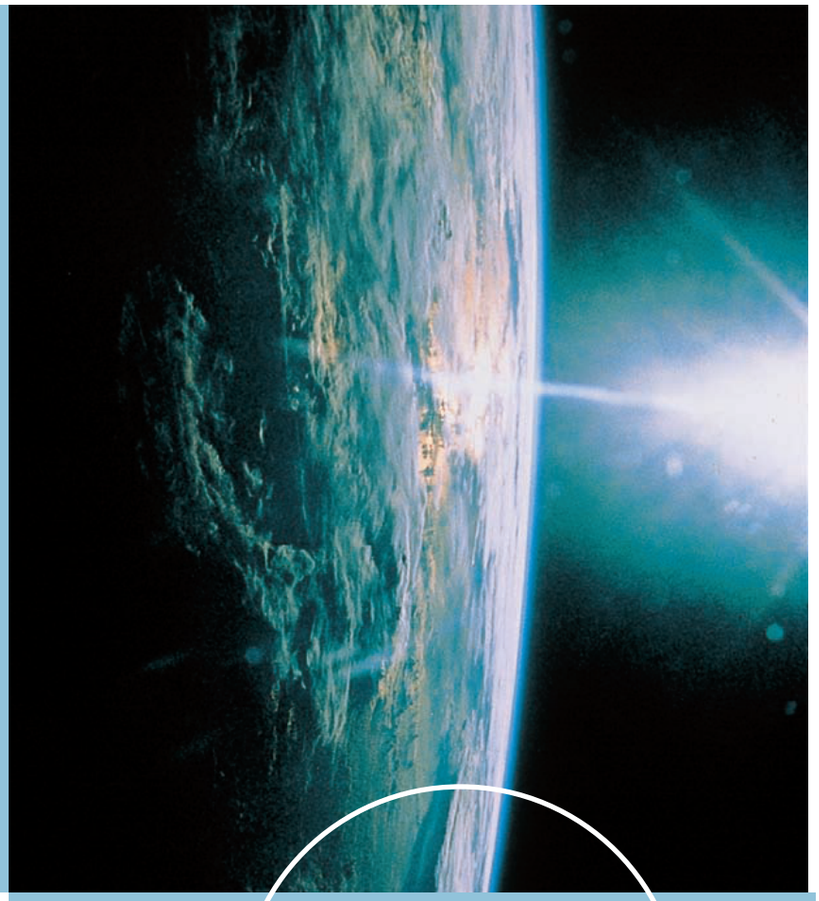
الجزء الرابع

الفلك

لقد بدأنا كتابنا هذا *بالفيزياء* اليومية، ومن ثَمَّ انتقلنا إلى عالم *الكيمياء* دون المجهرية. وبعد ذلك قمنا بسبر *العلوم الأرضية* الكبيرة مقارنة بما سبق. والآن سنختم دراستنا الأولية هذه بدراسة لما يحيط بنا من هذا الكون الشاسع: النِّظام الشّمسيّ، والنّجوم، والمجرات، وحتى الكون نفسه. وسنتعلم، على سبيل المثال، عن القمر الذي يُرى في مراحل الكسوف المختلفة في الأسفل، وكيف يظهر بلون أحمر حول العالم عند مغيب الشّمس؛ فإلى دراسة *علم الفلك*.



النِّظام الشّمسيّ

26

1.26 النِّظام الشّمسيّ ونشأته

2.26 الشّمس

3.26 الكواكب الدّاخليّة

4.26 الكواكب الخارجيّة

5.26 قمر الأرض

6.26 الإخفاق في تكوين كوكب

■ قبل ما يربو على خمسة بلايين عام، لم يكن هناك شمس. ولكن جزء المجرة الذي أصبح لاحقًا النِّظام الشّمسيّ كان مكونًا من غيمة من الغاز والغبار على شكل دوامة تنتشر وتدور بهدوء. فكيف إذن تطورت هذه الغيمة إلى نظامنا الشّمسيّ الحالي؟ وكيف ولّدت الشّمس هذا الكمّ من الطّاقة؟ وفيم تتشابه بعض الكواكب؟ وفيم تختلف، وفيم تشكّل القمر وأصبح يبدو بأطوار مختلفة؟ ولماذا نشاهد وجهًا واحدًا فقط للقمر؟ وما الكسوف والخسوف؟ ولِمَ يحدثان نادرًا؟ وما الشهب والمذنبات والكويكبات؟ وكيف يتكرر تصادمها مع كوكبنا؟ ولماذا يكون ذنب المذنب في الاتجاه البعيد عن الشّمس؟

منذ آلاف السنين والإنسان يرقب السّماء ليلاً متفكرًا ومتسائلًا مثل هذه الأسئلة. ولقد مرت أجيال وأجيال مندهشة ومتسائلة عن مكاننا في هذا الكون. ولكن حديثًا، وحديثًا فقط، بدأنا نفهم ذلك. وسنبدأ برحلة في هذا الكون الفسيح مع التركيز على نظامنا الشّمسيّ، والذي يعدّ الحديقة الخلفية للأرض.

1.26 النِّظام الشّمسيّ ونشأته

يعدّ نظامنا الشّمسيّ تجمعًا لأجرام ترتبط جاذبيًّا بالشّمس. ويضم هذا النِّظام، بالإضافة إلى الشّمس، ثمانية **كواكب *(Planets)*** على الأقل، وهي أجرام كبيرة، وذات أحجام كتلية كبيرة كافية لجعلها كروية بسبب جاذبيتها، ولكنها صغيرة إلى درجة تجنبها الاندماج النووي في مراكزها. لقد قامت هذه الكواكب وبنجاح على تنظيف مسارات أفلاكها من الفتات حيث تقع كلّها في استواء واحد تقريبًا. يطلق على هذا المستوى اسم **دائرة البروج *(Ecliptic)***، ويعرّف بأنه مستوى مدار الأرض. يضمّ النِّظام الشّمسيّ العديد من الأقمار (أجرام تدور حول الكواكب)، والكويكبات (أجرام صخرية صغيرة)، والمذنبات (أجرام جليدية صغيرة) ومجموعة من الكواكب الصغيرة تعرف بالكواكب القزمة التي تدور عند الحافة الخارجيّة للنظام الشّمسيّ. وأشهر هذه الكواكب القزمة بلوتو الذي استثنى من الكواكب في عام 2006. وتعدّ هذه الكواكب والأجرام الأخرى جميعها صغيرة إذا ما قورنت بالشّمس. يبين الشّكل 26. 1 أحجام هذه الكواكب مقارنة بحجم الشّمس، والتي تضم نحو 99.86% من كتلة النِّظام الشّمسيّ.

وحتى ندرك المسافات الهائلة بين الشّمس والأجرام التي تدور حولها، دعنا نتصور الشّمس بحجم كرة شاطئ كبيرة نصف قطرها متر واحد. سيكون حجم أقرب الكواكب إليها، وهو عطارد، بحجم بذرة تفاح تبعد 40 مترًا عنها. وسيكون حجم الكوكب التالي وهو الزّهرة بحجم حبة البازلاء، ويبعد عنها 80 مترًا. وسيكون حجم الأرض بحجم حبة البازلاء أيضًا، ولكنها تبعد عنها 110 أمتار؛ أي أطول من ملعب كرة القدم. أمّا حجم الكوكب التالي وهو المريخ فسيكون أكبر قليلًا من عطارد أي أنّه أكبر من بذرة التفاح، ويبعد عن كرة الشاطئ الممثلة للشمس ضعف طول ملعب كرة القدم.

تدعى هذه الكواكب الأربعة الأولى وهي: عطارد، والزّهرة، والأرض، والمريخ **الكواكبَ الدّاخليّة *(Inner Planets)*** بسبب قربها النسبي من الشّمس. إنّ هذه الكواكب الدّاخليّة جميعها صلبة وصخرية. أما الكواكب الخارجيّة فهي أكبر حجمًا وغازية، وتقع بعيدًا عن الشّمس. وأول هذه **الكواكب الخارجيّة *(Outer Planets)*** هو المشتري، والذي يعدّ وفق المقياس المذكور بحجم كرة البيسبول، ويبعد نصف كيلومتر. أما الكوكب الخارجي الثاني فهو زحل المشهور بحلقاته، وحجمه يعادل حجم كرة البيسبول، ويبعد أكثر من كيلومتر. في حين أنّ حجم كلّ من الكوكبين: أورانوس ونبتون بحجم كرة الطاولة، ويبعدان 2 و 3 كيلومترات على الترتيب. وهكذا نرى أنّ أجرام نظامنا الشّمسيّ ما هي إلا بُقع صغيرة في تخوم هذا الفراغ الكوني الواسع.

لقد اعتمد الفلكيون الوحدة الفلكية لقياس تلك المسافات؛ بسبب هذه المسافات الهائلة بين هذه الكواكب. فالوحدة الفلكية *Astronomical unit* (*AU*) تقدر بـ 1.5×10^8 كم، والتي تعادل 9.3×10^7 ميل، وهي تساوي المسافة بين الأرض والشّمس. يبين الجدول 1.26المسافات بين الكواكب والشّمس بالوحدة الفلكية. كما يبين الجدول 1.26 أيضًا تقسيم هذه الكواكب إلى مجموعتين وصفاتها المتشابهة.

فالكواكب الدّاخليّة: عطارد، والزّهرة، والأرض، والمريخ صلبة وصغيرة نسبيًّا، وذات كثافة عالية. وتسمى

الشّكل 1.26

يبين الشّكل ترتيب الكواكب وحجمها النسبي. فترتيبها من الأقرب من الشّمس إلى الأبعد كالتالي: عطارد، الزّهرة، الأرض، المريخ، المشتري، زحل، أورانوس ونبتون. وتختلف هذه الكواكب اختلافًا بيّنًا في أحجامها، ولكنها كلها أقزام بالنسبة إلى الشمس؛ تحوي أكثر من 99% من كتله النِّظام الشّمسيّ. لاحظ أنّ المسافات بين هذه الكواكب في الشّكل ليست وفق مقياس رسم.

استطاع القدماء بيان الاختلاف بين الكواكب والنّجوم استنادًا إلى اختلاف حركتها في السّماء؛ فالنّجوم تبقى ثابتة تقريبًا في أماكنها في السّماء، في حين أنّ الكواكب تتجول فيها ؛ فكلمة (الكوكب) جاءت من الإغريقية والتي معناها النّجم المتجوّل.

الكواكب الأرضية. أما الكواكب الخارجيّة، فهي كبيرة، ولها العديد من الحلقات والأقمار، ومكونة مبدئيًّا من غازي الهيدروجين والهيليوم. وتدعى هذه المجموعة **كواكب المشتري** لأنّ أحجامها وتكوينها الغازي يشبه المشتري.

الجدول 1.26 معلومات عن الكواكب

	متوسط البعد عن الشّمس. (بعد الأرض =1 AU)	مدة الدوران (سنة)	القطر (كم)	متوسط الكتلة (الأرض=1)	متوسط الكتلة (كجم)	الكثافة (الأرض=1)	الكثافة (جم/سم^3)	الميل عن دائرة البروج
الشّمس			1392000	109,1	1.99×10^{30}	3.3×10^5	1.41	
الكواكب الأرضية								
عطارد	0.39	0.24	4880	0.38	3.3×10^{23}	0.06	5.4	7.0°
الزّهرة	0.72	0.62	12100	0.95	4.9×10^{24}	0.81	5.2	3.4°
الأرض	1.00	1.00	12760	1.00	6.0×10^{24}	1.00	5.5	0.0°
المريخ	1.52	1.88	6800	0.53	6.4×10^{23}	0.11	3.9	1.9°
الكواكب الجوفينية								
المشتري	5.2	11.86	142800	11.19	1.90×10^{27}	317.73	1.3	1.3°
زحل	9.54	29.46	120700	9.44	5.7×10^{26}	95.15	0.7	2.5°
أورانوس	19.18	84.0	50800	3.98	8.7×10^{25}	14.65	1.3	0.8°
نبتون	30.06	164.79	49600	3.81	1.0×10^{26}	17.23	1.7	1.8°
الكواكب القزمة								
بلوتو	39.44	247.70	2300	0.18	1.3×10^{22}	0.002	1.9	17°
إيريس	67.67	557	2400	0.19	1.6×10^{22}	0.002	1.9	44°

تمثيل العلوم الفيزيائية

■ مقياس النّظام الشّمسيّ

تعدّ المسافات الكونية مفزعة للعقل. ولتصور أحجام الأجرام في النّظام الشّمسيّ والمسافات بينها بشكل جيد، حاول تطبيق المسائل الآتية. استخدم معادلة المسافات التالية: المسافة= السرعة× الزمن والمعلومات من الجدول 1.26

السؤال 1

إذا كانت المسافة بين الأرض والقمر 384401 كم. فكم قطرًا للأرض يعادل ذلك؟

الحلّ: $\frac{38{,}401\ \text{km}}{12{,}760\ \text{km}} = 30$ L

أي يمكن وضع نحو 30 كرة أرضية بين الأرض والقمر.

السؤال 2

كم من الوقت يمكن أن يستغرق قيادة سيارة من الأرض إلى القمر بسرعة 55 ميلا/ ساعة؟ أعط الإجابة بالساعات والسنين.

الحلّ: المسافة= السرعة× الزمن ← الزمن = المسافة/السرعة

حول الوحدات إلى مترية.

1 كم/ ساعة= 0.62 ميل/ ساعة

(55ميل/ساعة)(1كم/0.62ميل)= 89كم/ ساعة

الزمن = 384,401كم ÷ 89 كم / ساعة = 4319 ساعة ÷ 24 ساعة ÷ 365 يوم ~ 0.5 سنة.

وهكذا تستغرق القيادة نحو نصف عام من الأرض إلى القمر بسرعة مفتوحة مقدارها 89كم/ ساعة.

السؤال 3

لو استطعت السفر إلى الشّمس بطائرة سرعتها 1000كم/ س، إليها كم سنة تحتاج لكي تصل إليها؟

الحل: الزمن=المسافة/السرعة

$=10^8 \text{ كم} \times 1.5 / 10^3 \text{ كم/ساعة}$

$=10^5 \text{ ساعة} \times 1.5 / (1 \text{ يوم}/24 \text{ ساعة})$

$= 17 \text{ سنة} (1 \text{ سنة} / 365 \text{ يوم})$

وهكذا لو استطعت السفر إلى الشّمس بطائرة سرعتها 1000كم/س دون أن تتبخر فإنك ستحتاج إلى 17 سنة

السؤال 4

إذا كان قطر الشّمس 1390000 كم فكم يعادل ذلك بالوحدات الفلكية *AU*؟ وكم قطرًا للشمس تعادل المسافة بينها وبين الأرض؟

الحلّ:

1,39 × 10 6كم× 108 × 1,5÷ *AU* كجم 0,01 *AU*

$$\frac{1\text{AU}}{0{,}010\text{AU}} = 100$$

وهكذا، فإنّ قطر الشّمس يعادل 0,01 *AU* تقريبًا. وهكذا، فإنّ المسافة بين الأرض والشّمس هي حوالي 100 مرة قطر الشّمس. وبالمقارنة بكبر حجم الشّمس، فإنّ النّظام الشّمسيّ يعدّ فضاء فارغًا نسبيًّا.

النّظريّة السّديميّة (Nebular Theory)

يعدّ النّظام الشّمسيّ شديد الانتظام لمجموعة من الأجرام، وبأنماط واضحة لتوزيع الكواكب، وأنّ هذا الانتظام لم ينشأ مصادفة، بل نشأ نتيجة عمليات فيزيائية ولدت النّظام الشّمسيّ. وهكذا، فإنّ الترتيب الملاحظ في النّظام الشّمسيّ فيه مفاتيح جيدة لطريقة تشكّله.

إنّ أيّ نظرية لتكون النّظام الشّمسيّ يجب أن تفسّر انتظامين رئيسين هما: (1) *الحركات المنتظمة لأجرام النّظام الشّمسيّ الكبيرة*. (2) *تقسيم الكواكب إلى قسمين رئيسين*: الأرضية والمشترية. وأكثر من ذلك، فإنّ أيّ نظرية لنشأة النّظام الشّمسيّ تكون قابلة للتطبيق، يجب أن تفسر الظواهر الأخرى لهذا النّظام بما فيها وجود الكويكبات والمذنبات والأقمار.

إنّ النّظريّة العلمية الحديثة التي تفي بهذه المتطلبات تسمى **النّظريّة السّديميّة**، والتي تفيد أنّ الشّمس والكواكب نشأت عن **سحابة *(Nebule)*** من الغاز والغبار (وهي كلمة لاتينية تعني الغيمة). ووفقًا لهذه النّظريّة، بدأ النّظام الشّمسيّ بالتكاثف من سحابة الغاز والغبار قبل نحو 5 بلايين سنة. ولقد كانت هذه السحابة تنتشر بشكل واسع، وبقطر يزيد آلاف المرات على قطر دوران بلوتو. ويمكن مشاهدة سحابة شبيهة في الوقت الحاضر في كوكب الجوزاء، كما يظهر في الشّكل 26. 2.

ومن السّديم الذي تشكّل فيه نظامنا الشّمسيّ، تغلّبت قوة الجاذبيّة للجزيئات على قابلية الغاز للانتشار وتعبئة الفضاء المتاح. وعندما بدأت عملية انهيار السحابة، ضمنت الجاذبية استمراريتها. إنّ قانون الجاذبيّة العام (الفصل الرابع) هو قانون مربع معكوس المسافة الذي يشير إلى أنّ قوة الجذب تزداد بشكل كبير كلما اقتربت الجسيمات بعضها من بعض. لقد حافظت السحابة على كتلة ثابتة بالانكماش والتقلص، ولقد زادت قوى الجذب بزيادة الكتلة وأخذت السحابة شكلًا كرويًّا.

ويجب أن يكون لهذه السحابة السّديمية دوران خالص خفيف، قد يكون بسبب دوران المجرة نفسها. وبعد ذلك، وفي أثناء ملايين السنين، وبانهيار المزيد من السّديم، ارتفعت درجة الحرارة، وأخذت تدور بسرعة أكبر، وأصبحت مسطحة آخذة شكل قرص. ونتيجة لذلك، تحول السّديم من غاز وغبار منتشر على شكل سحابة كروية كبيرة إلى قرص أصغر كثيرًا ذي مركز حار يدور حول نفسه، كما يظهر في الشّكل 26. 3.

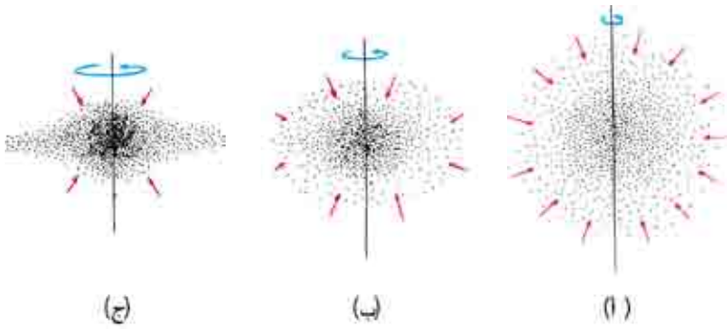
وبمزيد من الانكماش لهذا السّديم تحت تأثير الجاذبيّة، تحرر المزيد من الطّاقة بفعل تصادم الجسيمات، كما أدى هذا الانكماش أيضًا إلى زيادة سرعة الدوران حول نفسه (وفق مبدأ *حفظ العزم الزاوي* كما ورد في الفصل الثالث). وكما هو الحال في أيّ جسم منقبض يدور حول نفسه، فإنّ سرعته تزداد لأنّ الحركة الزاوية محفوظة. والمثال المعروف على ذلك هو الزلاجات الجليدية التي يزداد معدل سرعتها عندما تسحب أذرعها في اتجاه الداخل. وهكذا يعمل السّديم.

ماذا يحدث للشكل الكروي عندما يدور حول نفسه بسرعة كبيرة؟ الجواب: إنه يستوي. والمثال المألوف لذلك هو ما يعمله خباز البيتزا عندما يحول كرة العجين إلى قرص وهو يديرها بين يديه. فحتى كوكب الأرض تفلطح "استوى" قليلًا نتيجة دورانه اليومي حول محوره. أما زحل، حيث الدوران الأسرع، فقد تغير شكله الكروي بوضوح. وهكذا، فإنّ الشّكل المبدئي الكروي للسديم تحول تدريجيًّا بفعل الدوران إلى قرص تحتل مركزه *الشّمس الأولية*.

إنّ نشأة القرص الدوراني يفسّر الحركة الدورانية المنتظمة لنظامنا الشّمسيّ في الوقت الحاضر. فالكواكب كلّها تدور حول الشّمس في مستوى واحد تقريبًا؛ لأنها نشأت جميعها من القرص السّديمي المستوي نفسه.

الشّكل 2.26

تبين هذه الصورة المأخوذة من مقراب هابل سديم الجوزاء الذي يشبه السّديم الذي نشأ منه النّظام الشّمسيّ، فهي سحابة بين نجمية من الغاز والغبار ومكان لولادة النجوم.



الشّكل 3.26

(أ) السّديم الذي تشكّلت منه المجموعة الشّمسيّة التي كانت في الأصل سحابة كبيرة ومنتشرة وتدور بسرعة بطيئة. بدأت السحابة بالانهيار تحت تأثير الجاذبيّة. (ب) بانهيار السحابة، ارتفعت الحرارة حيث تحولت الطّاقة الكامنة للجاذبية إلى حرارة. وأصبح دورانها حول نفسها أسرع بفعل حفظ العزم الزاوي. (جـ) تسطحت السحابة على شكل قرص نتيجة الدوران السريع. هذا القرص المسطح الدائر حول نفسه تجمعت كتلته في مركزه الحار.

فالاتجاه الذي كان يدور فيه القرص السّديمي أصبح هو اتجاه دوران الشّمس ودوران الكواكب حولها. وهذا يفسر دوران معظم الكواكب حول نفسها في الاتجاه نفسه في وقتنا الحاضر.

■ **نقطة فحص**

كلما انكمش السّديم زادت سرعة دورانه حول نفسه. ما القاعدة الطبيعية التي تحكم ذلك؟

هل كانت هذه إجابتك؟

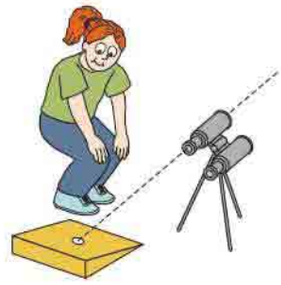
إنّ القاعدة التي تطبق على الأجرام التي تدور حول نفسها هي *العزم الزاوي*. وتعدّ هذه القاعدة إضافة إلى قاعدة *حفظ الطّاقة* من القواعد السائدة في الكون.

إنّ الجزء المركزي الحار من السّديم الشّمسيّ: لقد كانت الشّمس الأولية كتلة من الغاز والغبار تولّدت منها الشّمس عندما أشعل في جوفها الاندماح الحراري النووي. وكان القرص المحيط المصدر الذي نشأت عنه الكواكب الأخرى. ولقد تجمعت المواد من القرص الدوار في بقع كثيفة معينة أكثر منها في مواقع أخرى. ومن الممكن أن تكون الجزيئات الدقيقة للغاز والغبار قد التصقت معًا بفعل الجاذبيّة أو الجاذبيّة الكهربائية الساكنة. ونتيجة لزيادة كتلتها، فإنّ هذه التجمعات أعطت قوى جاذبية بعضها إلى بعض أقوى من القوى المؤثرة في جاراتها في القرص نفسه. وهكذا سحبت المزيد من المواد إليها. ولقد أدى ذلك إلى نمو هذه الأجرام إلى ما يعرف *بالكويكبات الصغيرة*، والتي تراوحت بين الجلاميد وعدة كيلومترات. ولقد نمت هذه الكويكبات الصغيرة بفعل تصادمها معًا إلى أن سيطرت جاذبيتها على ما حولها من مواد وأصبحت كواكب كاملة النمو.

لقد نمت الكويكبات الصغيرة إلى كواكب في الوقت نفسه تقريبًا الذي بدأت فيه الشّمس الأولية الاندماح النووي. (سنعود إلى حرارة الاندماج النووي للشمس في المقطع 2.26) فعندما حدث الاندماج النووي، وأخذت الشّمس بإشعاع الطّاقة، دفئ القرص السّديمي، وأصبحت حرارة الجزء الداخلي أعلى من الجزء الخارجي. ونتيجة لذلك، كان تطور الكواكب الدّاخليّة مختلفًا عن تطوّر الكواكب الخارجيّة؛ فالكواكب الدّاخليّة تكونت من المواد الصلبة المتبقية في درجات الحرارة العالية، ولذا أصبحت كواكب صخرية. وبخلاف ذلك، فإنّ الكواكب الخارجيّة تكونت في غازات الهيدروجين والهيليوم التي التأمت في المناطق الباردة من النّظام الشّمسيّ بعيدة عن الشّمس. وهكذا نرى أنّ النّظريّة السّديميّة تفسّر نشأة الكواكب وتقسيمها إلى مجموعتين مختلفتين.

■ 2.26 الشّمس

تنتج الشّمس الطّاقة من حرارة الاندماج النووي للهيدروجين، وتحوله إلى هيليوم؛ ففي كلّ ثانية يندمج نحو 657 مليون طن من الهيدروجين منتجًا 653 مليون طن من الهيليوم. ويتحول الفرق الضائع في الكتلة وهو 4 ملايين طن إلى طاقة تنفث على شكل إشعاعات. لقد بدأ هذا التحول من الهيدروجين إلى الهيليوم في الشّمس منذ نشأتها قبل 5 بلايين سنة تقريبًا. ويُتوقّعُ له أن يستمر إلى خمسة بلايين سنة أخرى. يصل إلى الأرض جزء بسيط جدًّا من هذه الطّاقة الشّمسيّة، ويتحول بفعل التمثيل الضّوئيّ النباتيّ إلى طاقة كيميائية تخزن في الجزيئات الكبيرة. وتعدّ هذه الجزيئات الغنية بالطّاقة المصدر الأولي للطاقة للكائنات الحية جميعها في هذا الكوكب. وهكذا فإنّ الشّمس، وهي أقرب النّجوم للأرض، تعد مصدر الطّاقة للنّظام الشّمسيّ كلّه.



الشّكل 4.26
لا تنظر إلى الشّمس مباشرة على الإطلاق. وبدلًا من ذلك، تستطيع الحصول على منظر جميل لها بتركيز صورتها بالمنظار على سطح أبيض. فإذا كانت الشّمس مكسوفة بالقمر، وهذا حدث نادر، فإنّ الشّمس ترى على صورة هلال. وغالبًا ما تظهر صورة الشّمس بقعًا شمسية.

إنّ الطّاقة الشّمسيّة تتولد عميقًا في لبّ الشّمس الذي يشكّل نحو 10% من حجم الشّمس كاملاً. وهو حار جدًّا؛ حيث تزيد حرارته على 15 مليون درجة كلفن. وهو كثيف جدًّا؛ حيث تزيد كثافته على كثافة الرصاص الصلب بأكثر من 12 مرة. أما الضغط على هذا اللب فيعادل 340 بليون مرة الضغط الجوي للأرض! ونظرًا لهذه الظروف الشديدة، فإنّ الهيدروجين والهيليوم والكميات الصغيرة من العناصر الأخرى توجد على شكل بلازما. (البلازما هي طور من أطوار المادة ما بعد الغازية. وهي تتكون من أيونات وإلكترونات. وليس على شكل ذرات. حيث تجرد الذرات من إلكتروناتها بفعل الطّاقة العالية). تتحرك نوى هذه البلازما بسرعة عالية وكافية لحدوث الاندماج النووي. كما ذكر في الفصل 13 - 7. وترتفع الطّاقة المحررة نتيجة هذا الاندماج النووي إلى السطح حيث تؤدي بالغازات إلى إطلاق أطياف واسعة من الإشعاعات الكهرومغناطيسية من تحت الحمراء إلى الأشعة السّينيّة.

الشّكل 5.26
البقع الشّمسيّة على سطح الشّمس مناطق باردة نسبيًّا، ونقول نسبيًّا لأنّ حرارتها تزيد على 4000 كلفن. وتبدو سوداء بخلاف ما يحيط بها، والذي تبلغ حرارته 5800 كلفن.

إنّ سطح الشّمس طبقة متوهجة درجة حرارتها 5800 كلفن مكونة من البلازما. وهذه أبرد كثيرًا من لبّ الشّمس. ولكنها حارة بما يكفي لتوليد الكثير من الضوء. تسمى هذه الطبقة الغلاف الضوئي والتي يقارب سمكها 500 كم. يوجد في الغلاف الضوئي مناطق باردة نسبيًّا تظهر على شكل **بقع شمسيّة *(Sunspots)*** عندما ترى من الأرض. وتكون هذه البقع الشّمسيّة أبرد وأشدّ عَتَمَة من بقية الغلاف الضوئيّ وتتكوّن بفعل الحقل المغناطيسي الذي يعترض الغازات الحارة عند صعودها إلى السطح. وكما يبدو في الشّكل 26. 4. يمكن مشاهدة البقع الشّمسيّة بتركيز صورة الشّمس بالمقراب أو المنظار على سطح أبيض مستو. تبلغ البقع الشّمسيّة هذه ضعف حجم الأرض. وهي متحركة بفعل دوران الشّمس حول نفسها. وتستمر مدة أسبوع تقريبًا. وغالبًا ما تتجمع على شكل مجموعات. كما يظهر في الشّكل 26. 5.

تدور الشّمس ببطء حول محورها. وبما أنّ الشّمس مائعة وغير صلبة. فإنّ المناطق المختلفة من عروضها تدور بسرعات مختلفة؛ فالمناطق الاستوائية تدور مرة واحدة كلّ 25 يومًا. في حين تدور في العروض الأعلى حتى 36 يومًا لتكمل دورة واحدة. وهذا الاختلاف في الدوران التفاضلي يعني أنّ سطحها عند خط الاستواء يسبق السطح إلى الشمال أو الجنوب. يؤدي اختلاف دوران الشّمس حول نفسها إلى طيّ الحقل المغناطيسي الشّمسيّ الذي يندفع مكونًا البقع الشّمسيّة. المذكورة سابقًا. وتحريفه وتشوّهه. وينعكس القطبان المغناطيسيان مرة كلّ 11 سنة. كما يبلغ عدد البقع الشّمسيّة حدّه الأعلى أيضًا كلّ 11 سنة. إذن فالدورة الكاملة للنشاط الشّمسيّ هي 22 سنة.

الشّكل 6.26
يمكن أن يرى الغلاف الزهري الملون عندما يحجب القمر معظم ضوء الغلاف الضوئي عند كسوف الشّمس.

يعلو طبقةَ الغلاف الضّوئيّ (*Photosphere*) غلافٌ شفافٌ سمكه 10,000كم يسمى الغلاف الملون (*Chromosphere*) الذي يمكن مشاهدته في حالة الكسوف بتوهج زهري اللون يحيط بالشّمس المكسوفة. إنّ الغلاف الملون أسخن من الغلاف الضوئيّ. حيث تصل درجة حرارته إلى 10,000 كلفن. وينتج لونه الزهري الجميل، الموضح في الشّكل 6.26. بسبب انبعاث الضوء من ذرات الهيدروجين.بعد الغلاف الملون. توجد جداول وخيوط متحركة إلى الخارج ذات حرارة عالية من البلازما منعطفة بفعل الحقل المغناطيسي الشّمسيّ. ويسمى هذا الجزءُ الخارجي للغلاف الجوي للشمس الإكليلَ(*Corona*). والذي يمتد إلى الخارج عدة ملايين من الكيلومترات (الشّكل 26. 7).

ودرجة حرارة الإكليل مرتفعة جدًّا، قد تصل إلى مليون درجة كلفن، وتتولد فيه معظم الأشعة السينية الجبارة. وبما أنّ الإكليل ليس كثيفًا جدًّا، فإنّ سطوعه ليس شديدًا كسطح الشّمس، والذي يجعل الإكليل آمنا عند رصده خلال الكسوف الكلي للشمس، وخلال هذا الوقت فقط. إنّ السرعة الكبيرة للبروتونات والإلكترونات يلقى بها خارج الإكليل لتولد *الرّياح الشّمسيّة* ، والتي تقوي الشفق القطبي aurora على الأرض، وتولد الذيول في المذنبات.

الشّكل 7.26
يشاهد الإكليل الأبيض اللؤلئي فقط عند كسوف الشّمس. لاحظ كيف أنّ هذه الصورة الاستثنائية للإكليل، والتي أوضحت جزءًا من الغلاف الملون الزهري وجزءًا من وجه القمر الجديد تضاء بإنارة خافتة بفعل الضوء المنعكس عن الأرض بشكلها الكامل. وبعبارة أخرى، لو كنت واقفًا على سطح القمر عندما التقطت هذه الصورة، فإنك سترى ظلك خافتًا بفعل الإضاءة الكاملة للأرض المشرقة من فوقك.

■ **نقطة فحص**

1. هل كانت كتلة الشّمس أكبر من اليوم قبل نحو 1000 سنة؟ دافع عن إجابتك.
2. ما الأقل سمكًا: الغلاف الضوئيّ، أم الغلاف الملون، أم الإكليل؟ أيها أعلى حرارة؟ ما الأوسط منها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. نعم، أكبر قليلًا مقارنة بكتلتها الكبيرة في الوقت الحاضر. فالشّمس تفقد قليلًا من كتلتها عندما تندمج نوى الهيدروجين لإعطاء نوى هيليوم.
2. الغلاف الضوئيّ هو الأقلّ سمكًا. والإكليل هو الأعلى حرارة. الغلاف اللوني هو الطبقة الزهرية التي تعلو الغلاف الضوئيّ وتقع أسفل الإكليل الضخم.

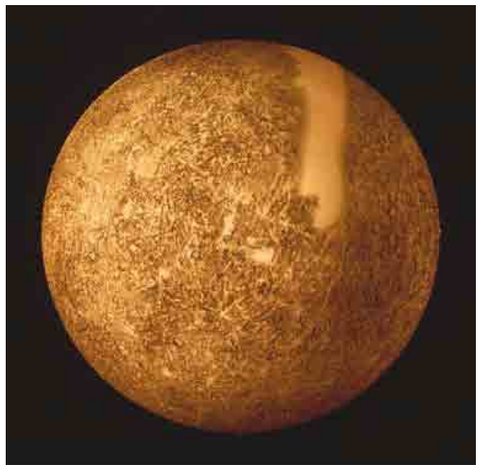
لمعلوماتك

■ يتكون الأسبوع من سبعة أيام؛ لأنّ الأوربيين القدماء قرروا تسمية الأيام نسبة إلى الأجرام السماوية المتجولة السبعة التي أمكن رصدها. فأسماء الأيام بالإنجليزية اشتقت من لغة قبيلة التيوتونك الجرمانية التي عاشت فيما يعرف اليوم بألمانيا. فبلغة التيوتونك؛
الشّمس *Sunday=sun*، الأحد، القمر *Monday=moon*، الاثنين، المريخ، الثلاثاء-*Tuesday=twin*، *mars*، الأربعاء، عطارد *Wednesday=woden-mercu-ry*، المشتري *Thursday=thor-jupiter*، الخميس، الزّهرة *Friday=fria-venus*، الجمعة، وزحل *Saturday=sturn* الأحد.

3.26 الكواكب الدّاخليّة

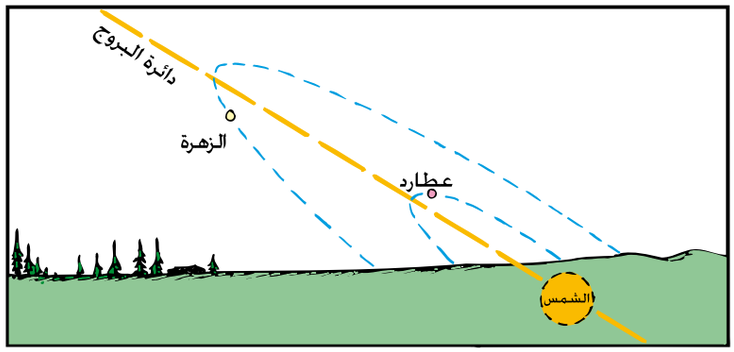
مقارنة بالكواكب الخارجيّة، فإنّ الكواكب الدّاخليّة الأربعة والأقرب إلى الشّمس هي الأقرب بعضها إلى بعض أيضًا. وكل واحد من هذه الكواكب الصخرية يحتوي على معادن تكوّن القشرة الصلبة له.

عطارد (Mercury)



يعدّ عطارد، وكما يبدو من الشّكل 26. 8، أكبر قليلًا من قمر الأرض، ويشبهه إلى حدّ بعيد في المظهر. إنه أقرب الكواكب إلى الشّمس. وبسبب قربه منها، فهو الكوكب الأسرع، حيث يدور حول الشّمس في 88 يومًا من أيام الأرض التي تساوي سنته. يدور عطارد حول نفسه ثلاث مرات في أثناء دورتين كاملتين له حول الشّمس. وهذا يجعل يومه طويلاً جدًّا وحارًّا جدًّا، حيث تصل حرارته إلى 430°س. وبسبب حجم عطارد الصغير وضعف جاذبيته، فإنّ له كمية صغيرة جدًّا من الغلاف الجوي.

الشّكل 8.26
هذه الصورة فسيفسائية لعطارد تم الحصول عليها من قبل سفينة مارنر 10 في مهمتها خلال السنتين 1975 - 1974. المناطق التي لا تتوافر لها بيانات موضحة بالأبيض .
عطارد مشوه بسبب التصادمات مع النيازك عطارد كوكب صغير بحجم وكتلة 5% من حجم وكتلة الأرض.



الشّكل 9.26
بما أنّ دورتي عطارد والزّهرة تقعان داخل دورة الأرض حول الشّمس، فهما دائمًا تقعان أقرب إلى الشّمس في سمائنا. وعند الغروب أو الشروق يشاهدان كنجوم الغروب أو كنجوم الشروق

فغلافه الجوي يعادل فقط واحد على تريليون من كثافة الغلاف الجوي للأرض. فهو مفرغ من الهواء أكثر مما يمكن الحصول عليه في المختبرات على سطح الأرض. وهكذا فمن الغطاء من الغلاف الجوي، ولعدم وجود الرياح التي تنقل الحرارة من منطقة إلى أخرى، فإنّ ليل عطارد بارد جدًّا حيث يصل إلى 170-° س. يظهر عطارد جسمًا لامعًا قليلًا في الليل، ويشاهد بصورة أفضل كنجم في مساء شهري مارس وأبريل، أو نجم صباحي في سبتمبر وأكتوبر. إنّه يشاهد بجانب الشّمس عند الشروق أو الغروب مباشرة.

الزّهرة (Venus)

إنّ كوكب الزّهرة هو الكوكب الثاني بُعدًا عن الشّمس، والذي يظهر كجسم أشبه بالنجم بعد مغيب الشّمس. ولهذا يدعى غالبًا "نجمة المساء" كما يبدو في الشّكل 26. 9. وبالمقارنة مع الكواكب الأخرى، فإنّ كوكب الزّهرة هو الأقرب شبهًا للأرض من حيث الحجم والكثافة والبُعْد عن الشّمس. ومع ذلك، وكما يبدو من الشّكل 26. 10، فإنّ الغلاف الجوي للزهرة كثيف، ويحتوي غطاء من الغيوم المعتمة التي تؤدي إلى ارتفاع حرارة سطحه حتى 470° س. يتكوّن الغلاف الجوي للزهرة بشكل رئيس من ثاني أكسيد الكربون الذي يشكّل 96% . وعلينا ألا ننسى من الفصل 24 أنّ ثاني أكسيد الكربون هو أحد غازات الدفيئة. وهذا يعني أنّ ثاني أكسيد الكربون يمنع الأشعة تحت الحمراء من الهروب من سطح الأرض إلى الفضاء الخارجي، ويسهم في رفع حرارته. ويحشر الغطاءُ السميك من ثاني أكسيد الكربون الذي يحيط بالزّهرة الحرارةَ على سطحه بفاعلية. إنّ هذا السبب، بالإضافة إلى قرب الزّهرة من الشّمس، يجعل هذا الكوكب أكثر الكواكب حرارة في النّظام الشّمسيّ.

وهناك فرق آخر بين الزّهرة والأرض في كيفية دوران كلّ منهما حول نفسه؛ فكوكب الزّهرة يستغرق 243 يومًا من أيام الأرض ليدور دورة كاملة حول نفسه، في حين يستغرق 225 يومًا من أيام الأرض ليدور دورة كاملة حول الشّمس، كما أنه يدور في اتجاه معاكس لدوران الأرض.

وهكذا فالشّمس على الزّهرة تشرق من الغرب وتغيب في الشرق. ولكن بما أن غلاف الغيوم كثيف جدًّا، فإن شروق شمسه أو غروبها لا يرى من سطحه على الإطلاق.

إنّ الدوران البطيء لكوكب الزهرة حول نفسه يعني أنّ غلافه الجوي ليس موزعًا بحسب ظاهرة كوريولوس التي وردت في الفصل 24. ونتيجة لذلك، فإنّ الرّياح والطقس على سطحه قليلة جدًّا. وبدلًا من ذلك، فإنّ الغاز الحار الكثيف الخانق موجود ليلاً ونهارًا.

لقد هبط في السنوات الأخيرة 17 مجسًّا على سطح الزّهرة. ومر بجانبه 18 مركبة فضائية (بشكل ملحوظ *Pioneer Veuns* عام 1978م ومجلان 1993م). ومن بيانات السفن الفضائية، استطاع العلماء معرفة سبب اختلاف الغلاف الجوي بين كلّ من الزهرة والأرض. ووفق النموذج الأكثر قبولا فإنّ كمية المياه كانت متساوية بينهما عندما تكوّنا. وعلى أي حال، فالزّهرة أقرب قليلًا للشمس. كما أنها تدور حول نفسها بسرعة أقلّ كثيرًا من سرعة الأرض. هذان العاملان يسهمان في جعل سطح الزّهرة المقابل للشمس أدفأ كثيرًا من الأرض. وبزيارة دفء كوكب الزّهرة، فإنّ معظم مائه قد تبخر إلى غلافه الجوي. وكما هو الحال في ثاني أكسيد الكربون، فإنّ بخار الماء هو غاز دفيئة أيضًا.

الشّكل 10.26
هذه الصورة لكوكب الزهرة، والتي التقطت من قبل رواد ناسا NASA'S Poiner Venus Orbiter بكاميرات حساسة للضوء فوق البنفسجي، تبين الكثير من مظاهر الغيوم للكوكب.

لمعلوماتك

■ اعتمد الأمريكيون القدماء في حياتهم على ثلاثة تقاويم. فلقد كان تقويمهم الدنيوي اللاديني والذي يرشدهم إلى موعد البذار مثلاً يقوم على دوران الأرض حول الشّمس كلّ 365 يومًا. أما تقويمهم الديني فيستند إلى دوران الزّهرة حول الشّمس كلّ 260 يومًا والذي أعطاهم تقويمًا بواقع 20 يومًا للأسبوع و 13 يومًا للشهر. فكل من هذين التقويمين كان دوريًّا ولم يأخذ في الحسبان السنوات اللاحقة. ولهذا السبب، طوروا تقويم الحساب الطويل باستخدام مفهوم الصفر. لقد قاموا بذلك قبل عدة قرون من استخدام الهنود لهذا المفهوم.

لذا، فإنّ تبخر المزيد من المياه إلى الغلاف الجوي سبَّب مزيدًا من الدفء، والذي أدى بدوره إلى المزيد من تبخر المحيطات مسببًا المزيد من الدفء مرة أخرى، مما أدّى إلى الاحترار الشامل! لقد احتوت محيطات الزّهرة المبكرة على كميات كبيرة من الكربونات الذائبة كما الحال بالنسبة إلى الأرض. وعندما تبخرت المحيطات، تحولت هذه الكربونات إلى ثاني أكسيد الكربون، وانتقلت إلى الغلاف الجوي مؤدية إلى زيادة في دور الدفيئة. لقد تعرض بخار الماء في المراحل المبكرة للغلاف الجوي للزهرة إلى الأشعة فوق البنفسجية للشمس، والتي أدت إلى تكسير الماء إلى مكونَيْه: الأكسجين والهيدروجين. ولقد انطلق الهيدروجين إلى الفضاء الخارجي، في حين تفاعل الأكسجين كيميائيًّا مع المعادن السّطحية. وأخيرًا، انتهى تزويد الكوكب بالمياه إلى حيث لا رجعة أبدًا. فكلّ هذه البقايا وكما نراها اليوم عبارة عن غلاف جوي سميك من غاز الدفيئة ألا وهو ثاني أكسيد الكربون.

لمعلوماتك

■ لم يتسرب ماء الزّهرة كلّه إلى الفضاء الخارجي، بل تفاعل جزء منه مع ثاني أكسيد الكبريت المولد من البراكين معطيًا حامض الكبريتيك، والذي يزركش الآن المستويات العليا من الغلاف الجوي للزهرة، والذي يقف كذلك وراء هذا التفاعل مع ثاني أكسيد الكبريت وبشكل رئيس الماء الذي يحتوي على نظائر الهيدروجين الثقيلة، والتي تعرف بالديتيريوم.ولقد أثبت ذلك بالقياس المباشر بالمجسمات الفضائية التي بينت نسبة الديتيريوم المرتفعة بشكل غير عادي. وهذا بدوره عزز النّظريّة التي تقول إنّ مياه الزّهرة فقدت بالانبعاث بفعل الدفيئة، ولو لم يحدث ذلك، لكانت نسبة الديتيريوم في غلاف الزّهرة الجوي تشبه تلك الموجودة على الأرض.

■ **نقطة فحص**

كلما زاد عمر الشّمس، زادت حرارتها. كيف يؤثر ذلك في كمية بخار الماء في غلافنا الجوي؟

هل كانت هذه إجابتك؟

مبدئيًّا، زيادة الحرارة من الشّمس تزيد معدل التبخر من البحار، وزيادة بخار الماء في الغلاف الجوي تؤدي إلى تعزيز دور الدفيئة، مما يؤدي إلى ارتفاع الحرارة، والذي سيؤدي بدوره إلى مزيد من التبخر ... وهكذا. وكلما اختفت المحيطات، زادت مستويات ثاني أكسيد الكربون بشكل مثير، مؤكدة على أنّ أثر الدفيئة يبقي الماء في حالة تبخر.

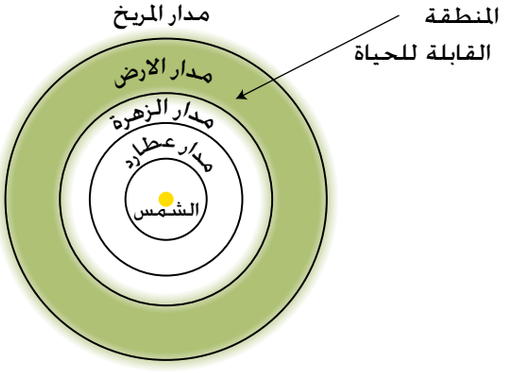
وعلى كل حال، فإنّ الأشعة فوق البنفسجية من الشّمس ستؤدي إلى نفاد الماء من الغلاف الجوي. وهكذا، فكلما ارتفعت حرارة الشّمس انخفضت كمية بخار الماء في الغلاف الجوي إلى الصفر. وسوف نشارك الزّهرة هذه الظاهرة، ولكن بإمكانك أن تتنفس الصعداء عندما تعلم أن هذا الأمر سيحتاج إلى نحو بليون سنة.

الأرض (Earth)

يقع كوكب الأرض، وهو موطننا الذي نعيش عليه، في النطاق القابل للحياة في النّظام الشّمسيّ، حيث إنه المكان الذي ليس قريبًا جدًّا من الشّمس ولا بعيدًا جدًّا عنها. لذا، فهو يحتوي على الماء الذي يكون على الغالب في طوره السائل كما يبدو في الشّكل26. 11. هناك تزويد غزير من المياه السائلة للأرض حيث يغطي نحو 70% من سطحها بالماء، والذي جعل هذا الكوكب أزرق اللون مما أدى إلى تسميته الكوكب الأزرق.

تدعم المحيطات *دورة ثاني أكسيد الكربون* على الأرض، والتي تعمل كمنظم للحرارة، مما يمنع درجة حرارة الكوكب من الوصول إلى حدود الجفاف. فمثلًا، لو تجمدت الكرة الأرضية بالكامل، فإنّ ثاني أكسيد الكربون المنبعث من البراكين لا يمتصّ أبدًا من قبل المحيطات. وبالعكس من ذلك، لو تزايدت حرارة الأرض أكثر فأكثر، فإنّ المزيد من الماء سيتبخر. وسيؤدي ذلك إلى مزيد من الأمطار التي ستزيل ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي.

وبانخفاض ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي، فإنّ أثر الدفيئة سينخفض إلى حده الأدنى، وستبرد الأرض. وهكذا، فنحن لسنا محظوظين على سطح الأرض ببعدنا المناسب عن الشّمس فحسب، ولكن أيضًا احتواء غلافنا الجوي كميات مناسبة من الماء وثاني أكسيد الكربون تحافظ على الحرارة ضمن معدلاتها المفضلة للحياة. بل وأكثر من ذلك، فإنّ معدل دوران الأرض اليومي والسريع نسبيًّا يسمح بانخفاض قليل لدرجة الحرارة في الجانب الليلي للأرض. وهكذا، فإنّ الحدود القصوى لدرجات الحرارة ليلاً ونهارًا تبقى معتدلة.



الشّكل 11.26
تقع الأرض في الجانب الداخلي لنطاق الاستيطان، حيث الظروف مناسبة للحياة كما نعرفها.

الشّكل 12.26
الأرض؛ الكوكب الأزرق. التقط هذه الصورة رواد *أبوللو 17* عندما عادوا من آخر بعثة مأهولة للقمر عام 1972م. إنها الصورة الوحيدة الموجودة للأرض بشكلها الكامل، وهي مأخوذة عن بعد يمكن إدراكه. هل بإمكانك أن تميز أنّ الصورة مأخوذة في صيف نصف الكرة الجنوبي؟

ولمزيد من المعلومات عن الجيولوجيا والطقس وتاريخ كوكب الأرض، راجع الفصول 20-25 التي تتناول علوم الأرض.

■ **نقطة فحص**

لو حُميَ كوكب الزّهرة بواسطة دورة ثاني أكسيد الكربون في يوم ما، فما الخطأ الذي قد يكون حدث؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إن دورة ثاني أكسيد الكربون بحاجة إلى ماء. لذا، فإنّها تتكسّر عندما يتفكك الماء بفعل الأشعة فوق البنفسجية.

المريخ (Mars)

لقد جذب المريخ الانتباه في رغبة أن يكون عالمًا آخر، بل عالمًا قابلًا للعيش لأنّه يقع على الحافة الخارجيّة لنطاق الاستيطان. يبلغ حجم المريخ أكثر قليلًا من نصف حجم الأرض؛ فكتلته تعادل تُسْعَ كتلة الأرض تقريبا. وله لبّ، وستار، وقشرة، وغلاف جوي رقيق، وبلا غيوم تقريبًا. وللمريخ أقطاب مغطاة بالجليد، وأطوال فصوله ضعف أطوال فصول الأرض؛ لأنّ المريخ يستغرق نحو سنتين من سني الأرض ليدور حول الشّمس. يدور كلّ من المريخ والأرض حول المحور بالمعدل نفسه تقريبًا، وهذا يعني أنّ لهما طول اليوم نفسه تقريبًا.

عندما يكون المريخ أقرب ما يمكن إلى الأرض، وهذا ما يحدث كلّ 15 - 17 سنة، فإنّ سطوعه ولونه المتورّد يفوق أكثر النّجوم تألقًا.

يتكون الغلاف الجوي للمريخ من 95% ثاني أكسيد الكربون تقريبًا، ونحو 0,15% من الأكسجين. وبما أنّ هذا الغلاف الجوي رقيق نسبيًّا أيضًا، فإنه لا يحتبس الحرارة من خلال الدفيئة كما يقوم به الغلاف الجوي لكلّ من الأرض والزّهرة. ولهذا، فإنّ حرارة المريخ عادة ما تكون أقلّ من حرارة الأرض؛ حيث يتراوح ما بين 30° س في النهار على خط الاستواء إلى 130- ° س في الليل المتجمد. ولو تمكنت من زيارة المريخ يومًا ما، فلست بحاجة إلى سترة مطرية؛ لأنّ بخار الماء قليل جدًّا في غلافه الجويّ، وهو بعيد عن إمكانية حدوث أمطار. حتى إنّ الجليد القطبيّ على قطبيه يتكوّن مبدئيًّا من ثاني أكسيد الكربون. كما أنّك لست بحاجة إلى حذاء واقٍ من الماء؛ لأنّ الضغط المنخفض لغلافه الجوي لا يسمح بوجود برك أو بحيرات.

إنّ وضع المريخ يدلّ على أنّ الماء كان موجودًا بوفرة في ماضيه البعيد. فالقنوات على سطح المريخ التي يبدو أنها نُحتت بالمياه، تشاهد من السّفن الفضائية التي تدور حول هذا الكوكب. ولكن عند الهبوط عليه، يبدو جافا جدًّا، وذا رياح عاصفة. وبما أنّ كثافة غلافه الجوي قليلة، فإنّ الحرارة الموزعة بشكل غير متساو تعطي رياحًا أسرع عشر مرات من تلك التي على سطح الأرض.

في عام 2004م، اكتشفت إحدى سفن الفضاء التي دارت حوله دلالات على وجود غاز الميثان في غلافه الجوي. وهذا غير عاديّ؛ لأنّ الميثان يتحلل سريعًا، وهذا يدلّ على أنّ هذا المركب ينتج في الوقت الحاضر.

(أ)

(ب)

الشّكل 13.26
(أ)اكتشاف المريخ في NASA's (وكالة الفضاء الأمريكية) روفر، سبريت حيث تحمل الكاميرات على ساريتها البيضاء، والتي التقطت صورًا بانورامية لسطح المريخ. (ب) لقد التقطت Spirit في يونيو 2004 م صورًا مركبة لهذا المنظر الملون حقيقيًّا لمنطقة على المريخ سميت جبال كولومبيا . ولقد تنقلت الآلية لاحقًا إلى التلال لتحليل تركيبها.

إنّ المصدر المنطقي لهذا الغاز هو النشاط البركاني الحالي الذي يمكن أن يؤدي إلى ذوبان الجليد تحت السطحي، وإنتاج الماء السائل. وفي الحقيقة، وجد العلماء دلائل على حدوث تسرب للمياه الجوفية السائلة إلى السطح تحدث حاليًّا منذ أن بدؤوا مسح المريخ من الفضاء. ولكن سرعان ما يتبخر هذا الماء من السطح، أو يتجمد، أو يتسامى. إنّ وجود برك تحت السطح مدفأة بالبراكين وحاوية للماء السائل قد يأوي أشكالًا من الحياة المجهرية.

للمريخ قمران صغيران هما: فوبوس الداخليّ وديوموس الخارجيّ. وكلاهما له شكل حبة البطاطس، ويحوي على سطحه فوهات نيزكية. وأغلب الظن أنّ مصدرها الكويكبات. يدور فوبوس في الاتجاه الشرقي نفسه الذي يدور فيه المريخ حول نفسه (كما هو الحال في قمر الأرض) وعلى بعد نحو 6000 كم في أثناء 7.5 ساعة فقط، ويظهر من المريخ وكأنه بنصف حجم قمرنا. أما حجم ديموس فنحو نصف حجم فوبوس، ويدور حول المريخ في 3.30 ساعة، وعلى بعد 20000 كم من سطح المريخ.

لماذا تكون الكواكب مستديرة؟ تقترب الأجزاء المكونة للكواكب جميعها بعضها من بعض بفعل الجاذبيّة المشتركة. لا توجد زوايا للكواكب لأنها، ببساطة، تسحب نحو الداخل. وهكذا، فالجاذبيّة هي سبب استدارة الكواكب والأجرام السماوية الأخرى.

4.26 الكواكب الخارجيّة

الكواكب الخارجيّة: المشتري، وزحل، وأورانوس، ونبتون، كواكب عملاقة غازية ذات كثافة منخفضة. وكلّ واحد منها يتكون من لبّ صخريّ معدنيّ كتلته أكبر كثيرًا من الكواكب الأرضية. لقد كانت قوى الجذب للب هذه الكواكب قوية إلى درجة أنها أزالت الغازات كلّها في مراحل تشكّلها الأولى من السّديم، وخاصة الهيدوجين والهيليوم. ولقد أكملت اللباب جمع الغازات حتى اشتعلت الشّمس وهبت الرياح الشّمسيّة مشتتة ما تبقى من الغازات بين الكوكبية. كان لبّ المشتري أول ما تطوّر في هذه المجموعة. لذا، فإنّه أخذ الوقت الأطول لجمع الغازات قبل أن تشتعل الشّمس. ولهذا السبب أصبح حجمُ المشتري الأكبرَ في الكواكب الخارجيّة. وهناك صفة أخرى عاملة، وهي أنّ هذه الكواكب جميعها ذات حلقات، وخصوصًا زحل الأكثر شهرة ووضوحًا. وسنناقش هذه الكواكب الخارجيّة وفق ترتيب بُعْدها عن الشّمس.

المشتري (Jupiter)

يعدّ المشتري أكبر هذه الكواكب. كما أنّ لونه الأصفر في ليل سمائنا هو الأكثر سطوعًا من أيّ نجم. يدور المشتري حول محوره سريعًا في عشر ساعات، حيث تؤدي هذه السرعة إلى تسطحه إلى درجة أنّ قطره الاستوائي أكبر من قطره القطبي بنحو 6%. وكما في الشّمس، فإنّ أجزاء المشتري لا تدور كلّها معًا في تناسق وانسجام. فالأجزاء الاستوائية تتم دورتها حول نفسها قبل عدة دقائق من إتمام مناطق العروض المجاورة الدنيا والعليا دورتها. إنّ الضغط الجوي على السطح الصخري للمشتري أكبر مليون مرة من الضغط الجوي على سطح الأرض. فالغلاف الجوي للمشتري يتكوّن من 82% هيدروجين، و17% هيليوم، و1% ميثان وأمونيا وغازات أخرى.

إنّ معدل قطر المشتري أكبر من معدل قطر الأرض 11 مرة، وهذا يعني أنّ حجم المشتري يزيد على حجم الأرض 1000 مرة . أما كتلته، فهي أكبر من كتلة الكواكب كلّها مجتمعة. ونظرًا لقلة كثافته التي تعادل ربع كثافة الأرض، فإنّ كتلته تعادل 300 كتلة الأرض. ولقد بينت الاستقصاءات أنّ لبّه مكوّن من كرة صلبة تعادل كتلتها 15 ضعف كتلة الأرض كلها، وهي مكونة من حديد ونيكل ومعادن أخرى.

إنّ أكثر من نصف حجم المشتري بحر من الهيدروجين السائل. وتحت هذا البحر، تقع طبقة داخلية من الهيدروجين المضغوط في الحالة الفلزية السائلة، فيها إلكترونات موصلة تتدفق معطية الحقل المغناطيسي الضخم للمشتري. إنّ هذا الحقل المغناطيسي القوي حول الكوكب يلتقط الدقائق العالية الطّاقة، ويشكّل حزمًا إشعاعية تعادل 400 مليون مرة طاقة حزم فان آلين حول الأرض. إنّ مستويات الإشعاع المحيطة بالمشتري هي الأعلى تسجيلًا في الفراغ الكوني.

لمعلوماتك

■ يقترب المشتري من الحد الذي إذا أضيفت بعده المواد إلى الكوكب انكمش حجمه. وهذا يشبه عمود الوسائد. فبوضع المزيد من الوسائد بعضها فوق بعض يزداد ارتفاعها إلى أن يصل إلى حدّ أن وزن الوسائد العليا تضغط على السفلى فيصبح عمود المخدات أقصر. ومن الطريف أنّ المشتري أكبر من أصغر النّجوم، وعلى الرّغم من ذلك، فكتلتها أكبر من كتلة المشتري 80 مرة.

الشّكل 14.26
المشتري، مع قمره أيو (النقطة البرتقالية فوق الكوكب) ويوربا (النقطة البيضاء إلى اليمين من الكوكب)، وكما شوهد من المركبة *فويجير 1* في فبراير 1979م. أما البقعة الحمراء الضخمة (أسفل يسار)، التي هي أكبر من الأرض، فهي نظام من الأعاصير حيث الرياح شديدة ومضطربة.

الشّكل 15.26
تبين هذه اللوحة الفنية الشفق القطبي (زهري) في الغلاف الجوي العلوي للمشتري. فالغيوم الرعدية تظهر تحت الشفق، كما يشاهد أقرب أقماره أيو إلى يسار الوسط. إنّ الشفق الذي يشبه الضوء الشمالي للأرض يتكون من الدقائق المشحونة من الرياح الشّمسيّة وجزئيات الغاز المثارة في أعلى الغلاف الجوي. فالجزيئات الغازية تصدر الضوء عندما تعود إلى حالتها غير المثارة.

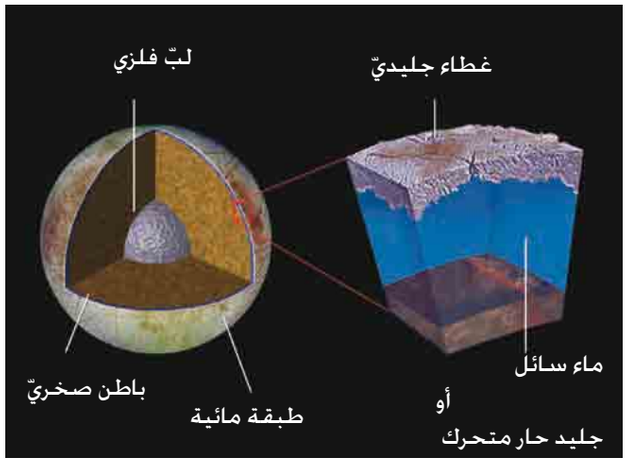
إن كنت تخطط لزيارة المشتري، فاختر أيًّا من أقماره بدلا منه. فللمشتري 63 قمرًا على الأقل بالإضافة إلى حلقة خافتة. لقد اكتشف جاليليو الأقمار الكبيرة الأربعة عام 1610؛ أيو ويوربا هما بحجم قمرنا. أما جانيدة وكاليستو فهما بحجم عطارد (الشّكل 16.26). هناك نشاط بركاني للقمر أيو أكبر من نشاط أيّ جرم في المجموعة الشّمسيّة. وربما يكون يوربا أكثر ما يثير الاستغراب بينها؛ حيث يتكون سطحه من ماء متجمد. كما يبدو من الشّكل 17.26. وعميقًا تحت هذا الجليد، يحتمل وجود بحر من المياه احتفظ بدفئه بفعل قوى المد والجزر من جاره المشتري.

إذا وجدت الحياة على أيّ جرم في النّظام الشّمسيّ بالإضافة إلى الأرض، فستكون على أرض بحار القمر يوربا المجاورة للفوهات البركانية الحارة. هذا الشّكل من الحياة البعيدة عن الأرض قد يشبه شكل الحياة العجيبة الغريبة التي اكتشفت أخيرًا بالقرب من الفوهات الحرارية في قعور المحيطات الأرضية. وبديل ذلك، فقد تكون متعضيات أحادية الخلية كالبكتيريا. ومرة أخرى قد لا يكون هناك شيء. فهل الحياة نادرة في هذا الكون، أم عادية وسائدة ؟ إننا لازلنا في انتظار الجواب من حديقة مجرتنا الخلفية.

زحل (Saturn)

يعدّ زحل من أكثر الأجرام اللافتة للنظر في السّماء، وذلك من خلال حلقاته الواضحة بمقراب صغير. فهو ساطع تمامًا، وأشدّ سطوعًا من الكواكب الأخرى ما عدا نجمين، ويصنّف الثاني حجمًا وكتلة بعد المشتري. يبعد زحل عن الأرض ضعف بعد المشتري. أما قطره، دون أخذ حلقاته في الحسبان، فيبلغ عشرة أضعاف قطر الأرض، وتبلغ كتلته مثل كتلة الأرض 100 مرة. وهو مكون بشكل رئيس من الهيدروجين والهيليوم، وكثافته هي الأقل بين الكواكب كلها؛ إذ تبلغ 0.7 من كثافة الماء. تعني هذه الخصائص أنّ زحل يمكن أن يطفو بسهولة في حوض الاستحمام إن كان هذا الحوض كبيرًا بما يكفي. إنّ كثافته المنخفضة وسرعة دورانه العالية حول نفسه، 10.2 ساعة، أدى إلى تسطح قطبيه أكثر من أيّ كوكب آخر. لاحظ طبيعته المتطاولة في الشّكل 18.26. وكالمشتري، فإنّ زحل يشع تقريبًا ضعف الطّاقة الحرارية التي يتلقاها من الشّمس.

الشّكل 16.26
الأقمار الأكبر الأربعة للمشتري التي اكتشفها جاليليو عام 1610، والذي كان أول من اخترع المقراب ووجهه نحو السّماء. وقد لاحظ تغير أماكن هذه الأقمار، واستنتج أنها تدور حول المشتري. وقد عُدّ هذا الاكتشاف انتهاكًا للمعتقدات الدينية التي ترى أنّ الأجرام كلّها تدور حول الأرض؛ وقد عدّ هذا الاكتشاف أيضا ثورة بحقّ. وتكريمًا له سميت هذه الأقمار الأربعة بأقمار جاليليو.

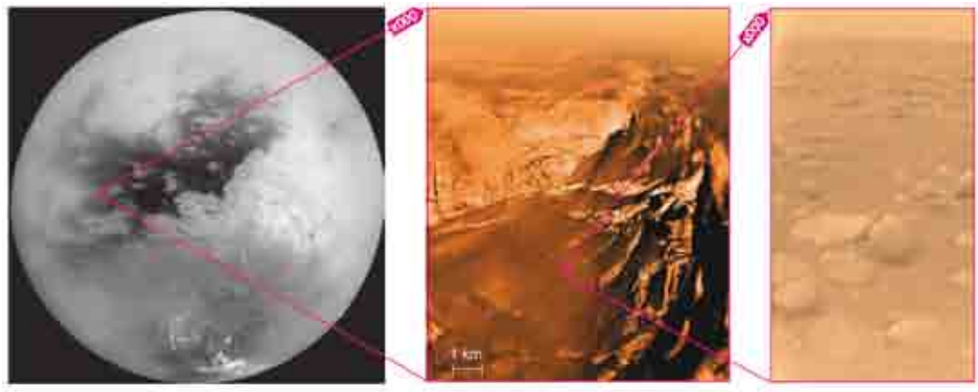


الشّكل 17.26
نموذج لباطن القمر يوربا مع منظر مكبّر لمحيطه المغطى بالجليد، والتي تغطي كامل الكرة بناء على الأقيسة المغناطيسية.

ومن المرجع أن يكون سمك حلقات زحل عدة كيلومترات فقط. تتوضّع في مستوى يتوافق مع مستوى دائرة استوائه. لقد عرفت أربع حلقات متمركزة لزحل منذ سنين طويلة. ولكن بعثات السفن الفضائية اكتشفت حلقات أخرى. تتكون الحلقات من قطع كبيرة وصغيرة من المياه المتجمدة والصخور التي يعتقد أنها مواد لقمر لم يتكون مطلقًا، أو أنها بقايا لقمر تفجّر بفعل قوى المد والجزر. تتعاقب الصخور والمواد المكونة للحلقات كلّها في دورات مستقلة حول زحل. وتتحرك الأجزاء الدّاخليّة للحلقات بسرعة أكبر من تحرّك الحلقات الخارجيّة، كما هو الحال في أيّ من التوابع القريبة من الكوكب التي تدور أسرع من تلك التوابع التي تدور في مدارات أبعد.

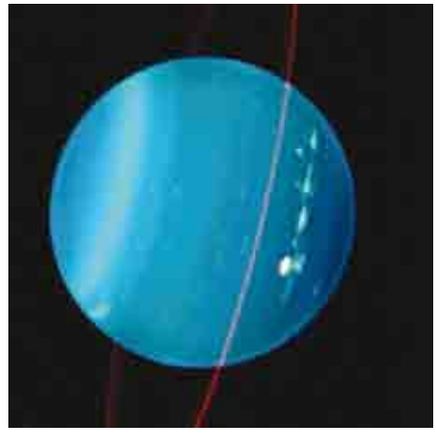
الشّكل 18.26
زحل تحيط به حلقاته الشهيرة والمكونة من الصخور والجليد.

لزحل أكثر من 47 قمرًا تقع بعد الحلقات. وأكبرها القمر تيتان الذي يبلغ حجمه 1,6مرة مقارنة بحجم قمر الأرض. ومن المؤكّد أنّه أكبر من كوكب عطارد. يدور هذا القمر حول نفسه مرة كلّ 16 يومًا، وله غلاف جوي مكون من الميثان (قد يكون مصدره غير حيوي)، وضغطه الجوي أكبر من ضغط الأرض الجوي. أما حرارة سطحه فباردة، وهي حوالي -170°س. في عام 2005، هبط على سطحه مجسّ فضائي صنع من قبل ناسا ووكالة الفضاء الأوربية. لقد أظهرت بعض الصور مناظر طبيعية رائعة تشبه تلك الموجودة على سطح الأرض رغم حقيقة أنّ المواد تختلف تمامًا (الشّكل 26. 19). فالبحيرات والجداول مليئة بالميثان السائل وليس بالماء. أما الصخور فهي مكونة من الجليد. وبدلًا من اللابة، فإنّ تيتان يحتوي على جليد نصف ذائب وأمونيا سائلة. لا يتوقع وجود أيّ نوع من الحياة على سطح تيتان بسبب الحرارة المنخفضة جدًّا. على أيّ حال، فتيتان يحمل ضبابًا كثيفًا من الجزيئات العضوية المثيرة، والتي قد تزودنا كيميائيتها بمفتاح لوضع الأرض وحالتها في الفترة التي سبقت ظهور الحياة عليها.



الشّكل 19.26
صورة لأكبر أقمار زحل (القمر تيتان) التقطت من المركبة الفضائية كاسيني ومجسها الفضائي هويجنز الذي هبط بنجاح على سطحه.

أورانوس (Uranus)



الشّكل 20.26
التقطت هذه الصورة بالأشعة تحت الحمراء لأورانوس بتلسكوب هاواي في 11-12 من يوليو عام 2004م. يعتقد الفلكيون أنّ أورانوس يميل على محور دورانه نتيجة اصطدامه بجسم آخر ضخم في الزمن المبكر من تاريخ النِّظام الشّمسيّ. إنّ البقع البيضاء الساطعة والزرقاء في نصف الكرة الجنوبي لأورانوس هي غيوم. يمتص الميثان في أعلى الغلاف الجوي الضوء الأحمر ليعطي أورانوس لونه الأخضر.

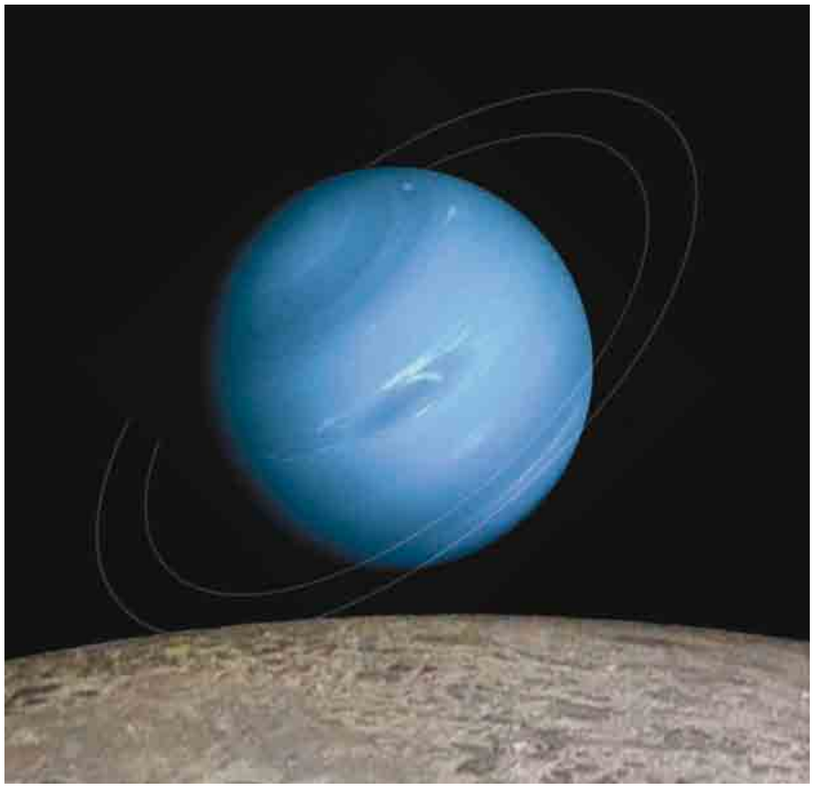
يبعد أورانوس، ويلفظ أيضًا يورانوس، عن الأرض ضعف المسافة التي يبعدها زحل ويمكن أن يرى بصعوبة بالعين المجردة. لقد عرف الفلكيون القدماء أورانوس ولكن لم يكتشف ككوكب إلا في عام 1781م. ولقد زارته المركبة *فويجر 2* عام 1986م. لأورانوس قطر يبلغ أربعة أضعاف قطر الأرض، وله كثافة أعلى قليلًا من كثافة الماء. لذا، فلو وضعته بحوض حمام ضخم فإنه سيغرق. إنّ أهم معالم أورانوس غير العادية هو الميلان. حيث يميل محوره بـ 98^{o} عن العمود على مستوى دورانه. ولهذا، فهو ينام على جنبه، كما في الشّكل 26. 20. وبخلاف المشتري وزحل، فإنه يبدو أن ليس له مصدر للحرارة يمكن تقديره. فأورانوس مكان بارد.

لأورانوس على الأقل 27 قمرًا. بالإضافة إلى نظام معقد وغير واضح من الحلقات. وبالعودة إلى الفصل الرابع، نتذكر أنّ اضطراب حركة هذا الكوكب أدى إلى اكتشاف كوكب أبعد منه عام 1846م والذي عرف بكوكب نبتون.

نبتون (Neptune)

لنبتون قطر يبلغ 3.9 مرة قطر الأرض، أمّا كتلته فتبلغ 17 مرة كتلة الأرض، ومعدل كثافته يبلغ معدل ثلث كثافة الأرض. أما غلافه الجوي فمكوّن بشكل رئيس من الهيدروجين والهيليوم مع قليل من الميثان والأمونيا، وهذا ما يجعل نبتون أكثر زرقة من أورانوس (الشّكل 26. 21). وكما هو الحال في المشتري وزحل، فإنّ نبتون يصدر نحو 2.5 مرة طاقة حرارية أكثر مما يستقبل من الشّمس. وهذا محير لأنّ الحسابات تبين أنه كما في أورانوس فإنّ نبتون يجب أن يكون قد فقد حرارته الأصلية كلّها. ولكن هناك تفسير واحد محتمل وهو أنّ نبتون لا يزال ينكمش بخلاف أورانوس.

لقد حلقت *فويجر 2* بجانب نبتون عام 1989م. وأظهرت أنّ له 13 قمرًا بالإضافة إلى نظام الحلقات. إنّ أكبر هذه الأقمار هو تريتون الذي يدور حول نبتون في 5.9 يوم في اتجاه معاكس لدوران الكوكب للشرق. وهذا يقترح على أن تريتون هو قمر أسير. يعادل قطر تريتون ثلاثة أرباع قطر قمر الأرض، وأنّ كتلته ضعف كتلة قمر الأرض. كما أنّ له غطاء قطبيًّا ساطعًا ونفاثات من النيتروجين السائل.



الشّكل 21.26
اضطراب حلزوني على نبتون عام 1989م ولّد بقعة سوداء ضخمة كانت أكبر من الأرض، وشبيهة لبقعة المشتري الحمراء الضخمة. ولقد اختفت البقعة الآن. إنّ الأفق الرمادي في مقدمة الصورة المعدّلة بالحاسوب مأخوذة قريبًا من تريتون قمر نبتون الذي له حجم بلوتو وتركيبه.

بينت دراسة كتاب جاليلو حديثًا أنه رأى نبتون في ديسمبر 1612م، ومن ثمّ شاهده مرة أخرى في يناير 1613م. لقد كان مغرمًا بالمشتري في ذلك الوقت. لذا اعتبر نبتون نجمًا خلفيًّا.

5.26 قمر الأرض

يعد قمر الأرض محيرًا. فهو يقترب بحجمه من حجم عطارد الذي هو كوكب وليس قمرًا. إنّ التركيب الكيميائي للقمر هو تركيب ستار الأرض نفسه تقريبًا. وأكثر من ذلك، فإنّ هذا القمر يمتلك لبًّا صغيرًا من الحديد. ولتفسير هذه الظواهر والعديد من الحقائق عن القمر وضع العلماء معًا السيناريو المحتمل التالي لنشأة القمر.

في التاريخ المبكر للنظام الشّمسيّ، كان للأرض الناشئة مرافق بحجم عطارد يدور مترافقًا وقريبًا منها. وفي العادة، إذا كان هذا المرافق يدور أقرب للشمس فإنه سيكون أسرع من الأرض وسيسبقها. وعندما يتجاوز نقطة معينة تعرف بنقطة *Lagrangian* فإنّ هذا المرافق سيتعرض لسحب الجاذبيّة الأرضية بقوة كافية تعيده نحو الخلف بحيث يدور منسجمًا مع الأرض. وهكذا، يبدو أنه كان هناك توأم للأرض المبكرة، وكانا يدوران في موكب واحد معًا حول الشّمس كما يركض زوج من الخيول بجانب أحدهما بجانب الآخر حول دائرة.

وأخيرًا فإنّ حدثًا عشوائيًّا ما قد حدث كمرور كويكب أو مذنب، مما أدى بهذا المرافق إلى أن يترنح عن نقطة *Lagrangian* ويقع مصطدمًا بالأرض. لقد كان هذا الاصطدام كتليًّا مثيرًا؛ حيث نشر الفتات في كلّ مكان وحوّل الأرض بكاملها إلى حالة الانصهار. لقد كان هذا الاصطدام منحرفًا ما أدى إلى أن تدور الأرض بشكل عشوائي كلّ 5 ساعات. ولقد تجمع هذا الفتات لاحقًا وسريعًا كحلقة حول الأرض. بعد ذلك، وفي أثناء 1000 عام تقريبًا، اندمجت مكونات الحلقة فنشأ القمر. يعرف هذا الافتراض بنظرية الارتطام العظيم *giant impact theory* لنشوء قمر الأرض. وهذا يفسر كبر حجم القمر (ذكرنا وجود توأمين من الكواكب). ولماذا يكون تركيبه شبيها بتركيب الأرض (لقد تكوّن من ستار الأرض، وستار الأرض تكون منه). كما يفسر سبب وجود لبّ صغير له من الحديد (تمايز لبّ الأرض المكون من الحديد قبل ذلك ولم يتطاير عند الاصطدام وتطاير الفتات) وأكثر من ذلك. لا زالت نظرية الاصطدام هذه

نستطيع مشاهدة آثار القذف النيزكي على سطح القمر؛ لأنه لا يوجد ما يحميه منها. مثل هذه الآثار كانت موجودة على سطح الأرض ولكنها مسحت بالحتّ والتعرية

الشّكل 22.26

هناك ثلاث خطوات لنشأة قمر الأرض؛ اصطدم جرم بحجم عطارد بالأرض فصهرها. ومن ثمَّ تجمع الحطام في حلقة التحمت لتكون القمر القريب من الأرض سريعة الدوران. وبعد بليون سنة، تباطأ دوران الأرض حول نفسها بسبب قوى المد والجزر فحركت القمر بعيدًا عنها.

الشّكل 23.26
الأرض والقمر كما صورتهما المركبة الفضائية *فويجر 1* عام 1977 في طريقها إلى المشتري وزحل.

موضع الاهتمام الزائد للبحث. وهي تعدل وتصفى يومًا بعد يوم. ومع أنها طورت فقط خلال العقدين الماضيين، إلا أنها أصبحت مثار اهتمام العلماء لقدرتها على تفسير الكثير من الأمور.

عند النظر إلى الأرض والقمر عن بعد فإنهما يظهران كتوأمين من الكواكب، كما يبدو في الشّكل 23.26. ومقارنة بالأرض، فإنّ حجم القمر يعدّ صغيرًا نسبيًّا؛ حيث إنّ قطره لا يزيد على المسافة بين مدينتي سان فرانسيسكو ونيويورك. وقد كان سطحه في يوم ما منصهرًا، ولكنه تبرد سريعًا لتأسيس صفائح القشرة المتحركة كما هو الحال في الصفائح المكونة للأرض. ولقد قُذف القمر وبشدة في هذه المرحلة المبكرة من عمره بالنيازك (كما كان الحال بالنسبة للأرض). وقبل أكثر قليلًا من 3 بلايين عام، سبب الارتطام النيزكي والنشاط البركاني ملء الأحواض باللابة مكونة السطح الحالي للقمر. ولم يحدث إلا القليل من التغيير على سطحه منذ ذلك الوقت. أمّا قشرته النارية فهي أسمك من تلك التي للأرض. إنّ القمر صغير جدًّا، كما أنّ جاذبيته صغيرة أيضًا إلى درجة يصعب عليها الاحتفاظ بالغلاف الجوي. لذا فإنه، ومن دون طقس، أصبحت عوامل التعرية قائمة على الاصطدامات النيزكية فقط.

لمعلوماتك

■ في زمن حياة الديناصورات كان طول النهار 19 ساعة تقريبًا. أما الآن فإنّ اليوم 24 ساعة. وبعد بلايين السنين من الآن، وحيث تستمر الأرض في التباطؤ، فإنّ طول اليوم سيصبح 47 ساعة. وفي ذلك الزمن، تتوقف جاذبيتا الأرض والقمر، بحيث يظهر القمر في مكان واحد في السّماء. وحتى تشاهد القمر، فإنك بحاجة إلى أن تكون على الأرض من جهة القمر. وقد تكون أسعار العقارات أعلى بسبب هذا المنظر. غير أن مشكلة كبيرة ستحدث في ذلك الوقت، وهي أنّ الشّمس تكون في طور الاحتضار؛ حيث مصير الأرض كمصير كوكب، غائمة دائمًا. ولا شيء أبديّ أبدًا.

أطوار القمر (The Phases of The Moon)

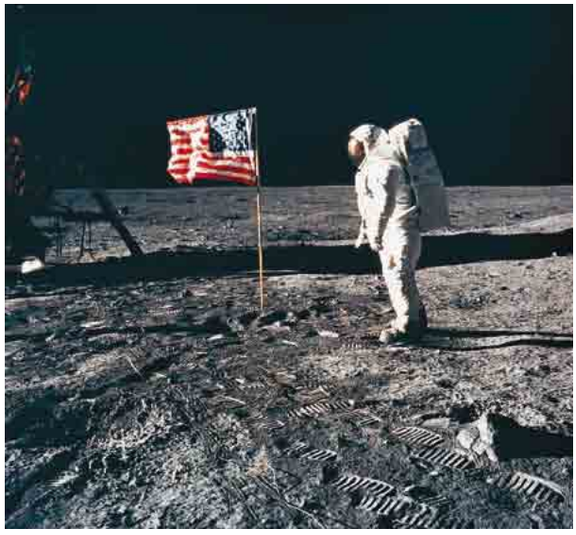
ترينا إضاءة الشّمس نصف سطح القمر فقط. فالقمر يرينا كميات مختلفة من إضاءة الشّمس لنصفه كلما دار حول الأرض في شهر كامل. ويعرف هذا التغير **بأطوار القمر** (الشّكل 25.26). تبدأ دورة القمر **بالقمر الجديد *(New Moon)***. وفي هذا الطور، يواجهنا الوجه المظلم. لذا، فإننا نشاهد ظلامه. ويحدث ذلك عندما يكون القمر بين الأرض والشّمس (الوضع 1 في الشّكل 26. 26).

وفي الأيام السبعة الآتية، فإننا نرى أكثر وأكثر من الجهة المضاءة من القمر (الوضع 2 في الشّكل 26. 26). ويستمر الهلال (*Waxing Crescent*) بالنمو. وعند التربيع الأول (*First Quarter*) تكون الزاوية بين الشّمس والقمر والأرض 90°. وفي هذا الوقت نرى نصف وجهه المضيء (الوضع 3 في الشّكل 26. 26).

وفي الأسبوع الثاني، نرى أكثر فأكثر من الوجه المضاء. أي أنّ القمر ينمو في اتجاه الطور الأحدب (*Waxing Gibbous*) (الوضع 4 الشّكل 26. 26) فالأحدب يعني أكثر من النصف. ونرى القمر كاملا "البدر" *full moon* عندما يقابلنا الوجه المضاء بشكله الكامل، وعندها يكون القمر والأرض والشّمس على استقامة (الوضع 5 الشّكل 26. 26). وفي هذا الوقت، تكون الشّمس والأرض والقمر على خط مستقيم، وتكون الأرض بين القمر والشّمس. ولمشاهدة القمر بدرًا، فلا بد أن يتم ذلك في نصف الأرض الليلي، عند غروب الشّمس، عندما يشرق البدر من الشرق، أو عند شروق الشّمس حيث يغيب القمر في الغرب.

وتنعكس الدورة في الأسبوعين التاليين؛ حيث نرى أقلّ فأقلّ من الوجه كلما أكمل القمر دورته.

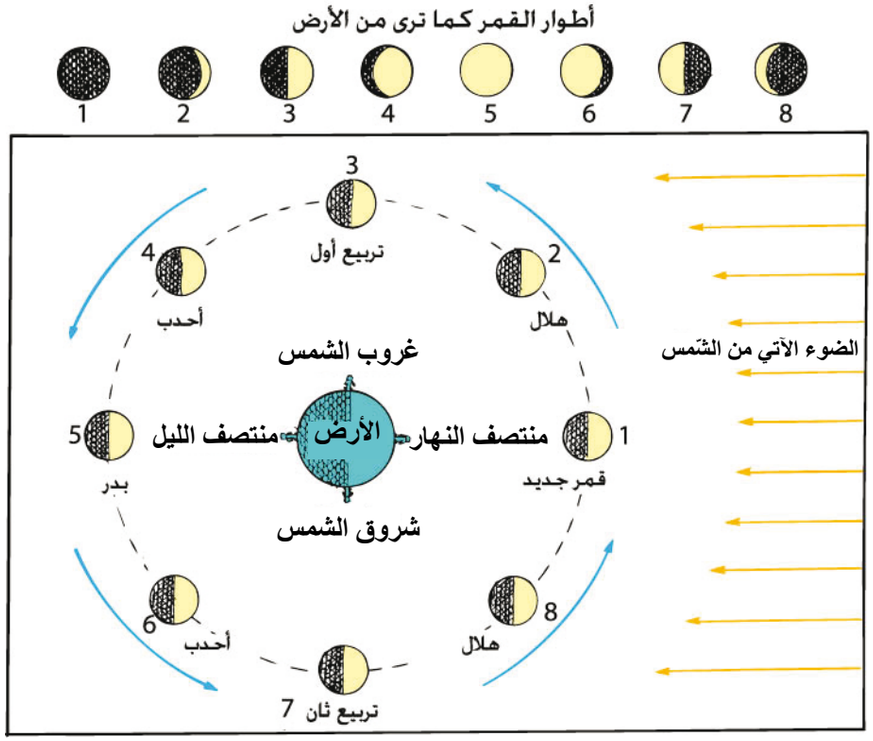
تترنح معظم الكواكب بوضوح في أثناء دورانها حول محاورها. ولكن القمر يساعد الأرض على جعل هذا الترنح في حده الأدنى. ونتيجة لذلك، فإنّ نظام الطقس عندنا مستقر عبر العصور، وهذا يجعل كوكبنا أكثر ملاءمة لتطور الحياة. شكرًا لك أيها القمر!



