخ ص إلى ظهور قطرات المطر وكأنها تتجه نحوه. ض م

Scanned by CamScanner



الشكل 14 خلال دوران الأرض حول الشمس، يظهر تغيّر مواقع النجوم القريبة في السماء مقارنة بالنجوم البعيدة. وتصل الأرض إلى أقصى قدر من التغيّر في موقعها كل ستة أشهر. لذا تكون الزاوية المتضمنة للنجم من هذين الموقعين أكبر ما يمكن. يُعرف هذا التغير في موقع الرصد باختلاف زاوية النظر. ويمكن استخدامه في تقدير المسافة إلى النجم الذي يجري رصده.

توقّع موقع النجم في شهر سبتمبر.

اختلاف زاوية النظر يُعتبر أخذ قياسات مضبوطة لمواقع النجوم مهمًا في تحديد المسافات التي تفصلها عنا. فعند تحديد المسافات التي تفصل بين الأرض والنجوم، لا بدّ من أن يأخذ علماء الفلك في عين الاعتبار الانزياح الذي يطرأ على مواقع النجوم القريبة عند رصدها من الأرض. ويُعرف هذا الانزياح الظاهر في الموقع نتيجة حركة الراصد **باختلاف زاوية النظر**. في هذه الحالة، تكون حركة الراصد هي التغيّر في موقع الأرض أثناء دورانها حول الشمس. فعندما تنتقل الأرض من أحد جانبي مدارها إلى الجانب الآخر منه، تظهر النجوم القريبة كما لو كانت تتحرك إلى الأمام والخلف. كما هو مبيّن في **الشكل 14**. وكلما كان النجم أكثر قربًا، ازداد مقدار الانزياح. يمكن تقدير بُعد النجم باستخدام مقدار الاختلاف في زاوية النظر وذلك بقياس زاوية التغيّر. الجدير بالذكر أنّه باستخدام أسلوب اختلاف زاوية النظر، استطاع علماء الفلك التوصل إلى المسافات الدقيقة التي تفصل النجوم عن الأرض، وذلك في حدود 50 ly فقط، أو ما يقارب 15 pc، حتى الآونة الأخيرة. ومع تطور التكنولوجيا، مثل القمر الصناعي هيباركوس يستطيع علماء الفلك حساب المسافات الدقيقة، حتى 100 pc، باستخدام اختلاف زاوية النظر.

المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

مضبوط Precise

محدد أو مذكور على نحو دقيق. سمحت القياسات الدقيقة التي سجّلها المعماري بضمان تقطيع كل الألواح بطول مضبوط واحد.

التأكد من فهم النص حدّد حركة الراصد في الرسم التوضيحي.

الخصائص الأساسية للنجوم

إنّ الخصائص الأساسية للنجوم هي الكتلة والقطر واللمعان. وكلها مرتبطة بعضها ببعض. علاوة على ذلك، تُعتبر درجة الحرارة إحدى خصائص النجوم ونظر من خلال معرفة نوع الطيف الذي ينبعث من النجم كما تتحكم درجة الحرارة في سرعة التفاعلات النووية. واللمعان، والقدر المطلق. ويمكن إيجاد بُعد النجم بمقارنة القدر المطلق بالقدر الظاهري.

الكراسة اليومية

ارسم كوكبات ا
على بعض الكوكبا
خريطة نجمية. وأن
إن أمكن. ويشاهدوا
التي تعرّفوا عليها. وا
هذه النجوم أو الكوكبا
الخاصة بعلم الأرض.

طلب من الطلاب أن يتعرّفوا
ت والنجوم الساطعة على
يخرجوا في ليلة صافية.
هذه الكوكبات والنجوم
طلب فهم رسم أنماط
ت في كراساتهم اليومية

سؤال حول الشكل 14 سيتغيّر موقع النجم بالنسبة إلى الأرض بمقدار خمسي المسافة من موقعه في يوليو باتجاه موقعه في يناير.

