الجاذبية

NASA

نظرة عامة على الوحدة

تعرض هذه الوحدة القوانين التي تحكم حركة الكواكب من منظور تاريخي. كما تتضمن مناقشة قوانين كبلر وتفسيرها من خلال قانون نيوتن في الجذب الكوني. بالإضافة إلى مناقشة الوزن وحالة انعدام الوزن في المدار. كما تعرض الوحدة مفهوم مجالات الجاذبية ونظرية النسبية العامة لأينشتين.

قبل أن يبدأ الطلاب دراسة المواد الواردة في هذه الوحدة، يجب عليهم أن يدرسوا ما يلي:

- الحركة المتسارعة في بعد واحد
- إضافة المتجهات في بعدين
- الحركة الدائرية
- الكتلة والوزن
- حركة المقذوفات
- الكميات المتجهة مقابل الكميات القياسية

لحل المسائل الواردة في هذه الوحدة، يجب أين يكون الطلاب ملمّين بما يلي:

- تمثيل البيانات بيانيًّا
- الترميز العلمي
- الأرقام المعنوية
- الميل
- حل المعادلات الخطية
- حل المعادلات التربيعية

تقديم الفكرة الرئيسة

ما الخصائص المشتركة بين الإلكترون وكوكب المشتري والمبنى وكوكب الأرض والإنسان والسيارة؟ الكتلة ومجالات الجاذبية هل الجاذبية قوة تجاذب أم تنافر؟ تجاذب تمارس الأجسام ذات الكتل قوى التجاذب على غيرها من الأجسام.

نبذة عن الشكل

أين التقط الشكل؟ من محطة الفضاء الدولية (*ISS*). صف شكل الحياة على محطة الفضاء الدولية. قد يذكر الطلاب طفو روّاد الفضاء والأجسام الأخرى بالإضافة إلى "انعدام الجاذبية" في الفضاء. ما الذي يحول دون اصطدام محطة الفضاء الدولية بالأرض؟ تقطع محطة الفضاء الدولية مسافة 17,500 mph تقريبًا بينما تسحبها قوة الجاذبية الأرضية إلى الأسفل. فتكون المحصلة النهائية أن مسار محطة الفضاء الدولية يتبع منحنى سطح الأرض. احسب الزمن الدوري المداري لمحطة الفضاء الدولية. 90 دقيقة تقريبًا

استخدام التجربة الاستهلالية

في نموذج حركة عطارد، يمكن للطلاب رسم مدار عطارد استنادًا إلى البيانات وتحديد ما إذا كان المنحنى المرسوم عبارة عن دائرة.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 103 8/19/2016 10:54:28 AM

1 التقديم

نشاط محفِّز

مقياس أمسك كرة بولينج بيدك وأخبر الطلاب بأنها تمثل الشمس، ثم اطلب منهم أن يجدوا جسمًا يمثل حجم الأرض باستخدام المقياس نفسه. يمكنك الاستعانة بالجدول 1 الوارد في صفحة 173. المقياس هو 1:109. لذا سيكون قطر الأرض 2 mm تقريبًا. أحضر أجسامًا مثل: كرة تنس وثمرة بلوط وحبة بندق وحبة فول سوداني وحبات من الفلفل ورؤوس دبابيس. وضح للطلاب أنهم في الأنشطة القادمة سيستعملون الكرة وحبات الفلفل لبناء نموذج للنظام الشمسي. ض م مرئي – مكاني

الربط بالمعرفة السابقة

الجاذبية سيطبق الطلاب قانون الحركة الثاني لنيوتن على قوة جديدة وهي قوة الجاذبية التي تسبب ظهور التسارع المركزي لقمر صناعي يتحرك في مداره.

2 التدريس

الملاحظات الأولى وقوانين كبلر

تطوير المفاهيم

الفكرة الرئيسة قسِّم الطلاب إلى مجموعات يتكون كل منها من أربعة طلاب وأعطِ كل مجموعة العديد من الأجسام في شكل أزواج ومسطرة مترية. يمكن أن تتضمن أزواج الأجسام كرة قدم – ثمرة بلوط، وكرة تنس – كرة تنس، وبطاطس – سدادة فلين، ومشبك ورق – كرة بولينج، وكتابًا – علبة مشروبات غازية، وزوجًا من العملات المعدنية وما إلى ذلك، ثم اطلب من الطلاب الفصل بين كل زوج والآخر بمسافة قدرها 1 m. بعد ذلك، اطلب من الطلاب ترتيب الأزواج حسب قوة الجاذبية بين كل زوج من الأكبر إلى الأصغر. أحضر ميزانًا ثلاثي الأذرع ليستخدمه الطلاب إذا احتاجوا إلى قياس الكتل. تحقق من الترتيب في كل مجموعة. اسأل الطلاب ما إذا كان الترتيب سيتغير عند خفض قيمة المسافات إلى النصف. لا. ماذا يحدث في القوة الموجودة بين الأجسام عندما تكون أقرب؟ تزيد.