الشّكل 26. 24
Edwin, E. ldrin, Jr.، أحد رواد *أبوللو 11*، يقف على سطح القمر المغبر. وحتى هذا التاريخ فإنّ 12 شخصًا وقف على سطح القمر.

هذه الحركة تؤدي إلى التقلص وتوليد الأطوار: الأحدب، ثم التربيع الثاني، ثم الهلال، ومن ثمَّ المحاق.
إنّ الزمن اللازم للدورة الكاملة هو 29.5 يوما*.

الشّكل 25.26
أطوار القمر المختلفة.



الشّكل 26.26
تضيء الشّمس دائمًا نصف القمر؛ فكلما دار القمر حول الأرض، فإننا نرى جزءًا فقط من الوجه المضاء. تستغرق الدورة الكاملة لأطوار القمر 29,5 يومًا.

لو أشعل أحد ضوءًا وميضًا في غرفة معتمة على كرة فإنه يمكن تحديد مكان الوميض بمعرفة الجزء المضاء من الكرة. وهكذا أيضًا يبدو القمر بضوء الشّمس.

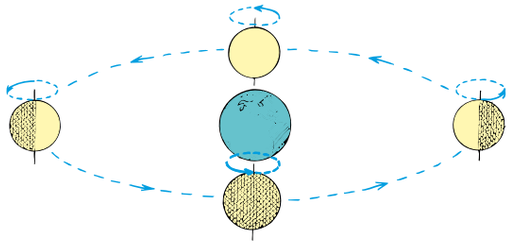
■ نقطة فحص

1. هل يمكن مشاهدة البدر عند الظهيرة؟ وهل يمكن مشاهدة المحاق (القمر الجديد) في منتصف الليل؟
2. يفضل الفلكيون مشاهدة النّجوم عند غياب القمر من ليل السّماء. فمتى يغيب القمر غالبًا من ليل السّماء؟ وكيف ؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يبين الشّكل 26. 26 أنه في وقت الظهيرة تكون في المكان غير المناسب على الأرض لمشاهدة البدر. وبالطريقة نفسها، يغيب عنك القمر الجديد في منتصف الليل. فالقمر الجديد يكون في السّماء في وقت النهار وليس في الليل.
2. عند تولّد القمر الجديد، وخلال أسبوع قبل ولادته وبعدها، لا يظهر القمر في ليل السّماء. ما لم يرغب فلكي في دراسة القمر، فإنّ السّماء المعتمة تكون أفضل وقت لمشاهدة الأجرام الأخرى. وعادة ما يرصد الفلكيون السّماء ليلًا كلّ أسبوعين.

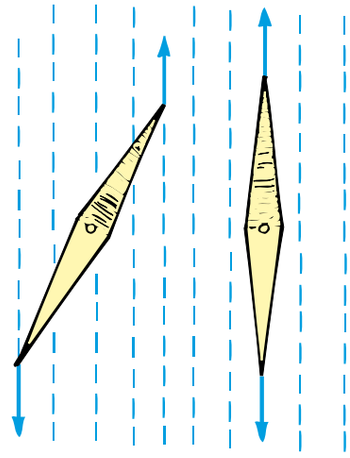
* يدور القمر حقيقة حول الأرض مرة كل 27.3 يومًا نسبة للنجوم. أما دورة الـ 29.5 يومًا فهي بالنسبة إلى الشمس والمتعلقة بحركة نظام الأرض والقمر حول الشّمس.



الشّكل 27.26
يدور القمر حول نفسه في الزمن نفسه الذي يحتاج إليه للدوران حول الأرض. وهكذا، فكلما دار القمر حول الأرض، فإنه يدور حول نفسه بحيث نرى الوجه نفسه؛ أي أنّ الوجه نفسه يبقى مقابلاً للأرض (اللون الأصفر). ففي أيّ موقع من المواقع الأربعة التي تظهر في الشّكل يكون القمر قد دار ربع دورة.

لماذا لا يواجهنا دائمًا إلا وجه واحد؟

لقد أخذت أول صورة للوجه الخلفي بواسطة المركبة الروسية غير المأهولة (لونك 3) عام 1959م. ولقد كانت أول مشاهدة للوجه المعتم من قبل الإنسان ما قام بها رواد المركبة أبوللو 8 التي دارت حول القمر عام 1968م. فعن سطح الأرض، نرى وجهًا واحدًا للقمر فقط. فالظواهر السطحية المألوفة "للإنسان في القمر" توجه دائمًا إلينا على الأرض. فهل يعني ذلك أنّ القمر لا يدور حول محوره في حين أنّ الأرض تقوم بذلك يوميًّا؟ الجواب لا. ولكن في الحقيقة، وبالنسبة إلى النجوم، فإنّ القمر يدور حول نفسه- برغم بطئه- مرة كل 27 يومًا تقريبًا. إنّ معدل الدوران الشّهريّ هذا يتطابق مع معدل دورانه حول الأرض. وهذا يفسر سبب رؤيتنا الوجه للقمر نفسه (الشّكل 27.26). إنّ التوافق بين دورانه حول نفسه وحول الأرض لا يتطابق تمامًا. فبعد إجابتك على (اختبر معلوماتك) الآتية ستعرف السبب.



(أ) عزم للدوران (ب) لا يوجد عزم للدوران

الشّكل 28.26
(أ) عندما لا تكون إبرة البوصلة موازية للحقل المغناطيسي (الخطوط المتقطعة)، فإنّ القوة المتمثلة بالأسهم الزرقاء على حافتي الإبرة تولد عزمًا يديرها. (ب) أما عندما تكون الإبرة موازية للحقل المغناطيسي فلا يتولّد عندها أيّ عزم.

■ نقطة فحص

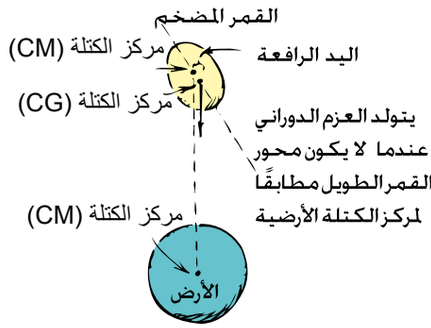
يقول أحد أصدقائك إنّ القمر لا يدور حول نفسه. ودليله على ذلك أنّ الوجه نفسه يقابل الأرض باستمرار. ما قولك؟

هل كانت هذه إجابتك؟

ضع قطعتي ربع دولار وبنس معدنيين على طاولة. ليكن الرّبع ممثلًا للأرض، في حين يمثّل البنس القمر. ثبّت الرّبع. وأدر البنس حوله بطريقة يبقى فيها رأس لنكولن مواجهًا لمركز الربع. اطلب إلى صديقك أنّ يعدّ عدد الدّورات التي دارها البنس حول نفسه عندما دار حول الربع دورة واحدة. النتيجة هي أنّ البنس دار حول نفسه دورة واحدة كلما دار حول الربع دورة واحدة. وهذا يعني أنّ القمر يحتاج إلى الزمن نفسه لإكمال دورة حول نفسه وحول الأرض.

فكّر في إبرة مغناطيسية منسجمة مع خطوط الحقل مغناطيسي. هذا الاصطفاف يحكم عزم التدوير، وهي القوة الدورانية التي تشبه وزن الطفل على طرف لعبة أرجوحة السيسو. تدور الإبرة المغناطيسية في الشّكل 26. 28أ بفعل العزم المزدوج. وهي تدور في اتجاه عقارب الساعة حتى تصبح موازية للحقل المغناطيسي. وبالطريقة نفسها يصطف القمر مع الحقل الجاذبي الأرضي.

نحن نعرف من قانون الجاذبيّة العام أنّ الجاذبيّة تضعف مع مربع معكوس المسافة. لذا فإنّ جانب القمر الأقرب إلى الأرض يشدّ بقوة أكبر من الجانب الأبعد. وهذا يشد "يمط" القمر ليصبح ككرة القدم. (يقوم القمر بالشيء نفسه مع الأرض مشكّلا المد والجزر). فإذا كان محوره الطويل موازيًا للحقل الجاذبي الأرضي فإنّ العزم الدوراني يؤثر فيه. كما يظهر في الشّكل 26. 29. وكما هو الحال في الإبرة المغناطيسية في الحقل المغناطيسي التي تدور لتوازي الحقل، فإنّ القمر يصطف مع الأرض في دورانه الشهري. وأنّ وجهًا واحدًا يقابلنا باستمرار. وإنه لمما يثير الاهتمام أن نجد الكثير من الأقمار التي تدور حول الكواكب الأخرى تقابل تلك الكواكب وجهًا واحدًا فقط في تلك الأقمار. ونقول في هذه الحالة عن تلك الأقمار إنها مترابطة مدًّا وجزرًا *"tidally locked"*.



الشّكل 29.26
عندما لا يكون محور القمر الطويل مطابقًا للحقل الجاذبي الأرضي، فإنّ الأرض تمارس عزمًا يدير القمر ليطابقها. (CM: مركز الكتلة، GG مركز الجاذبيّة).

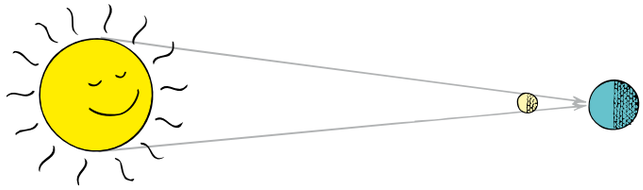
الشّكل 30.26
يحدث كسوف الشّمس عندما يمرّ القمر أمام الشّمس ويرى من الأرض. ويكون لظل القمر جزآن: الجزء الداخلي المعتم umbra وهو ظل كامل يحيط به الجزء الخارجي، وهو منطقة شبه الظلpenumbra . يرى الكسوف الكلي من منطقة الظل الكامل، وقد يستغرق عدة دقائق.

الكسوف (Eclipses)

مع أنّ قطر الشّمس أكبر من قطر القمر 400 مرة، إلا أنها أبعد عنه 400 مرة أيضًا. لذا، فإنّ لكليهما، - الشّمس والقمر - الزاوية القطرية نفسها مقيسة من الأرض وهي 0.5°. ويظهران بالحجم نفسه في المساء. وهذا التطابق يسمح لنا برؤية كسوف الشّمس.

لكلّ من الأرض والقمر ظلّ عندما تسقط عليهما أشعة الشّمس. فعندما يقطع مر أحد هذين الجسمين الظلّ المتولّد من الآخر يحدث الكسوف أو الخسوف. يحدث **كسوف الشّمس *(Solar Eclipses)*** عندما يقع ظلّ القمر على الأرض. وبما أنّ حجم الشّمس أكبر من القمر فإنّ الأشعة تتناقص تدريجيًّا معطية منطقة الظّلّ الكامل محاطة بمنطقة شبه الظل، كما يرى في الشّكلين 26. 30 و 26. 31.

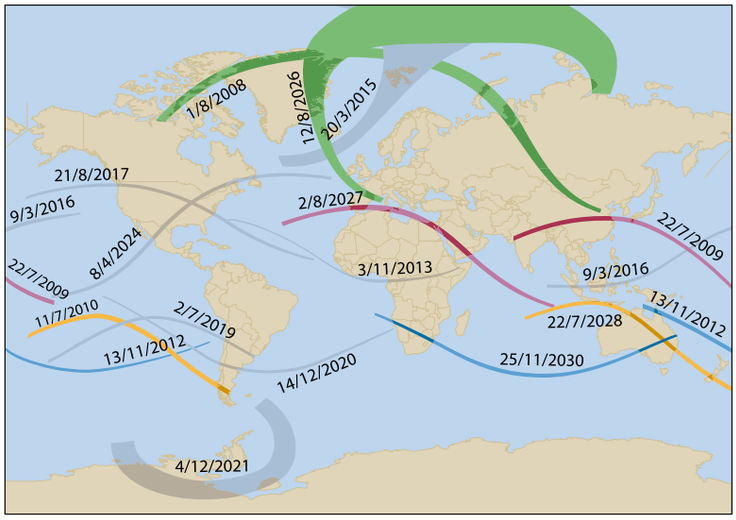
الشّكل 31.26
تخطيط هندسي لكسوف الشّمس. في الكسوف، يقع القمر بين الشّمس والأرض مباشرة فيولّد ظلًا يسقط على الأرض. ونظرًا لصغر حجم القمر والنقص التدريجي لأشعة الشّمس، يحدث كسوف الشّمس فقط على مساحة صغيرة من الأرض.



الشّكل 32.26
الأشكال الهلالية لبقع ضوء الشّمس هي صور للكسوف الجزئي للشمس. وتتكون هذه عندما يمرّ ضوء الشّمس من خلال الأغصان التي تتراكب مولدة صورًا كثقوب الإبر. وفي يوم مشمس عادي دون كسوف، تكون هذه البقع تحت الشجر مستديرة لأنّ الشّمس تكون مستديرة. لاحظ وجود هذه الأشكال المستديرة "كرات شمسية" في اليوم المشمس التالي في الخارج.

dvn الراصد الذي يقف في منطقة الظل الكامل، الظلام كله في ضوء النهار- الكسوف الكلي*totality* . يبدأ الكسوف الكلي عندما تختفي الشّمس خلف القمر، وينتهي عندما تعود الشّمس إلى الظهور على حافة القمر. إنّ المعدل الزمني للكسوف الكلي في أيّ مكان هو في حدود 2 - 3 دقائق، وبحدّ أعلى 7.5 دقيقة. إنّ المعدل الزمني للكسوف في أيّ مكان يعدّ قصيرًا بسبب حركة القمر. وخلال الكسوف الكلي، فإنّ ما يشاهد في السّماء هو قرص أسود غريب محاط بتدفق شعاعي أبيض لؤلئي للإكليل، كما يبدو في الشّكل 26. 7. إنها تجربة لا يمكن أن ينساها الإنسان. يمكن بالتلسكوب أو المنظار مشاهدة ظواهر القمر؛ لأنها تضاء بأشعة الشّمس المنعكسة في اتجاه الأرض. وقد يشاهد اللون الزهري متماوجًا من الغلاف الملون للشمس. ولكن هناك تحذيرات مشددة يجب مراعاتها عند مشاهدة الكسوف الكلي، والذي يجب أن يكون كليًّا 100%. إن اللحظة التي تظهر فيها حافة الغلاف الضوئي والتي تمثل 99,99% من الكسوف الكلي هي اللحظة التي تقضي على البصر إن استمرت العينان في المشاهدة*. ففي تلك اللحظة، يدخل المشاهِدُ في منطقة شبه الظل؛ حيث يصبح الكسوف جزئيًّا. إنّ الوضع المثالي لمشاهدة الكسوف الجزئي هو أن تركز (تسقط) ضوء الكسوف على سطح أبيض، كما يظهر في الشّكل 26. 4. وبديل ذلك أن تشاهد هلال الشّمس من تحت ظل شجرة، حيث تلقي بصورة لثقب صغير لها على الأرض، كما يظهر في الشّكل 26. 32. تفحص الخريطة في الشّكل 26. 23. لمعرفة ما إذا كان سيحدث كسوف في منطقتك قريبًا. إنّ الكثير من المغرمين بمشاهدة كسوف الشّمس يسافرون حول العالم لمشاهدة هذه الظاهرة الطبيعية المثيرة.

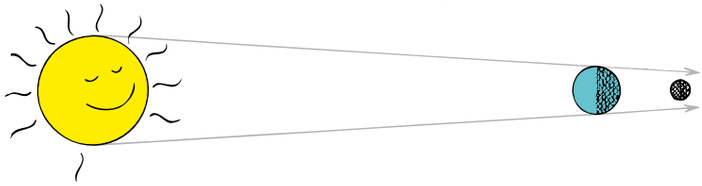
* يحذر الناس من النظر إلى الشّمس مباشرة عند كسوفها؛ لأنّ سطوعها إضافة إلى الأشعة فوق البنفسجية المباشرة تؤذي العيون. إنّ هذه النصيحة المهمة يساء فهمها في أحيان كثيرة من قبل أولئك الذين يعرفون لاحقًا أنّ أشعة الشّمس أكثر ضررًا مما اعتقدوا في هذا الوقت الخاص. على أيّ حال، يكون النظر إلى الشّمس مؤذيًا عندما تكون عالية في السّماء في حالة الكسوف أو عدمه. وفي الحقيقة، فإنّ النظر إلى الشّمس وهي مكشوفة يكون أكثر أذى مما لو حجبها القمر. والسّبب وراء هذه التحذيرات عند الكسوف هو، ببساطة، رغبة معظم الناس في النظر إلى الشّمس في هذا الوقت.



الشّكل 33.26
تبين هذه الخارطة الممرات التي يظهر فيها الكسوف الكليّ للشمس من عام 2006-2030م. ولمزيد من التفاصيل عن مثل هذه الحالات من الكسوف وحالات أخرى مستقبلية؛ ارجع إلى موقع ناسا الإلكتروني hhP://sunearth.gsfc.nasa.

يساوي سطوع إكليل الشّمس تقريبًا سطوع القمر الكامل "البدر" في ممر الكسوف الكلي

إنّ وقوع الأرض والقمر والشّمس على خطّ واحد يُحدث أيضًا **خسوفًا للقمر *(Lunar Eclipse)*** عندما يمرّ القمر في ظلّ الأرض، كما يظهر في الشّكل 34.26. وعادة ما يسبق خسوف القمر كسوف الشّمس أو يتبعه بأسبوعين. وكما أنّ حالات الكسوف كلّها تقتضي قمرًا جديدًا، فإنّ الخسوفات كلّها تقتضي قمرًا كاملا "بدرًا". وقد يكون ذلك كليًّا أو جزئيًّا. ويمكن أن يشاهد الراصدون جميعهم في النصف الليلي من الأرض الخسوف في الوقت نفسه. ولمزيد من التشويق والمتعة يمكن مراقبة الخسوف الكامل للقمر، حيث يمكن مشاهدته، كما هو موضّح في الشّكل 26. 35.



الشّكل 34.26
يحدث خسوف القمر عندما تقع الأرض بين الشّمس والقمر مباشرة ، وحيث تلقي الأرض بظلها على القمر.

لماذا يندر حدوث الكسوف والخسوف نسبيًّا؟ يحدث ذلك بسبب اختلاف مستويات الدوران بين الأرض والقمر. تدور الأرض حول الشّمس في سطح دوران مستو. ويدور القمر أيضًا حول الأرض على سطح دوران مستو. ولكن تميل المستويات بعضها عن بعض بمقدار 5.2°، كما يظهر في الشّكل 26. 36. ولو لم تمل المستويات بعضها عن بعض لحدث الكسوف والخسوف شهريًّا. وبسبب هذا الميلان فإنّ الخسوف والكسوف يحدثان فقط عندما يقطع القمر مستوى الأرض-الشّمس في الوقت الذي تصبح فيه هذه الأجرام الثلاثة: الشّمس والأرض والقمر على استقامة واحدة (الشّكل 26. 37). وهذا يحدث مرتين في السنة تقريبًا. وهذا هو سبب حدوث كسوف الشمس مرتين على الأقلّ في السنة (تشاهد من أماكن معينة فقط للأرض). وفي بعض الأحيان قد يحدث 7 حالات كسوف وخسوف في السنة.

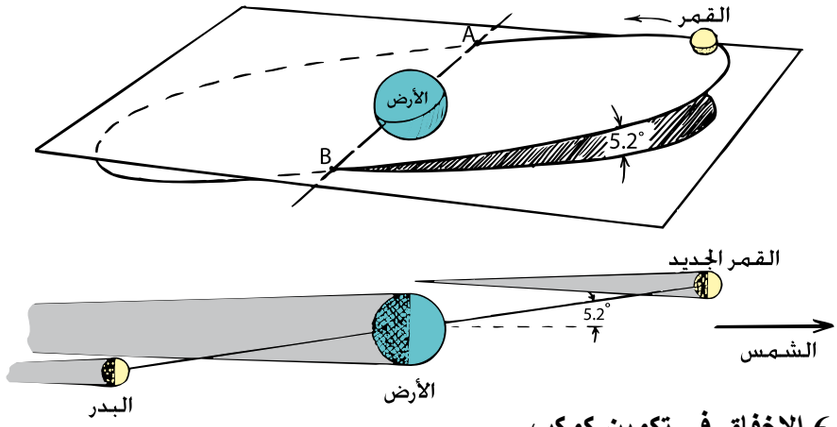
الشّكل 35.26
خسوف كامل لقمر، ولكنه ليس معتمًا بالكامل حيث يقع في ظل الأرض ولكنه ما زال مرئيًّا لأنّ الغلاف الجوي للأرض يتصرف كعدسة، ويكسر الضوء في منطقة الظل- ضوء كاف ليضيء القمر بشكل خافت.

■ نقطة فحص

1. هل يحدث كسوف الشّمس عندما يكون القمر بدرًا أم جديدًا "محاقًا"؟
2. هل يحدث خسوف القمر عندما يكون القمر بدرًا أم جديدًا "محاقًا"؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يحدث كسوف الشّمس عندما يكون القمر جديدًا، عندما يقع القمر أمام الشّمس مباشرة. وبعدها يقع ظل القمر على جزء من الأرض.
2. يحدث خسوف القمر عندما يكون القمر بدرًا، عندما يقع القمر والشّمس على جانبي الأرض. وبعدها يقع ظلّ الأرض على البدر.



الشّكل 26. 36
يدور القمر حول الأرض في مستوى يميل 5.2° عن مستوى دوران الأرض حول الشّمس. يحدث كسوف الشّمس أو خسوف القمر فقط عندما يقطع القمر مستوى الأرض- الشّمس (النقطتان أ و ب) وعندما تكون الأجرام الثلاثة - الشّمس والأرض والقمر - على خط واحد تمامًا.

6.26 الإخفاق في تكوين كوكب

لقد وجد في ثلاثة مواقع من نظامنا الشّمسيّ مواد متبقية أخفقت في التجمع وتشكيل كواكب. هذه المواقع هي: 1 - نطاق الكويكبات. 2 - نطاق كوبر. 3 - سحابة أورت.

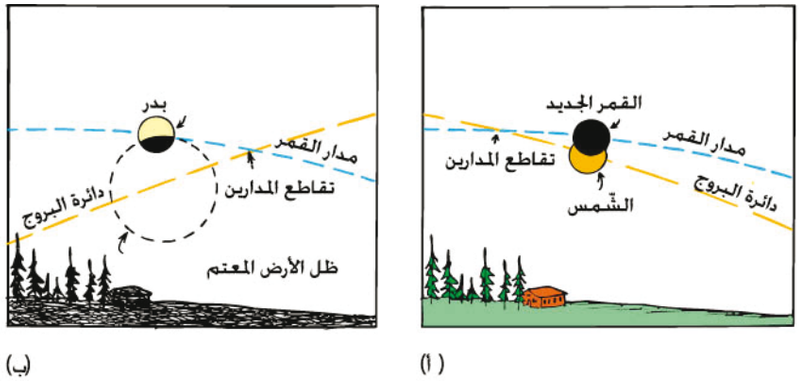
نطاق الكويكبات والنيازك (The Asteroid Belt and Meteors)

إنّ **نطاق الكويكبات** هو تجمع للصخور يقع بين مداري المريخ والمشتري. ولقد وثّق حتى الآن ما مقداره 150000 كويكب. ولكن وبكلّ تأكيد، فإنّ هناك الكثير منها لم يكشف بعد. لهذه الكويكبات أشكال وأحجام مختلفة، ولكن أكبرها - وهو كويكب سيريس - يقل قطره عن ألف كيلومتر. ومع أنّ سيريس من الكبر بما يكفي ليصبح مستديرًا تقريبًا، إلا أنّ معظم الكويكبات الأخرى لها أشكال حبات البطاطس، كما يظهر في الشّكل 26. 38.

تبيّن الأدلة التي تمّ التّوصّل إليها أنه في أثناء نشأة النّظام الشّمسيّ، فإن نطاق الكويكبات حمل كتلا أكثر مما هي عليه الآن. ومن المرجح أنّ كتلة المشتري مزقت وشتتت مدارات هذه الكويكبات في اتجاهات مختلفة: فبعضها ذهب في اتجاه الكواكب الدّاخليّة، في حين ذهب بعضها الآخر خارج النّظام الشّمسيّ. وعلى سبيل المثال، يعتقد أنّ قمري المريخ هما في الأصل كويكبان. وما تبقى من نطاق الكويكبات صغير جدًّا. فلو جمعت بقايا الكويكبات الحالية كلّها معًا فإنها تشكّل كرة ذات حجم أقلّ من نصف حجم قمرنا.

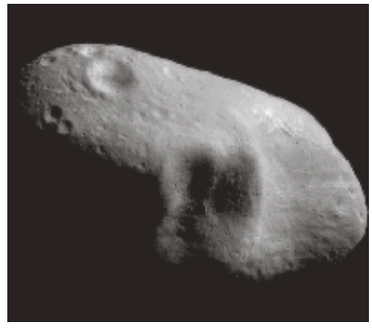
ولقد سبب المشتري أيضًا تصادم الكويكبات بعضها ببعض، مما أدى لاحقًا إلى تكسرها إلى قطع أصغر. وهكذا، فبدلًا من تجميعها وبنائها لتشكّل كوكبًا فإنها طحنت وتناثرت. لقد وجدت قطع الكويكبات التي تسمى أشباه **الكويكبات** ***(Meteoroids)*** طريقها إلى الأرض حيث تسخن بفعل الاحتكاك مع الغلاف الجوي فتصبح بيضاء حارة. وعند دخولها إلى الغلاف الجوي، تحترق معطية وهجًا ناريًّا يسمى شهابًا (*Meteors*) (الشّكل 26. 39).

تسقط النيازك على سطح الأرض كلّه، ولكن أسهل الأماكن لإيجادها هو على السطح الجليدي الأبيض في المناطق القطبية. فهل لديك رغبة لجمع عيناتك الخاصة؟ إذن، سافر فورًا إلى القارة القطبية الجنوبية.



(أ) (ب)

الشّكل 26. 37
يمكن أن يحدث الكسوف الكلي الكامل فقط عندما يتقاطع مدار القمر مع مستوى مدار الأرض والذي هو دائرة البروج. ويحصل كسوف الشّمس في النهار عندما يمر القمر أمام الشّمس. أما خسوف القمر فيحدث فقط في الليل عندما يمرّ البدر في ظل الأرض.



الشّكل 38.26
يبلغ طول الكويكب إيروس نحو 40 كم، وكما هو الحال في الأجرام الصغرى في النّظام الشّمسيّ فإنه ليس مستديرًا.

وإذا ما كان هذا الجسم كبيرًا بما فيه الكفاية، فقد يصل إلى سطح الأرض، وعندها يسمى **نيزكًا *(meteorite)***. إنّ معظم أشباه الكويكبات والشهب والنيازك هي قطع جاءت من الكويكبات، ولكن بعضها قد يكون جاء من المذنبات كما سنرى لاحقًا. ولحسن الحظ فإنّ النيازك الصغيرة تضرب الأرض أكثر من الكبيرة تقريبًا؛ حيث يضرب الأرض يوميًّا نحو 200 طن من النيازك الصغيرة. وكلّ 10000 سنة تقريبًا، يضرب الأرض نيزك كبير محدثًا فوهة على سطح الأرض كالتي تشاهد في الشّكل 26. 40، وكل 100 مليون سنة تقريبًا، يضرب الأرض نيزك ضخم يترك فوهة بقطر 10 كم، وقد يؤدي ذلك إلى انقراض هائل للكائنات الحية، كما حدث قبل 65 مليون سنة في نهاية العصر الكريتاسي الذي نوقش في الفصل 21. وعليه، فإنّ من أحد أهداف ناسا اكتشاف 90% من الأجرام الكبيرة الواقعة بالقرب من الأرض كلّها. فإذا استطعنا اكتشاف القطع الفضائية الخطيرة في وقت مبكر بما فيه الكفاية، فبإمكاننا اتخاذ الإجراء لتعطيل دورته وتجنب التهديدات الكارثية.

نطاق كويبر والكواكب القزمة (The Kuiper Belt and Dwarf Planets)

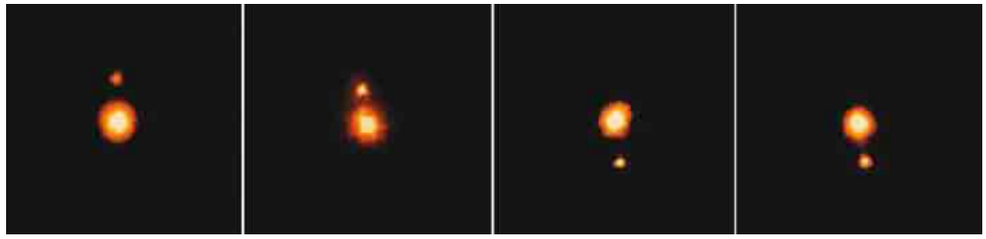
الشّكل 39.26
يتولّد الشهاب عندما تدخل قطع الكويكبات على ارتفاع 80 كم إلى الغلاف الجوي. ومعظمها يكون حجم حباتها بحجم حبات الرمل. وتشاهد وهي تسقط أو تحترق.

يقع نطاق كويبر *Kuiper belt* وراء نبتون، وعلى بعد يتراوح بين 30 - 50 وحدة فلكية *AU* (ويلفظ كويبر). ويتكون هذا النطاق من الكثير من الأجرام الصخرية المغطاة بالجليد. إن أشهر الأجرام في حزام كويبر هو بلوتو الذي كان صنف حتى وقت قريب على أنه كوكب. ومنذ اكتشافه عام 1930م، عرف الفلكيون أنه يختلف قليلًا عن الكواكب الأخرى المعروفة كلّها. فعلى سبيل المثال، فإنّ مدار بلوتو يميل بزاوية على مستوى النّظام الشّمسيّ (دائرة البروج). كما أنه صغير جدًّا؛ حيث تبلغ كتلته سُبُعَ حجم قمرنا. وفي عام 1990م، بدأ الفلكيون اكتشاف عدة أجرام في حزام كويبر بحجم بلوتو وأحيانًا أكبر. ومنذ عام 2006م، فإنّ هذه الأجرام التي بحجم بلوتو صنفت وسميت **الكواكب القزمة**. إنّ السّبب الرئيس في أنها لا تعدّ من الكواكب بشكل كامل هو أنّ عليها دمج المواد الموجودة كلّها في مداراتها. فعند الحافة الخارجيّة للنظام الشّمسيّ، نجد المواد الموجودة هناك متناثرة لا تقوى على إحداث هذا الاندماج. وإنه لمن الطريف معرفة أنه لو كان نطاق كويبر أكثف مما هو عليه، فإنّ هذه الكواكب القزمة قد تكون نوى لمجموعة كواكب جوفينية إضافية جديدة. ولكن هذا مستحيل الحدوث، وهذا يعني أنّ نطاق كويبر هو نطاق آخر للكواكب التي لم تكتمل نشأتها.

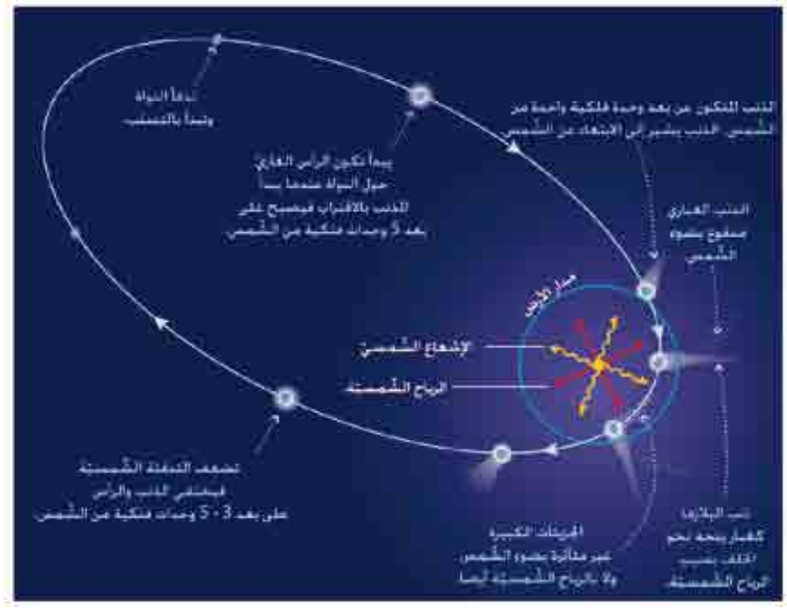
إنّ الكواكب القزمة في نطاق كويبر بحاجة إلى زيارة من قبل المجسّات الفضائية. وستقوم مركبة نيوهرايزون بزيارة بلوتو وقمره شارون عام 2015. لقد أصبح لدينا نظرة عامة وتمهيدية عن هذا النطاق عندما التقطت مركبة فويجر 2 صورًا لقمر نبتون – تريتون. ويتوقع الفلكيون الآن أن يكون القمر تريتون أحد الكواكب القزمة في نطاق كويبر التي سحبت بالتأكيد، واصطيدت إلى مدار نبتون.

إنّ لأجرام نطاق كويبر الكبيرة كبلوتو كمية من القصور الذاتي. لذا فبالتأكيد ليس من السهل انفلاتها. في حين أنّ الأجرام الخفيفة تفلت في بعض الأحيان بالتأكيد. ففي بعض الأحيان، تقذف في اتجاه الشّمس؛ حيث ترتفع حرارتها، ومع وجود الرياح الشّمسيّة فإنّ هذا يؤدي إلى قذف الجليد والغازات الطيارة بعيدًا عن الشّمس. ونشاهد هذه الأجرام **كمذنبات *(Comets)***. تتميز بذنب طويل ومتألق أحيانًا. يبين غلاف هذا الكتاب السطوع غير العادي لمذنب (مك نوت) الذي مرّ قريبًا من الشّمس مبكرًا في عام 2007م. ويبدو أنّ دورة المذنبات التي جاءت من نطاق كويبر تبلغ 200 سنة. ومثال ذلك مذنب هالي الذي يعود إلى الكواكب الدّاخليّة في النّظام الشّمسيّ كلّ 76 سنة، والتي تعادل مرة في حياة الإنسان تقريبًا (الشّكل 26. 43). ومن المتوقع أن تكون عودته القادمة عام 2061م.

الشّكل 40.26
تكوّنت فوهة بادينجر في أريزونا قبل 25000 سنة بفعل نيزك حديدي قطره 50 مترًا. تمتد الفوهة نحو 1.2 كم، وبعمق يصل إلى 200 م.



الشّكل 41.26
هذه الصور بالأشعة تحت الحمراء لبلوتو الذي يدور حوله قمره شارون، وهما ضبابيان غير واضحين بسبب صغر حجميهما وبعديهما الكبير عن الأرض.

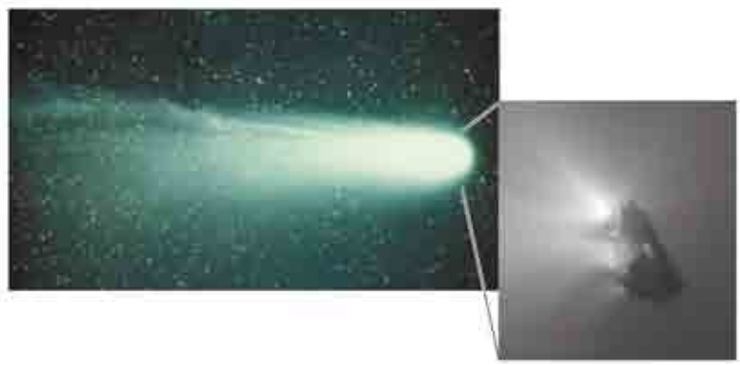


الشّكل 42.26
يسخن المذنب عندما يقترب من الشّمس ويبدأ في تكوين الرأس coma، وهو عبارة عن هالة من الغاز تحيط بنواة المذنب. ومن هذا الرأس يخرج ذنب يندفع خارجًا بعيدًا عن الشّمس بفعل الرياح الشّمسيّة. لاحظ كيف أنّ هذا الذنب يبتعد دائمًا عن الشّمس. إنّ معظم المذنبات لا تقوم بهذه العملية أبدًا، بل تبقى متجمدة بشكل أزليّ لأنّها بعيدة وخارجة عن تأثير نظامنا الشّمسيّ.

يبدو أنّ المذنبات توجد في موقعين على الأقل. فالأول هو نطاق كويبر الذي يقع تقريبًا في مستوى النّظام الشّمسيّ نفسه. أما الثاني فيقع أبعد من ذلك. فهو يحيط بالنّظام الشّمسيّ كلّه من الخارج كالسحابة.

سحابة أورت والمذنبات (The Oort Cloud)

كلما نمت الكواكب الجوفينية، قويت جاذبيتها، وهذا ما يجعلها أكثر فاعلية على سحب الفتات الواقع بين الكواكب. ولكن لم يسحب الفتات بشكله الكامل إلى الكواكب الجوفينية. وفي حالات كثيرة، فإن قطعة من الصخر أو الجليد تخطئ الالتحام بكوكب.



الشّكل 43.26
رُصد المذنب هالي منذ آلاف السنين. ومع أنه يزورنا بسطوعه المنتشر، إلا أنّ زيارته الأخيرة لنا عام 1986م لم تكن بهذه الفخامة عندما رصد من الأرض. ولقد كنا مستعدين بمجساتنا الفضائية للاقتراب منه لالتقاط صور مؤثرة لنواته.

الشّكل 44.26
هناك مجموعتان كبيرتان من المذنبات هما: نطاق كويبر وسحابة أورت.

لا تستمر معظم المذنبات في العادة أكثر من عدة دورات وتتحطم بعدها. ولكن إذا كان عمر النِّظام الشّمسيّ بلايين السنين فهل ستستنفد هذه المذنبات الآن؟
هذا السؤال أدى إلى فكرة سحابة أورت والتي تؤدي إلى تزويدنا باستمرار بمذنبات جديدة، والتي تحل محل المتحطم منها.

وبدلًا من ذلك فإنها تدور بسرعة حوله ثم يُقذف بها بعنف بعيدًا عن الكوكب وفي أي اتجاه. وعبر بلايين السنين نشأت كرة من هذه الأجرام البعيدة جدًّا تكاد ترتبط بنظامنا الشّمسيّ. تسمى هذه التجمعات من الأجرام البعيدة جدًّا **سحابة أورت**. إنّ الأدلة التي تمّ الوصول إليها تقترح أنّ هذه السحابة مكونة من تريليون جرم، وتمتد بعيدًا في الخارج حتى 50000 وحدة فلكية. أي ما يعادل نحو ربع المسافة لأقرب نجم إلينا. إنّ القليل من هذه الأجرام يذهب دوريًّا في اتجاه الشّمس ثم حولها، فيظهر لنا كمذنب. إنّ مدة الدورة لهذه المذنبات الآتية من هذه السحابة هي من مرتبة آلاف أو حتى ملايين السنين. وهي تأتي من أي زاوية تقريبًا.

وسواء جاءت المذنبات من نطاق كويبر أو من سحابة أورت، فإنه لا زال لديها احتمالية الاصطدام مع أيّ كوكب؛ ففي عام 1994م اصطدم المذنب شوميكر- ليفي بالمشتري بمنظر خلاب. كما يظهر في الشّكل 26. 45. ومن المحتمل أيضًا أن يكون التصادم النيزكي الذي ضرب الأرض قبل 65 مليون سنة، ما أدى إلى الانقراض الضخم للديناصورات، هو اصطدام مذنبي.

(أ)

(ب)

الشّكل 45.26
لقد تحطم المذنب شوميكر- ليفي إلى أجرام خطية مباشرة قبل تصادمه مع المشتري عام 1994م. ترينا الصورة عن اليسار (أ) بالأشعة تحت الحمراء التصادمَ الذي ولد الحرارة العالية وندبًا (البقع السّود)، كما يظهر في الصورة (ب) عن اليمين.

الجدول 2.26 بيانات زخات الشهب*

اسم الزّخّة	المشع	التاريخ	تاريخ قمة النشاط	عددالشهب/الساعة
الفرسيات	الفرس الأعظم	يناير 1 - 6	يناير 3	60
إيتا الدلويات	الدلو	مايو 1 - 10	مايو 6	35
البرشاويات	حامل رأس الغول	يوليو 23 - آب 20	أغسطس 12	75
الجوزاويات	الجوزاء	أكتوبر 16 - 27	أكتوبر 22	25
الأسديات	الأسد	ديسمبر 7 - 15	ديسمبر 13	75

* تبدو الشهب وكأنها تشعّ من جهة محددة في السّماء، تسمّى عادة مصدر الإشعاع. تعد مصادر الإشعاع هذه كويكبات. انظر إلى الفصل 27 لمعرفة المزيد عن أماكن وجود هذه المجموعات النجمية المختلفة في سماء الليل.

الشّكل 46.26
عندما تتقاطع الأرض مع مدار مذنب فإننا نشاهد زخات الشهب.

يترك ذنب المذنب خلفه بقايا من الجسيمات. وفي كلّ عام تمرّ الأرض من خلال بقايا ذيول المذنبات التي تؤدي إلى تكوين زخات من الشهب. كما يبدو في الجدول 2.26. إنه لأمر مدهش مشاهدة تلك الزخات من الشهب. اخرج وانظر إلى السّماء، سترى شهبًا في كلّ نظرة ثاقبة خلال كلّ دقيقة. إنّ كلّ شريط ضوئيّ ضيق هو قطعة صغيرة من مذنب وقع في يوم ما على جاره الأرض (الشّكل 46.26).

■ **اختبر معلوماتك**

نطاق الكويكبات ونطاق كويبر وسحابة أورت

1. أيها أقرب إلى الشّمس؟
2. أيها يولد مذنبات؟
3. أيها يعطينا معظم المذنبات؟
4. أيها يعطينا أكثر زخات الشهب بريقًا؟
5. أيها يتكون من قطع لن تلتحم مكونة كواكب أبدا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. نطاق الكويكبات.
2. نطاق كويبر وسحابة أورت.
3. نطاق الكويكبات.
4. نطاق كويبر وسحابة أورت.
5. كلها

ملخص المصطلحات

الكواكب *Planets*: أجرام كبيرة تدور حول الشّمس، ذات كتل كبيرة بما يكفي لجعل جاذبيتها قادرة على تحويلها إلى كروية وصغيرة إلى درجة مناسبة لتجنيبها الاندماج النووي في اللب. واستطاعت تنظيف مداراتها من الفتات كلّه بنجاح.

دائرة البروج *Ecliptic*: مستوى مدار الأرض حول الشّمس. إنّ الأجرام الأساسية كلّها التي للنظام الشّمسيّ تدور في المستوى نفسه تقريبًا.

الكواكب الدّاخليّة *Inner planets*: الكواكب الأربعة التي تدور بما لا يزيد على وحدتين فلكيتين من الشّمس. وتضم كلًّا من عطارد، والزّهرة، والأرض، والمريخ. جميعها صخرية. وتعرف بالكواكب الأرضية.

الكواكب الخارجيّة *Outer planets*: الكواكب الأربعة التي تدور حول الشّمس ببعد يزيد على وحدتين فلكيتين وتضم كلًّا من المشتري، وزحل، وأورانوس، ونبتون. كلها غازية، وتعرف بالكواكب الجوفينية.

الوحدة الفلكية *Astronomical unit (AU)*: معدل بعد الأرض عن الشّمس، وتعادل نحو 1.5×10^8 كم، أي 9.3×10^7 ميل.

نظرية السّديم *Nebular theory*: فكرة تشير إلى أنّ الشّمس والكواكب نشأت معًا من سحابة من الغاز والغبار "السّديم".

البقع الشّمسيّة *Sunspots*: مناطق مؤقتة وباردة نسبيًّا وقاتمة على سطح الشّمس.

أطوار القمر *Moon phases*: دورات التغيير في شكل القمر، وتتراوح من جديد "محاق" ثم تزداد نموًّا حتى البدر، ومن ثمّ عودة إلى الجديد "محاق".

القمر الجديد *New Moon*: طور القمر المعتم "المحاق" حيث يغطي الظلام الوجه المقابل للأرض.

البدر Full Moon: طور القمر كامل الإضاءة حيث يضاء الوجه المقابل للأرض كلّه.

كسوف الشّمس *Solar eclipse:* ظاهرة سقوط ظل القمر على الأرض مكوّنًا مناطق ظلام في وضح النهار.

خسوف القمر *Lunar eclipse:* ظاهرة سقوط ظل الأرض على القمر مكوّنًا ظلامًا نسبيًّا على سطح البدر.

نطاق الكويكبات *Asteroid belt:* منطقة بين مداري المريخ والمشتري مكوّنة من قطع صغيرة صخرية تشبه الأرض وتدور حول الشّمس. تسمى هذه القطع الكويكبات والتي تعني باللغة اللاتينية "النجم الصغير".

أشباه الكويكبات *Meteoroid:* قطع صخرية صغيرة تقع في الفضاء بين الكواكب. وقد تتضمن قطعًا من الكويكبات أو المذنبات.

الشهاب *Meteor:* شبه كويكب يحترق عند دخوله الغلاف الجوي للأرض.

النيزك *Meteorite:* شبه كويكب أو جزء منه، وهو كبير بحيث ينجو عند دخوله الغلاف الجوي للأرض ويصل إلى سطحها.

نطاق كويبر *Kuiper belt:* منطقة على شكل قرص في السّماء وتقع بعد كوكب نبتون. وهي مكوّنة من أجرام جليدية. كما أنّها مصدر للمذنبات القصيرة الدورة.

الكواكب القزمة *Dwarf planet:* أجرام كبيرة نسبيًّا من الجليد كبلوتو. وتقع في نطاق كويبر.

المذنب *Comet:* جسم يتكوّن من الجليد والغبار، ويدور حول الشّمس. وعادة ما يكون في مدارات غير متمركزة. وفيه ذنب لامع يتولّد بفعل الإشعاع الشّمسيّ عند مروره قريبًا من الشّمس.

سحابة أورت *Oort cloud:* منطقة تقع بعد نطاق كويبر وتضم تريليونات من الأجرام الجليدية. وتعدّ مصدرًا للمذنبات الطويلة الدورة.

أسئلة مراجعة

1.26 النِّظام الشّمسيّ ونشأته

1. ما عدد الكواكب المعروفة في نظامنا الشّمسيّ؟
2. ما اسم الكوكب القزم الذي استبعد من مجموعة الكواكب الشّمسيّة في عام 2006م؟
3. فيم تختلف الكواكب الخارجيّة عن الكواكب الدّاخليّة إضافة إلى الموقع؟
4. لماذا تزيد سرعة السّديم حول نفسه كلما انكمش؟
5. بناء على نظرية السّديم، هل بدأت الكواكب بالتكون قبل اشتعال الشّمس أم بعده؟

2.26 الشّمس

6. ماذا يحدث لكتلة الشّمس كلما احترقت؟
7. ما البقع الشّمسيّة؟
8. ما الرياح الشّمسيّة؟
9. فيم يختلف دوران الشّمس عن دوران جسم صلب؟
10. كم يبلغ عمر الشّمس؟

3.26 الكواكب الدّاخليّة

11. لماذا يكون نهار عطارد حارًّا جدًّا وليله باردًا جدًّا؟
12. ما الكوكبان اللذان يكونان نجمي الصباح و المساء؟
13. لماذا تسمى الأرض الكوكبَ الأزرق؟
14. ما الغاز الذي يكوّن معظم الغلاف الجوي للمريخ؟
15. ما الدليل على أن المريخ كان يومًا ما أكثر رطوبة من الآن؟

4.26 الكواكب الخارجيّة

16. ما المعالم السطحية المشتركة لكلّ من المشتري والشّمس؟
17. أيّ حلقات زحل تتحرك بشكل أسرع: الدّاخليّة أم الخارجيّة؟
18. كم يميل محور أورانوس؟
19. لماذا يكون نبتون أكثر زُرْقة من أورانوس؟

5.26 قمر الأرض

20. لماذا لا يحتوي القمر على غلاف جوي؟
21. أين تقع الشّمس عندما يكون القمر بدرًا؟
22. أين تقع كلّ من الشّمس والقمر عندما يكون القمر جديدًا "محاقًا"؟
23. لماذا لا يحدث الكسوف والخسوف شهريًّا أو قريبًا من الشهر؟
24. لماذا يقارن معدل دوران القمر حول نفسه مع معدل دورانه حول الأرض؟

6.26 إخفاق نشأة الكواكب

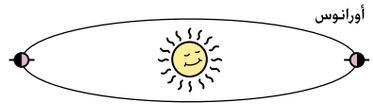
25. بَيْنَ أي مداري كوكبين يقع نطاق الكويكبات؟
26. ما الفرق بين الشهاب والنيزك؟
27. ما نطاق كويبر؟
28. ما سحابة أورت؟ ولِمَ تراقب؟
29. ما النجم المحفق؟
30. ما الذي يجعل طرف المذنب يشير بعيدًا عن الشّمس؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ■ بناء على نظرية السّديم، ما الذي يحدث للسديم عندما ينكمش بقوة الجاذبيّة؟
2. ● ما الذي يحدث لشكل السّديم عندما ينكمش وتزيد سرعة دورانه حول نفسه؟
3. ■ ما الطّاقة التي تجعل الشّمس تضيء؟ ومن أي منظور يمكن القول إنّ الجاذبيّة هي المصدر الرئيس للطاقة الشّمسيّة؟
4. ■ عادة ما تكون شاشة التلفاز رمادية فاتحة وهي غير مضاءة. فكيف يكون سواد البقع الشّمسيّة شبيهًا بسواد الصورة على شاشة التلفاز؟
5. ■ عندما تدور كرة غازية حارة قرصية الشّكل حول نفسها فإنها تأخذ بالتبريد. لماذا؟
6. ♦ لو لم تدر الأرض حول نفسها واستمرّت في الدوران حول الشّمس، فكم سيكون طول النهار على الأرض؟

7. ♦ لو لم تدر الأرض حول محورها وبقيت تدور حول الشّمس، فهل ستغيب الشّمس في الشرق أم في الغرب، أم ليس في أيّ منهما؟
8. ● يظهر أثر الدفيئة واضحًا في الزّهرة، ولكنه لا يوجد على عطارد أبدا. لماذا؟
9. ● أين تتكوّن العناصر الأثقل من الهيدروجين والهيليوم؟
10. ● ما أسباب تكوّن الرياح على المريخ (وفي معظم الكواكب الأخرى)؟
11. ■ لماذا لا يكون على سطح الزّهرة إلا قليل من الرياح؟
12. ♦ لو انتقلت الزّهرة إلى النطاق القابل للحياة فهل ستصبح ظروفه مناسبة للحياة؟
13. ● ما الاختلافات الرئيسة بين الكواكب الأرضية وكواكب المشتري؟
14. ● ما العوامل المشتركة بين المشتري والشّمس في حين لا تشترك فيها الكواكب الأرضية؟ وبماذا يتميز المشتري عن النجم؟
15. ■ في الأجرام السماوية كالكواكب والنّجوم، لماذا لا يكون الحجم الكبير ذا كتلة كبيرة بالضرورة؟
16. ■ لماذا تختلف فصول أورانوس عن فصول أي كوكب آخر؟



17. ■ ما الظروف التاريخية المتشابهة التي ربطت بين نبتون وبلوتو مع العنصرين: نبتونيوم وبلوتونيوم؟
18. ● تدور الأرض حول نفسها أسرع كثيرًا من الزّهرة. فكيف تفسر نظرية الاصطدام العظيم لنشأة القمر هذه الحقيقة؟
19. ● لماذا تظهر فوهات الارتطام على سطح القمر بكثرة، في حين لا تظهر على سطح الأرض؟
20. ■ لماذا لا يوجد غلاف جوي على سطح القمر؟ دافع عن إجابتك.
21. ■ هل تدل الحقيقة القائلة (لا نرى إلا وجهًا واحدًا للقمر) على دوران القمر حول نفسه أم عدم دورانه؟ دافع عن إجابتك.

(أ) (ب)

22. ♦ الصورة (أ) تبين القمر مضاءً جزئيًّا من الشّمس. الصورة (ب) تبين كرة الطاولة معرضة لأشعة الشّمس. قارن بين مكاني الشّمس في السّماء عندما أخذت كلتا الصورتين. هل الصورتان تنفيان أم تثبتان أنهما أخذتا في اليوم نفسه؟ دافع عن إجابتك.
23. ♦ نحن نرى دائمًا وجهًا واحدًا للقمر لأنّ دورانه حول محوره يأخذ الزمن نفسه لدورانه حول الأرض. فهل الراصد للأرض من سطح القمر يرى وجهًا واحدًا لها أيضًا؟
24. ■ لما كنا لا نرى إلا وجهًا واحدًا للقمر، في حين لا نرى الوجه الآخر أبدا، فهل الراصد للأرض عن الوجه المعتم للقمر يرى الأرض أيضًا؟
25. ● في أيّ وضع من اصطفاف الشّمس والقمر والأرض يحدث كسوف الشّمس؟
26. ● في أيّ وضع من اصطفاف الشّمس والقمر والأرض يحدث خسوف القمر؟
27. ● ما العوامل المشتركة بين القمر والإبرة المغناطيسية عادة؟
28. ♦ لو كنت على سطح القمر ورأيت الأرض كاملة، فهل يكون الوقت على سطح القمر نهارًا أم ليلًا؟
29. ♦ لو كنت على سطح القمر ورأيت أرضًا جديدة "محاقًا" فهل يكون الوقت على سطح القمر نهارًا أم ليلًا؟
30. ♦ تستغرق الأرض 365.25 يومًا لدورانها حول الشّمس، فلو استغرقت الأرض الزمن نفسه لدورانها حول نفسها، فكيف يمكن أن نشاهد مكان الشّمس في السّماء؟
31. ● في أيّ طوريّ القمر ترصد النّجوم: البدر أم المحاق؟ هل هناك اختلاف؟
32. ● في الغالب، كلّ إنسان شاهد خسوف القمر، ولكن القليل من الناس تقريبًا شاهد كسوف الشّمس. لماذا؟
33. ■ نتيجة لظلّ الأرض على القمر، يحدث خسوف جزئيّ لهذا القمر يشبه الكعكة المأكول منها قضمة. فسر برسم تخطيطي كيف أن انحناء هذه القضمة تدل على حجم الأرض بالنسبة إلى حجم القمر. كيف يؤثر النقص التدريجي لأشعة الشّمس في انحناء القضمة؟
34. ■ بأيّ مفهوم يعدّ بلوتو مذنّبًا؟
35. ■ تقذف القطع الصغيرة من الكويكبات في اتجاه الأرض أكثر كثيرًا من القطع الكبيرة. لماذا؟
36. ● لماذا تشاهد النيازك بسهولة في القارة القطبية الجنوبية أكثر من أيّ قارة أخرى؟
37. ● يرى الشهاب مرة واحدة فقط، ولكن المذنب قد يرى بانتظام وفقًا لدورات محددة في حياته. لماذا؟
38. ● ما نتيجة مرور ذنب المذنب عبر الأرض؟
39. ■ إنّ حظوظ مشاهدة مذنب واحد على الأقل في سماء الليل لم يكتشف من قبل هي 50%. وهذا يجعل الفلكيين الهواة مشغولين دائمًا وللليلة بعد أخرى لاكتشاف أحد المذنبات لينالوا شرف تسميتها بأسمائهم. ومع الاحتمالية الكبيرة لوجود هذه المذنبات في السّماء، لماذا لم يكتشف الكثير منها؟
40. ■ بالرجوع إلى حفظ الطّاقة ومفهومها، صف سبب احتراق المذنبات في النهاية.

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● إذا علمنا أنّ سرعة الضوء 300000كم/ ثانية، فبين كيف أنّ ضوء الشّمس يستغرق نحو 8 دقائق للوصول إلى الأرض؟
2. ■ كم يومًا يستغرق ضوء الشّمس لقطع مسافة 50000 وحدة فلكية (*AU*) من الشّمس وحتى الحدود الخارجيّة لسحابة أورت؟

3. ■ السنة الضوئية وحدة معيارية لقياس المسافات عند الفلكيين. وهي المسافة التي يقطعها الضوء في السنة الأرضية . كم يبلغ قطر نظامنا الشّمسيّ بوحدة السنة الضوئية حتى الحدود الخارجيّة لسحابة أورت على نحو تقريبيّ؟ (افترض أنّ السنة الضوئية الواحدة تعادل 63000 وحدة فلكية *AU*).

4. ■ أقرب النّجوم إلى شمسنا هو نجم ألفا قنطورس الذي يبعد نحو 4.4 سنة ضوئية. افترض أنّ له أيضًا سحابة أورت وبقطر تقريبي 1.6 سنة ضوئية. بين أنّ هناك فراغًا كافيًا بينه وبيننا يتسع لـ 1.75 نظام شمسيّ.

5. ♦ لو كانت الشّمس بحجم كرة الشاطئ، لكانت الأرض بحجم حبة الحمص. وتبعد عنها 110 أمتار. بيّن أنّ أقرب النّجوم ألفا قنطورس (يبعد 4.4 سنة ضوئية) سيكون على بعد 30000 كم. (أوجد المسافة إلى ألفا قنطورس بالوحدات الفلكية *AU*).

أنشطة استكشافية

قمر كرة الطاولة

أحضر كرة طاولة في يوم لاحق عندما يكون القمر ظاهرًا. ارفع الكرة بيدك، ومدّها في اتجاه القمر بحيث تغطي الكرة القمر كله. انظر جيدًا لترى كيف تضاء الكرة من الشّمس. لاحظ أنّ القمر يضاء من الشّمس بالطريقة نفسها. وعلى سبيل المثال، انظر إلى الصورتين المرفقتين في التمرين 22. لمشاهدة الأطوار المختلفة للقمر الذي قد يكون في أماكن مختلفة في السّماء، حرّك الكرة في مواقع مختلفة. لاحظ أنه كلما حركت الكرة مقتربة من الشّمس فإنّ الهلال على الكرة يصبح أصغر. إنّ الشيء نفسه يحدث مع الشّمس. تعدّ هذه التجربة طريقة جيدة لتفحص استدارة القمر.

أطوار القمر

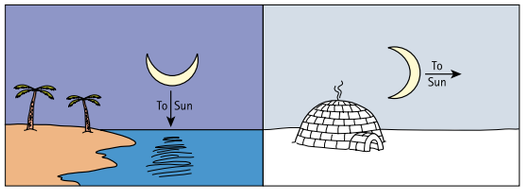
محاكاة أطوار القمر. أدخل قلم رصاص في كرة مطاطية *Styro-foam* لتمثيل القمر. ضع مصباحًا يمثّل الشّمس في غرفة أخرى قريبًا من الممر. ارفع الكرة أمامك وأعلى منك قليلا. در ببطء مع الحفاظ على الكرة أمامك كلما استدرت. لاحظ شكل الضوء والظل على الكرة. اربط ذلك مع أطوار القمر.

حركة القمر

عندما تشاهد دوران الأرض من القطب الشمالي فإنك ستجدها تدور حول نفسها عكس اتجاه عقارب الساعة أو في اتجاه الشرق. إنّ هذا يعني أنّ النّجوم وكأنها تتحرك في الاتجاه المعاكس أي في اتجاه الغرب. وهذا يشبه تمامًا وضعك عندما تجلس في قطار يبدأ بالحركة في اتجاه الشرق. إنّ الطريقة الوحيدة التي تعرف منها أنك تتحرك شرقًا هي أنك ترى من الشباك أنّ الأجرام في الخارج تتحرك غربًا. وبما أنّ الأرض تدور عكس اتجاه عقارب الساعة، فإنّ القمر يدور حولنا في الاتجاه نفسه، ولكن ليس بسرعة دورانا. انظر إلى مكان القمر في ساعة ما في ليلة ما، ولتكن 11,00 مساء. انظر إلى القمر في الليلة الآتية في الوقت نفسه. ستلاحظ أنّ القمر تحرك شرقًا (عكس اتجاه عقارب الساعة) عن مكانه في الليلة الماضية.

تقدير خط العرض

يشير هلال القمر دائمًا إلى الشّمس. ويمكنك استعمال هذه الحقيقة لتقدير خط العرض الذي توجد عليه. فعند خط الاستواء (خط الصفر)، يكون هلال القمر مستويًا مع الأفق، ولكن عند القطب (خط عرض 90°) فإنّ هلال القمر يقف على حافته. (يحدث انحراف صغير عن هذا الوضع عندما يقع القمر خارج دائرة البروج). في المرة القادمة التي ترى فيها هلال القمر القريب من الأفق، انظر جيدًا إلى زاويته وحاول تقدير خط العرض. إنّ هذه العملية تكون أكثر دقة عندما يمرّ القمر في دائرة البروج، أي عندما يقع القمر على خط واحد مع الكوكب.



عروض الفضاء

يمكن توقع مواعيد حدوث زخات الشهب كما يرى في الجدول 26.2. أما شدة هذه الزخات فما زالت في دور التخمين. لذا، استمر في مشاهدة السّماء في الليل لرؤية هذه الزخات. وخلال قيامك بهذا الأمر، تذكّر الفرق بين أشباه الكويكبات، والنيازك، والشهب، والمذنبات. ومن الأمور القابلة للرصد في سماء ليلنا، خسوف القمر الذي يمكن مشاهدته من قبل أيّ إنسان على سطح الأرض الليلي في أثناء الخسوف (على افتراض أنّ السّماء صافية). وفيما يلي تواريخ ظواهر الخسوف القادمة للقمر في شمال أمريكا:

التاريخ	الحالة
21/2/2008	كليّ
9/2/2009	جزئيّ
7/7/2009	جزئيّ
6/8/2009	جزئيّ
26/6/2010	جزئيّ
21/12/2010	كليّ
10/12/2011	كليّ
4/6/2012	جزئيّ

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر أفضل إجابة لكلّ سؤال مما يلي:

1. تحوي الشّمس من كتلة النّظام الشّمسيّ:
أ. نحو 35%
ب. 85%
جـ. النسبة متغيرة مع الزمن
د. أكثر من 99%

2. يشبه النّظام الشّمسيّ الذرة لأنّ كلّا منهما:
أ. محكوم مبدئيًّا بالقوة الكهربائية.
ب. يتكون من جسم مركزي محاط بأجرام تدور في مدارات إهليلجية
جـ. مكوّن من بلازما
د. فراغ فضائي بشكل رئيس.

3. تقوم النّظريّة السّديمية أساسًا على مشاهدات أنّ النّظام الشّمسيّ:
أ. عالي الترتيب، مما يدل على أنه نشأ بخطوات مرتبة بعمليات فيزيائية.
ب ذو تركيب يشبه الذرة كثيرًا جدًّا.
جـ. معقد جدًّا، ويبدو أنه بني بطرق غير واضحة.
د. يبدو أنه قديم جدًّا.

4. عندما يدور جسم غازي كروي حار منكمش يتحول إلى قرص حول نفسه، فإنه يبرد سريعًا بسبب:
أ زيادة انتقال الإشعاع.
ب. زيادة مساحة السطح.
جـ نقص العزل.
د. زيادة تيارات الحمل.
هـ. تيارات دوّامية.

5. في كلّ ثانية، كتلة الشّمس المحترقة:
أ .تزداد.
ب. لا تتغير.
جـ. تنقص.

6. مقارنة بوزنك على الأرض، فإن وزنك على المشتري يكون:
أ. أكثر 3000 مرة
ب. نصف وزنك على الأرض
جـ. 3 أضعاف.
د. أكثر 300 مرة
هـ. أكثر 100 مرة

7. عندما يظهر القمر في صورة هلال رفيع، فإنّ مكان الشّمس يكون:
أ. خلف القمر تقريبًا.
ب خلف الأرض تقريبًا. أي أنّ الأرض تكون بين القمر والشّمس.
جـ. بزاوية قائمة على الخط الواصل بين القمر والأرض.

8. عندما تمر الشّمس بين القمر والأرض يحدث:
أ. خسوف القمر.
ب. كسوف الشّمس.
جـ موتنا المحتوم.

9. تدور الكويكبات حول:
أ. القمر.
ب الأرض.
جـ. الشّمس.
د. كلّ ما ذكر.
هـ. لا شيء مما ذكر.

10. في كلّ مرة يجتاز فيها المذنب الشّمس، فإنّ كتلة المذنب:
أ. تبقى دون تغيير.
ب. تزداد.
جـ. تنقص.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة
١ جـ، ٢ جـ، ٣ أ، ٤ هـ، ٥ جـ، ٦ جـ، ٧ أ، ٨ جـ، ٩ جـ، ١٠ جـ

اكتشف المزيد

http://www.astro.uva.nl/demo/od95

شمس الأرض هي نجم نموذجي، وقد تم فهمها جيداً. قم بجولة افتراضية للشمس من خلال هذا المساق العلمي القصير والجذاب الذي يحتوي الكثير من الافلام، والرسوم البيانية، والصور من الدرجة الأولى، والتفسيرات والشروح. تأكد من اطلاعك.

http://solar-center.staner.stanford.edu

تعتبر هذا الموقع حول الشمس والحائز على العديد من الجوائز نقطة مضيئة على الشبكة عن الشمس. وللإطلاع على الخلفية العلمية حول هذا الموضوع، ادخل إلى العنوان «حول الشمس» للحصول على معلومات حول فيزياء الشمس. هذا وستكون القنون، والأداب، والفلولكلور حول الشمس أفضل خاتمة بحولتك في الموقع.

http://cannon.sfsu.edu/-gmarcy/cswa/history/history.html

لعبت المرأة دوراً بطولياً في علم الفلك عبر التاريخ فمنذ عهد الراصدين الأوائل الذي يوضعوا قوائم النجوم وحتى رجال الفضاء في العصر الحالي وعلماء الابحاث. أنقر فوق اسماء النساء الشهيرات في علم الفلك، وأقرأ حول انجازاتهن، وتعرف أكثر حول اهتماماتهم في الحياة. يتضمن الموقع أيضاً صوراً جميلة من الأرشيف.

http://www.solarviews.com/eng/history.htm

هذا الموقع هو من المواقع الكثيرة جداً؛ حيث يبحث في تاريخ استكشاف الفضاء. أنظر على المحتوى وستجد الخطوط العريضة لمجموعة ضخمة من الخيارات حول الموضوع. سيساعدك مسرد الرسوم الوصول الى الصورة بسهولة.

htpp://sse.jpl.nasa.gov/index.cfm

يتضمن موقع ناسا لاستكشاف النظام الشمسي صوراً مذهلة للكواكب، وأقمارها، والأجسام الأخرى في النظام الشمسي.

الفصل 26 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية

- 26.19

دروس تعليمية

- تكون النظام الشمسي
- الشمس

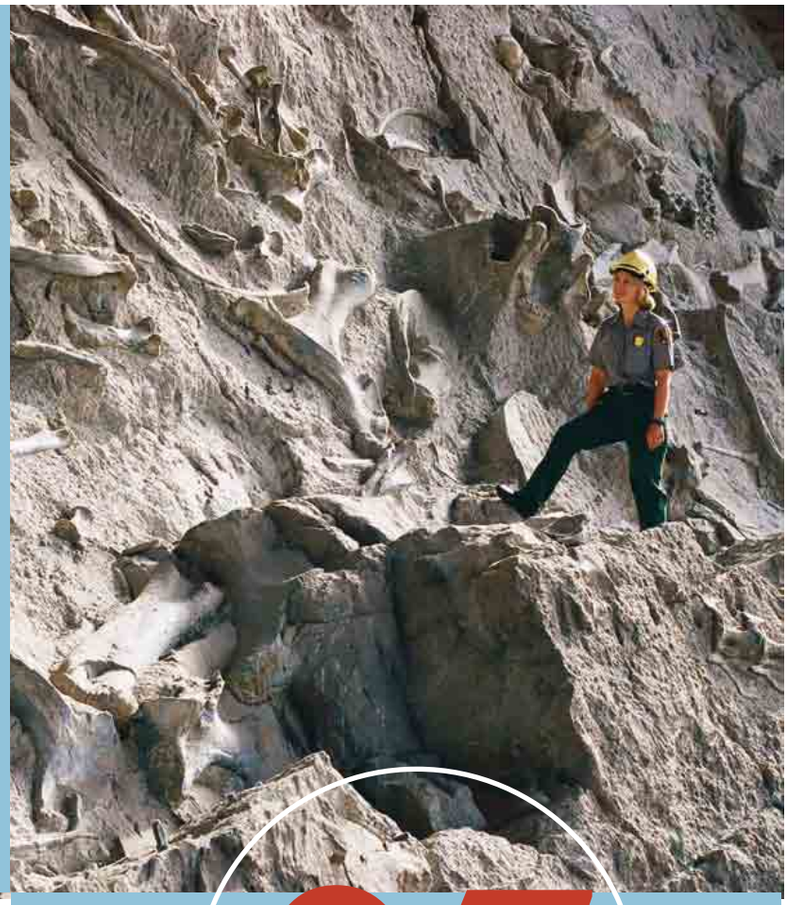
أشرطة فيديو

- تاريخ النظام الشمسي
- مدارات في النظام الشمسي

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط



النجوم والمجرات

27

1.27 رصد السّماء في اللّيل

2.27 سطوع النّجوم وألوانها

3.27 مخطط هيرتزبرونج – رسل

4.27 دورة حياة النّجوم

5.27 الثّقوب السّوداء

6.27 المجرّات

■ تعـود علـوم الفلك إلى ما قبل التاريخ عندما بدأ الإنسـان رصد أنظمة النّجوم في السّـماء ليلًا. ومع أنّ الإنسـان القديم طوّر طرقا لقيـاس أماكن حركة النّجوم ودوراتها، إلا أنه لم يعرف شيئا عن ماهيتها. إنّنا الآن نعلم أنّ الأرض تدور حول نجم؛ إنه شمسـنا. كما نعلم أنّ النّجوم كلّها التي نشاهدها في السّماء ليلًا أبعد كثيرا عنا من الكواكب الأخرى. قد نتوقع في ليل دون قمر أن ما نشاهد من نجوم يبلغ عدة آلاف أو ملايين. ولكن فـي الواقع أنّ ما نراه بالعين المجردة لا يزيد في أكثر الحالات على 3000 نجم من أفق إلى أفق. ولكن أعدادا أكثر كثيرا يمكن أن تشاهد باستعمال المقراب، وخصوصا عندما يكـون موجّهـا في اتجاه ما يشـبه حزمة الغيـوم الممتدة من الشّـمال إلى الجنوب. ولقد سـمّى اليونان القدماء هذا الحزام بطريـق الحليب "درب التبانـة". واليوم، نعلم جيدا أنّ درب التبانة مكونة من تجمع ضخم يزيد على 100 بليون نجم. إنّ شمسـنا والنّجوم الأخرى كلّها في سـمائنا ليلًا تقع في الحافة الخارجيـة لهذا التجمع. فعندما تراقب عن بُعْد، كما ترى في الرسوم

التوضيحية في مقدمة الفصل، فإنّ هذه النّجوم كلّها تظهر كدوّامة ضخمة من النّجوم تعرف بالمجرة galaxy. لقد كانت حزمة الضّوء التي عرفها الإغريق القدماء، هي حافة المشهد لهذه المجرة. وعندما استخدمت المقارب الحديثة بعيدًا عن درب التبانة، اكتشف المزيد من المجرّات. فما عدد هذه المجرّات؟ مرة أخرى، الجواب أكثر من 100 بليون. وهكذا، فهناك أكثر من 100 بليون مجرة، تحتوي كلّ واحدة في المعدل على 100 بليون نجم. أي أنّ مجموع النّجوم في كوننا المرصود يبلغ أكثر من 100 بليون × 100 بليون نجم. وهذا أكثر من مجموع عدد حبات الرّمال الواقعة على شواطئ الأرض جميعها؛ النّجوم كثيرة جدًّا.

في هذا الفصل، سوف نستكشف طبيعة النّجوم؛ كيف نشأت، وكيف تموت، وكيف تنتظم في المجرّات. وسنستكشف أنّ هناك العديد من أنواع النّجوم، إضافة إلى العديد من أنواع المجرّات المختلفة. وسنلقي نظرة قريبة إلى النّجوم المرئية بالعين المجردة. وبالمقارنة بالحجم الكلي لمجرة درب التبانة (Milky Way Galaxy)، فإنّ هذه الآلاف من النّجوم تشبه جيراننا المباشرين.

1.27 رصد السّماء في اللّيل

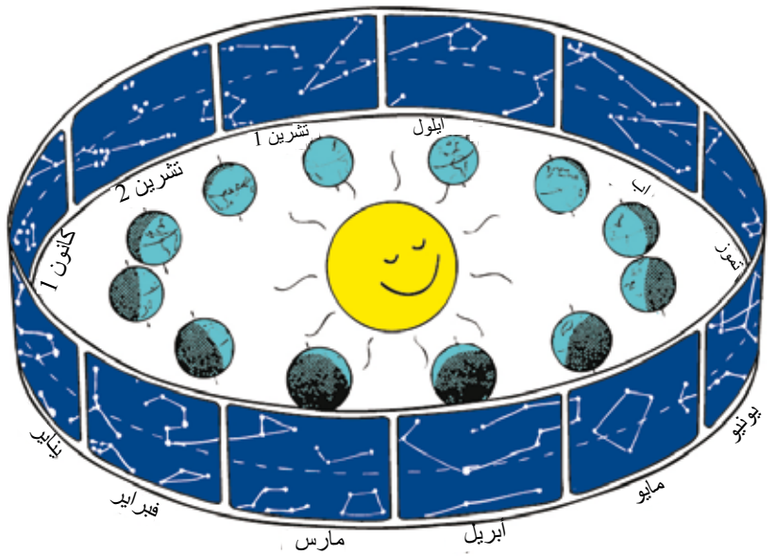
لقد قسّم الفلكيون الأوائل السّماء في الليل إلى مجموعات نجمية أسموها بُروجًا (constellations). كما هو الحال في النّجوم السبع التي نسميها الآن بنات نعش (*Big Dipper*) (وهي جزء من كوكبة الدّبّ الأكبر)(*The Great Bear*). إن أسماء هذه المجموعات تحمل في هذا العصر أسماء أطلقها عليها الفلكيون الإغريق القدماء والبابليون والمصريون. فعلى سبيل المثال، ضمّن الإغريق النّجوم السّبع للدّب الأكبر في مجموعة أكبر من النّجوم لها شكل الدّبّ. هذه المجموعة أو الكوكبة الأكبر هي الدّبّ الأكبر موضحة في الشّكل1.27. وقد اختلف تجميع النّجوم في مجموعات من حضارة إلى أخرى؛ ففي بعض الثقافات، ألهمت المجموعات النّجميّة كتّاب الحكايات والروايات وصناعة الأساطير والخرافات؛ في حين أنها تمثلت الأبطال العظماء كهرقل والجبار في ثقافات أخرى؛ وفي غير هذه وتلك فهي الهادي والدّليل للمسافرين والبحارة. ولحضارات كثيرة، ومن بينهم البوشمن الأفارقة والمساي.. فإنّ هذه المجموعات النجمية قد زوّدتهم بمواعيد زراعة المحاصيل وحصادها. لأنهم وجدوا أنها تسير في السّماء بتناغم مع الفصول. ولقد وضعوا مخططات للحركة الدورية لهذه المجموعات والتي تعدّ أول التقاويم. ومن الشّكل2.27يمكننا مشاهدة أنّ خلفية النّجوم تختلف وفق الوقت في السّنة.

تقع النّجوم على أبعاد مختلفة من الأرض. وبما أنّ النّجوم جميعها بعيدة جدًّا عنا، فإنها تبدو متساوية البعد. ولقد قاد هذا الخداع الإغريق القدماء والآخرين إلى الاعتقاد والتصور أنّ النّجوم مربوطة إلى كرة عملاقة تحيط بالأرض تدعى **الكرة السّماويّة "القبّة السّماويّة" *celestial sphere***. ومع أننا نعلم حقّ العلم أنّ هذا الأمر خياليّ. إلّا أنّ هذه الكرة السّماويّة لا زالت تخيلًا مفيدًا في تصور حركة النّجوم (الشّكل 3.27).

تبدو النّجوم وكأنها تدور حول محور تخيليّ يتجه شمالا – جنوبًا كلّ 24 ساعة. هذه هي *الحركة اليومية* للنجوم. ويمكن تصور هذه الحركة اليومية بسهولة وكأنها دوران للقبة السّماويّة من الشّرق إلى الغرب. إنّ هذه الحركة هي نتيجة منطقية للدوران اليومي للأرض حول محورها في عكس اتجاه عقارب السّاعة .

الشّكل 1.27
كوكبة بنات نعش الكبرى، الدّبّ الأكبر.النّجوم السّبعة التي في ذنب الدّبّ الأكبر وظهره الخلفي هي بنات نعش الكبرى

إنّ وضع النّجوم في مجموعات يدلنا على طريقة تفكير الفلكيين الأوائل ولكنه لا يزودنا بفهم مناسب عن كنهها.

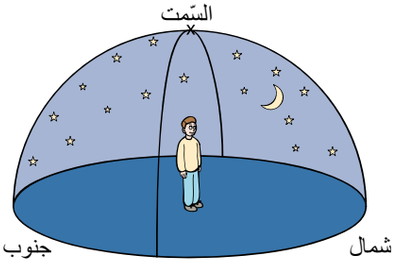


الشّكل 2.27

يكون الجانب المظلم "الليل" من الأرض دائمًا متجهًا عكس الشّمس. وبدوران الأرض حول الشّمس، نرى أجزاء مختلفة من الكون في السّماء ليلا. وهنا تقسم الدورة الكاملة التي تمثل عامًا كاملا إلى 12 جزءًا وهي المجموعات النّجمية الشهرية. وتتغير النّجوم في السّماء ليلًا وفق دورة سنوية.

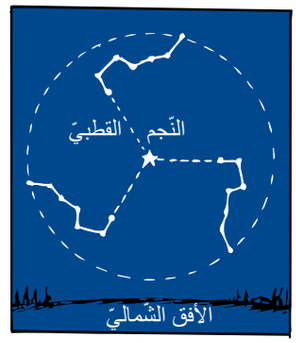
فعندما نتحدث عن الحركة اليومية للنجوم، فإننا نرجع إلى حركات الأجرام السّماويّة ككل؛ وهذه الحركة لا تؤثر في الأماكن النسبية للأجسام. يبين الشّكل 4.27 الحركة اليومية للنجوم التي تكوّن الدّبّ الأكبر. وتبيّن الصور المعروضة مع الزّمن أنّ الدّبّ الأكبر يتحرك في دائرة حول القطب الشّماليّ (الشّكل 5.27). ويبدو القطب الشّماليّ ثابتًا. والكرة السّماويّة تدور لأنه يقع قريبًا جدًّا من مسقط محور دوران الأرض.

وبالإضافة إلى الحركة اليومية للسماء، هناك حركة فعليّة وحقيقيّة لبعض الأجرام التي تغير أماكنها بالنسبة إلى النّجوم: فالشّمس والقمر والكواكب التي سميت بالجوّالة أو السّيّارة من قبل الفلكيين القدماء تبدو أنها تغير أماكنها وتنتقل إلى الخلفية الثابتة للقبة السّماويّة. ولكن من الممتع لنا أن نعلم أنّ النّجوم نفسها لها حركة فعلية حقيقية. إلا أنّ بعدها الشديد لا يبدي لنا هذه الحركة في الزّمن القصير لحياة الإنسان. وكما يبدو في الشّكل 6.27، وعبر آلاف السنين، فإنّ الحركة الفعلية للنّجوم تؤدي إلى أنماط جديدة لها. وبكلمات أخرى، فإنّ المجموعات النجمية التي نراها اليوم مختلفة قليلًا عن تلك التي ظهرت لأجدادنا القدماء.



الشّكل 3.27

القبة السّماويّة كرة تخيلية حيث ترتبط بها النّجوم. ونحن لا نرى إلا نصف الكرة السّماويّة في أيّ وقت. ونسمّي النقطة التي تقع مباشرة فوق رؤوسنا بالسّمت Zenith



الشّكل 4.27

يشير النّجمان اللذان يقعان في نهاية مغرفة بنات نعش(الدليلان)، إلى الشمال. فالأرض تدور حول محورها، ومن ثم حول النّجم القطبي الشّماليّ. وهكذا، ففي دورة 24 ساعة، يدور الدّبّ الأكبر (والنّجوم المحيطة) دورة كاملة.

الشّكل 5.27

صورة طويلة المدة تبين كيف يبدو شمال السّماء في الليل .

الشّكل 6.27
الوضع الحالي للدب الأكبر. ونستطيع هنا مشاهدة أوضاعه.
(أ) قبل 100000 عام.
(ب) الوضع الحالي.
(ج) في المستقبل بعد 100000 سنة.

■ **نقطة فحص**

1. ما الأجرام السّماويّة التي تبدو ثابتة بالنسبة للأجرام الأخرى، وما الأجرام السّماويّة التي تبدو متحركة؟
2. ما نوعا الحركة المنظورة للنجوم في السّماء؟

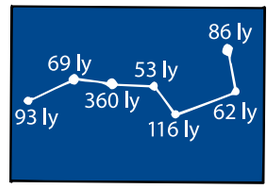
هل كانت هذه إجابتك؟

1. تبدو النّجوم وكأنها ثابتة عند حركتها وسط السّماء. أما الشّمس والقمر والكواكب فإنّ كلا منها يتحرك بالنسبة إلى الآخر عندما تتحرك عبر الستارة الخلفية للنجوم.
2. إنّ أحد أنواع الحركة للنجوم هو دورانها الليلي، وكأنها مطلية على كرة سماوية تدور؛ وهذا نتيجة دوران الأرض حول محورها. كما تبدو النّجوم أيضًا أنها تقوم بحركة دورية سنوية حول الشّمس بفعل دوران الأرض حول الشّمس.

إنّ بعض النّجوم في الكرة السّماويّة هي في الواقع أبعد من بعضها الآخر عن الأرض. ويقيس الفلكيون المسافات الهائلة بين الأرض والنّجوم *بالسّنة الضّوئيّة*. **فالسّنة الضّوئيّة *(Light-Year)*** هي المسافة التي يقطعها الضّوء في سنة كاملة، وتعادل تقريبًا 10 تريليونات كيلومتر. فإذا تصوّرنا الرّسم المنظوريّ فسنرى أنّ قطر دوران نبتون هو 0.001 سنة ضوئية، وأنّ المسافة بين الشّمس والحافة الخارجية لغيمة أورت (وهذا هو كامل نصف القطر للمجموعة الشّمسيّة) هي 0.8 سنة ضوئية. كما أنّ النّجم الأقرب لشمسنا وهو قنطورس القريب يبعد عنها 4.2 سنة ضوئية، وأنّ قطر مجرة درب التبانة حوالي 100000 سنة ضوئية، إلى جانب أنّ أقرب المجرّات إلينا، مجرة الأندروميدا أو (المرأة المسلسلة)، تبعد عنا نحو 2.3 مليون سنة ضوئية. ويبين الشّكل 27 . 7 المسافات إلى النّجوم السّبعة التي تشكّل الدّبّ الأكبر بالسنين الضّوئيّة.

إنّ سرعة الضّوء (كما رأينا في الفصل 11) هي $3x10^8$ متر/ ثانية. ومع أنّ هذه السرعة كبيرة جدًّا، إلا أنّ الضّوء يأخذ وقتًا لا بأس به للانتقال مسافات طويلة. وهكذا، فعندما ترى الضّوء ينتشر من جسم بعيد جدًّا، فإنك في الواقع ترى ضوءًا صدر منذ زمن طويل؛ أي أنك تنظر إلى الزّمن القديم. ولنأخذ مثالا على هذا النّجمَ المستعرَ (سوبرنوفا) الذي حدث عام 1987م (السوبرنوفا هو انفجار أحد النّجوم، كما سندرس بالتفصيل في البند 27 . 4). لقد حدث السوبرنوفا في مجرة تبعد عن الأرض 190000 سنة ضوئية. ومع أننا شاهدنا السوبرنوفا عام 1987م، إلّا أنّ الضّوء الذي حدث بفعل هذا الانفجار قد حدث قبل 190000 سنة، واستغرق هذا الزمن الطّويل حتى وصل إلينا. إنّ أخبار السوبرنوفا في الواقع استغرقت 190000 سنة للوصول إلى الأرض!

■ 27 . 2 سطوع النّجوم وألوانها



الشّكل 7.27
تقع النّجوم السّبع في الدّبّ الأكبر على مسافات مختلفة من الأرض. انظر الاختلاف في المسافات بالسّنوات الضّوئيّة في الشّكل أعلاه.

إن النّجوم جميعها لديها صفات مشتركة مع الشّمس؛ فكلها نشأت عن غيوم من الغبار ما بين النّجميّة ذات التركيب الكيميائيّ كتركيب الشّمس (الفصل 26). فنحو ثلاثة أرباع المواد ما بين النّجمية التي يتكون منها أيّ نجم هي من الهيدروجين، أمّا الربع الرابع فهو الهيليوم؛ وتكون العناصر الكيميائيّة الأخرى والأثقل في النّجوم ما لا يزيد على 2%. تضيء النّجوم وتلمع لملايين بل لبلايين السنين نتيجة الاندماج النووي الذي يحدث في لبّها. لذا، فالنّجوم جميعها، بما فيها الشّمس، تستهلك في النهاية وقودها النووي وتموت.

وبعد، فليست النّجوم كلها متشابهة. فلو نظرت إلى السّماء ليلًا، فسترى أنّ النّجوم تختلف برؤيتها في أمرين هما: السّطوع واللّون. فالسّطوع يتعلق بمقدار ما ينتجه النّجم من طاقة، في حين أنّ اللون يدلّ على الحرارة السّطحية للنجم. وعلى أيّ حال، فمع أنّ سطوع النّجم يتعلق بمقدار ما ينتجه من طاقة إلا أنه يتعلق أيضًا ببعده عن الأرض.

وبالعودة إلى ما درسناه في الفصول السّابقة، فإنّ مربع معكوس المسافة يبيّن أنّ شدة الضّوء تتشتت كلما زاد مربع المسافة من المصدر. فعلى سبيل المثال، نرى أنّ سطوع نجمي يدّ الجوزاء والشِّعرى الشامية هو نفسه، مع أنّ يدّ الجوزاء يشعّ 5000 ضعف ما يشعه الشِّعرى الشامية. فما السبب؟ لأنّ الشِّعرى الشامية أقرب كثيرًا للأرض من يدّ الجوزاء.