تطوير المفاهيم

الفرسخ النجمي تُشتق وحدة المسافة التي تسمى الفرسخ النجمي من قياسات اختلاف زاوية النظر إلى النجوم. اطلب من الطلاب أن يتخيلوا مثلثًا طويلًا وضيقًا وقائم الزاوية، طول قاعدته 1 AU. وزاوية رأسه ثانية واحدة قوسية. تساوي الثانية القوسية 1/60 من الدقيقة القوسية التي تساوي 1/60 من الدرجة. بذلك، تساوي الثانية القوسية 1/3600 من الدرجة. ويساوي طول الضلع الآخر من هذا المثلث 206,265 ضعف طول قاعدته. وهذه المسافة هي الفرسخ النجمي، الذي يرمز إلى ثانية في اختلاف زاوية النظر. بصورة أكثر تحديدًا، إنّ الفرسخ النجمي هو بعد نجم معين بزاوية نظر (زاوية الرأس المذكورة أعلاه) تساوي ثانية قوسية واحدة. بالتالي، يساوي الفرسخ النجمي 206,265 AU أو ما يعادل 3.26 ly.

الإثراء

الحساب بالسنوات الضوئية اطلب من الطلاب أن يحسبوا طول السنة الضوئية بضرب سرعة الضوء ($c = 2.998 \times 10^8$ m/s) في عدد الثواني في السنة ($365.24\ d \times 24\ h/d \times 60\ min/h \times 60\ s/min = 3.156 \times 10^7\ s$).

1 ly = 9.46×10^{15} m

نشاط

ملاحظة اختلاف زاوية النظر اطلب من كل طالبٍ بمسك بقلم رصاص في وضع رأسي على بُعد ذراع وينظر إليه مع تكرار إغلاق إحدى العينين والنظر بالأخرى بالعكس. سيبدو موقع القلم كما لو أنه يتحرك للأمام والخلف بالنسبة إلى الخلفية. وينتج هذا التغير في الموقع عن اختلاف زاوية النظر.

التأكد من فهم النص
إنّ حركة الراصد هي المدار ذاته الذي تقطعه الأرض حول الشمس. وتتحدد المسافة بين موقعي الرصد بالجانبين المتقابلين من المدار.

Scanned by CamScanner

استخدام المصطلحات العلمية

اللمعان يُقصد بكلمتي القدر واللمعان مقدار الطاقة المنبعثة في الثانية. يستخدم عالم الفيزياء كلمة الطاقة لوصف ما يُطلق عليه علماء الفلك اللمعان. وفي النظام الدولي للوحدات، يُعبّر عن الطاقة بالواط. والواط الواحد = جولًا واحدًا في الثانية.

الإثراء

ا **لسطوع** اطلب من الطلاب التفكير
ب شكل أكبر في النظام المستخدم
لو صف سطوع النجوم. فكل 5 درجات
فر ق في القدر تعني أن درجة سطوع
أحـ د النجوم 100 ضعف عن الآخر.
اسأ ل الطلاب عن مقدار الفرق في
الس طوع عندما يكون الفرق في القدر
1 فقـ ط. $100^{1/5}$ أو أكثر سطوعًا بمقدار 2.512 مرة يساوي الفرق في السطوع بين أي نجمين 2.512^{n}. حيث يمثّل n الفرق بـ بن قيمتي القدر للنجمين. على سبيل الـ مثال: ن الفرق في السطوع بين نجم قدر 21+ ونجم قدره 9+ يساوي $2.512^{3} = 2.512 \times 2.512 \times 2.512 = 15.85$ ضعفًا في السطوع. اطلب من الطلاب إيجاد الفرق في السطوع بين نجم قدر 21+ ونجم قدره 14+. $21-14 = 7$، $2.512^{7} = 632$ ضعفًا في السطوع.

مناقشة

القدر المطلق قم بإدارة مناقشة بين الطلاب عن العلاقة بين القدر المطلق واللمعان. فسيساعدهم ذلك على فهم السبب في اهتمام علماء الفلك بتحديد القدر المطلق وقياسه رغم صعوبة الأمر. إن اللمعان خاصيّة داخلية. ولتحديد لمعان نجم معيّن، يجب مراعاة بُعده وسطوعه. نظرًا إلى أن علماء الفلك يقيسون سطوع النجوم في العادة باستخدام نظام القدر، فيُعتبر القدر المطلق طريقة سهلة لوصف اللمعان. فبمجرد تحديد القدر المطلق لنجم معين، يسهل إيجاد لمعانه باستخدام معامل تحويل.