تحديد المفاهيم الخاطئة

الشمس مركز النظام الشمسي قد يظن الطلاب أن فكرة الشمس مركز النظام الشمسي كانت موجودة في عصر كوبرنيوس أو جاليليو أو نيوتن. في الواقع، لم يُقبل البرهان المبني على الملاحظات حتى ثلاثينيات القرن التاسع عشر، وقُبل نظام كوبرنيكوس لأنه كان أسهل من النظام الذي يعتبر الأرض مركزًا للنظام، كما أن قوانين نيوتن استطاعت أن تصف حركة الكواكب في نظام كوبرنيكوس. لكنها لم تستطع أن تصف مدارات الكواكب حول الأرض بالتفصيل في النموذج الذي يعتبر الأرض مركزًا للنظام.

استخدام تجربة الفيزياء

في نمذجة المدارات، يحدد الطلاب شكل مدارات الكواكب والأقمار الصناعية في النظام الشمسي.

تطوير المفاهيم

بناء نموذج لحركة الكواكب تعرف على معلومات الطلاب عن الأرض والشمس والنظام الشمسي. ابدأ بالتعرف على ملاحظاتهم بشأن حركة الشمس حول الأرض مثلًا أو تفاصيل حركة الشمس في السماء وحركة النجوم في الليل وعلى مدار العام. اطلب من الطلاب بناء نموذج يشرح هذه الملاحظات. إذا اختار الطلاب بناء نموذج تكون الشمس في مركزه، فاسألهم عن الملاحظات التي تؤيد اختيارهم لهذا الموقع. ض م مرئي – مكاني

نشاط مشروع الفيزياء

المدارات مختلفة المركز اطلب من الطلاب البحث في النماذج التاريخية المتعددة للنظام الشمسي لشرح كيف يمكن أن يكون قد تأثر بها كبلر. اسألهم عن سبب أهمية فهم أن مدارات الكواكب إهليلجية الشكل. في الواقع، حتى كوبرنيكوس أجرى عمله بافتراض أن الكواكب تتحرك في مدارات دائرية. اطلب من الطلاب العمل معًا لتصوير وشرح المدارات مختلفة المركز لبعض الكواكب بالإضافة إلى بلوتو الذي أصبح يُصنف على أنه كوكب قزم. اسألهم ما إذا كان بلوتو أبعد دائمًا عن الشمس من نبتون. لا، في الواقع بسبب مداراتهما مختلفة المركز وأماكن وجودهما – إذا كانا في الأوج أو الحضيض الشمسي – يمكن أحيانًا لبلوتو أن يكون أقرب إلى الشمس من نبتون. ض م مرئي – مكاني

تحديد المفاهيم الخاطئة

المدارات الإهليلجية ارسم على السبورة دائرة قطرها 1 m ثم ضع الشمس على بعد 1 cm من مركز الدائرة. الفرق بين مركزي المدار الدائري والمدار الإهليلجي يساوي 0.07 mm. اسأل الطلاب عن موقع الأرض بالنسبة إلى الشمس خلال فصل الشتاء في نصفها الشمالي. تكون الأرض في أقرب موقع لها من الشمس في شهر يناير. وضِّح للطلاب أن الفصول الأربعة على الأرض ليست ناتجة عن موقع الأرض بالنسبة إلى الشمس، ولكن بسبب زاوية محور الأرض. فعند ميل نصف الكرة الشمالي بعيدًا عن الشمس، لا تسقط أشعة الشمس عمودية عليه، ولا سيما عند الارتفاعات الشاهقة، ومن ثَمَّ تكون تلك المناطق باردة. ض م