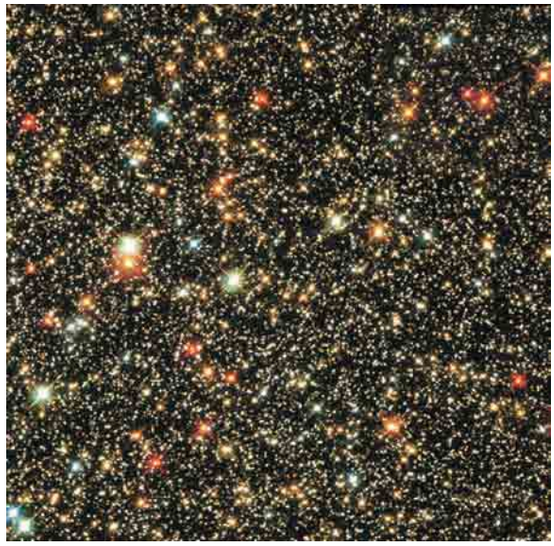
ولتجنب هذا الخلط للسطوع الحاصل بفعل إنتاج الطاقة؛ ميّز الفلكيون بوضوح بين السّطوع الظّاهريّ "القدر الظّاهريّ Apparent brightness وخاصية أخرى أكثر أهمية وهي القدر المطلق أو اللمعان (Luminosity). فالقدر الظاهري هو سطوع النّجم كما يبدو لعيوننا، في حين أنّ القدر المطلق أو اللمعان من ناحية أخرى هو مقدار الطاقة الضّوئيّة التي يبثها النّجم في الفضاء. ويعبر عادة عن القدر المطلق للنجم بالنسبة إلى ما تشعه الشّمس، وهو قدرها المطلق L_{sun}. وعلى سبيل المثال، فإنّ قدر يدّ الجوزاء هو $38000\,L_{\text{sun}}$. وهذا يدلّ على أنّ يدّ الجوزاء نجم ساطع جدًّا، ويشعّ نحو 38000 مرة من الضّوء التي تشعه الشّمس في الفضاء. ومن ناحية أخرى، فإنّ قنطورس القريب يكون معتمًا تقريبًا حيث إنّ سطوعه $0.00006\,L_{\text{sun}}$. ولقد قاس الفلكيون قدر الكثير من النّجوم، فوجدوا أنها تختلف اختلافًا شديدًا في أقدارها. وأنّ الشّمس تقع بشكل أو بآخر في وسط هذه النّجوم. إنّ أكثر النّجوم سطوعًا يصل سطوعه إلى مليون مرة من سطوع الشّمس، وأنّ أكثرها تعتيمًا ينتج عن الضّوء نحو 10000/1 ما تنتجه الشّمس.

وبالإضافة إلى القدر الظّاهريّ للنجوم، فإنّ لونها ظاهرة أخرى متغيرة بشكل كبير. يبيّن الشّكل 27 . 8 صورة للنجوم التقطت بمقراب هابل، وتضم ألوان الطيف كلّها كما تظهر في قوس الله(قوس المطر). فلون النّجم يبين مباشرة حرارة سطحه، ومثال ذلك أنّ اللّون الأزرق من النّجم يدلّ على أنّ حرارة سطحه أعلى من نجم أصفر. وأنّ اللّون الأصفر ذو حرارة أعلى من اللّون الأحمر. وفي الحقيقة، فإنّ الفلكيين يستخدمون اللون لقياس حرارة النّجوم. فلماذا يتعلق لون النّجم بدرجة حرارته؟

منحنى الإشعاع للنجوم (Radiation Curves of Stars)

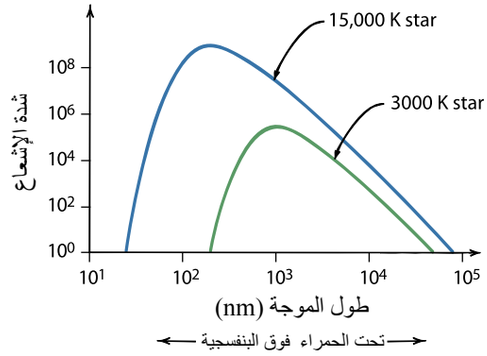
كما تعلمنا في الفصلين 7 و 11 فإنّ المواد جميعها التي درجة حرارتها أعلى من الصفر المطلق تشعّ طاقة على شكل كهرومغناطيسي. وأنّ أعلى تردد $\bar{f}$ للإشعاع يتناسب طرديًّا مع درجة الحرارة المطلقة T للجسم المشع.

$$\bar{f} \sim T .$$



الشّكل 8.27

إنّ معظم النّجوم في هذا الشكل لها البعد نفسه تقريبًا وهو نحو 2000 سنة ضوئية من مركز مجرة درب التبانة. فلون النّجم يدلّ على حرارة سطحه. اللون الأزرق أسخن من اللون الأصفر، واللون الأصفر أسخن من اللون الأحمر. التقطت هذه الصورة بمقراب هابل.



الشّكل 9-27

هذه المنحنيات المثالية لإشعاع سطوع نجوم متغيرة الحرارة تبين حقيقتين مهمتين هما: (1) تبعث النّجوم الأكثر حرارة إشعاعات بمعدل ترددات أعلى من النّجوم الأبرد. (2) تبعث النّجوم الأكثر حرارة إشعاعًا أعلى لكلّ وحدة من مساحة سطحها ولكلّ تردد من النّجوم الأبرد.

لمعلوماتك

■ من الممتع لنا أن نعلم أنّ الغلاف الجوي للأرض شفاف لحزمة ضيقة من الضّوء متمركزة عند قمة التردد الشّمسي. والكائنات هنا على سطح الأرض تتطور لتصبح حساسة لهذه الترددات الأكثر غزارة والتي ندركها كضوء مرئي. ففي ضوء الطيف المرئي نكون أكثر حساسية للأخضر – أصفر. ولهذا فإنّ الكثير من عربات الطوارئ غالبًا ما تدهن باللون أخضر – أصفر.

تختلف ألوان النّجوم؛ لأنها تصدر ترددات مختلفة من الأمواج الكهرومغناطيسية في مدى الضّوء المرئي. وتحس عيوننا هذه الترددات الإشعاعية المختلفة والمرئية وتميزها كألوان. والشّكل 9.27 يبيّن المنحنيات الإشعاعية. وهي مخططات للترددات المنبعثة كإشعاعات مقابل درجة الحرارة للجسم المشع لنجمين مختلفي الحرارة. ويبدو من هذه المخططات أنه كلما ارتفعت حرارة النّجم، قصرَ طول الموجة لقمة التردد. لذا أصبح لون النّجم أكثر زرقة. وهكذا، فإنّ حرارة النّجوم الزرقاء في السّماء ليلًا أعلى من حرارة النّجوم الحمراء. وعلى سبيل المثال، فإن الشّمس التي تبلغ حرارة سطحها 5800 كلفن تبدو صفراء. في حين تبدو يد الجوزاء حمراء لأنّ درجة حرارة سطحها 3400 كلفن تقريبًا. فيد الجوزاء تصدر إشعاعات حمراء أكثر من الزرقاء.

لاحظ أيضًا من الشّكل 9.27 أنه كلما كانت حرارة النّجم أعلى، فإنّ مقدار الطاقة المشعة يكون أعلى. وهكذا، فإننا نلاحظ أنّ النّجوم الزرقاء الأشد حرارة هي الأكثر لمعانًا من الحمراء الأبرد والتي لها الحجم نفسه.

■ **نقطة فحص**

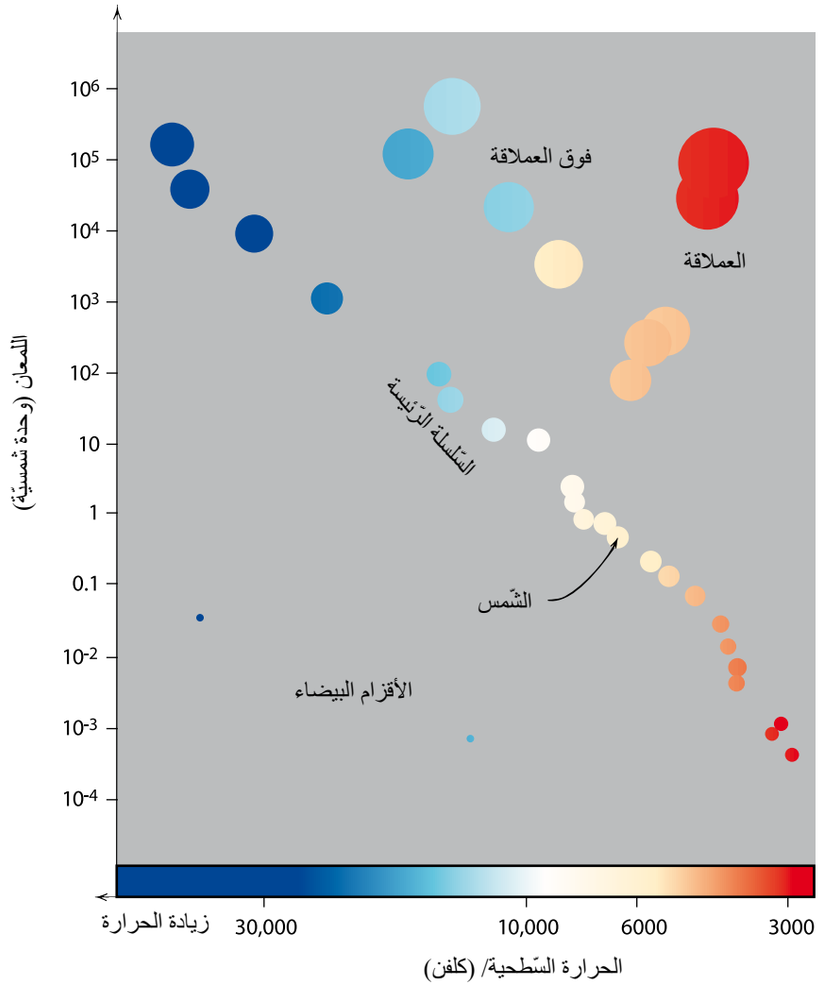
إنّ درجة حرارة الشّعرى اليمانية نحو 9400 كلفن. فما لون هذا النّجم؟ ولماذا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لون الشّعرى اليمانية قريب من اللّون الأزرق. فهو يبعث لونًا أزرق أكثر من اللون الأحمر بسبب حرارة سطحه المرتفعة.

■ 3.27 مخطط هيرتزبرونج – رسل

عند مقارنة ضوئية النّجوم مع حرارتها، تبرز أنظمة مميزة. ففي بداية القرن العشرين، قام الفلكيان الدانمركي إيجنار هيرتزبروخ، والأمريكي هنري نوريس رسل بهذا العمل. لقد أعدّا مخططًا عرف باسميهما: **مخطط هيرتزبروخ – رسل** ، أو **مخطط *H – R***، والذي يعدّ مفتاحًا مهمًّا في علوم الفلك (الشّكل 10.27). إنّ مخطط H – R هو مخطط اللمعان مقابل حرارة السّطح للنجوم. فالنّجوم السّاطعة تقع بالقرب من قمة المخطط، في حين تقع النّجوم الخافتة قريبًا من الأسفل. وتقع النّجوم الحارة الزرقاء في الجانب الأيسر للمخطط، أمّا النّجوم الباردة الحمراء فتقع على الجانب الأيمن له.



الشّكل 10.27

يبيّن مخطط H – R حرارة السّطح للنجوم على المحور الأفقي ولمعانها على المحور العمودي. إنّ النّجوم العملاقة وفوق العملاقة هنا ليست وفق مقياس الرسم. إنّ النّجم الأحمر «قلب العقرب» فوق العملاق كبير إلى درجة أنه لو رسم وفق مقياس الرسم فسيصل إلى سقف الغرفة التي تجلس فيها. ومن المهم العلم بأنّ قطر قلب العقرب يبلغ 700 ضعف قطر الشّمس، إلا أنّ كتلته تبلغ 15 ضعفًا فقط. لذا مع أنّ حجم قلب العقرب أكبر كثيرًا إلا أنّ كثافته أقلّ كثيرًا.

بما أنّ النّجوم العملاقة وفوق العملاقة ساطعة هكذا، فإنّ من السهل رؤيتها في الليل حتى ولو لم تكن قريبة من الأرض. ويمكن لك تحديدها بسهولة من لونها الأحمر.

يبين مخطط H – R عدة مواقع مميزة للنجوم. إنّ معظم النّجوم معينة في المخطط البياني على شكل حزمة ممتدة قطريًّا. وتسمى هذه الحزمة **السّلسلة الرّئيسة** ***main sequence***. إنّ النّجوم على السّلسلة الرّئيسة بما فيها الشّمس تولد طاقة نتيجة اندماج الهيدروجين وتحوله إلى هيليوم. وكما نتوقع، فإنّ أسخن نجوم السّلسلة الرّئيسة هي أكثرها سطوعًا وأكثرها زرقة. وأنّ أبردها هو أكثرها تعتيمًا واحمرارًا. أعط لحظة من وقتك لإسقاط الشّمس على مخطط H – R. هل تلاحظ أنّ الشّمس تقع تقريبًا في وسط السّلسلة الرّئيسة سطوعًا وحرارة؟

يتميز الجزء الأعلى الأيمن من المخطط بوجود مجموعة من **النّجوم العملاقة** ***giant stars***. وهذه النّجوم وبوضوح لا تتبع نظام السّلسلة الرّئيسة الحارقة للهيدروجين. وبما أنها حمراء اللون، فإننا نعلم أنّ حرارة سطحها ستكون منخفضة بالضرورة. ولو كانت نجومًا من السّلسلة الرّئيسة، فإنّ هذه النّجوم العملاقة ستكون معتمة. ولاحظ أيضًا كم يكون مقياس سطوع هذه النّجوم العملاقة مرتفعًا، فهي ساطعة جدًّا. إنّ حقيقة كون هذه النّجوم العملاقة أكثر برودة، وكذلك أكثر سطوعًا كثيرًا من الشّمس يدلنا على أنها يجب أن تكون أكبر من الشّمس. (لذا سميت *بالعملاقة*) وفوق العملاقة وعلى مخطط H – R يقع عدد قليل من النّجوم تسمّى النّجومَ فوق العملاقة. فالنّجوم فوق العملاقة أكبر وأشدّ سطوعًا من العملاقة. وكما سترى في الفقرة اللاحقة، فإنّ العملاقة وفوق العملاقة هي نجوم في أواخر أيام عمرها لأنّ وقودها من الهيدروجين الموجود في لبّها في طريقة للنفاد.

لمعلوماتك

■ يعدّ مخطط H - R للفيزياء الفلكية أداة في غاية الأهمية، كما الجدول الدوري للكيمياء. إن موقع النّجم على المخطط يحدد عمره. فعمر مجرتنا يمكن توقعه بالنظر إلى مكان أقدم النّجوم فيها وبقايا أقزامها البيضاء.

تقع بعض النّجوم الخافتة التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة في اتجاه اليسار للأسفل. إنّ سطوح هذه النّجوم قد تكون أسخن من الشّمس لذا تجعلها زرقاء اللون أو بيضاء. ومع هذا، فضوئيتها منخفضة تمامًا- فهي ما بين 0.1 L_{sun} و0.0001 L_{sun}. وحتى تكون بهذه الحرارة المرتفعة وتشع القليل من الضّوء يجب أن تكون صغيرة جدًّا. لذا، فهي تسمى **الأقزام البيضاء** ***white dwarfs*** . تشبه الأقزام البيضاء تمامًا الأرض بحجمها أو أقلّ قليلًا. ولها كتلة تقارن مع كتلة الشّمس. ومن ثم تكون كثافة (أي كتلة وحدة الأحجام) هذه الأقزام البيضاء مرتفعة جدًّا؛ أي نحو مليون جم/ سم^3. وللمقارنة: فإنّ كثافة الذهب هي نحو 19 غم/ سم^3. في حين أنّ معدل كثافة الأرض 5.4 سم^3 تقريبًا. وكما سيرد في الفقرة القادمة، فإنّ الأقزام البيضاء هي نجوم ميتة، أي أنّها بقايا النّجوم التي استهلكت وقودها النووي.

■ **نقطة فحص**

1. ما الخصائص التي تشترك فيها نجوم السّلسلة الرّئيسة كلها؟
2. للنجوم العملاقة سطوح باردة، ومع ذلك لها سطوع عالٍ. فهل يعني هذا أنّ تردد الضّوء المنبعث من النّجوم العملاقة لا يعتمد على حرارة سطحها، كما هو موصوف في الشّكل 9.27؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. إنّ نجوم السّلسلة الرّئيسة كلها تولّد طاقتها بفعل الاندماج النووي للهيدروجين وتحوله إلى هيليوم.
2. لا؛ فمنحنى الإشعاع للنجم العملاق هو نفسه لأيّ جسم مشع آخر. فالنّجم العملاق له إنتاج طاقة منخفض نسبيًّا لكلّ وحدة من مساحة السّطح، وهي عالية السّطوع لأنها كبيرة جدًّا فقط.

■ علم التّنجيم (*Astrology*)

هناك طريقتان للنظر إلى الكون والعمليات التي تجري فيه: الأولى علم الفلك والأخرى هي التّنجيم. التّنجيم نظام اعتقادي بدأ قبل أكثر من 2000 سنة زمن البابليين، وبقي دون تغيير منذ القرن الثاني بعد الميلاد عندما تمت مراجعته من قبل المصريين والإغريق الذين اعتقدوا أنّ آلهتهم حركت الأجرام السّماويّة المقدسة للتأثير في حياة الإنسان على الأرض. يعتقد التّنجيم في هذه الأيام أنّ مكان الأرض في مدارها حول الشّمس عند الولادة، بالإضافة إلى الموقع النسبيّ للكواكب الأخرى لها شيء من التأثير في الحياة الشخصية لإنسان ما. أي أنّ للنجوم والكواكب أثرًا في الأمور الشخصية للإنسان كالخصائص المعينة للزواج، والصداقات، والصحة، والموت... إلخ. فهل قوى الجاذبية التي تمارس بفعل الأجرام السّماويّة تصبح عوامل تأثير صحيحة وحقيقية في شؤون البشر؟ وبعد، فإنّ المد والجزر هي نتاج لأماكن وجود القمر والشّمس وقوى الجذب بين الكواكب ما يؤدي إلى تشويش واضطراب في مدارات أحدها على الكواكب الأخرى. وبما أنّ الاختلاف البسيط في الجاذبية يؤدي إلى هذه الآثار، فهل لا تؤثر الاختلافات البسيطة في المواقع الفلكية لهذه الأجرام عند الولادة في المواليد الجدد؟ إن كان تأثير النّجوم والكواكب جاذبًا، فيجب التصديق أيضًا بأثر الجذب بين المواليد الجدد والأرض نفسها. هذا الجذب أكبر كثيرًا من الجذب المركب للكواكب كلّها حتى لو اصطفت الكواكب على خط واحد (كما يحدث أحيانًا). كذلك، فإنّ الأثر الجاذبي لمبنى مستشفى في المواليد الجدد يفوق كثيرًا تأثير الكواكب البعيدة. وهكذا فإنّ الجاذبيات الكوكبيّة لا يمكن أن تكون عوامل أساسية في التّنجيم.

فالتّنجيم ليس علمًا لأنه لا يتغير مع المعلومات الجديدة كما تتغير العلوم. كما أنّ توقعاته لا تستنبط من حقائق. بل هي تنبؤات تعتمد على المصادفة. وعلى ميول كثير من الأفراد الذين يبحثون عن تفسيرات خارجية للقضاء والقدر، ولسلوكاتهم الشخصية. إنّ معتقدات التّنجيم مبنية على دلائل من الحكايات والنوادر غير القابلة لإعادة الحدوث ولا إلى الفحص. إنّ التّنجيم يعني أشياء مختلفة لأشخاص مختلفين، ولكن في كلّ حالة هي بعيدة عن مجال العلوم. إنه علم كاذب يقع في مجال الخرافات.

27 . 4 دورة حياة النّجوم

لقد بحثنا في الفصل 26 النظرية السّديميّة التي تفسر نشوء الشّمس من غيمة الغاز والغبار منخفضة الكثافة وكبيرة الاتساع سميت سديمًا (الشّكل 11.27). ولقد تكونت النّجوم الأخرى بالطريقة نفسها. وهذا يعني أنه بمرور الزّمن يتسطّح السّديم، وترتفع حرارته، ويدور حول نفسه بسرعة أكبر كلما ازداد الانكماش الجذبيّ. يصبح مركز السّديم أعلى كثافة لأخذ الأشعة تحت الحمراء حيث لا يُبْقي مجالًا لهذه الطاقة لتشع بعيدًا. يسمى الانتفاخ المركزي الحارّ للسّديم *النّجمَ الأوليَّ protostar*.

تؤدي الجاذبية التبادلية المشتركة بين الدقائق الغازية في النّجم الأولي إلى انكماش هذه الكرة الضخمة من الغاز. فتزداد كثافتها كلما طحنت المواد معًا مع الارتفاع المرافق في الضغط والحرارة. فعندما تصل الحرارة المركزية إلى 10 ملايين كلفن تبدأ نوى الهيدروجين بالاندماج لتكوين نوى الهيليوم. هذا التفاعل النووي الحراري والذي يحول الهيدروجين إلى هيليوم يحرر كمية ضخمة من الإشعاع والطاقة الحرارية، كما رأينا في الفصل 26. ويعدّ احتراق الوقود النووي علامة على تحول النّجم الأولي إلى نجم. فالطاقة المتحركة خارجيًّا وما يرافقها من غاز، يولدان ضغطًا في اتجاه الخارج يسمى *الضّغط الحراريّ* على المواد المنكمشة. وعندما يصبح الاندماج النووي سريعًا لدرجة كافية فإنّ الضغط الحراري يصبح قويًّا لدرجة إيقاف الانكماش الجذبيّ. وعند هذه النقطة، يتوازن الضغطُ الحراريّ الخارجيّ مَعَ الضغطِ الجذبيّ الداخليّ، فيصبح النّجم مستقرًّا.

الشّكل 11.27

صورة للسديم الثلاثي التي أخذت من مقراب سبتزر الفضائي. هذا السّديم يقع على بعد 5400 سنة ضوئية من الأرض في كوكبة القوس والرامي. ففي كلّ واحدة من الغيوم الحمراء الأربع يتطور نجم جديد.

نقطة فحص

كيف تؤثر عمليات الاندماج النووي الحراري والانكماش الجذبي في الحجم الفيزيائي للنجم؟

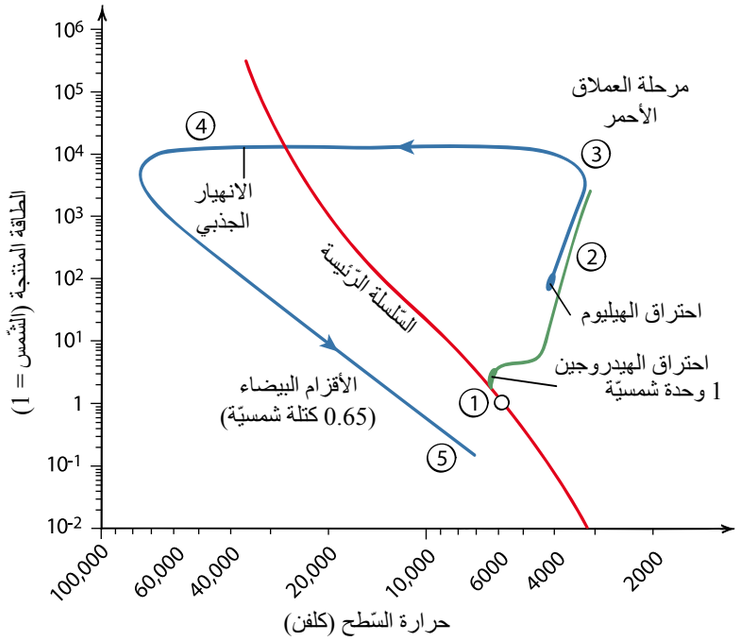
هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ حجم النّجم هو النتيجة الطبيعية للممارسة المستمرة لهذه العمليات. فالطاقة الناتجة عن الاندماج النوويّ الحراريّ تنفخ النّجم نحو الخارج كانفجار قنبلة هيدروجينية. في حين أنّ الجذب يعمل على انكماش المواد. فالتمدد الحراري النووي نحو الخارج والانكماش الجذبي صوب الداخل يعطيان النّجم حالة من التوازن تحدد حجمه.

ومع أنّ النّجوم جميعها ولدت بالطريقة نفسها لانكماش السّديم، لكنها لم تتطور كلّها في حياتها بالطريقة نفسها. إنّ كتلة النّجم تحدد المراحل التي يسير فيها منذ الولادة حتى الممات. وهناك حدود للكتلة التي يمكن للنجم أن يصل إليها ويحققها. فالنّجم الذي له كتلة أقلّ من 0.08 من كتلة الشّمس ($0.08\ M_{sun}$) لن يصل إلى عتبة عشرة ملايين درجة كلفن، وهي اللازمة لاستدامة اندماج الهيدروجين. ومن ناحية أخرى، فإنّ النّجوم التي كتلتها أكبر من كتلة الشّمس($100\ M_{sun}$) بـ 100 مرة . ستخضع لاندماج بمعدل مرتفع جدًّا لا يسمح للجاذبية بمقاومة حرارة الضغط. وهذا ما يفجر النّجم. وهكذا فإنّ النّجوم توجد بين حدود عُشر كتلة الشّمس و 100 ضعف هذه الكتلة*.

لمعظم النّجوم كتلة من رتبة كتلة الشّمس . تستوطن هذه النّجوم مكانًا مركزيًّا في السّلسلة الرّئيسة من مخطط H – R. وإذا رسمت مراحل دورة الحياة لمعدل النّجوم على مخطط H – R، فسترى منحنى شبيهًا بذلك الذي لشمسنا المبين في الشّكل27 . 12. لقد ولدت الشّمس قبل نحو 4.5 بليون سنة في المكان 1، عندما اشتعل اندماج الهيدروجين. وستقضي الشّمس معظم حياتها - بحدود 10 بلايين سنة على السّلسلة الرّئيسة، حيث سيبقى الضّغط الحراريّ على الجاذبية في وضع حرج تدافع عن نفسها. وللحديث بشكل أشمل، فإنّ عمر الهيدروجين المحترق لنجم سيستمر لفترة تمتد بين بضعة

* الكتلة الشمسيّة الواحدة، $1\ M_{sun}$، هي وحدة تعادل كتلة الشمس: 2×10^{33} كجم.



الشّكل 12.27
مراحل دورة حياة الشّمس على مخطط H – R.

تعتمد دورة حياة النّجم على كتلته. فأقل النّجوم كتلة تكون أقزامًا بنية، معتمة ولكن عمرها طويل. أما النّجوم المتوسطة الكتلة، فتتقدم من السّلسلة الرّئيسة إلى العملاقة الحمراء أو حتى فوق العملاقة، وبعدها إلى الأقزام البيضاء. في حين أنّ عمْرَ النّجوم العالية الكتلة قصيرٌ وتموت في انفجار ضخم يسمى النّجوم المستعرة (السوبرنوفا) (Supernovae).

عندما تتحول شمسنا إلى نجم عملاق أحمر بعد عدة بلايين سنة من الآن، فإنّ قطرها سيشتمل على مدار الزهرة.

ملايين من السنين و50 بليون سنة اعتمادًا على كتلته.

إنّ حياة النّجوم الأكبر كتلة أقصر من النّجوم ذات الكتلة الأقل. وقد يبدو ذلك معاكسًا للمنطق؛ لأنّ النّجم الأكبر كتلة يحتوي على وقود أكثر يحترق في مدة أطول. أليس كذلك؟ على أيّ حال، فالنّجوم الأكبر كتلة هي الأكثر سطوعًا من النّجوم الأصغر كتلة، وهذا يعني أنها تحرق هيدروجينها باندماج الوقود بسرعة أكبر. يجب أن تكون النّجوم الأكبر كتلة أكثر سطوعًا من الأصغر كتلة. لذا فإنّ الضّغط في اتجاه الخارج من الاندماج النوويّ يمكن أن يعادل قوى الجذب العظيمة للانكماش. إنّ النّجوم الكتلية تبدأ حياتها بالمزيد من الوقود الهيدروجيني أكثر من النّجوم الأصغر كتلة، ولكنها تستهلك وقودها بسرعة أكبر بحيث تموت قبل النجوم الأصغر كتلة بعدة بلايين من السنين.

لا يوجد نجم واحد أبدي الوجود. ففي النّجوم المتقدمة في العمر والتي لها معدل كتلة يشبه معدل كتلة شمسنا، وبسبب تناقص وقود الهيدروجين، تسحق الجاذبية الضغط الحراري مما يؤدي إلى انكماشها. فترتفع الحرارة لأنّ اللبّ الذي انتهى احتراق الهيدروجين فيه ينكمش بفعل الجاذبية. وعند نقطة محددة، تصبح الحرارة عالية في اللب إلى درجة البدء بحرق الهيليوم - اندماج الهيليوم النووي إلى كربون. عندها يصبح للنجم تركيب مكوّن من أغلفة متحدة في المركز. فالهيليوم يندمج في لبّ النّجم ليعطي الكربون، في حين يندمج الهيدروجين مع الهيليوم في الغلاف المحيط به. فترتفع الطاقة المنتجة كثيرًا، مخرجةً النّجم عن السّلسلة الرّئيسة.

في اندماج نووي مكثف في النّجم كهذا، تفوز قوى الضغط الحراري في اتجاه الخارج على قوى الجذب في اتجاه الداخل. وهكذا ينتفخ النّجم ليصبح عملاقًا (المكان 2). عندما تصل شمسنا إلى الوضع العملاق بعد 5 بلايين سنة من الآن، فإنّ انتفاخها وزيادة طاقتها سيعملان على رفع حرارة الأرض. وستعرى الأرض من غلافها وستغلي البحار وتجف؛ يا إلهي!

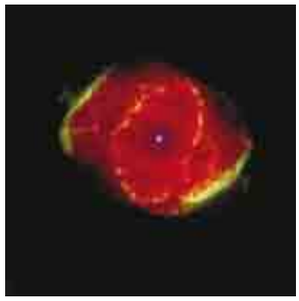
وباستمرار الاندماج النووي، سيستمر تراكم الكربون في نواة الشّمس، ولكن الحرارة لن تصبح عالية إلى درجة تسمح للكربون بالاندماج. وبدلًا من ذلك، فإنّ رماد الكربون سيتراكم في داخل النّجم، وسيسحب فتيل الاندماج تدريجيًّا. وبعد ذلك ستسيطر الجاذبية وينكمش النّجم وترتفع حرارته. وبسبب الحرارة العالية، فإنّ لون النّجم المتقلص سوف ينحرف من الأحمر نحو الأزرق، إضافة إلى انحراف مكانه إلى اليسار على مخطط H – R.

■ **نقطة فحص**

لماذا يأخذ النّجم في التقلص عندما ينفد الوقود النووي من لبّه؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ التمدد في اتجاه الخارج من الحرارة النووية والانكماش في اتجاه الداخل بفعل الجاذبية يؤدي إلى التوازن الذي يعطي النّجم حجمه. عندما تبدأ الحرارة الناتجة عن التفاعل النووي في النفاد، تأخذ الجاذبية في السيطرة والسيادة فيتقلص النّجم. وبسبب هذا التقلص تنضغط المواد. وهذا مصدر آخر إضافي للحرارة لإشعال الاندماج النووي. وفي النّجم الذي بحجم شمسنا فإنّ حرارة الانضغاط فيه تكون عالية بما يكفي لاندماج العناصر إلى كربون. ولكن اندماج العناصر الثقيلة في شمسنا غير ممكن.



ستستمر شمسنا التي استنفدت وقودها بالتقلص إلى أن تصبح الإلكترونات مضغوطة إلى درجة أنها تقاوم أيّ ضغط جديد. وأنّ السبب في مقاومة أيّ ضغط إضافي يتعلق بالفرضيات الكميّة التي عرفناها في الفصل 12. وباختصار، فإنّ أيّ جسيم أصغر من ذرة له *حالته الكميّة* (الكم) الخاصة ولا يشترك أيّ جسيمين أصغر من الذرة في الحالة الكميّة نفسها. سوف تتقلص الشّمس ولكن فقط إلى الحد التي تقاوم فيها الإلكترونات التجاوز إلى الحالة الكميّة لجيرانها من الإلكترونات الأخرى. وعندما تستنفد شمسنا وقودها النووي كله، تصبح ميتة وصغيرة ولا تنتج المزيد من الطاقة.

وعندما تسير شمسنا في اتجاه الانهيار النهائي، فإنّ طبقات البلازما والغاز التي تحيط باللّبّ ستقذف على شكل انتشار ساطع مكونًا ما يعرف **بالسّديم الكوكبيّ** ***planetary nebula*** (الشّكل 27 .13). وعلى الرّغم من التشابه في الاسم، إلا أنّ السّديم الكوكبيّ لا علاقة له بالكواكب أبدًا. وإنما جاء الاسم من حقيقة أنّ هذا السّديم الكوكبيّ يشبه السّديم الذي تكونت منه الكواكب. وعلى أيّ حال، فإنّ السّديم الكوكبيّ سيتبدد خلال ملايين السنين تاركًا كربون لبّ الشّمس البارد خلفه كقزم أبيض. إنّ للقزم الأبيض كتلة النّجم وحجم الكوكب. لذا فإنّ كثافته أكبر كثيرًا من أكثر الأجسام على سطح الأرض كثافة. وبما أنّ النيران النووية للأقزام البيضاء انتهت، فإنها في الواقع لم تعد نجومًا أبدًا، ولكنها بقايا نجوم. وعلى أيّ حال، فإنّ القزم الأبيض يبرد لعدة حقب في الفضاء حتى يصبح باردًا جدًّا لإشعاع ضوء مرئيّ (الشّكل 27 .14).

النّجوم المستعرة وفوق المستعرة (نوفا وسوبرنوفا)

هناك احتمال آخر لمصير الأقزام البيضاء، إن كانت جزءًا من *نجم ثنائيّ* ***binary star*** ، والذي هو نجم في نظام مكوّن من نجمين يدوران حول مركز مشترك تمامًا كما تدور الأرض والقمر حول بعضهما. فإذا كان القزم الأبيض نجمًا ثنائيًّا وقريبًا بما فيه الكفاية من قرينه، فإنّ هذا القزم الأبيض قد يسحب الهيدروجين بالجاذبية من نجمه القرين. وبعدها تتوضّع هذه المواد على سطحه كطبقة كثيفة جدًّا من الهيدروجين. يؤدي استمرار تراصّ هذه الطبقة إلى زيادة درجة حرارتها، فتشتعل في انفجار نووي حراريّ يمكن أن يشاهد على شكل نجم مستعر أو **نوفا** ***nova***، وتظهر في السّماء ليلًا نجمًا جديدًا (تعني *نوفا* باللاتينية الجديد). فالنّجم المستعر حَدَثٌ وليس جرمًا سماويًّا. وبعد زمن، يخمد النّجم المستعر حتى تتراكم المواد الكافية لإعادة هذا الحدث. يتوهج النّجم المستعر على فترات غير منتظمة قد تمتد بين العقود ومئات الألوف من السنين.

ومع أنّ النّجوم ذات الكتل المنخفضة والمتوسطة تصبح أقزامًا بيضاء، إلا أنّ مصير مَنْ تزيد كتلته على 10 أضعاف كتلة الشّمس $10\ M_{sun}$ يختلف تمامًا. فعندما ينكمش نجم ضخم بعد طوره العملاق أو فوق العملاق، تتولد طاقة أكثر من طاقة انكماش نجم صغير.

وجد الفلكيون دلائل على أنّ الكربون في مراكز الكثير من الأقزام البيضاء يتبلور إلى ماس. كما يتوقعون أنه عند تحوّل شمسنا إلى قزم أبيض بعد نحو 5 بلايين سنة من الآن، فإنّ لبها سوف يتبلور إلى ماس مكونًا كتلة منه بحجم كوكب في وسط نظامنا الشّمسي.

الشّكل 13.27

يصل قطر السّديم الكوكبيّ عين الهر Cat's Eye ، كما شوهد بمقراب هابل الفضائي، إلى نحو 1.2 سنة ضوئية، وهذا يعادل آلاف المرات قطر مدار نبتون. يبعد هذا السّديم الكوكبيّ 3000 سنة ضوئية تقريبًا، وهذا يضعه في مجرتنا. وترى بوضوح الغازات الحارة المنفجرة من النّجم المركزي الذي يعادل حجم الشّمس، فهو في طريقه إلى التحول إلى قزم أبيض.

الشّكل 14.27

القزم الأبيض المبين هنا هو المرحلة الأخيرة في تطور النّجوم ذات الكتل المنخفضة والمتوسطة. فبعد استعمال النّجم لكامل وقوده النووي، تفلت طبقاته الخارجية في اتجاه الفضاء، تاركة اللهب الكثيف خلفها كقزم أبيض. يؤدي الحقل الجاذبي القوي للقزم الأبيض إلى جذب المواد من الفراغ المحيط ليكون قرصًا متناميًا. يسخن هذا القرص بالاحتكاك، حيث يلاقي النّجم مما يؤدي إلى توهجه وسطوعه.

إنّ مثل هذا النّجم لا يتقلص إلى قزم أبيض. وبدلًا من ذلك، تندمج نوى الكربون في لبّه محررة طاقة خلال عمليات تكوين عناصر أثقل كالنيون والماغنسيوم. يقوم الضغط الحراري بإيقاف الانكماش الجذبي حتى يندمج كامل الكربون. وبعد ذلك ينكمش لبّ النّجم مرة أخرى لإنتاج حرارة أكبر مما سبق، محدثًا سلسلة جديدة من الاندماجات التي تنتج عناصر أثقل من السّابق. وتتكرر دورة الاندماج حتى يتكوّن عنصر الحديد في اللبّ.

إنّ اندماج العناصر ذات الأعداد الذرية الأعلى من الحديد يستهلك طاقة بدلًا من تحريرها. (وسبب ذلك كما تتذكر في الفصل 13، يعود إلى أنّ معدل الكتلة لكل نويّة حديد أقلّ من أيّ عنصر آخر). وعندما تتحول النّوى إلى حديد، تتوقف عملية الاندماج. وتتوقف معها كذلك عملية التمدد الحراري التي تعاكس الجاذبية. وهكذا تسود الجاذبية، ويبدأ النّجم كاملًا في انكماشه النهائي.

ولنتذكر أنه بموت النّجوم المتوسطة الحجم كشمسنا، فإنّ الانكماش يستمر حتى تتعادل الجاذبية مع مقاومة الإلكترونات. أمّا في النّجوم فوق العملاقة الضخمة جدًّا، فإنّ قوى الجاذبية تكون قوية بما يكفي للتغلب على هذه المقاومة.

إنّ الإلكترونات لا يندمج بعضها مع بعض، ولكنها تتحد مع البروتونات لتكوين نيوترونات. والذي يحدث بعد ذلك هو حدث صاعق مذهل يسمّى النّجوم فوق المستعرة (**سوبرنوفا supernova**)؛ ففي دقائق، ينهار اللبّ الحديد للنجم فوق العملاق، الذي يبلغ حجمه حجم الأرض، إلى كرة من النيوترونات بقطر عدة كيلومترات فقط. وتتحرر كمية كبيرة جدًّا من الطاقة تكون أكثر سطوعًا من مجرة كاملة. وفي هذا الوقت القصير الغزير بالطاقة، تتكون العناصر الأثقل من الحديد عن طريق اتحاد البروتونات والنيوترونات الموجودة خارج اللبّ مع أنوية أخرى لإنتاج عناصر كالفضة والذهب واليورانيوم. إنّ هذه العناصر الثقيلة أقلّ انتشارًا من العناصر الخفيفة بسبب قِصَر الوقت المتوافر لتتركب وتأتلف.

إنّ معظم الطّاقة المتحررة خلال عملية انهيار اللبّ الحديديّ تكون على شكل *نيوترينو* "دقائق متعادلة ذات كتلة أصغر من الإلكترون" وهي دقائق تحت الذرة، وبلا كتلة، ولا تتفاعل مع المادة إلا قليلا. إنّ تركيز النيوترينات المتحررة من انهيار اللبّ الحديديّ يكون كبيرًا إلى درجة كافية، بحيث ينفخ الغلاف الخارجي للنجم في اتجاه الخارج بسرعة تزيد على 10000 كم/ ث، وهذه السرعة كافية للانتقال وحدة فلكية واحدة في أربع ساعات. ومع مرور الزمن، فإنّ رياح السوبرنوفا هذه المكونة من العناصر الثقيلة تنتشر بعيدًا في المجرة منضمة إلى سديم قد يصبح نجمًا جديدًا. إنّ الذهب والبلاتين التي نستعملها كمجوهرات على هذه الأرض، وكذلك بقية جسم الأرض نفسها، ما هي إلا غبار جاء من السوبرنوفا الذي تفجر سنوات طويلة قبل نشوء نظامنا الشّمسي.

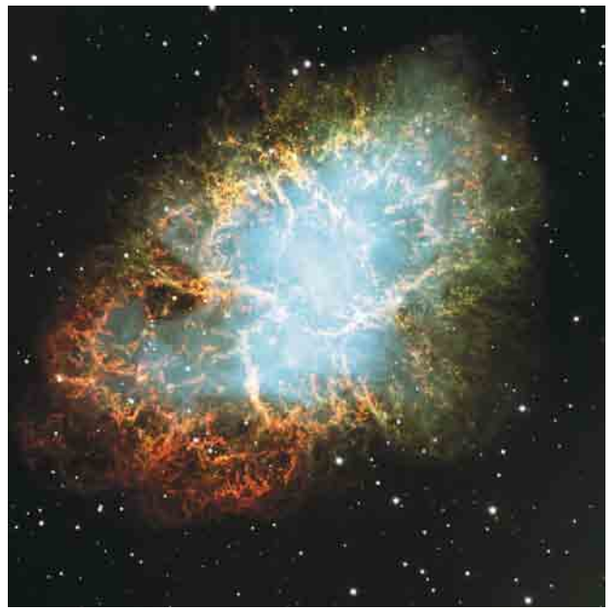
■ **نقطة فحص**

يمكن أن يخضع النّجم لنوفا أكثر من مرة. فهل يمكن للنجم أيضًا أن يخضع عدة مرات للسوبرنوفا؟ اذكر السبب إذا كان جوابك بالنفي أو الإيجاب.

هل كانت هذه إجابتك؟

النوفا انفجارٌ نووي حراريّ يحدث عندما يجمع القزم الأبيض كتلة كافية من النّجم القريب جدًّا منه. وما دام أنّ النّجم الجار يزود القزم الأبيض بالهيدروجين، فإنّ هذا الانفجار يمكن له أن يتكرر عدة مرات. أما السوبرنوفا فهو تحرير للطاقة، وهو حدث نهائيّ ولمرة واحدة لا يمكن تكراره في نجم فوق عملاق.

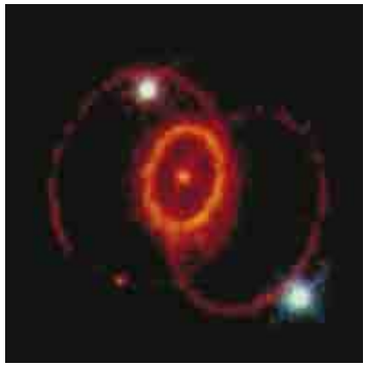
يتوهج السوبرنوفا بقوة عدة ملايين من المرات أكثر من سطوعه السابق. ففي عام 1054 م، سجّل الفلكيون الصينيون مشاهداتهم لنجم سطع إلى درجة كان بالإمكان مشاهدته في النهار كما في الليل. كان هذا سوبرنوفا (النّجم الجديد الضخم)؛ إنّ بقاياه من البلازما المتوهجة تشكّل الآن سديم السّرطان Crab Nebula كما يبدو في الشّكل 27 .15. وهناك سوبرنوفا أحدث، ولكنه أقلّ أهمية وقع في عام 1978. وفي الشّكل 27 .16، تطور السوبرنوفا الذي روقب بحذر بالأجهزة العلمية الحديثة.



الشّكل 15.27
سديم السّرطان Crab Nebula هو بقايا انفجار سوبرنوفا شوهد لأول مرة من الأرض عام 1054م. ولقد حدث الانفجار في مجرتنا على مسافة 7000 سنة ضوئية من الأرض. ولو حدث الانفجار على بعد 50 سنة ضوئية، فإنّ معظم الحياة على سطح الأرض ستنقرض. فهل هناك أيّ نجم منتقم في هذه الحدود معرض للسوبرنوفا؟ سؤال جيد. تفحص الشبكة العنكبوتية لمزيد من المعلومات عن ذلك في يد الجوزاء.

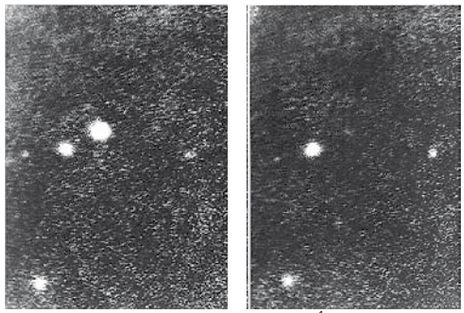
النّجم النيوتروني هو نواة ذرية بحجم كيلومتر.

يسمّى اللّبّ النيوتروني الكثيف جدًّا الذي يتبقى بعد حدوث السوبرنوفا **النّجم النيوتروني** ***neutron star***. ووفقًا لقانون حفظ العزم الزّاويّ، فإنّ هذه الأجرام الصغيرة جدًّا ذات الكثافات العالية جدًّا والتي تزيد ملايين المرات على كثافة الأقزام البيضاء، يمكن أن تدور حول نفسها بسرعة خيالية. إنّ هذه النّجوم النيوترونية تعطي تفسيرًا لوجود *النّجوم النابضة* ***pulsars***. **فالنجوم النابضة**، وهي نجوم نيوترونية، مصادر سريعة التغير من الانبعاث الراديوي المنخفض التردد. فعند دوران النّجم النابض، تُمشِّط الحزمةُ الإشعاعية التي تصدرها السّماءَ. وإذا ما مشطت هذه الحزمة فوق الأرض فإننا نستبين نبضاتها. لقد وُجدَ من نحو 300 نجم نابض معروف القليلُ فقط من ينشر أشعة سينية أو ضوءًا مرئيًّا. وأحدها يقع في مركز سديم السّرطان (الشّكل 27 .17). وهي واحدة من النوابض التي تدور بأعلى سرعة من بين كلّ النوابض المدروسة؛ حيث تدور أكثر من 30 دورة في الثانية. وهي نجم نابض شاب نسبيًّا؛ لأنه افترض نظريًّا أنّ الأشعة السينية والضّوء المرئيّ يصدران فقط في التاريخ المبكر للنجم النابض.



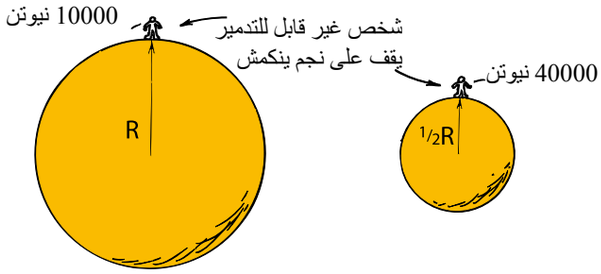
الشّكل 16.27
الصورة لسوبرنوفا 1987A وقد التقطها مقراب هابل الفضائي بعد 20 سنة من مشاهدة الانفجار. لاحظ أنظمة تطور الحلقات، والتي تستمر ممتدة نحو الخارج. لقد حدث هذا السوبرنوفا وبأمان خارج مجرة درب التبانة في مجرة جارة وصغيرة تسمى غيمة ماجلان الكبيرة Large Magellanic Cloud وتبعد نحو 160000 سنة ضوئية.

ولقد رأينا سابقًا أنّ النّجم المتوسط الحجم، كما هو الحال في شمسنا، يمكن أن ينهار ليس إلى حدّ أبعد من القزم الأبيض؛ لأنّ قوة الجاذبية ليست أقوى بما فيها الكفاية للتغلب على مقاومة الإلكترونات، والتي ترفض أن تتجاوز إلى الحالة الكمية للإلكترونات المجاورة. وبالمثل، فإنّ النّجوم النيوترونية تتوقف عن الانهيار؛ لأنّ النيوترونات كالإلكترونات تقاوم التجاوز إلى جاراتها من النيوترونات. ولنجم يموت، فإنه كلما كبر كان انكماشه أشد. وعندما يكون النّجم المنهار أكبر، فإنّ قوى الجذب يمكن أن تكون قوية إلى درجة كافية للتغلب حتى على مقاومة النيوترونات. ويستمر الانهيار إلى ما بعد مرحلة النّجم النيوتروني ويختفي النّجم ككلّ من الكون المنظور. ويدعى ما يتبقى *الثقب الأسود* ***black hole***.



(أ) (ب)

الشّكل 17.27
يدور النّجم النابض في سديم السّرطان كالنور الكشاف، باعثًا حزمة من الضّوء المرئيّ والأشعة السينية في اتجاه الأرض ثلاثين مرة في الثانية مضيئًا ومعتمًا (أ) النابض وهو مضيء (ب) النابض وهو معتم.



الشّكل 18.27
لو انهار نجم إلى أن أصبح نصف قطره يعادل نصف قطره الأصلي دون تغيير على كتلته، فإنّ الجاذبية على سطحه تتضاعف أربع مرات (وفق قانون مربع معكوس المسافة). فإذا ما انهار النّجم إلى عشر نصف القطر، فستتضاعف الجاذبية على سطحه مئة مرة.

5 . 27 الثّقوب السّوداء

لمعلوماتك

■ **بخلاف القصص التي تتحدث عن الثّقوب السّوداء، فهي ليست عدوانية، ولا تصل إلى الخارج وتبتلع الأجرام عن بعد. كما أنّ حقولها الجاذبية ليست أقوى من الحقول الأصلية للنجوم قبل انهيارها- إلا إذا كانت المسافة أقلّ من نصف قطر النّجم الأصلي. ولن تزعج الثّقوب السّوداء رواد الفضاء إلا إذا مرّوا قريبًا جدًّا منها.**

الثقب الأسود هو بقايا نجم فوق عملاق انهار على نفسه. وبناء على هذا الانهيار، تزداد قوة الجاذبية على السّطح بشكل مثير. فكّر في ذلك من منظور قانون نيوتن للجاذبية، فَوَفْق هذا القانون وكما تعلمنا في المقطع 1.4، فإنّ قوة الجاذبية تعتمد على مربع معكوس المسافة. فإذا انهار نجم إلى عشر حجمه الأصلي، فستصبح المسافةُ بين السّطح والمركز عشرًا. وهنا يكون مربع المعكوس للعشر $\left(\frac{1}{0.1}\right)^2$ يساوي 100.

وهكذا، فإنّ الوزن على السّطح يصبح مئة ضعف. كما يوضح ذلك الشّكل 27 .18. وعليه، فإنّ قوة الجاذبية على السّطح للنجم المنهار تزداد لأنّ النّجم يصبح أصغر.

وكما تزداد قوة الجاذبية، تزداد *سرعة الانفلات*. ولنتذكر من البند 4 .9 أنّ سرعة الانفلات هي السرعة التي يحتاج إليها الجسم المتحرك للطيران بعيدًا دون السّقوط إلى الخلف. فلكوكب الأرض، تكون سرعة الانفلات 11.2 كم/ ث. وهذا يعني أنّ الجسم المقذوف خارجًا على سرعة 11.2 كم/ ث (نحو 25000 ميل/ساعة) لن يسقط أبدًا إلى الخلف أرضًا. إنّ سرعة الانفلات عن سطح شمسنا 618 كم/ ث. ولنجم فوق عملاق انهار على نفسه متخطّيًا مرحلة النّجم النيوتروني، فإنّ سرعة الانفلات ترتفع أسيًّا إلى سرعة الضّوء؛ أي 300000 كم/ ث.

في بداية القرن العشرين، وضع العالم أينشتاين فرضية الارتباط بين الضّوء والمادة. وأنّ كليهما يتأثر بالجاذبية. ونحن في العادة لا نشاهد تأثر الضّوء بالجاذبية لأنّه يتحرك سريعًا جدًّا، ولكن بالمراقبة الدقيقة يمكن قياس ذلك. فضوء النّجوم المار بجانب الشّمس المكسوفة، على سبيل المثال، يبدو وكأنه ينحني نحو الشّمس عندما يمر الضّوء من خلال الحقل الجاذبي القوي للشمس. وهكذا، فإنّ الضّوء يسحب في اتّجاه الأسفل بفعل الجاذبية. إنّ ضوء الشّمس يمكن أن يغادر شمسنا؛ لأنّ سرعة الضّوء أكبر كثيرًا من سرعة الانفلات. فإذا كان هنالك نجم كشمسنا سينهار ليصبح نصف قطره 3 كم، فإنّ سرعة الانفلات من على سطحه ستزيد على سرعة الضّوء، وعندها لن يستطيع شيء الإفلات؛ حتى الضّوء. وحينئذ لن يكون بالإمكان رؤية الشّمس. بل ستصبح ثقبًا أسود.

وفي الحقيقة، فإنّ كتلة الشمس صغيرة جدًّا لتعاني من انهيار كهذا، ولكن عندما تصل بعضُ النّجوم التي كتلتها أكبر عدة مرات من كتلة الشّمس نهايةَ مصدرها النووي، يحدث الانهيار؛ ويستمر هذا الانهيار حتى تصل النّجوم إلى الكثافة اللانهائية. إنّ الجاذبية بالقرب من سطوح هذه النّجوم المنكمشة كبيرة جدًّا إلى حدّ أنّ الضّوء لا يستطيع الانفلات منها. لقد أبعدت نفسها عن مجال الرؤية.

إنّ كتلة الثقوب السّوداء بعد الانهيار هي نفسها التي كانت عليها بعده. لذا فإنّ الحقل الجاذبي في مناطق عند نصف القطر الأصلي للنجم أو بعيد عنه لا يختلف في كلتا الحالتين. فالكوكب الدائر سيبقى يدور وكأنّ شيئًا لم يحدث. ولكن في حالة المسافات الأقصر، بجوار الثقب الأسود، وأقلّ من نصف قطر النّجم الأصلي، لا شيء أقلّ من انهيار الفضاء نفسه مع ما يحيط به، بحيث إذا مرّ أيّ شيء قريبًا جدًّا- كالضّوء أو الغبار أو مركبة فضائية- فإنّه يُجر ويُسحب نحو الثقب الأسود (الشّكل 27 .19). ويمكن لرواد الفضاء في مركبة فضائية قوية الدخول إلى حافة محيط الثقب الأسود والنجاة منه. ولكن بعد مسافة معينة أقرب، فإنهم سيختفون من الكون المرئيّ.

الشّكل 19.27
أداء الثقب الأسود بسرقة المادة من نجم مرافق.

■ **نقطة فحص**

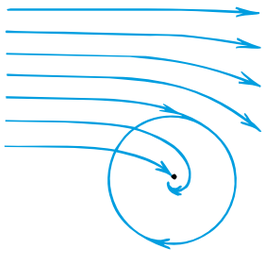
إذا انهارت الشّمس بطريقة ما ومفاجئة إلى ثقب أسود. فما التغير الذي يمكن أن يحدث في سرعة دوران الأرض؟

هل كانت هذه إجابتك؟

لا شيء. ويمكن فهم هذا جيدًا بالطريقة التقليدية؛ فلا شيء في قانون نيوتن للجاذبية $F=G\frac{mM}{d^2}$ يتغير. فحقيقة أنّ الشّمس تنضغط فهذا لا يغير في كتلها M شيئًا. ولا في المسافة d من الأرض شيئًا كذلك. ولأنّ كتلة الأرض M والجاذبية G لا تتغيران أيضًا. فإنّ القوة F التي تثبت الأرض في دورانها لا تتغير.

هندسة الثقب الأسود (The Black Hole Geometry)

لو أشعلنا حزمة ضوئية في اتجاه ثقب أسود. ولكن بعيدًا قليلًا عنه. وعن بعد محدد تمامًا. كما يظهر في الشّكل 27 . 20، فبالإمكان توجيه الضّوء في مدار دائري حول هذا الثقب. تسمى المنطقة الواقعة فوق الثقب الأسود *الغلاف الفوتونيّ* ***photon sphere*** . إنّ هذا الغلاف الفوتونيّ غير مستقر؛ لأنّ أقلّ تغيير في التفاعل بين حزمة الضّوء مع الحقل الجاذبي سيرسل هذه الحزمة الضّوئيّة إلى داخل الثقب أو ترتد إلى الفضاء. إنّ أحزمةَ الضّوء الساقطة عرضيًّا على هذه المسافة الحرجة جميعَها تصطاد من قبل الكرة. إنّ رائدة فضاء جسورة تقود مركبة فضائية قوية. تستطيع المغامرة بالدخول إلى الغلاف الفوتوني للثقب الأسود والعودة إلينا مرة أخرى. عند وجود هذه المركبة داخل الغلاف الفوتوني فإنها تستطيع إرسال أحزمة ضوئية إلى الخلف في اتجاه الخارج الكوني كما يبدو في الشّكل 27 . 21. وإذا ما قامت بتوجيه ضوئها جانبيًّا. وفي اتجاه الثقب الأسود. فإنّ الضّوء سيلتف في الثقب الأسود بسرعة. ولكن الضّوء الموجه عموديًّا وبزاوية قريبة من العمودي فيستمر في الانفلات. وكلما اقتربت من الثقب الأسود أكثر فإنها تحتاج إلى إضاءة الحزمة الضّوئيّة عموديًّا أو أقرب إلى العمودي للانفلات.

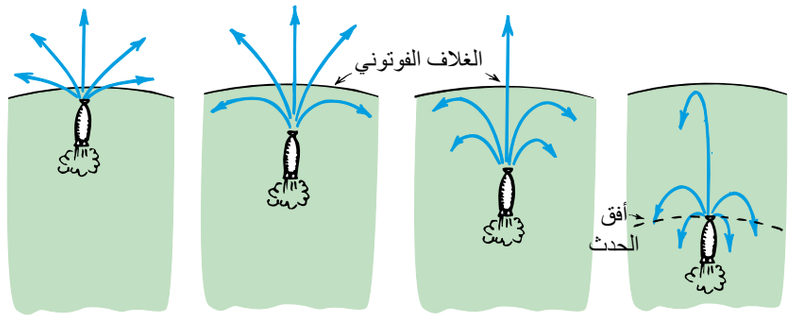


الشّكل 20.27
أشعة ضوئية منحرفة بفعل الحقل الجاذبي حول ثقب أسود. إنّ الضّوء الذي يمرّ بعيدًا ينحني قليلًا. ولكن الضّوء الذي يمرّ قريبًا فإنه يسحب إلى مدار دوراني؛ أمّا الضّوء الذي يمرّ أقرب فأقرب فيسحب إلى داخل الثقب.

ويمزيد من الاقتراب ستجد رائدة الفضاء نفسها عند مسافة معينة؛ حيث لا يفلت أي ضوء. إنّ الاتجاه الذي سيوجه إليه ضوء الوميض غير مهم؛ لأنّ أحزمة الضّوء كلّها ستنحرف نحو الثقب الأسود. إن سفينتنا غير المحظوظة ستكون قد مرَّت في **أفق الحدث *event horizon***.. وهو الحد الذي لا يمكن أن ينبعث منه أي ضوء. فعندما تصبح المركبة داخل أفق الحدث. فإنها لا تستطيع الاتصال بالكون الخارجي؛ فلا أمواج الضّوء. ولا أمواج الراديو. ولا أيّ مادة يمكن أن تفلت من داخل هذا الأفق. وسيكون أداء مركبتنا هذه هو الأخير في تجاربها الكونية كما نتخيل.

إنّ أفق الحدث المحيط بالثقب الأسود غالبًا ما يسمى *سطحَ* الثقب الأسود. والذي يعتمد قطره على كتلة الثقب. فعلى سبيل المثال. سيكون للثقب الأسود الناتج عن انهيار نجم له كتلة تساوي عشرة أضعاف كتلة الشّمس أفقُ حدث بقطر يصل إلى 30 كم. وسيكون نصف القطر المقدر للثقب الأسود لكتل متنوعة وفق ما يظهر في الجدول 27 . 1. إنّ أفق الحدث ليس سطحًا فيزيائيًّا؛ فالأجرام الساقطة تمرّ من خلاله. إنّه. وببساطة. حدّ اللاعودة.

عندما ينكمش نجم في أفق حدثه. فإنه لا يزال لهذا النّجم حجم واقعي. ولا توجد قوة معروفة يمكن أن توقف استمرار انكماشه. بل إنّ حجمه ينكمش سريعًا حتى يُعصر في النهاية إلى ما يمكن تصوره برأس



الشّكل 21.27
الضّوء تحت الغلاف الفوتوني مباشرة. يمكن لرائدة الفضاء أن تشع ضوءًا إلى الخارج. ولكنها كلما اقتربت من الثقب الأسود الموجّه بالقرب من الشاقول فقط، فإن الضوء سينبعث نحو الخارج حتى يصطاد في النهاية. يحدث هذا على مسافة تعرف بأفق الحدث event horizon.

الجدول 1.27 نصف القطر المتوقع لأفق الحدث لثقوب سوداء متغيرة للكتلة وغير واردة

كتلة الثّقب الأسود	نصف قطر أفق الحدث
كتلة أرض واحدة	0.8 سم
كتلة مشتري واحدة	2.8 سم
كتلة شمس واحدة	3 كم
كتلتا شمس	6 كم
3 كتل شمسيّة	9 كم
5 كتل شمسيّة	15 كم
10 كتل شمسيّة	30 كم
50 كتلة شمسيّة	148 كم
100 كتلة شمسيّة	296 كم
1000 كتلة شمسيّة	2961 كم

دبوس، ومن ثَمَّ إلى حجم الميكروب. وفي النهاية إلى حجم لا يستطع الإنسان قياسه حتى الآن. وعند هذه النقطة، وبحسب المبادئ النظرية فإنّ ما يتبقى سيكون بكثافة لا نهائية. وهذه النقطة هي **تفرّد الثقب الأسود** ***black hole singularity***.

■ السّقوط في ثقب أسود

تصور نفسك تستكشف ثقبًا أسود في بعثة علمية مستقبلًا، وأنّ مركبتك الفضائية تطوف بك في مدار آمن حول هذا الثقب. إنّ أولى تجاربك هي إرسال مجس حامل لساعة في اتجاه الثقب الأسود. السّاعة مكونة من LED كبير ينشر ضوءًا أزرق. ومن خلال المقراب يمكن مشاهدة المجس وهو يهبط. وما تجدر ملاحظته هو أنه كلما اقترب المجس من الثقب الأسود قلت سرعة السّاعة. وأكثر من ذلك، فإنّ الضّوء القادم من السّاعة ينحرف من اللون الأزرق إلى الأحمر ذي التردد المنخفض. وعندما يتقدم المجس إلى مسافة أقرب فإنّ السّاعة تسير بسرعة أقلّ. وسريعًا، لن تتمكن من رؤية السّاعة نهائيًا لأنها تحولت إلى الأشعة تحت الحمراء. وهكذا، فإنك تحوّل إلى مقراب الأشعة تحت الحمراء لتشاهد أنه كلما اقترب المجس من الثقب الأسود، فإنّ سرعة السّاعة تقلّ إلى درجة وكأنها تزحف ببطء. وأكثر من ذلك، فإنّ المجس يبدو أنه يأخذ وقتًا طويلًا وغير عادي للهبوط. وأخيرًا، يمكن مشاهدة الضّوء الصادر من السّاعة فقط بمقراب أمواج الميكروويف ويتبعه المقراب الراديوي حيث يصبح تردد الضّوء من السّاعة أقلّ فأقلّ. وفي النهاية، وعند اختفاء السّاعة مباشرة وبالكامل وحيث لا تصدر أيّ نوع من الضّوء، يمكن ملاحظة أنّ الوقت توقف عند السّاعة. وللوصول إلى هذه النقطة، ستتعرف زمنًا لانهائيًا من وجهة نظرك.

ولكنك لن تظلّ إلى الأبد تتعب سريعًا من مشاهدة السّاعة فوق البطيئة حيث تزحف وببطء شديد نحو الثقب الأسود. لذا فإنك تقرر التحرك إلى التجربة الثانية، والتي تكون فيها مع متطوعين، حيث تضع نفسك في مجسّ ثانٍ مجهز بساعة زرقاء وصف من المقاريب. فكلما هبطت في اتجاه الثقب الأسود، فإنك ستشاهد أن ساعتك تسير بشكل طبيعي تمامًا دون تغيير في اللون. ولكن السّاعة في السفينة الأم تسير بسرعة أكبر. إضافة إلى أنّ لونها يتحول إلى فوق البنفسجي وما بعده. إن زملاءك القدماء في الملاحة يتحركون أسرع منك. فحتى كلما هبطت بشكل أعمق، فإن سرعتهم تزداد بشكل أسرع. وسريعًا سينفد صبرهم بانتظارك وسيتركونك خلفهم تلاقي مصيرك المحتوم "الموت". وقبل أن تعرفها، فإنّ بقايا النّجوم المرئية ستمر سريعًا خلال مدة حياتها، وأنّ ضوءها يأتيك على شكل وميض بتردد فوق عالٍ، ولكن بمنظر حقل ضيق. وبعد ذلك لن يكون هناك أيّ شيء.. وفي تلك اللحظة، فإنك ستمرّ من خلال أفق الحدث، والذي هو عبارة عن حدّ رياضي لا فيزيائي. إنّ الصفة الفردية لا زالت تحتك وعلى بعد عدة كيلومترات، ولكنك لا زلت ممسوكًا بقبضة صارمة بإحكام. إنّ الكون الذي تركته خلفك ذهب وقته وانتهى، ولم يعد موجودًا. ولسوء الحظ، فإنّ سقوطًا كهذا في أفق الحدث لثقب أسود معتدل الحجم لن يكون قابلاً للبقاء. فكلما اقتربت، فإنّ سَحْب الجاذبية لقدميك ستزيد سريعًا عن سحبها لرأسك. ونتيجة لذلك فإنّ جسمك سينبسط ويمط. وسوف تتشقق وتتمزق وتفقد فرصة التجربة في أفق الحدث. وأكثر من ذلك وباستمرار سقوطك في اتجاه تفردية الثقب الأسود، فإن ذرات جسمك ستنضغط إلى حجم لا نهائي في الصغر بحيث لا تستطيع البقاء. والذي يحدث بعد ذلك هو التخمين فقط. فقد ينفجر جسمك كالانفجار الأعظم مولّدًا كونًا آخر. وقد يكون ما حدث للكتلة الساقطة في تفردية في الثقب الأسود أغرب مما يمكن تصوره. وقد نفهم نحن البشر البارعون في يوم ما كل هذه العمليات والأحداث، إذا استمرت أنواعنا البشرية طويلا.

إننا نعتقد أنّ النّجوم الميتة كلّها التي لها كتلة لبّ أكبر خمس مرات من كتلة الشّمس هي ثقوب سوداء. وأنّ تحديد مواقع هذه الألباب النّجميّة غير المرئية يعدّ صعبًا. وهناك طريقة واحدة لتحديد مواقعها، وهي البحث عن نجم ثنائي، حيث يظهر نجم ساطع منفرد يدور حول رفيق غير مرئيّ. كما يبدو ذلك في الشّكل 27 .19. وإذا ما كانا قريبين أحدهما من الآخر، فإنّ المادة المقذوفة من الرفيق العادي والتي تتسارع في اتجاه الجار "الثقب الأسود" ستصدر أشعة سينية. إنّ أول مرشح مقنع لوجود الثقب الأسود هو نجم الأشعة السينية في كوكب الدجاجة Cygnus X–1 الذي اكتشف في عام 1971. كما اكتشف المزيد من الثّقوب السّوداء المرشحة منذ ذلك الزمن، والتي تؤيد شيوع الثّقوب السّوداء. إنّ دراسة مركز مجرتنا يقترح وبشدة وجود ثقب أسود قطره نحو 6 بلايين كيلومتر. وهذا يعادل سعة نظامنا الشّمسي. إن نشأة هذا الثقب الأسود الضخم يعود إلى تكوين المجرة نفسها.

كما جرى الوصف في صندوق الصفحة 734، فإن قوى المد والجزر سوف تمزقك قبل السّقوط في ثقب أسود ذي حجم عادي. وفي ثقب أسود ضخم الحجم، مثل ذلك الموجود في مركز مجرتنا، فإنّ قوى المد والجزر لا تكاد تذكر، وأنّ سفينتك الفضائية يمكن أن تمر بسلام وتستمر حياتها من خلال أفق الحدث.

■ **نقطة فحص**

ما الذي يحدد ما إذا كان نجمٌ ما سيصبح قزمًا أبيض، أو ثقبًا أسود، أو نجمًا نيوترونيًّا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

إنّ كتلة النّجم هي العامل الأساس في تحديد مصيره. فالنّجوم التي تبلغ كتلتها قدر كتلة الشّمس، وتلك التي كتلتها أقلّ منها ستتطور إلى أقزام بيضاء؛ أما النّجوم التي تبلغ كتلتها عشرة أضعاف $(10\ M_{\text{sun}})$ أو أكثر فستتطور لتصبح نجومًا نيوترونية، في حين تتطور النّجوم الأعظم كتلة إلى ثقوب سوداء.

■ 27 . 6 المجرّات

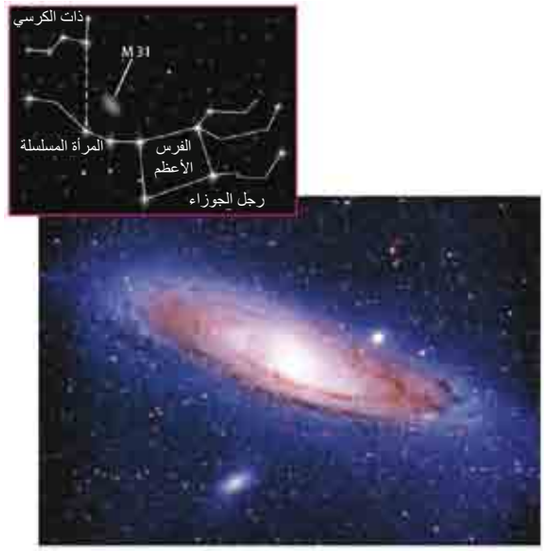
إذا نظرت إلى الأعلى بعيدًا عن ضوء المدن، في ليل سماؤه صافية، فسترى الكثير من النّجوم. وفيما بين النّجوم سترى أيضًا الكثير من السواد. وقبل بدايات القرن العشرين، قادت وفرةُ السواد في السّماء ليلًا العديدَ من الناس إلى الاستنتاج أنّ الكون يتكوّن من جزيرة فيها ملايين النّجوم تحتضن في بحر ضخم من الفضاء. وبالإضافة إلى النّجوم يوجد أيضًا سدم تشبه الغيوم، ويتميز بعضها بشكله الحلزوني. وفي بداية عام 1750م، اقترح الفيلسوف الألماني إيمانويل كانت أنّ هذه الغيوم الحلزونية ما هي إلا جزر أخرى من النّجوم أسماها *المجرّات*. ولكن بسبب عدم وجود مقراب ذي جودة عالية، لم يكن بالإمكان تحديد ما إذا كان ذلك حقيقيًّا أم لا.

إنّ النقاش الدّائر حول ما لو أنّ الكون يتكون من جزيرة واحدة أو عدة جزر من النّجوم، قد حسمه الفلكي الأمريكي إدوين هابل؛ ففي عام 1927م عمل هابل في أضخم مقراب في العالم بني حديثًا في ذلك الوقت. وعندها استطاع إثبات وجود نجوم مستقلة في سديم المرأة المسلسلة الحلزونية (الشّكل 22.27). كما لاحظ أنّ بعض هذه النّجوم هي من *النّجوم المتغيرة Cepheids*، التي تغير سطوعها في دورات قصيرة من الزمن. وبقياس معدّل تغير سطوعها، تمكّن من تقدير بُعْدِها فوجده أبعد كثيرًا من أيّ نجم يقع في مجرتنا. إنّ السّديم الحلزونيّ، ببساطة، لم يكن غيومًا، فهو جار من الجزر النّجمية في فضاء ضخم يمتدّ إلى ما لانهاية.

تعمق هابل خطوة أخرى في أبحاثه، واكتشف شيئًا أكثر دهشة. لقد كان يعلم أنّ لون الضّوء الصادر عن نجم أو مجرة يتراجع عنا، وينزاح إلى الأحمر بسبب ظاهرة دوبلر (البند 8.10). ويمكن قياس درجة الانزياح كميًّا بالتركيز على خط طيف الهيدروجين (البند 6.12). فكلما كان الانزياح في خطوط طيف الهيدروجين أكبر، كانت سرعة التراجع أكبر. ولقد قاس فريقه البحثي كلًّا من المسافة والانزياح نحو الأحمر للعديد من المجرّات، واكتشفوا أنه كلما بعدت المجرة ازداد الانزياح نحو الأحمر. وهذا يعني أنّ المجرّات ليست جزرًا ساكنة. بل تبتعد عنا في الاتجاهات كافة، مما يعني أنّ الكون نفسه يتوسع.

لمعلوماتك

■ تصنف المجرّات إلى مجموعتين في كتالوجين. فالمجموعة الأولى: الكتالوج الأول تتضمن أعمال شارلز مسيير Messier الذي نشر عام 1781 قائمة بالتراكيب السّماويّة كالمجرّات التي يمكن رصدها وبسهولة نسبيّة بمقراب صغير. فمجرة المرأة المسلسلة على سبيل المثال لها رقم إدخال 31 في هذا الكتالوج وهكذا، فإنها تدوّن تحت رقم M 31. وهناك المجموعة الثانية أي الكتالوج الثاني الذي يسمى «كتالوج العام الجديد New General Catalog NGC"والذي بدأ سنة 1888م واستعمل لتحديد التراكيب كلّها بما فيها تلك التي أصبحت تُشاهد باستعمال أدقّ المقاريب. واستنادًا إلى هذا النظام، فإنّ مجرة المرأة المسلسلة تأخذ الرقم NGC224. ويمكنك استعمال هذه الأرقام لبحثك في الشبكة العنكبوتية للمزيد من المعرفة عن هذه الأجرام، بما فيها مواقعها في السّماء ليلا.



الشّكل 22.27

لقد بين هابل أنّ السّديم الحلزونيّ العظيم في الأندروميدا لم يكن دوّامة من غيمة غازية فقط، بل مجرة مجاورة من النّجوم تدعى الآن مجرة المرأة المسلسلة Andromeda والتي صنّفت تحت رقم M 31. ويمكن لك مشاهدة مجرة المرأة المسلسلة بنفسك بالنظر ما بين كوكبة ذات الكرسي والفرس الأعظم في شتاء ليل في السّماء.
ستبدو المجرة ضخمة، وتغطّي مساحة ستة أضعاف القمر عندما يكون بدرًا. وهي بالطبع معتمة أكثر من القمر. وستكون أفضل مشاهدة باستخدام المقراب بعيدًا عن ضوء المدن.

لو كانت المجرّات البعيدة كلّها تتحرك بعيدًا بعضها عن بعض، فهذا يعني فقط أنها كانت في وقت ما متقاربة أكثر. وبإعادة الشريط الكوني إلى الوراء، فإنّ هذا سيقودنا إلى نتيجة حتمية وهي أنّ المجرّات جميعها كانت معًا في نقطة واحدة في لحظة ما. ومن ثم، فالكون كما نعلم ذو بداية. هذه اللحظة تسمى الانفجار الأعظم *Big Bang* الذي سنناقشه بتفصيل أكثر في الفصل 28. وفي الجزء المتبقي من هذا الفصل، سنصف وببساطة الأنواع المختلفة من المجرّات، وكيفية انتظامها في الكون المرئي.

تتكون المجرة من تجمع كبير من النّجوم، والغاز ما بين النّجميّ والغبار. إنّ المجرّات هي الأرضية المولدة للنجوم. ويعد نجمنا الشّمس واحدًا من مئة بليون نجم عادي في مجرة تعرف بمجرة درب التبانة (الشّكل 27 . 23).

الشّكل 23.27

صورة واسعة لدرب التبانة، والتي تظهر كحزمة ضوئية ممتدة شمالًا – جنوبًا. الأزقة المعتمة والبقع عبارة عن الغاز ما بين النّجمي والغبار الذي يعتم الضّوء الآتي من مركز المجرة. ولو لم يكن هذا الغبار موجودًا، فإنّ درب التبانة ستنشر ضوءها ليلًا بصورة خلابة. وتبين هذه الصورة أيضًا مذنب هياكوتيك الذي ظهر عام 1996.

فبالعين المجردة، يمكننا مشاهدة درب التبانة كحزمة باهتة من الضّوء تمتد وسط السّماء. ولقد سماها الإغريق القدماء الدائرة الحليبية، في حين سماها الرومان الطريق الحليبي أو الممر الحليبي. إلا أنّ الاسم الثاني أهمل.

تتراوح كتل المجرّات من واحد على مليون إلى 50 ضعف كتلة مجرتنا. وللمجرات كتل أكبر كثيرًا مما يمكن مشاهدته بالمقاريب. فأجزاء صغيرة من الكتل غير المرئية هي ببساطة مواد باردة إلى درجة أنها لا تصدر إضاءة كافية لنتمكن من رؤيتها. ولكن الجزء الأعظم من هذه المواد غير المرئية هي أشكال من المادة تعرف *بالمادة القاتمة* dark matter التي لا تمتص ولا تصدر أيّ إضاءة. ولكنها تمتلك كتلة على أيّ حال. وعليه، يمكن قياس تأثيرها الجاذبي. في الفصل القادم، سوف نصف الدور الرئيس الذي قامت به المواد القاتمة في تكوين المجرّات وتوزعها.

المجرّات الإهليلجيّة (Elliptical)، والحلزونيّة (Spiral)، وغير المنتظمة (Irregular)

تصنّف ملايين المجرّات التي تشاهد على ألواح التصوير إلى ثلاثة أنواع هي: الإهليلجية، والحلزونية، وغير المنتظمة. *فالمجرّات الإهليلجية* هي الأكثر شيوعًا في الكون. وهي كروية الشّكل، وتزدحم فيها النّجوم في المركز. ويحتوي معظمها على القليل من الغاز والغبار، مما يساعد على رؤيتها. وتبدو أيضًا صفراء اللون ما يعني أنها تتكون من نجوم قديمة. فالنّجوم القديمة المسنة تكون صفراء اللون، في حين أنّ النّجوم الحارة الشابة تبدو زرقاء اللون. إنّ معظم المجرّات الإهليلجية صغيرة، وتتكون من أقل من بليون نجم (الشّكل 27 .24). عدا المجرة الإهليلجية العملاقة M 87 (الشّكل 27 .25). كما أنّ أضخم المجرّات الإهليلجية تبلغ 5 أضعاف مجرتنا، وأصغرها 1/ 100 من حجم مجرتنا.

أما *المجرّات الحلزونية* كالمرأة المسلسلة، كما تبدو في الشّكل27 .22، فقد تكون أجمل النّجوم ترتيبًا. إنّ بعض المجرّات الحلزونية، كالمجرة القبعة sombrero الشّكل 27 .26 لها قبة نواة كروية. وبعضها كما يبدو في الشّكل27 .27 لها نواة متطاولة على شكل عصا barred. في حين تشبه مجرة درب التبانة، إلى حدّ بعيد، مجرة NGC 6744 الحلزونية، والتي هي وسط بين المجرّات العصوية النواة واللاعصوية (الشّكل 27 .28).

أما *المجرّات غير المنتظمة* فهي عادة صغيرة وباهتة ومن الصعب اكتشافها. ويبدو أنها تحتوي على غيوم كبيرة من الغاز والغبار، وكذلك على نجوم فتيّة زرقاء وأخرى مسنة صفراء.

الشّكل 24.27

هذه المجرة الإهليلجية الصغيرة، التي تسمى الأسد آي Leo I، وجدت في كوكبة الأسد، ويبلغ قطرها 2500 سنة ضوئية. وللمقارنة، فإن قطر مجرة درب التبانة نحو 100000 سنة ضوئية.

لمعلوماتك

■ تعدّ مجرة المرأة المسلسلة أقرب المجرّات الحلزونية إلينا؛ فهي جارة تبعد عنا 2.5 مليون سنة ضوئية وهي تضم عددًا من النّجوم أكبر كثيرًا من درب التبانة والتي تجعلها أكثر سطوعًا. ويبلغ قطرها أيضًا نحو 220000 سنة ضوئية مقارنة مع درب التبانة 100000 سنة ضوئية. وهكذا، فإن مشاهدتنا لمجرة المرأة المسلسلة خلابة أكثر من مشاهدة المرأة المسلسلة لنا.

الشّكل 25.27

المجرة الإهليلجية العملاقة M 87، من أكثر المجرّات سطوعًا في السّماء، تقع بالقرب من مركز عنقود العذراء الذي يبعد 50 مليون سنة ضوئية عن الأرض تقريبًا. ويبلغ عرضها 120000 سنة ضوئية، وكتلتها أكبر 40 مرة من كتلة مجرتنا درب التبانة.

الشّكل 26.27

يبلغ قطر مجرة القبعة، M 104، 80000 سنة ضوئية وتبعد عن الأرض 32 مليون سنة ضوئية تقريبًا. ويقع في مركزها أحد أكبر الثّقوب السّوداء كتلة قيس حتى الآن في أيّ مجرة مجاورة.

الشّكل 27.27
المجرة الحلزونية العصوية الجميلة NGC 1300 يبلغ عرضها 100000 سنة ضوئية وتبعد 70 مليون سنة ضوئية.

إنّ المجرة غير المنتظمة التي وصفت لأول مرة من قبل الملاحين في رحلة ماجلان حول العالم عام 1521 هي الجارة الأقرب إلينا. إنها غيمة ماجلّان. تتكوّن هذه المجرة من غيمتين تسمى إحداهما غيمة ماجلان الكبرى (L M C) والأخرى غيمة ماجلان الصغرى (SMC). وكلتاهما تجذبان ببطء إلى درب التبانة. إنّ غيمة ماجلان الكبرى مرصعة بنجوم حارة فتيّة. تصل كتلها مجتمعة إلى 20 بليون كتلة شمسيّة. في حين أنّ غيمة ماجلان الصغرى تحوي نجومًا تساوي كتلها مجتمعة أكثر من بليوني كتلة شمسيّة. كما يبدو في الشّكل27 . 29. بعض المجرّات غير المنتظمة كما هو الحال في NGC 4038 الشّكل 27 . 30 . هي نتاج آثار حادثات تصادم المجرّات.

■ **نقطة فحص**

هل يمكن أن يتحول نوع من المجرّات إلى نوع آخر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

نعم. ويحدث ذلك عندما تتصادم مجرتان متناظرتا الشّكل معًا لتكوّنا مجرة غير منتظمة وغير متناظرة الشّكل.

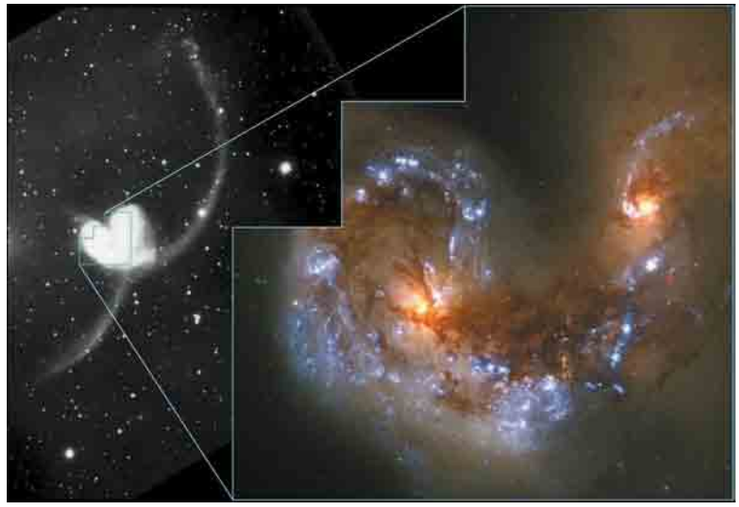
المجرّات النشطة (Active Galaxies)

بالمعايير المجرّة. تعدّ مجرتنا درب التبانة وسيمة ومصقولة الحواف. وبعيدًا عن مجرة درب التبانة هذه. وجد الفلكيون مجرات سموها *المجرّات النشطة* وهي ذات طاقة كبيرة جدًّا. إنّ أحد نماذج هذه المجرّات النشطة هي **المجرة المنتجة للنجوم *starburst galaxy***. حيث تتشكّل النّجوم بمعدل عال غير عادي. تستطيع المجرة المنتجة للنجوم توليد أكثر من مئة نجم جديد كلّ سنة. وبالمقارنة. تولّد مجرة درب التبانة ما معدّله نجم واحد في السّنة. إنّ هذا المعدل العالي لإنتاج النّجوم في هذا النوع من المجرّات. هو في الغالب. نتيجة لنوع من الاضطراب السريع كالتصادم بين المجرّات. والمجرة غير المنتظمة في الشّكل27 .30 هي مثال للمجرات المنتجة للنجوم. وهناك مثال آخر وهو مجرة السيجار M 82 التي تتشكّل بفعل قوى المدّ من جارتها الأكبر كثيرًا مجرة M 81 (الشّكل 27 .31). ويبدو أنّ المجرة المنتجة للنجوم تموت بمجرد زوال الاضطراب. أو بعد استهلاك كل الوقود ما بين النّجمي. ويعتقد أنّ العديد من المجرّات الإهليلجيّة كانت أصلا مجرات منتجة للنجوم بسبب قلة وفرة الغبار والغاز ما بين النّجمي.

الشّكل 28.27
المجرة NGC 6744 حلزونية وسطى بين عصوية النواة ولا عصوية النواة. كما أنّ دراسة درب التبانة يعتقد أنها أيضًا حلزونية متوسطة. وبكلمات أخرى، فهذا هو ما يرى منها من بعيد.

(أ) (ب)

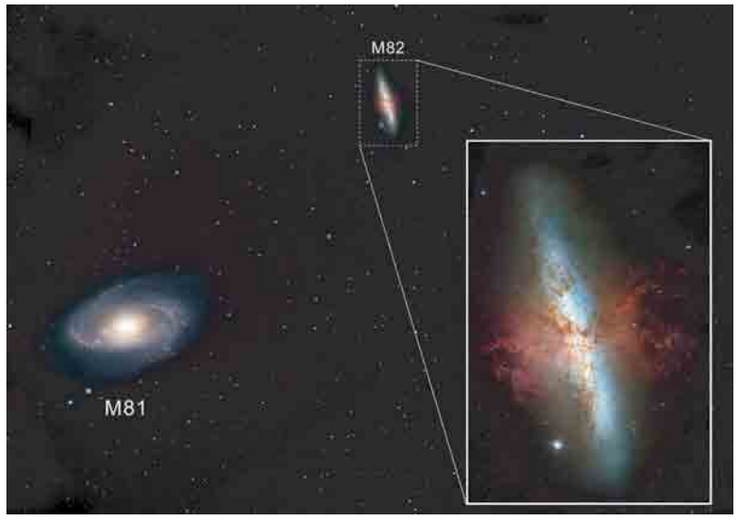
الشّكل 29.27
(أ) غيمة ماجلان الكبرى (ب) غيمة ماجلان الصغرى والمجاورة وهما زوج من المجرّات غير المنتظمة. إنّ غيمتي ماجلان هما المجرتان الجارتان الأقرب إلينا، حيث تبعدان عنا نحو 150000 سنة ضوئية. ويبدو أنهما تدوران حول درب التبانة.