■ **الشكل 15** إن القدر الظاهري هو مدى السطوع الذي تظهر به النجوم والتواكب في السماء، عند رصدها من الأرض. أما القدر المطلق فيسمح بأخذ بُعد النجم أو التواكب بعين الاعتبار وإجراء التعديلات على المسافة.

القدر من أهم الخصائص الأساسية الواضحة للنجوم مدى السطوع الذي يظهر به النجم أو **القدر الظاهري**. وقد وضع الإغريق القدماء، نظام تصنيف يقوم على أساس سطوع النجوم. حيث أعطيت القيمة 1+ لأشد النجوم سطوعًا، والقيمة 2+ للنجم الذي يليه وهكذا دواليك. ولا يزال علماء الفلك يستخدمون هذا النظام حتى يومنا هذا، لكن بعد إدخال بعض التعديلات عليه. تجدر الإشارة إلى أنه يوضع في هذا النظام، مقابل كل 5 درجات فرق في القدر معامل بمقدار 100 في السطوع أي إن النجم الذي له قدر بقيمة 1+ أشد سطوعًا بمقدار 100 ضعف نجم له قدر 6+.

القدر المطلق لا يشير القدر الظاهري إلى السطوع الفعلي للنجم لأنه لا يراعي بُعده. فقد يظهر النجم بسطوع شديد وهو خافت فعليًا لأنه قريب نسبيًا من الأرض. في حين قد يظهر نجم ما خافتًا بينما هو ساطع فعليًا لأنه بعيد عن الأرض. ولتفسير هذه الظاهرة، وضع علماء الفلك نظام تصنيف آخر للسطوع إنّ **القدر المطلق هو** مدى سطوع النجم في حال كان موقعه على بُعد 10 pc عن الأرض. ويسمح تصنيف النجوم وفق القدر المطلق بعقد مقارنات بين النجوم على أساس السطوع الذي ستظهر به عند افتراض وجودها في مواقع تبعد مسافات متساوية عن الراصد. لكن مشكلة القدر المطلق تكمن في صعوبة تحديده في حال عدم معرفة البُعد الفعلي للنجم وبالشكل 15 قيم القدر الظاهري والقدر المطلق لعدة أجسام.

المفردات

الاستخدام العلمي مقابل الاستخدام العام

القدر Magnitude

الاستخدام العلمي: رقم يمثل السطوع الظاهري لجسم سماوي

الاستخدام العام: أهمية الشيء، أو جودته أو مكانته

اللمعان لا تعطي قيم القدر الظاهري فكرة فعليًا لمقدار الطاقة. ولقياس مقدار الطاقة المنبعثة من سطح نجم ما في الثانية، وهو ما يُعرف بطاقة النجم أو **اللمعان**، لا بدّ من أن يكون عالم الفلك على معرفة بالقدر الظاهري للنجم، وبُعده عن الأرض. يعتمد السطوع المرصود على لمعان النجم وبُعده عن الأرض. ولأن السطوع متناسب عكسيًا مع مربع المسافة التي يبعدها النجم، فلا بدّ من إجراء تصحيح في مقدار المسافة. ويقاس اللمعان بوحدات الطاقة المنبعثة في كل ثانية، أو الواط. فلمعان الشمس يساوي 3.85×10^{26} W، وهو ما يعادل 3.85×10^{24} مصباح بشدة 100 W تقريبًا. تختلف قيم لمعان النجوم الأخرى اختلافًا كبيرًا من 0.0001 تقريبًا، إلى ما يزيد عن مليون ضعف لمعان الشمس.