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 104 8/19/2016 10:54:28 AM

التوسّع

اختلاف الموقع النجمي تتغير مواقع النجوم القريبة إلى الأرض مع تغير موقع الأرض حول الشمس. اطلب من الطلاب استكمال هذا النشاط لنمذجة اختلاف الموقع النجمي. ستحتاج إلى كوبي قهوة سعة كل منهما 2 lb وبهما غطاءان شفافان من البلاستيك ومصباحين كهربائيين (ضع واحدًا في منتصف غرفة الصف والآخر في الجهة الأخرى) وشريط لاصق. اصنع ثقبًا صغيرًا في منتصف قاع كوبَي القهوة. اربط الكوبين معًا بحيث يكونان متجاورين. سيمثل الكوبان تلسكوبين، حيث يمثل أحدهما موقع الأرض في شهر يناير وبمثل الآخر موقعها في شهر يوليو. كما يمثل أحد المصباحين نجمًا قريبًا ويمثل الآخر نجمًا بعيدًا. ضع الكوبين في أحد جوانب غرفة الصف بحيث يكون القاع في اتجاه النجمين (المصباحين)، عتِّم الغرفة ولاحظ الموقع النسبي لصور النجمين (المصباحين) على غطاء كل كوب. سيظهر موقع المصباح القريب على الغطاءين مزاحًا قليلًا عند مقارنته بموقع المصباح البعيد. وهذا ما يراه الفلكيون ولكن على نحوٍ مضخم.

ض م حركي

الفيزياء في الحياة اليومية

الفلك في الحضارات القديمة كان علم الفلك يشكل جزءًا رئيسًا في العديد من الحضارات والأديان. حيث كانت معرفة طول السنة أمرًا ضروريًا للحضارات التي تعتمد على الزراعة، حيث كان لشعوب أمريكا الوسطى ملاحظات دقيقة لكوكب الزهرة، وبُني الأسطرلاب في بغداد في القرن الثامن، وهو آلة من القرون الوسطى لقياس مواقع الكواكب والنجوم. وقد شاهد سكان الصين انفجار سديم السرطان في عام 1054، وهذا الحدث لم يسجَّل في الغرب.

الفيزياء في الحياة اليومية

التلسكوبات أجرى كل من براهي وكبلر عملهما دون تلسكوب، وكان جاليليو يستخدم تلسكوبًا بسيطًا عندما اكتشف أقمار المشتري وحلقات زحل وأطوار الزهرة. ومن المؤكد أن هذه الاكتشافات قد ساعدت على تأييد نموذج النظام الشمسي الذي مركزه الأرض. اسأل الطلاب ما الذي تتميز به التلسكوبات عن العين المجردة. شارك مع نادي فضاء محلي في إقامة حفل لمراقبة النجوم. اطلب من الطلاب تلخيص ما شاهدوه وتوضيح كيف ساعدهم التلسكوب على تحقيق ذلك. يستطيع التلسكوب أن يجمع من الضوء أكثر مما تستطيع العين المجردة جمعه، مما يجعل الأجسام ذات الإضاءة الخافتة أكثر وضوحًا. د م

مثال إضافي للحل في الصف

مسألة أوروبا هو أحد أقمار كوكب المشتري وزمنه الدوري 3.55 أيام. فكم وحدة تبلغ مسافة نصف قطره؟

الإجابة

$$r_E^3 = (4.2 \text{ وحدات})^3 \left(\frac{3.55 \text{ أيام}}{1.8 \text{ يومًا}} \right)^2 = 288 \text{ وحدة}^3$$

$r_E = 6.6$ وحدات

اثراء

قوانين كبلر قارن بين مدارين للقمر "لو" والقمر "كاستيلو" كما في مثال المسألة. بعد ذلك، اسأل الطلاب: كيف طبَّق جاليليو القانون الثالث لكبلر؟ عامل جاليليو المشتري كالشمس، والأقمار كما لو كانت كواكب تدورحوله. ض م

التدريس المتمايز

الطلاب دون المستوى راجع مع الطلاب موضوع الحركة الدائرية، باستخدام رسومات الحركة لتوضيح كيف يتناسب التسارع مع تغير السرعة المتجهة (مقدارها أو اتجاهها أو كليهما). وارسم مدارًا دائريًا ووضح أن قوة الجاذبية (التي سنفترض منطقيًا أنها القوة المحصلة في الكوكب) والتسارع يكونان في اتجاه مركز الدائرة. ارسم بعد ذلك مدارًا إهليلجيًا بانحراف كبير نسبيًا (انحراف عن شكل الدائرة، وهو شكل إهليلجي من دون انحراف) بحيث تكون الشمس في إحدى بؤرتيه. وارسم خطوطًا من الشمس إلى نقاط محددة على الشكل الإهليلجي، مع ملاحظة أن قوة الجاذبية المؤثرة في الكوكب وكذلك تسارعه، عند أي نقطة معلومة في المدار، يكونان على امتداد هذا الخط ويتجهان نحو الشمس. ويكون تسارع الكوكب عموديًا على اتجاه سرعته المتجهة المدارية عند أقرب نقطة وأبعد نقطة عليه (ولذلك يتغير اتجاه الكوكب ولكن لا تتغير سرعته). أما عند النقاط الأخرى الموجودة على المدار، فلا يكون تسارع الكوكب عموديًا على سرعته المتجهة المدارية بسبب وجود مكوّن تسارع موازٍ للسرعة المتجهة للكوكب (ومن ثَمَّ تزيد سرعة الكوكب أو تقل).