الشّكل 30.27
تبيّن الصورة باللونين الأبيض والأسود المأخوذة بمقراب أرضي منظرًا لمجرة غير منتظمة ناتجة عن تصادم مجرتين. لاحظ بقايا الأذرع التي تقترح مجرتين حلزونيتين سابقتين. وتبين الصورة التفصيلية صورة مكبرة بالألوان التقطت بمقراب هابل الفضائي، يتضح فيها التّشكّل السريع لنجوم جديدة (الأزرق) والذي يحدث بفعل مجموع كتلتي المجرتين.

إنّ المجرّات النشطة الأخرى تكون هكذا بفعل لبّها المجرّي، والذي يستضيف ثقبًا أسود كثافته أكبر من كثافة الشّمس مليون وحتى بليون مرة. يبلغ أفق الحدث لمثل هذه الثّقوب السّوداء حجم نظامنا الشّمسي! وتحتوي معظم المجرّات الضخمة، بما فيها درب التبانة، على مثل هذه الثّقوب السّوداء في مراكزها. إنّ الذي يصنّف المجرّات النشطة كمجموعة منفصلة هو الكمية الضخمة من المادة التي تسقط باستمرار في ثقوبها السّوداء فوق الكتلية. وقبل السّقوط في هذه الثّقوب السّوداء، تكوّن الكتلة الساقطة قرصًا يدور حول نفسه بسرعة، ويسمى *القرص النامي* ***accretion disk*** حول خطوط الاستواء للثقوب السّوداء. تولّد الدقائق المشحونة في هذا القرص السريع جدًّا في دورانه، حقلًا مغناطيسيًّا ضيقًا، ولكنه قويّ جدًّا يرتفع من قطبي الثقب الأسود. وبدلًا من سقوطها في الثقب الأسود، فإنّ بعض الدقائق المشحونة كالإلكترونات، تتسارع في اتجاه الخارج في هذه الحقول المغناطيسية إلى ما يقارب سرعة الضّوء. وينتج عن ذلك انسيابان طويلان جدًّا من الدقائق يسميان *النفاثات* ***jets*** تمتد آلاف السّنوات الضّوئيّة بعيدًا عن مركز المجرة التي تسمى **النواة النشطة للمجرة *(active galactic nucleus (AGN)***.

لقد وُجدت نواة نشطة لمجرة قريبة نسبيًّا في المجرة الإهليلجية *M* 87 الموضحة في الشّكل 27 .25. وتوضّح الصور الشديدة التفاصيل لهذه المجرة، كما يبدو في الشّكل 27 . 32 . نفاثًا من المواد



الشّكل 31.27
مجرة السيجار M 82، وهي مجرة حلزونية ملتوية بعيدة عنّا. لذا، فإننا نراها من إحدى حوافها. إنّ قوى المدّ من المجرة M 81 المجاورة تحدث اضطرابًا في توزيع المادة في M 82 والتي تتكتل مؤدية إلى تشكّل العديد من النّجوم الجديدة، كما يستدل من اللون الأزرق المميز لمجرة M 82. إنّ الغازات الحمراء فوق المجرة وتحت مستواها هي مبدئيًّا هيدروجين يدفع نحو الخارج بفعل الرياح النّجمية الوفيرة.

الشّكل 32.27
تولّد المواد الساقطة في الثقب الأسود فوق الكتلي في مركز المجرة M 87 نفاثات تندفع مبتعدة بسرعة تعادل سرعة الضّوء تقريبًا.

يتدفق مبتعدًا عن مركزها إلى مسافة 7000 سنة ضوئية تقريبًا. ومن المفيد معرفة أنّ النفاث يميل بزاوية نحونا. وهذه بالإضافة إلى السرعة الهائلة لهذا النفاث (99.5% من سرعة الضّوء)، تساعد على جعل النفاث يبدو أكثر سطوعًا. أما النفاث المضاد الذي يبتعد عنا بمثل هذه السرعة الهائلة، فهو غير قابل للرؤية لعدة أسباب متعلقة بنظرية أينشتاين النسبية.

تزودنا النوى النشطة للمجرات القريبة، كما هو الحال في M 87، بمعلومات لفهم طبيعة المجرّات ذات الطاقة الأعلى- *الكوازرات quasars* . فمنذ ستينيّات القرن الماضي، بدأ الفلكيون اكتشاف أجرام ذات طاقة عالية جدًّا يبلغ سطوعها مئات المرات أكثر من مجرتنا، ومع ذلك فهي أبعد من أيّ جرم مرصود. وبما أنها تبدو كالنّجوم الباعثة للموجات الراديوية، سميت بأشباه مصادر النّجوم الراديوية، والتي اختصرت إلى "كوازرات". وبما أن الكوازرات جميعها شديدة البعد جدًّا، فإنها تكون قد نشأت منذ زمن طويل جدّا - يصل إلى نحو 13 بليون سنة مضت. وهذا الزمن يعني أنها قريبة من نشأة الكون. وهكذا، فعندما ننظر إلى الكوازرات، فإننا ننظر في الحياة الأولى المبكرة للمجرات (الشّكل 33.27). ففي شباب مثل هذه المجرّات، فإنّ معظم المواد كانت لا تزال تسقط في الثّقوب السّوداء فوق الكتلية الموجودة في لباب المجرّات. تسمح دينامية هذه العملية بالتحول الفاعل من المادة إلى الطاقة، وتوليد نفاثات هائلة لدقائق عالية الطاقة والضوء. وعندما تواجهنا واحدة من هذه النفاثات القديمة، تكون النتيجة انتشارًا متألقًا للطاقة يسمى **كوازر quasar**.

■ **نقطة فحص**

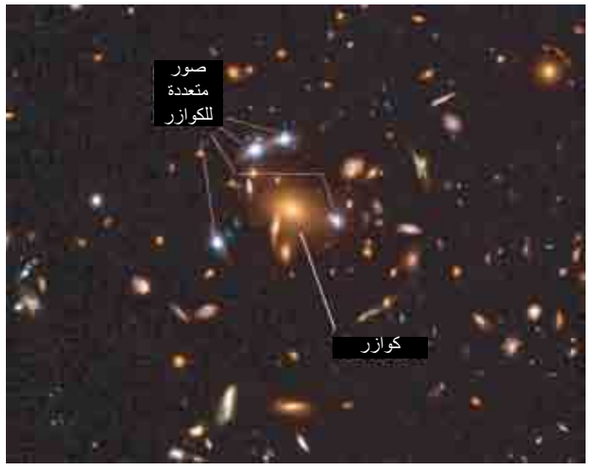
هل يوجد أيّ كوازر في مجرة درب التبانة؟

هل كانت هذه إجابتك؟

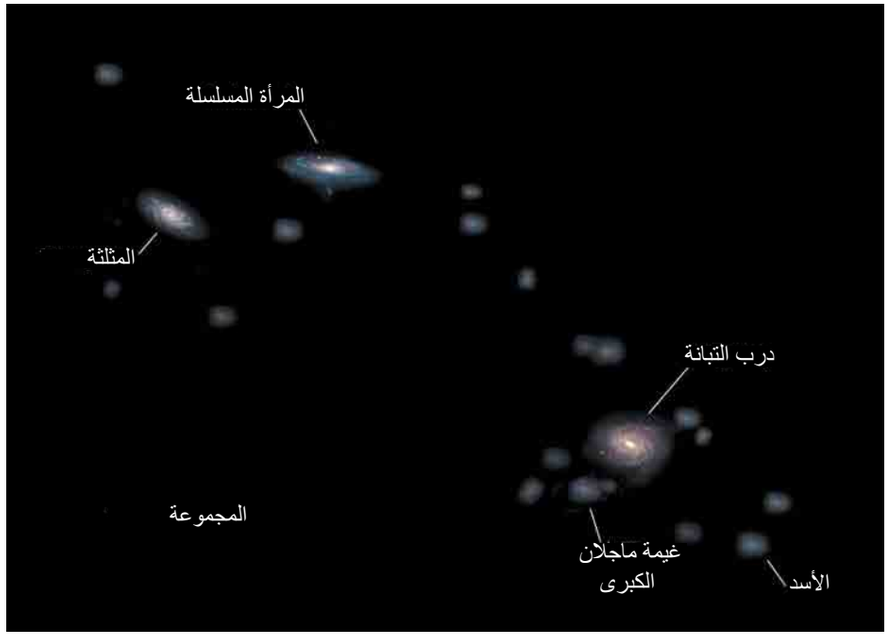
لا؛ فالكوازر هو النواة النشطة لمجرة كما كانت عند نشأة الكون. الكوازرات جميعها تبعد عن مجرتنا بلايين السنين الضّوئيّة.

العناقيد (Clusters) وفوق العناقيد (Super Clusters)

المجرّات ليست البنى الأكبر في الكون، حيث يبدو أنّ هذه المجرّات تتشكّل كعنقود في مجموعات متميزة. وعلى سبيل المثال، فإن مجرتنا تعدّ جزءًا من عنقود من المجرّات المحلية التي تضم مجرتين أخريين حلزونيتين هما المرآة المسلسلة والمثلثة Triangulam. وتضم أيضًا أكثر من 12 مجرّة إهليلجية صغيرة، مثل مجرة الأسد Leo I المبينة في الشّكل27 - 24، وقليلًا من المجرّات غير المنتظمة كغيمة



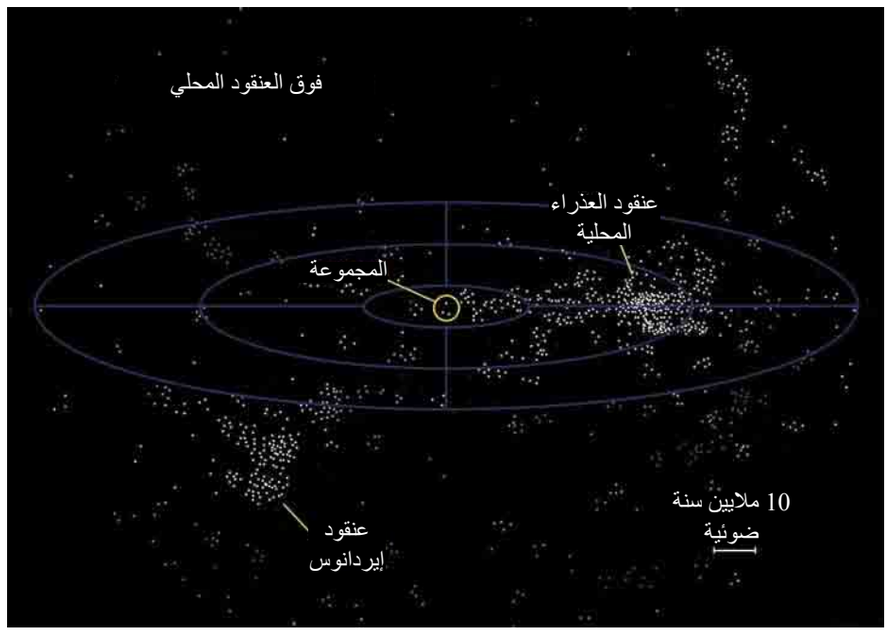
الشّكل 33.27
كلُّ واحد من الأقراص في هذا المنظر الفضائي العميق والذي التقط بمقراب هابل الفضائي- مجرةٌ. يقع الكوازر الذي يرى في المركز على بعد بلايين السنين الضّوئيّة خلف عنقود المجرّات. ولقد أمالت جاذبية العنقود الضّوء الصادر عن الكوازر كما تفعل العدسة. لذا، تشاهد عدة صور للكوازر.



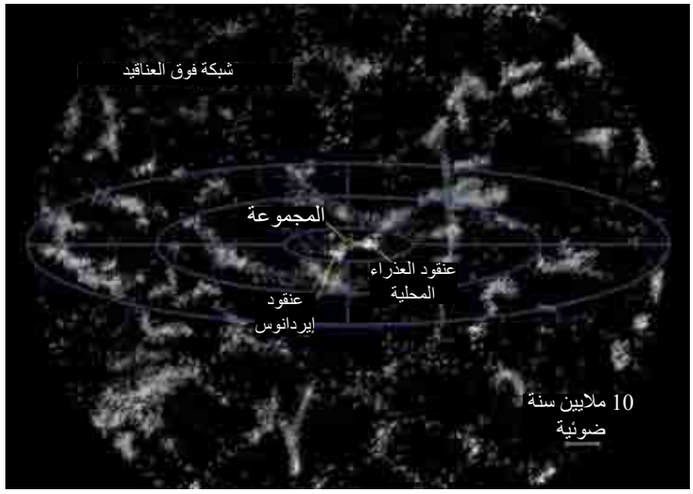
الشّكل 34.27
تبيّن هذه الصورة المركبة الثنائية الأبعاد المسافات النسبية التقريبية بين أعضاء مجموعة مجراتنا المحلية. تتحرك هذه المجرّات كلها بعضها اتجاه بعض، وسوف تتصادم في يوم ما لتشكيل فوق مجرة كبيرة.

ماجلان الكبيرة. وكل هذا العنقود من المجرّات يعرف بالمجموعة المحلية Local Group . يوضح الشّكل 34.27 التوزيع التقريبي لهذه المجرّات. ولو رُسِمت وفق مقياس رسم صحيح، فستكون مجرة المرأة المسلسلة على بعد 20 ضعف قطر درب التبانة عن درب التبانة. لقد سميت **المجرة المثلثة -*Tri-angulam*** بهذا الاسم لأنها تكمل مثلثًا بين المجرّات الحلزونية، فهي أقرب إلى المرأة المسلسلة، ولكنها أبعد منا.

تقع المجموعة المحلية من المجرّات أيضًا تحت تأثير الجاذبية لعناقيد المجرّات المجاورة. فعنقودنا، بالإضافة إلى هذه العناقيد الأخرى كلّها، تشكّل ما يعرف بفوق العنقود، والذي هو عنقود من المجرّات العنقودية. فمجموعتنا المحلية هي في الواقع جزء صغير من فوق **عنقودنا المحلي *Local Supercluster*** كما يبدو في الشّكل 27 . 35.



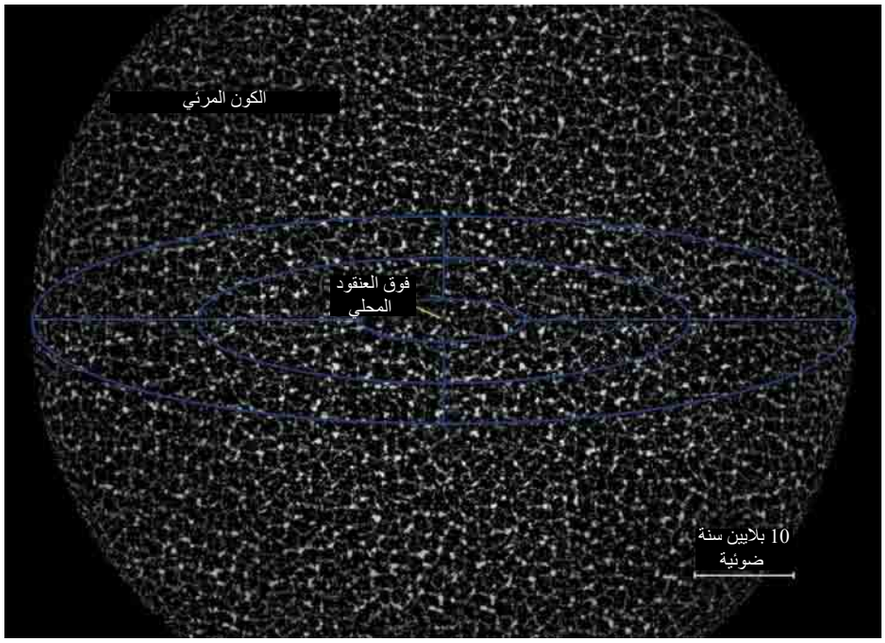
الشّكل 35.27
فوق العنقود هو عنقود لمجرات عنقودية. فكلّ نقطة تمثّل مجرة. لاحظ أنّ مجموعتنا المحلية تقع في منتصف الطريق بين عنقودين أكبر منها كثيرًا هما عنقودا العذراء وإيردانوس.



الشّكل 36.27
كلّ غيمة تمثل فوق عنقود.
لاحظ أنّ فوق العناقيد مربوطة معًا وكأنها على سطح رغوة.

إنّ فوق عنقودنا المحلي مربوط مع شبكة محكمة من فوق العناقيد، كما يبدو في الشّكل27 . 36. وتبدو جميع فوق العناقيد هذه معًا وكأنها تستوطن على سطح رغوة بينها ثقوب فضائية كبيرة وخالية. وبتحريك آلة التصوير بعيدًا، سنجد أنّ شبكة فوق العناقيد تمتد حتى حافة *الكون المرئي* كما يبدو في الشّكل27 . 37. ونعني بالكون المرئي كلّ ما يمكن رؤيته، والذي يعطي الحقيقة أنّ عمر الكون 14 بليون سنة فقط. أما الضّوء الذي يأتي من أيّ جرم يبعد أكثر من 14 بليون سنة ضوئية فلم يكن لديه الوقت الكافي للوصول إلينا.

وهكذا، فإنّ كوننا المرئي ضخم. ضخم بالمطلق. وما مقدار هذه الضخامة التي قد يكون عليها الكون كله، هذا الكلّ الذي يحدث ضجة مدوية. إننا لا نعرف، وقد لا نعرف أبدًا.



الشّكل 37.27
شبكة فوق العناقيد التي تمتد حتى حافة الكون المرئي، ولا تزيد في بعدها على 14 بليون سنة ضوئية. يوضح هذا الشّكل فرضية منظر عين الطير لهذا الكون المرئي الكامل النضوج حتى هذه اللحظة، والتي تضع معظم الأجرام البعيدة على بعد نحو 42 بليون سنة ضوئية بفعل التمدد الكوني.

إنّ علماء الكونيات والرياضيات لم يتوقفوا عن تطوير نماذج تقترح إجابات ممكنة. ويرى أحد هذه النماذج أنه لو كان حجم الكون المرئي بحجم بروتون، فإنّ الكون جميعه سيكون بحجم كوكب الأرض. ولنتصور عدد البروتونات في حجم كحجم الكرة الأرضية. سيكون هذا العدد هو عدد الأكوان المرئية في الكون كله. وسيكون الرقم كبيرًا جدًّا بحيث إنك لو استطعت السفر مسافة م في أي اتجاه، فإنّ لديك احتمالًا كبيرًا أن تتقاطع مع كون مرئي آخر يشبه إلى حدّ بعيد الكون الذي تركته. وبالاستمرار في هذا التخمين، فإنك قد تبحث عن شخص آخر مثلك يقرأ كتابًا تمامًا مثل الكتاب الذي تقرأه الآن. ماذا لو كان هذا الشخص هو أنت المستقبلي؟ فإلى جانب العيش بعيدًا جدًّا جدًّا، فإن الفرق الوحيد القابل للقياس هو أنّ هذا أو هذه قد انتهى أو انتهت من قراءة هذه الفقرة. يدعو العلماء هذا النموذج "بنموذج العالم المتعدد" many worlds حيث إنّ كلّ كون مرئيّ هو كون ساكن، يمثل ترتيبًا ممكنًا واحدًا للمادة. نحن لا نتحرك خلال الزمن. ولكننا، بالأحرى، نقفز من كون مرئي إلى كون مرئي آخر، والذي يعطي مظهر الحركة خلال الزمن. أهلًا وسهلا. لقد قفزت من كون مرئي إلى كون مرئي آخر. إنّ الكون القديم الذي تركته قبل ستّ جمل هو الآن بعيد للأبد.

التبصّر في علوم الفيزياء

■ حجم المجرة

المسألة الأولى

تبعد الأرض عن الشّمس 0.000016 سنة ضوئية، وعن أقرب النّجوم الأخرى إلينا وهو قنطورس القريب نحو 4.2 سنة ضوئية. وبالمقارنة ببعدنا عن الشّمس، كم مرة نبعد عن قنطورس القريب؟

الحل :

اقسم بُعدنا عن قنطورس القريب على بُعدنا عن الشّمس.

$$\frac{4.2 \text{ سنة ضوئية}}{0.000016 \text{ سنة ضوئية}} = 262.500$$

وهكذا، فإنّ أقرب النّجوم إلينا يبعد 260000 مرة من بُعدنا عن الشّمس.

المسألة الثانية

إنّ بُعدنا عن مركز مجرة درب التبانة 26000 سنة ضوئية تقريبًا. فكم مرة يبلغ هذا البعد مقارنة ببعدنا عن النّجم قنطورس القريب؟

الحل :

اقسم المسافة إلى مركز المجرة على المسافة إلى نجم قنطورس القريب

$$\frac{26000 \text{ سنة ضوئية}}{4.2 \text{ سنة ضوئية}} = 6190$$ أي أنّ مركز مجرتنا يبعد 6200 مرة من بُعد أقرب النّجوم إلينا.

المسألة الثالثة

تبعد مجرة درب التبانة عن مجرة المرأة المسلسلة 2300000 سنة ضوئية. ويبلغ قطر مجرة درب التبانة نحو 100000 سنة ضوئية. فكم قطرًا من أقطار درب التبانة تبعد عنا المرأة المسلسلة؟

الحل :

اقسم المسافة إلى المرأة المسلسلة على قطر درب التبانة.

$$\frac{2300000 \text{ سنة ضوئية}}{100000 \text{ سنة ضوئية}} = 23$$

وعليه، فإنّ بعد مجرة المرأة المسلسلة عن درب التبانة يبلغ 23 قطرًا من درب التبانة.

المسألة الرابعة

تتحرك مجرة المرأة المسلسلة في اتجاه درب التبانة بسرعة 300000 ميل/ ساعة تقريبا. فبعد كم سنة تتصادم المجرتان؟

الحل :

حوّل 300000 ميل/ سنة إلى سنين ضوئية في السّنة. أولا: حوّل 300000 ميل إلى سنين ضوئية.

$$\frac{1.61 \text{ كم}}{1 \text{ ميل}} \times \frac{1 \text{ سنة ضوئية}}{10000000000000 \text{ كم}} \times 300000 \text{ ميل} = 4.83 \times 10^{-8} \text{ سنة ضوئية.}$$

ثانيًا: حوّل الساعات إلى سنين 1 ساعة ×

$$\frac{1 \text{ يوم}}{24 \text{ ساعة}} \times \frac{1 \text{ سنة}}{365.25 \text{ يوم}} = 10^{-4} \times$$

1.14 سنة.

ضع العلاقتين معًا:

$$\frac{300000 \text{ ميل/ ساعة} = 4.83 \times 10^{-8} \text{ سنة ضوئية}}{1.14 \times 10^{-10} \text{ سنة}}$$

$$= 4.23 \times 10^{-10}$$

سنة ضوئية/ سنة

استخدم معادلة السرعة من الفقرة 1

$$\text{السرعة} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = 4.23 \times 10^{-4} \text{ سنة ضوئية/ سنة} = \frac{2300000 \text{ سنة ضوئية}}{\text{س سنة}}$$

س = 5400000000 سنة.

وهكذا، فإنه خلال 5.4 بليون سنة، ستصطدم المرأة المسلسلة مع درب التبانة. ولكن خلال هذه المدة، فإنّ شمسنا ستكون قد استنفدت معظم وقودها النووي. وهكذا، فإننا لن ننغمس في حضور هذه الشهادة. إنّ التصادم بين المجرّات أمر عادي، مما مكّن الفلكيين من تصوير العديد من عمليات التصادم الجارية حاليًّا.

لقد بيّنت الاستطلاعات أنّ نحو نصف الأمريكيين البالغين لا يعرفون أنّ الأرض تستغرق سنة كاملة لتدور حول الشّمس. ومع ذلك، فالعديد منا ما زالوا يناضلون لفهم الأفكار العلمية التي وجدت خلال 400 سنة قبل الوقت الحاضر. لقد تطورت معرفتك، وأصبحت مطّلعا على الاحتمالات المذهلة التي يكشفها العلم باستمرار، وهو ما يضعك في أقلية متميزة. فابتهج بذلك!

■ **نقطة فحص**

أيهما أكبر: عدد النّجوم في مجرتنا أم عدد المجرّات في الكون؟

هل كانت هذه إجابتك؟

هناك الكثير من المجرّات البعيدة في الكون كلّه، وهي أكثر من عدد النّجوم في مجرتنا. وللتذكير في بداية هذا الفصل، فإنّ الفلكيين يقدرون وجود 100 بليون نجم في مجرتنا تقريبًا. ونحو 100 بليون مجرة في كوننا المرئي. وإن كان هذا صحيحًا، فإنه يعني وجود 1022 نجم تقريبًا في كوننا المرئي. وهذا يساوي عدد الجزيئات في قطرة ماء. إنّ شدة اتساع الكون هذه يقابلها شدة صغر وحدات بناء أجسادنا. ونقع- نحن البشر- بين هذين الحدّين المتطرفين بشكل لطيف.

ملخّص المصطلحات

الكرة السّماويّة *Celestial sphere*: كرة تخيليّة تحيط بالأرض وترتبط بها النّجوم.

السّنة الضّوئيّة *Light-year*: المسافة التي يقطعها الضّوء في سنة.

مخطط هيرتزبروغ – رسل *(H – R) Hertzsprung–Russell diagram (H–R diagram)*: مخطط للسطوع الفعلي مقابل الحرارة السّطحية للنجوم. وعندما يرسم هكذا، فإنّ مواقع النّجوم تأخذ شكل السّلسلة الرّئيسة لمعدل النّجوم مع بعض النّجوم الخارجة أعلى السّلسلة الرّئيسة وأسفلها.

السّلسلة الرّئيسة *Main sequence*: الحزمة القطرية من النّجوم على مخطط $H - R$؛ هذه النّجوم تولد طاقة باندماج الهيدروجين وتحويله إلى هيليوم.

النّجوم العملاقة *Giant stars*: نجوم باردة عملاقة تقع فوق السّلسلة الرّئيسة من النّجوم على مخطط $H - R$.

الأقزام البيضاء *White dwarf*: نجوم ميتة انهارت إلى أن أصبحت بحجم الأرض وتبرد باستمرار، وتقع في الجزء الأيسر الأسفل من مخطط $H - R$.

السّديم الكوكبيّ *Planetary nebula*: غلاف متمدد من الغاز نفث من نجم منخفض الكتلة في آخر مراحل تطوره.

نوفا *Nova*: حدث يسطع فيه قزم أبيض بشكل مفاجئ ويبدو كأنه نجم جديد.

سوبرنوفا *Supernova*: انفجار لنجم كتلي بسبب الانهيار الجاذبي مع انبعاث كميات ضخمة من المادة.

النّجوم النيوترونية *Neutron star*: نجوم صغيرة شديدة الكثافة مركبة من نيوترونات مربوطة بإحكام تكونت بالتحام بروتونات مع إلكترونات.

النّجوم النابضة *Pulsar*: أجرام سماوية (تشبه إلى حدّ بعيد النّجوم النيوترونية) تدور بسرعة، مرسلة نحو الخارج اندفاعات قصيرة وبأوقات محددة من الإشعاعات الإلكترومغناطيسية

الثّقوب السّوداء *Black hole*: بقايا انهيار النّجوم العملاقة على نفسها، وهي ذات كثافة عالية وحقل جاذبي عالٍ إلى درجة أنها لا تسمح للضوء بالانفلات منها.

أفق الحدث *Event horizon*: منطقة الحدّ للثقب الأسود التي لا يمكن لأيّ شعاع الانفلات منها. فأيّ حدث يقع ضمن أفق الحدث غير مرئيّ للمشاهد البعيد.

تفردية الثقب الأسود *Black-hole singularity*: الجسم الذي نصف قطره صفر، والتي تضغط فيها مادة الثقب الأسود.

الانفجار الأعظم *Big Bang*: الانفجار الأولي للفضاء عند بدء الزمن.

المجرة *Galaxy*: مجموعة كبيرة من النّجوم، والغاز ما بين النّجوم والغبار، والتي تصنف عادة وفق شكلها إلى إهليلجية وحلزونية وغير منتظمة.

المجرة المنتجة للنجوم *Starburst galaxy*: هي المجرة التي تتشكّل فيها النّجوم بسرعة عالية غير عادية.

النواة النشطة لمجرة *Active galactic nucleus (AGN)*: ثقب أسود فوق كتلي يقع في مركز المجرة حيث تتساقط المادة بمعدل عالٍ جدًّا ما يؤدي إلى تحرير كميات فلكية من الطاقة.

كوازر *Quasar*: مجرات بعيدة لها أنوية مجرية نشطة تصدر حزمًا شعاعية متجهة نحونا، والتي تجعلها تظهر أكثر سطوعًا من المجرة التي تقع فيها.

المجموعة المحلية *Local Group*: عنقودنا المتوسط من المجرّات، بما فيه درب التبانة والمرأة المسلسلة والمثلثة وكلّها حلزونية بالإضافة إلى عدة مجموعات من المجرّات الأصغر الإهليلجية وغير المنتظمة.

فوق العنقود المحلي *Local Supercluster*: عنقود مكون من مجموعة عناقيد مجرّيّة حيث تقع مجموعتنا المحلية.

أسئلة مراجعة

27 . 1 رصد السّماء في الليل

1. ما المجموعات النجمية؟
2. لماذا يرى الراصد في موقع معين مجموعة من المجموعات النجمية في الشتاء، في حين يرى مجموعة أخرى مختلفة في الصيف؟
3. لماذا تبدو النّجوم أنها تدور حول محور تخيليّ شمالا – جنوبًا مرة كلّ 24 ساعة؟
4. هل السّنة الضّوئيّة مقياس للزمن أم مقياس للمسافة؟

27 . 2 سطوع النّجوم وألوانها

5. أيّ النّجمين أكثر حرارة: الأحمر أم الأزرق؟
6. ما الفرق بين السّطوع الظاهري واللمعان؟

27 . 3 مخطط هيرتزبرونج – رسل

7. ما مخطط H – R؟
8. أين تقع معظم النّجوم على مخطط H – R؟
9. أين تقع شمسنا على مخطط H – R؟
10. أيّ النّجمين أكبر: الأحمر أم الأصفر؟

27 . 4: دورات حياة النّجوم

12. ما القوى في اتجاه الخارج التي تؤثر في النّجم؟
13. ما القوى في اتجاه الداخل التي تؤثر في النّجم؟
14. متى تصل شمسنا إلى مرحلة العملاق الأحمر؟
15. هل زمن حياة النّجم العالي الكتلة أطول من النّجم المنخفض الكتلة أم أقصر؟
16. ما العلاقة بين العناصر الثقيلة التي نجدها الآن في الأرض والسوبرنوفا؟
17. ما العلاقة بين السوبرنوفا والنّجوم النيوترونية؟
18. ما العلاقة بين النّجوم النيوترونية والنابضة؟

27 . 5 الثّقوب السّوداء

19. ما العلاقة بين النّجم فوق العملاق والثقب الأسود؟
20. لماذا لا يعتقد أنّ الشّمس ستتحول يومًا ما إلى ثقب أسود؟
21. كيف تقارن كتلة النّجم قبل الانهيار بكتلة الثقب الأسود الذي سيؤول إليه؟
22. إذا كانت الثّقوب السّوداء غير مرئية، فما الدليل على وجودها؟
23. هل يعدّ أفق الحدث للثقب الأسود حدثًا رياضيًّا أم فيزيائيًّا؟

27 . 6 المجرّات

24. أيّ نوع من المجرّات تكون درب التبانة؟
25. ما نتيجة تصادم المجرّات؟
26. ما المجرة المنتجة للنجوم؟
27. كيف تقارن سطوع الكوازرات مع المجرّات الضخمة؟
28. كم يبلغ عدد المجرّات الحلزونية في المجموعة المحلية؟
29. هل تعدّ المجموعة المحلية عنقودًا صغيرًا أم كبيرًا من المجرّات؟
30. ما العناقيد المجرية الثلاثة التي توجد في فوق العنقود المحلي؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● في القرن التاسع عشر، كتب الكاتب والمعلم الاجتماعي توماس كارليل "لماذا لم يعلمني أحد عن المجموعات النّجمية ويجعل بيتي مزدانًا بجنة النّجوم، والتي دائمًا تعلو رأسي ولا أعرفها حتى الآن حقّ المعرفة؟". فما الذي لا يعرفه توماس كارليل بالإضافة إلى أسماء المجموعات النّجميّة؟
2. ■ هل يوجد أي نجم يسطع بما فيه الكفاية لنراه في يوم مشمس؟
3. ■ يمكن أن ترى النّجوم وليس الشّمس فقط في النهار على سطح القمر. لماذا؟
4. ● أيّ شكل في الفصل يبين على نحوٍ أفضل أن الكوكبة التي ترى في خلفية كسوف شمسي سوف ترى بعد ستة أشهر في السّماء ليلًا؟
5. ■ نحن نرى البروج كمجموعات نجمية متميزة. ناقش لماذا تبدو مختلفة الشّكل تمامًا عند النظر إليها من موقع آخر في الكون بعيدة جدًّا عن الأرض.
6. ■ يبدو الدّبّ الأكبر أحيانًا عموديًّا للأعلى (يمكن أن يحمل الماء) وفي أحيان أخرى مقلوبًا للأسفل (لا يحمل الماء). فكم يحتاج الدّبّ الأكبر من الوقت ليغير وضعه من حالة إلى أخرى؟
7. ● لماذا يغير الدّبّ الأكبر مكانه في الليل في حين أن النّجم القطبي يبقى ثابتًا تقريبًا؟
8. ■ لو سافرت إلى القطب الشّماليّ، فأين ستجد النّجم القطبي (النّجم الشّماليّ) في السّماء؟
9. ● ما العلاقة بين السّديم الكوكبيّ والقزم الأبيض؟
10. ● ماذا تعمل القوى الخارجية والداخلية الفاعلة على حجم النّجم؟
11. ● ما العلاقة بين القزم الأبيض والنوفا؟
12. ● ما الحدث الذي يشير إلى ولادة نجم؟
13. ● متى يموت النّجم؟
14. ■ علامَ يدلك لون النّجم؟
15. ● ما لون أضخم النّجوم؟
16. ● ماذا يتوقع أن يحدث للشمس عندما تتقدّم في العمر؟
17. ■ متى يستطيع النّجم المحترق المنهار أن يُشعل من جديد؟
18. ● بأيّ مفهوم أننا كلنا مكونون من الغبار النّجمي؟

19. ● كيف يدلّ الذهب في خاتم الزّواج على قدم النّجوم التي أكملت دورة حياتها طويلًا قبل ميلاد النظام الشّمسي؟
20. ■ كيف تتوقع أن تكون المعادن أكثر وفرة في النّجوم القديمة منها في النّجوم الحديثة؟ دافع عن وجهة نظرك.
21. ♦ ما دليلك على أنّ شمسنا نجم حديث نسبيًّا في الكون؟
22. ● لماذا يكون هنالك حدّ أدنى لكتلة النّجم؟ (ما الذي لا يمكن أن يحدث في تراكم الكتلة المنخفضة لذرات الهيدروجين والمواد ما بين النّجمية الأخرى؟)
23. ● ما الذي يحفظ نجم السّلسلة الرّئيسة من الانهيار؟
24. ● فيم يختلف النّجم الأولي عن النّجم؟
25. ● كيف تختلف طاقة النّجم الأولي عن الطاقة التي تحرك النّجم؟
26. ● لماذا لا يحدث تفاعل الاندماج النووي على الطبقات الخارجية للنجم؟
27. ■ لماذا يكون عمر النّجوم الضخمة عادة أقلّ من عمر النّجوم الأقلّ كتلة؟
28. ♦ لماذا تكون النّجوم فوق الكتلية قليلة نسبيًّا؟
29. ■ ماذا يمكن أن ينتج معدل دوران النّجم حول نفسه لو كان له نظام كوكبي؟
30. ■ بالنسبة للتطور النّجمي، ما المقصود بالعبارة التالية "كلما كبرت النّجوم، كان سقوطها أصعب"؟
31. ■ لماذا لا يكون بإمكان الشّمس دمج نوى الكربون في اللّبّ؟
32. ■ تحتوي بعض النّجوم على كمية من العناصر الثقيلة أقلّ من الشّمس. فإلامَ يشير ذلك عن عمر هذه النّجوم بالنسبة إلى عمر شمسنا؟
33. ● ما النّجم الذي له حرارة سطح أعلى: الأحمر، أم الأبيض، أم الأزرق؟
34. ♦ في مصطلح دورة حياة الشّمس، فسر سبب عدم استمرارية الحياة على الأرض إلى الأبد.
35. ♦ إنّ العناصر الأثقل من الحديد تتولد في النّجوم، فهل تتشكّل بالطريقة نفسها التي تتشكّل بها العناصر الأخف؟ فسّر ذلك.
36. ■ لو سقطت في ثقب أسود، فمن المحتمل جدّا أن تموت بفعل قوى المدّ. فسر ذلك.
37. ■ لا يكون الثقب الأسود أكثر كتلة من النّجم الذي انهار منه. لماذا إذن تكون الجاذبية عالية جدًّا بالقرب من الثقب الأسود؟
38. ♦ ماذا يحدث للمسافة الإشعاعية لأفق الحدث عندما يسقط المزيد والمزيد من الكتل في الثقب الأسود؟
39. ♦ ما الفرق بين الغلاف الفوتوني للثقب الأسود وأفق الحدث؟
40. ♦ كم ستكون قريبًا من الثقب الأسود عندما تمر من خلال أفق الحدث؟
41. ● هل ستصبح الشّمس:1- سوبرنوفا؟ 2- ثقبا أسود؟ دافع عن إجابتك.
42. ● هل هناك مجرات يمكن أن ترى بالعين المجردة غير مجرة درب التبانة؟ اشرح ذلك.
43. ■ من أين تحرر الكوازرات طاقتها؟
44. ■ هل تحتوي مجرة درب التبانة على نوى مجرّيّة نشطة؟
45. ♦ كيف يمكن أن يعدل الشّكل27-37 ليمثل ما يمكن أن يشاهد من قبلنا الآن؟

مسائل

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● افترض أنّ سطوع النّجم أ أكبر من سطوع النّجم ب بأربع مرات. إذا كان النّجمان على بعد 500 سنة ضوئية من الأرض، فكيف يقارن بين سطوعيهما الظاهريين؟ وكيف يقارن سطوعاهما الظاهريان لو كان بعد النّجم أ ضعف بعد النّجم ب؟
2. ■ يبعد نجم الشّعري اليمانية، أسطع النّجوم، عن الأرض نحو 8 سنوات ضوئية. لو استطعت السفر إلى هناك بطائرة نفاثة سرعتها 2000 كم/ ساعة، فبيّن أنّ الرحلة ستستغرق نحو 4.3 مليون سنة.
(لاحظ أنّ السّنة الضّوئيّة تساوي $10^{12} \times 9.46$كم).
3. ● لو سافرت من لبّ مجرتنا باستقامة نحو الخارج ثم نظرت إلى الخلف، فستلاحظ منظرًا رائعًا لدرب التبانة الحلزونية.فإذا كانت المسافة من اللب وحتى الحافة الخارجية 50000 سنة ضوئية، فكم ستكون مساحة السّطح الذي تراه؟ افترض المجرة دائرة يمكن معرفة مساحتها من المعادلة:
المساحة = نق$^2\pi$.
4. ● افترض أنّ مجرة درب التبانة تحتوي على 100 بليون نجم موزعة بانتظام دون أن تكون متركزة في المركز. ما كثافة النّجوم على مساحة السّطح؟ استخدم المعادلة:
الكثافة على السّطح = العدد/ مساحة السّطح.
5. ■ استخدم المعلومات في المسألة 4 لإيجاد مقدار الفضاء حول النّجم الواحد بالوحدات الفلكية AU.
(لاحظ أنّ السّنة الضّوئيّة الواحدة هي 63000 وحدة فلكية).
6. ■ باستخدام إجابتك للمسألة 5. هل يمكن لمجرتين وبتوزيع منتظم لنجومهما، اختراق إحداهما للأخرى؟

أنشطة استكشافية

حركة النّجوم

لمشاهدة حركة النّجوم اليومية، اخرج ليلًا، وحدّد أحد النّجوم أو المجموعات النجمية التي تشكّل خطًّا مع علامة أرضية ثابتة كشجرة أو بيت أو غيرهما. ارجع إلى المكان نفسه بعد ساعة تقريبًا لتلاحظ أنّ النّجم قد تحرّك عن العلامة الأرضية، ولكنه بقي في مكانه بالنسبة إلى النّجوم الأخرى. فبأي اتجاه تحرك النّجم: الشّرق، الغرب، الجنوب الغربيّ، الشّمال الغربيّ؟ وأين سيكون عندما تشرق الشّمس؟ هل سيبقى في مكانه 24 ساعة؟

حركة البروج

لرصد حركة الأرض حول الشّمس، شارك في رحلة رصد للنجوم واكتب ملاحظاتك عن النّجوم التي تقع فوق رأسك مباشرة. ارسم مخططًا لتوزيع النّجوم على ورقة واكتب عليها التاريخ والوقت الذي تمت به المشاهدة والرصد. وإذا لم تكن هذه النّجوم في برج معروف فاقترحه ضمن برج جديد وسمّه بما شئت. وبعد شهر من ذلك، انظر إليها في الوقت نفسه من الليل. لِمَ لا توجد مباشرة فوق رأسك الآن؟ في أيّ اتجاه تحركت هذه المجموعة؟ ولماذا؟

مجرة المرأة المسلسلة العظمى

السّماء في الليل ليست ملأى فقط بالنّجوم والكواكب. فإن كنت محظوظًا لتشهد سماء صافية في موقع بعيد عن إضاءة المدن، فبإمكانك رؤية مجرة المرأة المسلسلة بسهولة. إنّ أفضل الأوقات لرصد هذه المجرة في النصف الشّماليّ للكرة الأرضية هي شهور الشتاء. فابحث في البداية عن مربع كبير يمثل جسم الحصان الطائر "الفرس الأعظم". وستكون رؤية المرأة المسلسلة أفضل ما يمكن عندما يكون صندوق الفرس الأعظم فوق رأسك مباشرة. ومن ثمَّ انظر إلى الشمال (قريبًا من المكان الذي يرى فيه الدّبّ الأكبر عادة) حتى ترى الحرف W الذي يمثل مجموعة ذات الكرسي. وبجانب الفرس الأعظم بإمكانك مشاهدة الحرف Vمن النّجوم التي تمتد من الصندوق في اتجاه يسار ذات الكرسي. هذان هما قائمتا الفرس الأعظم الخلفيتان اللتان تكونان مجرة المرأة المسلسلة. تقع مجرة المرأة المسلسلة فوق الرجل العليا مباشرة بين ذات الكرسي W وصندوق الفرس الأعظم. انظر وتمعن إلى الشّكل27-22 لمساعدتك على تحديد المكان بدقة متناهية. وبالعين المجردة فإنها تشبه الزغب المعتم (هكذا رآها الفلكي المسلم الشهير أبو عبد الرحمن الصّوفيّ. انظر كتابه المطبوع "صور الكواكب الثمانية والأربعين" المترجم). وبإمكانك رؤيتها بشكل أفضل بعدم النظر إليها مباشرة. فالزغب يأخذ شكلا إهليلجيًّا بيضويًّا عندما تنظر إليه من خلال المقراب؛ فما تراه به هو في الغالب مركز اللب. أما المجرة كلّها فتشاهد فقط عند النظر إليها بمقراب دقيق جدًّا، وهي تعادل ستة أضعاف قطر القمر.

اختبار الاستعداد للقراءة

إذا استوعبت هذا الفصل جيدًا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإن لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة.

اختر الجواب الأفضل لكلّ مما يلي:

1. تختلف المجموعات النجمية للصيف والشتاء بسبب:
أ. دوران الأرض حول محورها القطبي.
ب. أنّ السّماء في الليل تواجه اتجاهين متقابلين في الصيف والشتاء.
ج. ميلان محور الأرض القطبي.
د. تناظر الكون وتناسقه.

2. يقع النّجم القطبي دائمًا فوق:
أ. القطب الشّماليّ.
ب. أيّ مكان شمال خط الاستواء.
ج. خط الاستواء.
د. القطب الجنوبيّ.

3. أقرب النّجوم إلى الأرض:
أ. ألفا – قنطورس.
ب. النّجم القطبي.
ج. عطارد.
د. الشّمس.

4. خاصية النّجم المتعلقة بمقدار الطاقة الذي ينتجها تعرف بـ:
أ. اللمعان.
ب. السّطوع الظاهري.
ج. اللون.
د. الحجم.
هـ. الكتلة.

5. النّجوم الأطول عمرًا هي ذات الكتل:
أ. المنخفضة.
ب. العالية.
ج. المتوسطة.
د. اللانهائية.

6. لا نستطيع رؤية النّجوم في ضوء النهار بسبب:
أ. الشّمس التي تحجبها.
ب. عدم وجودها في الجزء النهاري من السّماء.
ج. أنّ ضوء السّماء يغلب ضوء النّجوم.
د. نقص التباين مع ضوء القمر.
هـ. أنّ الرياح الشمسيّة تحجبها عن الرؤية.

7. المعادن أكثر وفرة تقريبًا في:
أ. النّجوم المسنّة
ب. النّجوم الفتيّة
ج. لا علاقة للعمر.
د. النّجوم النيوترونية

8. بعد أن تحرق شمسنا محتواها من الهيدروجين ستصبح:
أ. قزما أبيض.
ب. قزما أسود.
ج. ثقبا أسود.
د. عملاقا أحمر.
هـ. عملاقا أزرق.

9. الثقب الأسود هو:
أ. أيّ منطقة فراغ في الكون ذات حجم جاذبي ضخم.
ب. منطقة صغيرة ذات كتلة تعادل العديد من المجرّات.
ج. بقايا النّجوم العملاقة المنهارة.
د. يعادل بحجمه الغلاف الفوتوني.

10. يقدر العلماء عمر الكون بـ:
أ. 5000 سنة
ب. بليون سنة
ج. 14 بليون سنة
د. 42 بليون سنة

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة

1 ج، 2 أ، 3 د، 4 ب، 5 ج، 6 ب، 7 ب، 8 أ، 9 ب، 10 ج

اكتشف المزيد

http://imagine.gsfc.nasa.gov/index.html

تخيل القيام بزيارة الكون للبحث في مواضيع تتراوح ما بين السوبرتوفا إلى الثقوب السوداء. استمتع بالشروحات الواضحة، والمؤثرات البصرية الرائعة، ثم اختبر نفسك حول فهمك لهذه الظواهر.

http://www.windows.ucar.edu

يحتوي هذا الموقع الكثير من المعلومات حول النجوم، والمجرات، وجميع الأشياء الفلكية. ستجد في هذا الموقع تاريخ البعثات الفضائية، وتوقعات طقس الفضاء الحالية، وجولات الوسائط المتعددة للنظام الشمس وما بعده.

http://www.smv.org/hastings/student2.htm

صمم تسلسل الدروس هذا خطوة بخطوة ليعرض اساسيات النجوم والمجرات.

http://opposite.stsci.edu

لاحظ أن كتابة اسم موقع الشبكة (oposik) قد كتب بحرف P واحد فقط هذا الموقع هو الصفحة الرئيسة لمعهد علق تيلسكوب الفضاء، حيث يساعد على ربط الجمهور العالم بالاكتشافات المذهلة التي تمت من خلال مثل تيلسكوب هابل لاكتشاف الفضاء. تتبع الرابط للوصول الى معرض الصور، حيث حول الفضاء للصفوف K-12، هو أيضاً تعليم يستحق الوقت الذي تقضيه في تصفحه.

http://wwwatlasofthuniverse.com

قام ريتشارد بول بتطوير ايضاحات الأشكال 27.35 وحتى 27.37 باستخدام الرسوم من على هذا الموقع، وهي الرسوم التي أعدها كجزء من دراسات تفاعلي رائع حول حجم الكون.

الفصل 27 مصادر على الشبكة

دروس تعليمية

- نشوء النجوم
- الثقوب السوداء

أشرطة فيديو

- حياة النجوم

اختبار قصير
بطاقات تعليمية
روابط

بنية الفضاء والزّمن

28

1.28 الانفجار الأعظم

2.28 التّضخّم الكونيّ

3.28 النّسبيّة العامة

4.28 المادة العاتمة

5.28 الطّاقة العاتمة

6.28 مصير الكون

■ لقد بدأنا كتابنا هذا بالفيزياء مركّزين على ميكانيكا عالمنا المادّي اليومي. ثم طبّقنا المفاهيم الفيزيائيّة على العالم الصّغير جدًّا، وهو عالم الذّرّة والجزيئات. وهذه ميادين كيميائية كما تعلم. ومن ثَمَّ طبقنا الفيزياء والكيمياء على كوكب الأرض مع التركيز على اليابسة، والمحيطات، والغلاف الجوّيّ. وبعد الأرض، ناقشنا في فصلين الفلك والمجرات، والنّظام الشّمسيّ، وجيراننا من النّجوم، ومجرة درب التبانة، وجيراننا من المجرات والمجموعة المحلية. وأنهينا الموضوع بمناقشة كيفية امتداد فوق العناقيد من المجرات في هذا الكون الفسيح. لاحظ في الصّورة العليا من هذه الصفحة أنّ كلّ نقطة من الضّوء ليست نجمًا، ولكنها مجرة، مجرة بالكامل! وتبين الصّورة جزءًا صغيرًا واحدًا لكوننا المرئيّ، زاوية صغيرة من الكون كاملا.

والآن، نصل إلى النتائج ونناقش موضوعين واسعين وشيّقين هما: **علم الكونيّات** ***cosmology*** **والنّسبيّة**. فعلم الكونيّات هو دراسة بنية الكون وتطوره ككل. ومن خلال علم الكونيّات سنحاول الإجابة عن بعض الأسئلة مثل: ”كيف بدأ الكون؟“ و”ماذا يمكن أنّ يكون مصيره“.

أما **النّسبيّة** ***Relativity*** التي اقترحت بداية من أينشتاين، فهي دراسة علاقة الفضاء والطّاقة والكتلة معًا. وسنبدأ فصلنا النهائي هذا بالانفجار الأعظم.

1.28 الانفجار الأعظم

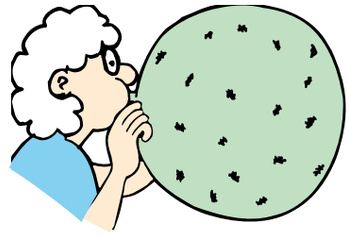
لقد كنا نعتقد، بشكل عام حتى زمن ليس ببعيد، أنّ مجرة درب التبانة تشكّل الكون كلّه. وفي بدايات عام 1920م . اكتشف الفلكي إدوين هابل باستخدام مقراب ذي قدرة عالية بني حديثًا، أنّ سديم المرأة المسلسلة هو في الحقيقة مجرة منفصلة تبعد كثيرًا، وأبعد من النّجوم الخارجية لدرب التبانة. ولقد كان هذا اكتشافًا مهمًّا، ولكن هابل لم يتوقف عند هذا الحدّ. فكما ناقشنا في الفصل السابق، فقد استمر هابل في عمله لتحديد مسافات العديد من المجرات الأخرى وقياسها. وما اكتشفه لاحقًا كان الأكثر دهشة: فالمجرات بكاملها ترتد إلى الوراء، يبتعد بعضها عن بعض. وزد على ذلك أنه كلما كانت المجرة أبعد كانت سرعة تباعدها تبدو بشكل أكبر.

لقد تضمنت مشاهدات هابل أمرين رئيسين: الأول هو أنك لو استطعت إرجاع الشريط السينمائي إلى الخلف، فستجد الزّمن الذي كان فيه الكون جميعه مضغوطًا في نقطة واحدة. وربما، وكما نعلم، لم يكن الكون موجودًا دائمًا. وربما كانت هناك لحظة ولد فيها الكون. وفي نقطة البداية هذه ظهرت المادة كلّها والطّاقة في كوننا. وهذا ما يشار إليه **بالانفجار الأعظم** ***Big Bang***.

أما الأمر الآخر فهو أنّ الكون لا يوجد ضمن منطقة في الفضاء. بل إنّ الفضاء هو الذي يقع في الكون. وأنّ هذا الفضاء يتمدد سريعًا. وهذا وضع خاص لأنك قد تعتقد في البداية أنّ الانفجار الأعظم حدث في فضاء موجود ولانهائي، وأنّ المادة والطّاقة تدفقت نحو الخارج من هذا الانفجار الأعظم لاحتلال هذا الفضاء. فإذا كان هذا هو ما حدث، فإنّ المجرات التي نراقبها اليوم وحركاتها النّسبيّة ستكون مختلفة تمامًا. ولإعادة التأكيد على هذا المفهوم غير الواضح: فعندما نتكلم عن تمدد الكون فإننا نتحدث عن تمدد بنية الفضاء نفسه. ونوضح ذلك بمثال مشابه ومفيد وهو وجود مجموعة من النحل على سطح بالون يتمدد كما يبدو في الشّكل 1.28 . فكلما انتفخ البالون، فإنّ كلّ نحلة ترى كلّ نحلة أخرى تبتعد عنها بعيدًا. وهكذا، فإنّ الانفجار الأعظم لا يحدد فقط بداية الزمن ولكن بداية الفضاء.

ولكن كيف استطاع هابل قياس المسافات إلى مجرات بعيدة جدًّا؟ لقد احتاج هابل إلى مقراب ذي كفاءة عالية، بني حديثًا على جبل ولسون. وقد ساعد هذا المقراب في تمييز النّجوم بشكل منفرد في المجرات المتجاورة (الشّكل 2.28). وعندما درس هابل هذه النّجوم البعيدة، اكتشف أنّ بعضها من نوعيات محددة اسمها *قيفاويات Cepheids* وهذه تغير سطوعها بانتظام خلال دورات في بضعة أيام.

وفي الأيام التي كان فيها هابل، استطاع الفلكيون حساب لمعان نجم قيفاوي من التغيرات الدورية في هذا اللمعان. وهكذا، وبقياس دورات القيفاويات البعيدة، تمكن هابل من قياس لمعانها. استخدم الفلكيون مصطلح *اللمعان luminosity* بمعنى مقدار الطّاقة التي ينشرها النّجم في الثانية. لاحظ أنّ



الشّكل 1.28
شكل تفاعلي. ترى كلّ نحلة على سطح البالون المتمدد كلّ نحلة أخرى تبتعد عنها. لذا، فإنّ كلّ نحلة قد تعتقد أنها في مركز التمدد. إنّ الحالة ليست كذلك!

لمعلوماتك

■ يعرف النّجم الشّماليّ أيضًا بالنّجم القطبي، وهو متغير قيفاوي دورته نحو 4 أيام تقريبًا. إنّ التغير في لمعانه الظّاهريّ ليس مدركًا بالعين المجردة. والحقيقة أنّ النّجم الشّماليّ هو في حركة دورانية حول نجمين رفيقين، أي أنّ النّجم الشّماليّ هو ثلاثة نجوم.
هذه النّجوم الثلاثة قريبة جدًّا بعضها من بعض، ولكنها في الحقيقة بعيدة جدًّا (نحو 430 سنة ضوئية) لرؤيتها بالعين المجردة.

السّطوع الظّاهريّ لنجم لا يعني لمعانه. لماذا؟ لأنّ اللمعان يتناقص مع المسافة. فكلما زاد بعدك عن نجم ساطع فسيبدو لك أكثر خفوتًا. وكالجاذبيّة، فإنّ الضّوء يضعف مع زيادة المسافة وفق قانون مربع معكوس المسافة. فإذا ضاعفت بعدك عن مصدر الضّوء فسترى أنّ شدة هذا الضّوء تصبح $\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \frac{1}{4}$ شدتها في المكان الأول. وهكذا، فإنّ مقارنة سطوع القيفاويات مع لمعانها، وتطبيق هذا على قانون مربع معكوس المسافة، مكّن هابل من حساب المسافة لأيّ مجرة تحتوي على القيفاويات.

الشّكل 2.28

عالم الفلك والكونيّات إدوين هابل (1889- 1953) ، كما يبدو في هذه الصّورة عام 1923 م خلف مقراب 100 بوصة على مرصد جبل ولسون، حيث عمل معظم أيام حياته. في عام 1929م أعلن هابل عن قانون الذي ينصّ على أنه كلما كانت المجرات بعضها أبعد عن بعض كانت حركتها أسرع.

■ **نقطة فحص**

سطوع النّجم أ يساوي أربعة أضعاف سطوع النّجم ب. ومع هذا، فلكلا النّجمين اللمعان نفسها.

1. لماذا يحدث هذا؟
2. لو كان النّجم أ يبعد 100 سنة ضوئية، فكم يكون بُعد النّجم ب؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. يصبح الضّوء أكثر خفوتًا كلما ابتعدنا عن مصدره. لذا، فالنّجم أ يكون أكثر سطوعا لأنه أقرب إلينا.
2. يشير قانون مربع معكوس المسافة إلى أنّ سطوع نجم يتعلق بمعكوس المسافة للنجم مربعة.

$$\text{السّطوع الظّاهريّ} \sim \frac{1^2}{\text{المسافة}}$$

وهكذا، فإنّ للنجم أ سطوعا بقوة 8 مرات من سطوع النجم ب عندما يبعد ب ضعف المسافة:

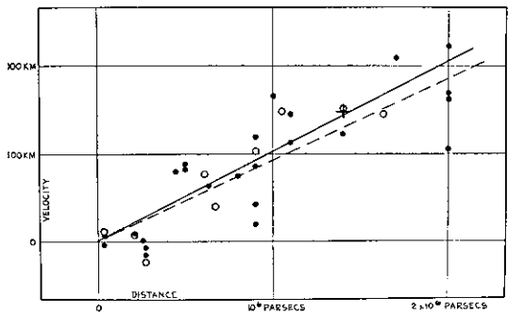
$$\text{السّطوع الظّاهريّ للنجم أ} \sim \frac{1^2}{1} : 1$$

$$\text{السّطوع الظّاهريّ للنجم ب} \sim \frac{1^2}{2} : 0{,}25$$

لاحظ أنّ سطوع 1 يبلغ أربع مرات سطوع 0.25.

ومن هذه القيم، نلاحظ أنّ للنجم أ معامل مسافة يبلغ 1، في حين أنّ للنجم ب معامل مسافة هو 2. إذن، فالنّجم ب يبعد ضعف المسافة التي تعادل 200 سنة ضوئية.

كيف استطاع هابل حساب السّرعة التي تتباعد فيها هذه المجرات المتراجعة (الهاربة)؟ تذكّر أثر دبلر الذي نوقش في الفصل 10. وتذكّر أيضًا أنّ الأمواج الصوتية تتمدد عندما يتراجع مصدر الصوت وتنضغط عندما يدنو مصدر الصوت هذا. كما أنّ الأمواج الضوئيّة تعمل بالكيفية نفسها. فعندما تتراجع المجرة، فإنّ أطوال الأمواج التي تصلنا تتمدد. وهذا يعني أنّ الأمواج الأطول ذات تردد أدنى، مما يعني بالنسبة للأمواج الضوئيّة الانزياح نحو النهاية الحمراء للون الطيف. لقد درس هابل لون الطيف القادم من المجرات البعيدة، وقاس درجة الانزياح نحو الأحمر. فكلما كان الانزياح *نحو الأحمر redshift* أعلى، كانت سرعة تراجع المجرة أعلى أيضًا. لقد كانت إنجازات هابل العظيمة هي جمع معلومات المسافة والانزياح نحو الأحمر للعديد من المجرات ثم مقارنتها معًا على مخطط. وقد أوضح مخططه علاقات واضحة تشير إلى أنّه كلما زاد بعد المجرة، زاد انزياحها نحو الأحمر (الشكل 3.28).



الشّكل 3.28

يبين الرسم البياني الأصلي لهابل زيادة تراجع المجرات مع زيادة السرعة.

تتراجع المجرات ويتباعد بعضها عن بعض بسبب تمدّد الفضاء بينها. وهكذا اتبع الفلكيون تفسيرًا بديلًا لسبب انزياح طيف المجرات نحو الأحمر: فكلما انتقلت الأمواج الضوئيّة في الفضاء المتمدد، فإنّ الأمواج نفسها تتمدّد. وتسمّى هذه الاستطالةُ للأمواج الضوئيّة نتيجة تمدد الفضاء **الانزياحَ الكونيَّ نحو الأحمر cosmological redshift.**

فكلما كانت المجرة أبعد، انتقل ضوؤها مسافة أطول في الفضاء المتمدد. وهكذا يكون الانزياح الكونيّ نحو الأحمر أكبر. ويوضح البند الآتي هذه الفكرة بتشبيهها بشريط مطاطي.

إن الضّوء الصادر عن مجرة بعيدة هو الضّوء نفسه الصادر عن سلك متوهّج، والذي يصدر أطيافًا ذات تردد محدد كما شرحنا في البند 12. 6. يبين تفحص الطيف الكامل لضوء مجرة أنظمة القمم والتي هي مجموع أطياف العناصر المتوهّجة كلّها، والتي هي مبدئيًّا عبارة عن الهيدروجين والهيليوم. فإذا انزاحت هذه القمم نحو الأحمر، فسندرك أنّ المجرة تتراجع بعيدًا عنا. وبمقدار ما يكون هذا التردد منزاحًا يمكن أنّ نعرف سرعة تراجع المجرة.

■ **نقطة فحص**

ارسم ثلاث نقاط على أبعاد متساوية. وافترض أنّ المسافة بين كلّ منها 5 مم. وهكذا، ستكون المسافة بين النقطتين الأولى والثانية 5 مم. في حين ستكون المسافة بين الأولى والثالثة 10 مم. وفي ثانية واحدة مط الشريط المطاطي عشرة أضعاف طوله الأصلي.

1. بين أنّ النقطة الثانية تراجعت عن الأولى بسرعة 45 مم/ ث (علمًا أنّ: السرعة= المسافة/ الزّمن).
2. بين أنّ النقطة الثالثة تراجعت عن الأولى بسرعة 90 مم/ ث.
3. لماذا يبدو تراجع المجرات الأبعد بالنسبة لنا بسرعة أكبر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. كانت المسافة الأصلية 5 مم وأصبحت بالتراجع 50 مم. وهكذا، فالتغير الحاصل في المسافة هو 45 مم في ثانية واحدة. أي أنّ السّرعة هي 45 مم/ ثانية.
2. الاختلاف بين 100 مم و 10 مم هو 90 مم في ثانية واحدة من الزّمن، والتي تعادل 90 مم/ ث، أو ضعف السّرعة البالغة 45 مم/ ث.
3. وعليه، فلأيّ شريط مطاطي يتمدد، سنلاحظ أنّ أيّ نقطة تبعد ضعف المسافة تبدو وكأنها تنتقل بضعف السرعة. وهذا ما يحدث في الكون: فالمجرة التي تبعد ضعف المسافة عنا تبدو كأنها تتحرك بضعف السرعة. ويعزى سبب سرعة التراجع هذا إلى تمدد الفضاء نفسه.

لقد بين هابل أنّ هناك علاقة بسيطة بين بُعْدِ جرم ما عن الأرض وسرعة تراجعه (بسبب تمدد الفضاء). سميت هذه العلاقةُ البسيطة والتي أثبتت بالعديد من الأقيسة في العقود الماضية قانونَ هابل

$$\textit{Hubble's Law:}\quad \upsilon = H \times d$$

حيث v سرعة المجرة، كما استنتجت من الانزياح الكونيّ نحو الأحمر، وH ثابت يعرف بثابت هابل، و d بُعْد المجرة عن الأرض. ويبين لنا هذا القانون، على سبيل المثال، أنه إذا كانت إحدى المجرات تبعد ضعف المسافة التي تبعدها مجرة أخرى فإنّ المجرة البعيدة تتراجع بضعف السّرعة عنا. وزد على ذلك، إذا تحركت مجرة ما وأخذت وضعها الحالي بالنسبة إلينا بسرعة V ، فإنّ الزّمن الذي استغرقته الرحلة يمثل مسافة الانتقال مقسومة على السّرعة

$$t = d/\upsilon$$

وباستخدام قانون هابل لتعويض V :

$$t = d/(H \times d)$$
$$= 1/H$$

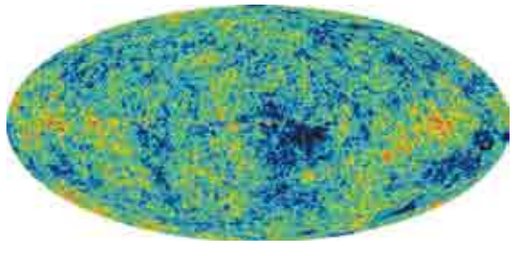
وبإدخال قيمة H في المعادلة نستطيع تقدير زمن التمدد. وبعبارة أخرى، استطعنا تحديد عمر الكون. فبتعويض قيمة H المقبولة حاليًّا نقول إنّ عمر الكون هو 14 بليون سنة تقريبًا. يا إلهي!

الشّكل 4.28
آرنو بنزياس وروبرت ولسون يقفان أمام مستقبل الأمواج الميكروووية الذي استخدماه لاكتشاف ما بعد توهّج الانفجار الأعظم.

الخلفية الإشعاعية الكونيّة (Cosmic Background Radiation)

بالإضافة إلى التمدد الكونيّ، هناك دليل آخر يعزز نظرية الانفجار الكونيّ: إنه *الخلفية الإشعاعية الكونيّة*. ففي عام 1964 م، استخدم العالمان آرنو بنزياس وروبرت ويلسون اللذان كانا يعملان في مختبرات بيل في نيوجيرسي جهاز استقبال راديوي مبسط لمسح الإشارات الراديوية السّماويّة (الشكل 4.28). فبغض النظر عن الاتجاه الذي وجه إليه اللاقط، إلا أنهما التقطا أمواجًا ميكروووية بأطوال 7.35 سم قادمة في اتجاه الأرض. واعتبرت هذه الأمواج ألغازًا بالنسبة إلى بنزياس وولسون. فمن دون مصادر إشعاعية محددة، من أين يمكن أنّ تأتي هذه الأمواج الميكروووية؟ ولماذا؟

ذكّر أنّ أيّ جسم فوق الصفر المطلق يصدر طاقة على شكل إشعاعات كهرومغناطيسية. وأنّ تردد هذه الإشعاعات يتناسب مع الحرارة المطلقة للجسم المشع. وفي الوقت نفسه الذي كان فيه بنزياس وولسون يعملان، كان نظيران لهما يعملان في بريستون، حيث بينا أنه لو بدأ الكون الانفجار المبدئي كما وصف بالانفجار الأعظم، فإنه لا يزال يتبرد حتى الآن.
ليس هذا فحسب، بل أوضحا أنّ حرارة الكون المبكرة تبردت لتصل إلى متوسط الحرارة الحالية 2.73 كلفن. ويتوقع من كون بهذه الحرارة أنّ يصدر أمواجًا ميكروووية من الترددات المرصودة فقط من قبل بنزياس وولسون. وهكذا، فإنّ تدفق الإشعاعات الموجية الميكروووية التي حيرت بنزياس وولسون وجد أنها تصدر بالتبريد نفسه.تعرف إشعاعات الأمواج الميكروووية الضعيفة الآن بالخلفية الإشعاعية الكونيّة (*CBR*). وتعدّ دليلًا قويًّا على الانفجار الأعظم (الشّكل5.28).



الشّكل 5.28
أخذت خريطة السماء كلها للخلفية الإشعاعية للكونيّة من ساتل Wilkinson Microwave An-isotropic Probe (WMAP) وهي تكشف عن معدل درجة حرارة بنحو 2.73 كلفن في كلّ مكان. إنّ درجة الحرارة هذه هي للبقايا التي بردت إثر الانفجار الأعظم. يبين اللون اختلافات طفيفة في درجة الحرارة من مرتبة ±0.0001 كلفن.

أن يعطي التلفزيون المزود بهوائي (ليس متصلًا بكيبل أو ساتل) عند ضبطه على قناة ليس لها محطة محلية شاشةً لها مظهر الثلج الثابت، قد يكون من المفيد معرفة أنّ نحو 1% من هذا المظهر الثلجي مصدره فوتونات من الخلفية الإشعاعية الكونيّة.

هيليوم الانفجار الأعظم

كلما تمدد الكون برد. وتخبرنا الخلفية الإشعاعية للأمواج الميكروووية على أنها بردت إلى ما معدله 2.73 كلفن. واستنادًا إلى ذلك، قدّر العلماء أنّ درجة كلفن بعد بضع ثوان من الانفجار الأعظم كانت أعلى من 100 بليون درجة مطلقة. وفي هذه الدرجة العالية جدًّا، فإنّ البروتونات تتحول إلى نيوترونات والنيوترونات إلى بروتونات، وأنّ معدّل هذا التّحوّل متساو. وهذا يعني أنّ نسبة البروتونات إلى النيوترونات في ذاك الوقت المبكر جدًّا من نشأة الكون هي 1: 1.

وفي الدقائق الثلاث اللاحقة، انخفضت درجة الحرارة إلى أقلّ من 100 بليون درجة كلفن وهذا مناسب لتكوّن البروتونات*. وهكذا، زادت البروتونات على النيوترونات سريعًا. وحال وصول النسبة بين البروتونات إلى النيوترونات 7: 1، فإنّ الكون كان قد برد إلى درجة كافية لحدوث الاندماج النووي. ونقول برد بما فيه الكفاية لأنّ الكون كان ما يزال حارًّا. ولكن ليس كما كان من قبل. وعند هذه النقطة، فإنّ البروتونات والنيوترونات تكون قد بدأت الاندماج وإعطاء نوى (مكونة من بروتون الديتيريوم ونيوترون). وبعدها اندمجت نوى الديتيريوم لإعطاء الهيليوم. ثم استمرت العملية هكذا حتى أصبح متناثرًا وغير كثيف (وهذا يفسر ندرة وجود نظير الديتيريوم في الوقت الحاضر). وباستمرار التبريد، لم يكن بالإمكان استمرار الاندماج النووي لتحويل الهيليوم إلى عناصر أثقل كالكربون. وفي الوقت الذي انتهت فيه الدّقائق الثلاث وهي فترة تكوين الهيليوم يكون الكون قد احتوى على 75% من الهيدروجين و 25% من الهيليوم. وهذا ما نراه في الكون في الوقت الحاضر. وفي الحقيقة، فإنّ مجرة درب التبانة تضم نحو 28% من الهيليوم. وهذه الزيادة البالغة 3% من الهيليوم هي نتيجة الاندماج النووي في النّجوم. ولم يكتشف حتى الآن أيّ مجرة تحوي أقلّ من 25% من الهيليوم كما يتنبأ الانفجار الأعظم تمامًا الديتيريوم.

* إنّ كتلة النيوترونات أكبر من كتلة البروتونات. وعليه، فإنّ تحويل البروتون إلى نيوترون يتطلب قدرًا من الطّاقة المدخلة وفقًا للعلاقة $E=mc^2$. وعندما تكون الحرارة أقلّ من 100 بليون كلفن، تكون الطّاقة غير كافية لإتمام عملية التّحوّل هذه. أمّا تحول النيوترونات إلى بروتونات فإنه يحرر طاقة، ولهذا، واستنادًا إلى القانون الثاني من الثيرموديناميك، فإنّ هذا التّحوّل هو المفضل في درجات الحرارة الأدنى.

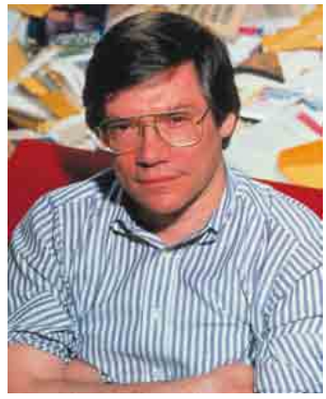
أين حدث الانفجار الأعظم بالتحديد؟ هل كان ذلك في نقطة بعيدة جدًّا عن الموقع الذي كنا فيه قبل رحلتنا الطويلة؟ الجواب الصاعق لا! بل إنّ كلّ نقطة في الكون كانت موجودة في الانفجار الأعظم. ولكنها جميعًا أصبحت متباعدة عن بعضها. ولذلك، إذا أردت أن تشير إلى مكان الانفجار الأعظم فما عليك إلا أنّ تشير بإصبعك إلى رأس منخارك أو أيّ مكان آخر تريد، ولن تخطئ أبدًا.

وفرة الهيدروجين والهيليوم (The Abundance of Hydrogen and Helium)

إنّ الانفجار الأعظم يجيب على سرّ كونيّ آخر لعنصر الهيليوم. فقد بينت الأقيسة أنّ المادة في الكون مكونة من هيدروجين بنسبة 75% وهيليوم بنسبة 25%. (تعدّ العناصر الثقيلة كالموجودة على الأرض مكوّنًا صغيرًا بالنسبة إلى المادة الموجودة في الكون كلّها). فالهيدروجين هو أبسط هذه العناصر كلها، ويتكون من نواة فيها بروتون واحد. ومن المنطق أو الصواب إذن، أنّ يكون الهيدروجين العنصر الأولي الأصلي. أمّا الهيليوم فهو أكثر تعقيدًا، ويحتوي في نواته على بروتونين ونيوترونين. ونحن نعلم أنّ الهيليوم ينتج عن اندماج الهيدروجين في النّجوم. ولكن عدد النّجوم ليس كافيًا لإنتاج كلّ ما نرى من هيليوم، فإنتاجها لا يزيد على 10% مما نراه من هيليوم. إذن، فمعظم الهيليوم في الكون لا بد وأنّ يكون قد أنتج في مكان آخر. وكما وصفنا في صندوق هيليوم الانفجار الأعظم، فإنّ نموذج هذا الانفجار يتنبأ أنّ الكون المبكر لا بدّ وأنّ يكون مناسبًا لتكوين الهيليوم، ولكن ليس لتكوين العناصر الأخرى. ولقد بينت التحاليل التفصيلية الأخرى أنّ كمية الهيليوم التي تكونت مباشرة بعد الانفجار الأعظم لا بدّ وأنّ تكون هي الكمية التي نراها في وقتنا الحاضر.

وباختصار، هناك ثلاثة أدلة رئيسة تدعم بقوة فرضية الانفجار الأعظم. أول هذه الأدلة هو التمدد الحالي للفضاء، والذي يجعل المجرات يتباعد بعضها عن بعض. والدليل الثاني هو اكتشاف الخلفية الإشعاعية الكونيّة التي تمثل ما بعد توهّج الانفجار الأعظم. أما الدّليل الثالث فهو قابلية الانفجار الأعظم على تفسير نسب العناصر. وبوجود هذه الأدلة وما شابهها، أصبحت فرضية الانفجار الأعظم مقبولة بشكل واسع في المجتمع العلمي كأفضل فرضية قابلة للتطبيق لنشأة كوننا هذا.

2.28 التّضخّم الكونيّ

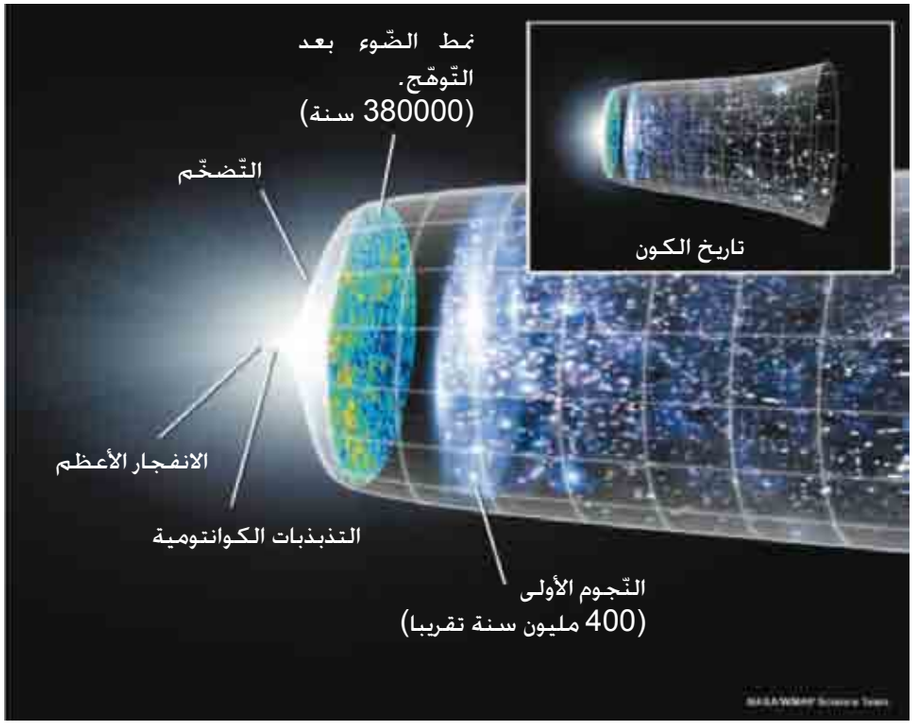


الشّكل 6.28
نظرًا لمساعيهما في تطوير نظرية التّضخّم الكونيّ، فإنّ ألان غوث (يسار) وأندري لندي (يمين) تشاركا عام 2004م في الحصول على جائزة الكون القيمة لمؤسسة بيتر جروبر.

النّظرية فكرة شاملة يمكن استخدامها في تفسير مدى واسع من الظواهر. ووفق ما ناقشناه في التمهيد لهذا الكتاب، فالنظريات ليست نقوشًا على الصخر. ولكنها تمرّ بمراحل من التنقية والتكرير. وتصبح النّظرية أقوى بعد كلّ مرحلة من مراحل التكرير هذه. ففي بواكير عقد الثّمانينيّات من القرن الماضي، اكتسبت نظرية الانفجار الأعظم هذا النوع من التكرير من تبصّر الفيزيائيين ألان غوث وأندري لندي (الشّكل 6.28). لقد تنبأت نظرية الانفجار الأعظم بأنّ الجسيمات المعروفة *بأحادية الأقطاب المغناطيسية* magnetic monopoles يجب أنّ تكون غزيرة في كوننا الحالي، ولكنها لم تكتشف رغم المحاولات العديدة لاكتشافها. ولقد حقق غوث من أنّ أحادية الأقطاب هذه ستكون نادرة إلى حدّ بعيد لأنّ الكون تمدد تمددًا هائلًا بعد لحظة من الانفجار الأعظم. (الأقطاب الأحادية خففت إلى درجة ما وراء قابليتنا لاكتشافها). إنّ الانفجار المفاجئ هذا سيكون قد بدأ بعد 10^{-38} من الثانية من بدء الانفجار الأعظم وانتهى بعد 10^{-36} من الثانية. وفي هذا الزّمن الأقصر من الخيال، فإنّ الكون انتفخ بمقدار 10^{30}. إنّ لحظة التمدد الدراماتيكية هذه تعرف **بتضخم الكون** ***cosmic inflation*** . وسريعًا بعد أنّ تعرف غوث على أهمية هذا التّضخّم لأول مرة، تبعه لندي بالمزيد من التّصفية والتنقية المهمة للنظرية. وبمزيد من البهجة والسرور لغوث ولندي وآخرين، فإنّ فكرة التّضخّم الكونيّ حلت العديد من الأسرار التي كانت مزعجة في نظرية الانفجار الأعظم.

ويطرح هنا سؤال بارز هو: لماذا تكون الخلفية الإشعاعية الكونيّة منتظمة إلى هذا الحدّ في درجة حرارتها؟ فحتى تتساوى درجة الحرارة في منطقتين، فلا بد أنّ تكونا متصلتين معًا. فكأس من الماء السّاخن مع كأس أخرى من الماء البارد مثلًا لا يعطيان كأسًا من الماء الفاتر ما لم يخلط الكأسان معًا. وعلى النقيض من ذلك، فإنّ التمدد الثابت للفضاء بعد الانفجار الأعظم الذي كوّن مناطق مختلفة ومتباعدة بعضها عن بعض، أدى إلى أن تكون هذه المناطق غير قادرة على خلط طاقتها الحراريّة للمناطق المختلفة وحتى بعد العمر الطويل للكون. وهكذا، فإننا نتوقع أنّ تبقى حرارة بعض المناطق العالية جدًّا، في حين تكون منخفضة جدًّا في مناطق أخرى. وبناء على تضخم الكون، فإنّ درجة الحرارة المنتظمة كانت موجودة في لحظات ما قبل التّضخّم الكونيّ. وفي حينها، كانت أجزاء الكون كلها مرتبطة معًا، وبما أنها كانت متقاربة جدًّا، فإنها كانت قابلة للخلط لتعطي حرارة متجانسة. وهكذا، فإنّ الانفجار الأعظم لم يتفجر مباشرة. بل ترابط بقوة، ثم تمدد ببطء بقدر ما يستطيع حتى قبل لحظة الانفجار كالفقاعة، ومن ثَمَّ هدأ بعد ذلك مباشرة. ولكن ليس قبل تحقيق التّضخّم المثير للفضاء.

وكما يستدل من الخلفية الإشعاعية للكون، فإنّ توزيع المادة أو الطّاقة في الكون المتمدد كان منتظمًا رغم وجود بعض التذبذبات الصغيرة. وبناء على التّضخّم الكونيّ، فإنّ سبب هذه التذبذبات يعود إلى عالم ميكانيكا الكوانتوم الذي يشير إلى أنّ بعض الصفات الفيزيائيّة كالموقع والعزم تصبح غير محددة المعالم على المقياس المتناهي في الصّغر؛ كحجم الدقائق تحت الذّرّة. وفي الحقيقة، فإنّ الكون قبل التّضخّم كان متناهي الصّغر في نقطة حتى أنها في أحد الأوضاع أصغر من حجم الجسيمات تحت الذرية. واعتمادًا على أنّ قوانين ميكانيكية الكوانتوم الحالية تنطبق على وقت الانفجار الأعظم، فإنّ الكوانتوم غير محدّد المعالم يصبح من معالم ميلاد الكون (الشّكل 7.28). ومع التّضخّم، فقد ضخمت اختلافات كوانتمية صغيرة جدًّا في الموقع والعزم. ولم يكن توزيع المادة والطّاقة في حقب ما بعد التّضخّم منتظمًا تمامًا. ولكن شاب النتيجة بعض التكتل. ولقد أكدت قوى الجاذبيّة لاحقًا أنّ هذه التكتلات كانت بذورا



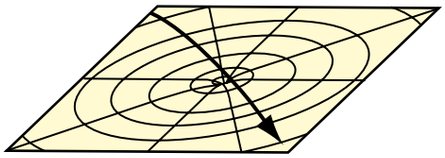
الشّكل 7.28
تمثّل هذه الصّورة من ناسا التاريخ المبكر للكون بدءا من الانفجار الأعظم. ولقد ضخمت التذبذبات الكوانتمية بالانفجار المفاجئ في الحجم في فترة تعرف بالتّضخّم. وبعد نحو 380000 سنة، استقرت الدقائق بطريقة أصبح فيها الكون شفافًا. ومنذ تلك اللحظة أصبحنا نرى الخلفية الإشعاعية للكون بعد التوهّج. ولم تتشكّل النّجوم الأولى إلا بعد نحو 400 مليون سنة.

للتكتلات اللاحقة، والتي أدّت في نهاية الأمر إلى ظهور المجرات وما فوق العناقيد المجرية. وعليه، فعندما ننظر إلى توزيع المجرات وفوق العناقيد المجرية في الكون حاليًّا، فإننا ننظر إلى ميكانيكية عالم الكوانتوم مضخمة إلى المقياس الكونيّ. ومن ثَمَّ، فإنّ التّضخّم الكونيّ يفسر كيف أنتجت هذه التذبذبات البنية الكونيّة التي نراها في مقاربنا الآن، وليس فقط انتظام المادة والطّاقة في الكون. (انظر الشّكل 37.27 من الفصل السابق).

أما النجاح الثالث للتّضخّم الكونيّ فهو التّعامل مع الشّكل الحقيقي للكون. فوفق نظرية أينشتاين النّسبيّة العامة التي سنناقشها لاحقًا، فنحن نعيش في فراغ ثلاثي الأبعاد، بالإضافة إلى بعد رابع هو الزمن. تضاف جميعها إلى **الكون الزمكاني *spacetime*** الرباعي الأبعاد. وللكتلة أثر في انحناء الزمكان. فبسبب هذا الانحناء، فإنّ الخطوة المتوازية قد تتلاقى أو تتباعد. وللتشبيه، يمكن اعتبار سطح كوكب الأرض كما يلي: ارسم خطين متوازيين من خطة الاستواء يتجهان تمامًا شمال- جنوب. بسبب انحناء الأرض، فإنّ هذين الخطين المتوازيين سيلتقيان في القطبين. وأنت ترى وتعرف أنّ هذا ما يحدث لخطوط الطول في أيّ كرة. وهذا يشبه ما تقوم به الكتلة في الزّمن الفضائي حيث تحنيه بالطريقة نفسها التي تلتقي فيها الخطوط المتوازية في النهاية. لقد بيّنت حسابات كتلة الكون كله أنّ الكون نفسه يجب أنّ يكون قد انحنى بطريقة قابلة للاكتشاف بسهولة. ولكن ليس هذا ما يشاهده الفلكيون؛ فبدلًا من ذلك، فإنّ الضّوء يسير في خطوط مستقيمة (ما لم يمر الضّوء في حقل جاذبي شديد يحيط بنجم أو ثقب أسود). ولقد وجدنا أنّ الكون مستوٍ، وأنّ الخطوط المتوازية تبقى متوازية.

وفيما يلي تفسير تمثيليّ للتّضخّم: انظر وتابع تحرك نحلة على بالون. ستجد أنها إذا سارت في خط مستقيم فهي تسير أيضًا في دوائر؛ أي أنّها تعود من حيث بدأت إلى نقطة البدء. فإذا نظرت إلى الأعلى، فإنّ نحلة شديدة الذكاء قد ترى الأفق المنحني، وتستنتج أنّ بيئتها منحنية كثيرًا. وإذا افترضنا أنّنا نفخنا البالون ليصل إلى حجم الشّمس، فإنّ النحلة ستتابع مسيرها إلى مناطق جديدة تراها كمستوى منبسط لا نهائي. ستبدو الخطوط المتوازية أنها تبقى متوازية. وبالطريقة نفسها، فإننا كبشر على سطح الأرض نقود سياراتنا وكأنّ العالم مستو. ولكن، وعن بعد، نعلم أنّ سطح الأرض ليس مستويًا بل منحنٍ. وهكذا بالنسبة إلى الكون: فما نشاهده في موقعنا من الكون يبدو أنه مستوٍ في أبعاد رباعية نوعا ما.

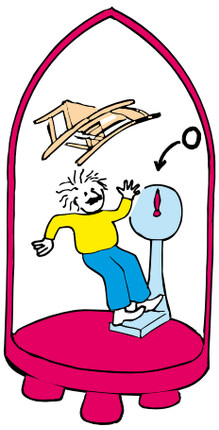
وهكذا، فهل الكون كلّه منحنٍ؟ الحقيقة أننا لا نملك إجابة عن هذا السؤال. ولكن من المفيد معرفة أنّ معظم المعطيات الفلكية الفيزيائيّة في هذه الأيام ثابتة على أنّ الكون مستو. ولهذه مضامين كبيرة فيما يتعلق بالنهاية المحتومة للكون. ولكن، وقبل الخوض في هذه المضامين، نحتاج إلى استكشاف مفهوم الزمكان، بالإضافة إلى الفكرة الثابتة الآن، وهي أنّ الجاذبيّة ليست قوة بل انحناء للزمكان.



