



الفيزياء، البكالوريا، الفرع العلمي

الشمس والنجوم وقانون هابل

المجموعة الشمسية، ومصدر طاقة النجوم، وتأثير دوبلر والانزياح نحو الأحمر، وقانون هابل، والنجوم الثنائية
الفيزياء الفلكية . الوحدة 5 . الدرس 1 (1 من 2)

شغلت السماء تفكير الإنسان منذ القدم، وصار رصد الكون اليوم ممكناً من خارج الغلاف الجوي بتلسكوبات ضخمة تدور حول الأرض، كتلسكوب هابل. في ليلة صافية بعيداً عن الأضواء نرى نقاطاً مضيئة: بعضها كواكب في مجموعتنا الشمسية، وبعضها نجوم، وبعضها مجرات. كيف نميّز بينها، ومن أين تأتي النجوم بطاقتها، وكيف عرفنا أنّ المجرات تبتعد عنا؟ نتابع مع الكتاب في الصفحات 241 إلى 246.

الكواكب والنجوم والمجموعة الشمسية

من مراقبة السماء، الكتاب، الصفحة 242: إشعاع الكواكب يبدو أكثر ثباتاً من إشعاع النجوم؛ ومواقع الكواكب تتغير، أمّا النجوم فتبقى في تشكيلات تبدو ثابتة؛ وتحرك الكواكب في مجال معين بالنسبة لمراقب على الأرض، أمّا النجوم فتنتشر على امتداد القبة السماوية. وباستخدام التلسكوب تبدو الكواكب أكثر وضوحاً، أمّا النجوم فتبقى نقاطاً مضيئة، وبالتلسكوبات الدقيقة يمكن التمييز بين النجوم والمجرات.

وكواكب المجموعة الشمسية ثمانية، أربعة منها غازية والباقي صخرية. الكتاب، الصفحة 242.

أيّ هذه الملاحظات تميّز الكواكب من النجوم؟

كيف أبدأ؟ الكتاب، الصفحة 242، نتائج المراقبة.

- (أ) إشعاع الكواكب أقلّ ثباتاً من إشعاع النجوم
(ب) مواقع الكواكب تتغير، والنجوم تبقى في تشكيلات تبدو ثابتة
(ج) النجوم تبدو في التلسكوب أوضح من الكواكب

ب. نعم: الكتاب، الصفحة 242.

مصدر طاقة النجوم

تحتوي الشمس، كما النجوم الأخرى، بشكل رئيسي الهيدروجين والهيليوم. ومع مرور الزمن تزداد كمية الهيليوم وتقلّ كمية الهيدروجين، وتقلّ كتلة الشمس. الكتاب، الصفحة 242.

تذكر: «في النجوم يندمج الهيدروجين ليعطي الهيليوم، ويتحوّل النقص في الكتلة نتيجة ذلك إلى طاقة وفق علاقة آينشتاين في النسبية الخاصة.» الكتاب، الصفحة 242.

$$\Delta E = \Delta m c^2$$

وكيف تنشأ النجوم؟ وفق نظرية السديم، الكتاب، الصفحة 243، تنهار سحابة مكونة من الغاز والجسيمات تحت تأثير الضغط الناتج عن جاذبيتها، فيتولد من هذا الانهيار كرة كبيرة من الضوء، ويبدأ الاندماج بين الذرات تحت تأثير الضغط والحرارة المرتفعين، فيندمج الهيدروجين الذي يشكّل النسبة الأكبر من النجم ليتحوّل إلى هيليوم.