د م مرئي – مكاني

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 105 8/19/2016 10:54:28 AM

قانون نيوتن في الجذب الكوني

التفكير الناقد

تناسب التربيع العكسي يتضمن قانون نيوتن في الجاذبية أمثلة على التناسب الطردي وتناسب التربيع العكسي. وضِّح للطلاب باستخدام الأرقام كيف تتغير القوة المحسوبة بواسطة قانون الجذب الكوني، عندما تأخذ الكتلة الأولى مع نصف الكتلة الثانية أو ضعفها أو ثلاثة أضعافها. ثم أعد الحسابات لعدد من التغيرات في المسافة. عندما نأخذ نصف إحدى الكتلتين تقل القوة إلى النصف، وعند مضاعفة الكتلة تتضاعف القوة، وعندما تتضاعف الكتلة إلى ثلاثة أمثالها تتضاعف القوة ثلاثة أمثالها أيضًا، وهكذا. أما عندما تقل المسافة بين الجسمين إلى النصف فإن القوة تتضاعف إلى أربعة أمثال قيمتها، في حين تقلل مضاعفة المسافة القوة إلى الربع، وتقلل مضاعفة المسافة لثلاثة أمثالها القوة إلى التسع. ض م

عرض عملي سريع

قانون نيوتن في الجذب الكوني

الوقت المقدَّر 5 دقائق

المواد كرتا جولف

الإجراءات أمسك كرة جولف في كل يد، بحيث تكون الكرة الأولى على ارتفاع 1 m والثانية على ارتفاع 2 m تقريبًا من الأرضية. ثم اطلب من الطلاب تأمل معادلة قانون الجذب الكوني: $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ والمقارنة بين القوتين المؤثرتين في الكرتين. القوتان متساويتان تقريبًا لأن r تُقاس بحساب البعد عن مركز الأرض.

تطوير المفاهيم

قانون نيوتن في الجذب الكوني لم يكن واضحًا من خلال قانون الجذب الكوني أنه يمكن تفسير تأثير قوة جذب جسم كبير كالأرض في تفاحة. فقد استغرق نيوتن 20 عامًا في تطوير حساب التفاضل والتكامل لإثبات فكرته. ارسم مخططًا للأرض وتفاحة. اسأل الطلاب ماذا سيحدث إذا جزأنا الأرض إلى مجموعة من الصخور؟ ارسم أسهمًا تمثل القوى بين هذه الصخور والتفاحة، ووضح كيف يمثل التناظر متوسط القوى من جهتي اليسار واليمين. فمن خلال رسم أشكال مخروطية صغيرة لها زوايا مختلفة نلاحظ أن كمية الصخور البعيدة عن التفاحة أكبر من كمية الصخور القريبة منها، وهذا من شأنه أن يعوض عن قوة أضعف بين التفاحة وأجزاء الأرض البعيدة عنها. ض م مرئي - مكاني

مثال إضافي للحل في الصف

مسألة اصنع شُفافة مشابهة للرسم التوضيحي من كتاب الأطفال الأمير الصغير (يقف الأمير على كويكبه الخاص). اطلب من الطلاب تقدير قيمة g على السطح. نصف قطر الكويكب يساوي 1.5 m وكثافته تساوي كثافة كويكب فيستا نفسها، $3.3\times10^3\ kg/m^3$. فماذا سيحدث إذا قفز الأمير إلى أعلى؟