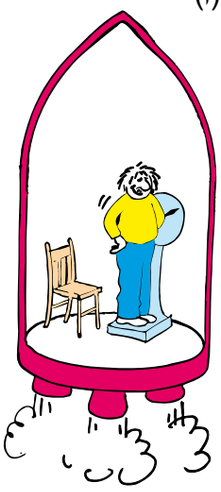
الشّكل 8.28
محاكاة ثنائية الأبعاد لزمكان رباعي الأبعاد مطوي. ينحني الزمكان بجانب النّجم بطريقة تشبه سطح لوح مطاطي عند وضع كرة ثقيلة عليه

3.28 النّسبيّة العامة

نشر أينشتاين عام 1915م ما يُعرف الآن **بالنّظرية النّسبيّة العامة**، والتي كانت تنقيحًا وتجديدًا واسعًا لقوانين نيوتن في الجاذبيّة التي اختبرت بشكل جيد. وكما رأى أينشتاين، فإنّ الجاذبيّة ليست قوة تؤثر من جسم في آخر تفصلهما مسافة ما، بل هي الأثر الذي يُشاهد عندما تسبّب كتلة كبيرة ككوكب أو نجم أو مجرة انحناء شكل "الفضاء والزمن" الزمكان التي هي فيه. إنّ انحناء الزمكان رباعي الأبعاد (ثلاثة أبعاد للمسافة والبعد الرابع للزمن) يمكن أنّ يعبر عنه رياضيًّا، ولكن من المستحيل تصوره. ويمكن لنا إلقاء نظرة خاطفة لهذا الانحناء بمحاكاة بسيطة في ثنائي الأبعاد كالآتي: لنتصور كرة ثقيلة تستقر منتصف لوح مطاطي ضخم. فكلما كانت كتلة الكرة أكبر، كان تشوه اللوح المطاطي ثنائي الأبعاد أكبر أيضًا. وإذا ما مرّرت مدحلة من الرّخام فوق هذا السّطح المشوه فإنها ستترك أثرًا منحنيًا لمرها، كما يبدو في الشّكل 8.28. وإذا مرّرت هذه المدحلة قريبًا من الكرة فإنها، حتمًا، ستترك أثرًا منحنيًا إهليلجيًّا حول الكرة. ولكن إذا مررت المدحلة بزاوية وسرعة مناسبة (على افتراض عدم وجود احتكاك يبطئ من حركتها)، فقد تدخل هذه المدحلة مدارًا دائمًا أبديًّا حول الكرة. وفي هذه المحاكاة، نرى أنه لا توجد قوة تربط المدحلة بالكرة. بل إنها وببساطة تتبع الانحناء الطبيعي للّوح المطاطي.



(أ)



(ب)

الشّكل 9.28
(أ) كلّ شيء دون وزن داخل المركبة الفضائية التي بلا تسارع بعيدًا عن التأثيرات الجاذبيّة.
(ب) شعور الركاب داخل المركبة بالجاذبيّة عندما تتسارع.

وبطريقة مشابهة، فإنّ كتلة الشّمس تحني الزمكان حولها. إنّ كوكبنا يتحرك جانبيًّا على طول ممر يتبع هذا الانحناء. ونحن نتحرك بالسّرعة المناسبة وبالضبط بحيث استدام هذا المدار. ولو كنا نتباطأ، فإنّ شدة الانحناء ستؤدي بنا إلى السّقوط في الشّمس. ولو أسرعنا بما فيه الكفاية، فسنفلت من هذا الانحناء ونغادر الشّمس إلى المجهول.

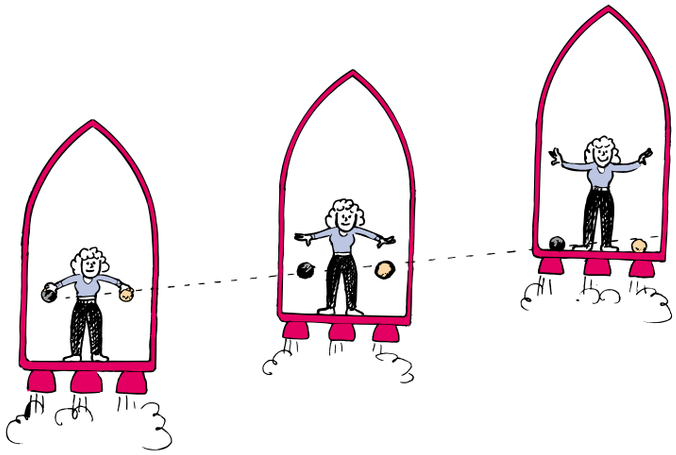
■ **نقطة فحص**

لو قلّت كتلة الشّمس فجأة، فماذا يحدث لمدارنا؟

هل كانت هذه إجابتك؟

عندما تقلّ كتلة الشّمس يصبح أثر انحنائها في الزمكان أقلّ. ولو حافظت الأرض على سرعتها فإنها ستجبر على الانفصال عن الشّمس. ووفقًا لقوانين نيوتن يمكن القول إننا فلتنا من شدّ الجاذبيّة الضعيفة للشمس. ولكن وفقًا لأينشتاين يمكن القول إنّ الزمكان أصبح أكثر استواءً، وهذا ما سمح لنا بالتحرك على طول طريق مريحة.

لقد قاد أينشتاين إلى هذه النظرة الجديدة للجاذبية تفكيره عن راصدين في حركة تسارعية. لقد تخيل نفسه في مركبة فضائية بعيدا جدًّا عن تأثير الجاذبيّة (الشّكل 9.28). ففي مركبة كهذه، وفي حالة استراحة، أو حركة منتظمة، وببعد نسبيّ عن النّجوم، فإن كلّ شيء في هذه المركبة سيطفو وبحرية، فلا "أعلى" هناك ولا "أسفل". ولكن لو نشطت الدّفعات الصّاروخيّة لتسارع المركبة، فإنّ الأمور ستختلف؛ وسنرى ظاهرة شبيهة بالجاذبيّة. فالحائط الملاصق للدّفع الصّاروخيّ سيدفع نحو الأعلى بعكس أيّ ساكن ليصبح الأرضيةَ، في حين يصبح الحائطُ المقابلُ السّقفَ. وسيكون بإمكان الراكب في المركبة



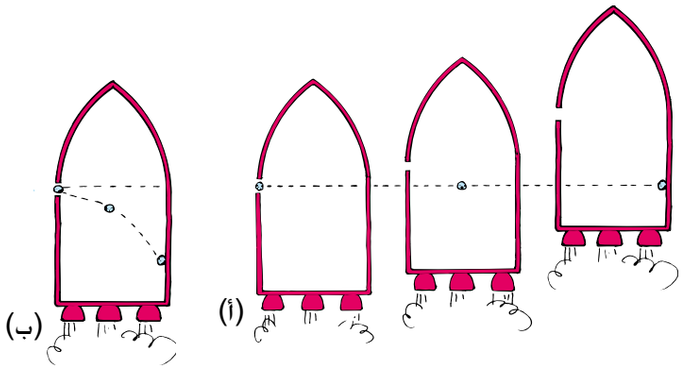
الشّكل 10.28
يرى المشاهد داخل المركبة المتسارعة أنّ كرتي الرصاص والخشب تسقطان معًا عند تركهما.

الوقوف على الأرض والوثب إلى الأعلى والأسفل. وإذا ما كان التسارع للمركبة يعادل التسارع الأرضي g، فسيقتنع الركاب جيدًّا أنّ المركبة لم تكن تتسارع وإنما كانت في استراحة على سطح الأرض.

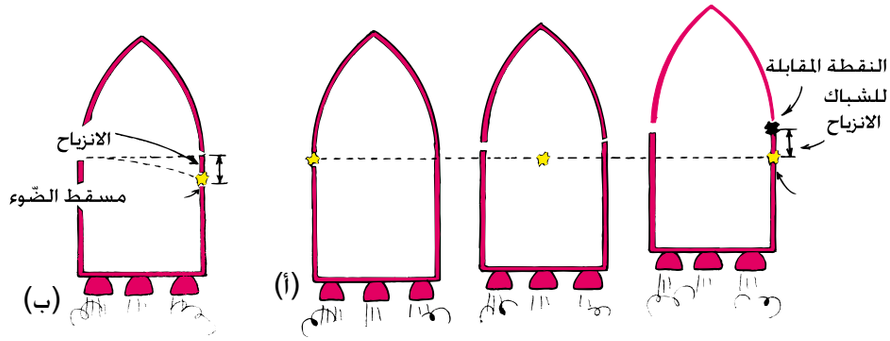
ولقد استنتج أينشتاين أنّ هناك علاقة بين الجاذبيّة والحركة في الزمكان. وتعرف هذه العلاقة الآن **بمبدأ التكافؤ *principle of equivalence***، التي تشير إلى أنّه لا يمكن تمييز المشاهدات المحلية التي تحدث في إطار مرجعي متسارع من المشاهدات التي تحدث في الحقل الجاذبي.

ولاختبار هذا المفهوم الجديد للجاذبية بسبب التسارع (كمقابل للتسارع بسبب الجاذبيّة وفق ما ورد في الفصل 4). فكر أينشتاين في نتيجة تحرير كرتين: إحداهما من الخشب والأخرى من الرّصاص. فعند تحريرهما في مركبة فضائية تتحرك بانتظام، فإنّ الكرتين ستستمران في الحركة في المركبة من لحظة التحرير. وإذا ما كانت المركبة تتحرك بسرعة ثابتة (التسارع صفر)، فستبقى الكرتان معلقتين في المكان نفسه؛ لأنّ المركبة والكرتين ستتحركان بالمقدار نفسه. ولكن إذا تسارعت المركبة فإنّ أرضية المركبة ستتحرك إلى الأعلى أسرع من الكرتين، مما يؤدي إلى اعتراض الأرضية سريعًا لهاتين الكرتين (الشّكل 10.28). هاتان الكرتان، وبغض النظر عن كتلتيهما ستلاقيان الأرضية في الوقت نفسه. ولنتذكر دليل عرض جاليليو في البرج التعليمي في بيزا.

إنّ تفسيري سقوط الكرتين مقبولان بشكل متساوٍ. ولقد ضمّن أينشتاين هذا التكافؤ أو استحالة التمييز بين الجاذبيّة والتسارع إلى قاعدة نظريته النّسبيّة العامة. إنّ مبدأ حالة التكافؤ التي تعملها في تسارع هيكل المرجعية لا يختلف عن مشاهدات حقل نيوتن الجاذبي. ويعدّ هذا التكافؤ مهمًّا، ولكنه ليس ثورة إن طبق على الظواهر الميكانيكة فقط. ولكن أينشتاين ذهب إلى أبعد من ذلك.



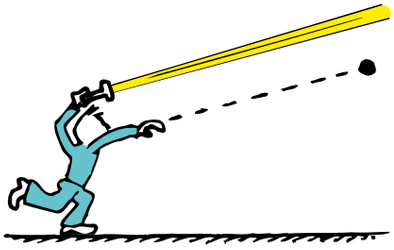
الشّكل 11.28
(أ) يرى المشاهد الخارجي الكرة الملقاة أفقيًّا وكأنها تتحرك بخط مستقيم، وبما أنّ المركبة تتحرك نحو الأعلى، في حين تتحرك الكرة أفقيًّا فإنّ الكرة ستضرب الحائط المقابل في نقطة تحت مستوى الشباك.
(ب) أما للمشاهد من الداخل، فإنّ الكرة ستنحني كما لو كانت في حقل جاذبي.



الشّكل 12.28
(أ) يرى المشاهد الخارجي الضّوء ينتقل أفقيًّا في خط مستقيم، ولكنه كالكرة في الشّكل 28. 11 يسقط على الحائط المقابل في نقطة تحت مستوى الشباك قليلًا. (ب) وللمشاهد الداخلي، ينحنى الضّوء كما لو أنه استجاب للحقل الجاذبيّ.

وقال إنّ المبدأ يصلح للظواهر الطبيعية *جميعها*؛ فهو صالح للبصريات. وللظواهر الكهرومغناطيسية.

افترض أنّ كرة ألقيت من جانب محطة مركبة فضائية في حالة انعدام الجاذبيّة. سوف تسير الكرة بخط مستقيم بالنسبة إلى المشاهد في داخل المركبة ومشاهد المحطة من خارج المركبة. ولكن في حال تسارع المركبة، فإنّ الأرضية ستتجاوز الكرة وستضرب الحائط المقابل في نقطة أسفل مستوى الشباك (الشّكل 11.28). إنّ المشاهد من خارج المركبة لا يزال يرى أنّ مسار الكرة مستقيم. ولكن المشاهد الواقع في تسارع المركبة فسيرى أنّ المسار منحنٍ: إنه قطع مكافئ. وتنطبق هذه النتيجة تمامًا على حزمة من الأشعة الضوئيّة (الشّكل 12.28). والاختلاف الوحيد بينهما هو مقدار الانحناء. فلو ألقيت الكرة بسرعة الضّوء لكانت النتيجة واحدة.



الشّكل 13.28
القذيفة المنحنية لوميض حزمه ضوئيّة تشبه تمامًا قذيفة كرة منحنية ألقيت بسرعة الضّوء. وكلا المرين منحنيان بالتساوي في حقل جاذبي منتظم.

ووفقًا لنيوتن، فإنّ الكرات المقذوفة تنحني بفعل قوة الجاذبيّة. أمّا وفقًا لأينشتاين فإنّ كلًّا من الكرات المقذوفة والضّوء ينحنيان عندما يقتربان من كوكب أو نجم. ليس بفعل أيّ قوى. وإنما بسبب انحناء الزمكان الذي يسيران فيه (الشكل 13.28).

■ **نقطة فحص**

لقد تعلمنا سابقًا أنّ سحب الجاذبيّة هو نتيجة التفاعل بين كتل. كما تعلمنا أنّ الضوء لا كتلة له. والآن نقول إنّ الضّوء قد ينحني بفعل الجاذبيّة. فهل هناك تناقض؟

هل كانت هذه إجابتك؟

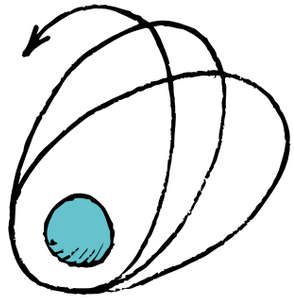
ليس هنالك تناقض عندما يفهم تكافؤ الكتلة والطّاقة (الفصل 13)؛ فعدم وجود كتلة للضوء يعدّ حقيقة. ولكنه ليس دون طاقة. فالحقيقة القائلة إنّ الجاذبيّة تسحب الضّوء نحو الأسفل تعطينا دليلًا على أنّ الجاذبيّة تسحب طاقة الضّوء. فالطّاقة حقيقة تكافئ الكتلة!

ومن ثم، تدعو النّسبيّة العامة إلى هندسة جديدة: هندسة ليست فقط لانحناء الفضاء، ولكن لانحناء الزّمن أيضًا؛ إنها هندسة انحناء الزمكان الرباعي الأبعاد* . تعدّ رياضيات هذه الهندسة صعبة جدًّا لإعطائها هنا. ولكن الفكرة الجوهرية أنّ وجود الكتلة يعطي الانحناء والطّيّ للزمكان. وبدلا من تصور قوة الجاذبيّة بين كتلتين، سنترك فكرة القوة. وبدلًا منها سنفكر في استجابة الكتلة عند حركتها للانحناء أو الطّيّ في الزمكان الذي تستوطنه. إنه الارتطام والطّيّ لهندسة الزمكان الذي يمثّل ظاهر الجاذبيّة.

* لا تحبط إنْ لم تستطع تصور الزمكان الرباعي الأبعاد، دع انحناء الزمكان وحده. فكما قال أينشتاين لأصدقائه: (لا تحاولوا. لا أستطيع أنا أيضًا أنْ أتخيله). ربما لا نختلف كثيرًا عن المفكرين حول جاليليو الذين لم يستطيعوا التفكير في حركة الأرض!

اختبارات النّسبيّة العامة

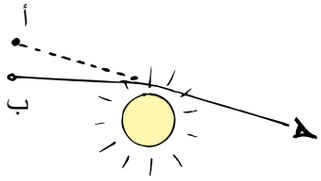
أعاد أينشتاين استنتاج مدارات الكواكب حول الشّمس باستخدام معادلات المكان الرباعيّ الأبعاد. فما وراء الكوكب، يكون الكون مستويًا تقريبًا، وتتحرك الأجسام على طوله بخطوط مستقيمة تقريبًا أيضًا. فبجانب الشّمس، تتحرك الكواكب والمذنبات على طول مسارات منحنية؛ لأنّ الفضاء منحن، ما عدا حالة صغيرة واحدة، حيث أعطت نظريته النتائج نفسها بالضبط، كما أعطاها قانون نيوتن في الجاذبيّة. إنّ هذا الاستثناء هو أنّ نظرية أينشتاين توقعت أنّ المدارات الإهليلجية للكواكب ستنزلق نحو الأمام مع كلّ دورة بعملية تعرف *بالتقدم أو المبادرة precession* (الشّكل 28. 14). إنّ هذا التقدم صغير جدًّا للكواكب البعيدة، ولكنه أكبر بشكل واضح في الكواكب القريبة من الشّمس. فعطارد هو الكوكب القريب بما فيه الكفاية من الشمس ليعطي انحناء الفضاء أثرًا فيه والذي لم يتنبأ به قانون نيوتن.



الشّكل 14.28
يُرى تقدم المدار الإهليلجي إلى الأمام عندما يشاهد مباشرة.

إنّ السبب في تقدم مدارات الكواكب يعزى إلى جاذبية الكواكب الأخرى، وهذا أمر معروف جيدًّا. ففي بدايات القرن التاسع عشر، قاس الفلكيون التقدم في مدار عطارد فوجدوه 574 ثانية قوسية في القرن الواحد. أما الجاذبيّة التي تقوم بها الكواكب الأخرى فقد وجد أنها تحسب في التقدم، عدا 43 ثانية قوسية لكلّ قرن أكثر من القيمة المحسوبة. وحتى بعد التصحيحات المعروفة كلّها بسبب الآثار المحتملة للكواكب الأخرى التي جرى تطبيقها، إلا أنّ حسابات الفيزيائيين والفلكيين فشلت في أخذ الثلاث والأربعين ثانية في حساب القوس. فإما أنّ تكون الزهرة لها كتلة زائدة، أو أنّ بعض الكواكب التي لم تكتشف بعد تسحب عطارد في اتجاهها. ثم جاء بعد ذلك تفسير أينشتاين بمعادلاته النّسبيّة العامة، والتي طبقت على مدار عطارد وتنبأت بالثلاث والأربعين ثانية الزائدة للقوس كل قرن!

أمّا الاختبار الثاني لنظرية أينشتاين، فقد تنبأ بأنّ أقيسة ضوء النّجوم المارة قريبًا من الشّمس ستنعرج بزاوية 1.75 ثانية قوسية، وهذا كبير بما يكفي لقياسه. إنّ هذا الانعراج في ضوء النّجوم يمكن مشاهدته خلال كسوف الشّمس. (لقد أصبح قياس هذا الانعراج ممارسة معيارية في كلّ كسوف كلّيّ منذ قياسه لأول مرة في كسوف عام 1919م الكلّيّ). ولقد كشفت صورة أخذت لعتمة السماء حول كسوفِ الشّمس وجود نجوم لامعة بالجوار. كما قورنت مواقع هذه النّجوم لاحقًا مع صور أخرى للمنطقة نفسها أخذت في أوقات أخرى في الليل وبالمقراب نفسه. وفي كلّ حالة، فإنّ انعراج ضوء النّجوم عزّز تنبؤات أينشتاين(الشكل 15.28).



الشّكل 15.28
انحناء الضّوء حال تماسّه مع الشّمس. تبين النقطة أ المكان الظّاهريّ، أما النقطة ب فتبين المكان الحقيقي.

لمعلوماتك

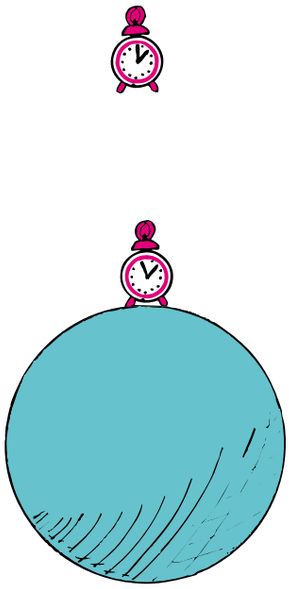
■ فنيًّا، ليست الكتلة هي التي تسبب انحناء الزمكان، ولكنها كثافة الكتلة. فكثافة الأرض صغيرة جدًّا لتعطي آثارًا ملحوظة في الزّمن. ولكنها قصة مختلفة.
ولنتذكر من الفصل 27 أنّ ساعة تسقط نحو أفق الحدث ستبدو أنها تتباطأ كلما اقتربت أكثر فأكثر من أفق الحدث والتي لن تراها تصل أبدًا.

■ نقطة فحص

لماذا لا نلاحظ انحناء الضّوء بفعل الجاذبيّة في حياتنا اليومية؟

هل كانت هذه إجابتك؟
لأنّ سرعة الضّوء كبيرة جدًّا؛ فكما أننا لا نلاحظ الممر المنحني للرصاصة السريعة عندما تكون المسافة قصيرة. فإننا لا نلاحظ الانحناء في حزمة الضّوء.

أما التنبؤ الثالث لأينشتاين فهو أنّ الجاذبيّة تسبب إبطاء للزمن. فلقد تنبأ مثلًا أنّ دقيقة من الوقت على سطح كوكب كتليّ تستمر أطول بالمقارنة مع دقيقة من الوقت على سطح كوكب آخر أقلّ كتلة. وهكذا، فالساعة الموجودة على كوكب وذات كتلة عالية ستبدو وكأنها تسير أبطأ من ساعة مماثلة على سطح كوكب أقلّ كتلة. فالجاذبيّة تفسد الوقت! وكلما كانت الجاذبيّة أقوى كان الأثر أكبر.



الشّكل 16.28
لو تحركت من نقطة بعيدة نزولًا نحو سطح الأرض، فإنك تتحرك في اتجاه فعل قوة الجاذبيّة، أي في اتجاه المكان الذي تسير به السّاعة بشكل أبطأ. فالسّاعة على سطح الأرض تسير أبطأ من ساعة أخرى تقع بعيدًا عن السّطح.

لقد اقترح أينشتاين قياس هذا الأثر عندما صاغ مبدأ التكافؤ. فهو يعلم أنّ الذرات كلّها تصدر ضوءًا بترددات محددة تميز معدل الاهتزازات للإلكترونات في الذّرّة. إذن، فكلّ ذرة عبارة عن ساعة وقت. وأنّ بطء الاهتزاز الذري يدلّ على بطء هذه الساعة الذرية. وهكذا، ستصدر ذرة على الشّمس ضوءًا بتردد أدنى (اهتزاز أقلّ) من الضّوء الصادر للذّرّة نفسها على الأرض. لقد وجد الفلكيون أنّ الإبطاء في الزّمن للذرات على شمسنا لا يتحقق بسبب الحركة الحراريّة. لقد لوحظ أثر الإبطاء الزّمني للجاذبية منذ زمن، وقيس بدقة على النّجوم القزمة التي لها حقل جاذبيّ أقوى من حقل شمسنا. وأكثر من ذلك، فالتجارب الدقيقة جدًّا على الأرض بيّنت أنّ الزّمن يسير أبطأ عند قاعدة برج عالٍ، والذي هو أقرب إلى جاذبية الأرض منه عند قمة البرج. إنّ الفرق صغير جدًّا، ولكن يمكن إعادة قياسه، وهذا يتفق مع تنبؤات أينشتاين تمامًا (الشّكل 16.28).

تمثّل نظرية أينشتاين العامة في النّسبيّة مزيدًا من العمل على **نظريته الخاصة في النّسبيّة *special theory of relativity***، والتي افترضها قبل 10 سنوات عام 1905م. ومن خلال النّسبيّة الخاصة، بين آينشتاين كيف أنّ المادة والطّاقة ما هما إلّا شكلان للشيء نفسه، والتي عبر عنها بمعادلته الشهيرة $E=mc^2$. كما ذُكِر في الفصل 13. ففي الملحق وكما في كتاب *تطبيق مفاهيم العلوم الفيزيائيّة* عرضنا مظهرًا رائعًا للنسبية الخاصة التي تبين لنا كيفية تغيّر الزّمن مع الحركة. وعلى سبيل المثال، فإنّ رائد فضاء يذهب في رحلة فضائية مدة سنتين وبسرعة عالية يمكن أن يعود ليرى أنّ عمر الأرض أصبح 2000 سنة! وعلى أيّ حال، نعود الآن إلى أمر أكثر غموضًا، وهو الوجود المحتمل لشكل من المادة لا يرى نهائيًّا من قبلنا، ولا يُحسّ باللمس.

4.28 المادة العاتمة

يمكن أنّ تُعرّف المادة بأنها "الشّيء الذي يحتلّ حيزًا" وبشكل أدق، يمكن لنا القول إنّ المادة هي "الشيء الذي يحتل زمكان". على أيّ حال، فالمادة، أكثر من مجرد إشغالها للزمكان، فلوجودها تأثير في انحناء الزمكان هذا. وإن كان هذا هو تعريفنا للمادة، فإنّ دليلنا الآن يقترح أنّ الانفجار الأعظم ولد مادة بشكلين على الأقل: أحدهما يمكن رؤيته، أما الآخر فلا.

إنّ الشّكل المرئيّ من المادة هو "الشّكل العاديّ" المكوّن من دقائق ما تحت الذرات كالبروتونات والنيوترونات والإلكترونات. وكما درسنا في الفصول السابقة، فإنّ هذه الدقائق تتّحد لتكوّن ذرات الجدول الدّوريّ. ومن ثَمَّ تتّحد هذه الذرات لتكوّن الجزيئات كتلك التي تكوّن أجسامنا. إنّ هذه المادة يمكننا لمسها، كما يمكن التفاعل معها مباشرة. فأنت والكواكب والنّجوم مكوّنون من هذا الشّكل من المادة والتي سندعوها من هنا **المادة العادية *ordinary matter***.

أما الشّكل الثاني للمادة والذي تولّد عن الانفجار الأعظم فهو لا يشبه المادة العادية. وهذا الشّكل من المادة لا يتعرف القوة النووية القوية، أي أنّه لا يستطيع التّكتل لتكوين أنوية ذرية. كما أنّه لا يتعرف القوة الكهرومغناطيسية التي تجعلها غير مرئية لا للضوء ولا إلى حاسة اللمس. وكما فسّر في الفصل 12، فإنّ القوى الكهرومغناطيسية هي المسؤولة عن التنافر بين الإلكترونات. والسبب في عجزك عن اختراق جدار هو أنّ الإلكترونات في جسمك تتنافر مع الإلكترونات في الحائط. ولو كان الحائط مكوّنًا من هذه المادة غير المرئية، لكان بإمكانك أنّ تسير من خلال الحائط. وبالطبع لا يكون بإمكانك رؤية الحائط أيضًا. إنّ هذا الشّكل غير المرئيّ من المادة بحاسة النظر ولا باللمس يعرف **بالمادة العاتمة**.

وإذا كنا لا نرى المادة العاتمة فكيف نعرف وجودها؟ الجواب هو أنّ هذا الشّكل غير المرئيّ من المادة يعبر عن نفسه بالأثر الجاذبيّ. ولقد جاءتنا أولى المفاتيح عندما كنا نضع خرائط لسرعة دوران النّجوم حول مركز مجرتنا. فوفق قوانين الجاذبيّة، فإنّ سرعة الدوران تدلّ على قوة الجاذبيّة بين الجسم الدائر والجسم المدار حوله؛ فكلما كبرت قوة الجذب زادت سرعة الدوران.

وعلى سبيل المثال، فإنّ الكواكب الداخلية في نظامنا الشّمسيّ تدور حول الشّمس أسرع من الكواكب الخارجية لأنها أقرب إلى الشّمس ولها قوة جاذبية أكبر.

وبالنسبة لمجرتنا، فإننا نتوقع الاتجاه نفسه؛ فسرعة دوران النّجوم الأقرب إلى مركز المجرة سيكون أعلى من سرعة دوران النّجوم الأبعد. إلا أنّ الملاحظ لم يكن هكذا! فبدلًا من ذلك نرى أنّ النّجوم الأقرب من المركز والأبعد عنه تدور بالسرعة نفسها. فكيف يكون ذلك؟

وفي النّظام الشّمسيّ تدور الكواكب في وضعها الحالي لأنّ معظم كتلة النّظام الشّمسيّ تتركّز في شمسها المركزية. وفي مجرة كدرب التبانة أو المرأة المسلسلة، فإنها تبدو كأنّ الكتلة تتركز في التّضخّم المركزي. إنّ سرعة دوران النّجوم المقيسة تبيّن أنّ الجزء الأكبر من كتلة المجرة تقع خارج المجرة نفسها في هالة كتلية منتشرة وغير مرئية حتى الآن. ويبلغ قطرها عدة مرات قطر المجرة المرئية (الشّكل 17.28). ونحن نعلم أنها غير مرئية لأنّ مقاربتنا كلّها ترى من خلالها بشكل جيد. إلا أنّ شيئًا ما يجب أنّ يكون هناك يؤثر في سرعات الأجرام.

وهناك دليل ضعيف آخر للمادة العاتمة يأتي من قياس سرعة المجرات عندما تدور حول بعضها في العناقيد. فالسّرعة المقيسة تبيّن أنّ كتل هذه المجرات أكبر عدة مرات من مجموع كتل النّجوم كلّها.

وأخيرًا، فإننا نعلم أنّ مسار الضّوء ينحني بفعل الجاذبيّة تمامًا كما ينحني بفعل عدسة. وعليه، فإنّ عنقودًا من المجرات يمكن أنّ يحني الضّوء الآتي من عنقود مجري بعيد يقع وراءه مباشرة؛ وهنا نقول إنّ العنقود الأمامي يسلك سلوك *عدسة جاذبية* gravitational lens. ويوضح أثر العدسة الجاذبيّة هذه في الشّكل 33.27

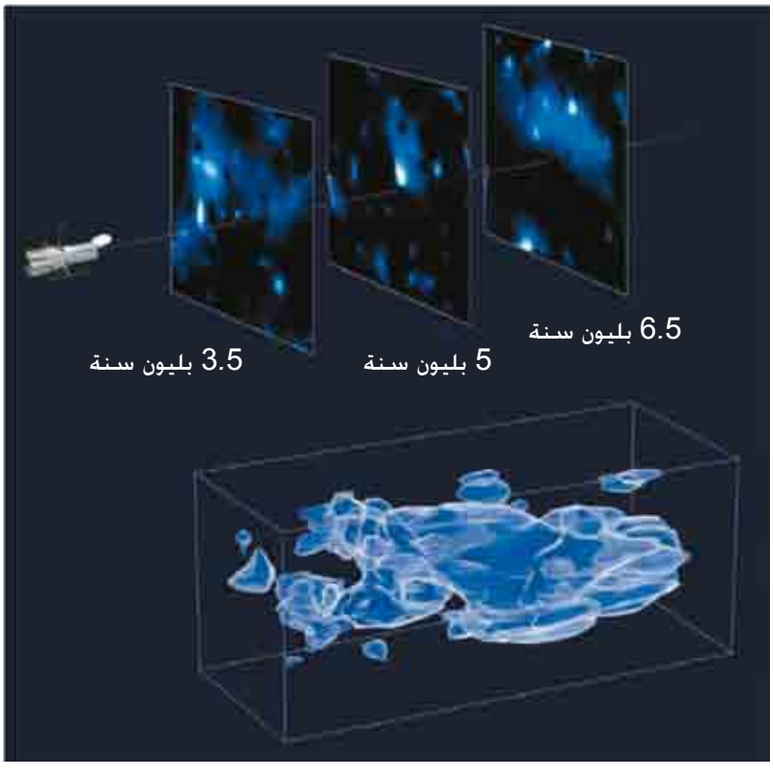
إنّ درجة انحناء الضّوء الآتي من العنقود البعيد يتعلق بكتلة العنقود الأمامي. ومرة أخرى، فإنّ درجة انحناء الضّوء يدلنا على أنّ كتلة العنقود الأقرب تتجاوز كثيرًا ما يمكن أنّ نتوقعه اعتمادًا وبشكل رئيس على لمعان العنقود. لذا، فبالدراسة الواعية لانحناء الضّوء من المجرات البعيدة، يمكن وضع خريطة لتوزيع المادة العاتمة. يبين الشّكل 18.28 دراسة وضعت باستخدام مقراب هابل الفضائي.

وهكذا، فإنّ الدليل على وجود المادة العاتمة قويّ. ولكن مشكلتنا الحالية هي محاولة معرفة ما تتكون منه هذه المادة العاتمة بالضبط. فمن الواضح جيدًا أنّ المادة العاتمة ليست ببساطة مادة عادية كالنّجوم الميتة التي أصبحت باردة إلى درجة أنها لا تصدر ضوءًا.

الشّكل 17.28
كلما كانت المجرة كبيرة، كان نشر هالتها للمادة العاتمة أكبر. وقد يصل قياس هذه الهالة إلى 10 مرات قطر المجرة المضاءة، وكتلتها إلى ستة أضعاف.

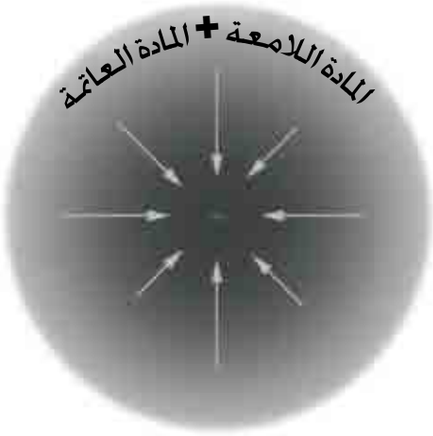
لمعلوماتك

■ **إنّ النّظرية البديلة للمادة العاتمة هو ديناميكا نيوتن المعدلة، والتي اقترحت من قبل الفيزيائي موردیهاي ميلجورم عام 1980 ووفقًا لهذه النّظرية المقترحة، فإنّ معادلة نيوتن $a = F/m$ تفشل عندما تصبح القوة ضعيفة جدًّا، ربما بسبب الأثر الكوانتومي. ولقد وضعت نسخة معدلة لهذه المعادلة للأخذ في الحسبان سرعة النّجوم الدورانية المرئية في المجرات. النّظرية لا زالت خلافية وبحاجة إلى الدحض الكامل.**



الشّكل 18.28
صور للمادة العاتمة تظهر باللون الأزرق، أخذت بالمسح المتطور الكونيّ بمقراب هابل الفضائي. وبالتأكيد، فالمادة العاتمة ليست زرقاء، بل إنّ هذه الصّورة تبيّن توزيع المادة العاتمة في منطقة ضيقة من السماء قبل 6.5 بليون سنة.

ومع تعدّد النظريات حول الطبيعة الأساسية للمادة العاتمة؛ إلا أنه لم تكتشف أي دقائق عاتمة. وإلى أنّ يتم ذلك، فسنظلّ في غموض آخر مثير عن كوننا هذا.



الشّكل 19.28
تكثف المادة العادية من خليط من المادتين؛ العاتمة والعادية.

تكوّن المجرات (Galaxy Formation)

نستطيع التفكير في أنه عندما نشأ الكون، فإنّ المادة العادية مع كمية أكبر من المادة العاتمة قد تكونتا. ولما كانتا متماسكتين بالجاذبيّة، فإنهما قد نثرتا سويًّا خارجيًّا على هيئة متكتلة. وفي كلّ تكتّل، كانتا مختلطتين معًا وبانتظام. وهذان الشكلان للمادة يختلفان اختلافًا رئيسًا هو أنه عند تصادم مادة عادية مع مادة عادية أخرى، تتحرر طاقة على شكل حرارة. وبفقدان هذه الطّاقة، فإنّ المادة العادية تفقد شيئًا من سرعة دورانها وتسقط أقرب إلى مركز التكتل. وبمرور الزّمن، وببقاء المادة العاتمة كلها موزعة في التكتل، فإنّ المادة العادية تتجمع في المركز (الشّكل 19.25). وقد سمح تمركز المادة العادية في مركز التكتل بتشكّل النّجوم. وأيضًا بتجمع هذه المادة العادية في المركز، فإنّ معدل الدوران يزداد؛ أي أنّ العزم الزاوي يحفظ. فإذا كان التكتل الأصلي للمادة العادية والعاتمة بالكاد يدور حول نفسه، فإنّ النّجوم المتكونة في المركز ستأخذ شكل مجرة إهليلجية. وإذا كانت التكتلات الأصلية تبُرم بشكل أسرع قليلًا، فإنّ النّجوم الجديدة ستبرم بشكل أسرع بما يكفي لجعل المجرة مسطحة، أي ما يشبه إلى حد بعيد دوران كرة عجين البيتزا. وسيأخذ القرص الناتج شكل المجرة الحلزونية. وهكذا، فمن شكل التكتل للمادة العادية والعاتمة تتكشف المادة العادية لتشكّل المجرة المركزية. وتبقى المادة العاتمة منتشرة ومكونة هالة غير مرئية تحيط بالمجرة المتشكّلة حديثًا.

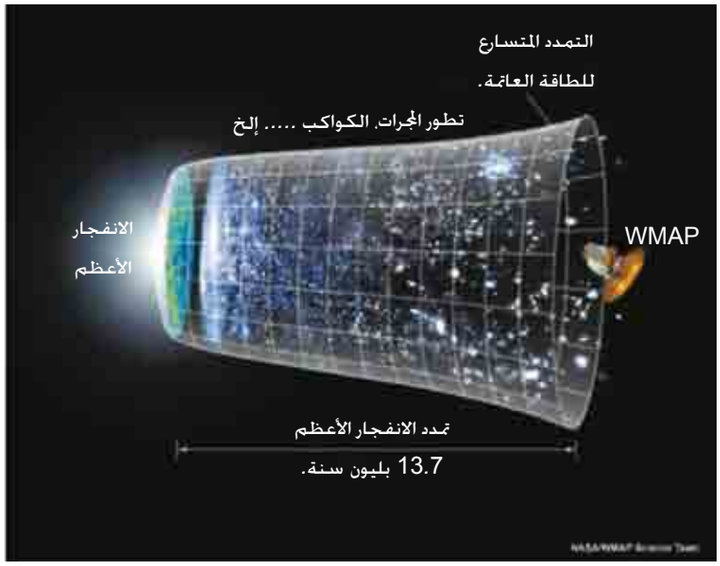
5.28 الطّاقة العاتمة

في السنوات القليلة التي سبقت اكتشاف هابل لتمدّد الكون، كان أينشتاين يتقدم ببطء لفهم لماذا لم تتسبب الجاذبيّة في انهيار الكون في السحق الأعظم *Big Crunch*. لقد كان يفكر في الكون كعالم ساكن: فلا هو منهار ولا هو متمدد. ولكي يبقى الكون ساكنًا مقابل الانحناء الداخلي للجاذبية، فإنه بحاجة إلى انحناء خارجي أساسي مضاد للجاذبية. أي إذا كانت الجاذبيّة هي السحب نحو الداخل، فلا بدّ من وجود ظاهرة تولّد الدفع نحو الخارج. وللسماح بتوازن كهذا، وضع في معادلته فكرة ما سمّي *بالثابت الكونيّ cosmological constant*. ولم يكن لديه الدليل على وجود ظاهرة كهذه، وإنما وضعها لجعل معادلته تبدو طبيعية.

وبعد ذلك بعَشْر سنوات، أعلن هابل أنّ الكون لم يكن ثابتًا، وإنما متحرك بشكل كبير، وأنه الآن في حالة من التمدد. ثم جاء أينشتاين لاحقًا ليعلن أنّ فشله في التنبؤ بديناميكية الكون كان أكبر خطأ فادح في حياته.

لقد بينت الأعمال اللاحقة لمعادلات أينشتاين أنّ الكون السّاكن لا يكون ثابتًا، فأي دفعة صغيرة بهذا الاتجاه أو ذاك ستؤدي به إلى الانهيار أو التمدد. ولقد ترك أينشتاين إيمانه في الثابت الكونيّ، والذي بقي في السنوات الخمس والسبعين اللاحقة غريبًا لافتًا للنظر.

وفي تسعينيّات القرن الماضي، أي بعد نحو 40 عامًا من وفاة أينشتاين، قام فريقان فلكيان باكتشاف مذهل: حيث أظهرت المعطيات العالية الدقة التي أخذت من مجرات بعيدة جدًّا أنّ الفضاء الذي نشأ قبل 7.5 بليون سنة قد بدأ في التسارع في تمدده. فالمجرات لا تبتعد عن بعضها فقط، بل إنّ شكلًا غير معروف من الطّاقة يسبب زيادة في سرعة تراجع المجرات. وهنا توجد ظاهرة تعمل ضد الجاذبيّة مسببة الانحناء الخارجي للزمكان. وهو دليل على الثابت الكونيّ الذي اقترحه أينشتاين!



الشّكل 20.28
بدأ تمدد الفضاء في التسارع قبل نحو 7.5 بليون سنة كما يظهر في هذا المخطط كتوسع تدريجي مباشرة بعد تطور المجرات. وقد أعطي سبب هذا التسارع في التّوسّع اسم *الطّاقة العاتمة*. ولكن لا يعني أنّنا عندما نستطيع تسمية شيء ما أنّنا نفهمه. وهكذا الحال بالنسبة إلى الطّاقة العاتمة.

لمعلوماتك

■ يحتوي الفضاء الذي تدور فيه كواكبنا على 100 ذرة من الهيدروجين في اللتر تقريبًا. أما الفضاء ما بين النّجوم في مجرتنا فيحتوي على ذرتين من الهيدروجين فقط في اللتر. ولكن إذا أردت الحصول على فراغ تام حقيقيّ، فأنت بحاجة إلى السفر صوب الفراغ الواسع الذي يفصل بين ما فوق العناقيد كما بينا في الشّكل 27. 36. ففي هذه المناطق فقط توجد الطّاقة العاتمة. والفراغ في مجراتنا المحلية وما بينها كثيف جدًّا!

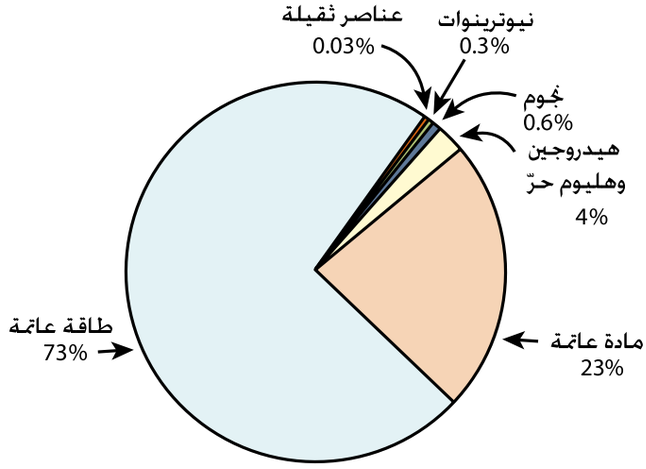
وعند إعداد هذا الكتاب، أي بعد أقل من عشر سنين من اكتشاف هذه الظاهرة، كثر التخمين في الكيفية التي تؤثر بها هذه الاكتشافات في مصير الكون. يوصف هذا الشّكل غير المعروف من الطّاقة **بالطّاقة العاتمة** (الشّكل 20.28). وتقترح المعطيات الفلكية الحالية أنّ الطّاقة العاتمة ما هي إلا الثابت الكونيّ الشهير لأينشتاين. أما الاحتمالات الأخرى، فلا يمكن الحكم عليها حتى الآن.

تقترح بعض النماذج الحالية أنّ الطّاقة العاتمة تجد مصدرها في فراغ الزمكان. وللمادة الأثر في سحب الزمكان معًا. ولهذا، فهو ينكمش. والمثال التقليديّ هو ما يحدث عند تشكّل ثقب أسود: فالزمكان ينكمش إلى نقطة الصفر في حجمه (وكثافة لا نهائية). وفي غياب المادة - في فراغ تام- فإنّ الزمكان الفارغ يتهيّج مع الطّاقة ليولّد انحناء معاكسًا يسمح للزمكان بالتمدد. وكلما تولد المزيد من الزمكان، فإنّ *طاقة الفراغ* *vacuum energy* تصبح أكثر سيادة، وتزيد في تسارع تشكّل الزمكان الفارغ. وهكذا، فإنّ المجرات البعيدة تبدو وكأن بعضها يتسارع مع بعض. إنه يبدو وكأن الجاذبيّة والطّاقة العاتمة متضادان مطلقًا. وعندما تكسب الجاذبيّة السيطرة، فإنّ النتيجة قد تكون فراغًا لا نهائيًّا، أي ثقبًا فارغًا.

هناك العديد من النماذج المثيرة للاهتمام التي تحاول تفسير طبيعة الطّاقة العاتمة. ويمكن تحديد أفضلها فقط بعد تجميع المزيد من الأدلة. تابع سماع تقارير الأخبار العلمية. وخصوصًا وكالات الفضاء الأوربية *"بلانك سيرفير"* والتي قد تجيب عن العديد من تساؤلاتنا الآنية. على أيّ حال، فإنّ هذا المقراب الفضائي ذا الكفاءة العالية، بالإضافة إلى العديد من المقاريب الأخرى التابعة له، وبدون شك، سيثير العديد من الأسئلة أكثر مما يجيب عن بعضها. ويبقى شيء واحد مؤكد، وهو أنّ الكون لا يحمل أي نقصان في أسراره.

■ 6.28 مصير الكون

الكون يتوسع. والمادة، على أي حال، لها تأثير مضاد لهذا التّوسّع. فهل توجد هناك مادة كافية في الكون لإيقاف هذا التّوسّع أو عكسه؟ فقبل اكتشاف الطّاقة العاتمة والمادة العاتمة، حسب الفلكيون المادة العادية في الكون وقدروها بـ 4% فقط من المادة اللازمة لإيقاف التّوسّع. ولقد اكتشف لاحقًا أنّ المادة



الشّكل 21.28
إنّ المادة العادية التي تكوننا وتكون المجرات التي نعيش عليها لا تشكّل أكثر من 4% من مكونات الكون. أما الباقي فهي، مبدئيًا، المادة العاتمة (23%)، والطّاقة العاتمة (73%)، وما نعلمه عنهما قليل جدًّا.

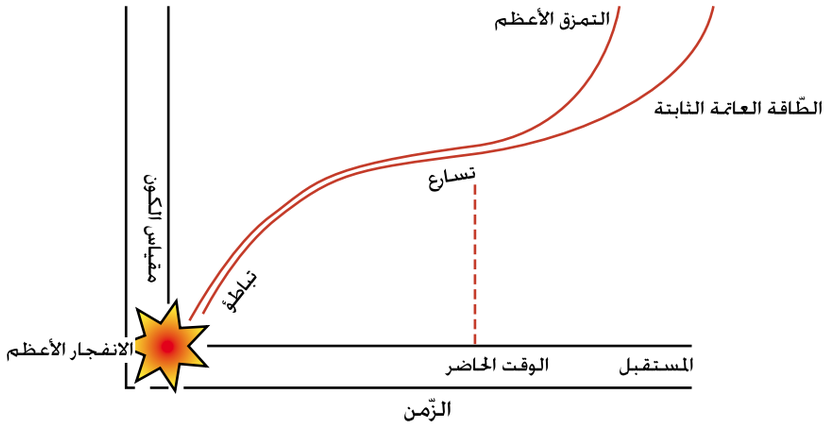
العاتمة تساوي ستة أضعاف المادة العادية؛ فهي تكوّن 23% من المادة اللازمة لوقف التّوسّع. فإذا كان الباقي 100% - (4%+23%) =73% من المادة إيجاده (يمكن أخذه في الحسبان). فإنّ كتلة الكون ستكون كافية لإيقاف التّوسّع في يوم ما. وسيكون شكل الكون الهندسي مستويًا. وبكلمات أخرى، فإنّ الخطوط المتوازية لن تلتقي أبدًا. وبما أننا نرى الكون مستويًا فإنّ الفلكيين قد أربكونا في مكان وجود هذه الـ 73% الباقية من المادة.

ثم جاء بعد ذلك اكتشاف الطّاقة العاتمة. ولنتذكر أنّ ما بين الطّاقة والمادة علاقة بحسب معادلة أينشتاين $E=mc^2$. وهكذا، فكلاهما؛ المادة العاتمة والطّاقة العاتمة، لا بدّ من إدخالهما في جداول التركيب الكلي للكون. وكلاهما يكون له أثر في الانحناء المشهود للكون. وعليه، فإنّ وفرة الطّاقة العاتمة يجعل المتبقى وهو 73% من مكونات الكون المرئيّ يتوافق مع إكمال الصّورة، كما في الشّكل 21.28. لذا، فمن المنطقي أنّ يكون كوننا المرئيّ مستويًا أو قريبًا جدًّا من الاستواء. ومع ذلك، هناك ليّ؛ حيث إنّ الطّاقة العاتمة تسبب التّوسّع في الفضاء وليس الانكماش. ولهذا، فإنّ التفكير الحالي للكثير من علماء الكونيّات، إنّ كوننا المستوي مقدر له التّوسّع الأبدي. وهذا يدعو إلى وضع عدد من الخيارات لاقتراحات محتملة لنهاية كوننا.

إنّ أحد هذه الاحتمالات هو ما يسمى **الموتَ الحراريّ *heat death***؛ حيث يستمر الكون في التّوسّع، حتى يقترب من الصفر المطلق وحالة الإنتروبي القصوى. وبعد 10^{14} سنة، ستكون النّجوم جميعها قد استهلكت أشكال الوقود المتاحة كلّها. وسوف يصبح الكون معتمًا بالكامل. وبعد 10^{16} سنة ستتقذف الكواكب والنّجوم من مداراتها بسبب التصادم العشوائي. وبعد ذلك سيقع معظمها في الثقوب السوداء فوق الكتلية، في حين يكون الباقي فتاتًا كونيًّا مبعثرًا. وبعد 10^{40} سنة، ستنحل البروتونات والنيوترونات كلّها تلقائيًّا، لتترك خلفها إشعاعات جاما ودقائق ضعيفة (*Leptons*) ومثالها الإلكترونات. ومن هذا الوقت حتى 10^{100} سنة لاحقًا، سوف تكون الثقوب السوداء فوق الكتلية الشّكلَ المسيطر للكتلة في الكون. ولكن وبمرور الزّمن حتى 10^{150} سنة، ستغادر هي أيضًا متبخرة إلى فوتونات ولبتونات. ومن هذا الزّمن حتى 10^{1000} سنة لاحقًا تقريبًا، فإنّ أطوال أمواج الفوتونات وكلّ ما تبقى من دقائق ستصل إلى أدنى حالات الطّاقة الممكنة. وعندئذٍ، سيحقق الإنتروبي النصر المؤزر.

أمّا الاحتمال الآخر فهو ما يعرف **بالتمزق الأعظم *Big Rip*** الذي يتميز بزيادة تأثير الطّاقة مع الزّمن (الشّكل 22.28)؛ حيث يتوسّع الكون وبشكل أسّيّ، ستندفع عناقيد المجرات بعيدًا بعضها عن بعض إلى أنّ تصل إلى درجة عدم رؤية بعضها بعضًا. وهكذا، فالمجرات المتجاورة ستسحب بعيدًا بنأى عن الأنظار. وقبل نحو 60 مليون سنة من النهاية، ستتطاير النّجوم من المجرات في الاتجاهات كافة. وقبل ثلاثة أشهر تقريبا من النهاية سيتشتت النّظام الشّمسيّ وينتشر. وفي آخر عدة دقائق، لن يكون هناك أيّ ترابط بين النّجوم والكواكب. وفي النهاية، سوف تتمزق الذرات كلّها بعضها عن بعض لتعطي ما تحت الذرات. إنّ الهيكل الزّمني للتمزق الأعظم قد يكون 35 بليون سنة بعد الانفجار الأعظم أي بعد 21 بليون سنة من الآن. وأين ستتطاير هذه المواد كلّها؟ الله أعلم، ربما إلى انفجار أعظم آخر!

مع أنّ *الطّاقة العاتمة* والمادة العاتمة يشتركان في كلمة العاتمة، إلا أنّهما مختلفتان تمامًا؛ فواحدة مكونة من مادة أما الأخرى فمكونة من طاقة. وكلاهما لا زال غامضا. وقد يتم إثبات عدم وجودهما بدلائل حديثة أو بدلائل تفسيرية أخرى. وفي الطبعة القادمة لهذا الكتاب قد تختلف الصّورة تمامًا.



الشّكل 22.28

إذا بقيت قوة الطّاقة العاتمة ثابتة، فسنتوقع أنّ يعاني كوننا الموت الحراريّ. وإذا اكتسبت الطّاقة العاتمة قوة إضافية فإنّ مصير كوننا قد يكون التمزق الأعظم.

يؤيد ألان غوث، أحد مطوري فكرة تضخم الكون الأوائل، فكرة أنّ الكون لن ينتهي في كلّ مكان في الوقت نفسه. فقبل نحو 14 بليون سنة، تضخّمت قطعة صغيرة من المواد الأولية لتشكّل كوننا المرئي. غير أنّ التّضخّم سيستمر على قطع أخرى من هذه المواد الأولية، وسيستمر في فعل ذلك بشكل سرمدي. وهكذا، ففي حين تتوسع منطقتنا من الكون بلا نهاية، فإنّ بعض المناطق الأخرى قد ولدت حديثًا. هذا الاحتمال الذي يولّد أكوانًا مرئية بشكل أبدي دائم يعرف **بالتّضخّم السّرمديّ** ***eternal inflation*** . ومن منطلق التّضخّم السّرمديّ هذا، فإنّ المصير النهائي لكوننا المرئيّ لن يكون مشابهًا لبقية الكون ككل.

إنه لمن الممتع حقًّا أنّ نرى كيف أنّ بؤرة عرضنا المسرحي تضيق عبر الزّمن. ففي البداية كان كلّ شيء ممكنًا. ولكن كلما فتحنا عيوننا وعقولنا على هذا الكون الطبيعي، تعلمنا أنّ بعض المشاهد تكون أكثر قيمة من مشاهد أخرى. فلقد رأينا مرة أنّ المجموعات النجمية ما هي إلا آلهة سماوية، وبالطبع كانت الأرض مركز الكون. ثم تحققنا لاحقًا أنّ الأرض ما هي إلا كوكب يدور حول الشّمس، وما هذه الشّمس إلا نجم متوسط الحجم بين العديد من النّجوم. لقد كان كوننا عبارة عن مجرة درب التبانة، حتى جاء هابل وأشار إلى غير ذلك. وعندما وجد أنّ المجرات تتباعد، افترض كثيرون أنّ الجاذبيّة قد تكون قوية بما يكفي لشد بعضها إلى بعض، فيما يعرف بالسحق الأعظم. ولقد استثني هذا الاحتمال منذ زمن. ونحن الآن في مرحلة من التعجب عما سيحدث بعد التّوسّع الأبدي. المشاهد الحالية هي فقط مشاهد. ولكنها مشاهد مكررة ومنتقاة اعتمادًا على قرون من جمع الدلائل والبراهين. وكلما استمر النظر إلى الكون الطبيعي وبمقاريب تزداد كفاءة، فإننا نتوقع لمشاهدنا هذه أنّ تصفى وتنقى بشكل أفضل. هذا هو فن الانفتاح الفكري في العلوم والذي يبحث ليتعلم عن طبيعة الكون وماهيته؛ وليس ما نتمنى أنّ يكون؛ ولننتظر.

ملخّص المصطلحات

الكونيّات Cosmology: دراسة بنية الكون كله وتطوره.

النّسبيّة Relativity: دراسة العلاقات بين كلّ من الطّاقة والكتلة والزّمن في الفضاء.

الانفجار الأعظم Big Bang: الولادة الأولية وتوسع الفضاء في لحظة بدء الزّمن.

الانزياح الكونيّ نحو الأحمر Cosmological Redshift : استطالة الأمواج الضوئيّة نتيجة توسع الفضاء.

قانون هابل Hubble's Law: كلما زاد بعد المجرة عن الأرض، زادت سرعة ابتعادها عنا $V = H X d$.

الخلفية الإشعاعية الكونيّة Cosmic Background Radiation: إشعاعية الأمواج الميكروويه الباهتة المنبثقة عن الاتجاهات كلّها. وهي تمثل بقايا حرارة الانفجار الأعظم.

التّضخّم الكونيّ Cosmic Inflation: النّظرية القائلة بتعرّض الكون لانفجار مفاجئ وقصير الأمد في الحجم مباشرة بعد الانفجار الأعظم.

الزمكان Spacetime: الاستمرارية التي نعيش فيها والمكونة من فضاء ثلاثي الأبعاد بالإضافة إلى بُعْدٍ رابع هو الزّمن.

النّظرية العامة للنّسبيّة General Theory of Relativity: نظرية تُنسب بداية إلى أينشتاين، وتناقش تأثير الجاذبيّة في الزمكان.

مبدأ التكافؤ Principle of equivalence: مشاهدات محلية من إطار مرجعي متسارع لا يمكن تمييزها عن مشاهدات من حقل جاذبي نيوتوني.

النّظرية الخاصة للنّسبيّة Special Theory of Relativity: نظرية منسوبة بداية إلى أينشتاين، وتناقش تأثير الحركة المنتظمة في كلّ من الفضاء والزّمن والطّاقة والكتلة.

المادة العادية Ordinary Matter: المادة التي تتجاوب مع القوى النووية القوية والضعيفة والكهرومغناطيسية والجاذبيّة. تتكوّن هذه المادة من بروتونات ونيوترونات وإلكترونات تتضمن الذرات والجزيئات المكونة لنا ولأوساطنا البيئية.

المادة العاتمة Dark Matter: المادة التي تستجيب للقوى النووية الضعيفة وقوى الجاذبيّة فقط. هذا الشّكل من المادة غير مرئيّ، ولكن يُستدل عليه بآثاره الجاذبيّة.

الطّاقة العاتمة Dark Energy: شكل غير معروف من الطّاقة يبدو أنه يسبب تسارعًا في توسع الفضاء. ويعتقد أنه يترافق مع طاقة الفراغ التام.

الموت الحراريّ Heat Death: نموذج لنهاية الكون تنتشر فيه المادة والطّاقة كلاهما إلى نقطة الإنتروبي العظمى.

التمزق الأعظم Big Rip: نموذج لنهاية الكون تنمو فيه الطّاقة العاتمة بشكل قوي مع الزّمن مؤدية إلى تمزق المادة.

التّضخّم السّرمديّ Eternal Inflation: نموذج للكون؛ حيث لا يكون التّضخّم الكونيّ حدثًا زمنيًّا واحدًا، وإنما يتقدم باستمرار، مولّدًا عددًا غير محدود من الأكوان المرئية عقب ذلك.

أسئلة مراجعة

1.28 الانفجار الأعظم

1. هل الكون في الفضاء أم الفضاء في الكون؟
2. ما القيفاويات *Cepheids*؟
3. ما الذي يعتمد على المسافة: سطوع النّجوم أم ضوئيتها؟
4. وفق قانون هابل، ما العمر التقريبي للكون؟
5. وفق الخلفية الإشعاعية للكون، ما معدل حرارة الكون الآن؟

2.28 التّضخّم الكونيّ

6. وفق نظرية التّضخّم الكونيّ، كم استغرق الكون لزيادة حجمه بمعامل 3010؟
7. في أيّ نقطة تعادلت حرارة الكون؟
8. ما أثر التّضخّم في التذبذبات الكوانتومية التي وجدت في الكون المبكر؟
9. ماذا يحدث للانحناء الظّاهريّ لبالون لو نفخ حتى يعادل حجمه حجم الشّمس؟
10. كم بُعْدًا يوجد في الزمكان؟

3.28 النّسبيّة العامة

11. في أيّ سنة نشر أينشتاين نظريته العامة في النّسبيّة؟
12. هل يمكن تمييز مرجعية إطار متسارع عن الحقل الجاذبي؟
13. عندما تترك كرة حال وقوفك مقابل الأرضية في مركبة فضائية متسارعة. ماذا يحدث للكرة؟
14. بماذا تنبأت النّسبيّة العامة عن مدار عطارد؟
15. ماذا يحدث لإضاءة نجم عندما يمرّ قريبًا من الشّمس؟

4.28 المادة العاتمة

16. ما نوع المادة المرئية؟
17. إذا كنا غير قادرين على رؤية المادة العاتمة، فكيف نعرف وجودها؟
18. على الأغلب، أين توجد المادة العاتمة في المجرة: في داخلها أم في خارجها؟
19. كلما اقترب الكوكب من الشّمس زادت سرعة دورانه. فهل ينطبق هذا على أنه كلما اقترب نجم من مركز المجرة زادت سرعة دورانه أيضًا؟
20. غيمة ضخمة مكونة من مادة عادية وعاتمة مخلوطة بشكل منتظم. وبمرور الزّمن تتركز المادة العادية في مركز هذه الغيمة. لماذا؟

5.28 الطّاقة العاتمة

21. هل اعتقد أينشتاين في البداية أنّ الكون ساكن أم متحرك؟
22. ماذا كان ثابت أينشتاين الكونيّ؟
23. ماذا سمى أينشتاين "التخبط الأكبر في حياتي"؟
24. بناءً على الأدلة الحديثة، منذ متى بدأ تسارع التّوسّع في الكون؟
25. إلى أي شيء ترمز *WMAP*؟

6.28 مصير الكون

26. ماذا يشبه المكون الأكبر لكوننا؟
27. أيّهما أكثر: المادة العادية أم العاتمة؟
28. وفقًا لاحتمال الموت الحراريّ: كم تحتاج الثقوب السوداء في الكون لكي تتبخر؟
29. ماذا يتوقع احتمال التمزق الأعظم للطاقة العاتمة؟
30. ما الاحتمال الذي يفترض أنّ التّضخّم الكونيّ ليس حدثًا زمنيًّا ولمرة واحدة لمصير الكون؟

تمارين

● مبتدئ ■ متوسط المعرفة ♦ خبير

1. ● ما الفرق بين علم الكونيّات والمعالجة التجميلية؟
2. ● متى تولّد معظم الهيليوم في الكون؟
3. ● ما أثر توسّع الفضاء في ضوء يمرّ من خلاله؟
4. ● ما العلاقة بين الطّاقة العاتمة وثابت أينشتاين الكونيّ؟
5. ■ إذا حرّر شرطي المرور لك مخالفة سرعة بالرادار، وأخبرك أنّ سرعتك 45 ميل/ ساعة. فهل كنت حقيقة متجاوزًا السّرعة المقررة وفق رأيك أم أنّ الفضاء بينكما، وببساطة، يتمدد؟
6. ♦ هل الفضاء غياب للمادة؟
7. ● معدل حرارة الكون في الوقت الحاضر 2.73 كلفن. هل ستزيد هذه الحرارة في البليون سنة القادمة أم ستنقص؟
8. ■ تتحول المادة إلى طاقة والطّاقة إلى مادة بحسب معادلة أينشتاين $E= mc^2$. فإذا كانت كمية الكتلة والطّاقة ثابتة في الكون، فماذا يحدث لكمية الفضاء في الكون؟ وماذا يحدث لكثافة الكون؟
9. ● لو بقي الكون الأولي ساخنًا إلى فترة أطول من الزّمن، فهل ستكون هناك زيادة في الهيليوم أم نقص؟
10. ● لو لم يأتِ الهيليوم من الانفجار الأعظم، فمن أين يمكن أنّ تكون العناصر الأثقل قد أتت؟
11. ● لا توجد أيّ مجرة بعيدة تحتوي على أقلّ من 25% هيليوم. فإنّ لم يكن هذا الهيليوم قد أتى من النّجوم، فمن أين أتى إذن؟
12. ■ هل يستطيع الفلكيون توجيه مقاربهم إلى الجهة حيث حدث الانفجار الأعظم؟
13. ♦ يتفرقع بالون من الهيليوم هنا على سطح الأرض محررًا البقايا المباشرة للانفجار الأعظم. هل هذا صحيح أم خطأ؟ فسّر.
14. ● لو كنا مكوّنين من غبار نجميّ، فممّ تتكون النّجوم؟
15. ♦ يخبرنا الفلكيون أنّ معدل حرارة الكون متجانسة= 2.73 0.0001 كلفن. فكيف يكون ذلك ونحن نعلم أنّ حرارة النّجوم عالية جدًّا؟
16. ● ما الخطوط الثلاثة الدالة على دعم فكرة الانفجار الكونيّ؟
17. ■ إن كان هناك تناظر في الخلفية الإشعاعية الكونيّة مثل نظام التذبذب الحراريّ في اتّجاه واحد، فهل يرى هذا النّظام نفسه في الاتّجاه المقابل تمامًا؟ ماذا يمكن أنّ تستنتج عن انحناء الكون؟
18. ● ما الذي يسبب الوزن: الجاذبيّة أم التسارع؟
19. ● إن لم تكن الجاذبيّة قوة فماذا تكون إذن؟
20. ● عند جلوسك في طائرة نفاثة وهي تتسارع على المدرج للإقلاع وتنقر كرة من التنس أمامك أعلى وأسفل، لماذا يصعب عليك الإمساك بالكرة؟
21. ● عندما تنقر كرة من التنس أمامك أعلى وأسفل وأنت في طائرة نفاثة تطير بسرعة ثابتة 500 ميل/ ساعة. فلماذا يكون من السهل الإمساك بالكرة رغم حقيقة أنّ الطائرة تطير بسرعة؟
22. ■ لو كنت تطفو بحرية في مركبة فضائية وبحركة منتظمة عميقًا في الفضاء الخارجي. وكانت هناك كرة تحوم أمامك، وفجأة أخذت الكرة تتحرك على الأرضية. فما الذي حدث للمركبة؟ وما الذي سيحدث معك؟
23. ♦ أين تسير الساعة بسرعة أبطأ: في النهاية الأمامية للمركبة الفضائية المتسارعة أم في النهاية الخلفية؟
24. ■ بعد عدة بلايين من السنين مستقبلًا، سينمو حجم شمسنا لتصبح عملاقًا أحمر؛ حيث سيتمدد سطحها حتى يصل إلى مدار الأرض الحالي. بعد حدوث ذلك، هل إبطاء الزّمن سيكون أكثر على سطح الشّمس مما هو عليه الآن أم أقلّ؟
25. ♦ يزود رائد الفضاء بالجاذبيّة عندما تفعّل آلات المركبة الفضائية من أجل أنّ تتسارع. وهذا يتطلب استخدام الوقود. فهل هناك طريقة لزياد التسارع والتزويد بالجاذبيّة دون استخدام الوقود المستدام؟ فسر (اعتمد على الملحق ب).
26. ● في ظل ظروف غاية في الحساسية، هل لإنسان قلق على كبر سنه أن يسكن في أعلى بناية عالية من الشقق أم في أسفلها؟
27. ■ في ظل ظروف غاية في الحساسية، هل لإنسان يحب أنّ يعيش حياة طويلة أن يسكن في أعلى بناية عالية من الشقق أم في أسفلها؟
28. ■ في ظل ظروف غاية في الحساسية، لو أضأت حزمة ملونة من الضّوء لصديق في برج عال، فهل الضّوء الذي استقبله صديقك هو اللون نفسه الذي أرسلته؟ فسّر
29. ♦ لماذا يختلف الانكماش الجذبي بين الشّمس وعطارد؟
30. متى تتحرك الساعات أبطأ ما يمكن على عطارد؟
31. ● ماذا يمكن أن تفترض عن توزيع المادة العاتمة لو كانت كواكب نظامنا الشّمسيّ كلها تدور حول الشّمس بالسرعة نفسها؟
32. ● لقد طوّر الفلكيون الأوائل مثل كبلر ونيوتن قوانين الجاذبيّة بناء على حركة الكواكب حول الشّمس. فكيف يمكن أن تختلف هذه القوانين لو كان نظامنا الشّمسيّ محاطًا بهالة سميكة من المادة العاتمة؟
33. ● ما القوة التي تسمح للمادة العاتمة بالتكتل؟
34. ■ إن كانت المادة العاتمة تتأثر بالجاذبيّة، فهل يمكن أنّ يوجد الكثير منها محيطًا بنا هنا على سطح الأرض؟
35. ● ما العلاقة بين المادة العاتمة والطّاقة العاتمة؟
36. ♦ لماذا لا تسمّى الطّاقةُ العاتمةُ القوةَ العاتمةَ؟
37. ■ ما الذي يحفظ المجرة من الانهيار على نفسها: المادة العاتمة أم الطّاقة العاتمة؟
38. ■ لو كان الكون غير متغير وكان هناك عدد غير محدود من النّجوم، فما الأثر الذي يحدث للظلام في سماء ليل صافية؟
39. ■ لما كان هنالك هذا العدد من النّجوم في المجرات، فَلِمَ نشاهد هذه الظلمة الشديدة في سماء ليل صافية؟
40. ♦ إذا كنا لا نستطيع التنبؤ حتى بالطقس، فكيف نستطيع التنبؤ بمصير الكون إذن؟

أنشطة استكشافية

كونك الداخلي

أوجد لنفسك مكانًا هادئًا ومريحًا لتجلس دون مقاطعة. ضع يديك على رجليك واجعل ظهرك مستقيمًا. تخيّل أنّ حبلا مربوطًا بقمة رأسك سيرفعك إلى الأعلى. حدّق في الأرض لبضعة أقدام أمامك. أرخ فكّيْك بحيث تبقى شفتاك مفتوحتين قليلا. وعند شعورك بالاسترخاء، ركّز على زفير نَفَسِكَ. وببساطة لاحظ أنّ زفيرك وكأنه يغادر جسمك ويتشتّت في محيطك. وعندما تجد نفسك مشغولًا بفكرة ما، صف الفكرة ودعها تنطلق بعيدًا. حينها، ستتوارد الأفكار الجديدة في عقلك. ولكن، عد بانتباهك إلى زفيرك. حاول ذلك مدة عشر دقائق على الأقل. حافظ على بساطة تجاربك العادية دون تردّد. باستخدام هذا الفن، قد تصل إلى نقطة تمكنك من تمييز مجرد وجودك من أفكارك المنطقية.

الجودة الأساسية

إذا نفّذت النشاط السابق، فستكتشف أن ليس من السهل أن تجد نفسك وسط أفكارك العديدة. وعلى الرّغم من ذلك، اعتبر أنها تستحق المحاولة، وأنها عادة صحية؛ حيث تصل إلى معرفة نفسك في وضع كهذا. وبمجرد شعورك بالراحة في تنفسك، تستطيع أنّ تجرب استقبال أفكار معينة والتي ستصبح ضمن اهتمامك وتفكيرك في الوقت الذي يتراجع فيه تنفسك إلى ما كان عليه. إنّ أحد الأفكار التي بإمكانك البدء بها هو فكرة مجرد وجودك ومجرد الوجود لكل حس يشرق بالحكمة التي يجب أن نسميها الجودةَ الأساسية. ووراء المظاهر الخادعة كلّها، وبغض النظر عن محاسنها، هناك جودة أساسية في كلّ إنسان. حاول تجربتها لمدة عشر دقائق على الأقلّ.

كونك الخارجي

بعد أن حصلت على التأمل والتفكر في الجودة الأساسية بأفكار واضحة مناسبة، هناك أفكار أخرى غير محدودة تستحق التأمل والتفكر. ففي سياق الكلام في هذا الفصل، حاول التفكر في حجم الكون المطلق. تصور نفسك على كرسيك، ثم وسع تفكيرك لترى نفسك في الغرفة، ثم في العمارة، ومن ثَمَّ في الكون. وسع الصّورة تدريجيًّا لتختبر كلّ مرحلة. ثم وسّع حتى ترى النظام الشّمسيّ كله يدور مع المجرة حول المجرات المجاورة فيما فوق العنقود والمكون من بلايين فوق العناقيد. وبعد تصوّر هذا كلّه، ركّز على حاسة الضخامة، وعندما تفقد الإحساس، توقف بحركة بطيئة أو سريعة بما يريحك.

اختبار الاستعداد للقراءة :

إذا استوعبت هذا الفصل جيدا، فعليك الإجابة عن 7 أسئلة من 10 إجابة صحيحة. وإنْ لم تتمكن من ذلك، فعليك الدراسة أكثر قبل الانتقال إلى الفصول اللاحقة

اختر أفضل إجابة لكلّ ما يلي:

1. واحد مما يلي دليل غير مقبول للانفجار الأعظم:
أ. الخلفية الإشعاعية للكون.
ب. تجانس حرارة الكون.
ج. وفرة الهيليوم.
د. الطّاقة العاتمة.

2. لو توقف الكون عن التّوسّع في هذه اللحظة فإنّ الانزياح الكونيّ نحو الأحمر للمجرات البعيدة:
أ. يختفي فورًا.
ب. يتحول تدريجيًّا إلى الانزياح الكونيّ نحو الأزرق.
ج. يتوقف ازدياد الانزياح نحو الأحمر عما هو عليه الآن.
د. لا يؤثر؛ لأنّ التوقف المفاجئ للتوسع سيخرج المجرات والكواكب جميعها من مداراتها. ولن نكون حينها موجودين للتحدث عن ذلك.

3. ما نسبة المجرات التي تولّدت في أثناء التّضخّم الكونيّ؟
أ. 100%
ب. نحو 70%
ج. نحو 24%
د. 0%

4. المشترك بين التّضخّم الكونيّ والطّاقة العاتمة عمومًا هو:
أ. كلاهما مسؤول عن توسّع الكون.
ب. كلاهما لا زال يحدث حتى الآن.
ج. كلاهما ظهر من الفراغات الواسعة للفضاء ما بين فوق العناقيد.
د. لا شيء.

5. ينحنى الضّوء في الحقل الجاذبي. ومع ذلك لا يأخذه المساحون في الحسبان وهم يستخدمون حزم الليزر كخطوط مستقيمة بسبب:
أ. انحناء الضّوء في الفضاء الخارجي فقط.
ب. عدم انحناء الضّوء الأحمر إلى هذا الحد. لذا فإنهم يستخدمون الليزر الأحمر.
ج. استثناء ضوء الليزر من هذه القاعدة.
د. انتقال الضّوء بسرعة بحيث لا يلاحظ هذا الانحناء.

6. يتباطأ الزّمن في الحقل الجاذبي. فهل يتباطأ الزّمن في الجاذبيّة الصناعية الناتجة في موطن فضائي دوار؟
أ. لا؛ لعدم وجود تسارع.
ب. نعم؛ بسبب مبدأ التكافؤ.
ج. لا؛ لأنّ المحطة الفضائية تدور بسرعة ثابتة.
د. نعم، حتى لو كانت الجاذبيّة صناعية.

7. هل هناك احتمال مبدئي لفوتون أن يدور حول نجم؟
أ. نعم، إذا كان الفوتون يتحرك بسرعة الضّوء.
ب. نعم، إذا كانت كثافة كتلة النّجم ضخمة بما فيه الكفاية لجعله ثقبًا أسود.
ج. لا؛ لأنّ الفوتون يسير دائمًا بمسارات مستقيمة.
د. لا؛ لأنّ النّجوم بحدّ ذاتها تنتج عددًا غير محدود من الفوتونات.
8. المادة العاتمة هي:
أ. مادة عادية أصبحت لا تصدر أيّ ضوء.
ب. تفسد مدارات كواكبنا.
ج. تنجذب نحو المادة العادية.
د. تتنافر مع المادة العادية.
9. الفضاء في كوننا المحلي:
أ. ليس فارغًا.
ب. مملوء جدًّا بالطّاقة.
ج. ليس مفهومًا جيدًا.
د. كل ما ذكر.
10. النظرية التي عن مصير الكون تفترض أنّ الطّاقة العاتمة ستنمو بشكل أقوى هي:
أ. الموت الحراريّ.
ب. التمزق الأعظم
ج. التّضخّم السّرمديّ.
د. كل ما ذكر.

إجابات اختبار الاستعداد للقراءة :

١. ج ٢. ج ٣. أ ٤. ج ٥. ب ٦. ج ٧. ب ٨. ج ٩. ب ١٠. ج

اكتشف المزيد

http://mag.gsfc.nasa.gov
هذا الموقع هو الصفحة الرئيسة لناسا حول مجلس ويلكنسون لتباين خواص الميكروويف (WMAD) والذي قاس اشعاع الخلفية الكونية بقدر كبير من التفصيل (ولم يتم تجاوزه سوى من قبل مجلس بلانك عام 2008) يتضمن صوراً وشروحات حول اساسيات علم الكون. تأكد من النظر على الكون والذي سينقلك إلى علم الكونيات 101 – وهي بداية لمناقشات كثيرة حول المواضيع التي ناقشناها في هذا الفصل وغيرها الكثير.

http://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_inflation
يوفر موقع ويكيبيديا نظرة شاملة عن توسع الكون، إضافة الى العديد من الروابط التشعبية الأخرى.

http://www.pbs.org/wgbh/nova/einstein/relativity
كتب هذا الوصف لانيشتاين ونظريته النسبية من قبل الفيزيائي المشهور آلن لايثمن.

http://en.wikipedia.org/wiki/Modified_Newtonian_dynamics http://www.astro.umd./_ssm/mond
قم بزيارة مواقع الشبكة هذه للحصول على المزيد من المعلومات حول نموذج ديناميات نيوتن المعدل (MOND) المعروض ضمن هذا الفصل الذي يوجد بالقرب من مناقشة المادة المعتمة في الفصل *28.4*.

http://pauli.physics.lsa.umich.edu/w/arch/som/sto2001/Guth/real/n001.htm
شاهد آلن جوث يقدم حلقة دراسية حول الأفكار الأساسية لتضخم الكون والتضخم الابدي. تظهر حلقته الدراسية تقنية كثيراً وخاصة خلال النصف الثامن من الحلقة. ولكن بعد دراسة هذا الفصل، يجب أن تكونت قادراً على تعرف الكثير من تلك الأفكار.

http://space.mit.edu/home/tegmark/multiverse.html
هذه هي الصفحة الرئيسة ل ماكس يتجمارك وهو بروفسور في معهد ماساتشوستس للتقنية (MIT) وهو منخفض في أفكار وجود أكوان موازنة والتي يصفنها عند اربع مستويات مختلفة.

الفصل 28 مصادر على الشبكة

أشكال تفاعلية
- 28.1

دروس تعليمية
- قانون هابل
- مصير الكون

أشرطة فيديو
- من الانفجار العظيم وحتى المجرات

اختبار قصير

بطاقات تعليمية

روابط

ملحق أ
القياس وتحويل الوحدات

هناك نظامان رئيسان للقياس في العالم اليوم هما: *نظام الولايات المتحدة* (USCS) المعروف سابقًا بالنظام البريطاني للوحدات، وهو المستخدم في الولايات المتحدة الأمريكية وفي بورما، و*النظام العالمي* (SI) (وهو النظام العالمي أو المتري)، المستخدم في أنحاء العالم كلّه. ولكل نظام مقاييسه للطول، والكتلة، والزمن، والتي تسمى أحيانًا *الوحدات الأساسية*؛ لأنه عندما يتم تحديدها، يمكن قياس الكميات الأخرى بدلالاتها.

النظام المعروف في الولايات المتحدة

هذا النظام مبني على النظام الإمبريالي البريطاني، وهو نظام *USCS* المألوف للجميع في الولايات المتحدة. يستخدم هذا النظام القدم وحدةً للطول، والباوند وحدةً للوزن أو القوة، والثانية وحدةً للزمن. حاليًّا، تم إحلال النظام العالمي مكان الـ USCS – بسرعة في العلوم والتكنولوجيا (جميع عقود وزارة الدفاع الأميركية عام 1988) وبعض الرياضات (المسارات والسباحة). ولكن هذا الإحلال يسير ببطء في بعض المناطق الأخرى. ويبدو أن التغيير لن يحدث أبدًا في بعض التخصصات. مثلًا، سنستمر في شراء مقاعد عند خط الخمسين ياردة، وستظلّ أفلام التصوير بالملمتر، وأقراص الحاسوب بوحدة البوصة.

لقياس الزمن، ليس هناك فرق بين النظامين ما عدا نظام SI. الوحدة الوحيدة للزمن هي الثانية (S، وليس Sec.) ولكن عمومًا، تقبل الدقيقة، والساعة، والسنة، إلى آخره، باختصارين إضافيين أو أكثر (h، وليس hr).

النظام العالمي

في أثناء المؤتمر الدولي عن الأوزان والمقاييس الذي عقد في باريس عام 1960م، عُرفت وحدات النظام الدولي وأعطيت شرعية. يبين الجدول أ.1 وحدات *SI* على أساس *النظام المتري* الذي تم إيجاده من العلماء الفرنسيين بعد الثورة الفرنسية في عام 1791م. إن ترتيب هذا النظام يجعله مفيدًا في الأعمال العلمية، ويستخدم من قبل العلماء في جميع أنحاء العالم. ينقسم النظام المتري إلى نظامين من الوحدات. في أحدهما، تكون وحدة الطول المتر، ووحدة الكتلة الكيلوجرام، ووحدة الزمن الثانية. يسمى هذا النظام *متر – كيلوجرام – ثانية* نظام (*mks*) ويفضل في الفيزياء. أمّا النظام الآخر فهو سنتمتر – جرام – ثانية. إنّ نظام (*cgs*) مفضل في الكيمياء بسبب قِيَمه الصغيرة. ترتبط وحدات *cgs* و*mks* معًا كما يلي: 100 سنتمتر تساوي 1 متر، 1000 جرام يساوي 1 كيلوجرام. ويبين الجدول أ.2 العديد من وحدات الطول مرتبطة معًا.

الجدول أ.1 وحدات SI

الكمية	الوحدة	الرمز
الطول	المتر	m
الكتلة	الكيلوجرام	kg
الزمن	الثانية	s
القوة	النيوتن	N
الطاقة	الجول	J
التيار	الأمبير	A
درجة الحرارة	الكلفن	K

الجدول أ-2 جدول التحويلات المختلفة بين الوحدات المختلفة للطول

وحدة الطول	الكيلومتر	المتر	السنتمتر	البوصة	القدم	الميل
1 كيلومتر	=1	1000	100,000	39,370	3280.84	0.62140
1 متر	=0.001	1	100	39.37	3.28084	$10^{-4} \times 6.21$
1 سنتمتر	$= 1.0 \times 10^{-5}$	0.01	1	0.3937	0.032808	$10^{-6} \times 6.21$
1 بوصة	$= 2.54 \times 10^{-5}$	0.0254	2.54	1	0.0333	$10^{-5} \times 1.58$
1 قدم	$= 3.05 \times 10^{-4}$	0.3048	30.48	12	1	$10^{-4} \times 1.89$
1 ميل	= 1.60934	1609.34	160,934	63,36	5280	1

الجدول أ.3 بعض الرموز القبلية

الرمز	التعريف
ميكرو-	جزء من مليون: ميكروثانية واحدة من مليون من الثانية.
مل-	جزء من ألف: ملجرام جزء من ألف من الجرام.
سنت-	جزء من مئة: السنتمتر جزء من مئة من المتر.
كيلو-	ألف: الكيلوجرام هو 1000 جرام.
ميجا-	مليون: الميجاهرتز هي 1 مليون هرتز.

إنّ إحدى المزايا الرئيسة للنظام المتري هي استخدامه للنظام العشري، حيث ترتبط الوحدات جميعها مع الوحدات الأصغر أو الأكبر بالقسمة أو الضرب في 10. يبين الجدول أ.3 الرموز القبلية المألوفة المستخدمة لبيان العلاقة بين الوحدات.

المتر

المتر مقياس الطول في النظام المتري، عرف ابتداءً بدلالة المسافة من القطب الشمالي إلى خط الاستواء. لقد قدرت المسافة في ذلك الزمن بنحو 10,000 كيلومتر تقريبًا؛ أي جزء من عشرة ملايين جزء منها. وقد حُدِّد المتر بدقة، وعُلِّم بدلالة حزوز على قضيب من سبيكة البلاتين – الإيريديوم. وقد حُفظ هذا القضيب في المكتب الدولي للأوزان والمقاييس في فرنسا. وقد تمت معايرة المتر منذ ذلك الوقت بدلالة طول موجة الضوء – وهو 1,650,763,73 مضروبًا في طول موجة الضوء البرتقالي المنبعث من ذرات الكربتون – 86. يعرف المتر الآن، على أنه طول المسار الذي يقطعه الضوء في الفراغ خلال فترة زمنية مقدارها 1/299,792,458 من الثانية.

الكيلوجرام

وحدة قياس الكتلة، الكيلوجرام، قطعة من سبيكة البلاتين – الإيريدوم، محفوظة في المكتب الدولي للأوزان والمقاييس الموجود في فرنسا (الشكل أ.1). يساوي الكيلوجرام 1000 جرام. الجرام هو كتلة 1 سنتمتر مكعب من الماء عند درجة حرارة 4°س. (يعرف الباوند القياسي بدلالة الكيلوجرام القياسي، فكتلة الجسم الذي وزنه 1 باوند تساوي 0.4536 كيلوجرام.)

الشكل أ.1
الكيلوجرام المعياري (القياسي).

الثانية

إنّ وحدة القياس الرسمية للزمن في كلا النظامين USCS وSI هي الثانية. وقد كانت حتى عام 1956 تعرف بدلالة معدل اليوم الشمسي الذي قسم إلى 24 ساعة. وقسمت كل ساعة إلى 60 دقيقة. وقسمت كلّ دقيقة إلى 60 ثانية. وهكذا، يوجد 86,400 ثانية في كل يوم. وتعرف الثانية بأنها 1/86,400 من معدل اليوم الشمسي.
لقد أثبت أن هذا غير كافٍ لأنّ معدل دوران الأرض يصبح أيضًا تدريجيًّا. في عام 1956م، تم اختيار معدل اليوم الشمسي لعام 1900م كمعيار لقياس الثانية. وفي عام 1964م، عرفت الثانية رسميّا على أنها الزمن الذي تستغرقه ذرة السيزيوم – 133 لعمل 9,192,631,770 اهتزاز.

النيوتن

النيوتن الواحد هو القوة اللازمة لتسريع كيلوجرام بمقدار 1 متر لكل ثانية. وقد سميت هذه الوحدة بهذا الاسم تكريمًا للسيد إسحق نيوتن (Isaac Newton).

الجول

يساوي الجول الواحد كمية الشغل المبذول من قوة مقدارها 1 نيوتن تؤثر لمسافة مقدارها 1 متر. اعتمد الجول في عام 1948م من المؤتمر الدولي للأوزان والمقاييس كوحدة للطاقة. وهكذا، فإن الحرارة النوعية للماء عند درجة حرارة 15°س تعطى الآن بـ 4185.5 جول لكل كيلوجرام.درجة سيليزية. يرتبط هذا الرقم دائمًا بالمكافئ الميكانيكي للحرارة – 4.1855 جول لكل سعر.

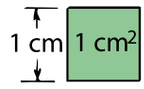
الأمبير

يعرف الأمبير على أنه شدة التيار الكهربائي الثابت، الذي إذا مر في موصلين متوازيين لا نهائيين في الطول مع إهمال مساحة المقطع موضوعين على بعد متر واحد أحدهما من الآخر في الفراغ، فستنتج قوة بينهما تساوي
2×10^{-7} نيوتن لكل متر من الطول. وفي معالجتنا للتيار الكهربائي في هذا المقرر، استخدمنا التعريف غير الرسمي، ولكنه سهل الاستيعاب، على أنّه معدل انسياب 1 كولوم من الشحنة لكل ثانية، حيث 1 كولوم من الشحنة يساوي 6.25×10^{18} إلكترون.