Fakhr Al Watan
فخر الوطن
زايد
2018

Houghton Mifflin Harcourt Publishing Company © حقوق الطبع محفوظة لصالح هوغتن ميفلن هاركورت للنشر

عبر كامل المنهج

الرياضيات لا تنتظم النجوم الحقيقية في فئات القدر ذات الأعداد الصحيحة التي وضعها نجم الفوى اليمانية، وهو أسطع نجوم السماء، بقدر قيمته 1.47-. من الطرق الأخرى للربط بين اليونانيين القدماء، ولا بدّ من استخدام أقدار نزيل الفرق في القدر ونسبة السطوع التعبير باستخدام عن 6. وتتمتّع الأجسام الأشد خفوتًا التي يمكن اللوغاريتمات، مما يسمح باستخدام القيم السالبة رؤيتها بواسطة تلسكوب هابل الفضائي بقدر والقيم الكسرية. ويكون التعبير كالآتي $m_1 - m_2 = 2.5\log(b_2/b_1)$ حيث m_1 وm_2 قدران، وb_2/b_1 ظاهري يزيد عن 30. كما أن الفئة الأصلية للقدر هي نسبة السطوع المناظرة. يشير المصطلح الأول تضمّ نجومًا يمكن تمييزها اختلافات شاسعة في السطوع، لذا لا بدّ من استخدام قيمة الصفر أو b_1 إلى اللوغاريتم الشائع للأساس 10. log قيم أصغر لوصف القدر، على سبيل المثال، يتمتّع

Scanned by CamScanner

تصنيف النجوم

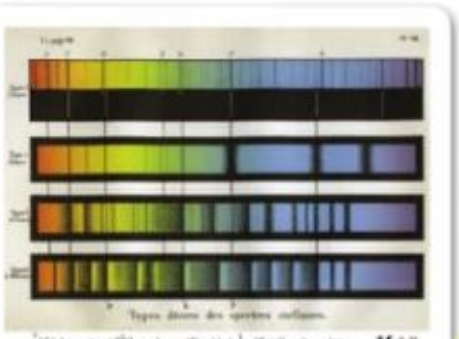
لقد درست أن للشمس خطوط امتصاص داكنة عند أطوال موجية معينة في طيفها. ولنجوم أخرى أنماط خطوط امتصاص داكنة في أطيافها وتصنف وفقًا لأنماط خطوط الامتصاص فيها. فالخطوط الطيفية تبدنا بمعلومات عن درجة حرارة النجم وتركيبه.

درجة الحرارة صنفت النجوم حسب نوع طيفها الى الفئات التالية: O, B, A, F, G, K, M. وتنقسم كل فئة إلى أقسام أصغر تحديدًا تأخذ الأرقام من 0 إلى 9. على سبيل المثال، يمكن تصنيف أحد النجوم على أنه من النوع A4 أو A5.

استندت الفئات في الأساس إلى نمط الخطوط الطيفية فقط. لكن علماء الفلك اكتشفوا في ما بعد أنّ الفئات تناظر درجات حرارة النجوم؛ بحيث تضمّ الفئة O النجوم الأعلى حرارة، فيما تضمّ الفئة M النجوم الأقل حرارة. وهكذا يمكننا من خلال فحص طيف النجم أن نقدّر درجة حرارته.

تُعتبر الشمس نجمًا من النوع G2، وهو ما يناظر درجة حرارة السطح تقارب 5800 K. وتتراوح درجات حرارة السطح بين 50,000 K تقريبًا للنجوم الأعلى حرارة في الفئة O و2000 K للنجوم الأقل حرارة في الفئة M. ويوضّح **الشكل 61** كيفية ظهور أطياف بعض الفئات المختلفة للنجوم.

ترتبط درجة الحرارة أيضًا بكل من اللمعان والقدر المطلق. فتنبعث من النجوم الأعلى حرارة مقدارًا من الضوء يفوق المقدار الذي ينبعث من النجوم الأقل حرارة. وفي معظم النجوم العادية، يوجد تناظر بين درجة الحرارة واللمعان. الجدير بالذكر أنه يمكن تحديد بُعد نجم ما من خلال حساب لمعانه بناءً على درجة حرارته.

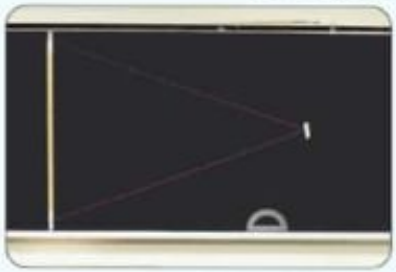


الشكل 36 تظهر في الشكل أطياف الامتصاص الأكثر شيوعًا لكلٍّ من فئات النجوم المختلفة والفئة والفئة والفئة. والخطوط السوداء هي خطوط الامتصاص التي تبثنا بمعلومات عن العناصر التي يتكون منها كل نجم فالنجم البارد خطوط أكثر سماكة.