$10^3\ kg/m^3)(14\ m^3) = 4.6\times10^4$

$$\frac{F}{m} = \frac{Gm}{r^2} = \frac{(6.67\times10^{-11}\ N\cdot m^2/kg^2)(4.6\times10^4 kg)}{1.5\ m^2}$$

$$= 1.4\times10^{-6}\ m/s^2$$

سيقفز عاليًا جدًا. ض م

استخدم الشكل 8

ميزان كافندش اعرض صورًا لموازين اللّي وموازين كافندش المحوسبة لحساب الجاذبية. حيث تعمل قوة الجاذبية التي تؤثر بها الكرات الكبيرة في الكرات الصغيرة على التواء السلك. ويمكن قياس مقدار اللّي بملاحظة انحراف شعاع الضوء، حيث يولد السلك عزمًا يتناسب مع مقدار انحراف الشعاع. ويمكن حساب ثابت التناسب من خلال قياس الزمن الدوري لاهتزازه، ثم تُقاس زاوية الاتزان وبعدها يمكن حساب قوة الجاذبية. ض م

تطوير المفاهيم

قيمة الثابت G مشتقة من قانون نيوتن في الجذب الكوني، حيث إن ثابت الجاذبية (G) هو الرقم المستخدم في حساب قوة الجاذبية. كانت القيمة المقبولة للثابت G في ثمانينيات القرن الماضي هي $6.67260\times10^{-11}\ N\cdot m^2/kg^2$، مع نسبة خطأ مرتفعة تساوي 0.01%. أما القيمة المقبولة حديثًا فهي $G = 6.67390\times10^{-11}\ N\cdot m^2/kg^2$، ونسبة الخطأ فيها تساوي 0.0014%. وما زال العلماء يبحثون في طبيعة الجاذبية. فمثلًا الجاذبية في الفضاء ليست قوة مباشرة، وبدلًا من أن يحسب العلماء قيمة G، فإنهم يقيسون الضغط المتولد من الفضاء على المادة/ الطاقة المكافئة لها. ولحساب الجاذبية بدقة أكبر، أصبح العلماء يضربون التواء الفضاء النسبي (RSW) في ثابت الفضاء (SC).

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 106 8/19/2016 10:54:28 AM

خلفية عن المحتوى

قوة الجاذبية اطلب من الطلاب التفكير في الأسئلة التالية: ما مدى شمولية قانون نيوتن في الجذب الكوني؟ هل تعتمد قوة الجاذبية على الكتلة فقط وليس على المادة أيضًا؟ هل يمكن أن تعتمد على الأرقام النسبية لعدد البروتونات والنيوترونات في المادة على سبيل المثال؟ كانت الاختبارات المبكرة على يد العالم المجري لوراند إتفوس المولود في عام 1848 الذي اخترع ميزان اللي الحساس. حيث قارن بين قوى الجاذبية المؤثرة في أجسام مختلفة لها كتلة القصور نفسها، مستخدمًا أنواعًا مختلفة من الخشب والمعادن وتوصل إلى أن القوى متساوية لخمسة أجزاء في البليون.

3 التقييم

تقييم الفكرة الرئيسة

ترتيب قوى الجاذبية ارسم خمسة مخططات على السبورة (تحمل العناوين من أ إلى هـ) لأزواج مختلفة من الكتل تفصلها مسافات مختلفة. اطلب من الطلاب ترتيب قوى الجاذبية على الأجسام الموجودة في الجانب الأيسر من الأعلى إلى الأقل. اطلب من الطلاب ترتيب قوى الجاذبية على الأجسام الموجودة في الجانب الأيمن من الأعلى إلى الأقل. هل هناك فرق؟ لا، قوى الجاذبية متساوية في جميع الأزواج لكنها في اتجاهات متعاكسة، فالمعادلة المستخدمة هي نفسها وبالمتغيرات نفسها.

التأكد من الفهم

رسم مخطط الجسم الحر ارسم مدارًا دائريًا لقمر صناعي حول الأرض، وحدد موقعين للقمر الصناعي، ثم اطلب من الطلاب نسخ الرسم بالإضافة إلى رسم مخطط جسم حر للقمر الصناعي في كلا الموقعين. ثم اطلب منهم تحديد القوة أو القوى التي تؤثر فيه واتجاه تسارعه على الرسم. سيكون هناك قوة واحدة فقط مؤثرة فيه هي، F_g ويجب أن تكون في اتجاه الأرض، كما يجب أن يكون متجه التسارع في اتجاه القوة نفسه. ناقش سبب عدم وجود قوى أخرى تؤثر في القمر الصناعي. حيث إنه لا يوجد أي جسم يلامس القمر، فإن قوى التلامس غير موجودة. إن القوة بعيدة المدى المؤثرة في القمر الصناعي هي قوة الجاذبية الأرضية؛ لذا يوجد قوة واحدة فقط. لاحظ أن الكثير من الطلاب قد يذكرون أن القوة المركزية أو "قوى" الطرد المركزي هي قوى إضافية. فإذا حدث ذلك، فوضح لهم معنى المصطلحات التي يستخدمونها. في هذا المثال، قوة الجاذبية التي تؤثر في القمر الصناعي هي قوة مركزية، والقوة المركزية هي أي قوة في اتجاه مركز الدائرة التي يتحرك فيها الجسم.