الكلفن

سميت الوحدة الأساسية لدرجة الحرارة بهذا الاسم تكريمًا للعالِم وليام تومسون *William Thomson* اللورد كلفن Kelvin. يعرف الكلفن على أنه 1/273.15من درجة حرارة الديناميكا الحرارية للنقطة الثلاثية للماء *(النقطة الثابتة التي يوجد عندها كلّ من الجليد، والماء السائل، وبخار الماء في حالة اتزان)*. واعتمد هذا التعريف في عام 1968م عندما قرر تغيير اسم درجة كلفن *(°K)* إلى *(K)*. إنّ درجة انصهار الجليد عند ضغط جوي واحد هي 273.15 *كلفن*. وأنّ درجة الحرارة التي يكون عندها ضغط بخار الماء مساويًا لضغط جوي معياري هي 373.15 *كلفن (*درجة حرارة غليان الماء عند ضغط جوي معياري*)*.

المساحة

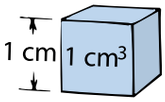


الشّكل أ.2
وحدة تربيع.

وحدة المساحة هي مربع وحدة قياس الطول كضلع. في *USCS*، إنها المربع الذي طول ضلعه 1 قدم، يسمى قدمًا مربعًا ويكتب *(قدم)*^{2}. في النظام العالمي، إنه المربع الذي طول ضلعه 1 متر، والذي يصنع مساحة 1م^2. وفي نظام *cgs* هو 1سم^2. إنّ مساحة سطح معين هي عدد الأقدام المربعة، الأمتار المربعة، السنتمترات المربعة التي يستطيع استيعابها. مساحة المستطيل تساوي طول القاعدة × الارتفاع.

وتساوي مساحة الدائرة $p\ r^2$ ؛ حيث $p = 3.14$ وr نصف قطر الدائرة. أمّا صيغ مساحات السطوح للأشكال الهندسية الأخرى فتوجد في مقررات الهندسة.

الحجم



الشّكل أ.3
وحدة حجم.

يشير حجم الجسم إلى الفضاء الذي يحتله. وحدة الحجم هي الفضاء الذي يشغله مكعب طول ضلعه وحدة طول. في نظام *USCS*، وحدة الحجم هي الفضاء الذي يحتله مكعب طول ضلعه قدم واحدة ويسمى قدمًا مكعبة، ويكتب 1 *(قدم)*^{3}. وفي النظام المتري، إنه الفضاء الذي يحتله مكعب طول كل من جوانبه 1 متر *(SI)* أو 1 سنتمتر *(cgs)*. ويكتب 1م^3 أو سم^3. لذا، يحدد حجم فضاء معين بعدد الأقدام المكعبة، أو الأمتار المكعبة، أو بعدد السنتمترات المكعبة التي يستطيع استيعابها.

في نظام *USCS*، تقاس الأحجام بالكوارتات، أو الجالونات، أو البوصات المكعبة، وأيضًا بالقدم المكعب. هناك 1728 *(12 × 12 × 12)* بوصة مكعبة في 1 قدم مكعبة. يبلغ حجم الجالون في الولايات المتحدة 231 إنشا مكعبا. ويساوي الجالون الواحد 4 كوارتات. في نظام *SI* تقاس الأحجام أيضًا باللترات؛ فاللتر الواحد يساوي 1000 سم^3.

تحويل الوحدات

في العلوم غالبًا، وخصوصًا في التجهيز المختبري، من الضروري التحويل من وحدة إلى أخرى. ولعمل هذا، تحتاج فقط إلى ضرب الكمية المعطاة في *معامل التحويل* المناسب.

يمكن كتابة معاملات التحويل جميعها كنسب، بحيث يمثل البسط والمقام الكمية المكافئة معبرًا عنها بوحدات مختلفة. ولأنّ قسمة أي كمية على نفسها تساوي 1، فإنّ معاملات التحويل جميعها تساوي 1. مثلًا، العاملان التاليان تم اشتقاقهما من العلاقة:

100 سنتمتر = 1 متر:

$$100 \text{ سنتمتر} / 1\text{م} = 1 = 1 \text{ م} / 100 \text{ سنتمتر} = 1$$

ولأنَّ جميع معاملات التحويل تساوي 1، فإن ضرب الكمية في معامل التحويل لا يغير قيمة تلك الكمية. إنّ ما يتغير هو الوحدات فقط. افترض أنك قست طول شيء معين ووجدته 60 سنتمترا. يمكنك تحويل هذا القياس إلى أمتار بضربه في معامل التحويل الذي يسمح لك باختزال السنتمترات.

مثال

حوّل 60 سنتمترًا إلى أمتار.

الجواب

$$60 \text{ سنتمترًا} \times \frac{1 \text{ متر}}{100 \text{ سنتمتر}} = 0.6 \text{ متر}$$

الكمية بالسنتمتر — معامل التحويل — الكمية بالأمتار

ولاشتقاق معامل التحويل، عد إلى جدول يمثل تكافؤ الوحدات مثل الجدول أ.2، أو في غلاف هذا الكتاب. ثم اضرب الكمية المعطاة في معامل التحويل، وهكذا تحول الوحدات. احرص دائمًا على كتابة الوحدات. إنها الدليل المهم؛ فهي التي تخبرك أين تذهب الأرقام، وكذلك تخبرك عما إذا كنت كتبت المعادلة بشكل مناسب.

■ اختبر نفسك

اضرب كل كمية فيزيائية في معامل التحويل المناسب لإيجاد القيمة الرقمية بالوحدة الجديدة المشار إليها. ستحتاج إلى ورقة، وقلم، وحاسبة، وجدول مكافئات الوحدة.

أ. 7320 جرامًا إلى كيلوجرامات.

ب. 235 كيلوجرامًا إلى باوندات.

جـ. 2.61 ميل إلى كيلومترات.

د. 100 سعر إلى كيلوسعرات.

هل كانت هذه إجابتك؟

أ. 7.32 كجم.

ب. 518 باوندًا.

جـ. 4.2 كم.

د. 0.1 كيلوسعر.

ملحق ب

الحركة الخطّيّة والدّورانيّة

عندما نصف حركة شيء ما، فإننا نصف كيفية حركته بالنسبة إلى شيء آخر (الفصل الأول)؛ أي أنّ الحركة تتطلب محور إسناد (مراقب، نقطة الأصل والمحاور). ونستطيع اختيار موقع هذا الإسناد على أن يكون متحركًا بالنسبة إلى إسناد آخر. عندما يكون محور حركة غير متسارع، يقال إنه *محور قصوري*. في إطار الإسناد القصوري، تتسبب القوة في تسريع الجسم وفق قوانين نيوتن. وعندما يتسارع محور الإسناد، نلاحظ قوى وحركات افتراضية غير حقيقية. مثلًا، تختلف ملاحظتنا عن حركة الفرسان الخاصة في العروض عندما يدورون عن ملاحظتنا عندما يكونون ساكنين. إذن، يعتمد وصفنا للحركة والقوة على "وجهة نظرنا".

لقد ميَّزنا بين *السرعة* و*السرعة المتجهة* في الفصل الأول. وأشرنا إلى أنّ السرعة هي سرعة تحرك الأشياء، أو المعدل الزمني لتغير الموقع ما عدا الاتجاه، وهي كمية قياسية. أمّا السرعة المتجهة فتتضمن اتجاه الحركة، وهي كمية متجهة، ومقدارها هو السرعة. إنّ الأجسام المتحركة بسرعة متجهة ثابتة تقطع مسافات متساوية خلال أزمنة متساوية في الاتجاه نفسه.

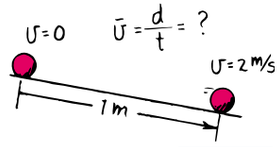
وهناك فرق آخر بين السرعة والسرعة المتجهة وهو ما يتعلق بالاختلاف بين المسافة ومحصلة المسافة أو *الإزاحة*. السرعة هي *المسافة لكل فترة زمنية*، في حين أنّ السرعة المتجهة هي الإزاحة لكل فترة زمنية. وتختلف الإزاحة عن المسافة؛ فمثلًا، المسافر الذي ينتقل 10 كم إلى مكان عمله يقطع مسافة 20 كم، ولكنه لم يذهب إلى "أي مكان". إنّ المسافة المقطوعة هي 20 كم، ولكن الإزاحة صفر. ومع أنّ السرعة اللحظية والسرعة اللحظية المتجهة متساويتان في القيمة عند اللحظة نفسها، ولكنهما قد تختلفان في معدّل السرعة بينهما بشكل كبير. فمعدل السرعة لهذا المسافر 20 كم مقسوم على مجموع زمن المسافر؛ مقدار أكبر من صفر. ولكن معدّل السرعة المتجهة صفر. في العلوم، غالبًا ما تكون الإزاحة أهم من المسافة. (لتجنب كثرة المعلومات، لم نعالج الفرق في هذا المقرر).

إنّ التسارع هو معدل تغير السرعة المتجهة. ومن الممكن أن يكون هذا التغير في السرعة فقط، أو في الاتجاه فقط، أو في كليهما. وعادة، يسمى التسارع السالب *تباطؤًا*.

في المكان والزمان النيوتوني، للمكان ثلاثة أبعاد هي الطول والعرض والارتفاع. ولكل بعد اتجاهان. يمكننا أن نتحرك أو نتوقف أو نرجع من أي منهما. أما الزمن فله بعد واحد، في اتجاهين هما الماضي والمستقبل، وفيهما لا يمكننا التوقف أو العودة، بل يمكننا التقدم فقط. وفي "الفضاء – الزمان" (الزمكان) أينشتاين، تتوحد هذه الأبعاد الأربعة (ملحق هـ).

حساب السرعة المتجهة والمسافة المقطوعة على مستوى مائل

تذكر من الفصل الأول تجربة جاليليو مع السطوح المائلة. سندرس مستوى مائلًا بحيث تزداد سرعة الكرة المتدحرجة بمعدل 2 م/ث كل ثانية – تسارع 2 م/ث^2. بحيث إنه في اللحظة التي بدأت الحركة كانت سرعتها المتجهة صفرًا، وبعد ثانية واحدة تتدحرج بـ 2 م/ث، وعند نهاية الثانية الثانية تصبح السرعة 4 م/ث، وفي نهاية الثانية التالية تصبح 6 م/ث وهكذا. وتكون سرعة الكرة عند أيّ لحظة، ببساطة، السرعة المتجهة = التسارع × الزمن. أو بالرموز المختصرة $V = at$. (عادة تهمل إشارة الضرب، ×، عند التعبير عن العلاقة بصيغة رياضية. وعند كتابة رمزين معًا، مثل at في هذه الحالة، فهذا يعني أنهما مضروبان في أحدهما في الآخر).

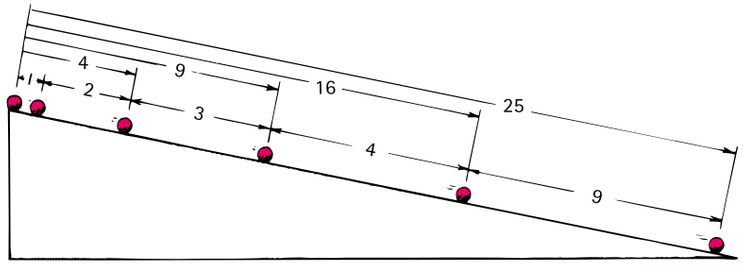


الشّكل ب.1

تتدحرج الكرة 1 متر أسفل المستوى المائل في 1 ثانية، وتصل إلى سرعة 2 م/ث. ولكن معدل السرعة 1 م/ث. فهل ترى السبب؟

إنّ سرعة تدحرج الكرة شيء، والمسافة المقطوعة شيء آخر. ولفهم العلاقة بين التسارع والمسافة المقطوعة، علينا معرفة العلاقة بين السرعة المتجهة اللحظية ومعدل *السرعة المتجهة*. إذا بدأت الكرة المبينة في الشكل ب.1، الحركة من السكون، فإنها تتدحرج مسافة متر واحد في الثانية الأولى. ما معدل سرعتها؟ الجواب هو 1 م/ث (لقد قطعت مسافة 1م في فترة زمنية 1 ثانية). ولكننا رأينا أنّ السرعة اللحظية في نهاية الثانية الأولى 2 م/ث. وبما أنّ التسارع منتظم، فإنّ المعدل في أي فترة زمنية يوجد بالطريقة نفسها التي يوجد فيها معدل أي رقمين: اجمع الرقمين واقسم على 2، للحصول على 1 م/ث لمعدل السرعة.

نرى أن المسافة المقطوعة في كل ثانية تالية هي أطول على المستوى ثابت الميل، كما في الشكل ب.2. لاحظ أن المسافة المقطوعة في الفترة الزمنية الثانية 3 أمتار. وهذا لأن معدل سرعة الكرة في هذه الفترة هو 3 م/ث. في الفترة الزمنية التالية، يكون معدل السرعة 5 م/ث. وعليه، تكون المسافة المقطوعة 5م. من المدهش ملاحظة أن الزيادات المتتالية للمسافة هي على هيئة متتالية للأعداد الفردية: حقًّا، القواعدُ الرياضيةُ تحكم الطبيعةَ!



الشّكل ب.2

إذا قطعت الكرة مسافة 1م خلال الثانية الأولى، ثم في كل ثانية تالية ستقطع متتالية من الأعداد الفردية 3، 5، 7، 9 م، وهكذا. فسنلاحظ أن المسافة الكلية المقطوعة تزداد مع مربع مجموع الزمن.

ادرس الشكل ب.2 بتمعن. ولاحظ أن مجموع المسافة المقطوعة عندما تتسارع الكرة أسفل المستوى. تتغير المسافة من 0 إلى 1 متر في ثانية واحدة، ومن 0 إلى 4 أمتار في ثانيتين، ومن 0 إلى 9 أمتار في 3 ثوان، ومن 0 إلى 16 مترًا في 4 ثوان. وهكذا في الثواني التالية. المتتالية لمجموع المسافات المقطوعة مع مربع الزمن. وسندرس العلاقة بين المسافة المقطوعة ومربع الزمن لتسارع ثابت بالتفصيل في حالة السقوط الحر.

■ **اختبر نفسك**

خلال الفترة الزمنية الثانية، تبدأ الكرة بسرعة 2 م/ث وتنتهي بـ 4 م/ث. ما معدل السرعة للكرة خلال هذه الفترة 1ث؟ وما تسارعها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

معدل السرعة = السرعة *[الابتدائية* + النهائية*]* ÷ 2 = (2م/ث + 4 م/ث) ÷ 2 = 3 م/ث.
التسارع =التغير في السرعة / الفترة الزمنية = (4 م/ث – 2 م/ث) ÷ 1 ث = 2 م/ث ÷ 1 ث = 2 م/ث^2.

■ حساب المسافة عند تسارع ثابت

كم يقطع الجسم الساقط من السكون في فترة زمنية معينة؟ للإجابة عن هذا السؤال، دعنا ندرس الحالة التي يسقط بها جسم لثلاث ثوانٍ، ابتداءً من السكون. بإهمال مقاومة الهواء، يكون تسارع الجسم ثابتًا، ويساوي نحو 10م لكل ثانية في الثانية (في الواقع أقرب إلى 9.8 م/ث^2، ولكننا نريد تسهيل العمليات الحسابية).

الحركة الخطية والدورانية ب-3

السرعة عند البداية = 0 م/ث
السرعة عند نهاية الثانية الثالثة= (10 × 3) م/ث

معدل السرعة = $\frac{1}{2}$ (مجموع هاتين السرعتين)

= $\frac{1}{2}$ (0 + 10×3) = 15 م/ث

المسافة المقطوعة = معدل السرعة × الزمن

= ($\frac{1}{2}$ × 10 × 3) × 3

= $\frac{1}{2}$ × 10 × 3^2 = 45 متر.

وندرك من معاني هذه الأرقام أن:

المسافة المقطوعة = $\frac{1}{2}$ × التسارع × مربع الزمن

هذه المعادلة صحيحة ليس فقط للجسم الساقط لمدة 3 ثوان، بل لأي فترة زمنية، ما دام التسارع ثابتًا. إذا رمزنا إلى المسافة المقطوعة بـ *d* و *a* للتسارع و *t* للزمن، أمكننا كتابة القاعدة برموز مختصرة كما يلي:

$$d = \frac{1}{2}at^2$$

اشتقت هذه العلاقة أول مرة من قِبَل جاليليو. لقد أدرك أنه إذا سقط جسم، لنقل، لضعف الزمن، فسيسقط بضعف *معدل السرعة*. ولأنه يسقط في *ضعف الزمن* بضعف معدل السرعة، فسيسقط *أربعة* أضعاف المسافة. وبالمثل، إذا سقط جسم لثلاثة أضعاف الزمن لوحدة الزمن، فسيكون له ثلاثة أضعاف معدل السرعة، وسيكون له كذلك تسعة أضعاف المسافة. لقد أدرك جاليليو أن مجموع المسافة المقطوعة يجب أن يتناسب مع *مربع* ذلك الزمن.

في حالة السقوط الحر للأجسام، من المعتاد استخدام الرمز *g* ليمثل التسارع بدلًا من الحرف *a* (*g* لأن التسارع بسبب الجاذبية). تتغير قيمة *g* قليلًا في المناطق المختلفة من العالم، إنها تساوي 9.8م/ث^2 (32 قدم/ث^2) تقريبًا. إذا استخدمنا *g* لتسارع جسم يسقط سقوطًا حرًّا (مقاومة الهواء مهملة)، فإن معادلات سقوط الأجسام بدءًا من موقع السكون تصبح:

$$v = gt$$
$$d = \frac{1}{2}gt^2$$

تأتي معظم الصعوبة في تعلم الفيزياء، مثل تعلم أي فرع آخر من المعرفة، من الصعوبة المتعلقة بتعلم اللغة من حيث تعدد المصطلحات والتعريفات. تختلف السرعة بطريقة ما عن السرعة المتجهة، والتي تختلف جذريًّا عن التسارع . من فضلك، كن صبورًا، وتعلم التشابه والاختلاف بين المفاهيم الفيزيائية؛ فهذه ليست بالمهمة السهلة.

الشّكل ب.3

عندما يطلق شلسي (Chelcie) الكرتين في الوقت نفسه فإنه يسأل: "أيهما تصل إلى نهاية المسارين المتساويين في الطول أولا؟" (مساعدة: في أي المسارين يكون معدل سرعة الكرة أكبر؟ تلميح آخر: أيّ الكرتين تسبق: السريعة أم البطيئة؟).

■ **اختبر نفسك**

1. تتحرك سيارة ذات تسارع ثابت 4 م/ث^2 من السكون. كم مترًا تقطع في 5 ثوانٍ؟
2. ما المسافة التي يسقطها جسم انطلق من السكون في ثانية واحدة؟ التسارع في هذه الحالة $g = 9.8$ م/ث^2.
3. إذا استغرق جسم 4 ثوانٍ ليضرب الماء من أعلى جسر البوابة الذهبية. علمًا أنّ سقوطه كان حرًّا. فما ارتفاع الجسر؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. المسافة $= \frac{1}{2} \times 4 \times 5^2 = 50$ م.

2. المسافة $= \frac{1}{2} \times 9.8 \times 1^2 = 4.9$ م.

3. المسافة $= \frac{1}{2} \times 9.8 \times 4^2 = 78.4$ م.

لاحظ أنه عند استعمال وحدات القياس المناسبة، تنتج الوحدة المناسبة للمسافة بالمتر.

$$d = \frac{1}{2} \times 9.8 \text{ م} \times 16 = 78.4 \text{ م}.$$

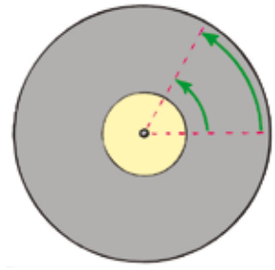
■ الحركة الدائرية

السرعة الخطية هي التي نسميها ببساطة السرعة – المسافة بالمتر أو الكيلومتر لوحدة الزمن. تتحرك نقطة على محيط دائرة أو طاولة دائرية مسافة أكثر في دورة كاملة من نقطة قريبة من المركز. إن قطع مسافة أكبر في الزمن نفسه يعني سرعة أكبر. وأنّ سرعة أي شيء يتحرك في مسار دائري هي **سرعة ماسيّة**؛ لأنّ اتجاه الحركة ماس للدائرة.

السّرعة الدورانيّة (تسمى أحيانًا السّرعة الزّاويّة) ترمز إلى عدد الدورات في وحدة الزّمن. تدور أجزاء الدوارة جميعها حول محور الدوران في مقدار الزمن نفسه. كما تتشارك الأجزاء جميعها في معدل الدوران، أو عدد الدورات في وحدة الزمن. من المألوف التعبير عن معدل الدورات لكل دقيقة (*rpm*).* يدور جهاز الفونوغراف الذي كان مألوفًا قبل عدة سنوات بسرعة 1/3 33 دورة في الدقيقة. وتدور أي نقطة على سطح قرص المسجل بـ 1/3 33 دورة في الدقيقة.

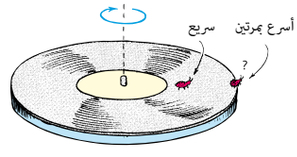
إنّ السرعة الماسية تتناسب مباشرة مع سرعة الدوران (عند نقطة على بعد قطري ثابت). على عكس السرعة الدورانية، وتعتمد السرعة الماسية هذه على البعد عن المحور (الشكل ب.5). إنّ أي شيء عند مركز السطح الدوار ليس له سرعة ماسية على الإطلاق، إنه يدور فقط. ولكن عند الاقتراب من حافة السطح، تزداد السرعة الماسية.

تتناسب السرعة الماسية تناسبًا مباشرًا مع البعد عن المحور (لسرعة دورانية معينة).



الشّكل ب.4

عند تشغيل الفونوغراف (الحاكي) تقطع النقطة الأبعد عن المركز مسارًا أطول في الوقت نفسه، ولها سرعة أعلى.



الشّكل ب.5

يدور القرص كله بالسرعة الزاوية نفسها، ولكن النقاط المختلفة تنتقل على مسافات مختلفة من المركز بسرعات زاوية مختلفة. تنتقل النقطة التي على ضعفي المسافة من نقطة أخرى بضعف السرعة.

* عادة، يصفون في تخصص الفيزياء سرعةَ الدوران بدلالة الزاوية نصف القطرية "راديان" بوحدة زمن، ويستخدمون لها الرمز ω (الحرف اليوناني أوميجا). هناك أكثر بقليل من 6 راديان في الدورة الواحدة (2π راديان بالضبط).

وعند نقطة على ضعف المسافة من محور الدوران، تتضاعف سرعة الدوران مرتين. وعند مسافة ثلاثة أضعاف محور الدوران، تكون السرعة المماسية 3 أضعاف. وعندما يصطف الناس وأياديهم متشابكة حول حلقة التزلج ويدورون، فإنّ سرعة الشخص الأول تكون كبيرة بشكل واضح بالنسبة إلى سرعة الأخير. وهكذا، فإن السرعة المماسية تتناسب تناسبًا مباشرًا مع كلّ من سرعة الدوران والمسافة القطرية*.

اختبر نفسك

على منصة دوار مثل ذلك القرص المبين في الشكل ب.5، إذا جلست في منتصف المسافة بين محور الدوران والحافة الخارجية، وكانت سرعتك الدورانية 20 دورة في الدقيقة والسرعة المماسية 2 م/ث، فما سرعة دوران صديقك الذي يجلس على الحافة الخارجية؟ وما سرعته المماسية كذلك؟

هل كانت هذه إجابتك؟

بما أنّ السطح الدوار صلب، فإنّ الأجزاء جميعها لها سرعة الدوران نفسها. وعليه، فإن سرعة دوران الصّديق هي 20 دورة في الدقيقة. أمّا السرعة المماسية فإنها تتحرك بضعف السرعة – 4 م/ث؛ لأنها على ضعف البعد عن محور الدوران.

الازدواج (عزم الدوران)

في حين تسبب القوة تغيرًا في السرعة، فإنّ الازدواج يسبب تغيرًا في الدوران. ولفهم الازدواج: أمسك مسطرة مترية من أحد طرفيها أفقيًّا بيدك. إذا علقت وزنًا من المسطرة بالقرب من يدك أمكنك الشعور بالتوائها. والآن، إذا حرّكت الوزن بعيدًا عن يدك، فستشعر بالتواء أكبر، مع أنّ الوزن هو نفسه. إنّ القوة التي تؤثر في يدك هي نفسها، ولكن الذي اختلف هو عزم الدوران.

عزم الدوران = ذراع الرافعة × القوة

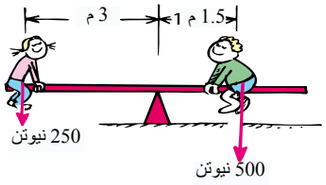
ذراع الرافعة هو المسافة بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران. إنها أقصر مسافة بين القوة المؤثرة ومحور الدوران. إنّ عزم الدوران مألوف للأطفال الذين يلعبون على الأرجوحة (الشكل ب.7). يوازن الطفلان الأرجوحة حتى عندما يكون وزناهما مختلفَين. الوزن وحده لا يعمل دورانًا، بل عزم الدوران هو الذي يعمل دورانًا. يدرك الأطفال بسرعة أن الجلوس على بُعد معين من نقطة الارتكاز مهم جدًّا مثل الوزن (الشكل ب.7). عندما تكون عزوم الدوران متساوية، تكون محصلة عزوم الدوران صفرًا؛ أي لا ينتج هناك دوران.

تذكر قاعدة الاتزان في الفصل الأول وهي: مجموع القوى المؤثرة في جسم ما أو أي نظام يجب أن تساوي صفرًا للاتزان الميكانيكي. أي أنّ: $\Sigma F = 0$. نرى الآن شرطًا إضافيًّا، وهو عزم الدوران الصافي على جسم ما أو نظام ما، والذي يجب أن يكون صفرًا من أجل الاتزان الميكانيكي. إنّ أيّ شيء في حالة اتزان ميكانيكي لا يتسارع؛ لا خطيًّا ولا دورانيًّا.

افترض أن الأرجوحة رتبت بحيث إن بنتًا بنصف ثقل البنت الأثقل علقت بحبل طوله 4 أمتار مربوط في نهاية الأرجوحة (الشّكل ب.8). إنها الآن على بعد 5 أمتار من نقطة الارتكاز، وما تزال الأرجوحة متزنة. يمكننا ملاحظة أن ذراع الرافعة ما زال 3 أمتار وليس 5 أمتار. إنّ ذراع الرافعة حول أيّ محور دوران هو المسافة العمودية من محور الدوران إلى الخط الذي تؤثر فيه القوة. هذه دائمًا هي أقصر مسافة بين محور الدوران والخط الذي تؤثر القوة في طوله.

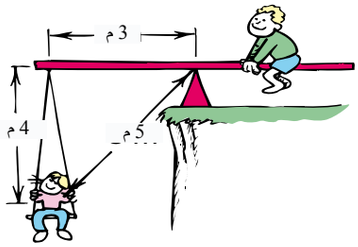
الشّكل ب.6

إذا حركت الوزن بعيدًا عن يدك، فستشعر بالفرق بين القوة والعزم.



الشّكل ب.7

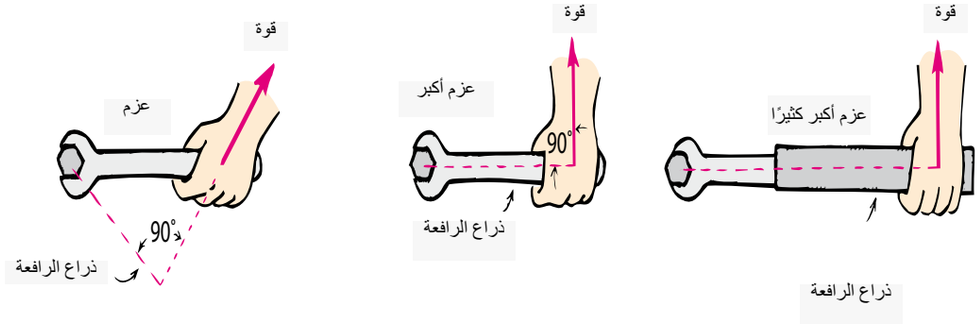
لا يحصل دوران عند تساوي العزمين .



الشّكل ب.8

ما زال ذراع الرافعة 3 أمتار.

* عند استعمال الوحدات المألوفة للسرعة المماسية ν والسرعة الدورانية r والمسافة القطرية r فإن التناسب المباشر لـ ν مع كل من ν و r ويعطي المعادلة ν=rν بالضبط. ولهذا، فإن السرعة المماسية تتناسب مباشرة مع كل من ν و r، عندما تكون للأجزاء جميعها السرعة الزاوية ν نفسها، كما في الإطار أو القرص أو الصولجان. (لا ينطبق التناسب المباشر لـ ν مع r للكواكب؛ لأن الكواكب ليس لها السرعة الزاوية ν نفسها).



الشّكل ب.9
على الرغم من أن قيمة القوة متساوية في كل حالة، إلا أنّ العزوم مختلفة.

لهذا السبب، فإن البرغي القاسي الصعب إدارته، كما في الشكل ب.9 يمكن إدارته بسهولة عندما تكون القوة المؤثرة عمودية على المقبض، بدلًا من أن تكون بزاوية مائلة، كما هو مبين في الشكل الأول. يمثل ذراع الرافعة في الشكل الأول بالخط المتقطع، وهو أقصر من طول المفك. أمّا في الشكل الثاني فإن ذراع الرافعة يساوي طول المفك. في حين ازداد طول المفك، في الشكل الثالث، باستخدام أنبوب لإعطاء طول رافعة أكبر وعزم دوران أكبر.

■ **نقطة فحص**

1. إذا استخدم أنبوب ليزيد من الطول الفاعل لمفك إلى ثلاثة أضعاف، فكم يزيد عزم الدوران للقوة المؤثرة نفسها؟
2. ادرس الأرجوحة المتزنة في الشكل ب.7. وافترض أنّ البنت عن اليسار اكتسبت 50 نيوتن فجأة، كأن حملت سلة تفاح. أين يجب أن تجلس حتى تعيد الاتزان، على افتراض أن الولد الثقيل بقي في مكانه؟

هل كانت هذه إجابتك؟

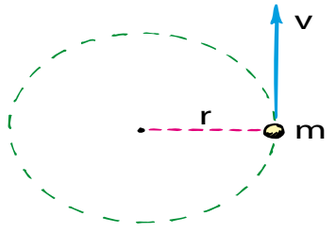
1. ثلاثة أمثال طول الرافعة للقوة نفسها يعطي ثلاثة أمثال عزم دورانه. (طريقة زيادة عزم الدوران يمكن أن تقطع البرغي!)
2. يجب أن تجلس عند نصف – متر أقرب إلى المركز. ثم إن ذراع رافعتها هو 2.5 متر. ويمكن التأكد من ذلك:

$$300\ N \times 2.5\ m = 500\ N \times 1.5\ m$$

■ الزّخم الزّاويّ

إنّ الأشياء التي تدور، سواء كانت أسطوانة تتدحرج أسفل منحدر، أو بهلوان يقفز في الهواء، تستمر في الدوران إلى أن يوقفها شيء ما؛ فللجسم الذي يدور "قصور دوراني". تذكر في الفصل 3 أن للأجسام المتحركة جميعها "قصورًا حركيًّا" أو زخما (كمية حركة) – حاصل ضرب الكتلة في السرعة المتجهة. هذا النوع من الزخم هو **الزخمُ الخطيُّ**. وبالمثل، يسمى "القصور الدوراني" للأجسام التي تدور **الزخمَ الزاويَّ**.

في حالة الجسم الصغير بالمقارنة مع المسافة القطرية لمحور دورانه، مثل وتد يتأرجح من خيط طويل أو كوكب يدور حول الشمس، يمكن التعبير عن الزخم الزاوي بمقدار الزخم الخطي، mv، مضروبًا في المسافة القطرية، r (الشّكل ب.10).* وبالرموز المختصرة، فإنّ الزخم يساوي $= mvr$. مثل الزخم الخطي، الزخم الزاوي هو كمية متجهة، لها مقدار واتجاه. في هذا الملحق، لا نعالج الطبيعة المتجهة للزخم الزاوي (أو حتى لعزم الدوران، والذي هو متجه أيضًا).



الشّكل ب.10
الزخم الزاوي لجسيم صغير كتلته m يدور في مسار دائري نصف قطره r وسرعته v هو mvr.

* للأجسام الكبيرة بالمقارنة بالمسافة القطرية التي تدور، مثلًا، كوكب يدور حول محور دورانه – فإنه يجب أن يستخدم مفهوم القصورالدوراني. ويكون الزخم الزاوي: القصورالدورانية × السرعة الدورانية. لمزيد من المعلومات انظر أي مقرر من *Hewitt's Conceptual Physics*.

كما أنه تلزم قوة محصلة خارجية لتغيير الزخم الخطي لجسم، ويتطلب عزم دوران محصل تغيير الزخم الزاوي لهذا الجسم. ويمكننا صياغة قانون نيوتن الأول (قانون القصور) كما يلي:

يحافظ أي نظام (أو مجموعة أجسام) على زخمه الزاوي ثابتًا إلا إذا أثر فيه زخم زاوي خارجي محصل.

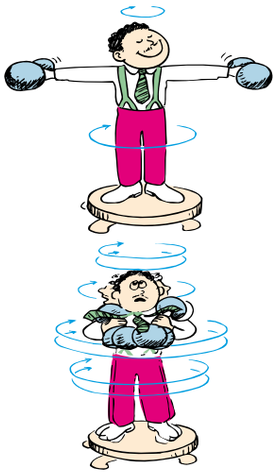
لقد رأينا تطبيقات على هذه القاعدة عندما ننظر إلى الرأس. إذا كان كلّ من الاحتكاك وعزم الدوران قليلا، فإنّ الرأس يستمر في الدوران. تدور الكواكب والأرض في مناطق خالية من عزوم الدوران، وهكذا تستمر في الدوران.

■ حفظ الزّخم الزّاويّ

كما أنّ الزخم الخطي لأي نظام محفوظ إذا لم تؤثر قوى محصلة فيه فإن الزخم الزاوي محفوظ إذا لم يؤثر عزم دوران محصل فيه. وفي غياب عزم دوران خارجي محصل، يكون الزخم الزاوي للنظام ثابتًا. وهذا يعني أن الزخم الزاوي عند أي زمن هو نفسه عند أي زمن آخر.

حفظ الزخم الزاوي مبين في الشكل ب.11. الرجل الذي يقف على سطح قليل الاحتكاك يدور والثقلان ممتدان في يديه. وعندما يدور ببطء وذراعاه ممدودتان، فإن كثيرًا من الزخم الزاوي يعود إلى المسافة بين الثقلين ومحور الدوران. وعندما يسحب هذان الثقلان إلى الداخل، تنقص المسافة كثيرًا. فما النتيجة؟ تزيد سرعته الدورانية!* يقدر هذا المثل على نحو أوضح من قبل الشخص الذي يدور؛ لأنّه هو الذي يشعر بالتغير في السرعة الدورانية والتي تبدو محيرة. ولكنها فيزياء بحتة! هذا الإجراء يتبع من الشخص المتزلج الذي يبدأ بالدوران، وذراعاه وربما قدماه ممدودتان، ثم يسحب يديه وقدميه ليحصل على سرعة دورانية أكبر. كلما تقلص جسم يدور، تزداد سرعته الدورانية.

يمكن ملاحظة حفظ قانون الزخم الزاوي في حركة الكواكب وفي شكل المجرات. عندما تتقلص كرة غاز جاذبيّا، فإن النتيجة هي زيادة في معدل الدوران. إنّ حفظ الزخم موجود في كل مكان.



الشّكل ب.11

حفظ الزخم الزاوي. عندما يمد هذا الرجل ذراعيه ويقرّب الثقلين نحو الداخل، فإنه يقلل المسافة بينهما، وتزداد السرعة الدورانية بالمقابل.

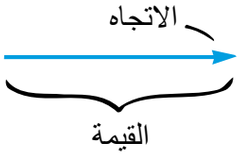
* عندما يعين اتجاه للسرعة الدورانية، نسميها السرعة الدورانية المتجهة (غالبًا تسمى السرعة الزاوية المتجهة)، بالاتفاق، فإن متجه السرعة الدورانية المتجهة هي ومتجه الزخم الزاوي لهما الاتجاه نفسه، ويقعان بموازاة محور الدوران.

ملحق ج
المتجهات

الكميات المتجهة والكميات القياسية

الكمية المتجهة هي كمية ذات اتجاه؛ أي أنّها الكمية التي يجب تعريفها ليس فقط كمقدار ولكن كاتجاه أيضًا. وتذكر من الفصل الأول أنّ السرعة كمية متجهة، إضافة إلى أمثلة أخرى كالقوة، والتسارع، والزخم الخطي. وفي المقابل، فإن *الكمية القياسية* هي تلك التي تعرف كمقدار فقط. ومن أمثلتها السرعة القياسية، والزمن، ودرجة الحرارة، والطاقة.

يمكن تمثيل الكميات المتجهة بأسهم. حيث يشير طول السهم إلى مقدار الكمية المتجهة، أمّا اتجاهه فيشير إلى اتجاه الكمية المتجهة. ومثل هذا السهم المرسوم بمقياس رسم وفي اتجاه مناسب يسمى متجهًا.

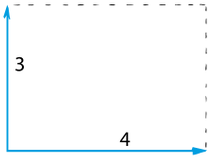


الشّكل ج.1

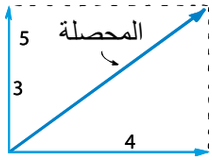
جمع المتجهات

تسمى المتجهات التي تجمع بعضها إلى بعض المتجهات المركبة. ويسمى مجموع مركبات المتجه محصلة.

لجمع متجهين، ارسم متوازي أضلاع من متجهين مُرَكبين بحيث يشكلان ضلعين متجاورين (الشكل ج.2) (هنا، متوازي الأضلاع هو مستطيل). ومن ثمَّ ارسم خطًّا قطريًّا من نقطة الأصل لزوج المتجهات، ليكون هذا هو المحصلة (الشكل ج.3).



الشّكل ج.2

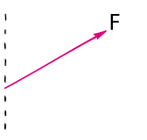


الشّكل ج.3

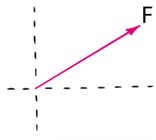
تنويه: لا تحاول أن تخلط المتجهات! لا نستطيع جمع تفاح مع برتقال. وعليه، فإن متجهات السرعة تجمع مع متجهات سرعة فقط، وكذلك تجمع متجهات قوة مع متجهات قوة فقط. كما تجمع متجهات التسارع مع متجهات التسارع فقط. كل منها على رسم تخطيطي خاص. وإذا مثلت أنواعًا مختلفة من المتجهات على الرسم التخطيطي (البياني) نفسه، فعليك استخدام ألوان مختلفة، أو أي طريقة أخرى للتمييز بين أنواع المتجهات المختلفة.

إيجاد مركبات المتجهات

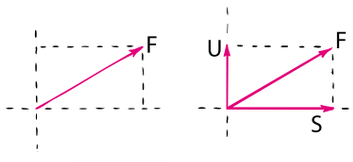
تذكر من الفصل الثاني أنه لإيجاد زوج من المركبات المتعامدة لمتجه فعليك أولًا أن ترسم خطًّا متقطعًا مارًّا بذيل المتجه (في اتجاه إحدى المركبات المطلوبة). ثانيًا، ارسم خطًّا متقطعًا ثانيًا من ذيل المتجه وبشكل متعامد مع الخط المتقطع الأول. ثالثًا، ارسم مستطيلًا بحيث يكون قطره هو المتجه، وارسم عليه المركبتين. في هذه الحالة: افترض أن F يمثل "مجموع القوة" في حين يمثل U "القوة للأعلى"، وS "القوة الجانبية".



الشّكل ج.4



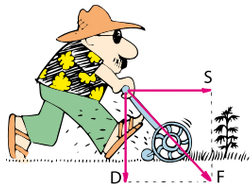
الشّكل ج.5



الشّكل ج.6

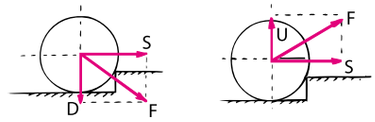
أمثلة

1. يدفع إيرين (Ernie) مِجَزَّ العشب، ويؤثر بقوة تعمل على دفع المِجَزِّ نحو الأمام وكذلك ضد الأرض. في الشكل ج.7، **F** تمثل القوة المؤثرة من الشخص. يمكننا فصل هذه القوة إلى مركبتين. المتجه **D** يمثل المركبة للأسفل، و**S** هو المركبة الجانبية وهذه المركبة هي التي تحرك المجزّ إلى الأمام. إذا كنا نعرف مقدار المتجه **F** واتجاهه، فيمكننا تقدير مقدار المركبات من الرسم البياني للمتجه.



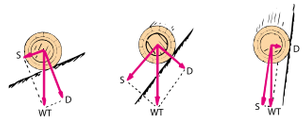
الشّكل ج.7

2. أيهما أسهل: سحب المجزّ فوق عتبة أم دفعها؟ الشكل ج.8 يبين القوة عند مركز العجلة. عندما تقوم بدفع عجلة ذات دولاب واحد فإن جزءًا من القوة يتجه نحو الأسفل، مما يجعل الصعود فوق العتبة أصعب. عندما تقوم بالسحب، فإنّ اتجاه جزء من القوة يكون إلى الأعلى مما يساعد على رفع العجلة فوق العتبة. لاحظ أن مخطط المتجه يدل على أن دفع العربة لا يمكن أن يحقق رفع العجلة فوق العتبة أبدًا. هل ترى أن ارتفاع العتبة، ونصف قطر العجلة، وزاوية ميل القوة تُحدد ما إذا كان من الممكن دفع العربة فوق العتبة أم لا؟ نحن نرى كيف أن المتجهات تساعدنا على تحليل الحالة. وعليه، يمكننا تعرف المشكلة!



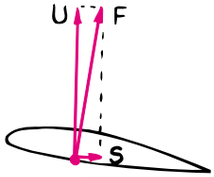
الشّكل ج.8

3. إذا اعتبرنا مركبات الوزن لجسم يتدحرج أسفل سطح مائل، أمكننا ملاحظة سبب اعتماد سرعته على الزاوية. لاحظ أنه كلما كان السطح شديد الانحدار كانت المركبة **S** أكبر. ولهذا، فإن الجسم يتدحرج أسرع. وعندما يصبح السطح عموديًّا، فإن **S** تصبح مساوية للوزن. وعندما يتسارع الجسم بتسارع أقصى ألا وهو 9.8 م/ث^2. هنالك قوتان متجهتان أُخريان ولكن لا تظهران: القوة العمودية **N**، والتي تساوي **D** وتعاكسها في الاتجاه. وكذلك قوة الاحتكاك **f** التي تؤثر في سطح الاتصال التماسي.



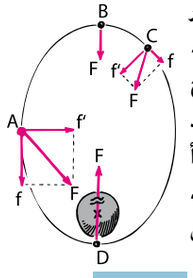
الشّكل ج.9

4. عندما يضرب الهواء المتحرك الجهة السفلى لجناح الطائرة، فإن قوة الهواء التي تدفع بالجناح يمكن تمثيلها بمتجه يعامد مستوى الجناح (الشكل ج.10). ويُمثّل متجه القوة وكأنه يؤثر عند المنتصف على طول السطح السفلي للجناح، حيث توجد النقطة، وتتجه فوق الجناح لإظهار اتجاه قوة دفع الريح. يمكن تجزئة هذه القوة الجانبية إلى مركبتين: إحداهما جانبية والأخرى نحو الأعلى، وهي تسمى **U** *الرافعة*. في حين تسمى المركبة الجانبية، **S** *الساحبة*. إذا كان الهدف هو أن تطير الطائرة بسرعة ثابتة عند ارتفاع ثابت، فإن القوة الرافعة يجب أن تساوي وزن الطائرة، وأنّ قوة دفع محرك الطائرة يجب أن تساوي القوة الساحبة. قيمة القوة الرافعة (والساحبة) يمكن تغييرهما بتغيير سرعة الطائرة أو بتغيير الزاوية (تسمى *زاوية الهجوم*) بين الجناح والمستوى الأفقي.



الشّكل ج.10

5. افترض أن قمرًا صناعيًّا يتحرك في اتجاه عقارب الساعة (الشكل ج.11) عند أي نقطة على مساره الفلكي، فإن قوة الجاذبية **F** تسحبه في اتجاه مركز الكوكب الذي ينتمي إليه. وعند الموقع **A**، نرى أن F تنفصل إلى مركبتين هما: **f** وهي مماسية لمسار المقذوف، و **f′** تتعامد مع هذا المسار. إنّ القيمتين النسبيتين لهاتين المركبتين مقارنة مع قيمة F، يمكن تصورهما في مستطيل تخيلي تكون f و **f′** جانبية. في حين تكون F قطرية. نحن نلاحظ أن f تكون على طول مساره الفلكي، ولكن عكس اتجاه حركة القمر الصناعي. إنّ مركبة القوة هذه تقلل سرعة القمر. أمّا المركبة الأخرى فتغير اتجاه حركة القمر، وتسحبه بعيدًا عن نزعته للسير في خط مستقيم. وعليه، فإن مسار القمر يكون منحنيًا. يفقد القمر جزءًا من سرعته حتى يصل الموقع **B**. عند تلك النقطة الأبعد عن كوكبه (الأرض) تكون قوة الجاذبية إلى حدّ ما أضعف، ولكنها متعامدة مع حركة القمر الصناعي، ومركبة القوة f تقل إلى الصفر. ومن جهة أخرى تزداد المركبة **f′** بحيث تصبح مساوية لقيمة F كاملة. إنّ قيمة السرعة عند تلك النقطة غير كافية لمسار دائري، وعندها يبدأ القمر الصناعي بالسقوط في اتجاه الكوكب. إنه يستعيد سرعته بسبب المركبة f التي تظهر من جديد، وتكون في اتجاه الحركة كما هو واضح

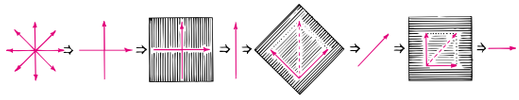


الشّكل ج.11

في الموقع *C*. ويكتسب القمر سرعة إلى أن يصل أدنى موقع *D* حيث يصبح اتجاه الحركة من جديد عموديًّا على قوة الجاذبية. وعندها تصبح مساوية للقوة **F**، وتتلاشى **f**. وعندئذ تكون السرعة قد تجاوزت السرعة اللازمة لمسار دائري عند هذه المسافة. وتكون قد تجاوزت لإعادة الدورة من جديد. إنّ النقصان في السرعة بين *D* و *B* يساوي الكسب في السرعة بين *B* و*D*. ولقد اكتشف كيبلر (Kepler) أن المسارات الكوكبية تكون إهليلجية. ولكنه لم يعرف سبب ذلك. هل تعلم أنت؟

6. بالعودة إلى شرائح استقطاب الضوء المستخدمة من لودميلا (Ludmila) كما في الفصل 11، في الشكل 58.11. في الصورة الأولى (أ)، الضوء ينفذ من خلال زوج من شرائح استقطاب الضوء بسبب اتساق محوريهما. إنّ الضوء النافذ يمكن تمثيله بمتجه يتوافق اتجاهيًّا مع محاور استقطاب الشرائح.

عندما تتعامد الشرائح (ب) فإن الضوء لا ينفذ؛ لأنّ الضوء النافذ من الشريحة الأولى يكون متعامدًا مع محاور الاستقطاب للشريحة الثانية بحيث لا تكون هنالك مركبات على طول محوره. وفي الصورة الثالثة (ج) نلاحظ أن الضوء ينفذ عندما تكون الشريحة الثالثة في الوسط، وبزاوية بين الشرائح المتقاطعة. والشكل ج.12 يفسّر هذا.

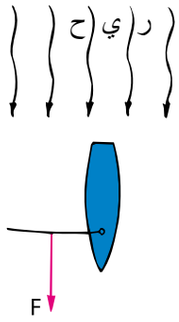


الشّكل ج.12

المراكب الشراعية

عرف البحارة دائمًا أن القارب الشراعي يمكنه الإبحار في اتجاه الريح، وفي اتجاه الريح نفسه. لم يعلم البحارة دائمًا أن القارب الشراعي يمكنه الإبحار عكس اتجاه الريح. ويعود ذلك إلى سبب واحد متوافر فقط في القوارب الحديثة – عارضة مثل الزعنفة تمتد عميقًا تحت الماء أسفل القارب لتمكينه من التجديف خلال الماء في اتجاه الأمام (أو الخلف) فقط. وإن لم تكن هذه العارضة موجودة، فقد ينقلب القارب إلى أحد الجانبين.

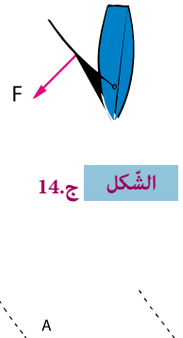
يوضح الشكل ج.13 قاربًا شراعيًّا يُبحر مباشرة في اتجاه الريح. تدفع قوة الريح الشراع بحيث يتسارع القارب. وحتى مع إهمال قوة سحب الماء وقوى المقاومة الأخرى، فإن سرعة القارب القصوى هي سرعة الريح نفسها. ويحدث هذا لأنّ الريح لا تعمل بقوة دفع معاكسة للشراع إذا كان القارب يتحرك بسرعة تساوي سرعة الريح. الريح ليس لها سرعة نسبية بالنسبة إلى القارب، ببساطة يتدلى الشراع. ومع عدم وجود قوة، لا يوجد هناك تسارع. إنّ متجه القوة في الشكل ج.13 يقل كلما كان القارب أسرع. ومتجه القوة هذا يكون أقصى ما يمكن عندما يكون القارب ساكنًا، وقوة الدفع للريح تغطي الشراع. في حين يكون متجه القوة أقلّ ما يمكن عندما يتحرك القارب بسرعة الريح. إذا تحرك القارب بسرعة أكبر من سرعة الريح (باستخدام المحرك)، فستؤثر مقاومة الهواء ضد الجهة الأمامية للشراع منتجةً متجه قوة معاكس، وهذا يؤدي إلى إبطاء حركة القارب. وهكذا، عندما يُبحر القارب بتأثير الرياح فإن سرعته لا تتجاوز سرعة الريح.



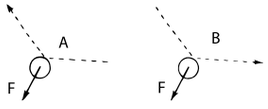
الشّكل ج.13

إذا وُجِّه الشراع بزاوية كما في الشكل ج.14، فإن القارب يتحرك إلى الأمام ولكن بتسارع أقل. ويعزى ذلك إلى سببين هما:

1. تكون القوة على الشراع أقلّ؛ لأن الشراع لا يتعرض للريح كثيرًا بسبب هذا الموقع الزاوي.
2. لا يكون اتجاه دفع الريح على الشراع في اتجاه حركة القارب، إنما يكون متعامدًا مع سطح الشراع. أي، عندما يتفاعل أي مائع (سائل أو غاز) مع سطح أملس، تكون قوة التفاعل متعامدة مع السطح الأملس*. إنّ القارب لا يتحرك في اتجاه القوة المتعامدة نفسه على الشراع، ولكنه مقيد بالحركة إلى الأمام (أو الخلف).

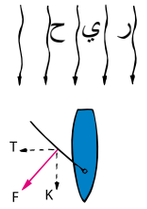


الشّكل ج.14



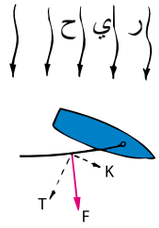
* يمكنك عمل تمرين بسيط لكي ترى أنه كذلك. حاول ضرب قطعة نقد بأخرى على سطح أملس كما ترى. لاحظ أن قطعة النقد التي ضربت تتحرك بزاوية قائمة (متعامدة) مع حافة التماس. لاحظ كذلك أنها لا تعمل أي تغيير سواءً كانت قطعة النقد المقذوفة تتحرك على مسار A أو *B*. استعن بمدرسك لمعرفة المزيد من التفاصيل المتعلقة بحفظ الزخم.

يمكننا فهم حركة القارب على نحو أفضل بتحليل قوة دفع الريح، **F**، إلى مركبتيه المتعامدتين. المركّبة المهمة هي التي تكون موازية لسطح القارب ويرمز إليها بالرمز **K** والمركبة الأخرى تكون متعامدة مع السطح ونرمز إليها بالرمز **T**. إنّ المركبة **K** هي المسؤولة عن حركة القارب في اتجاه الأمام، كما في الشكل ج.15. أما المركبة **T** فهي قوة غير مفيدة، وتحاول إمالة القارب وتحريكه إلى الجانبين. تعادل مركبة هذه القوة بالمروحة العميقة. مرة أخرى، السرعة القصوى للقارب لا تزيد على سرعة الريح.



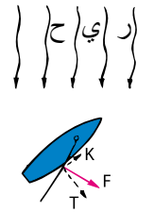
الشّكل ج.15

إنّ العديد من القوارب الشراعية التي تبحر في اتجاهات غير تلك التي ليست للريح تمامًا (شكل ج.16) إذا وجهت لتبحر بشكل مناسب، فإن سرعتها تتجاوز سرعة الريح. وفي حالة القارب الذي يجدف عبر الريح، يمكن أن تستمر هذه الريح بعمل دفع مع الإبحار حتى عندما يتجاوز القارب سرعتها. وبطريقة مشابهة، يتجاوز راكب الأمواج الموجة الدافعة بوضع لوح التزلج بزاوية عبر موجة الدفع. وينتج عن الزوايا الكبيرة للوسط الدافع (الريح للشراع وموجة الماء للقارب) سرعات كبيرة. ومن الممكن أن تكون الطائرة الشراعية أسرع في التجديف عبر الريح منها مع الريح.



الشّكل ج.16

ومن الغرابة أن تحصل القوارب الصغيرة على السرعة القصوى بالتجديف ضد الريح، أي، بتوجيه القارب بزاوية مع عكس الريح! على الرغم من أن القارب لا يبحر مباشرة ضد الريح، ويمكنه الوصول إلى الهدف بعمل زوايا ذهابًا وإيابًا بطريقة متعرجة تسمى هذه تغيير اتجاه. افترض أن القارب والشراع كما هما مبينان في الشكل ج.17. تدفع المركبة **K** القارب في اتجاه الأمام، محدثة زاوية مع الريح. في المكان المبين، يمكن أن يبحر القارب بأسرع من الريح. ويحدث هذا لأنه كلما أسرع القارب، ازداد دفع الريح. وهذا يشبه الركض في المطر عندما يهطل بزاوية؛ عندما تركض باتجاه المطر، تضربك القطرات بقوة وبتتابع أكثر، ولكن عندما تركض في اتجاه معاكس للمطر، فإنّ القطرات لا تضربك بالقوة ولا بالتتابع نفسه. وبالطريقة نفسها، عندما يُبحر القارب عكس اتجاه الريح، فإنّه يتعرض لدفع قوة ريح أشد، في حين يتعرض القارب المبحر في اتجاه الريح لدفع قوة ريح أقل. وعلى أيّ حال، يصل القارب إلى السرعة الحدية عندما تلغي القوى المعاكسة قوة دفع الريح. تتكون القوى المعاكسة بشكل رئيس من مقاومة الهواء على هيكل القارب. لذا، يُصنع هيكل قارب السباق بحيث تكون قوة المقاومة أقل ما يمكن، وهي العقبة الأساس للسرعات العالية.



الشّكل ج.17

لا تتعرض قوارب الجليد (قوارب مجهزة للانتقال على الجليد) لمقاومة الماء، ويمكنها الانتقال بسرعة أكبر عدة مرات من سرعة الريح عند تغيير الاتجاه عكس اتجاه الريح. وعلى الرغم من أن احتكاك الجليد معدوم تقريبًا، فإنّ قارب الجليد لا يتسارع دون حدود. إنّ السرعة الحدية للقارب لا تتحدد فقط بقوى الاحتكاك المعاكسة، ولكن بالتغير النسبي في اتجاه الريح أيضًا. وعندما يكون اتجاه القارب وسرعته بحيث يمكن للريح أن تحرف اتجاهه، بحيث تسير الريح موازية للقارب بدلًا من الاصطدام به، ينعدم التسارع الأمامي — على الأقل في الإبحار المستوي. وفي الواقع العملي، ينحني الإبحار ويُنتج تيارات هوائية وهي مهمة للقوارب الصغيرة كما هي للطائرات، كما ناقشنا في الفصل 6.

ملحق د

النّموّ الأسّيّ وزمن المضاعفة*

تعدّ عملية النمو الأسّيّ أحد أهم الأشياء التي يبدو أننا لم نستوعبها. ونعتقد أننا نفهم كيف تعمل الفائدة المركبة. ولكننا لا نستطيع تخيل أن سُمك قطعة رقيقة من المحارم مثنية 50 مرة على نفسها (إذا كان ذلك ممكنًا) يكون 20 مليون كم. إذا استطعنا إدراك ذلك فعندئذ ندرك سبب نقصان القيمة الشرائية لدخلنا إلى نصف ما كانت عليه قبل أربع سنوات. وكذلك سبب تضاعف أسعار الحاجات جميعها في الفترة نفسها. ومعرفة سبب تضخم عدد السكان أيضًا. إضافة إلى إدراك أنّ التلوث أصبح خارج السيطرة**.

عندما تتعرض كمية ما. مثل مال في بنك. أو عدد السكان. أو معدل الاستهلاك لمصدر طبيعي للنمو بمعدل ثابت في السنة. نقول عندئذٍ إن النمو أسّيّ. يمكن أن يزداد المال في البنك بمعدل 4% في السنة. وأنّ تزداد سعة الطاقة المولدة سنويًّا في الولايات المتحدة بمقدار 7% لفترة تمتد إلى ثلاثة أرباع القرن العشرين. إنّ المعيار المهم في النمو الأسّيّ هو الزمن اللازم لمضاعفة الكمية النامية في المقدار (زيادة بمقدار 100%) وهو أيضًا ثابت. مثلًا. إذا كان الزمن اللازم لمضاعفة عدد سكان مدينة نامية من 10,000 إلى 20,000 هو 12 سنة. واستمر النمو بثبات. فإن عدد السكان سيصبح 40,000. وفي الـ 12 سنة التالية إلى 80,000. وهكذا.

هناك علاقة مهمة بين معدل النمو المئوي وزمن المضاعفة. الزمن اللازم لمضاعفة الكمية*** هو:

زمن المضاعفة = (69.3 / النسبة المئوية للنمو لوحدة الزمن) ≈ 70 %

وهكذا. لإيجاد زمن المضاعفة لكمية نامية بثبات. نقسم الرقم 70 على معدل النمو المئوي. مثلًا. معدل النمو بمقدار 7% لسعة مولد كهربائي في الولايات المتحدة يعني أن السعة تضاعفت في الماضي كل عشر سنوات [(70% / 7% لكل سنة) = 10 سنوات]. و2% معدل النمو السكاني في العالم يعني تضاعف عدد سكان العالم كل 35 سنة [(70% / 2% لكل سنة) = 35 سنة]. وعلى لجنة التخطيط لمدينة تقبل معدل نمو متواضع بمقدار 3.5% أن تدرك أن المضاعفة ستحصل في 70/3.5 أو في 20 سنة. أي مضاعفة استيعاب الأشياء مثل التزود بالمياه. ومحطات الصرف الصحي. وغيرهما من خدمات كل 20 سنة.

ماذا يحدث عندما يكون هناك نمو ثابت في بيئة محدودة؟ خذ نمو البكتيريا التي تنمو بالانقسام. بحيث إن خلية بكتيريا تصبح اثنتين. والاثنتان تصبحان أربعة. وتنقسم الأربعة لتصبح ثمانية. وهكذا. افترض أن زمن الانقسام لنوع معين من البكتيريا هو دقيقة واحدة. وهذا يعدّ نموًّا ثابتًا؛ أي أنّ أعداد البكتيريا تنمو أسيًّا في زمن مضاعفة هو دقيقة واحدة.

---

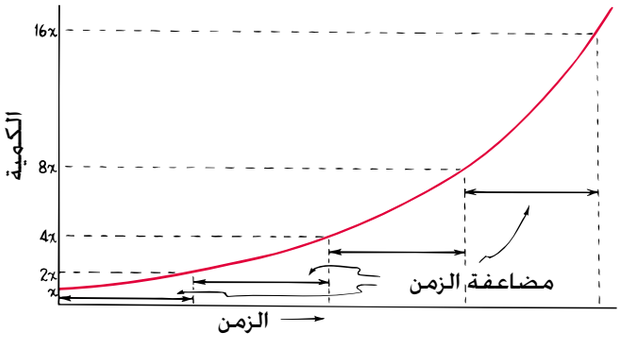
* هذا الملحق مأخوذ من مادة تعود إلى ألبرت أ. بارتلت Albert A. Bartlett. الأستاذ في جامعة كولورادو Colorado. والذي أكد بشدة" أن أعظم خلل في الجنس البشري هو عدم القدرة على فهم الدالة الأسية". انظر مقالة الأستاذ بارتلت التي ما تزال قيمة ومناسبة." القواعد المنسية في أزمة الطاقة" (*المجلة الأميركية للفيزياء*. أيلول 1978م) أو في طبعته المنقحة (*مجلة الجيولوجيا التعليمية*. يناير 1980م).

** (*K. C. Cole, Sympathetic Vibrations* (*NewYork*: *Morrow,* 1984).

د-2 ملحق د

الشّكل د.1

المنحنى الأسّيّ. لاحظ أن كل فترة تتابع زمني متساو على المحور الأفقي يقابل تضاعف الكمية على المحور العمودي. تسمى هذه الفترة بزمن المضاعفة.



وزيادة على ذلك، افترض أن خلية البكتيريا وضعت في علبة الساعة 11:00 قبل الظهر، وأن النمو استمر بثبات حتى أصبحت العلبة معبأة عند الساعة 12:00 ظهرًا. ادرس السؤال التالي بعناية.

الشّكل د.2

■ **اختبر نفسك**

متى أصبحت العلبة معبأة إلى نصفها؟

هل كانت هذه إجابتك؟

عند الساعة 11:59، يتضاعف عدد البكتيريا كل دقيقة.

من المذهل ملاحظة أنه قبل دقيقتين قبل الظهر كانت العلبة 1/4 معبأة. يلخص الجدول د.1 كمية الفراغ المتبقي في العلبة في الدقائق الأخيرة قبل الظهر. إذا كُنت (تمثَّلت خلية بكتيرية) خلية بكتيرية مفردة في العلبة، ففي أي وقت ستدرك أنّ الفراغ ينفد؟ مثلًا، هل ستلمس أن هناك مشكلة خطيرة عند الساعة 11:55 قبل الظهر، عندما تكون العلبة معبأة بنسبة 3% فقط (1/32)، وفيها 97% فراغًا (متلهف للتطورات)؟ النقطة الأساسية هنا هي أنه لا يوجد وقت طويل بين ملاحظة أثر النمو واللحظة التي تصبح فيها ساحقة (غامرة).

افترض عند الساعة 11:58 قبل الظهر، أن بعض البكتيريا ذات البصيرة أدركت أن الفراغ بدأ ينفد، ثم بدأت بحثًا شاملًا عن علب جديدة. ولحسن الحظ، عند الساعة 11:59 قبل الظهر وجدت ثلاث علب فارغة جديدة، ثلاثة أضعاف الفراغ الذي كان متوافرًا. وهذا يجعل الفراغ 4 أضعاف المتوافر للبكتيريا؛ لأن عندها مجموع 4 علب؛ حيث كان يتوافر علبة واحدة قبل البحث. أكثر من ذلك، افترض، والفضل لبراعتهم التقنية، أنهم لم يواجهوا صعوبة في الهجرة إلى المسكن الجديد. بالتأكيد، قد يبدو أن المشكلة قد حلت بالنسبة لمعظم البكتيريا – وفي الوقت المناسب.

الجدول د.1 **الدقائق الأخيرة في العلبة**

الزمن	الجزء الملآن (%)	الجزء الفارغ
11:54 قبل الظهر	1/64 (1.5%)	63/64
11:55 قبل الظهر	1/32 (3%)	31/32
11:56 قبل الظهر	1/16 (6%)	15/16
11:57 قبل الظهر	18 (12%)	7/8
11:58 قبل الظهر	1/4 (25%)	3/4
11:59 قبل الظهر	1/2 (50%)	1/2
12:00 ظهرًا	ملآن (100%)	لا يوجد

النّموّ الأسّيّ وزمن المضاعفة د-3

■ **اختبر نفسك**

إذا استمر نمو البكتيريا بالمعدل نفسه، فما الزمن اللازم حتى تمتلئ العلب الجديدة الثلاث بالكامل؟

هل كانت هذه إجابتك؟

الساعة 12:02 بعد الظهر.

نرى من الجدول د.2 أن مضاعفة المورد إلى أربع مرات يمدد عمر المورد، مدة زمنَيْ تضاعف. في مثالنا، المورد هو الفراغ. ولكن يمكن أن يكون فحمًا، أو نفطًا، أو معدن اليورانيوم، أو أي مورد غير متجدد.

الجدول د.2 **الآثار المترتبة على اكتشاف ثلاث زجاجات جديدة**

الزمن	التأثير
11:58 قبل الظهر	الزجاجة 1 1/4 ممتلئة
11:59 قبل الظهر	الزجاجة 1 1/2 ممتلئة
12:00 ظهرًا	الزجاجة 1 ممتلئة
12:01 بعد الظهر	الزجاجتان 1 و2 ممتلئتان
12:02 بعد الظهر	الزجاجات 1، 2، 3، و4 جميعها ممتلئات

يؤدي النمو المستمر واستمرار المضاعفة إلى أرقام هائلة. في زمني تضاعف، تتضاعف الكمية مرتين ($4=2^2$، أربع مرات) في الحجم. وفي ثلاثة أزمنة تضاعف، يزداد الحجم 8 مرات ($8=2^3$). وفي أربعة أزمان تضاعف، تزداد بمقدار 16 مرة ($16=2^4$). وهكذا.

إن أفضل توضيح لذلك هو في قصة رياضي البلاط في الهند، الذي اخترع لعبة الشطرنج لملكه. سُرّ الملك كثيرًا بهذه اللعبة، فعرض على هذا الرياضي مكافأة بدت متواضعة جدًا: طلب الرياضي حبة قمح على المربع الأول للوحة الشطرنج، وحبتين على المربع الثاني، وأربع حبات على المربع الثالث، وقس على ذلك بحيث تتضاعف حبات القمح في كل مربع لاحق حتى تتم تعبئة المربعات جميعها. وبهذا المعدل، سيكون 2^{63} حبة قمح في المربع 64. أدرك الملك بسرعة أنه لا يستطيع أن يفي بهذا المطلب "المتواضع". والذي يبلغ كمية أكبر من تلك التي تم إنتاجها في تاريخ الأرض كلّه!

من المدهش والمهم ملاحظة أن عدد الحبوب على أي مربع أكبر من مجموع الحبوب على المربعات جميعها التي تسبقه. وهذا صحيح في أي مكان على اللوحة. لاحظ من الجدول د.3 أنه عند وضع 8 حبات في المربع الرابع، فإن 8 هي أكبر من مجموع الحبوب الموجودة على اللوح وهي 7. وأنّ 32 حبة الموجودة على المربع السادس أكبر من مجموع 31 حبة الموجودة على اللوحة. ومن هنا نرى أنه في زمن تضاعف واحد نحتاج إلى أكثر من مجموع الحبوب التي أنتجتها البشرية سابقًا!

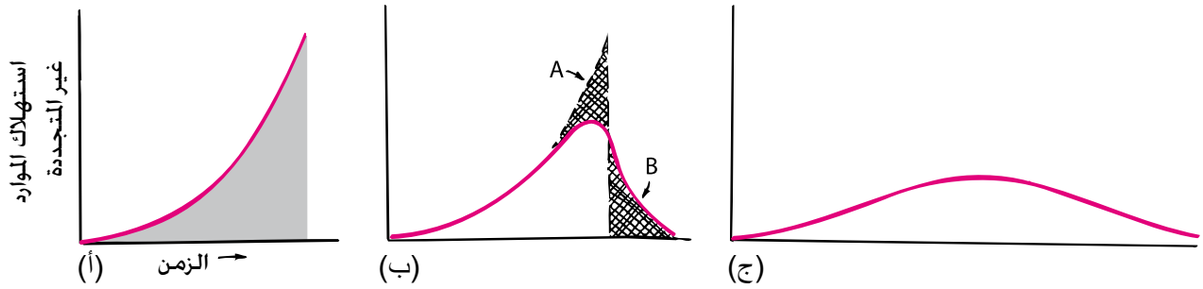
وهكذا، إذا كنا نتحدث عن تضاعف استهلاك الطاقة في عدد ما من السنوات القادمة، فعلينا تذكر أن هذا يعني أننا سنستهلك طاقة في هذه الفترة أكثر من مجموع ما استهلكناه خلال الفترات السابقة من النمو الثابت. وإذا استمرت محطات توليد الطاقة في استخدام الوقود الأحفوري بشكل رئيس، وبالتالي باستثناء بعض التحسينات في الكفاءة، فسوف نحرق من الفحم في زمن المضاعفة التالي كمية أكبر من الوقود، أو النفط، أو الغاز الطبيعي من تلك التي حرقناها في الفترات السابقة. وإن لم نطور الوسائل التي تحدّ من أثر التلوث ونحسّنها، فإنه يمكننا عندئذ أن نتوقع انبعاث مخلفات سامة إلى البيئة أكثر من ملايين الملايين من الأطنان التي أطلقناها خلال العصر الصناعي في الفترات السابقة. ويمكننا أن نتوقع أيضًا امتصاص المزيد من السعرات من قبل محيط الأرض نتيجة الأنشطة البشرية أكثر من مجموع ما امتصته سابقًا!

الشّكل د.3

وضعت حبة قمح واحدة على المربع الأول للوحة الشطرنج، وتضاعف العدد في المربع الثاني الذي تضاعف في المربع الثالث، وهكذا، افترضنا في الـ 64 مربعًا جميعها. لاحظ أن كل مربع يحتوي على عدد من الحبوب أكثر من مجموع ما تحتويه المربعات جميعها التي سبقته. هل يوجد قمح كافٍ في العالم لتعبئة 64 مربعًا جميعها بهذه الطريقة

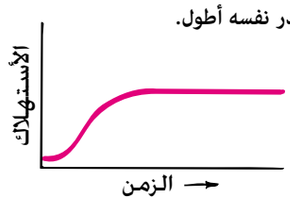
الجدول د.3 **تعبئة المربعات على لوحة الشطرنج**

رقم المربع	الحبوب على المربع	مجموع الحبوب
1	1	1
2	2	3
3	4	7
4	8	15
5	16	31
6	32	63
7	64	127
.	.	.
.	.	.
.	.	.
64	2^{63}	$2^{64}-1$



الشّكل د.4

(أ) إذا استمر معدل الاستهلاك الأسيّ لمصدر غير متجدد حتى يستنفد، فسوف يهبط الاستهلاك فجأة إلى الصفر. تمثل المساحة المظللة تحت المنحنى مجموع ما في المصدر. (ب) في الواقع، يتوقف معدل الاستهلاك أولًا، ثم يهبط إلى الصفر بشكل أقل فجائية. لاحظ أن المساحة المظللة في A تساوي المساحة المظللة في B. لماذا؟ (ج) عند معدل استهلاك أقل، يكون عمر المصدر نفسه أطول.



الشّكل د.5

يبين المنحنى معدل الاستهلاك لمصدر متجدد مثل الزراعة أو منتجات الغابة، حيث يمكن ثبات معدل الاستهلاك والإنتاج لفترة طويلة، ما دام الإنتاج لا يعتمد على استخدام مصدر غير متجدد، وهذا خطر على الاستدامة.

في معدل النمو السنوي 7 % السابق في إنتاج الطاقة، يمكن توقع حدوث هذه الأشياء جميعها في زمن مضاعفة واحد خلال عقد من الزمان. وإذا استمر معدل النمو في السنوات القادمة بنصف معدله الآن (3.5 %)، فإن هذه الأشياء جميعها ستحدث في زمن مضاعفة واحد خلال عقدين. من الواضح خطورة هذا!

لا يمكن أن يستمر النمو الأسّيّ لاستهلاك الموارد غير المتجددة لفترة غير محدودة، لأن المصدر محدود، وتزويده سوف يتلاشى في يوم ما. يبين الشكل د.4(أ) أكثر الطرق الكارثية لحدوث ذلك، حيث معدل الاستهلاك، مثل براميل النفط في السنة، مرسومة مقابل الزمن، ولنقل بالسنوات. تمثل المساحة تحت المنحنى في هذا الشكل مقدار الاحتياط في الموارد. وعند نفاد الاحتياط، ينتهي الاستهلاك تمامًا. ومن النادر حدوث هذا التغير فجأة؛ لأن معدل الاستخلاص من المورد يتناقص عندما يصبح أكثر ندرة. وهذا مشاهد في الشكل د.4(ب). لاحظ أن المساحة تحت المنحنى (ب) تساوي المساحة تحت المنحنى في (أ). لماذا؟ لأن مجموع الاحتياط هو نفسه في الحالتين. والفرق الرئيس هو الزمن اللازم لنضوب المورد. يبين التاريخ أن معدل الإنتاج لمصدر غير متجدد يزداد وينقص بطريقة متماثلة تقريبًا، كما هو الحال في (ج). يساوي الزمن اللازم لارتفاع معدلات الإنتاج تقريبًا الزمن اللازم لانخفاض هذه المعدلات إلى الصفر أو قريبة منه.

تتناقص معدلات الإنتاج للمصادر جميعها غير المتجددة عاجلًا أم آجلا. ومن الممكن استدامة معدلات الإنتاج لفترات طويلة للمصادر المتجددة فقط، مثل الزراعة، أو منتجات الغابة (الشكل د.5)، على ألّا يكون هذا الإنتاج معتمدا على مصادر متناقصة غير متجددة مثل البترول. تعتمد أغلب الزراعة اليوم على البترول، حتى يمكن القول إن الزراعة الحديثة هي ببساطة عملية يتم فيها استخدام الأرض لتحويل البترول إلى غذاء. إن معنى نقص البترول يذهب إلى أبعد من ترشيد الاستهلاك لجازولين السيارات أو زيت الوقود لتدفئة المنازل.

إن تبعات عدم تقدير النمو الأسّيّ خطيرة. ومن المهم أن تسأل: هل النمو جيد فعلاً؟ وللإجابة عن هذا السؤال، تذكر أن نمو الإنسان هو طور أولي في الحياة، ويستمر عادة حتى المراهقة، ويتوقف النمو الجسدي عند الوصول إلى النضج الجسدي. ماذا نقول عن النمو الذي يستمر في فترة النضج الجسدي؟ إنه سمنة، أو أسوأ من ذلك؛ إنه سرطان.

أسئلة للتأمل

1. وفق الأحجية الفرنسية، تبدأ زهرة الزنبق بورقة مفردة. يتضاعف عدد الأوراق كل يوم، حتى تكتسي الزهرة بالأوراق تمامًا في اليوم الثلاثين. في أي يوم تكون الزهرة نصف مغطاة، وربع مغطاة؟

2. في الاقتصاد الذي يوجد به معدل تضخم ثابت بمقدار 7% لكل سنة، ما عدد السنوات التي يفقد عندها الدولار نصف قيمته؟

النّموّ الأسّيّ وزمن المضاعفة د-5

3. عند معدل تضخم ثابت 7%، ما السعر كل 10 سنوات إلى الخمسين سنة القادمة لـ: أ- تذكرة مسرح ثمنها الآن 20 دولارًا؟ ب- معطف ثمنه 200 دولار؟ ج- سيارة ثمنها الآن 20,000 دولار؟ د- منزل ثمنه 200,000 دولار؟

4. إذا كانت محطة معالجة مياه الصرف الصحي تكفي السكان الحاليين فقط لمدينة ما، فكم محطة معالجة يلزم بعد 42 سنة إذا كان معدل النمو السنوي لهم 5%؟

5. إذا تضاعف عدد سكان العالم في 40 سنة، وتضاعف إنتاج الغذاء في 40 سنة كذلك، فما عدد السكان الجوعى في كل سنة مقارنة مع عددهم الحالي؟

6. افترض أن صاحب عمل بعيد النظر وافق على تشغيلك بأجر مقداره قرش في اليوم الأول، وقرشان في اليوم الثاني، ثم يضاعف الأجر كل يوم على هذا النمط حتى آخر الشهر. ما مجموع أجرك للشهر كله؟

7. في السّؤال السابق، كيف تقارن أجرك في اليوم الثلاثين مع مجموع أجرك في الأيام الـ 29 السابقة جميعها؟

8. إذا شغّلت محطة اندماج اليوم، فإن الطاقة الوفيرة الناتجة ربما تدوم، بحيث تشجعنا على الاستمرار في النموّ. وفي خلال عدة أزمنة تضاعف إنتاج جزء كبير من الطاقة الشمسية اللازمة للأرض. أعط دليلًا على أنّ التأخير الحالي في تشغيل المحطة يعود بالنفع على البشرية.

ملحق هـ

النسبية الخاصة

أنت تجلس داخل سيارتك عند الإشارة الضوئية. فجأة تبدأ السيارة التي بجانبك الحركة إلى الخلف. في لحظة تالية تدرك أنك أنت الذي تتحرك إلى الأمام – ارتفعت قدمك عن الكوابح وسيارتك على وشك الاصطدام بالسيارة التي أمامك! هل هذا معقول؟ نحن نعتمد على خلفية الأشجار والمعالم الأخرى على الأرض لنعرف ما إذا كنا نتحرك أم لا. يستحيل قياس حركتنا في غياب المرجعيات الخارجية. وبالمثل، تخيل أنك تجلس في سفينة فضاء في الفضاء الخارجي البعيد. تتخطاك سفينة فضاء أخرى بسرعة فائقة. أي السفينتين هي التي تتحرك؟ يمكن أن تجادلك رائدة الفضاء في السفينة الثانية أن سفينتها ساكنة، وأن السفينة الأولى هي التي تتحرك بسرعة عالية.

تمعن أينشتاين في هذه الأفكار، واستنتج عدم وجود تجربة يمكن إجراؤها للحكم على ما يتحرك وما لا يتحرك. لا يوجد شيء في سكون مطلق، ولكن الحركة كلّها نسبية. أدرك أينشتاين أنه لا يمكن للمراقبين اكتشاف حركتهم المنتظمة إلا بالنسبة إلى أجسام أخرى. ومن هذا الإدراك، افترض أينشتاين ما يلي:

تبقى قوانين الطبيعة جميعها كما هي في محاور الإسناد المنتظمة الحركة كلّها.

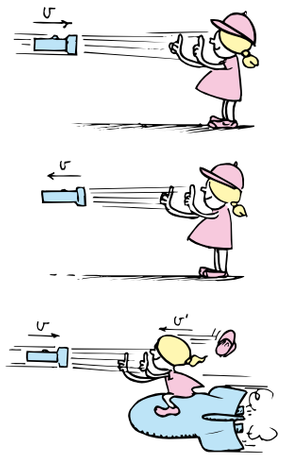
تعني "الحركة المنتظمة" عند أينشتاين أن السرعة ثابتة دون تسارع. مثلًا، القوانين الفيزيائية داخل سفينة الفضاء المتحركة بانتظام (سرعة ثابتة، وتسارع صفري) هي نفسها كما هي في المختبر الساكن. وهناك قانون فيزيائي مهم يشير إلى أن لسرعة الضوء قيمة ثابتة ومقدارها 299,972 كم/ث. وعليه، فإن قياس سرعة الضوء في أي من المكانين، سيظهر المقدار نفسه:

سرعة الضوء في الفراغ لها القيمة نفسها للمراقبين جميعهم، بغض النظر عن حركة المصدر أو حركة المراقب. سرعة الضوء ثابتة.

إذا تحركت بعيدًا عن كرة القاعدة المقذوفة لالتقاطها، فإنّ سرعتها ستكون بطيئة عندما تلتقطها، سرعتها ستكون بطيئة عند الإمساك بها. ولكن إذا فعلت الشيء نفسه للضوء، فستحصل على نتيجة مختلفة. تخيل أننا داخل صاروخ يتحرك بعيدًا عن مصدر ضوء بسرعة – عالية مقارنة بسرعة الضوء. نستدل من المنطق السليم السابق على أن الضوء يسبقنا، ويبتعد عنا أبطأ مما لو كنا غير متحركين – مثل كرة القاعدة تمامًا. ولكن وفقا لأينشتاين، تبقى سرعة الضوء ثابتة، مهما كانت حركتك (الشكل هـ.1). لقد تم إثبات ذلك بالعديد من التجارب.

إذا لم يتباطأ الضوء عندما تبتعد عن مصدر الضوء، فقد تم حدوث شيء ما. هذا الشيء هو استطالة الزمن. ينتقل الضوء مسافة أطول حينما تبتعد عن المصدر، حقًا. أي أنّ المسافة التي يقطعها الضوء تكبر حتى يصل إليك. وحتى تبقى سرعة الضوء ثابتة، فإن فترة وحدة الزمن تكبر أيضًا.

السرعة هي المسافة مقسومة على الزمن. على العموم، يمكننا مناقشة أن سرعة الضوء (يشار إليها بالرمز c) هي مقدار الفضاء الذي ينتقل فيه الضوء مقسومًا على الزمن الذي يستغرقه لينتقل في ذلك الفضاء.



الشّكل هـ.1

سرعة الضوء هي نفسها في محاور الإسناد جميعها كما تم قياسها.

لمعلوماتك

■ كان عمر أينشتاين 26 عامًا في عام 1905م عندما نشر ثلاثة أبحاث رئيسة، والتي أصبحت برنامج عمل لكثير من الفيزياء الحديثة. أحد هذه الأبحاث عن نظرية الكم للضوء وظاهرة التأثير الكهروضوئي، وفسّر في الثاني الحركة البراونية، أمّا في البحث الثالث فتناول النسبية الخاصة. وقد منح جائزة نوبل على تفسيره الكمي لظاهرة التأثير الكهروضوئي وليس على النسبية.

لمعلوماتك

■ يحدث تغير ملحوظ في الزمن فقط عند سرعات قريبة من سرعة الضوء وهي 300,000 كم/ث. وعند انطلاق رواد الفضاء نحو القمر، فإنهم يسافرون بسرعة 11 كم/ث بالنسبة إلى الأرض، وهكذا، عند عودتهم، فإنهم يكونون شبابًا أكثر بمقدار جزء من الثانية، مما لو أنهم لم يسافروا إلى القمر.

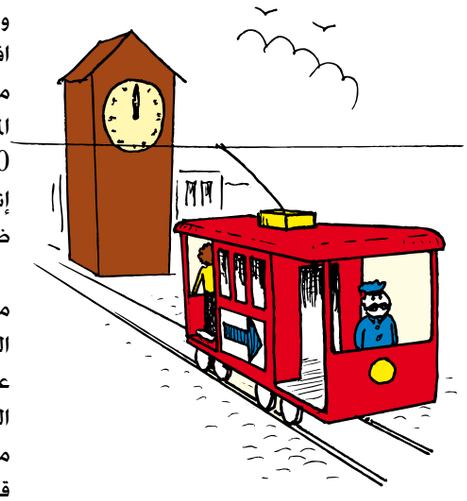
المسافة / الزمن = المسافة / الزمن = c

وهكذا، فحينما يزداد الفضاء، يزداد الزمن أيضًا. ولكن النسبة بينهما وهي سرعة الضوء تبقى كما هي.

ولكن فكر مليًّا فيمن يلاحظ التغير في الزمن؟ من وجهة نظرنا في سفينة الفضاء السريعة، فإن إحساسنا بالثانية الواحدة يبقى كما هو ثانية واحدة. أما من وجهة نظر أصدقائنا على الأرض، فإن إحساسهم بالثانية يبقى أيضًا كما هو ثانية واحدة. ولكن الاختلاف نلاحظه فقط حين تتم مقارنة هاتين الكميتين بالزمن. إنّ مدة رحلة سفينة الفضاء السريعة بالنسبة إلى الأصدقاء على الأرض هي أسبوع كامل. ولكن، عند عودتنا، نكون قد قضينا عدة أيام فقط. وهكذا يعتمد زمن أحدهم على محور إسناد الآخر. إنّ المدد الزمنية مختلفة لمحاور الإسناد المتنوعة التي تتحرك بسرعات متعددة !

■ تمدد الزمن

لفهم أعمق لهذه الفكرة، تخيل أنك أينشتاين في بداية القرن العشرين، تركب حافلة تسير بالكهرباء، والتي كانت أسرع وسيلة مواصلات في تلك الفترة. افترض أن الحافلة وقفت في محطة أسفل ساعة كبيرة مثبتة في مركز قرية، وأنت ترى الساعة تتقدم نحو المستقبل بمعدل 60 ثانية لكل دقيقة. وعند الساعة 12:00 ظهرًا بالضبط، انطلقت الحافلة بسرعة الضوء. إنك تنتقل الآن بمحاذاة الضوء الذي ينقل معلومات "12 ظهرًا" في مركز القرية. توقف الزمن في مركز القرية!



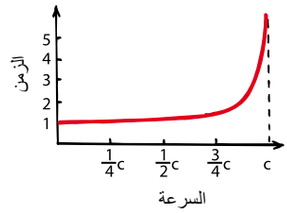
عندما كانت الحافلة واقفة، رأيت الساعة في مركز القرية تتقدم نحو المستقبل بمعدل 60 ثانية في الدقيقة. وعندما تحركت بسرعة الضوء رأيت الثواني على الساعة تستغرق زمنًا لانهائيًّا. هاتان هما السرعتان القصويان. ولكن ماذا عن السرعات بين هاتين السرعتين؟ ماذا يحدث للسرعات التي هي أقلّ من سرعة الضوء؟ قليل من التفكير يرشدنا إلى أن الساعة سوف تتقدم بين معدل 60 ثانية للدقيقة ومعدل 60 ثانية في زمن لانهائي. من محور الإسناد المتحرك بسرعة – عالية (ولكن أقل من c) ترى الأحداث جميعها من محور إسناد الساعة بطيئة وكذلك الساعة. هذا هو **تمدد الزمن**. لا يرتبط تمدد الزمن بنوع الساعة ولا دقتها، بل بطبيعة الزمن نفسه.

لا يوجد شيء غير عادي حول الساعة المسافرة نفسها، إنها ببساطة تدق بإيقاع زمن مختلف. فكلما كان سفر الساعة أسرع كانت أبطأ بالنسبة إلى ملاحظ غير مسافر مع الساعة. إذا كان بإمكان ملاحظ أن يراقب ساعة تتحرك بسرعة الضوء فإنّ الساعة لا تبدو وكأنّها تعمل على الإطلاق. وسيقيس هذا الملاحظ فترة زمنية لا نهائية بين الدقات. سيتوقف الزمن. وستكون الساعة أبدية (لا تتقدم)!

لقد تم التحقق من تمدد الزمن في المختبر بمسارعات جسيمات ذرية، حيث ازداد عمر الجسيمات المشعة للجسيمات السريعة بازدياد سرعتها. وكان مقدار الزيادة في العمر هو بالضبط ما تنبأت به معادلات أينشتاين.

الشّكل هـ.2

إذا أردت الابتعاد عن ساعة بسرعة الضوء فإن الزمن يبدو وكأنه توقف عليها.