تجربة مصغرة

نموذج لاختلاف زاوية النظر

كيف تتغيّر زاوية النظر مع تغيّر المسافة؟ إذا رصدنا نجمًا كل ستة أشهر، فسيظهر أنه قد تحرك من موقعه لأن موقع الأرض سيكون على بُعد 300 مليون كيلومتر من موقع الرصد الأول حيث تختلف زاوية النظر إلى النجم. ويُعرف التغيّر الظاهر في موقع النجم باختلاف زاوية النظر.



الإجراءات

1. حدد المخاطر المتعلقة بالسلامة في هذه التجربة قبل بدء العمل.
2. ضع **عصا مترية** في موضع ثابت واربط **خيطًا طوله** 4 m بكل طرف من طرفيها.
3. قف بعيدًا عن العصا المترية وامسك الخيطين معًا لتكوّن مثلثًا. واحرص على أن يكون الخيطان مشدودين بعد ذلك، ثم بقياس المسافة بينك وبين العصا المترية وسجّل قياسك.
4. ثم بقياس الزاوية بين الخيطين باستخدام **منقلة** وسجّل النتيجة.
5. كرر الخطوتين 3 و 4 أثناء وقوفك على مسافات مختلفة من العصا المترية عن طريق تقصير الخيطين أو تطويلهما.
6. ارسم تقريبيًا للزوايا مقابل البُعد عن العصا المترية.

التحليل

1. **رقمد** الذي يمثّله طول العصا المترية. ما الذي تمثّله الزاوية؟
2. **حلّل** ما الذي يبثه الرسم البياني كيف يتغير التغيّر في زاوية النظر على المسافة؟
3. **اشرح** التشابه بين الزوايا التي قست بقياسها وزوايا النظر الفعلية للنجوم.

تجربة مصغرة

لغاية يتعرّف الطلاب على اختلاف زاوية النظر إلى النجوم من خلال قياس زوايا النظر في غرفة الصف.

لمهارات المطلوبة للعملية استخدام الأعداد وإدراك العلاقات المكانية والقياس باستخدام نظام الوحدات الدولي وصياغة نماذج

احتياطات السلامة وافق على الإجراءات المتعلقة بالسلامة في المختبر قبل بدء العمل.

استراتيجيات التدريس

- إنّ أفضل طريقة لإجراء هذه التجربة هي تقسيم الطلاب إلى مجموعات من ثلاثة أفراد. حيث يمسك أحد الطلاب بالعصا المترية ويمسك الطالب الثاني بالخيطين ويقوم الثالث بأخذ القياسات أو يمكن رفع القياسات بوضع العصا المترية على طاولة أو الحائط.
- تُعطى العلاقة غير الخطية بأفضل صورة عندما يستخدم الطلاب مسافات مختلفة من العصا المترية لأخذ القياسات.

اطلب من الطلاب مراجعة **الشكل 14** للإجابة عن السؤال 1.

النتائج المتوقعة سيجد الطلاب أنّ الزاوية بين الخيطين تتناقص مع ازدياد البُعد عن العصا المترية، وهو ما يشبه النقصان في زاوية اختلاف النظر إلى النجم مع ازدياد بُعد النجم.

التحليل

1. المسافة بين مكاني الرؤية؛ زاوية النظر
2. يقارن الرسم البياني بين زوايا اختلاف النظر. كلما ازدادت المسافة، نقصت الزاوية.
3. نظرًا إلى أن المسافة بين نقطتي الرؤية (الأوج والحضيض) واحدة، تكون الزوايا الناتجة من ملاحظة النجوم الموجودة على مسافات لانهائية صغيرة مقارنة بالنجوم القريبة (الشمس). وعلى الأرجح ستكون الزوايا التي يتمّ قياسها في هذه التجربة أكبر بكثير.