التطبيق الأول، الكتاب، الصفحة 242: يتلقّى كل 1 m^2 من سطح الأرض وسطياً $6.3 \times 10^4 \text{ J}$ في كلّ ثانية عند التعرّض لأشعة الشمس، و 47% فقط من الأشعة تصل إلى سطح الأرض. احسب النقص في كتلة الشمس في كلّ ثانية، علماً أنّ بعدها عن الأرض $1.5 \times 10^8 \text{ km}$.

$$\Delta m = ?$$

1. قبل الغلاف الجويّ الطاقة المقدّمة لكلّ 1 m^2 في الثانية:

$$E_1 = 6.3 \times 10^4 \times \frac{100}{47}$$

$$E_1 \approx 1.34 \times 10^5 \text{ J.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

2. كلّ ما تصدره الشمس في الثانية على سطح كرة مركزها الشمس ونصف قطرها $r = 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$:

$$\Delta E = 4\pi r^2 E_1$$

$$\Delta E \approx 3.8 \times 10^{28} \text{ J}$$

3. النقص في الكتلة $\Delta E = \Delta m c^2$:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} = \frac{3.8 \times 10^{28}}{(3 \times 10^8)^2}$$

$$\Delta m \approx 4.22 \times 10^{11} \text{ kg}$$

هذا ما يعطيه معطى الكتاب. والقيمة المقاسة لما يصل من الشمس فوق الغلاف الجويّ نحو $1.36 \times 10^3 \text{ J}$ لكلّ 1 m^2 في الثانية، فيكون النقص في كتلة الشمس نحو $4.3 \times 10^9 \text{ kg}$ في الثانية. الطريقة واحدة:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

يُصدر نجمٌ طاقةً $J \times 10^{26} \times 9$ في كلِّ ثانية. النقص في كتلته كلَّ ثانية:

كيف أبدأ؟ $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$ ، و $c^2 = 9 \times 10^{16}$.

(أ) $8.1 \times 10^{43} \text{ kg}$

(ب) $3 \times 10^{18} \text{ kg}$

(ج) 10^{10} kg

ج. نعم: $\frac{9 \times 10^{26}}{9 \times 10^{16}}$.

ما مصدر الطاقة التي تعطيها الشمس؟

كيف أبدأ؟ ماذا يحدث للهيدروجين في النجوم؟

(أ) اندماج الهيدروجين ليعطي الهيليوم، مع نقصٍ في الكتلة

(ب) احتراق الهيدروجين مع الأكسجين

(ج) تحوُّل الهيليوم إلى هيدروجين

أ. نعم: الكتاب، الصفحة 242.

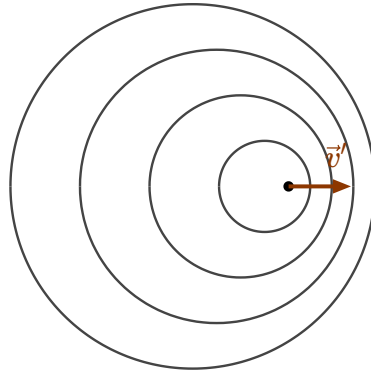
تأثير دوبلر والانزياح نحو الأحمر

هل للنجوم اللون نفسه؟ من ملاحظة طيف النجم ودراسة شدَّة إضاءته وحركته يمكن تحديد كتلته وعمره وتركيبه الكيميائيّ وعدَّة خصائص أخرى، الكتاب، الصفحة 244. والضوء المرئيّ جزءٌ من طيف الأمواج الكهرومغناطيسيّة، تتدرَّج ألوانه من البنفسجيّ إلى الأحمر، وكلّما زاد طول الموجة اقترب اللون من الأحمر، من نحو 400 nm إلى نحو 700 nm .

ونلاحظ اختلاف صوت بوق السيّارة عندما تمرّ بجانبنا وتتابع مبتعدَةً عنّا. عندما يكون المنبع ساكناً بالنسبة للمراقب تشغل الموجة مسافة $\lambda = \frac{v}{f}$ ، حيث f تواتر الاهتزاز و v سرعة الموجة. وعندما يتحرَّك المنبع مبتعداً عن المراقب بسرعة v' تشغل الموجة مسافة λ' ، الكتاب، الصفحة 244:

$$\lambda' = \frac{v + v'}{f} = \frac{v + v'}{v} \lambda$$

$$\lambda' = \left(1 + \frac{v'}{v}\right) \lambda$$

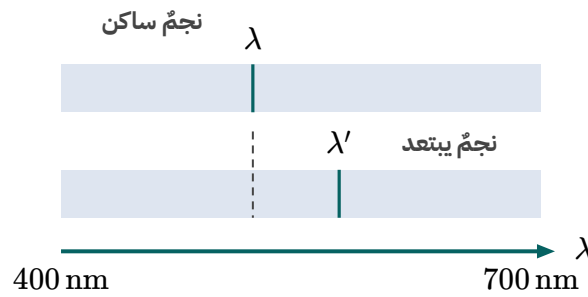


خلف المنبع: موجة أطول

أمامه: موجة أقصر

مواضع الموجات التي أصدرها منبع يتحرك نحو اليمين: خلفه تتباعد، وأمامه تتقارب. الكتاب، الصفحة 244. الرسم من عندنا.

تذكر: «عندما يبتعد منبع موجي عن مراقب فإن الطول الموجي يزداد، وبما أن الضوء ذا الطول الموجي الأكبر هو الأحمر، فعندما يبتعد المنبع الضوئي عن المراقب ينزاح الطيف نحو الأحمر.» الكتاب، الصفحة 245.



خط في طيف نجم ساكن، والخط نفسه حين يبتعد النجم: ينزاح نحو طول الموجة الأكبر، أي نحو الأحمر. الرسم من عندنا.

وللضوء نكتب c مكان v ، فتكون نسبة الانزياح $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v'}{c}$ ، الكتاب، الصفحة 246، وهذا يصلح إذا كانت v' صغيرة

أمام c . وإذا اقترب المنبع من المراقب قصرت الموجة، وبالطريقة نفسها $\lambda' = \left(1 - \frac{v'}{v}\right) \lambda$ ، وتسمى الظاهرة في

الطيف المرئي الانزياح نحو الأزرق؛ وهذا ما يطلبه سؤال في الكتاب، الصفحة 253.

مجزة ينزاح طيفها نحو الأحمر. إنها:

كيف أبدأ؟ ابتعاد المنبع يطيل الموجة.

أ) تقترب منا

ب) ساكنة بالنسبة إلينا

ج) تبتعد عنا

ج. نعم: الكتاب، الصفحة 245.

نسبة انزياح خط في طيف مجرة $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1}{100}$. سرعة ابتعادها:

كيف أبدأ؟ $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v'}{c}$

(أ) $v' = 3 \times 10^{10} \text{ m.s}^{-1}$

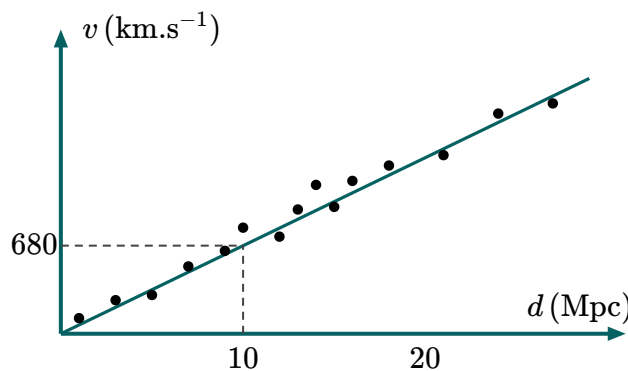
(ب) $v' = 3 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$

(ج) $v' = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

ب. نعم: $\frac{3 \times 10^8}{100}$

قانون هابل

لاحظ هابل في رصده للمجرات البعيدة أن انزياح طيفها نحو الأحمر يزداد كلما كانت أبعد عنا، أي أن سرعة ابتعادها تزداد، الكتاب، الصفحة 245. والتمثيل البياني لسرعة المجرة بدلالة بعدها عنا خط مستقيم تقريباً يمر من المبدأ:



سرعة المجرة بالنسبة لنا بدلالة بعدها عنا. النقاط للتوضيح على نمط الكتاب، الصفحة 245، والمستقيم $v = 68 d$. الرسم من عندنا.

$$v = H_0 d$$

حيث v سرعة المجرة بالنسبة لنا، و H_0 ثابت هابل، و d بعد المجرة عنا. ويقاس البعد بالفرسخ الفلكي pc ، وهو 3.26 سنة ضوئية. والسنة الضوئية طول لا زمن: المسافة التي يقطعها الضوء في الخلاء خلال سنة، الكتاب، الصفحة 246.