أما بخصوص قوة الطرد المركزي، فافترض أن القمر الصناعي يُلاحظ من مناط استناد يدور حول مركز الأرض وبالمعدل نفسه الذي يدور به القمر الصناعي. سيكون القمر الصناعي ساكنًا بالنسبة إلى مناط الاستناد هذا في دورانه. ووفقًا لقانون الحركة الأول لنيوتن، إذا كان الجسم ساكنًا، فلن تكون هناك قوة محصلة تؤثر فيه. ونحن نعلم أن قوة الجاذبية تسحب الجسم نحو مركز الأرض. لن يكون قانون نيوتن الأول صحيحًا في حالة دوران مناط الاستناد ما لم يكن هناك قوة تؤثر في القمر الصناعي، تكون مساوية لقوة الجاذبية ومضادة لها في الاتجاه، أي متجهة بعيدًا عن مركز الأرض. أما قوة الطرد المركزي فهي القوة التي ستجعل قانون نيوتن الأول صحيحًا في حالة دوران مناط الاستناد (بالمعنى الموضح أعلاه). وهي تختلف عن قوة الجاذبية في أنه يوجد قانون يربط قوة الجاذبية التي تؤثر في جسم ما له كتلة معينة بالمواقع النسبية للأجسام الأخرى وكتلها، في حين أنه لا يوجد مصدر مادي مماثل في قوة الطرد المركزي.

ض م مرئي - مكاني

إعادة التدريس

عرض توضيحي للكتلة أسقط جسمًا—كرة، على سبيل المثال. اسأل الطلاب إذا كان تسارع الجسمين يخبرهم شيئًا عن كتلة الجسم أو كتلة الأرض. اسألهم عما إذا كانت إجاباتهم بشأن الجسم الذي أسقطته تنطبق أيضًا على قمر صناعي يدور حول الأرض. لا يعتمد تسارع السقوط الحر للجسم على كتلته (بدرجةٍ ما، مع إغفال مقاومة الهواء على سبيل المثال)، لذا فقياس التسارع لا يخبرك بأي شئ عن كتلة الجسم. ولكن

$$a_{\text{السقوط الحر}} = \frac{F_{\text{الجاذبية}}}{m_{\text{الجسم}}} = \frac{Gm_{\text{الجسم}}m_{\text{الأرض}}}{r^2 m_{\text{الجسم}}} = \frac{Gm_{\text{الأرض}}}{r^2}$$

إذن فقياس قيمة التسارع تتيح لك حساب كتلة الأرض (بافتراض أنك تعرف قيمة G وr). وتنطبق النتائج نفسها على الأقمار الصناعية، بمعنى أنك لا تستطيع حساب كتلة القمر الصناعي، لكن تستطيع حساب كتلة الأرض من خلال معرفة تسارع السقوط الحر للقمر الصناعي. ض م

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 107 8/19/2016 10:54:28 AM

التأكد من فهم النصوص والصور

التأكد من فهم النص

المسافة بين النقطتين 1 و 2 أطول من المسافة بين النقطتين 6 و7. الأرض أقرب إلى الشمس وهي تقطع المسافة بين النقطتين 1 و 2 بسرعة أكبر من المسافة بين النقطتين 6 و7.

التأكد من فهم الشكل

يختلف شكل المسافات الزمنية المتساوية لأن الشمس تقع في إحدى بؤرتي الشكل الإهليلجي، والتي تتزحزح من مركز الشكل الإهليلجي.

التأكد من فهم النص

يُستخدم مقدار الدوران المحوري الأفقي للذراع في تحديد قوة الجذب بين الكرتين.