التقويم

مهارة اط لب من الطلاباستخدام النتائج التي توصلوا إ يها لوضع قدة جديدة للمسافة تساوي البُعد عن العصاالمترية عندما تكون زاوية اختلاف الن ظر 1. تساوي وحدة المسافة هذه 57.3 m.

Scanned by CamScanner

مناقشة

ألوان النجوم اسأل الطلاب عما إذا كانوا يعتقدون أن المصطلحين عملاقًا أحمر وقزمًا أبيض يشيران إلى ألوان فعلية للنجوم أو أنهما مجرد تصنيفين للإشعاعات المنبعثة من النجوم

وتفهيم على التفكير في النجوم التي يرونها في السماء أثناء الليل. ووضّح لهم أن هذين المصطلحين يشيران فعلًا إلى ما تراه العين البشرية. على سبيل المثال، يظهر منكب الجوزاء، وهو نجم فوق عملاق أحمر ساطع في كوكبة الجبار، باللون الأحمر بينما رجل الجبار نجم أبيض مائل إلى الزرقة.

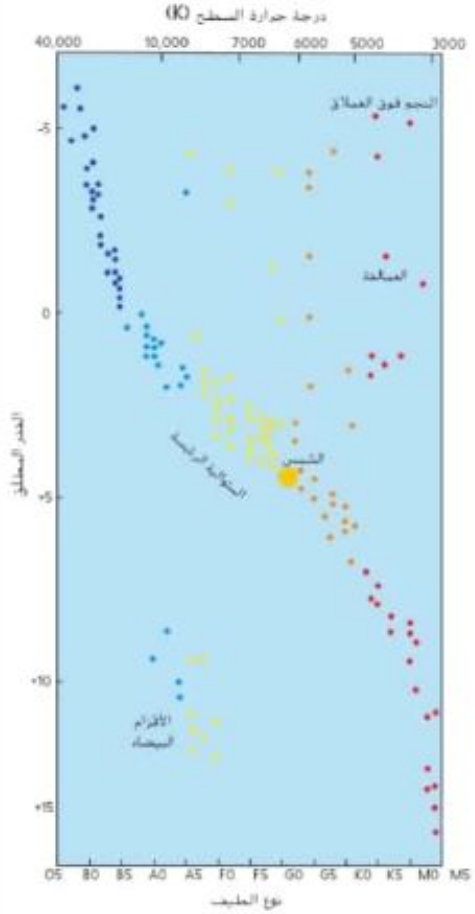
إنّ أوجه الاختلاف بين ألوان النجوم دقيقة، لأن كل النجوم تبعث ضوءًا يتخطى النطاق المرئي بأكمله، وبالتالي فهي بيضاء في الأساس. وتنشأ أوجه الاختلاف الطفيفة في اللون من أنّ قمة الانبعاث، وهي الطول الموجي الذي تخرج به أشد الانبعاثات، تتوقف على درجة حرارة سطح النجم. فتخرج أشد الانبعاثات من النجوم عالية الحرارة عند الجزء الأزرق أو حتى فوق البنفسجي من الطيف، في حين تخرج أشد الانبعاثات من النجوم منخفضة الحرارة عند الجزء الأحمر أو تحت الأحمر. وتكون الشمس، ذات درجة الحرارة المتوسطة، أشدّ سطوعًا عند الجزء الأصفر من الطيف.

المشروع

مشاهدة ألوان النجوم شجّع الطلاب على النظر إلى السما ء أثناء الليل، إن أمكن. ومحاولة رؤية ذ جوم ذات ألوان مختلفة. واطلب منهم بدأبة أن يتعرفوا على نجوم معينة مثل منكب الجوزاء ورجل الجبار على خر بطة نجوم ثم مشاهدتها أثناء الليل. ص م ك م

الجدول 2 علاقات أنواع الأطياف الخاصة بالنجوم

لون النجم	نوع الطيف	رسم هرتزبرونغ - راسل
	O5	
	B5	
	F5	
	G5	
	M5	



التدريس المتمايز

الطلاب دون المستوى إنّ رسم هرتزبرونغ - راسل هو طريقة مفيدة لتلخيص خصائص النجوم في صورة مرئية ليتمكن الطلاب دون المستوى أن يركّ على المحتوى. لذا استخدم الرسم لتلخيص السطوع ودرجات الحرارة وأنواع الطيف (فئات النجوم) وكتل النجوم.