التطبيق الثاني، الكتاب، الصفحتان 245 و 246: احسب ثابت هابل من التمثيل البياني، ثم بالوحدات الدولية. ثم احسب بعد مجرة نسبة انزياح طول الموجة في طيفها $\frac{1}{30}$ ، والزمن الذي يستغرقه ضوءها للوصول إلينا.

$$H_0, d, t = ?$$

1. من التمثيل البياني عند $d = 10 \text{ Mpc}$ نقرأ $v = 680 \text{ km.s}^{-1}$:

$$H_0 = \frac{v}{d} = \frac{680}{10}$$

$$H_0 = 68 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$$

2. بالوحدات الدولية السنة الضوئية $9.47 \times 10^{15} \text{ m}$ ، فالفرسخ $3.26 \times 9.47 \times 10^{15} \approx 3 \times 10^{16} \text{ m}$:

$$H_0 = \frac{68 \times 10^3}{10^6 \times 3 \times 10^{16}}$$

$$H_0 = \frac{68}{3} \times 10^{-19} \text{ s}^{-1}$$

3. سرعة المجرة $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v'}{c} = \frac{1}{30}$:

$$v' = \frac{3 \times 10^8}{30} = 10^7 \text{ m.s}^{-1}$$

4. بعدها من قانون هابل $d = \frac{v'}{H_0}$:

$$d = \frac{10^7}{\frac{68}{3} \times 10^{-19}} = \frac{3}{68} \times 10^{26}$$

$$d \approx 4.41 \times 10^{24} \text{ m}$$

5. زمن وصول ضوئها $t = \frac{d}{c}$ ، ثم نقسم على عدد ثواني السنة $365.25 \times 24 \times 60 \times 60$ فنحصل على الزمن بالسنوات :

$$t = \frac{4.41 \times 10^{24}}{3 \times 10^8} \approx 1.47 \times 10^{16} \text{ s}$$

$$t \approx 0.466 \times 10^9 \text{ year}$$

أي أنّ المجرة تبعد نحو 0.466×10^9 سنة ضوئية، وما نراه منها اليوم حدث منذ نحو 0.466 مليار سنة، الكتاب، الصفحة 246. ثابت هابل بالوحدة الدولية:

$$H_0 \approx 2.27 \times 10^{-18} \text{ s}^{-1}$$

مجرة تبعد عنّا 20 Mpc ، و $H_0 = 68 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$. سرعة ابتعادها:

كيف أبدأ؟ $v = H_0 d$.

(أ) $v = 1360 \text{ km.s}^{-1}$

(ب) $v \approx 0.29 \text{ km.s}^{-1}$

(ج) $v = 3.4 \text{ km.s}^{-1}$

أ. نعم: 68×20 .

السنة الضوئية واحدة قياس:

كيف أبدأ؟ ماذا يقطع الضوء في سنة؟

(أ) زمن

(ب) طول

(ج) سرعة

ب. نعم: نحو $9.47 \times 10^{15} \text{ m}$.

النجوم الثنائية

مجموعتنا الشمسية فيها نجم واحد هو الشمس. لكنّ التلسكوبات أظهرت أنّ كثيراً من النجوم ثنائية، يدور بعضها حول بعض، وبعضها قد يُرى بالعين المجردة، كالنجم الذي يشكّل الانحناء في مقبض الدبّ الأكبر: هو في الواقع نجمان، أحدهما يدعى الإزار، والأخفّ لمعاناً يدعى السها، وهما قريبان جداً بحيث يحتاج التفريق بينهما إلى بصير حادّ جداً، وكان يُستخدم ذلك في الماضي لفحص قوّة النظر. الكتاب، الصفحة 246.