مسائل تدريبية

1. 11 وحدة
2. 2.8 y
3. $0.724 r_E$
4. $19 r_E$
5. 684 يومًا
6. a. 89 min
   b. 3.2×10^2 km
7. 4.3×10^4 km

مسألة تحفيزية في الفيزياء

1. بالنسبة إلى الكوكب (ب)، $\frac{r_ب^3}{T_ب^2} = 9.6 \times 10^{-6}$ AU^3/يوم^2

   بالنسبة إلى الكوكب (ج)، $\frac{r_ج^3}{T_ج^2} = 9.77 \times 10^{-6}$ AU^3/يوم^2

   بالنسبة إلى الكوكب (د)، $\frac{r_د^3}{T_د^2} = 9.82 \times 10^{-6}$ AU^3/يوم^2

   تُحقِّق الكواكب القانون الثالث لكبلر.

2. بالنسبة إلى نظام الأرض والشمس،

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{(1.000\ \text{AU})^3}{(1.000\ \text{y})^2} = 1.000\ \frac{\text{AU}^3}{\text{y}^2}$$

   بالنسبة إلى نظام الكوكب (ج) والنجم أبسيلون،

$$\frac{r^3}{T^2} = 9.77 \times 10^{-6}\ \text{AU}^3/\text{يوم}^2$$

$$= (9.77 \times 10^{-6}\ \text{AU}^3/\text{يوم}^2)(365\ \text{يوم}/\text{y})^2$$

$$= 1.30\ \text{AU}^3/\text{y}^2$$

   كتلة النجم تساوي 1.30 ضعف كتلة الشمس.

القسم 1 مراجعة

8. 1.2×10^{-7} N; 8.4×10^3 جزء في البليون من الوزن.
9. 6.02×10^4 يوم
10. سوف تزداد قيمة g.
11. تظل قيمة G كما هي، حيث تُستخدم القيمة نفسها في وصف التجاذب بين أجسام ذات تركيبات كيميائية مختلفة وهي: الشمس (نجم) والكواكب والأقمار الصناعية.
12. لا. فالقانون العلمي عبارة عن بيان بالأشياء التي لوحظ أنها حدثت مرات عديدة. أما النظرية فتشرح النتائج العلمية. وهذه العبارات لا تفسر سبب حركة الكواكب بهذه الطريقة ولا سبب عمل الجاذبية بهذه الطريقة.
13. a. يتطلب الرمي الأفقي المجهود نفسه، بسبب استخدام معادلة القصور $F = ma$، للصخرة. تعتمد كتلة الصخرة على مقدار المادة الموجودة في الصخرة وليس على موقعها في الكون. يبقى المسار قطعًا مكافئًا، لكنه سيكون أعرض بكثير لأن الصخرة ستذهب بعيدًا قبل أن تصطدم بالأرض، في ظل معدل التسارع الأصغر ووقت الرحلة الأطول.

    b. افترض أن الصخرة ستسقط من الارتفاع نفسه على الأرض وعلى القمر. سيكون الأذى أقل على القمر، لأن قيمة g أقل وهذا يعني أن السرعة المتجهة للصخرة ستكون أقل عندما ترتطم بالإصبع على القمر منها وهي ترتطم به على الأرض.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 108 8/19/2016 10:54:29 AM

1 التقديم

نشاط محفِّز

حركة المقذوفات تحذير: ارتدِ نظارات واقية. ارفع كرة جولف إلى أعلى بطول ذراعك. أفلت الكرة ثم أمسكها عند أعلى موقع بعد ارتدادها عن الأرضية. اسأل الطلاب ما المسافة التي قطعتها الكرة في الثانية الأولى من سقوطها $\frac{(9.8\ m/s - 0\ m/s)}{2} = 4.9\ m/s/1\ sec = 4.9\ m$. واطلب منهم التفكير في ما يمكن أن يحدث إذا أُلقيت الكرة بانحراف جانبي بالسرعات 10 m/s و50 m/s و500 m/s. ما المسافة التي تقطعها الكرة في الثانية الأولى؟ 4.9 m ما المسافة التي تقطعها الكرة أفقيًا (بانحراف جانبي) في الثانية الأولى؟ 10 m، 50 m، 500 m وما شكل مسارها؟ سيكون منحنيًا اطلب من الطلاب ربط هذا النشاط **بالشكل 11**.