Scanned by CamScanner

3 التقويم

التأكد من الفهم

التعزيز كلّف الطلاب بتلخيص أنواع المعلومات التي يمكن الحصول عليها من رصد مواقع النجوم وسطوعها وأطيافها. المواقع، الحركة والبُعد والتوزيع، السطوع، اللمعان، الأطياف، التركيب ودرجة الحرارة والحركة من خلال انزياح دوبلر

إعادة التدريس

البحث من النُّهُج المختلفة لتدريس خصائص النجوم للطلاب جعل كل طالب يختار نَجْمعينًا ويجمع عنه أكبر قدر ممكن من المعلومات. ويمكن لكل طالب أن يكتشف اسم نجم معين وتسمياته في الكتالوجات المختلفة وقدره وموقعه ونوع الطيف المنبعث منه وكتلته ولمعانه وغير ذلك من السمات الخاصة به. ثم يكتب تقريرًا يلخص فيه ما توصل إليه من نتائج. يمكن بعد ذلك إجراء مقارنة بين النجوم التي اختارها الطلاب لتوضيح خصائص النجوم.

التقويم

معرفة اسأل الطلاب عما يمكن أن يستنتجوه حول خصائص نجم معين يقع في النصف العلوي من رسم هرتزبرونغ – راسل، فوق نجوم الفئة A في المتوالية الرئيسة. سيكون متوسط درجة حرارة هذا النجم 10,000 K تقريبًا، وسيكون عملاقًا أو فوق عملاق.

المتوالية الرئيسة يقع 90 بالمئة تقريبا من النجوم، بما فيها الشمس، على طول قطاع مريض على رسم هرتزبرونغ – راسل يسمى المتوالية الرئيسة. عندما تكون النجوم في مرحلة المتوالية الرئيسة، يحدث اندماج الهيدروجين في لب النجم. ويشير الارتباط بين خصائص هذه النجوم إلى تشابه بناها الداخلية ووظائفها. مع تطور النجم في مرحلة المتوالية الرئيسة يبدأ اندماج الهيليوم في لب النجم واحتراق الهيدروجين على حواف اللب.

تقع الشمس قرب مركز المتوالية الرئيسة، التي تكون درجة حرارتها ولمعانها في هذه المرحلة متوسطين. وتحدد كتلة النجم كل خصائصه تقريبًا، بما فيها مدة بقائه في مرحلة المتوالية الرئيسة. فكلما كانت كتلة النجم أكبر، كانت درجة الحرارة في مركزه أعلى وكانت سرعة احتراق وقود الهيدروجين فيه أسرع. ويعود سبب ذلك بالأساس إلى نسبة ضغط الإشعاع إلى ضغط الجاذبية. فكلما ازداد الضغط، ازدادت سرعة احتراق الوقود. نتيجة لذلك، ينفد الهيدروجين الموجود في النجم بسرعة أكبر. ومن ثم يخرج النجم من مرحلة المتوالية الرئيسة أسرع من خروج النجوم الأصغر كتلة.

العمالق الأحمر والقزم الأبيض إن النجوم الموجودة في أعلى يمين رسم هرتزبرونغ – راسل في **الجدول 2** أقل حرارة، لكنها مضيئة. ونظرًا إلى أن الأسطح الأقل حرارة ينبعث منها قدر أقل من الإشعاع لكل متر مربع مقارنة بما ينبعث من الأسطح الأعلى حرارة، فلا بد من أن تكون مساحة سطح هذه النجوم الأقل حرارة كبيرة كي تكون بهذا السطوع. لهذا السبب، تعرف هذه النجوم الضخمة المضيئة منخفضة الحرارة بالعمالقة الحمر. والعملاق الأحمر ضخم لدرجة أنه لو كانت الشمس عملاقًا أحمر لابتلعت الأرض. إذ إن حجم العملاق الأحمر يبلغ 100 ضعف حجم الشمس في بعض الحالات. تجدر الإشارة إلى أن أضخم هذه النجوم يسمى فوق العمالق الأحمر. وعلى النقيض، فالنجوم الموجودة في أدنى يسار رسم هرتزبرونغ – راسل، والتي تتسم بأنها مرتفعة الحرارة لكنها خافتة، لا بد من أن تكون صغيرة وإلا ظهرت أشد لمعان. تسمى هذه النجوم الصغيرة الخافتة مرتفعة الحرارة الأقزام البيضاء ويبلغ حجم القزم الأبيض حجم الأرض تقريبًا لكن كتلته تساوي كتلة الشمس تقريبًا. وفي القسم 3، ستدرس كيفية تكون النجوم المختلفة.