الشّكل هـ.3

يبين الشكل كيف تتمدد ثانية واحدة على الساعة الساكنة، كما تم قياسها على ساعة متحركة. لاحظ أن التمدد يصبح كبيرًا فقط عند سرعات قريبة من سرعة الضوء.

3- النسبية الخاصة هـ

كما تم التحقق من تمدد الزمن للحركة التي لا تعدّ عالية؛ أي السرعة. ففي عام 1971م وبهدف فحص نظرية أينشتاين، تم وضع أربع ساعات من حزم السيزيوم الذرية مرتين على متن طائرات تجارية، وكان خط سيرها حول الأرض، مرة من الشرق إلى الغرب ومرة أخرى من الغرب إلى الشرق. وكانت النتيجة أن سجلت الساعات أزمنة مختلفة لرحلتي الذهاب والعودة. ووفق مقياس الزمن الذري لمركز المراقبة التابع للبحرية الأمريكية، فإن الفروق في الزمن هي جزء من بليون من الثانية، وهذا يتفق مع ما تتنبأ به النسبية.

الشّكل هـ.4

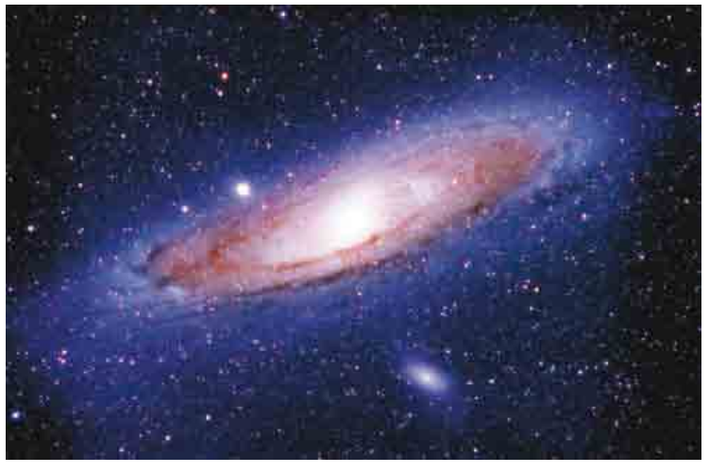
عندما نرى الصاروخ وهو ساكن، فإننا نراه ينتقل بأقصى معدل من الزمن؛ 24 ساعة في اليوم. إذا رأينا الصاروخ متحركًا بأقصى معدل خلال الفضاء (سرعة الضوء) فإننا نرى أن زمنه قد توقف.

■ اختبر نفسك

1. إذا كنت متحركًا في سفينة فضاء بسرعة عالية بالنسبة إلى الأرض، فهل تلاحظ فرقًا في معدل نبضاتك؟ وكذلك في معدل نبضات الناس على الأرض؟
2. هل يعني تمدد الزمن أن الزمن حقيقة يمر ببطء في الأنظمة المتحركة أم يبدو أنّه كذلك؟

هل كانت هذه إجابتك؟

1. لا توجد سرعة نسبية بيني وبين نبضي، والذي يشارك في محور الإسناد نفسه. وعليه فإنني لا ألاحظ فرقًا في نبضي. ولكن هناك أثرًا نسبيًّا بيني وبين الناس على الأرض. وسألاحظ أن معدل نبضي أبطأ من العادي (أو بالمثل، سيجدون أن معدل نبضك أبطأ من العادي). تعزى آثار النسبية إلى الشخص الآخر دائمًا.
2. إنّ بطء الزمن للأنظمة المتحركة ليس مجرد وهم ناجم عن الحركة. حقًّا يمضي الزمن ببطء في الأنظمة المتحركة بالمقارنة مع الأنظمة الساكنة. وهذا واضح بشكل مثير في "رحلة التوأم" في كتاب (Conceptual Physical Science, Practice Book).

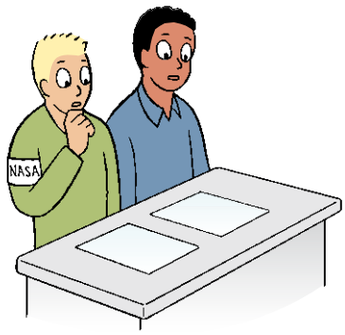


الشّكل هـ.5

يستغرق الضوء 25,000 سنه للانتقال من مركز المجرة إلى نظامنا الشمسي، إذا قيس من محور إسناد الأرض. ولكن إذا قيس من محور إسناد الضوء نفسه فإنّ الرحلة لا تستغرق أي زمن. لا يوجد زمن في محور إسناد سرعة – الضوء.

■ رؤى مختلفة للزمكان

كيف لشخصين في نفس الكون أن يختبرا أزمنة مختلفة؟ ما يربك عقولنا هو حقيقة أننا مخلوقات في ثلاثة أبعاد ونعيش في بعد رابع هو الزمان. افترض ما يلي: يجلس رائدا فضاء خلال استراحتيهما على أريكة حول طاولة القهوة. لقد اتفقا حول شكل الطاولة، وأدركا أن الطاولة هي جسم في ثلاثة أبعاد.



الشّكل هـ.6

تكون الصور في بعدين محدودة في مقدرتها على الإحاطة بحقيقة جسم في ثلاثة أبعاد. لماذا تكون آلة التصوير السينمائي أكثر فاعلية؟

ثم قررا التقاط صور للطاولة من زوايا مختلفة. ومن ثمّ طبعَا الصور على سطح ورق في بعدين، ثم وضعا الصور على الطاولة للتمعن. أيّ هذه الصور تعبر عن الطاولة على نحوٍ أفضل؟ استنتجا بسرعة أن كل صورة تختلف عن الأخرى. إحدى الصور التي التقطت للطاولة من فوق، أظهرت الطاولة أقصر، أمّا الصورة الأخرى التي التقطت من الجانب فجعلتها تبدو طويلة. ولكن، لا توجد صورة واحدة في بعدين يمكنها إعطاء وصف دقيق لجسم في ثلاثة أبعاد.

وبالمثل، فالزمكان له أربعة أبعاد. وهو شيء يمكن لنا كمخلوقات في ثلاثة أبعاد رؤيته من زوايا مختلفة.

كثيرًا ما نجد أنفسنا في فضاء مختلف – أنت تقرأ هذا الكتاب، في حين يقوم صديقك بالتّسوّق. والآن أنت تعلم أنه يمكن أن نكون في زمان مختلف. ولكننا دائمًا معًا في الكون نفسه، وهو الزمكان نفسه.

إذا انطلق رائدا فضاء في سفينتين مختلفتين تتحركان بسرعتين مختلفتين فسيُكَوّنان انطباعات مختلفة. وعندما يلتقيان معًا لتبادل خبراتهما، والتي هي "لقطات خاطفة" في ثلاثة أبعاد، سيكتشفان أنهما شاهدا الشيء نفسه من زوايا مختلفة. وقد يتقدّم أحدهم في العمر بمقدار سنة، في حين يتقدم الآخر سنتين. وهذا يحدث بينما يتمتعان – بالزمكان نفسه. وكما وصفت الطاولة بعدة طرق، يمكن اختبار الزمكان بعدة طرق كذلك.

يمكن ربط النسبية الخاصة مع النسبية العامة. وقد نوقش هذا في البند 3.28، بطرح السؤال البسيط الآتي: ما الذي يجب عليك فعله لتغيير حركتك؟ راجع الفصل الأول، وتذكر أنه لتغيير حركتك، عليك أن تتسارع. ولكن عندما تتسارع في سفينة الفضاء، فستتأثر كما لو أنك في المجال الجاذبي (انظر الشكل 9.28). واستنادًا إلى النسبية العامة، فإن الجاذبية، أو شيء يحاكيها مثل التسارع، له أثر إبطاء الزمن نفسه. وهكذا، بالنسبة إلى المسافر في الفضاء، يحدث تغيير من محور إسناد زمن معين إلى محور إسناد زمن آخر، عندما يتسارع هو أو هي. أضف إلى ذلك، أنّ على المسافر أن يتباطأ عند عودته إلى المنزل. يتغير الزمن مرة ثانية إلى محور الإسناد الأصلي.

من المهم ملاحظة الطبيعة النسبية للزمن في كلّ من النسبية الخاصة والعامة. في كلتا النظريتين، لا توجد طريقة لتوسيع خبراتك. ويمكن للآخرين الذين يتحركون بسرعات مختلفة أو في مجالات جاذبية مختلفة أن يرجعوا طول العمر لك. ولكن طول عمرك يُرى من محور إسنادهم، ولا يمكن رؤيته من محور إسنادك. ويعزى التغير في الزمن والآثار النسبية دائمًا إلى "الشخص الآخر". وهذه هي النسبية.

الشّكل هـ.7

لقد كان أينشتاين أكثر من عالم كبير، لقد كان إنسانًا يتمتع بجرأة غير مسبوقة، مع اهتمام عميق بحياة البشر. إن اختيار مجلة *التايم* (Time) له كرجل القرن في نهاية 1900م كان موفقًا جدًا، ولم يكن محل اختلاف.

رحلة فضائية

إنّ إحدى الحجج القديمة التي تعرض ضد إمكانية سفر البشر إلى مواقع بين نجمية، هي أن مدى حياة البشر قصير جدًا. لقد ذكر، مثلًا، أن أقرب نجم (بَعْد الشمس) وهو ألفا قنطورس (Alpha Centauri)، على بعد أربع سنوات ضوئية، وأن رحلة الذهاب والإياب حتى ولو كانت بسرعة الضوء ستحتاج على الأقل إلى ثماني سنوات. وأنّ الرحلة إلى مركز مجرتنا، حتى ولو كانت بسرعة الضوء، والذي هو على بعد 25,000 سنة ضوئية، ستحتاج إلى 25,000 سنة. ولكن هذه النقاشات، لم تأخذ في الحسبان تمدد الزمن. إنّ الزمن بالنسبة إلى شخص على الأرض يختلف عن الزمن بالنسبة إلى شخص في سفينة صاروخية تسير بسرعة عالية.

إنّ قلب الشخص ينبض بإيقاع موقعه في الزمكان، وهذا يمكن أن يكون مختلفًا بالنسبة إلى مراقب يقف خارج محور إسناد هذا الشخص. مثلًا، افترض أنّ فريقًا من رواد الفضاء يسافر بسرعة تبلغ 99% من سرعة الضوء ($0.99c$) في رحلة ذهاب وإياب إلى نجم الشّعري الشامية (Procyon) (على بعد 10.4 سنة ضوئية). سيستغرق الضوء نفسه 20.8 سنة للقيام برحلة الذهاب والإياب هذه. ولكن بسبب تمدد الزمن، سيبدو لرواد الفضاء أنه قد مضى ثلاث سنوات فقط؛ لأن هذا ما تشير إليه ساعاتهم. فمن ناحية بيولوجية، لقد كبروا ثلاث سنوات فقط. ولكن بالنسبة إلى زملائهم على الأرض الذين سيستقبلونهم عند عودتهم فقد كبروا بمقدار 21 سنة!

النسبية الخاصة هـ-5

تكون النتائج أكثر إثارة عند السرعات العالية: فصاروخ يتحرك بسرعة 0.9999c يقطع مسافة 70 سنة ضوئية في سنة واحدة من أزمانهم. والانتقال بسرعة 0.99999c يوصل الصاروخ إلى بُعد 220 سنة ضوئية في سنة واحدة.

لا تسمح التقنية الحالية بالقيام بمثل هذه الرحلات؛ لأنّ سفن الفضاء التي تتحرك بالسرعات النسبية ستتعرض لوابل من الجسيمات بين النجمية الخطرة إذا تمكنا من حل هذه المشكلات بطريقة ما، فستبرز عندئذٍ مشكلة الطاقة والوقود. ستحتاج السفينة المتنقلة بسرعة نسبية إلى بلايين أضعاف كمية الوقود التي يحتاج إليها المكوك الفضائي ليبلغ المدار. إن القيام بمثل هذه الرحلات غير وارد من الناحية العملية. إذن، فالبديل أمامنا هو التوقف عن التفكير للانتقال خلال الفضاء بسرعات عالية جدًّا، والبدء في التفكير في طرق تمدد الفضاء من خلفنا وانكماشه من أمامنا. وعند دراستنا للطاقة المظلمة (الفصل 28)، قد نستطيع استيعاب آلية عملها واستخدامها في رحلات سفن الفضاء. ربما لصناعة مادة غريبة، أو لعمل تفريغ كبير خلف سفينة الفضاء (وعمل العكس من أمام السفينة) يسمح لنا بأن نكون ساكنين، في حين نتحرك بسرعات فائقة Superluminal ونسمي ذلك "القيادة الخفيةُ" حينها نتمكن من الذهاب إلى أماكن لم يسبقنا إليها أحد. هل أنت مهتم بهذه الرحلة؟ فلديك الأسس. نشجعك على الاستمرار في التعليم حول كوننا الفيزيائي؛ فنحن نعيش في مكان رائع، في زمن رائع.

لمعلوماتك

■ تشير النسبية الخاصة إلى أنّ الكتلة تزداد مع السرعة أيضًا. وهذه الزيادة تكون مهملة عند السرعات الاعتيادية، ولكنها ذات أهمية عند السرعات النسبية. من الواضح أنه لدفع جسم بسرعة أكثر وأكثر يصبح الأمر صعبًا ويزداد صعوبة. تصبح كتلة الجسم لا نهائية عندما تصل سرعته إلى سرعة الضوء، وتحتاج إلى كمية وقود لا نهائية. ولهذا، فمن المستحيل أن تتحرك سفينة فضاء بسرعة الضوء. إنّ سرعة الضوء هي السرعة القصوى التي تنتقل بها أي مادة.

الشّكل هـ.8

إن أفضل خيال علمي هو الذي يُؤلف على أساس متين. والذي يؤدي إلى تخمين يُحتمل تحقيقه يومًا ما، يتضمن ذلك السلام والمتعة والرحمة والإحساس بالمخلوقات الأخرى، والاهتمام العميق بالبيئة لتدوم حياتنا.

قائمة المصطلحات

pH: مقياس لدرجة حموضة المحلول يساوي سالب لوغاريتم للأساس 10 لتركيز أيون الهيدرونيوم.
أثر دوبلر Doppler effect: تغير في تردد موجة متحركة نتيجة حركة المرسِل أو المستقبِل.
الاحتراق Combustion: تفاعل تأكسد – اختزال منتج للحرارة بين مادة غير فلزية والأكسجين الجزيئي.
الاحتكاك Friction: قوة ممانعة تعارض الحركة، أو تمنع محاولة حركة جسم فوق جسم آخر أو خلال مائع.
الاختزال Reduction: عملية يكتسب فيها المتفاعل واحدًا أو أكثر من إلكتروناته.
الإذابة Dissolving: عملية مزج المذاب في مذيب لإنتاج خليط متجانس.
الأزواج غير المرتبطة Nonbonding pairs: تزاوج اثنين من إلكترونات التكافؤ التي لا تميل إلى الاشتراك في رابطة كيميائية.
الاستقطاب Polarization: اصطفاف متجهات المجال الكهربائي العرضية التي تشكل الإشعاعات الكهرومغناطيسية. ويسمّى اصطفافُ هذه الاهتزازات لهذه الأمواج *استقطابًا*.
الإشعاع Radiation: انتقال الطاقة بواسطة الأمواج الكهرومغناطيسية.
الإشعاع الأرضي Earth radiation: الطاقة الإشعاعية التي تبثها الأرض.
أشعة جاما Gamma ray: إشعاعات كهرومغناطيسية عالية التردد تطلق من أنوية ذرات مشعة.
الآلة Machine: أداة مثل الرافعة أو البكرة تزيد القوة أو تنقصها؛ أي أنها تغير اتجاهها.
الألدهايد Aldehyde: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل، ترتبط ذرة الكربون فيه بذرتين؛ الأولى كربون والأخرى هيدروجين. أو أنّها ترتبط بذرتين من الهيدروجين.
الإلكترون Electron: جسيم صغير جدًّا، دون مجهري، مشحون بشحنة سالبة، موجود خارج نواة الذرة.
الألوان الأولية المضافة Additive primary colors: الألوان الثلاثة: الأحمر والأخضر والأزرق. وهي التي نستطيع إنتاج أي لون في الطيف عند إضافتها بنسب معينة.
الألوان الأولية المطروحة Subtractive primary colors: الألوان الثلاثة التي تمتصها الأصباغ: البنفسجي والأصفر والأزرق الداكن. وعند مزجها بنسب معينة يمكنها عكس أي لون في الطيف.
الألوان المتممة Complementary Colors: أي لونين ينتجان اللون الأبيض عند مزجهما.
الأمبير Ampere: وحدة التيار الكهربائي، معدل سريان شحنة كهربائية بمقدار 1 كولوم في ثانية.
الامتثال Conformation: واحد من التوجهات المكانية لجزيء ما.
الأمفوترية Amphoteric: وصف للمادة التي يمكن أن تسلك سلوك حمض أو سلوك قاعدة.
الأميد Amide: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل. يرتبط الكربون فيه بذرة نيتروجين.
الأمين Amine: جزيء عضوي يحتوي على ذرة نيتروجين مرتبطة بواحدة أو أكثر من ذرات الكربون المشبعة.
الإنتروبي Entropy: مقياس لمدى تشتت الطاقة في النظام. كلما تحولت الطاقة من شكل إلى آخر، فإن اتجاه التحول يكون نحو الحالة الأكثر فوضى، ومن ثم، نحو الحالة التي تزيد فيها الإنتروبي.
الاندماج النووي Nuclear fusion: اتحاد أنوية ذرات عناصر خفيفة لتشكيل أنوية ثقيلة، مصحوبة بتحرير طاقة هائلة.
الانشطار النووي Nuclear fission: انقسام نواة ذرة ثقيلة، مثل اليورانيوم 235-، إلى جزأين رئيسين، مصحوبًا بتحرير طاقة هائلة.
الانصهار Melting: عملية تحول الطور من الصلابة إلى السيولة؛ كتحوّل الجليد إلى ماء.
انعدام الوزن Weightlessness: أن تكون دون قوة داعمة، كما في السقوط الحر.
الانعكاس Reflection: عودة أشعة الضوء عن سطح عاكس بحيث تكون الزاوية التي يرجع بها شعاع معين مساوية للزاوية التي سقط بها على السطح (يسمى *انعكاس المرآة*).
الانعكاس Reflection: عودة موجة الصوت؛ الصدى.
الانعكاس المنتشر Diffuse reflection: انعكاس في اتجاهات غير منتظمة من سطح غير منتظم.
الانفجار الصوتي Sonic boom: علو الصوت الناتج عن موجة صادمة.
الانكسار Refraction: انحناء الموجة، إما خلال وسط غير منتظم، أو انتقالها من وسط إلى آخر، بسبب اختلاف سرعة الموجة.
الانكسار Refraction: انحناء شعاع الضوء المائل عندما يمر من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر. يحدث هذا بسبب الفرق في سرعة الضوء في الأوساط الشفافة، عندما يكون التغير في الوسط فجائيًّا (من الهواء إلى الماء مثلًا)، يكون الانحناء مفاجئًا، وعندما يكون التغير في الوسط تدريجيًّا (من الهواء الساخن إلى الهواء البارد مثلًا) يكون الانحناء تدريجيًّا. وإليه يعزى تكون السراب.

2-G قائمة المصطلحات

الأنود Anode: القطب الذي يحدث عليه التأكسد.
الاهتزاز Vibration: تذبذب مع الزمن.
الاهتزاز القسري Forced Vibration: بدء الاهتزازات في جسيم بواسطة قوة مهتزة.
إهليلج Ellipse: المسار البيضوي الذي يسلكه القمر الصناعي. مجموعُ البعدين من أي نقطة على المسار إلى النقطتين المسمّاتين البؤرتين مقدارٌ ثابت. عندما تنطبق البؤرتان في نقطة واحدة يصبح الإهليلج دائرة. ولكن عندما تتباعد البؤرتان، يصبح مركز الإهليلج أكثر *اختلالا*.
الإيثر Ether، جزيء عضوي يحتوي على ذرة أكسجين مرتبطة بذرتي كربون.
الإيستر Ester: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل، والتي ترتبط ذرة الكربون فيه بذرة كربون واحدة وذرة أكسجين واحدة مرتبطة بذرة كربون أخرى.
الأيونIon:جسيم مشحون كهربائيًّا يتكون عندما تفقد/ أو تكسب ذرة إلكترونًا أو أكثر من إلكتروناتها.
أيون الهيدروكسيل Hydroxide ion: جزيء الماء بعد فقدانه أيون الهيدروجين.
أيون الهيدرونيوم Hydronium ion: جزيء الماء بعد اكتسابه أيون الهيدروجين.
أيون متعدد الذرات polyatomic ion: جزيء أيونيّ مشحون.
البحث الأساسي Basic research: فرع من البحث العلمي يركز على الفهم الأعمق لكيفية عمل العالَم الطبيعي.
البحث التطبيقي Applied research: فرع من البحث العلمي يركز على تطوير التطبيقات المستندة إلى الاكتشافات الرئيسة من خلال البحث الأساسي.
البروتون Proton: جسيم دون مجهري له شحنة موجبة في نواة الذرة.
التأريخ بالكربون 14- Carbon-14 dating: عملية تقدير عمر مادة كانت حية فيما مضى من خلال قياس كمية نظير الكربون المشع المتبقي فيها.
التأكسد Oxidation: عملية يفقد فيها المتفاعل إلكترونًا أو أكثر من إلكتروناته.
التبخر Evaporation: تغيُّر الطور عند سطح السائل لدى مروره بالطور الغازي.
التجمد Freezing: عملية تحول في الطور من السيولة إلى الصلابة، كما هو الحال من الماء إلى الجليد.
تحوُّل Transmutation: تحوُّل نواة ذرة عنصر ما إلى نواة ذرة عنصر آخر بفقد أو اكتساب عدد من البروتونات.
التخلخل Rarefaction: منطقة تخلخل، أو منطقة ضغط خفيف للوسط الذي تنتقل من خلاله الموجة الطولية.
التداخل Interferance: خاصية لأنواع الموجات جميعها، والتي لها طول الموجة نفسه عادة. ينتج التداخل البناء من تعزيز القمة إلى القمة، وينتج التداخل الهدام من اختزال قمة – بطن.
ارتداد Reverberation: إعادة صدى الصوت.
التردد Frequency: لجسم أو وسط مهتز؛ هو عدد الاهتزازات في وحدة الزمن. وللموجة؛ هو عدد القمم التي تمر بنقطة معينة في وحدة الزمن.
التردد الأساس Fundamental frequency: أقل تردد للاهتزاز، أو التوافقي الأول. يصنع اهتزاز الوتر قطعة مفردة .
التردد الطبيعي Natural frequency: تردد يميل الجسم المرن للاهتزاز به طبيعيًّا، لذا نحتاج إلى الحد الأدنى من الطاقة لإنتاج اهتزاز قسري أو لاستمرار الاهتزاز بهذا التردد.
مترسِّب Precipitate: مذاب يخرج من المحلول.
تركيب الإلكترون النقطي Electron- dot structure: ترميز مختصر لنموذج القشرة للذرة، والذي يبين إلكترونات التكافؤ حول الرمز الذري.
التركيب الأيزوميري Structural isomers: جزيئات تتشابه في الصيغة الجزيئية، ولكنها تختلف في الهيئة.
التركيز Concentration: مقياس كمي لمقدار المذاب في المحلول.
التسارع Acceleration: معدل تغير السرعة المتجهة مع الزمن؛ التغير في السرعة المتجهة يمكن أن يكون في المقدار أو الاتجاه أو في كليهما، ويقاس عادة بوحدات م/ث^2.
التسامي Sublimation: تغير الطور من الصلب إلى الغاز مباشرة، متخطيّا طور السائل.
التشتت Dispersion: انفصال الضوء إلى الألوان مرتبة وفق التردد.
تصادم غير مرن Inelastic collision: تصادم بين أجسام تكون نتيجته إحداث تشوهات في الأجسام، أو إنتاج حرارة، أو التصاق الأجسام بعضها ببعض.
تصادم مرن Elastic collision: تصادم بين أجسام دون إحداث تشوهات أو إنتاج حرارة.
التضاغط Compression: منطقة كثيفة للوسط، تنتقل من خلالها الموجة الطولية.
التعادل Neutralization: تفاعل يتم باتحاد حمض وقاعدة لتكوين ملح.

3-G قائمة المصطلحات

المحلول المعلق Suspension: خليط متجانس لا تكون مكوناته المختلفة في الطور نفسه.

التغير الفيزيائي Physical change: تغير تستبدل فيه المادة واحدة أو أكثر من خصائصها الفيزيائية دون التحول إلى مادة جديدة.

التغير الكيميائي Chemical change: تغير يتم فيه إعادة ترتيب ذرات مادة أو أكثر لإنتاج مواد جديدة.

التفاعل Interaction: فعل متبادل بين أجسام يؤثر بعضها ببعض بقوى متساوية ومتعاكسة في الاتجاه.

التفاعل الكيميائي Chemical reaction: مرادف للتغير الكيميائي.

التفاعل المتسلسل Chain reaction: تفاعل مستدام ذاتيًّا والذي تحفز فيه نواتج حدوث تفاعل واحد حدوث تفاعلات أخرى.

اندماج نووي حراري Thermonuclear fusion: اندماج نووي ينتج عن الحرارة العالية.

التقطير Distillation: عملية تنقية حيث تكثف المادة بعد تبخيرها بتمريرها إلى درجات حرارة باردة في دورق، ومن ثمّ يجمع السائل المكثف النقي.

التكاثف Condensation: تغير الطور من الغاز إلى السائل، وهو عكس التبخير الذي يشير إلى تسخين السائل حتى الغليان بحيث تحدث حالة من التبخير السريع ضمن السائل وفي الهواء المحيط. وكما هو الحال في التبخير يحدث التبريد.

التناضح Osmosis: انتشار الماء أو بعض السوائل الأخرى عبر غشاء شبه نفاذ من محلول له تركيز مذاب منخفض إلى محلول له تركيز مذاب أعلى.

التناضح العكسي Reverse osmosis: آلية لتنقية الماء لإجباره على المرور عبر غشاء شبه نفاذ.

التوافقي Harmonic: النغم الجزيئي الذي هو مضاعف عدد للتردد الأساس. الاهتزاز الذي يبدأ بتردد الاهتزاز هو التوافق الأول، وضعف الأساس هو التوافق الثاني وهكذا دواليك.

التوصيل Conduction: انتقال الطاقة الحرارية بواسطة اصطدام الجزيئات والإلكترونات في المادة (وخصوصًا في الجامد).

التيار الكهربائي Electric current: سريان الشحنة الكهربائية التي تنقل الطاقة من موقع إلى آخر. وتقاس بوحدة الأمبير، حيث 1A عبارة عن سريان 6.25×10^{18} في الثانية أو 1 كولوم في ثانية.

التيار المتناوب(ac) Alternating current: التيار الكهربائي الذي يعيد تغيير اتجاهه، تهتز الشحنات الكهربائية حول نقاط ثابتة. معدل الاهتزاز في الولايات المتحدة هو 60 هرتز.

التيار المستمر(dc) Direct current: التيار الكهربائي الذي يسري في اتجاه واحد فقط.

الثناقطبي Dipole: انفصال في الشحنة يحدث في الرابطة الكيميائية بسبب الفرق في السالبية الكهربائية للذرات المرتبطة.

الثناقطبي المستحث Induced dipole: ثناقطبي استحدث مؤقتًا في جزيء غير قطبي أصلًا، مستحث من شحنة مجاورة.

الجدول الدوري Periodic table: رسم يضم العناصر الكيميائية المعروفة جميعها بترتيب وفق العدد الذري لكل منها.

الجزيء Molecule: جسيم دون مجهري يتكوّن من مجموعة ذرات.

الجزيء Molecule: مجموعة من الذرات تتماسك بشدة مع بعضها بالروابط التساهمية.

جسيم ألفا Alpha particle: نواة ذرة الهيليوم التي تتكون من بروتونين ونيوترونين، وتطلق من بعض العناصر المشعة.

جسيم بيتا Beta particle: إلكترون (أو بوزترون) يطلق خلال عملية انحلال إشعاعي من بعض النويات.

الجهد الكهربائي Electric potential: طاقة الوضع الكهربائية لكل كمية الشحنة، وتقاس بالفولت وتسمّى غالبًا الجهد.

الجودة Quality: نغمة مميزة للصوت الموسيقي، يحكم بعدد النغمات الأليفة الجزئية وشدتها النسبية.

الحمض Acid: مادة تعطي أيونات الهيدروجين.

حمض الكربوكسيليك Carboxylic acid: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل. ويحتوي الكربون فيه على مجموعة الهيدروكسيل.

الحت Corrosion: انحلال الفلز، في العادة بفعل أكسجين الغلاف الجوي.

الحث الكهرمغناطيسي Electromagnetic induction: الجهد المستحث عندما يتغير المجال المغناطيسي مع الزمن. إذا تغير المجال المغناطيسي ضمن حلقة مغلقة بأي طريقة، فإن جهدًا يستحث في هذه الحلقة.

الحجم Volume: مقدار الحيّز الذي يشغله الجسم.
الحرارة Heat: الطاقة الحرارية التي تنساب من مادة درجة حرارتها أعلى إلى مادة درجة حرارتها أقل، وتقاس عادة بالسعرات أو الجولات.
حرارة الانصهار Heat of fusion: كمية الطاقة اللازمة لتحويل أي مادة من الصلابة إلى السيولة (وبالعكس)، وهي للماء 334 جول/جم (أو 80 سعر/جم).
حرارة التبخير Heat of vaporization: كمية الطاقة اللازمة لتحويل أي مادة من السيولة إلى الغازية (وبالعكس)، وهي للماء 2256 جول/جم (أو 540 سعر /جم).
حفظ الطاقة للآلات Conservation of energy and machines: الشغل الناتج عن أي آلة لا يمكن أن يزيد على الشغل المدخل إليها. في الآلة المثالية، لا توجد أي طاقة متحولة إلى طاقة حرارية.

$$\text{الشغل}_{\text{المدخل}} = \text{الشغل}_{\text{الناتج}} = (Fd)_{\text{مدخل}} = (Fd)_{\text{ناتج}}$$

الحقيقة Fact: ظاهرة ما يبديها ملاحظ كفء من خلال عمل سلسلة من الملاحظات المتوافقة.
الحمل Convection: انتقال الطاقة الداخلية في الغاز أو السائل بواسطة التيارات في المائع المسخن، ينساب المائع حاملًا الطاقة معه.
الخاصية الفيزيائية Physical property: أي صفة فيزيائية للمادة مثل اللون أو الكثافة أو القساوة.
الخاصية الكيميائية Chemical property: الخاصية التي تصف قدرة المادة على التعرض للتغير والتحول إلى مادة جديدة.
الخليط Mixture: اتحاد بين مادتين أو أكثر تحتفظ فيه كل مادة بخصائصها.
خليط غير متجانس Heterogeneous mixture: خليط يمكن اعتبار مكوناته المختلفة مواد مفردة.
خليط متجانس Homogeneous mixture: خليط تكون مكوناته ممزوجة بدقة، بحيث يكون التركيب نفسه (متجانسًا) في أجزائه كلها.
دارة التوازي Parallel circuit: دارة كهربائية تتكون من جهازين أو أكثر، موصولين بطريقة يتساوى فيها فرق الجهد المؤثر في أي منهما، أو في أي جهاز يكمل الدارة باستقلالية.
دارة التوالي Series circuit: دارة كهربائية بأجهزة موصلة بطريقة يسري فيها التيار الكهربائي نفسه خلال كل جهاز.
درجة الحرارة Temperature: مقياس لسخونة المواد أو برودتها، تتعلق بمعدل الطاقة الحركية لكل جزيء في المادة. تقاس بالدرجات المئوية، أو الدرجات الفهرنهايتية، أو الصفر المطلق.
درجة الصفر المطلق Absolute Zero: درجة الحرارة النظرية التي لا تمتلك المادة عندها أي طاقة حرارية والتي تكون عندها الطاقة الحركية لجسيمات المادة في أدنى قيمة لها.
درجة النغم Pitch: البصمة الذاتية لتردد الصوت.
دفع القوة Impulse: حاصل ضرب القوة المؤثرة في جسم ما في الفترة الزمنية التي أثرت خلالها القوة.
الدورة Period: الزمن اللازم لحصول اهتزاز واحد، أو الزمن اللازم لإكمال الموجة دورة كاملة، وتساوي 1/التردد. والسطر الأفقي في الجدول الدوري.
دون المجهري Submicroscopic: في حجم الذرات والجزيئات، وهي صغيرة جدًّا بحيث لا يمكن رؤيتها مباشرة بالمجاهر الضوئية.
الديناميكا الحرارية Thermodynamics : دراسة الحرارة وتحولاتها إلى أشكال طاقة أخرى.
الذرة المغايرة Heteroatom: أي ذرة غير الكربون والهيدروجين في الجزيء العضوي.
الذوبانية Solubility: مقدرة المُذاب على الذوبان في مُذيب معين.
الرابطة الأيونية Ionic bond: رابطة كيميائية، حيث تمسك قوة الجذب الكهربائي الأيونات ذات الشحنات المتعاكسة معًا.
الرابطة التساهمية Covalent bond: رابطة كيميائية تمسك الذرات معًا بالجذب المتبادل لإلكترونين أو أكثر من الإلكترونات التي تتشارك فيها.
الرابطة الفلزية Metallic bond: رابطة كيميائية، تكون فيها أيونات الفلز الموجبة الشحنة متماسكة معًا ضمن "المائع".
الرابطة الكيميائية Chemical bond: قوة التجاذب بين ذرتين تجعلهما متماسكتين معًا، وأصلها كهربائي، كما نوقش في الفصل 19.
الرابطة الهيدروجينية Hydrogen bond: تجاذب ثناقطبي – ثناقطبي قوي بين ذرة هيدروجين مشحونة قليلًا بشحنة موجبة لجزيء وزوج من الإلكترونات غير المرتبطة لجزيء آخر .
الراد Rad: كمية كبيرة من الطاقة الإشعاعية تساوي 0.01 جول من الطاقة الممتصة لكل كيلوجرام من النسيج الحي.

قائمة المصطلحات G-5

الرافعة Lever: آلة بسيطة تتكون من قضيب صلب يرتكز في نقطة ثابتة تسمى نقطة الارتكاز.
الرم Rem: وحدة قياس لقدرة الإشعاع على إلحاق الضرر بالأنسجة الحية.
الرمز الذري Atomic symbol: اختصار للعنصر أو الذرة.
الرنين Resonance: استجابة الجسم عند تساوي الترددين: القسري والطبيعي.
الزخم الخطي Momentum: حاصل ضرب كتلة جسم ما في سرعته.
زمن التحليق Hang time: الزمن الذي ترتفع خلاله قدما شخص ما فوق السطح خلال قفزة عمودية.
زوج قوى Force pair: قوى الفعل ورد الفعل التي تحصل خلال تفاعل ما.
السالبية الكهربائية Electronegativity: مقدرة الذرة على جذب الزوج المرتبط من الإلكترونات إلى نفسها عندما ترتبط بذرة أخرى.
السبيكة Alloy: خليط عنصرين فلزّيْن أو أكثر.
سرعة الإفلات Escape speed: السرعة التي يجب أن يصل إليها المقذوف أو مِجَس الفضاء، أو ببساطة أي جسم، ليفلت من أثر الجاذبية الأرضية، أو أي جسم سماوي آخر ينجذب إليه.
السرعة الحدية Terminal speed: السرعة التي يصل إليها جسم ساقط عندما تتساوى مقاومة الهواء مع وزنه.
السرعة القياسية Speed: المسافة المقطوعة في وحدة الزمن.
السرعة المتجهة الحدية Terminal velocity: السرعة الحدِّية التي يكون فيها الاتجاه محددًا.
سرعة الموجة Wave speed: السرعة التي تتخطى بها موجة نقطة معينة.
سرعة الموجة = التردد × طول الموجة.
السعة Amplitude: (الاتساع) للموجة أو الاهتزاز، أعظم إزاحة على أي جانب من موقع الاتزان (نقطة النصف)
السعة الحرارية النوعية Specific heat capacity: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة وحدة كتلة من المادة مقدار درجة سيليزية واحدة.

السقوط الحر Free fall: سقوط تحت تأثير الجاذبية فقط.
الشغل Work: حاصل ضرب القوة في المسافة المقطوعة تحت تأثير القوة

$$Fd = W$$

(عمومًا، الشغل هو مركبة القوة في اتجاه الحركة مضروبة في المسافة المقطوعة.)
شفاف Transparent: مصطلح يطلق على المواد التي يمر الضوء من خلالها دون امتصاص، ويكون في خطوط مستقيمة عادة.
الصيغة العنصرية Elemental formula: ترميز يستخدم الرمز الذري (أحيانًا) رقمًا سفليًّا (دليليًّا) للإشارة إلى كيفية ارتباط ذرات العناصرمعًا.
صيغة الكتلة Mass formula: مجموع الكتل الذرية للذرات في المركب الكيميائي أو العنصر.
الصيغة الكيميائية Chemical formula: ترميز يستخدم للإشارة إلى مكونات المركب، يتكون من الرمز الذري للعناصر المكونة للمركب كأرقام سفلية (دليلية) تشير إلى النسبة التي تتحد بها الذرات.
الضربات Beats: سلسلة من التعزيزات والإلغاءات المتناوبة التي تنتج عن التداخل لموجتين تختلفان قليلًا في ترديهما، وتسمع على شكل خفقان في أمواج الصوت.
الضغط Pressure: النسبة بين القوة والمساحة التي تتوزع عليها القوة:

الضغط = القوة / المساحة

ضغط السائل = الكثافة الوزنية × العمق

الضغط الجوي Atmospheric pressure: الضغط المؤثر في الأجسام المغمورة في الغلاف الجوي والناتج عن وزن الهواء الموجود فوق هذه الأجسام. عند مستوى سطح البحر، الضغط الجوي يساوي 101 كيلو باسكال تقريبًا.
طاردة للحرارة Exothermic: مصطلح يصف التفاعل الكيميائي الذي تكون فيه طاقة محررة صافية.
الطاقة Energy: خاصية نظام قادر على بذل شغل.

طاقة التنشيط Activation energy: الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لحدوث التفاعل الكيميائي.

الطاقة الحرارية Thermal energy: مجموع الطاقة (حركية + وضع) للجسيمات التي تتكون منها المادة.

طاقة الحركة Kinetic energy: الطاقة التي يمتلكها جسم ما عند حركته. كميًّا، وتكتب وفق العلاقة:

$$\text{طاقة الحركة} = \frac{1}{2}mv^2$$

طاقة الرابطة Bond energy: مقدار الطاقة التي امتصت عند تحطيم الرابطة الكيميائية أو تحررت عند تشكلها.

طاقة الوضع Potential energy: الطاقة التي تمتلكها المادة بسبب موقعها.

$$\text{PE الجاذبية} = mgh$$

طاقة الوضع الكهربائية Electric potential energy: الطاقة التي تمتلكها الشحنة نتيجة موقعها في المجال الكهربائي.

الطريقه العلمية Scientific method: إجراءات ومبادئ منهجية لتحصيل المعرفه، تتضمن معرفة المسألة وصياغتها، وجمع البيانات عبر الملاحظة والتجربة وفحص الفرضيات.

طول الموجة Wavelength: المسافة بين قمتين، أو بطنين متتاليين، أو أي جزأين متماثلين متتابعين من الموجة.

الطيف الذري Atomic spectrum: نمط ترددات الإشعاعات الكهرومغناطيسية المنبعثة من ذرة العنصر، وتعدّ "بصمة" العنصر.

الطيف الكهرومغناطيسي Electromagnetic spectrum: مدى من الموجات الكهرومغناطيسية تمتد في التردد من الأمواج الراديوية إلى إشعاعات جاما.

عدد أفوجادرو Avogadro's number: عدد الجسيمات – 6.02×10^{23} – المحتوى في مول واحد من أي شيء.

العدد الذري Atomic number: مجموع عدد البروتونات في نواة الذرة.

العدد الكمي الرئيس Principal quantum number: عدد يحدد مستوى الطاقة المكمى للمدار الذري.

ماء عسر Hard water: ماء يحتوي على كميات كبيرة من أيونات الكالسيوم والماغنسيوم.

العلم Science: مجموع ما اكتشفه البشر عن الطبيعة، وهو عملية جمع المعرفة عن الطبيعة وتنظيمها.

العلم الكاذب Pseudoscience: ما يبدو أنه علم حقيقي، وهو ليس كذلك.

عمر النصف Half-life: الزمن اللازم لانحلال نصف عدد ذرات عينة نظير مشعّ.

العنصر Element: أي مادة تتكون من نوع واحد فقط من الذرات.

غشاء شبه نفاذ Semipermeable membrane: غشاء يسمح فقط بمرور جزيئات صغيرة تلائم فتحات المسامات دون المجهرية.

غير قابل للذوبان Insoluble: عدم القدرة على الذوبان بأي كمية ملموسة في مذيب معين.

غير قطبي Non polar: خاصية للرابطة الكيميائية التي لا يوجد لها ثناقطبي.

غير نقي Impure: يدل هذا المصطلح في الكيمياء على أن المادة الخليط مكونة من أكثر من عنصر أو مركب.

الفرضية Hypothesis: تخمين بارع، وتفسير منطقي للملاحظة أو النتائج التجريبية التي لم تقبل كحقائق مرة تلو الأخرى بالتجربة.

فرضية الكم Quantum hypothesis: تشير إلى أن طاقة الضوء موجودة في رزم منفصلة تسمى كمات، الكم رزمة صغيرة محددة من طاقة الضوء.

فرق الكمون Potential difference: الفرق في الجهد بين نقطتين، يقاس بالفولت، وعادة ما يسمى فرق الجهد.

الفينول Phenol: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بحلقة بنزين.

القاعدة Base: مادة تأخذ أيونات الهيدروجين.

قاعدة أرخميدس Archimedes' principle: عندما يغمر جسم في مائع فإنه يتأثر بقوة طفو للأعلى تساوي وزن المائع المزاح (لكل من الغازات والسوائل).

قاعدة الاتزان Equilibrium rule: المجموع المتجه للقوى المؤثرة في جسم غير متسارع ويساوي صفرًا.

قاعدة باسكال Pascal's principle: التغير في الضغط عند أي نقطة في مائع محصور وساكن ينتقل إلى أجزاء المائع جميعها.

قاعدة برنولي Bernoulli's principle: الضغط في مائع يتحرك بثبات ودون احتكاك أو تغير في طاقتة الداخلية، ويقل بزيادة سرعة المائع.

القانون Law: عادة، فرضية أو بيان حول العلاقة بين كميات طبيعية فُحصت مرارًا ولم تُنقض. ويسمى أيضًا مبدأ.

قانون الانعكاس Law of reflection: زاوية السقوط = زاوية الانعكاس. الأشعتان: الساقطة والمنعكسة تقعان في مستوى عمودي على السطح العاكس.

القانون الأول في الديناميكا الحرارية First law of thermodynamics: إعادة صياغة لقانون حفظ الطاقة، يطبق عادة على الأنظمة التي تتغير درجة حرارتها. كلما انسابت الحرارة من النظام فإن كسب الطاقة الحرارية أو خسارتها يساوي كمية الحرارة المنتقلة.

قانون التربيع العكسي Inverse-square law: ينتشر الأثر من مصدر نقطي بانتظام خلال الفضاء المحيط ويتناقص مع مربع المسافة:

الكثافة = 1 / (المسافة)^2

تتبع الجاذبية قانون التربيع- العكسي، كما هو الحال أيضًا في كلّ من الكهرباء والضوء والصوت وظاهرة الإشعاع.

القانون الثالث في الديناميكا الحرارية Third law of thermodynamics: عدم وصول أيّ نظام إلى درجة الصفر المطلق.

القانون الثاني في الديناميكا الحرارية Second law of thermodynamics: لا يمكن أن تنتقل الحرارة آنيًّا من مادة باردة إلى مادة ساخنة. أيضًا، في العمليات الطبيعية، تميل الطاقة ذات الجودة العالية للتحول إلى طاقة ذات جودة منخفضة- النظام يميل إلى الفوضى.

قانون الجذب الكوني Law of universal gravitation: يجذب كل جسم في الكون أيَّ جسم آخر بقوة. وهو لجسمين، يتناسب مباشرة مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسيًّا مع مربع البعد بينهما:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{d^2}$$

قانون أوم Ohm's law: يتغير التيار في الدارة الكهربائية بتناسب مباشر مع فرق الجهد وعكسيًّا مع المقاومة:

التيار = الجهد / المقاومة

ينتج تيار مقداره 1 أمبير عندما يؤثر فرق جهد بمقدار 1 فولت عبر مقاومة مقدارها 1 أوم.

قانون بويل Boyle's law: يكون حاصل ضرب الضغط في الحجم ثابتًا لكتلة ما من غاز محصور بغض النظر عن تغير الضغط أو الحجم بشكل منفرد ما دامت درجة الحرارة ثابتة:

$$P_2V_2 = P_1V_1$$

قانون حفظ الزخم Law of conservation of momentum: عند عدم وجود قوة خارجية على نظام ما فإن زخمه يبقى ثابتًا. وهكذا فإن الزخم قبل حدث ما، بما يتضمنه من قوى داخلية، يساوي الزخم بعد الحدث.

$$mv_{\text{قبل}} = mv_{\text{بعد}}$$

قانون حفظ الطاقة Law of conservation of energy: الطاقة لا يمكن أن تستحدث أو تفنى، بل تتغير من شكل إلى آخر، أما مجموع الطاقة فلا يتغير أبدًا.

قانون حفظ الكتلة Law of mass conservation: المادة لا تفنى ولا تُستحدث خلال التفاعل الكيميائي، بل يعاد ترتيب الذرات فقط، دون فقد أو اكتساب أي كتلة، لتكوين جزيئات جديدة.

قانون فارادي Faraday's law: قانون الحث الكهرومغناطيسي الذي يتناسب فيه جهد الحث في ملف مع عدد الحلقات مضروبًا في معدل تغير المجال المغناطيسي ضمن هذه الحلقات. (إن جهد الحث في الحقيقة هو نتاج الظاهرة الأكثر أساسية: حث المجال الكهربائي.)

قانون كولوم Coulomb's law: العلاقة بين القوة الكهربائية والشحنة والمسافة: إذا كانت الشحنات متشابهة في النوع فالقوة تنافر، أما إذا كانت الشحنات مختلفة، فتكون القوة تجاذبًا.

قانون ماكسويل مقابل قانون فارادي Maxwells' counter-part to Faradays' law: يتولد مجال حث مغناطيسي في أي منطقة من الفضاء حيث يتغير المجال الكهربائي مع الزمن. وبالمثل، يتولد مجال حث كهربائي في أي منطقة من الفضاء؛ حيث يتغير المجال المغناطيسي مع الزمن.

قانون نيوتن الأول في الحركة Newton's first law of motion: كل جسم يستمر في حالة سكونه أو حركته في خط مستقيم بسرعة ثابتة ما لم تؤثر فيه قوة محصلة.

قانون نيوتن الثالث Newton's third law of motion: عندما يؤثر جسم بقوة في جسم آخر فإن الجسم الآخر يؤثر بقوة مساوية ومعاكسة في الاتجاه للجسم الأول.

قانون نيوتن الثاني في الحركة Newton's second law of motion: التسارع الناتج عن قوة محصلة على جسم ما يتناسب طرديًّا مع محصلة القوى وفي اتجاهها نفسه، ويتناسب عكسيًّا مع كتلة الجسم.

قانون نيوتن للتبريد Newton's law of cooling: يتناسب معدل فقد الطاقة الداخلية من الجسم مع الفرق في درجة الحرارة بين الجسم ومحيطه. يناسب معدل التبريد مع .

القدرة Power: معدل الشغل المبذول

القدرة = الشغل / الزمن

عادة، القدرة هي معدل استهلاك الطاقة

القدرة الكهربائية Electric power: معدل انتقال الطاقة، أو معدل بذل الشغل، كمية الطاقة لوحدة الزمن، والتي يمكن قياسها بحاصل ضرب التيار في الجهد:

القدرة = التيار × الجهد

وتقاس بالواط (أو الكيلواط)، حيث 1 أمبير × 1 فولت = 1 واط.

المقذوف Projectile: أي جسم يتحرك خلال الهواء أو الفضاء تحت تأثير الجاذبية.
القشرة Shell: مجموعة من المدارات المتداخلة لها مستوى الطاقة نفسه. وبكلام آخر، منطقة في الفضاء تكون الإلكترونات المتماثلة في مستوى الطاقة في الذرة لها نسبة وجود 90%.
قشرة التكافؤ Valence shell: القشرة الخارجية الأخيرة المعبأة في الذرة.
القصور Inertia: خاصية مقاومة الأجسام للتغيرات في الحركة.
القطب Electrode: أي مادة توصل الإلكترونات من وسط حدوث التفاعل الكهروكيميائي أو إليه.
قطبي Polar: خاصية للرابطة الكيميائية التي لها ثناقطبي.
القطع الزائد Parabola: المسار المنحني الذي تتبعه القذيفة تحت تأثير الجاذبية الثابتة فقط.
القمر الصناعي Satellite: مقذوف أو جسم سماوي صغير يدور حول جسم سماوي أكبر.
القوة Force: بتعبير بسيط، دفع أو سحب.
قوة الدعم Support force: قوة تدعم جسمًا ضد الجاذبية، وغالبًا ما تسمى القوة العمودية.
القوة الصافية Net force: دمج القوى جميعها التي تؤثر في جسم ما.
قوة الطفو Buoyant force: محصلة القوة للأعلى التي يؤثر بها السائل في جسم مغمور فيه.
القوة المغناطيسية Magnetic force: (1) بين المغانط. تجاذب بين الأقطاب المختلفة وتنافر بين الأقطاب المتشابهة.(2) بين المجال المغناطيسي والشحنة المتحركة، هي قوة حارفة بسبب حركة الشحنة: تكون القوة الحارفة عمودية على سرعة الشحنة وعمودية على خطوط المجال المغناطيسي. وتكون هذه القوة أعظم ما يمكن عندما تتحرك الشحنة عموديًا على خطوط المجال وأقل ما يمكن (صفر) عندما تتحرك موازية لخطوط المجال.
القوة النووية القوية Strong nuclear force: قوة التفاعل بين النويات جميعها، وهي ذات فاعلية على المسافات القصيرة جدًا فقط.
الكاثود Cathode: القطب الذي يحصل عليه الاختزال.

إلكترون التكافؤ Valence electron: الإلكترون الموجود في المدار الأخير من القشرة في الذرة، والذي يشترك في الرابطة الكيميائية.
الكتلة Mass: كمية المادة في الجسم. وأكثر تحديدًا، هي مقياس القصور أو الركود الذي يسلكه الجسم استجابة لأي مؤثر يعمل على تحريكه أو إيقافه، أو أي تغيير في حالة حركته.
الكتلة الحرجة Critical mass: الحد الأدنى من كتلة المادة الانشطارية في المفاعل أو القنبلة النووية، والذي يبقى على التفاعل المتسلسل مستمرًا.
الكتلة الذرية Atomic mass: كتلة ذرات العنصر الموجودة في قائمة الجدول الدوري كقيمة وسطية على أساس التوافر النسبي لنظائر العنصر.
الكتلة المولرية Molar mass: كتلة مول واحد من المادة.
الكثافة Density: كمية المادة في وحدة الحجم.

الكثافة = الكتلة / الحجم

كثافة وزنية هي الوزن في وحدة الحجم.

الكحول Alcohol: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الهيدروكسيل المرتبطة بذرة كربون مشبعة.
الكفاءة Efficiency: نسبة الشغل الناتج إلى الشغل المدخل. (عادة الطاقة الناتجة مقسومة على الطاقة المدخلة.)

الكفاءة = الطاقة الناتجة / مجموع الطاقة المدخلة

الكمية المتجهة Vector quantity: كمية يلزم لوصفها كل من مقدارها واتجاهها.
الكهرلة Electrolysis: استخدام الطاقة الكهربائية لإحداث تغير كيميائي.
كولوم Coulomb: الوحدة العالمية (SI) للشحنة الكهربائية. قيمة الكولوم الواحد (الرمز C) تساوي مجموع شحنات 6.25×10^{18} إلكترون.
كيتون Ketone: جزيء عضوي يحتوي على مجموعة الكربونيل، الكربون فيها مرتبط بذرتي كربون.
الكيلوجرام Kilogram: وحدة كتلة. الكيلوجرام الواحد (رمزه كجم) هو لتر واحد من الماء عند درجة حرارة 4°س.
الكيمياء العضوية Organic chemistry: دراسة المركبات التي تحتوي على الكربون.
الكيمياء الكهربائية Electrochemistry: فرع من الكيمياء يهتم بالعلاقة بين الطاقة الكهربائية والتغير الكيميائي.

ماص للحرارة Endothermic: مصطلح يصف التفاعل الكيميائي الذي يكون فيه صافي امتصاص للطاقة.
مبدأ العوم Principle of flotation: الجسم العائم على سطح مائع يزيح من المائع مقدارَ وزنه.
المبلمر Polymer: جزيء عضوي طويل مصنوع من العديد من الوحدات المتكررة.
مبلمر التكثيف Condensation polymer: المبلمر المكون من وصل وحدات المونومر المصحوب بفقدان جزيئات صغيرة، مثل الماء.
المبلمر المضاف Addition polymer: المبلمر المكون من وصل وحدات المونومر، بحيث لا تفقد ذرات عند تشكيل المبلمر.
المتجه Vector: إشارة سهم يمثل مقدار كمية ما واتجاهها.
المتفاعلات Reactants: المواد المتفاعلة في التفاعل الكيميائي.
المجال الكهربائي Electric field: قوة وحدة الشحنة، ويمكن اعتباره هالة نشطة محيطة بالأجسام المشحونة. يتناقص المجال مع المسافة حول نقطة مشحونة وفق قانون التربيع العكسي، مثل المجال الجذبي. يكون المجال الكهربائي منتظمًا بين الصفائح المتوازية المشحونة بشحنتين متعاكستين.
المجال المغناطيسي Magnetic field: منطقة تأثير المغناطيس حول القطب المغناطيسي أو الجسيم المتحرك المشحون.
مجموعة Group: صف عمودي في الجدول الدوري، ويعرف أيضًا عناصر العائلة.
مجموعة الكربونيل Carbonyl group: ذرة كربون مرتبطة ثنائيًا بذرة أكسجين، موجودة في الكيتونات، والألدهايدات، والأميدات، وحوامض الكربوكسيليك، والإيسترات.
المجموعة الوظيفية Functional group: اتحاد معين من الذرات التي تتصرف كوحدة في الجزيء العضوي.
المحفّز Catalyst: أي مادة تزيد من سرعة التفاعل الكيميائي دون أن تُستهلك فيه.
المحلول Solution: خليط متجانس حيث يكون لمكوناته جميعها الطور نفسه.
المحلول الحمضي Acidic solution: محلول يكون فيه تركيز أيونات الهيدرونيوم أكثر من تركيز أيونات الهيدروكسيل.
المحلول القاعدي Basic solution: محلول يكون فيه تركيز أيون الهيدروكسيل أكثر من تركيز أيون الهيدرونيوم.
المحلول المتعادل Neutral solution: محلول يكون فيه تركيز أيونات الهيدرونيوم مساويًا لتركيز أيونات الهيدروكسيل.
محلول غير مشبع Unsaturated solution: محلول يستطيع إذابة كمية إضافية من المذاب.
محلول مشبع Saturated solution: محلول يحتوي على الكمية العظمى من المذاب الذي يمكن إذابته في المذيب.
المحوّل Transformer: جهاز لتحويل القدرة الكهربائية من ملف سلك إلى ملف سلك آخر بطريقة الحث الكهرمغناطيسي.
المذيب Solvent: مكوِّن المحلول ذو الكمية الكبرى.
المركب Compound: مادة تنتج عن ارتباط ذرات عناصر مختلفة بعضها عن بعض.
المركب الأيوني Ionic Compound: أي مركب كيميائي يحتوي على أيونات.
المركب التساهمي Covalent Compound: عنصر أو مركب كيميائي تتماسك الذرات فيه بالروابط التساهمية.
المركب العطري Aromatic compound: أي جزيء عضوي يحتوي على حلقة بنزين.
مستقطب كهربائيًا Electrically polarized: يطلق على الذرة أو الجزيء الذي تترتب الشحنات فيه بحيث يكون أحد الجوانب مشحونًا بشحنة فائضة موجبة، في حين يكون الجانب الآخر له شحنة إضافية سالبة.
المطياف Spectroscope: جهاز يستخدم المنشور أو المحزز لفصل الضوء إلى مكوناته.
المعادلة الكيميائية Chemical equation: تمثيل للتفاعل الكيميائي؛ حيث تسجل المواد المتفاعلة قبل السهم الذي يشير إلى النواتج.
معتم Opaque: خاصية امتصاص الضوء دون إعادة انبعاثه (عكس شفاف).
معدل التفاعل Reaction rate: مقياس لسرعة تزايد تركيز المواد المتفاعلة في التفاعل الكيميائي أو تناقص تركيز المتفاعلات.
مغناطيس كهربائي Electromagnet: المغناطيس الذي ينتج مجاله بالتيار الكهربائي. ويكون عادة على شكل ملف سلك حول قطعة حديد.
المقاومة الكهربائية Electrical resistance: صفة للمادة التي تقاوم سريان التيار الكهربائي من خلالها. تقاس بالأوم (Ω).
مقاومة الهواء Air resistance: قوة الاحتكاك المؤثرة في جسم ما نتيجة حركته في الهواء.
مقياس الضغط الجوي Barometer: أي أداة تُستخدم لقياس الضغط الجوي.
الملح Salt: مركب أيوني يتشكل من تفاعل حمض وقاعدة.

المناطق المغناطيسية Magnetic domains: مناطق تجمع ذرات مصطفة. عندما تصطف هذه المناطق بعضها مع بعض، تصبح المواد التي تحتوي على هذه المناطق مغناطيسًا.

الموجة Wave: تذبذب في المكان والزمان معًا.

الموجة الصادمة Shock wave: الموجة المتكوّنة على شكل مخروط من جسم متحرك بسرعة صوتية فائقة خلال مائع.

الموجة الطولية Longitudinal wave: الموجة التي يكون اتجاه الوسط المهتز موازيًا (طوليًّا) مع اتجاه انتقال الموجة؛ أمواج الصوت طولية.

الموجة العرضية Transverse wave: الموجة التي يكون اتجاه الوسط المهتز متعامدًا (عرضيًّا) على الاتجاه الذي تنتقل فيه الموجة؛ أمواج الضوء عرضية.

الموجة المنحنية Bow wave: الموجة المتكونة على شكل حرف V من جسم متحرك عبر سطح سائل بسرعة أكبر من سرعة الموجة.

الموجة الواقفة Standing wave: يتشكّل نمط موجة مستقرة في الوسط عندما تمر مجموعتان من الأمواج المتماثلة خلال وسط في اتجاهين متعاكسين.

الموجة الكهرومغناطيسية Electromagnetic wave: موجة حاملة للطاقة، تنبعث من اهتزازات الشحنات الكهربائية، (غالبًا إلكترونات) وتتكون من مجالين؛ كهربائي ومغناطيسي متذبذبين، يولد أحدهما الآخر.

الموصل Conductor: أي مادة لها جسيمات حرة مشحونة تنساب من خلالها بسهولة عندما تؤثر فيها قوة كهربائية.

الموصل الفائق Superconductor: أي مادة تنعدم فيها المقاومة الكهربائية، حيث تسري الإلكترونات فيها دون فقدان طاقة ودون توليد حرارة أيضًا.

المول Mole: أي كمية من المادة النقية التي تحتوي على عدد من الذرات، أو الجزيئات، أو الأيونات، أو أي وحدات أساسية تساوي عدد الذرات في 12 جم من الكربون -12. وهذا العدد يساوي 6.02×10^{23} جسيم.

المولارتي Molarity: وحدة قياس التركيز، وتساوي عدد المولات المذابة في المحلول.

المولد Generator: جهاز حث كهرمغناطيسي ينتج تيارًا كهربائيًّا بدوران ملف ضمن مجال مغناطيسي ثابت.

المونومرات Monomers: وحدات جزيئية صغيرة، تتكون المبلمرات منها.

النشاط الإشعاعي Radioactivity: عملية تنشطر فيها نواة ذرة غير مستقرة وتطلق إشعاعًا.

نصف تفاعل Half reaction: جزء واحد من تفاعل التأكسد – الاختزال، يُمثَّل بمعادلة حيث تظهر الإلكترونات كمتفاعلات أو نواتج.

النظائر Isotopes: أي عضو في مجموعة الذرات للعنصر نفسه، والتي تحتوي أنويتها على عدد البروتونات نفسه ولكن باختلاف في عدد النيوترونات.

النظرية Theory: عدد هائل من المعلومات المفحوصة جيدًا والمؤكدة حول أوجه معينة من العالم الطبيعي.

نظرية الشغل والطاقة Work – energy theorem: الشغل المبذول على جسم ما يساوي التغير في طاقة حركته.

$$\text{الشغل} = \Delta(KE)$$

الشغل يمكن أن ينقل للنظام شكلًا آخر من أشكال الطاقة.

النغمة الأليفة الجزئية Partial tone: أحد الترددات الموجودة في نغم مركب. عندما يكون النغم الجزئي مضاعف عدد صحيح لأقل تردد فإنه يكون توافقيًّا.

نقي Pure: مكون من تركيب منتظم، أو دون شوائب. يدل هذا المصطلح في الكيمياء على مادة مكونة من عنصر واحد أو مركب واحد.

نموذج مفاهيمي Conceptual model: تمثيل للجسم وفق مقياس مناسب.

نواة الذرة Atomic nucleus: مركز كثيف موجب الشحنة لكل ذرة.

النواتج Products: المواد الجديدة المتكونة في التفاعل الكيميائي.

النوية Nucleon: أي جسيم دون مجهري يوجد في نواة الذرة. وهي اسم آخر لكل من البروتون والنيوترون.

نيوترون Neutron : جسيم دون مجهري متعادل كهربائيًّا في نواة الذرة.

النيوتن Newton: الوحدة العلمية للقوة.

الهيدروكربون Hydrocarbon: مركب كيميائي يحتوي على الكربون والهيدروجين فقط.

الهيدروكربون المشبع Saturated hydrocarbon: الهيدروكربون الذي لا يتضمن روابط تساهمية متعددة، وتكون ذرة الكربون مرتبطة بأربع ذرات أخرى.

الهيدروكربون غير المشبع Unsaturated hydrocar-bon: الهيدروكربون الذي يضمن رابطة تساهمية متعددة واحدة على الأقل.

هرتز Hertz: الوحدة العملية للتردد؛ الهرتز الواحد يساوي ترددًا واحدًا لكل ثانية.

الهيئات Configurations: مصطلح يستخدم لوصف كيفية اتصال الذرات ضمن الجزيء، مثلًا، التركيب الأيزوميري يتكون من عدد الذرات نفسه ونوع الذرات نفسه، ولكن لهما هيئات مختلفة.

الوزن Weight: بتعبير بسيط، القوة الناتجة عن الجاذبية على أي جسم. وأكثر تحديدًا، قوة الجاذبية التي يضغط بها جسم ضد السطح الذي يحمله.

PHOTO CREDITS

حقوق التصوير

1: NASA/Johnson Space Center
13: Paul G. Hewitt III
15: John Dalton/Photo Researchers, Inc.
16: Corbis Los Angeles
17: Sustermans, Justus (1597–1681)
The Bridgeman Art Library International
Galleria degli Uffizi, Florence, Italy/The Bridgeman Art Library
22: Paul G. Hewitt
25: Rick Lucas/Rick Lucas, collection of Paul Hewitt
25: Alan Schein Photography/Corbis Digital Stock Royalty Free Los Angeles
31: NBAE/Getty Images/Getty Images, Inc.
37: Jump Run Productions/ Getty Images Inc. —Image Bank
39: Erich Lessing/Art Resource, N.Y.
45: Fundamental Photographs, NYC
51: Henry R. Fox/Animals Animals/Earth Scenes
51: Paul G. Hewitt
53: Giraudon/Art Resource. Artist: Godfrey Kneller
56: Paul G. Hewitt
59: Gavriel Jecan/Getty Images Inc. —Stone Allstock
61: Palm Press, Inc./ (c) Harold & Esther Edgerton Foundation, 2003, Courtesy of Palm Press, Inc.
63: Paul G. Hewitt
64: Paul G. Hewitt
64: Paul G. Hewitt
67: Paul G. Hewitt
69: Assan Ammar/AFP Photo/Getty Images — BC
70: Paul G. Hewitt
72: Paul G. Hewitt
72: (left) Michael Vollmer/Paul G. Hewitt
72: (right) Michael Vollmer/Paul G. Hewitt
74: (left) Jack Hancock/Paul G. Hewitt
74: (right) Jack Hancock/Paul G. Hewitt
75: NASA/Goddard Space Flight Center
84: Paul G. Hewitt
87: NASA
93: NASA
96: Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
100: NBAE/Getty Images/Getty Images, Inc.
104: Paul G. Hewitt
107: NASA/Goddard Space Flight Center
108: NASA Earth Observing System
115: Alamy Images
118: (top) Paul G. Hewitt
118: (bottom) Tsing Bardin/Paul G. Hewitt
123: (A&B) Milo Patterson/Paul G. Hewitt
125: The Granger Collection
128: Paul G. Hewitt
130: Construction Photography.com
132: Paul G. Hewitt
136: Margaret Ellenstein/Paul G. Hewitt
141: G. Brad Lewis/Omjalla Images
142: Paul G. Hewitt
146: Paul G. Hewitt
147: Paul G. Hewitt
150: AP Wide World Photos
151: (left) LU Engineers/Lu Engineers, Penfield, NY
151: (right) Hu Meidor
152: Nuridsany et Perennou/Photo Researchers, Inc/Photo Researchers, Inc.
156: Lillian Lee Hewitt/Paul G. Hewitt
156: Paul G. Hewitt
159: Tracy Suchocki/Paul G. Hewitt
160: Paul G. Hewitt
161: (top) Don Hynek
161: (bottom) Nancy Rogers/Paul G. Hewitt
162: (top) Paul G. Hewitt
162: (bottom) Paul G. Hewitt
166: (left and right) Paul G. Hewitt
169: Paul G. Hewitt
169: (left) Paul G. Hewitt
169: (right) Lillian Lee Hewitt
170: Paul G. Hewitt
171: Dennis Wong
173: Nicole Minor/Exploratorium/Copyright The Exploratorium, www.exploratorium.edu./ Photograph by Nicole Minor
174: Lillian Lee Hewitt
175: Paul G. Hewitt
181: Steven Hunt/Getty Images Inc. —Image Bank
188: Princeton University, Palmer Physical Laboratory
188: (bottom) Evan Jones/Collection of Paul Hewitt
190: Paul G. Hewitt
191: Zig Leszczynski/Animals Animals/Earth Scenes
192: Addison Wesley Longman, Inc./San Francisco
195: John Lightfoot/Paul G. Hewitt
196: Paul G. Hewitt
197: Addison Wesley Longman, Inc./San Francisco
198: Addison Wesley Longman, Inc./San Francisco
199: Howard Lukefahr/Collection of Paul Hewitt
200: Paul G. Hewitt
201: (top) Addison Wesley Longman, Inc./San Francisco
201: Paul G. Hewitt
209: T. S. Florian/Grant Heilman Photography, Inc.
211: Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
211: (a, b) Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
212: Fred Myers, Photographer
213: Paul G. Hewitt
214: (a, b, c) Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
215: AP Wide World Photos
215: John Suchocki
217: (a, b) Addison Wesley Longman, Inc./San Francisco
220: John A. Suchocki
220: Lillian Lee Hewitt/Paul G. Hewitt
222: Paul G. Hewitt
222: (bottom) Lillian Lee Hewit
223: Lillian Lee Hewitt
224: Tunneling microscopy courtesy of noorderlicht.vpro.nl
225: Paul G. Hewitt
227: Lillian Lee Hewitt
231: Chris Chiaverina and Tom Rossing/Andrew Morrison
233: Dave Eddy
236: Paul G. Hewitt
237: Lebrecht Music and Arts Photo Library/Alamy Images
238: Leslie A. Hewitt
238: Laura Pike & Steve Eggen
240: Paul G. Hewitt
240: (a) AP Wide World Photos
240: (b) Corbis Los Angeles
240: (c) AP Wide World Photos
241: Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
241: (bottom) Udo Von Mulert
242: Norman Synnestvedt/Paul G. Hewitt
245: U.S. Navy News Photo
247: Paul G. Hewitt
248: Hu Meidor
251: Paul G. Hewitt
255: Paul G. Hewitt
258: Paul G. Hewitt
259: Paul G. Hewitt
261: Paul G. Hewitt
262: (top) David Nunuk/Photo Researchers, Inc.
262: Institute of Paper Science & Technology
264: (left) Ted Mathieu/Paul G. Hewitt
264: Robert Greenler/Paul G. Hewitt
266: Hu Meidor
268: Dave Vasquez/Paul G. Hewitt
268: (bottom) Paul G. Hewitt
269: Paul G. Hewitt
269: (a–f) Paul G. Hewitt
270: Hu Meidor
271: Getty Images/Retrofile
271: (bottom) Don King/Getty Images Inc. — Image Bank
273: Paul G. Hewitt
276: Diane Schiumo/Fundamental Photographs, NYC
277: Paul G. Hewitt
278: Paul G. Hewitt
279: Suzanne Lyons/Paul G. Hewitt
279: Barbara Thomas
283: John Suchocki
285: IBM Corporate Archives/ Courtesy of IBM Archives. Unauthorized use not permitted.
286: IBM Corporate Archives Courtesy of IBM Archives. Unauthorized use not permitted.
287: John Suchocki
289: (a) Rachel Epstein/SKA/ Stuart Kenter Associates
289: (b) Rachel Epstein/PhotoEdit Inc.
289: Tony Freeman/PhotoEdit Inc.
292: (a) Getty Images, Inc. — PhotoDisc
292: (b) Getty Images, Inc. — PhotoDisc
292: (c) Peter Arnold, Inc.
292: (d) Getty Images, Inc. — PhotoDisc
292: (e) Fundamental Photographs, NYC

292: (f) Photo Researchers, Inc.
292: (g) Getty Images, Inc. — PhotoDisc
292: (h) Fundamental Photographs
293: Mark Martin/Photo Researchers, Inc.
294: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
297: (a) National Institute of Standards and Technology/ National Institute of Standards and Technology (NIST)
297: (b) IBM Corporate Archives/Courtesy of IBM Archives. Unauthorized use not permitted.
297: (c) IBM Corporate Archives/Courtesy of IBM Archives. Unauthorized use not permitted.
298: (a) Geoff Brightling/Dorling Kindersley Media Library/Peter Minister — modelmaker (c) Dorling Kindersley
298: (b) Rachel Epstein/Stuart Kenter Associates
299: (a) Ace Photo Agency/Phototake NYC
299: (b) John Suchocki
299: (bottom, a, b) John Suchocki
300: (a) Tom Bochsler/Pearson Education/PH College
300: (a2) Phil Degginger/Color-Pic, Inc.
300: (b) Tom Pantages
300: (b2) Color-Pic, Inc.
300: (c) Corbis/Bettmann
300: (c2) Phil Degginger/Color-Pic, Inc.
300: (d) Richard Megna Fundamental Photographs, NYC
300: (d2) Phil Degginger/ Color-Pic, Inc.
302: (a) John Suchocki
302: (b) David Scharf/Peter Arnold, Inc.
303: (a, b, c) John Suchocki
305: Linus Pauling/ Bettmann Corbis Los Angeles
307: Paul G. Hewitt
308: John Suchocki
311: Joe Sohm/Chromosohm/The Stock Connection
313: International Atomic Energy Agency
314: Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
315: (top) Stevie Grand/Photo Researchers, Inc.
315: Jerry Nulk and Sra Joshua Baker
316: Chris Priest/Photo Researchers, Inc.
319: (a, b) Saint-Gobain Crystals & Detectors
321: Lawrence Berkeley National Laboratory
326: Joe Sohm/Chromosohm/The Stock Connection
332: Published with permission of ITER
337: John Suchocki
338: NASA/Goddard Institute for Space Studies
339: Getty Images, Inc. — Photodisc
340: (a) John Beatty/Getty Images Inc. —Stone Allstock/ Getty Images, Inc.
340: (b) Pearson Education/ Benjamin Cummings Publishing Company
341: (a) Fundamental Photographs, NYC
341: (b) Paul G. Hewitt
341: (c) Pearson Education/ Benjamin Cummings Publishing Company
342: (a) Getty Images, Inc. — Photodisc
342: (b) Tom Pantages
342: (a, bottom) Steve Allen/Brand X Picture/Jupiter Images — PictureArts Corporation/ Brand X Pictures Royalty Free
342: (b, bottom) Phil Degginger Color-Pic, Inc.
342: (c, bottom) Blickwinkel/ Alamy Images
343: John Suchocki
344: (top) Stephen R. Swinburne/Stock Boston
344: (center) Paul G. Hewitt
344: (bottom) Sharon Hopwood/Paul G. Hewitt/Sharon Hopwood
345: Sharon Hopwood/Paul G. Hewitt/Sharon Hopwood
346: (a) Stuart Kenter Associates
346: (b) Stuart Kenter Associates
346: (c) Stuart Kenter Associates
346: (d) Stuart Kenter Associates
353: Charles M. Falco/Photo Researchers, Inc.
355: Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
359 (a) Rachel Epstein/Stuart Kenter Associates
359: (b) F. Hache/Photo Researchers, Inc.
360: Herve Berthoule/Jacana Scientific Control/Photo Researchers, Inc.
360: (a) Chip Clark/Chip Clark
360: (b) Arnold Fisher/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
361: Dee Breger/Photo Researchers, Inc.
362: Jeff Daly/Stock Boston
362: Francois Gohier/Photo Researchers, Inc.
363: Stuart Kenter Associates
364: (a) Pearson Education/ Benjamin Cummings Publishing Company
364: (b) Pearson Education/ Benjamin Cummings Publishing Company
365: Vaughan Fleming/Photo Researchers, Inc.
369: David Taylor/Photo Researchers, Inc.
371: AP Wide World Photos
374: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
375: (a) Andrew Lambert Photography/Photo Researchers, Inc.
375: Photo Researchers, Inc.
375: (bottom) Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
376: Reuters/Corbis Los Angeles
381: Dr. T. S. Schrichte/Photo Resource Hawaii Stock Photography
382: (top) Getty Images Inc. — Stone Allstock/Getty Images, Inc.
382: (a, b) John Suchocki
383: Don Geddis
384: (a) Carey B. Van Loon/Carey B. Van Loon
384: (b) Voz Noticias/Corbis Los Angeles
384: (bottom) George Gerster/Photo Researchers, Inc.
385: (a1) Colin Keates/Dorling Kindersley Media Library/ (c) Dorling Kindersley, Courtesy of the Natural History Museum, London
385: (a2) Ken Karp/Omni-Photo Communications, Inc.
385: (a3) Getty Images, Inc.— Photodisc
385: (b1) Greg Vaughn/Pacific Stock.com
385: (b2) Getty Images, Inc.— Photodisc
385: (b3) John Suchocki
386: Brian Yarvin/Photo Researchers, Inc.
387: (a) Fred Ward/Black Star
387: (b) Rachel Epstein/Stuart Kenter Associates
387: (c) Topham/The Image Works
392: (top) Leonard Lessin/Peter Arnold, Inc.
392: John Suchocki
396: Sheila Terry/Photo Researchers, Inc.
398: NEPCCO Environmental Systems
400: Saline Water Conversion Corporation
400: (bottom) SolAqua
402: (top) Ray Pfortner/Peter Arnold, Inc.
402: (bottom) Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
403: Honolulu/City and County of Honolulu
408: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
409: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
411: Getty Images — Digital Vision
416: (a, b, c) Stuart Kenter Associates
423: Corbis Los Angeles
424: Rachel Epstein/Stuart Kenter Associates/Corbis/Bettmann
425: (top) Photo Researchers, Inc.
425: (a) E. R. Degginger/Photo Researchers, Inc.
425: (b) Jon Lemker/Animals Animals/Earth Scenes
428: NASA/Stuart Kenter Associates
430: John Suchocki
437: John-Peter Lahall/Photo Researchers, Inc.
438: (a) M. P. Gadomski/Photo Researchers, Inc.
438: (b, c, d) Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
438: (bottom, a) S. Grant/ PhotoEdit Inc.
438: (bottom, b) INSADCO Photography/Alamy Images Royalty Free
438: (bottom, c) David Buffington/Getty Images, Inc. — Photodisc.
438: (bottom, d) Larry Stepanowicz/Fundamental Photographs, NYC
441: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
444: (a, b, c) Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
447: (a) Richard Megna/Fundamental Photographs, NYC
447: (b) Andrew McClenaghan/Photo Researchers, Inc.
449: (a1) M. Bleier/Peter Arnold, Inc.
449: (a2) Will McIntyre/Photo Researchers, Inc.
449: (b) M. Bleier/Peter Arnold, Inc.
450: Charles D. Winters/Photo Researchers, Inc.
452: Tom Pantages/Tom Pantages
456: Lennard Lesson/Peter Arnold, Inc.
457: Toyota Motor Corporation Services
458: Ballard Power Systems
459: Michael C. Liu/Michael C. Liu, et al. “Single-Walled Carbon Nanotubes at Room Temperature,” Science, Nov. 5, 1999: 1127–1129
459: John Suchocki
461: (top) John Suchocki
461: (bottom) Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
462: Chevron Texaco Corp.
466: John Suchocki
471: John Suchocki
476: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
478: Ed Degginger/Color-Pic, Inc.
488: (a) Bob Gibbons/Photo Researchers, Inc.
488: (b) Peter Arnold, Inc.
493: John Suchocki
494: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company

حقوق التصوير P-3

494: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
497: AP Wide World Photos/FUJITSU, Associated Press
501: Pearson Education/Benjamin Cummings Publishing Company
503: Leslie Hewitt Abrams
505: Michael T. Stewart/Lava Images
509: Arnold Fisher/Photo Researchers, Inc.
510: (a) Breck P. Kent/Animals Animals/Earth Scenes
510: (b) Charles D. Winters/Photo Researchers, Inc.
510: (c) Lee Bottin/Paul G. Hewitt
510: (d) Mark A. Schneider/ Visuals Unlimited
510: (e) Harry Taylor/Dorling Kindersley Media Library/Harry Taylor (c) Dorling Kindersley, Courtesy of the Natural History Museum, London
510: (f) National Institute for Occupational Safety & Health
511: (a) Paul Silverman/ Fundamental Photographs, NYC
511: (b) Chip Clark
512: Bob Abrams
512: (a) M. Claye/Jacana Photo Researchers, Inc.
512: (b) E. R. Degginger/ Photo Researchers, Inc.
516: Color-Pic, Inc.
518: (a) Harry Taylor/Dorling Kindersley Media Library
518: (b) Charles D. Winters/Photo Researchers, Inc.
518: (c) Colin Keates (c) Dorling Kindersley, Courtesy of the Natural History Museum, London
518: (d) Marli Miller/Visuals Unlimited
519: (a) Beth Davidson/Visuals Unlimited
519: (b) Color-Pic, Inc.
519: (c) A. J. Copley/Visuals Unlimited
519: (d, e, f) California Academy of Sciences — Geology/Susan Middleton, 1986
521: (a) Paul Dix/PNI/Cascades Volcano Observatory, U.S. Geological Survey
521: (b) Cascades Volcano Observatory, U.S. Geological Survey
521: (c) W. H. Hodge/Peter Arnold, Inc.
523: (a) Breck P. Kent/Animals Animals/Earth Scenes
523: (b) Wally Eberhart/Visuals Unlimited
523: (c) Photo Researchers, Inc.
524: Dr. Rob Stepney/SPL/Photo Researchers, Inc.
524: (bottom) Sinclair Stammers/SPL/Photo Researchers, Inc.
525: (a, b) Dr. Jeremy Burgess/ Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
525: Grant Heilman Photography, Inc.
526: (a) Runk/Schoenberger/Grant Heilman Photography, Inc.
526: (b) Paul Silverman/Fundamental Photographs, NYC
526: (c) Barry L. Runk/Grant Heilman Photography, Inc.
527: Dirk Wiersma/Photo Researchers, Inc.
527: (bottom) Albert Copley/ Visuals Unlimited
528: (a) A. J. Cunningham/Visuals Unlimited
528: (b) Alex Kertish/Visuals Unlimited
528: (c) Paul Silverman/Fundamental Photographs, NYC
528: (d) Cabisco—Visuals Unlimited
530: NASA Photo Research/Grant Heilman Photography, Inc.
531: (a) Phototake NYC
531: (b) Gerald & Buff Corsi/Visuals Unlimited
531: (c) A. J. Copley/Visuals Unlimited
532: (a) Jeffrey A. Scovil Photography
532: (b) Joyce Photo/Photo Researchers, Inc.
539: George H. H. Huey/Corbis Los Angeles
540: Tom Bean/Tom & Susan Bean, Inc.
548: Dirk Wiersma/Photo Researchers, Inc.
550: Alex Kertisch/Visuals Unlimited
550: (bottom) Tom McHugh/Photo Researchers, Inc.
551: Lynette Cook/SPL/Photo Researchers, Inc.
552: American Museum of Natural History/Courtesy Dept. of Library Services, American Museum of Natural History.
555: D. van Ravenswaay/Photo Researchers, Inc.
565: NASA/Goddard Space Flight Center/Courtesy of MODIS Science Team, Goddard Space Flight Center, NASA and NOAA
572: The Granger Collection
574: Princeton University, Geosciences Department/Courtesy Princeton University Geology Department
575: Simon/Fraser/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
582: Leo & Mandy Dickinson/Nature Picture Library
583: U.S. Geological Survey, Denver
584: (b) Bernhard Edmaier/Photo Researchers, Inc.
591: (b) Corbis — NY
599: Visuals Unlimited
608: (top) Joseph Burke/Rainbow
608: U.S. Geological Survey, Denver
609: Farell Grehan/Photo Researchers, Inc.
609: (bottom) Paul G. Hewitt
610: (top) Visuals Unlimited
613: John Lemker/Animals Animals/Earth Scenes
614: Color-Pic, Inc.
615: E. R. Degginger/Color-Pic, Inc.
615: (a) EROS Data Center, U.S. Geological Survey
615: (b) Glacial flows, Color-Pic, Inc.
618: (top) NASA/Color-Pic, Inc.
618: Leslie A. Hewitt
619: John Van Hasselt/Corbis Los Angeles
621: (top) W. H. Hodge/Peter Arnold, Inc.
621: (a, b) Color-Pic, Inc.
622: Leslie A. Hewitt
624: Steve Linstau/Rainbow
629: Photo Researchers, Inc.
635: National Geophysical Data Center
635: (b) Cliff Riedinger/Alaska Stock.com
635: (c) EROS Data Center, U.S. Geological Survey
635: (d) B. & C. Alexander/Photo Researchers, Inc.
635: (e) Getty Images Inc. — Stone Allstock/Getty Images, Inc.
636: Douglas Peebles/Corbis Los Angeles
642: (a, b) Courtesy of Tides Photography, photographic artist Dick Killam; website address: www.tidesinhallsharbour.com
644: Color-Pic, Inc.
657: O. Brown, R. Evans, and M. Carle/Rosenstiel School of Marine and Atmospheric Science; Miami, Florida
663: Tony Craddock/Photo Researchers, Inc.
666: Mike J. Howell/Stock Boston
672: (a, b) Mark A. Schneider/Visuals Unlimited
672: (c) McCutcheon/Visuals Unlimited
672: (d) E. Webber/Visuals Unlimited
675: Getty Images/Retrofile
680: (top) A & J Verkaik/CORBIS/Corbis Los Angeles
680: William Bickel
681: E. R. Degginger/Color-Pic, Inc.
682: MODIS Rapid Response Team, NASA Goddard Space Flight Center
687: Paul G. Hewitt
689: NASA/Photo Researchers, Inc.
692: Anglo-Australian Observatory/photograph by David Malin
694: Mark Martin/NASA/ Photo Researchers, Inc.
694: (bottom) Jerry Lodriguss/Photo Researchers, Inc.
695: Fred Espenak/Photo Researchers, Inc.
695: U.S. Geological Survey/SPL/Photo Researchers, Inc.
696: NASA Headquarters
698: NASA Earth Observing System
698: (a) NASA's Mars Rover/NASA Earth Observing System
698: (b) NASA Earth Observing System
699: NASA Earth Observing System
700: David A. Hardy, Futures: 50 Years In Space/Photo Researchers, Inc.
700: (bottom) NASA Headquarters
701: NASA Earth Observing System
701: (a) NASA
701: (b) NASA Headquarters
701: (c) ESA/University of Arizona/NASA/Jet Propulsion Laboratory
702: Photo Researchers, Inc.
702: (bottom) John Suchocki
704: (top) NASA Earth Observing System
704: (bottom) NASA/Goddard Institute for Space Studies
705: Lick Observatory Publications Office
707: (top) Detliev van Ravenswaay/Photo Researchers, Inc.
707: Paul G. Hewitt
708: Dennis DiCicco/Paul G. Hewitt
710: (top) NASA/Goddard Institute for Space Studies
710: (center) Dennis Milon/SPL/Photo Researchers, Inc.
710: (bottom) John Sanford/SPL/Photo Researchers, Inc.
711: (top) NOAO/AURA/NSF/ Photo researchers, inc.
711: (bottom) The Australian National University
711: (inset) NASA
712: (a) NASA/Science Photo Library/Photo Researchers, Inc.
712: (b) NASA Headquarters
715: Paul G. Hewitt
719: NASA
721: Roger Ressmeyer/Corbis Los Angeles
723: NASA/Jet Propulsion Laboratory
727: NASA
729: P. Harrington/Space Telescope Science Institute
729: (bottom) Mark Garlick/ Photo Researchers, Inc.
731: (top) European Southern Observatory
731: (center) Space Telescope Science Institute

731: (a, b) Lick Observatory Publications Office
732: Julian Baum/New Scientist/ JPL/Photo Researchers, Inc.
736: Jerry Lodriguss/Astropix LLC
736: (bottom) Gordon Garradd/Jeffrey Bennett
737: Anglo-Australian Observatory/David Malin
737: (left) Anglo-Australian Observatory/David Malin
737: (right) NASA/Jet Propulsion Laboratory
738: NASA/Jet Propulsion Laboratory
738: Anglo-Australian Observatory/David Malin
738: (a) National Optical Astronomy Observatories
738: (b) Royal Observatory, Edimburg/SPL/Photo researchers, Inc.
739: (top, bottom) NASA
740: (top, bottom) NASA
749: NASA/Jet Propulsion Laboratory
751: Emilio Segre,Visual Archive/American Institute of Physics/Photo Researchers, Inc.
753: Roger Ressmeyer/ Corbis/bettmann
753: (bottom) NASA Headquarters
755: (a) David Parker/Photo Researchers, Inc.
755: (b) Andrei Linde
A-2: Paul G. Hewitt
E-8: Paramount Pictures Corporation, Inc.