النجوم الثنائية:

كيف أبدأ؟ الكتاب، الصفحة 246.

(أ) نجم واحد نراه مرّتين بسبب الغلاف الجويّ

(ب) كوكبان يدوران حول الشمس

(ج) نجومّ يدور بعضها حول بعض

ج. نعم: الكتاب، الصفحة 246.

من الكتاب: مسألتان

المسألة الثانية، الكتاب، الصفحة 253: احسب نسبة انزياح طول الموجة إلى الطول الأصليّ لمجرة تبعد عنّا 932×10^6

سنة ضوئية، فإذا كان طول الموجة الأصليّ 500 nm فاحسب طول الموجة بعد الانزياح، علماً أنّ

$H_0 = 68 \text{ km.s}^{-1}.\text{Mpc}^{-1}$ والفرسخ الفلكي 3.26 سنة ضوئية.

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda}, \lambda' = ?$$

1. البعد بالميجا فرسخ الميغا فرسخ 3.26×10^6 سنة ضوئية:

$$d = \frac{932 \times 10^6}{3.26 \times 10^6} \approx 286 \text{ Mpc}$$

2. سرعة الابتعاد $v' = H_0 d$:

$$v' = 68 \times 286 \approx 1.94 \times 10^4 \text{ km.s}^{-1}$$

3. نسبة الانزياح $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v'}{c}$ ، و $c = 3 \times 10^5 \text{ km.s}^{-1}$:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{1.94 \times 10^4}{3 \times 10^5} \approx 0.065$$

4. الطول بعد الانزياح $\lambda' = \left(1 + \frac{v'}{c}\right) \lambda$:

$$\lambda' \approx 1.0648 \times 500 \approx 532 \text{ nm}$$

الانزياح نحو الطول الأكبر، أي نحو الأحمر، لأنّ المجرة تبعد:

$$\lambda' > \lambda$$

المسألة الثالثة، الكتاب، الصفحة 253: يبعد المريخ عن الشمس وسطياً 1.52 AU ، ويصل سطحه تقريباً 100% من أشعة الشمس المتجهة إليه. إذا علمت أنّ النقص في كتلة الشمس $4.22 \times 10^{11} \text{ kg.s}^{-1}$ ، فاحسب الطاقة التي يتلقاها 1 km^2 من سطح المريخ خلال دقيقة واحدة. الوحدة الفلكية AU هي المسافة بين الأرض والشمس، $1.5 \times 10^8 \text{ km}$.

$$E = ?$$

1. ما تصدره الشمس في الثانية $\Delta E = \Delta m c^2$:

$$\Delta E = 4.22 \times 10^{11} \times 9 \times 10^{16}$$

$$\Delta E \approx 3.8 \times 10^{28} \text{ J}$$

2. لكل متر مربع عند المريخ نوزعها على كرة نصف قطرها $r = 1.52 \times 1.5 \times 10^{11} \text{ m}$:

$$E_1 = \frac{\Delta E}{4\pi r^2}$$

$$E_1 \approx 5.81 \times 10^4 \text{ J.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$$

3. على كيلومتر مربع خلال دقيقة $1 \text{ km}^2 = 10^6 \text{ m}^2$ ، والدقيقة 60 s :

$$E = 5.81 \times 10^4 \times 10^6 \times 60$$

$$E \approx 3.49 \times 10^{12} \text{ J}$$

المسألة مبنية على معطى الكتاب في التطبيق الأول، فالقيمة كبيرة بالقدر نفسه. الشدة تقل مع مربع البعد:

$$E_1 = \frac{\Delta E}{4\pi r^2}$$

المصدر: الفيزياء، الصفحات 241 إلى 246 من الطبعة الرسمية 2025 / 2026.