القسم 2 مراجعة

ملخص القسم

تتابع معظم النجوم في صورة عناقيد بفعل الجاذبية الموجودة بينها.

إن أكثر أشكال العناقيد النجمية بساطة هو النجوم الثنائية.

تستخدم اختلاف زاوية النظر في قياس بُعد النجوم.

يرتبط مدى سطوع النجم بدرجة حرارته.

تصنف النجوم وفق أطيافها.

يرتبط رسم هرتزبرونغ – راسل بين الخصائص الأساسية للنجوم وهي الفئة ودرجة الحرارة واللمعان.

استيعاب الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** **ارتبط** بين درجة حرارة النجوم وتصنيفها.
2. **اشرح** الفرق بين القدر الظاهري والقدر المطلق.
3. **اشرح** كيفية استخدام اختلاف زاوية النظر في قياس بُعد النجوم.
4. **قارن وقابل** بين اللمعان والقدر.
5. **قابل** بين القدر الظاهري والقدر المطلق لنجم ما.
6. **قارن** بين السنة الضوئية والفرسخ النجمي.

التفكير الناقد

7. **صمّم** نموذجًا توضح من خلاله اختلاف زاوية النظر.
8. **اشرح** العلاقة بين نصف القطر والكتلة باستخدام **الجدول 3**.

الكتابة في علم الأرض

9. بين نجم المليك (من الفئة B)، وهو أشد النجوم سطوعًا في كوكبة الأسد، ونجم السهيل (من الفئة M)، وهو أحد أقرب النجوم إلى الشمس. باستخدام **الجدول 3** كمرجع.

القسم 2 مراجعة

1. تصنف النجوم إلى الفئات O أو B أو A أو F أو G أو K أو M من الأشد حرارة إلى الأقل حرارة، ثم تُقسم الفئات من 0 إلى 9.
2. إنّ القدر الظاهري هو مدى سطوع النجم كما يظهر في السماء. أما القدر المطلق، فهو مدى سطوع النجم لو كان يقع على بعد 10 pc.
3. من خلال اختلاف زاوية النظر، يمكن معرفة النجوم الأقرب إلى الراصد عن طريق تغيير الراصد لموقعه وقياس الزاوية إلى النجم من كل موقع. ثم يمكن استخدام ذلك لإيجاد بُعد النجم. وكلما كانت الزاوية أكبر، كان النجم أقرب.
4. يقيس القدر سطوع النجم. أما اللمعان فيقيس قدرة (طاقة) النجم.
5. يسمح تصنيف النجوم وفق القدر المطلق بإجراء مقارنة على أساس سطوع النجوم عند مسافات متساوية من الراصد.
6. إنّ السنة الضوئية هي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة. أما الفرسخ النجمي (يعادل 3 سنوات ضوئية تقريبًا)، فهو المسافة التي يكون اختلاف زاوية النظر إلى الجسم عندها ثانية واحدة قوسية.
7. ينبغي أن توضح النماذج كيفية تغيّر رؤية الراصد مع تغيّر الموقع.
8. كلما ازداد نصف قطر النجم، كانت المادة التي يحويها أكبر وكان أكثر ضخامة.
9. حجم كتلة نجم المليك أكبر بمقدار 30 ضعفًا ودرجة حرارته أعلى 5 أضعاف تقريبًا. ولمعانه أكبر بمقدار 100,000 ضعف ونصف قطره أكبر بمقدار 13 ضعفًا.

Scanned by CamScanner