الفهرس

Ablation استئصال
Absolute zero, 143 الصفر المطلق
Absorption of radiant energy, 164 – 165 امتصاص طاقة الإشعاع
Acceleration, 27-31, 41- 44 تسارع
Accumulation, 619 تراكم
Acid rain, 448- 452 مطر حمضي
Acidic solution, 445- 448 محلول حمضي
Acidity, 447- 448 حمضية
Acids, 438- 442 أحماض
Strengths, 442- 445 قوى
Action فعل
Identification, 46- 48 تعرُّف ، مطابقة
Active galaxies, 738- 740 المجموعات الشمسية النشطة
Additive primary colors, 268 ألوان أساسية مضافة
Adiabatic processes, atmospheric, 667- 669 عمليات كظمية (ثبوت الحرارة)، جوية
Advances in science, history of, 2 التقدم في العلم، تاريخ
Air masses, 674- 679 كتل هوائية
Air motion, 648 – 651 حركة الهواء
Forces قوى
Air resistance, 24 مقاومة الهواء
Alcohols, 480 – 484 الكحول
Aldehyde, 486 الديهاد
Alkaloids, 484 – 485 قلويات
Alloy, 362 سبيكة
Alpha particle, 312- 314 جسيم ألفا
Alternating current 193221-220- تيار متردد (متناوب)
Amid, 487 الأميد
Amines, 484 – 485 الأمينات
Ampere, 192 أمبير
Amplitude, 232 سعة
Anode, 456 مصعد
Archimedes' principle, 120- 122 مبدأ أرخميدس
Aristotle, 16 أرسطو

Aromatic compound, 477 المركبات العطرية
Art, Science and, 7- 8 فن، علوم
Artificial atomic transmutation, 321 التحولات الذرية الصناعية
Air motion, 648 – 651 حركة الهواء
Temperature pressure relationship, 648 – 650 علاقة درجة الحرارة بالضغط
Composition of, 643 تركيب
Evolution of, 630 – 632 تطور
Deep – water currents, 657 – 659 تيارات ماء عميقة
Surface currents, 654 – 657 تيارات سطحية
Atmospheric stability, 669- 670 اتزان جوي
Humidity, 664 رطوبة
Relative humidity, 664 رطوبة نسبية
Saturated vapor pressure, 664 – 665 ضغط بخار مشبع
Temperature changes, 666 تغيرات درجة الحرارة
Atmospheric pressure, 125- 128 ضغط جوي
Atomic half –life, transmutation, 318 – 321 عمر النصف ذري، التحويلات
Artificial transmutation, 321 التحويلات الصناعية
Natural transmutation, 319 – 320 التحويلات الطبيعية
Atomic mass, 290 – 291 كتلة ذرية
Atomic nucleus, 316 – 318 نواة ذرية
Strong nuclear force, 316 قوة نووية شديدة
Atomic number, 288 عدد ذري
Atomic symbol, 288 رمز ذري
Bonding, 353 – 380 ربط
Covalent bonds, 362 - 365 روابط تساهمية (تشاركية)
Dipoles, 372 – 373 ثناقطبيات
Electron – dot structures, 354 -355 تراكيب الإلكترون النقطي
Induced dipoles, 373 – 376 الثناقطبيات المستحثة
Molecules, 358 جزيئات
Ionic bonds, 359 – 361 روابط أيونية
Ions, 372 – 373 أيونات
Formation of, 356 – 358 تكوين
Metallic bonds, 361 – 362 روابط فلزية
Molecular attractions, 371 – 376 تجاذبات جزيئية
Molecular polarity, 368 – 371 القطبية الجزيئية
Polar covalent bonds, 365 – 368 الروابط التساهمية القطبية
Conceptual model, 396 – 398 نموذج مفاهيمي
Electron waves, 302 – 304 موجات إلكترونية
Electrons, 286 إلكترونات
Elements, 287 – 288 عناصر
Molecules, counting by mass. 414 – 418 الجزيئات ، العد بالكتلة
Avogadro's number, 416 عدد أفوجادرو
Formula mass, 415 صيغة الكتلة
Molar mass, 417 الكتلة المولية
Neutrons, 288 – 291 نيوترونات

Nucleons, 289 أنوية
Periodic table, 288, 292 الجدول الدوري
Groups, 293 – 296 مجموعات
Periods, 293- 296 الدورات
Physical model, 296 – 298 نموذج فيزيائي
Protons, 288- 291 بروتونات
Quantum hypothesis, 300 – 302 فرضيات كمية
Principal quantum number n, 301 عدد كمي رئيس
Quantum, 300 كمّة
Quantum hypothesis, 300 فرضية الكم
Shell model, 304 – 305 نموذج القشرة
Atomic spectrum, 299 الطيف الذري
Subatomic particles, 289 جزيئات دون ذرية
Valence electrons, 305 إلكترونات التكافؤ
Attitude, scientific, 3- 5 اتجاهات، علمي
Fact, 3 حقيقة
Law, 3 قانون
Theory, 4 نظرية
Average speed, 26 متوسط السرعة
Barometers, 127 0 128 البارومترات
Bases, 438 – 445 القواعد
Strengths, 442- 445 قوى
Basic solutions, 445 – 452 محاليل قاعدية
Batteries, 445 – 457 بطاريات
Cathode, 456 مهبط
Electrode, 455 قطب
Beats, 242 – 243 ضربات
Bernoulli’s principle, 131 – 134 مبدأ برنولي
Applications of, 132 – 134 تطبيقات على
Beta particle, 312 – 314 جسيم بيتا
Black holes, 732 – 735 ثقوب سوداء
Geometry, 733 – 735 هندسة
Body, effect of electric currents on, 195 الجسم، أثر التيارات الكهربائية في
Body wave, 566 موجات الجسم
Boiling, 171 – 173 تبخر
Bonding, atoms, 353 – 380 الربط، الذرات
Covalent bonds, 362 – 365 روابط تساهمية
Bottled water, 402 – 403 الماء المعلب
Bow waves, 245 – 247 الأمواج القوسية
Boyle’s law, 124 – 125 قانون بويل
Breeder reactor, 326 – 327 المفاعل الولود
Buoyancy in gas, 130 – 131 الطفو في الغاز
Buoyancy in liquid, 119 – 120 الطفو في السائل
Buoyant force, 119 قوة الطفو
Carbon – 14 dating, 332 التأريخ بالكربون 14-
Carbonyl group, 485 مجموعة الكربونيل
Carboxylic acid, 487 حمض الكربوكسيليك
Catalysts, 423 – 425 المحفّزات
Chain reaction, 324 تفاعل متسلسل
Change of phase, 168 – 171 تغير الطور
Energy, 174 – 175 طاقة
Heat transfer, 168 – 171 انتقال الحرارة
Chemical bond, 342 رابطة كيميائية
Chemical changes, 342 – 345 تغيرات كيميائية
Chemical classification, matter, 383 – 386 تصنيف كيميائي، مادة
Heterogeneous mixtures, 385 محاليل غير متجانسة
Homogeneous mixtures, 385 محاليل متجانسة
Impure, 384 غير نقي
Pure, 384 نقي
Solution, 385 محلول
Suspension, 386 عالق
Chemical equations, 412 – 414 معادلات كيميائية
Law of mass conservation, 412 قانون حفظ الكتلة
Products, 412 نواتج
Chemical formulas, 346 صيغ كيميائية
Chemical properties, 341 خصائص كيميائية
Chemical reactions, 343, 411- 435, 437 – 469 تفاعلات كيميائية
Acid – base reaction, 441 – 442 تفاعل قاعدة – حمض
pH scale, 447 – 448 مقياس الحموضة
Acids, 438 – 442 أحماض
Strengths, 442 – 445 شدة
Atoms, molecules, counting by mass, 414 – 418 ذرات، جزيئات، عد بالكتلة
Basic solutions, 445 – 452 محاليل قاعدية
Reactants, 412 المتفاعلات
Combustion, 461 – 463 احتراق
Corrosion, 461 – 463 الحت
Electrolysis, 459 – 461 الكهرلة
Electrons إلكترونات
Energy, 454 – 459 طاقة
Batteries, 455 – 457 البطاريات
Anode, 456 المهبط
Cathode, 456 المصعد
Electrode, 455 القطب
Electrochemistry, 454 الكيمياء الكهربائية
Fuel cells, 457- 459 خلايا الوقود
Gaining, 452 – 453 اكتساب
Half reaction, 452 تفاعل نصفي
Oxidation, 452 الأكسدة
Reduction, 452 الاختزال
Bond energies, 426 طاقات الربط
Endothermic reaction, 428 – 429

التفاعل الماص للحرارة
Exothermic reaction, 426 – 428
التفاعل الطارد للحرارة
Entropy, 429 – 430
الإنتروبيّ
Hydronium ion, 439 أيون الهيدروجين
Hydroxicde ion, 440 أيون الهيدروكسيل
Neutral solution, 445 – 448 محلول متعادل
Neutralization, 441 تعادل
Protons, 438 – 442 بروتونات
Activation energy, 442 طاقة التنشيط
Chemistry, 9- 10, 283- 502 كيمياء
Applied research, 339 بحث تطبيقي
Basic research, 338 بحث أساسي
Compounds, 346 مركبات
Compounds, naming, 347 – 348
تسمية المركبات
Submicroscopic world, 340 – 341
العالم دون المجهري
Molecules, 340 جزيئات
Submicroscopic, 340 دون مجهري
Circular orbits, 103 – 104 مدارات دائرية
Atmosphere, 651- 659 جو
Clouds, 271 غيوم
Cloud groups, 671 مجموعات غيمية
Development, 670 – 674 تطوير
High clouds, 672 – 673 غيوم عالية
Low clouds, 672 – 673 غيوم منخفضة
Middle clouds, 672 غيوم متوسطة
Collisions, 66- 67 تصادمات
Elastic, 66 مرن
Inelastic, 66 غير مرن
Color, 265- 271, 512 لون
Of stars, 722- 724 نجوم
Complementary, 268 – 269 متمم
Primary, 268 أولي
Combustion, 235 احتراق
Complementary colors, 268 – 269
ألوان متممة
Compounds, 345 – 347 مركبات
Compression, 235 انضغاط
Concentration, 388 تركيز
Conceptual model, atom, 296 – 298
نموذج مفاهيمي، ذرة
Condensation, 170 – 171 تكثيف
Conduction, 160 توصل
Conductor, 190 موصل
Configuration, 473 هيئة
Conformations, 474 تماثل
Conservation laws, 67 قوانين الحفظ
Conservation of charge, 183 – 184
حفظ الشحنة
Conservation of energy, 74 – 75
حفظ الطاقة
Machines, 76
آلات
Conservation of momentum, 65 – 68 حفظ الزخم
Law of, 65 قانون
Convection, 161 – 162, 569 – 570
الحمل
Core, قلب (لُب)
Earth, 568 – 569-697 الأرض
Cosmology, 749 كوني
Coulomb, 185 كولوم
Coulomb’s law, 184 – 186 قانون كولوم
Covalent bonds, 362 – 365 روابط تساهمية
Polar, 365 – 368 قطبي
Covalent compound, 363 مركب تساهمي
Critical mass, 324 كتلة حرجة
Crystallization, minerals, 514 تبلور، معادن
In water- solutions, 516 – 517 في المحاليل المائية
Current electricity, 181 – 208 كهرباء التيار
Dark energy, 763 – 764 الطاقة المعتمة
Dark matter, 761 – 763 المادة المعتمة
Deep – water currents, 657 – 659
تيارات ماء عميقة
Density, 116 – 117 كثافة
Desalination, 339 – 402 إزالة الملوحة
Detergents, 394 – 396 منظفات
Diffuse reflection, 262 انعكاس منتشر
Induced, 373 – 376 مستحث
Direct current, 193 تيار مستمر
Dispersion, 272 – 274 التشتت
Dissolving, 388 الذوبان
Distance, gravity, inverse square law, 90 – 91 البعد، الجاذبية، قانون التربيع العكسي
Distillation, 383 تقطير
Dolphins, 238 الدلافين
Doppler effect, 244- 245 أثر دوبلر
Internal layers, 567 – 571 طبقات داخلية
Earth science, 9- 10, 123, 503- 686
علم الأرض
Earthquakes, 566, 587 – 592 هزات أرضية
Measurement, 588 قياس
Eclipse, 707 – 709 كسوف أو خسوف
Ecliptic, 690 إهليلجي
Efficiency, 77- 78 فاعلية
Sources of energy, 78- 79 مصادر الطاقة
Elastic collision, 66 تصادم مرن
Electric charge, 182 – 184 شحنة كهربائية
Electric circuits, 197 – 200 دارات كهربائية
Electric current, 191 – 193, 213- 215 تيار كهربائي
Electric field, 186 – 188 مجال كهربائي
Electric meters, 216 – 217 مقاييس كهربائية
Electric motors, 217 – 218
محركات كهربائية

Electric potential, 189- 190 جهد (كُمون) كهربائي
Electric power, 200- 202 قدرة كهربائية
Electric resistance, 193 – 194 مقاومة كهربائية
Electric shock, 195 – 197 صدمة كهربائية
Electrically polarized, 186 مستقطب كهربائيًا
Electricity, 181 – 208 كهرباء

Ampere, 192 الأمبير
Body, effect of electric currents on, 195 الجسم، أثر التيارات الكهربائية في
Conductor, 190 موصل
Conservation of charge, 183 – 184 حفظ الشحنة
Ionized bracelets, 185 أساور مؤينة
Lightening, 680 برق
Magnetic fields, 213 – 215 مجالات مغناطيسية
Microwave oven, 187 فرن موجات ميكروية
Ohm’s law, 194 – 197 قانون أوم
Overloading, 199 – 200 حمل زائد
Parallel circuits, 198 – 200 دارات توازٍ
Sparks, 184 شرر
Superconductors, 194 فائقة الموصلية
Voltage sources, 190 – 191 مصادر الجهد
Volts, 193 الفولت

Electrode, 455 قطب
Electrolysis, 459 – 461 الكهرلة

Electromagnetic induction, 218 – 220 الحث الكهرومغناطيسي
Electromagnetic spectrum, 256 – 257 الطيف الكهرومغناطيسي
Electromagnetic waves, 256 الموجات الكهرومغناطيسية
Electromagnets, 214 – 215 مغانط كهربائية
Electron waves, 302 – 304 موجات إلكترونية
Electronegativity, 336 السالبية
Electronics technology, 184 تقنية إلكترونية

Losing, 452 – 453 فقدان
Oxidation, 452 تأكسد
Reduction, 452 اختزال
Elemental formula, 345 صيغة العناصر
Elements, 287- 288, 345- 347 عناصر
Ellipse, 104 إهليلج
Elliptical galaxies, 737 – 738 مجرات إهليلجية
Emission of radiant energy, 163 – 164 انبعاث الطاقة المشعة

Energy, 59- 86, 174 – 175, 425- 429 طاقة
Bond energies, 426 طاقات الربط
Change of phase, 174- 175 تغير الطور
Conservation of energy, 74- 75 حفظ الطاقة

Kinetic energy, 70 طاقة حركية
Momentum, 73- 74 زخم
Law of conservation of energy, 74 قانون حفظ الطاقة
Potential energy, 69- 70 طاقة الوضع
Sources of, 78- 79 مصادر
Work- energy theorem, 71- 74 نظرية الشغل والطاقة
Entropy, 146- 147, 429- 430 الإنتروبي
Equilibrium, dynamic, 23- 24 الاتزان الديناميكي
Equilibrium rule, قاعدة الاتزان
Erosion, 525, 613 – 614 تآكل ، حت ، تعرية
Escape speed, 106- 108 سرعة الإفلات
Esters, 489 الإيسترات
Evaporation, 169 تبخر
Expansion, thermal, 150 – 151 تمدد، حراري
Expansion of water, 151 – 153 تمدد الماء
Eye, 265 عين
Fact, 3 حقيقة
Faraday’s law, 219 – 200 قانون فارادي
Maxwell’s counterpart to, 223 صيغة ماكسويل
Field induction, 223 مجال الحث
First law of thermodynamics, 145 قانون الديناميكا الحرارية الأول
Fluid mechanics, 115- 140 ميكانيكا الموائع

Atmospheric pressure, 125- 128 الضغط الجوي

Applications of, 132- 134 تطبيقات
Boyles law, 124- 125 قانون بويل
Buoyancy in liquid, 119- 120 الطفو في السائل
Buoyancy in gas, 130- 131 الطفو في الغاز
Density, 116- 117 كثافة
Flotation, 112 طفو
Pascal’s principle, 129- 130 قاعدة باسكال
Pressure, 117- 119 الضغط
In gas, 124- 125 في الغاز
In liquid, 118- 119 في السائل
Force, 17 قوة
Force of friction, 24- 25 قوة الاحتكاك
Air resistance, 24 مقاومة الهواء
Friction, 24 احتكاك
Force pair, 45 زوج قوة
Forces, 45- 46 قوى
Fourier analysis, 249 تحليل فورييه

Free fall, 29, 41 سقوط حر
Acceleration, 41- 44 تسارع
Free fall velocity, 29 سرعة السقوط الحر
Freezing, 173- 174 تجمد
Frequency, 232 تردد
Friction, 24 احتكاك
Front, 676 – 678 جبهة
Fuel cells, 457- 459 خلايا الوقود
Fundamental frequency, 248 تردد رئيس
Fusion, heat of, 174 الانصهار، حرارة
Formation, 763 تكوين
Irregular, 737- 738 غير منتظم
Galilei, Galileo, see Galileo جاليليو جاليلي
Galileo, 17 جاليليو
concept of inertia, 17- 18 فكرة القصور
Gamma rays, 312- 314 أشعة جاما
Gas غاز
Buoyancy in, 130- 131 الطفو في
Pressure in, 12- 125 الضغط في
Gases, 393 – 394 الغازات
General theory of relativity, 757 – 761 نظرية النسبية الخاصة
Generators, 220- 221 مولّدات
Global warming, 167 – 168, 646 – 648 الاحتباس الحراري
Grams, moles, converting between, 416- 418 الجرامات، المولات، التحويلات بينهما
Gravitation, universal, 93- 94 الجذب، الكوني
Gravity, 87- 114 الجاذبية
Law of universal gravitation, 88 قانون الجذب الكوني
Universal gravitational constant, 89- 90 ثابت الجذب الكوني
Universal law of, 88- 90 القانون الكوني لِـ
Greenhouse effect, 167 – 168, 646- 648 أثر الدفيئة
Groundwater, 601- 607 مياه جوفية
Movement, 606- 607 حركة
Half reaction, electrons, 452 تفاعل نصفي، إلكترونات
Hard water, softening, 396 الماء العسر، إزالة العسر
Harmonics, 248 توافقيات
Heat, 144 حرارة
Of fusion, 174 انصهار
Quantity of, 145 كمية من
Specific, 174 السعة النوعية
water, 148 الماء
Thermal energy, 144 الطاقة الحرارية
vaporization, 174 التبخر
Heat capacity, specific, 147- 150 السعة الحرارية، النوعية
Heat transfer, 159- 179 انتقال الحرارة
Absorption of radiant energy, 164- 165 امتصاص طاقة الإشعاع
Boiling, 171- 173 غليان
Change of phase, 168- 171, 174 – 175 تغير الطور
Condensation, 170- 171 تكثيف
Conduction, 160 توصيل
Convection, 161- 162 حمل
Melting, 173- 174 الانصهار
Newton’s law of cooling, 166- 167 قانون نيوتن في التبريد
Radiation, 163- 166 إشعاع
Reflection of radiant energy, 165- 166 انعكاس الطاقة المشعة
Sublimation,, 169 تسامي
Helium, 754 الهيليوم
Hertz, 232 الهرتز
Heteroatom, 478 الذرة المغايرة
High clouds, 671- 672 غيوم عالية
Hydrocarbon, 472- 476 الهيدروكربونات
Saturated, 447 المشبعة
Unsaturated, 476- 478 غير المشبعة
Hydrogen, 754 الهيدروجين
Hydrogen bond, 372 الرابطة الهيدروجينية
Hydronium ion, 439 أيون الهيدروجين
Hydroxide ion, 440 أيون الهيدروكسيل
Hypothesis, 3 فرضية
Imaging تصوير
Acoustical, dolphins and, 238 الصوتي الدلافين
Magnetic resonance, 218 رنين مغناطيسي
Impulse, 60- 62 دفع القوة
Impure matter, chemical classification, 358 مادة غير نقية، تصنيف كيميائي
Induced dipoles, 373- 376 الثناقطبي المستحث
Molecules, 358 جزيئات
Induction حث
Inertia, 17- 18, 38 قصور
Mass- measure, 18- 20 قياس الكتلة
Mass, 18 كتلة
Volume, 19 حجم
Weight, 18 وزن
Inner planets, 690, 695- 699 كواكب داخلية
Mars, 698- 699 المريخ
Mercury, 695- 696 عطارد
Venus, 696- 697 الزهرة
Instantaneous speed, 25- 26 سرعة لحظية
Interaction, 45 تفاعل
Interactions, 45- 46 تفاعلات
Ionic compounds, 359 مركبات أيونية
Ions, 358, 372- 373 أيونات
Formation of, 356- 358 تتكون من
Polyatomic, 358 متعدد الذرات
Irregular galaxies, 737 – 738 مجرات غير منتظمة
Isotopes, 290- 291 نظائر
Jupiter, 699- 700 المشتري

Kilogram, 20 الكيلوجرام
Momentum, compared, 73- 74 زخم، مقارنة
Law of acceleration, 52 قانون التسارع
Law of action – reaction, 52 قانون الفعل- رد الفعل
Law of conservation of energy, 74 قانون حفظ الطاقة
Law of conservation of momentum, 65 قانون حفظ الزخم
Law of cooling, 166- 167 قانون التبريد
Law of gravity, 88- 90 قانون الجاذبية
Law of inertia, 52 قانون القصور
Law of mass conservation, 412 قانون حفظ الكتلة
Law of reflection, 260- 262 قانون الانعكاس
Law of thermodynamics, 145- 146 قوانين الديناميكا الحرارية
Law of universal gravitation, 88 قانون الجذب الكوني
Laws of thermodynamics, 145- 146 قانون الديناميكا الحرارية
First law of, 145 القانون الأول في
Second law of, 146 القانون الثاني في
Third law of, 146 القانون الثالث في
Layers, Earth, 600- 601 طبقات، الأرض
Internal, 567- 571 داخلي
Light, 255- 282 الضوء
Color, 265- 271 اللون
Dispersion, 272- 274 تشتت
Electromagnetic spectrum, 256- 257 الطيف الكهرومغناطيسي
Opaque materials, 257- 260 المواد المعتمة
Polarization, 269- 271 استقطاب
Colored lights, mixing, 267- 277 الأضواء الملونة، المزج
Colored pigments, mixing, 269 الأصباغ الملونة، المزج
Complementary colors, 268- 269 ألوان متممة
Law of reflection, 260- 262 قانون الانعكاس
Rainbows, 272- 274 قوس المطر
Selective reflection, 266 الانعكاس الانتقائي
Selective transmission, 266- 267 البث الانتقائي
Reflection, 260- 262 انعكاس
Refraction, 262- 265 انكسار
Transparent, 257- 260 شفاف
Liquid سائل
Buoyancy in, 119- 120 الطفو في
Pressure in, 118- 119 الضغط في
Longitudinal waves, 234- 235 أمواج طولية
Loudspeakers, 236 سماعات
Machine, 76 آلة
Machines, 76- 77 آلات
Conservation of energy, 76 حفظ الطاقة
Magnetic domains, 212- 213 المناطق المغناطيسية
Magnetic fields, 211- 215 مجالات مغناطيسية
Magnetic force, 210 قوة مغناطيسية
On current carrying wires, 216 على أسلاك تحمل تيارًا
On moving charges, 215- 218 على شحنة متحركة
Magnetic poles, 210- 211 أقطاب مغناطيسية
Magnetic resonance imaging, 218 تصوير رنين مغناطيسي
Magnetic therapy, 202-224 علاج مغناطيسي
Magnetism, 209- 230 مغناطيسية
Electric currents, 213- 215 تيارات كهربائية
Farday’s law, 219- 200 قانون فارادي
Maxwell’s counterpart to, 223 معًا في ماكسويل
Field induction, 223 حث المجال
Generators, 220- 221 مولدات
Magnetic fields, 211- 215 مجالات مغناطيسية
Magnetic force, 210 قوة مغناطيسية
On current carrying wires, 216 على سلك يحمل تيارًا
On moving charges, 215- 218 على شحنة متحركة
Magnetic poles, 210- 211 أقطاب مغناطيسية
Magnetic resonance imaging, 218 تصوير رنين مغناطيسي
Superconducting electromagnets, 215 مغانط كهربائية فائقة الموصلية
Transformer, 222 محوِّل
Voltage, 222- 223 فولتية
Mass, 18 كتلة
Mass- energy equivalence, 327- 329 معادلة تكافؤ الكتلة والطاقة
Masses, reaction on, 48- 50 كتل؛ تفاعل على
Mathematics, 2- 3 رياضيات
Melting, 173- 174 انصهار
Mercury, 695 – 696 عطارد
Metallic bonds, 361- 362 روابط فلزية
Classifying, 531- 532 تصنيف
Types of, 530- 531 أنواع من
Methods, scientific, 3 طرق، علمية
Microwaves, 187 أمواج ميكروووية
Middle clouds, 672 غيوم متوسطة
Minerals, 503- 538 المعادن
Chemical sediments, 516 رواسب كيميائية
Classification, 513- 514 تصنيف
Color, 512 لون
Crystal form, 509 – 510 شكل البلورة
Crystallization, 514 تبلور
In water solutions, 516- 516 في المحاليل المائية

Density, 512- 513
كثافة
Formation, 514- 517 تكوين
Fracture, 511- 512 تكسُّر
Hardness, 510- 511 قساوة
Properties, 509- 513 خصائص
Rock- forming, 513- 514 تكوين الصخور
Solubility, 517 الذوبانية
Mixing colored lights, 267- 268
مزج الأضواء
Mixing colored pigments, 269
مزج الأصباغ الملون
Mixture, 381- 410 مزيج
Chemical classification, matter, 383- 386 التصنيف الكيميائي، المادة

Impure, 384 غير نقي
Pure, 384 نقي
Solution, 386 محلول
Hard water, softening, 396- 397
ماء عسر، تيسير
Physical separation, 383- 384 فصل فيزيائي
Solubility, 391- 394 ذائبة
Gases, 393- 394 غازات
Insoluble, 392 غير قابل للذوبان
Soluble, 391 قابل للذوبان
Temperatures changes, 392- 394
تغيرات درجات الحرارة
Solutions, 386- 390 محاليل
Concentration, 388 تركيز
Dissolving, 388 إذابة
Molarity, 389 المولارتي
Mole, 389 مول
Saturated solution, 388 محلول مشبع
Solutes, 387 المذاب
Solvent, 387 المذيب
Unsaturated solution, 388 محلول غير مشبع
Wastewater treatment, 403- 405
معالجة المياه العادمة
Water purification, 397- 403 تنقية المياه

Adiabatic processes, 667- 668
تفاعلات كظمية (ثبوت الحرارة)
Atmospheric stability, 669- 670
اتزان جوي
Saturated vapor pressure, 664 ضغط جوي مشبع
Temperature, 665 درجة الحرارة
Temperature changes, 666 تغيرات في درجة الحرارة
Temperature inversion, 669 انقلاب في درجة الحرارة
Molar mass. 417 الكتلة المولية
Molarity, 389 المولاراتي
Mole, 389 مول
Molecular attractions, 371- 376
تجاذبات جزيئية
Molecular polarity, 368 – 371
قطبية جزيئية
Moles, grams, converting between, 416- 418 مولات، جرامات، تحويل بين
Momentum, 59- 86 زخم
Collisions, 66- 67 تصادمات
Conservation laws, 67 قوانين الحفظ
Conservation of, 65- 86 حفظ في
Decreasing over long time, 61- 62
تناقص على فترات طويلة
Decreasing over short time, 62- 64
تناقص على فترات قصيرة
Elastic collision, 66 تصادم مرن
Impulse, 60- 62 دفع القوة
Increasing, 61 تزايد
Inelastic collision, 66 تصادم غير مرن
Kinetic energy, compared, 73- 74
طاقة حركية، مقارنة
Law of conservation of momentum, 65 قانون حفظ الزخم
Monomers, 489 الزخم
Moon, 703- 709 القمر
Phases of, 704- 705 أطوار لـ
Motion, 15- 36 حركة
Acceleration, 27- 31 تسارع
Aristotle, 16 أرسطو
Dynamic equilibrium, 23- 24 اتزان ديناميكي

Equilibrium rule, 22 قاعدة الاتزان
Force of friction, 24- 25 قوة الاحتكاك
Air resistance, 24
مقاومة الهواء
Friction, 24 احتكاك
Free fall, 29 سقوط حر
Galileo جاليليو
Force, 17 قوة
Inertia, 17- 18 قصور
Inertia, mass-measure, 18- 20
قصور، مقياس الكتلة
Mass, 18 الكتلة
Volume, 19 الحجم
Weight, 18 الوزن

Motion, Relative nature of, 27
الحركة، طبيعة نسبية
Net force, 20- 21 القوة المحصلة
Vector, 20 متجه
Vector quantity, 20 كمية متجهة
Relative nature of, 27 طبيعة نسبية
Speed, 25- 27 سرعة قياسية
Average speed, 26 متوسط السرعة القياسية
Instantaneous speed, 25- 26 سرعة قياسية لحظية
In units, 26 بوحدات
Support force, 23 قوة دعم
Velocity, 27 سرعة متجهة
Free fall, 29 سقوط حر
MRI, see magnetic resonance imaging انظر، تصوير الرنين المغناطيسي
Naming compounds, 347- 348
تسمية المركبات
Nanotechnology, 224 تقنية النانو (المنمنمات)
Natural atomic transmutation, 319- 320 التحولات الذرية الطبيعية
Natural frequency, 239 تردد طبيعي
Nature of science, 1- 11 طبيعة العلوم
Neptune, 702 نبتون
Net force, 20- 21 القوة المحصلة

Vector, 20 متجه
Neutral solution, 445- 448 محلول متعادل
Neutralization, 441 تعادل
Neutron star, 731 نجم نيوتروني
Newton, Issac إسحق نيوتن
Law of acceleration, 52 قانون التسارع
Law of action – reaction, 52 قانون الفعل – رد الفعل
Law of cooling, 166- 167 قانون التبريد
Law of inertia, 52 قانون القصور
Laws of motion, 37- 58 قوانين الحركة
Summary of laws, 52 ملخص القوانين
Non –free fall acceleration, 43- 44 تسارع السقوط غير الحر
Nonbonding pairs, 355 أزواج غير مترابطة
Nonpolar, 366 غير قطبي
Nonpolar substances, boiling , مواد غير قطبية، الغليان
Nuclear fission, 323- 327 الانشطار النووي
Chain reaction, 324 تفاعل متسلسل
Critical mass, 324 كتلة حرجة
Nuclear fusion, 330- 332 الاندماج النووي
Controlling fusion, 331- 332 ضبط الاندماج
Thermonuclear fusion, 330 اندماج نووي حراري
Nucleons, 289 نويات
Oceans, 629- 659 محيطات
Components of, 632- 635 مركبات
Wave refraction, 636- 638 انكسار موجي
Waves, 635- 642 موجات
Refraction, 636- 638 انكسار
Ohm’s law, 194- 197 قانون أوم
Orbits مدارات
Circular, 103- 104 دائرية
Elliptical, 104- 105 إهليلجية
Ordinary matter, 761 مادة عادية
Organic chemistry, 472 كيمياء عضوية
Organic compounds, 471- 502 مركبات عضوية
Amines, 484- 485 الأمينات
Carbonyl compounds, 485- 489 مركبات الكربونيل
Ethers, 480- 484 الإيثرات
Functional qroups, 478- 480 مجموعات وظيفية
Phenols, 480- 484 الفينولات
Polymers, 489- 497 البوليمرات
Addition polymers, 492- 494 البوليمرات المضافة
Condensation polymers, 494- 497 البوليمرات المكثفة
Unsaturated hydrocarbons, 476 – 478 الهيدروكربونات غير المشبعة
Organic molecules, functional groups, 479 جزيئات عضوية، مجموعات وظيفية
Osmosis, 401 الأسموزي
Neptune, 702 نبتون
Uranus, 702 أورانوس
Overloading, 199- 200 حمولة زائدة
Oxidation, 452 تأكسد
Ozone, 549- 631 أوزون
Parallel circuits, 198- 200 دارات توازٍ
Pascal’s principle, 129- 130 مبدأ باسكال
Periodic table, 288- 292 الجدول الدوري
Groups, 293- 296 مجموعات
pH scale, 447- 448 مقياس الحموضة
Phases of Moon, 704- 705 أوجه القمر
Phenols, 480- 484 الفينولات
Physical model, 297 نموذج فيزيائي
Atom, 296 – 298 ذرة
Physical separation, mixtures, 383- 384 فصل فيزيائي، مخاليط
Physics, 9- 10 فيزياء
Historical perspective, 122 نظرة تاريخية
Colored, mixing, 269 مزج ألوان
Mixing, 269 مزج
Earth, 297 الأرض
Jupiter, 699- 700 المشتري
Mercury, 695- 696 عطارد
Neptune, 702 نبتون
Saturn, 700- 701 زحل
Uranus, 702 أورانوس
Venus, 696- 697 الزهرة
Earthquakes, 587- 592 هزات أرضية
Layers, Earth, 600- 601 طبقات الأرض
Polar, 366 قطبي
polar covalent bonds, 365- 368 رابطة تساهمية قطبية
Polarization, 269- 271, 274- 277 استقطاب
Colored pigments, mixing, 269 أصباغ ملونة، مزج
Complementary colors, 268- 269 ألوان متممة
Diffuse reflection, 262 الانعكاس المنتشر
Law of reflection, 260- 262 قانون الانعكاس
Rainbows, 272- 274 قوس المطر
Selective transmission, 266- 267 البث الانتقائي
Poles, magnetic, 210- 211 أقطاب مغناطيسية
Polyatomic ions, 358 أيونات متعددة الذرات
polymers, 489- 497 البوليمرات
Addition polymers, 492- 494 البوليمرات المضافة
Condensation polymers, 494- 497 البوليمرات المكثفة
Potential energy, 69- 70 طاقة وضع
Power, 75 قدرة

Lever, 76 رافعة
Machines, 76- 77 آلة
Conservation of energy, 76 حفظ الطاقة
Production of, 221- 222 ناتج عن
Precipitate, 393 راسب (مادة راسبة)
Pressure, 117- 119 ضغط
Atmospheric, 125- 128, 642 جوي
In gas, 124- 125 في الغاز
In liquid, 118- 119 في السائل
Saturation vapor, 664- 665 بخار مشبع
Temperature, relationship, 648- 650 درجة الحرارة، علاقة
Primary waves, 566 موجات أساسية

Principal quantum number, 301 عدد كمي رئيس
Principle of equivalence, 758 مبدأ التكافؤ
Principle of flotation, 112 مبدأ الطفو
Projectiles, 94 مقذوفات
Fast- moving, 101 حركة سريعة
Launched at angle, 96- 98 يقذف بزاوية
Launched horizontally, 95- 96 يقذف أفقيًا
Motion of, 94- 101 حركة
Protons, 288- 291, 438- 442 بروتونات
Pure matter, chemical classification, 384 مادة نقية، تصنيف كيميائي
Purification of water, 397- 403 تنقية الماء
Bottled water, 402- 403 الماء المعلب
Desalination, 399- 402 إزالة الملوحة
Osmosis, 401 الأسموزي
Reverse osmosis, 401 الأسموزي العكسي
Semi permeable membrane, 400 غشاء شبه نفاذ

Quality, 248 نوعية
Quantity of heat, 145 كمية الحرارة
Quantum hypothesis, 300- 302 فرضية كمية
Rad, 314 راد
Radiant energy طاقة الإشعاع
Absorption of, 164- 165 امتصاص من
Emission of, 163- 164 إشعاع من
Reflection of, 165- 166 انعكاس
Radiation, 163- 166 أشعة
Cosmic background, 753- 754 خلفية الأشعة الكونية
Dosage, 314- 315 جرعة
Terrestrial, 164 صناعي
Radiation curves, stars, 723- 724 منحنيات الإشعاع، نجوم
Radioactivity, 312- 314 نشاط إشعاعي
Alpha particle, 312- 314 جسيم ألفا
Beta particle, 312- 314 جسيم بيتا
Gamma rays, 312- 314 أشعة جاما
Rad, 314 راد
Radiation dosage, 314- 315 جرعة إشعاعية
Radioactive tracers, 316 مقتفيات النشاط الإشعاعي (المقتفيات المشعة)
Rem, 314 رم
Carbon-14 dating, 322 التأريخ بالكربون -14
Isotopes, 545 نظائر
Rain, acid, 448- 452 مطر، حمض
Rainbows, 272- 274 قوس المطر
Rarefaction, 235 انكسار
Reaction تفاعل
On masses, 48- 50 على الكتل
Reaction rates, 418- 423 نسب التفاعل
Activation energy, 422 طاقة التنشيط
Reduction, 452 اختزال

Reflection, 237- 239, 262- 265 انعكاس
Selective, 266 انتقائي (اختياري)
Reflection of radiant energy, 165- 166 انعكاس طاقة الإشعاع
Refraction, 237- 239, 262- 265 انكسار
Waves, 636- 638 موجات
Superposition, 541 التراكب
Relativity, 750 النسبية
General theory of, 757- 761 النظرية العامة
Tests of, 760- 761 اختبارات
Religion, science and, 7- 8 دين، علوم و
Rem, 314 رم
Resistance, electrical, 193 مقاومة كهربائية
Resonance, 239- 240 توافق، رنين
Rock, 503- 538 صخرة
Erosion, 525 تعرية
Formation, 514- 517 تكوين
Volcanic, 521 بركاني

Generation of, 518- 520 توليد
Classifying, 531- 532 يصنف
Types of, 530- 531 أنواع من
Recrystallization, 528 إعادة التبلور
Rock cycle, 532- 533 دورة الصخر
Sedimentary, 518, 523- 528 رسوبي
Chemical, 527- 528 كيميائي
Classifying, 526- 527 تصنيف
Formation, 524- 526 تكوين
Types, 517- 518 أنواع
Weathering, 524 مناخي
Rock cycle, 532- 533 دورة الصخرة
Safety fuses, 200 فتيلة الأمان
Salinity, 635 ملوحة
Salt, acid-base reaction, 441- 442 الملح، تفاعل حمض- قاعدة
Satellites, 101- 102 أقمار صناعية
Circular orbits, 103- 104 مدارات دائرية
Saturated solution, 388 محلول مشبع

Saturation vapor pressure, 664- 665 ضغط بخار مشبع
Saturn, 700- 701 زحل
Science, 1, 7- 8 علوم
Astronomy, 9- 10 علم الفضاء
Chemistry, 9- 10 كيمياء
Conceptual physical, 2- 3 أساسيات فيزيائية
Earth science, 9- 10 علم الأرض
History of advances in, 2 تاريخ التقدم في
Hypothesis, 3 فرضية
Limitations of, 6 محددات
Mathematics, 2- 3 رياضيات
Nature of, 1- 11 طبيعة
Physics, 9- 10 فيزياء
Pseudoscience, 6, 185 العلم الكاذب
Technology and, 8- 9 التقنية و
Scientific attitude, 3- 5 السلوك العلمي
Fact, 3 حقيقة
Law, 3 قانون
Theory, 4 نظرية
Scientific methods, 3 طرق علمية
Sea salts, elements of, 634 أملاح البحر، عناصر
Seawater, 634- 635 ماء بحر
Second law of thermodynamics, 146 قانون الديناميكا الحرارية الثاني
Secondary waves, 566 أمواج ثانوية
Sediment transport, 613- 614 انتقال الرسوبيات
Sedimentary rock, 518, 523- 528 صخور رسوبية
chemical, 527- 528 كيميائي
Classifying, 526- 527 تصنيف
Formation of, 524- 526 مكون من
Sedimentation, 525 ترسيب
Body waves, 566 أمواج الجسم
Earthquake, 566 هزة أرضية
Primary waves, 566 أمواج أساسية
Secondary waves, 566 أمواج ثانوية
Surface waves, 566 أمواج سطحية
Series circuits, 197- 198 دارات التوالي
Shell model, atom, 304- 305 نموذج قشري
greenhouse effect, 646- 648 أثر الدفيئة
Seasons, 645- 646 فصول
Solar system, 689- 718 نظام شمسي
Astronomical unit, 690 وحدة فلكية
Inner planets, 690, 695- 699 كواكب داخلية
Mercury, 695- 696 عطارد
Venus, 696- 697 الزهرة
Moon, 703- 709 القمر
Full moon, 704 قمر كامل
Phases o f, 704- 705 أطوار
Outer planets, 690, 699- 702 كواكب خارجية
Jupiter, 699- 700 المشتري
Neptune, 702 نبتون
Saturn, 700- 701 زحل
Uranus, 702 أورانوس
Planets, 690 كواكب
Sun, 693- 695 الشمس
Gases, 393- 394 غازات
Insoluble, 392 غير قابل للذوبان
Minerals, 517 معدني
Soluble, 391 قابل للذوبان
Temperatures changes, 392- 294 تغيرات درجة الحرارة
Soluble, 391 قابل للذوبان
Concentration, 388 تركيز
Solutions, 385- 390 محاليل
Mole, 389 مول
Saturated solution, 388 محلول مشبع
Unsaturated solution, 388 محلول غير مشبع
Solvent, 387 مذيب
Sonic boom, 245- 247 الانفجار الصوتي
Sound صوت
Acoustical imaging, dolphins and, 238 التصوير الصوتي، الدلافين
Bow waves, 245- 247 الأمواج القوسية
Doppler effect, 244- 245 أثر دوبلر
Forced vibrations, 239- 240 الاهتزازات القسرية
Interference, 240- 244 تداخل
Standing waves, 243 موجات واقفة
Musical sound, 247- 248 صوت موسيقي
Fundamental frequency, 248 تردد رئيس
Partial tones, 248 أنغام جزئية
Quality, 248 نوعية
Natural frequency, 239 تردد طبيعي
Reflection, 237- 239 انعكاس
Refraction, 237- 239 انكسار
Resonance, 239- 240 رنين
Shock wave, 246 موجة صادمة
Sonic boom, 245- 247 انفجار صوتي
Speed of, 236 سرعة
Sound waves, 235- 237 موجات صوتية
Loudspeakers, 236 مضخمات الصوت (سمّاعات)
Pitch, 235 درجة التضخم
Speed of sound, 236 سرعة الصوت
Sources of energy, 78- 79 مصدر الطاقة
Cosmology,. 749 كوني
Dark energy, 763- 764 طاقة معتمة
Dark matter, 761- 763 مادة معتمة
General theory of relativity, 757- 761 نظرية النسبية العامة
Helium, 754 هيليوم
Hydrogen, 754 هيدروجين
Ordinary matter, 761 مادة عادية
Principle of equivalence, 758 مبدأ التكافؤ
Relativity, 750 النسبية
Special theory of relativity, 761 نظرية النسبية الخاصة
Tests of general relativity, 760- 761 اختبارات النسبية العامة

Specific heat capacity, 147- 150 السعة الحرارية النوعية
Of water, 148 للماء
Spectroscope identification, atom, 298- 300 تطابق طيفي، الذرة
Atomic spectrum, 299 الطيف الذري
Speed, 25- 27 السرعة القياسية
Average speed, 26 متوسط السرعة
Instantaneous speed, 25- 26 السرعة اللحظية
Terminal, 43 حدّي
units, 26 وحدات
Speed of sound, 236 سرعة الصوت
Spring, 604- 605 زنبركات
Standing waves, 243 موجات واقفة
Stars, 719- 748 نجوم
Color of, 722- 724 لون
Neutron star, 731 نجم نيوتروني
Radiation curves, 723- 724 منحنيات الإشعاع
Static electricity, 181- 208 كهرباء ساكنة
Discharge, 610 تفريغ
Strong nuclear force, 316 قوة نووية شديدة
Structure of space, time, 749- 770 تركيب الفضاء ، الزمن
Subatomic particles, 289 جسيمات دون ذرية
Sublimation, 169- 620 التسامي
Molecules, 340 جزيئات
Sun, 693- 695 الشمس
Sunspots, 694 بقع شمسية

Superconductors, 194 فائقة الموصلية
Support force, 23 قوة داعمة

Surface water, 609- 617 ماء سطحي
Surface waves, 566 أمواج سطحية
Technology, science and, 8- 9 تقني، علمي و
Temperature, 142- 143, 666 درجة الحرارة
Temperature inversion, 669 انقلاب في درجات الحرارة
Atmospheric, 666 غلاف جوي
Temperature pressure relationship, atmosphere, 648- 650 علاقة درجة الحرارة بالضغط، الغلاف الجوي
Terminal speed, 43 السرعة الحدية
Terminal velocity, 43 السرعة الحدية المتجهة
Theory, 4 نظرية
Thermal energy, 141- 158 طاقة حرارية
Absolute zero, 143 الصفر المطلق
Heat, 144 الحرارة
Quantity of heat, 145 كمية الحرارة
Temperature, 142- 143 درجة الحرارة
Thermal expansion, 150- 151 التمدد الحراري
Laws of, 145- 146 قانون
First law of, 145 القانون الأول
Second law of, 146 القانون الثاني
Third law of, 146 القانون الثالث
Thermonuclear fusion, 330 اندماج نووي حراري
Thermosphere, 644 كرة حرارية
Third law of thermodynamics, 146 قانون الديناميكا الحرارية الثالث
Dark energy, 763- 764 طاقة معتمة
Dark matter, 761- 763 مادة معتمة
General theory of relativity, 757- 761 نظرية النسبية العامة
Helium, 754 هيليوم
Hydrogen, 754 هيدروجين
Ordinary matter, 761 مادة عادية
Principle of equivalence, 758 مبدأ التكافؤ
Relativity, 750 النسبية
Transfer of heat, 159- 179 انتقال الحرارة
Absorption of radiant energy, 164- 165 امتصاص طاقة الإشعاع
Boiling, 171- 173 غليان
Change of phase, 168- 171, 174- 175 تغير الطور
Condensation, 170- 171 تكثيف
Conduction, 160 توصيل
Convection , 161-162 الحمل الحراري
Emission of radiant energy, 163- 164 انبعاث طاقة الإشعاع
Evaporation, 169 تبخر
Freezing, 173- 174 تجمد
Greenhouse effect, 167- 168 أثر الدفيئة
Heat of fusion, 174 حرارة الاندماج
Heat of vaporization, 174 حرارة التبخر
Melting, 173- 174 انصهار
Newton’s law of cooling, 166- 167 قانون نيوتن في التبريد
Radiation, 163- 166 الإشعاع
Sublimation, 169 تسامٍ
Transformer boosting, 222- 223 محول رافع
Transmission, selective, 266- 267 النفاذ، الانتقاء
Transparency, 257- 260 الشفافية
Transparent materials, 257- 260 مواد منفذة
Transverse waves, 234- 235 أمواج عرضية
Types of rock, 517- 518 أنواع الصخور
Universal gravitation, 93- 94 الجذب الكوني
Universal gravitational constant, 89- 90 ثابت الجذب الكوني
Universal law of gravity, 88- 90 قانون الجاذبية الكوني
Unsaturated solution, 388 محلول غير مشبع
Valence electrons, 305 إلكترونات التكافؤ
Valence shell, 354 قشرة التكافؤ
Vaporization, heat of, 174 حرارة التبخر
Vector, 20 متجه
Vector quantity, 20 كمية متجهة
Free fall, 29 سقوط حر
Terminal, 43 حدّي

Vibrations, 232- 233 اهتزازات
Volcanic rock, 521 صخور بركانية
Voltage sources, 190- 191 مصادر الجهد
Volts, 193 الفولتات
Volume, 19 الحجم
Wastewater treatment, 403- 405 معالجة المياه العادمة
Bottled, 402- 403 معلب
Hard, softening, 396- 397 عسر، إزالة العسر (تيسير)
Wastewater treatment, 403- 405 معالجة المياه العادمة
Water purification, 397- 403 تنقية المياه
Bottled water, 402- 403 الماء المعلب
Desalination, 399- 402 إزالة الملوحة
Osmosis, 401 الأسموزي
Reverse osmosis, 401 الأسموزي العكسي
Semipermeable membrane, 400 غشاء شبه نفاذ
Wavelength, 232 طول موجة
Waves, 231- 254, 635- 642 موجات
Amplitude, 232 سعة
Compression, 235 انضغاط
Frequency, 232 تردد
Hertz, 232 هرتز
Longitudinal waves, 234- 235 أمواج طولية
Motion, 233 حركة
Rarefaction, 235 تخلخل
Refraction, 636- 638 انكسار
Sound waves, 235- 237 أمواج صوتية
Acoustical imaging, dolphins and, 238 التصوير الصوتي، الدلافين
Vow waves, 245- 247 الأمواج الصادمة
Doppler effect, 244- 245 أثر دوبلر
Forced vibrations, 239- 240 الاهتزازات القسرية
interference, 240- 244 تداخل
Standing wavers, 243 موجات واقفة
Loudspeakers, 236 السماعات
Musical sounds, 247- 248 أصوات موسيقية
Fundamental frequency, 248 تردد رئيس
Partial tones, 248 أنغام جزئية
Quality, 248 نوعية
Natural frequency, 239 تردد طبيعي
Pitch, 235 نغمة
Reflection, 237- 239 انعكاس
Refraction, 237- 239 انكسار
Resonance, 239- 240 رنين
Shock wave, 246 الموجة الصادمة
Speed of sound, 236 سرعة الصوت
Speed, 233- 234 السرعة
Vibrations, 232- 233 اهتزازات
Wavelength, 232 طول موجة
Atmospheric stability, 669- 670 ثبات الغلاف الجوي
(Weather (continued طقس
Temperature, 665 درجة الحرارة
Temperature changes, 666 تغيرات درجة الحرارة
Temperature inversion, 669 انقلاب درجة الحرارة
Cloud groups, 671 مجموعات غيوم
High clouds, 671- 672 غيوم عالية
Middle clouds, 672 غيوم متوسطة
Maps, 683` خرائط
Weather variables, 667- 670 متغيرات الطقس
Weight, 18, 92- 93 وزن
Weightlessness, 92- 93 انعدام الوزن
White dwarfs, 726 الأقزام البيضاء
Work, energy and, 68- 71 الشغل، الطاقة و
Work – energy theorem, 71- 74 نظرية الشغل والطاقة
Zero, absolute, 143 الصفر المطلق
Accumulation, 619 تراكم
Acid rain, 448- 452 مطر حمضي
Active galactic nucleus, 739 المركز المجري النشط
Active galaxies, 738- 740 مجرات نشطة
Air, in hydrologic cycle, 624 – 625 هواء في دورة الماء
Air masses, 674 – 679 كتلة الهواء
Atmospheric lifting, 675 الرفع بالغلاف الجوي
Convectional lifting, 675 الرفع بتيارات الحمل
Frontal lifting, 676- 678 رفع المقدمة
Midlatitude cyclones, 678 - 679 أعاصير العروض الوسطى
Orographic lifting, 675 رفع الجبال
Air motion, 648- 651 حركة الهواء
Forces, 648 – 651 القوة
Large scale air movement, 656 حركة الرياح الواسعة
Temperature pressure relationship, 648 – 650 العلاقة بين الحرارة والضغط
Air resistance, 24 مقاومة الرياح
Alpha particle, 312 – 314 دقائق ألفا
Anticlines, 585 محدب
Aquifers, 604 – 605 خزانات جوفية
Artesian system, 605 نظام ارتوازي
Asteroid belt, 709 – 710 حزام الكويكبات
Asthenosphere, 569 استنوسفير
Astrology, 726 علم التنجيم
Astronomical unit, 690 وحدة فلكية
Astronomy, 9- 10, 687 – 770 فلك
Atmosphere, 630- 632, 642- 644 غلاف جوي
Air motion, 648 – 651 حركة الرياح
Large scale air movement, 650 حركة الرياح على نطاق واسع
Temperature pressure relationship, 648 – 650 علاقة الحرارة بالضغط

Deep water currents, 657 – 659 تيارات الماء العميقة
Oceanic circulation, 653 – 654 دوران المحيط
Surface currents, 654 – 657 تيارات سطحية
Upper atmospheric circulation, 653 دوران الغلاف الجوي العلوي
Atmospheric moisture, 664 – 668 رطوبة الجو
Atmospheric stability, 669 – 670 ثبات الجو
Humidity, 664 الرطوبة
Relative humidity, 664 رطوبة نسبية
Saturation vapor pressure, 664 – 665 ضغط البخار المشبع
Temperature change, 666 تغير الحرارة
Temperature inversion, 669 انقلاب الحرارة
Atmospheric pressure, 125- 128 الضغط الجوي
AU. See Astronomical unit وحدة فلكية
Big Bang, 736, 750 – 754 الانفجار الأعظم
Black holes, 732 – 735 الثقب الأسود
Black holes, singularity, 734 غرابة الثقوب السوداء
Body waves, 566 أمواج جسمية
Cambrian period, 549 – 550 دور الكامبري
Carbon 14 dating, 322 التأريخ بالكربون 14
Carbonate dissolution, 608 – 609 ذوبان الكربونات
Carboniferous period, 551 الدور الكربوني
Caverns, 608 – 609 يقطن الكهف
Caves, 608 – 609 كهوف
Cenozoic era, 556 – 559 حقب الحياة الوسيطة
Cenozoic life, 558 – 559 الحياة الوسيطة
Chain reaction, 324 التفاعل المتسلسل
Change of phase, 168 – 171, 174 – 175 تغير الطور
Acid rain, 448 – 452 المطر الحمضي
Chemical sediments, 516 رسوبيات كيميائية
Chemical sedimentary rock, 527 – 528 صخور رسوبية كيميائية
Circulation patterns atmosphere, 659 – 651 نظام دورة الغلاف الجوي
Deep water currents, 657 – 659 تيارات الماء العميقة
Oceanic circulation, 653 – 654 دورة المحيط
Surface currents, 654 – 657 تيارات سطحية
Upper atmospheric circulation, 653 الدورة العليا للغلاف الجوي
Clusters, 740 – 744 العناقيد
Collisions, 66 -67 التصادم
Elastic, 66 مرن
Inelastic, 66 غير مرن
Comets, 710 – 713 مذنبات
Continental drift, 571 – 576 انجراف قاري
Convection, 161 – 162, 569 – 570 الحمل
Convectional lifting, 675 الرفع بتيارات الحمل
Convergent plate boundaries, 579 – 582 حواف الصفائح التصادمية
Core, اللب
Earth, 568 – 569 أرض
Coriolis force, 651 قوة كوريولوس
Cosmic background radiation, 753 – 757 الخلفية الإشعاعية للكون
Cosmic inflation, 755 – 757 انتفاخ كوني
Cosmologoca; reddshif 75 انحراف أحمر كوني
Cosmology, 749 علم الكون
Cretaceous extinction, 555 – 556 انقراض الكريتاسي
Cross cutting relationships, rick daring, 541 علاقة التقاطع، التأريخ الصخري
Crystallization, minerals, 514 التبلور، المعادن
In magma, 515 – 516 في الماجما
In water solutions, 516 – 517 في محلول ماء
Dark energy, 763 – 764 طاقة معتمة
Dark matter, 761 – 763 مادة معتمة
Dating of rock, 540 – 544 تأريخ الصخور
Cross cutting relationships, 541 علاقة التقاطع
Faunal succession, 542 تعاقب حيواني
Inclusions, 541 مكتنفات
Lateral continuity, 541 استمرارية جانبية
Original horizontality, 541 الترسيب الأفقي (مبدأ الأفقية الأصلية)
Superposition, 541 تعاقب
Deep water currents, 657 – 659 تيارات ماء عميقة
Deltas, 617- 618 دلتا
Density, 116 – 117 كثافة
Depositional environments, 614 بيئة ترسيب
Depositional landforms, 622 – 624 تضاريس ترسيبية
Devonian period, 551 الدور الديفوني
Divergent plate boundaries, 557 – 579 حدود صفائح متباعدة
Drainage basins, 612 – 613 أحواض التصريف
Networks, 612- 613 شبكة
Drainage systems, 609 – 613 أنظمة الصرف
Drift, 622 انجراف
Dwarf planets, 710 – 711 كواكب قزمة
Earth, 697 الأرض

Asthenosphere, 569 أستينوسفير
Core, 568 – 569 اللب
Crustal surface, 570 – 571 سطح القشرة
Folds, 585 طيات
Internal layers, 567 – 571 طبقات داخلية
Internal mantle, 569 – 570 ستار داخلي
Isostasy, 570 توازن
Lithosphere, 569 غلاف صخري
Mantle, 569 – 570 ستار
Mohorovicic discontinuity, 567 انقطاع موهو
Movement of, 39 حركية الصفائح
Plate tectonics, 567 – 571 حركية الصفائح
Earth science, 9- 10, 123, 503 – 686 علم الأرض
Earthquakes, 566, 587- 592 زلازل
Measurement, 588 قياسها
Mercalli scale, 588 مقياس ميركالي
Richter scale,588 مقياس رختر
Tsunami, 590 تسونامي
Eclipses, 707 – 709 كسوف وخسوف
Efficiency, 77 – 78 فاعلية
Sources of energy, 78 – 79 مصادر الطاقة
Elastic collision, 66 تصادم مرن
Erosion, 525 – 613 – 614 حت
Elliptical galaxies, 737 – 738 مجرات إهليلجية
Erosional environments, 614 بيئات حيتية
Erosional landforms, 621 – 622 تضاريس حيتية
Faults, 585 – 587 صدوع
Faunal succession, rock dating, 542 تعاقب حيواني، تأريخ صخري
Floodplains, 614 – 617 سهول فيضان
Floor of ocean, 632 - 634 قاع المحيط
Atmospheric pressure, 125 – 128 ضغط جوي
Foliated metamorphic rock, 531 – 532 صخور متحولة متورقة
Fossils, 528 مستحاثات
Full moon, 704 بدر
Galaxies, 719 – 748, 763 مجرات
Active, 738 – 740 نشطة
Active galactic nucleus, 739 أنوية مجرية نشطة
Elliptical, 737 – 738 إهليلجي
Formation, 763 تكون
Irregular, 737 – 738 غير منتظم
Spiral, 737 – 738 حلزوني
Starburst, 738 نجوم متفجرة
Gaps in rock record, 543 انقطاع في السجل الصخري
Angular unconformity, 543 عدم توافق زاوي
Unconformities, 543 عدم توافق
Geologic time, 546 زمن جيولوجي
Giant stars, 725 نجوم عملاقة
Glacial erosion, 621 – 622 حت جليدي
Glacial sedimentation, 622 – 624 ترسيب جليدي
Glaciations, 618 – 620 جليديات
Glacier mass balance, 619 – 620 توازن الكتل الجليدية
Glaciers, 618 – 624 جليديات
Formation, 618 – 619 تكون
Movement, 618 – 619 حركة
Global circulation patterns, 651 – 659 أنظمة الدوران الكروية
Deep water currents, 657 – 659 تيارات الماء العميقة
Oceanic circulation, 653 – 654 دوران المحيط
Surface currents, 654 – 657 تيارات سطحية
Upper atmospheric circulation, 653 دوران الغلاف الجوي الأعلى
Global warming, 167 – 168 الدفيئة
Greenhouse effect, 167 – 168, 646 – 648 أثر الدفيئة
Ground water, 601 – 607 مياه جوفية
Aquifers, 604 - 605 خزان جوفي
Movement, 606 – 607 حركة
Springs, 604 – 605 ينابيع
Water table, 603 – 604 سطح المياه الجوفية
Greenhouse effect, 167 – 168 أثر الدفيئة
Hertzsprung Russell diagram, 724-726 مخطط هيرتزبيرج – رسل
Humidity, 644 رطوبة
Hurricanes, 681 – 682 إعصار
Hydrocarbon, unsaturated, 477 هيدروكربونات غير مشبعة
Hydrocarbons, 472 – 476 هيدروكربونات
Saturated, 447 مشبع
Unsaturated, 476 – 478 غير مشبع
Moon, 703- 709 القمر
Eclipse, 707 – 709 كسوف وخسوف
Full moon, 704 بدر
Lunar eclipse, 708 خسوف القمر
New moon, 704 محاق
Phases of, 704 – 705 أطوار
Solar eclipse, 707 كسوف الشمس
Neap tides, 641 جزر محاقي
Nebula, planetary, 729 سديم، كوكبي
Nebular theory, 692 النظرية السديمية
Neptune, 702 نبتون
New Moon, 704 محاق
Nonfoliated metamorphic rock 532 صخور متحولة غير متورقة
Nonsilicate minerals, 513 معادن غير سليكاتية
Oceanic circulation, 653-654 دورة المحيط
Oceans 629-659 محيطات
Along coast 638-640 على طول الساحل
As basic solutions 448-452 حل رئيس
Components of 632-635 مكونات

Evolution of 630-632 تطور
Ocean floor 632-634 قاع المحيط
Seawater 634-635 مياه المحيط
Shorelines 635-642 شواطئ
Tides 635-642 مد وجزر
Wave refraction 636-638 انكسار الموج
Waves 635-642 أمواج
Along coast 638-640 على طول الساحل
Refraction 636-638 انكسار
Tides 640-642 مد وجزر
Oort cloud 711-713 غيمة أورت
Orbits مدار
Circular 103-104 مستدير
Elliptical 104-105 إهليلج
Ordovician period 550 دور الأوردوفيشي
Unsaturated hydrocarbons 476-478 هيدروكربونات غير مشبعة
Origingal horizontality rock 541 الترسيب الأفقي/ تأريخ الصخور
Orographic lifting 675 رفع الجبال
Outer planets, 690,699-702 الكواكب الخارجية
Jupiter 699-700 المشتري
Neptune 702 نبتون
Saturn 700-701 زحل
Uranus 702 أورانوس
Paleomagnetism 573 المغناطيسية القديمة
Paleozoic era, 549-553 حقب الحياة القديمة
Pangaea, 551 بانجيا
Partial melting, 520 ذوبان تفاضلي (جزئي)
Permian period, 552 – 553 دور البرميان
Phases of Moon, 704 – 705 أطوار القمر
Planetary data, 691 معطيات كوكبية
Planetary nebula 729 سديمية الكواكب
Planets,690, 695-702 كواكب
Earth 697 الأرض
Jupiter 699-700 المشتري
Mars 698-699 المريخ
Mercury 695-696 عطارد
Neptune 702 نبتون
Saturn 700-701 زحل
Uranus 702 أورانوس
Venus 696-697 الزهرة
Plate tectonics, 565-598 حركة الصفائح
Continental drift 571-576 الانجراف القاري
Convergent plate boundaries 579-582 حدود الصفائح المتقاربة
Divergent plate boundaries 577-579 حدود الصفائح المتباعدة
Earthquakes 587-592 زلازل
Faults 585-587 صدوع
Folds 585 طيات
Layers, Earth 600-601 طبقات الأرض
Seismic waves 566-567 أمواج زلزالية
Transform plate boundaries 583-584 حدود الصفائح التحويلية
Plutonic rock 523 صخور جوفية
Porosity 602 مسامية
Precambrian time, 546-549 زمن ما قبل الكامبري
Primary waves, 566 أمواج أولية
Pulsars 731 النابضة
Quasar,740 أشباه النجوم
Cosmic background,753 خلفية الكون
Radiation curves, stars منحنيات الإشعاع، النجوم
Carbon-14 dating, 322 تأريخ الكربون 14
Rain, acid 448-452 أمطار حمضية
Rainbows 272-274 قوس المطر
Refraction 237-239-262-265 انكسار
Waves 636-638 أمواج
Relative dating, rock dating 541 تأريخ نسبي، تأريخ الصخور
Relative humidity 664 رطوبة نسبية
Relative rock dating, 541 تأريخ نسبي للصخور
Cross-cutting relationships 541 علاقة التقاطع
Faunal Succession 542 تعاقب مستحاثي
Inclusions,541 مكتنفات
Iateral continuity, 541 الاستمرارية الجانبية
Original horizontality, 541 الترسيب الأفقي (مبدأ الأفقية الأصلية)
superposition, 541 التعاقب
Rock, 503-538 صخور
Deposition, 525 توضّع
Erosion, 525 حت
Formation 514-517 تكوّن
Igneous 517-523 نارية
Lava 521 لابة
Plutonic rock 523 صخور باطنية
Volcanic 521 براكين
Magma, 520-521 ماجما
Generation of 518-520 تكوّن
Metamorphic 518,528-532 متحول
Classifying 531-532 تصنيف
Foliated 531-532 متورق
Metamorphism 528 تحول
Types of 530-531 أنواع
Nonfoliated 532 غير متورق
Recrystallization 528 إعادة تبلور
Parrial melting 520 ذوبان تفاضلي
Plutonic rock 523 صخور باطنية
Relative dating 540-544 تأريخ نسبي
Rock cycle 532-533 دورة الصخور
Rock-forming minerals 513-514 معادن مكونة للصخور
Rock record 539-564 سجل صخري
Sedimentary 518-523-528 رسوبية
Chemical 527-528 كيميائية
Classifying 531-532 تصنيف
Formation of 531-532 تكون
Sedimentation 525 ترسيب
Types 517-518 أنواع
Weathering, 524 تجوية
Rock cycle 532-533 دورة الصخور

Rock-forming minerals 513-514
معادن مكونة للصخور
Sand dunes, 624 كثبان رملية
Satellites, 101-102 توابع
Circular orbits 103-104 دورات دائرية
Saturated hydrocarbons 477
هيدروكربونات مشبعة
Saturated solution 388 محلول مشبع
Saturn 700-701 زحل
Astronomy 9-10 علم الفلك
Earth science 9-10 علم الأرض
Sea salts, elements of 634 أملاح البحر، عناصر
Seafloor spreading 554,575 انتشار قاع المحيط
Seasons 645-646 فصول
Seawater 634-635 ماء البحر
Secondary waves, 566 أمواج ثانوية
Sediment transport 613-614 نقل الرسوبيات
Sedimentary rock 518-523-528
صخور رسوبية
Chemical 527-528 كيميائية
Classifying 526-527 تصنيف
Formation of 524-526 تكوّن
Sedimentation 525 ترسيب
Seismic waves 566-567 أمواج زلزالية
Body waves 566 أمواج جسمية
Earthquake 566 زلزال
Primary waves 566 أمواج أولية
Secondary waves 566 أمواج ثانوية
Surface waves, 566 أمواج سطحية
Shock wave246 أمواج صدمية
Shorelines 625-642 شواطئ
Silicates 513 سليكات
Silurian period 550-551 دور السيلوريان

Sinkholes 609 بالوعات
Solar eclipse 707 كسوف الشمس
Solar energy 645-648 الطاقة الشمسية
Global warming 646-648
الاحترار العالمي
Greenhouse effect 646-648 أثر الدفيئة
Seasons 645-646 فصول
Terrestrial radiation 646 الإشعاع الأرضي
Solar system 689-718 النظام الشمسي
Asteroid belt 709-710 حزام كويكبي
Astronomical unit 690 وحدة فلكية
Comets 710-713 مذنبات
Dwarf planets 710-711 كواكب قزمة
Ecliptic 690 دائرة البروج
Failed planet formation 709-713
الإخفاق في تكوين كوكب
Inner planets 690,695-699 كواكب داخلية
Earth 697 أرض
Mars 698-699 مريخ
Mercury 695-696 عطارد
Venus 696-697 زهرة
Kuiper belt 710-711 حزام كويبر
Meteor shower data 713
معطيات زخات الشهب
Meteorite 710 نيازك
Meteoroids 710 قطع كويكبات
Meteors 709-710 شهب
Moon 703-709 قمر
Eclipses 707-709 كسوف وخسوف
Full Moon 704 بدر
Iunar eclipse 708 خسوف القمر
New Moon 704 محاق
Phases of 704-705 أطوار
Solar eclipse 707 كسوف الشمس
Nebular theory 692 النظريّة السّديميّة
Oort cloud 711-713 غيمة أورت
Outer planets 690, 699-702 كواكب خارجية
Jupiter 699-700 المشتري
Neptune 702 نبتون
Saturn 700-701 زحل
Uranus 702 أورانوس
Planetary data 691 معطيات الكواكب
Planets 690 كواكب

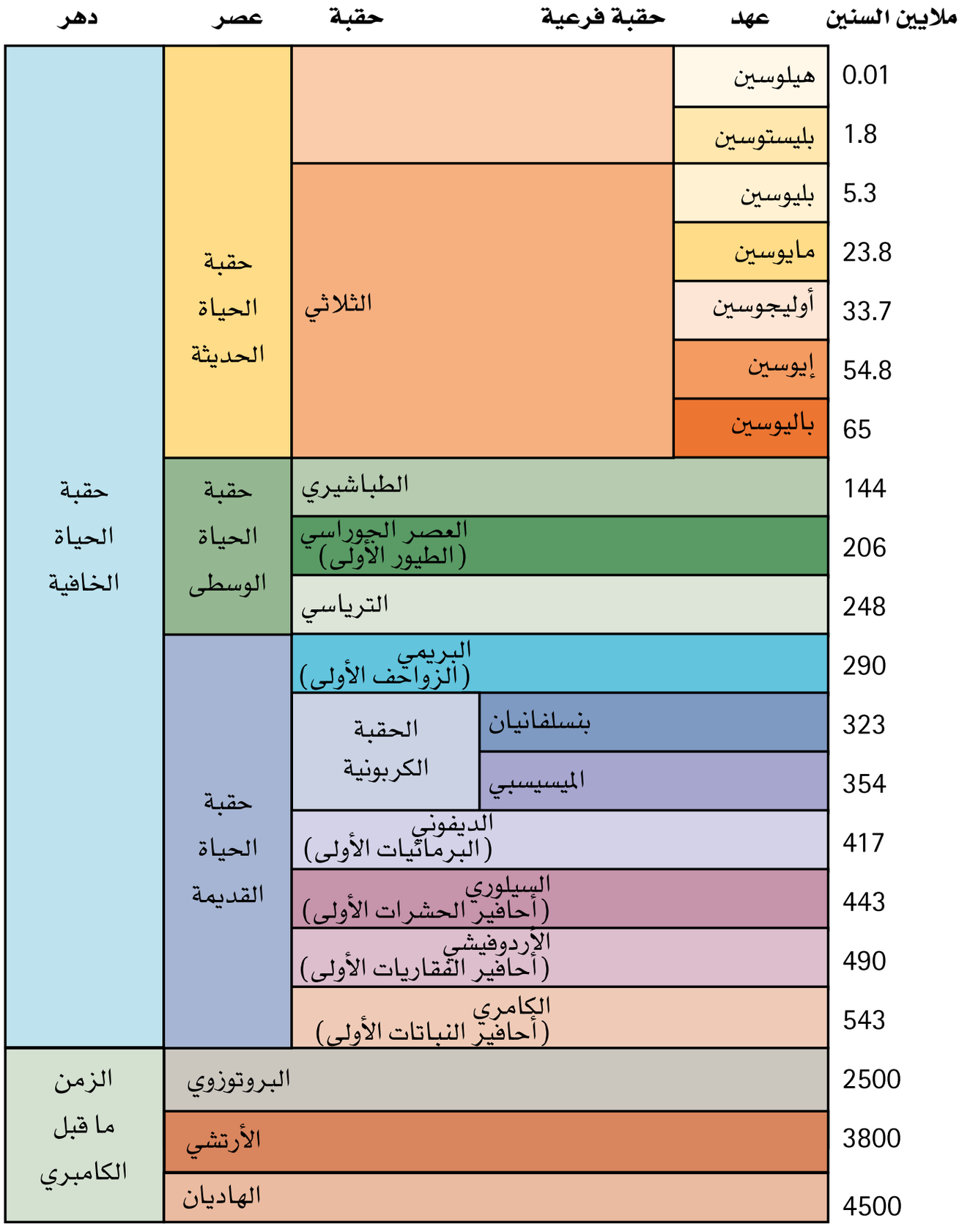
Sun 693-695 شمس
Sunspots 694 بقع شمسية
Space/time structure 649-770 بنية الزمكان
Big Bang 750-754 انفجار عظيم
Cosmic background radiation 753-754 الخلفية الإشعاعية للكون
Cosmic inflation 755-757 انتفاخ الكون
Cosmological redshift 751 انحراف الأحمر الكوني
Cosmology 749 علم الكون

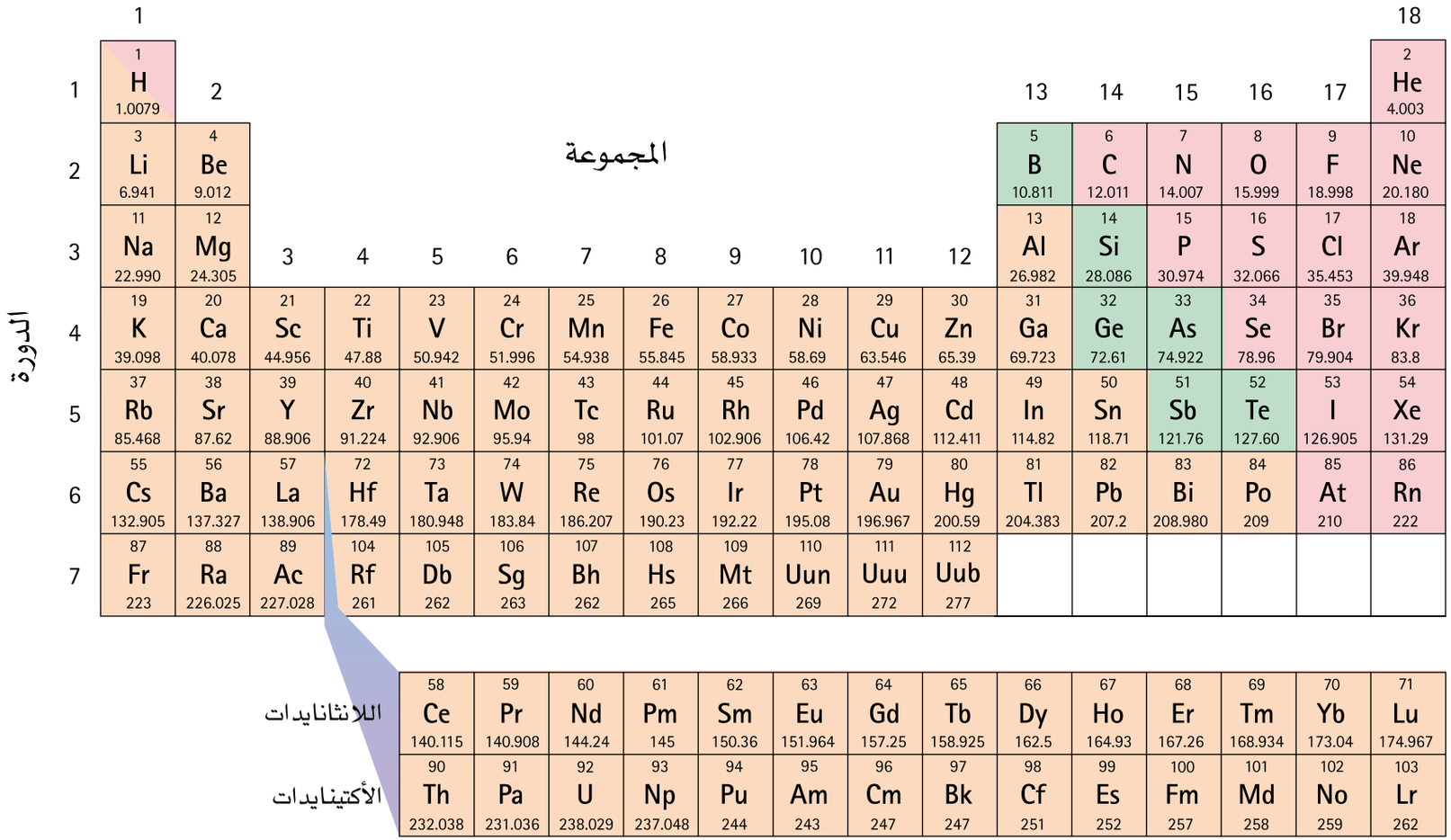
Dark energy 763-764 طاقة معتمة
Dark malter 761-763 مادة معتمة
Fate of universe 764-766 مصير الكون
Galaxy formation 763 تكون المجرة
General theory of relativity 757-761
النظرية العامة للنسبية
Spiral galaxies 737-738 مجرات حلزونية
Springs 604-605 ينابيع
Starburst galaxies 738 مجرات منفجرة
Starburst galaxy 738 مجرة منفجرة
Stars 719-748 نجوم
Brightness 722-724 لمعان
Color of 722-724 لون
Hertzsprung-Russell diagram 725
H-R مخطط
Life cycles of 727-731 دورة الحياة
Neutron star 731 نجم نيوتروني
Radiation curves 723-724
مخططات إشعاعية
Starburst galaxy 738 مجرات منفجرة
Startosphere 644 طبقة متطبقة "استراتوسفير"
Stream valleys 614-617 جداول
Cut bank 615 ضفاف مقطوعة
Point bars 615 حاجز نقطي
Subduction 579-582 غوص
Sun 693-695 شمس
Sunsets color 270-271 غروب الشمس، لون

Sunspots 694 بقع الشمس
Superclusters 740-744 فوق عنقودية
Superposition, rock dating 541 تعاقب، تأريخ صخري
Surface currents 654-657 تيارات سطحية
Surface water 609-617 مياه سطحية
Laminar 610 مترقق
Turbulent 610 مضطرب
Surface waves 566 أمواج سطحية
Synclines 386 مقعرات
Tectonics. See Plate tectonics 142-143,666 حركية الصفائح
Terrestrial radiation 164,646 إشعاع أرضي
Thermosphere 644 الطبقة الحرارية
Tides 635-642 مد وجزر
Big Bang 750-754 انفجار عظيم
Cosmic background radiation 753-754 الخلفية الإشعاعية الكونية
Cosmic inflation 755-757 انتفاخ كوني
Cosmological redshift 751 انحراف أحمر كوني
Cosmology 749 علم الكون
Dark energy 763-764 طاقة معتمة
Dark matter 761-763 مادة معتمة
Fate of universe 764-766 مصير الكون
Galaxy formation 763 تكون المجرة
General theory of relativity 757-761 النظرية العامة للنسبية

Tornadoes 681 إعصار تورنيدو
Convection 161-162 حمل حراري
Emission of radiant energy 163-164 إصدار الطاقة الإشعاعية
Global warming 167-168 احترار أرضي
Greenhouse effect 167-168 أثر الدفيئة
Terrestrial radiation 164 إشعاع أرضي
Transform plate boundaries 583-584 حدود الصفائح التحويلية
Transverse waves 324-235 أمواج عكسية
Troposhere 643 طبقة التروبوسفير
Turbulent flow 610 جريان مضطرب
Types of rock 517-518 أنواع الصخور
Unsaturated hydrocarbons 476-478 هيدركربونات غير مشبعة
Upper atmospheric circulation 653 دوران في الغلاف الجوي الأعلى
Uranus 702 أورانوس
Venus 696-697 الزهرة
Volcanic rock 521 صخور بركانية
Volcanoes 521-523 البراكين
Wastewater treatment 403-405 معالجة المياه العادمة
Water table 603 سطح المياه الجوفية
Hurricanes 681-682 إعصار هوريكان
Tornadoes 681 إعصار تورنيدو
White dwarfs 726 قزم أبيض
Eon دهر
Era حقبة
Period دور
Subperiod تحت دور
Epoch حين
Ma مليون سنة
Cenozoic الحياة الحديثة
Quaternary الرباعي
Tertiary الثلاثي
Holocene هولوسين
Pleistocene بلايستوسين
Miocene ميوسين
Oligocene أوليجوسين
Eocene أيوسين
Paleocene باليوسين
Phanerozoic ظاهر الحياة
Mesozoic الحياة المتوسطة
Cretaceous الكرتياسي (الطباشيري)
Jurassic (first bird) الجوراسي (ظهور الطيور)
Triassic الترياسي
Permian (first reptiles) البيرمي (ظهور الزواحف)
Carboniferous الكربوني (الفحمي)
Pennsylvanian البنسلفاني
Mississippian المسيسبي
Devonian (first amphibians) الديفوني (ظهور البرمائيات)

Silurian (first insect fossils) السيلوري (ظهور الحشرات)
Ordovician (first vertebrate fossils) الأوردوفيشي (ظهور النباتات)
Cambrian (first plant fossils) الكامبري (ظهور النباتات)
Precambian Time خفي الحياة
Proterozoic بروتوزوييك
Archean أركيان
Hadean هاديان


ملايين السنين
عهد
حقبة فرعية
حقبة
عصر
دهر
0.01
هيلوسين
1.8
بليستوسين
5.3
بليوسين
23.8
مايوسين
33.7
أوليجوسين
54.8
إيوسين
65
باليوسين
الثلاثي
حقبة الحياة الحديثة
144
الطباشيري
206
العصر الجوراسي (الطيور الأولى)
248
الترياسي
حقبة الحياة الوسطى
290
البريمي (الزواحف الأولى)
323
بنسلفانيان
354
الميسيسبي
الحقبة الكربونية
417
الديفوني (البرمائيات الأولى)
443
السيلوري (أحافير الحشرات الأولى)
490
الأردوفيشي (أحافير الفقاريات الأولى)
543
الكامري (أحافير النباتات الأولى)
حقبة الحياة القديمة
حقبة الحياة الخافية
2500
البروتوزوي
3800
الأرتشي
4500
الهاديان
الزمن ما قبل الكامبري



الكتل الذرية هي معدل وفرة النظائر على سطح الأرض، ويعبر عنها بوحدات الكتلة الذرية. الكتل الذرية للعناصر المشعة هي العدد الصحيح الأقرب إلى كتلة النظير الأكثر ثباتًا لذلك العنصر.

الثوابت الفيزيائية

الاسم	الرمز	القيمة
سرعة الضوء	c	$2.997\ 924\ 58 \times 10^{8}$ m/s (exact)
ثابت بلانك	h	$6.626\ 075\ 5 \times 10^{-34}$ J · s
		$4.135\ 669\ 2 \times 10^{-15}$ eV · s
ثابت الجاذبية	G	$6.672\ 59 \times 10^{-11}$ N · m² / kg²
شحنة الإلكترون	e	$1.602\ 177\ 33 \times 10^{-19}$ C
كتلة الإلكترون	m_e	$9.109\ 389\ 7 \times 10^{-31}$ kg
		0.510 999 06 MeV
كتلة البروتون	m_p	$1.672\ 623\ 1 \times 10^{-27}$ kg
		938.272 31 MeV
كتلة النيوترون	m_n	$1.674\ 928\ 6 \times 10^{-27}$ mol^{-1}
		939.565 63 MeV
عدد أفوجادرو	N_A	$6.022\ 136\ 7 \times 10^{23}$ mol^{-1}
		1 mole = 6.022×10^{23} particles
وحدة الكتلة الذرية الموحدة	u	$1.660\ 540\ 2 \times 10^{-27}$ kg
		931.494 32 MeV

الخصائص الفيزيائية

الاسم	القيمة
تسارع الجاذبية عند السطح	9.81 m/s²
كتلة الشمس	1.99×10^{30} kg
نصف قطر الشمس	6.96×10^{8} m
كتلة الأرض	5.98×10^{24} kg
نصف قطر الأرض	6.37×10^{6} m
نصف قطر مدار الأرض	1.50×10^{11} m = 1 AU
كتلة القمر	7.36×10^{22} kg
نصف قطر القمر	1.74×10^{6} m
نصف قطر مدار القمر	3.84×10^{8} m

عوامل التحويل

الضغط

1باسكال = 1 N/m²

1ضغط جوي = $1.013\ 25 \times 10^{5}$ Pa

1باوند/انش² = 6895 Pa

الطاقة والقدرة

1كالوري = 4.187 J

1كيلو واط = 3.60×10^{6} J

1إلكترون فولت = 1.602×10^{-19} J

1أولتا = 931.494 32 MeV

1قوة حصان = 746 W

السرعة

1م/ث = 3.60 km/h = 2.24 mi/h

1كلم/ث = 0.621 mi/h

القوة

1باوند = 4.448 N

الحجم، المساحة، الطول

1 انش (بوصة) = 2.54 cm (exact)

1 قدم = 30.48 cm (exact)

1متر = 39.37 in

1ميل = 1.609 344 0 km

1لتر = 10^{-3} m³ = 10^{3} cm³

الزمن

1سنة = 3.1558×10^{7} s = 365$\frac{1}{4}$ يوم

1يوم = 86,400 s

1ساعة = 3600 s

الكتلة

1كلجم = 1000 g

1كلجم يساوي 2.205 باوند تقريبًا

الأعداد بالترميز العلمي

1 000 000	= 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10	$= 10^6$
100 000	= 10 x 10 x 10 x 10 x 10	$= 10^5$
10 000	= 10 x 10 x 10 x 10	$= 10^4$
1000	= 10 x 10 x 10	$= 10^3$
100	= 10 x 10	$= 10^2$
10	= 10	$= 10^1$
1	= 1	$= 10^0$
0.1	= 1/10	$= 10^{-1}$
0.01	= 1/100 = $1/10^2$	$= 10^{-2}$
0.001	= 1/1000 = $1/10^3$	$= 10^{-3}$
0.0001	= 1/10 000 = $1/10^4$	$= 10^{-4}$
0.000 01	= 1/100 000 = $1/10^5$	$= 10^{-5}$
0.000 001	= 1/1 000 000 = $1/10^6$	$= 10^{-6}$

بيانات الفيزياء

2.9979×10^8 m/s	= سرعة الضوء في الفراغ
343 m/s	= سرعة الصوت عند (20°C، ضغط جوي)
1.01×10^5 Pa	= الضغط الجوي القياسي
9.461×10^{12} km	= سنة ضوئية (وحدة القياس الفلكية)
1.50×10^{11} m	= معدل المسافة بين الأرض والشمس
3.84×10^8 m	= معدل المسافة بين الأرض والقمر
6.96×10^8 m	= نصف قطر الشمس عند الوسط
7.14×10^7 m	= نصف قطر المشتري عند الوسط
6.37×10^6 m	= نصف قطر الأرض عند خط الإستواء
1.74×10^6 m	= نصف قطر القمر عند خط الإستواء
5×10^{-11} m	= معدل نصف قطر ذرة الهيدروجين
1.99×10^{30} kg	= كتلة الشمس
1.90×10^{27} kg	= كتلة المشتري
5.98×10^{24} kg	= كتلة الأرض
7.36×10^{22} kg	= كتلة القمر
1.6726×10^{-27} kg	= كتلة البروتون
1.6749×10^{-27} kg	= كتلة النيوترون
9.1×10^{-31} kg	= كتلة الإلكترون
1.602×10^{-19} C	= شحنة الإلكترون

الاختصارات القياسية

A	أمبير	g	جرام	M	مولارتي
amu	وحدة الكتلة الذرية	h	ساعة	min	دقيقة
atm	الضغط الجوي	hp	قوة حصان	mph	ميل/ساعة
Btu	وحدة الحرارة البريطانية	Hz	هيرتز	N	نيوتن
C	كولومب	in.	بوصة	Pa	باسكال
°C	درجة سليوسية	J	جول	psi	باوند/انش مربع
cal	كالوري	K	كلفن	s	ثانية
eV	إلكترون فولت	kg	كلجم	V	فولت
°F	درجة فهرنهايتية	lb	باوند	W	واط
ft	قدم	m	متر	Ω	أوم