د م **مرئي – مكاني**

الربط بالمعرفة السابقة

حركة الأقمار الصناعية اطلب من الطلاب تطبيق قانون نيوتن في الجاذبية على حركة الأقمار الصناعية. سيحتاجون إلى مراجعة مفهومَي الوزن والكتلة. ض م

2 التدريس

تطوير المفاهيم

الفكرة الرئيسة أحضر نسخًا من صور للحطام المداري حول الأرض أو ابحث عنها على الإنترنت لعرضها على الطلاب ويمكن العثور عليها على موقع مكتب ناسا لبرنامج الحطام المداري. اسمح للطلاب باستكشاف صور الحطام المداري في المدار الأرضي المنخفض (LEO) والمدار المتزامن مع الأرض (GEO). اسأل الطلاب عن سبب عدم تطاير الحطام في الفضاء. تحافظ قوة الجاذبية الأرضية على وجود الحطام في المدار. اسأل الطلاب: إلى أي مدى يمتد مجال الجاذبية الأرضية. إلى ما لا نهاية.

مدارات الكواكب والأقمار الصناعية وتسارع السقوط الحر

تطوير المفاهيم

المدارات ابدأ مع الطلاب بالحقيقة التالية: يسقط الجسم الموجود عند سطح الأرض أو بالقرب منه ويقطع مسافة 4.9 m في 1 s. أنشئ جدولًا للمسافات الأفقية التي سيقطعها الجسم في تلك الثانية وذلك عند سرعات أفقية مختلفة.

رسم المخططات ساعد الطلاب على تقدير انحناء سطح الأرض من رسم مخطط وشرح التالي. وضِّح للطلاب أنه عندما تقطع مسافة أفقية x، يحصر الجسم زاوية مركزية ويُعبَّر عن هذه الزاوية بالعلاقة $\tan\theta = \frac{x}{r_E}$، حيث تُمثل r_E نصف قطر الأرض، وتساوي 6.37×10^3 km. وبسبب هذه الزاوية، يُعبَّر عن المسافة التي "تنخفضها" الأرض عن الخط الأفقي تقريبًا بهذه العلاقة $y = r_E(1 - \cos\theta)$. فمثلًا إذا كانت $x = 8$ km، فإن $y = 5$ m و $\tan\theta = 1.3\times10^{-3}$. ض م

تطبيق الفيزياء

أقمار صناعية للاستشعار عن بُعد قمران صناعيان للاستشعار عن بُعد يسميان *GOES* (القمر الصناعي البيئي التشغيلي المتزامن مع الأرض) يغطيان النصف الغربي من الكرة الأرضية. يُسمى الأول *GOES-East* وهو في موقع ثابت فوق خط طول 75° W ويُسمى الآخر *GOES-West* ويقع فوق خط الطول 135° W. كتلة كل منهما 2100 kg وأُطلق كل منهما بواسطة صاروخ أطلس سنتور. وحل القمر الصناعي *GOES-12* محل القمر *GOES-8* وعُرف باسم *GOES-East* وذلك بعد أكثر من 6 سنوات من الخدمة. وهناك قمر صناعي ثالث في المدار يمكن أن يتحرك إلى الموقع إذا حدث عطل في أي من القمرين. يمكن العثور على المعلومات المحدثة على موقع http://goespoes.gsfc.nasa.gov/goes.

التعزيز

السرعة المدارية اطلب من الطلاب شرح كيف يعتمد مقدار سرعة جسم يتحرك في مدار دائري على نصف قطر المدار. إذا ضاعفت نصف القطر، فماذا يحدث لمقدار السرعة؟ سيصبح مقدار السرعة $\frac{1}{\sqrt{2}}$ أو 70.7% من مقدار سرعته الأصلية. كرر السؤال بالنسبة إلى الزمن الدوري للمدار.

ستكون السرعة $\sqrt{2^3}$ أو 2.8 مرة ضعف السرعة الأصلية.

ض م

استخدام النماذج

أين سيكون المريخ عند منتصف الليل؟ اطلب من الطلاب رسم دائرتين تمثلان مداري الأرض والمريخ بمقياس رسم على ورقة كبيرة. ويمكن أن يرسموا مدار الأرض بنصف قطر 15 cm ومدار المريخ بنصف قطر 23cm. (إذا كان للدائرتين مركز مشترك، فحدد نقطة على الدائرتين للإشارة إلى الاقتران، وإلا فسيكون هناك قياس فعلي. (وهذه هي نقطتك للبدء). واطلب منهم تحديد مواقع الأرض في مدارها حول الشمس في كل شهر والبحث عن التواريخ التي يكون فيها المريخ في حالة اقتران (أقرب مكان إلى الأرض) أو مقابلة (أبعد مكان عن الأرض). واطلب منهم استخدام الزمن الدوري للمريخ (684 يومًا) لتمييز موقع المريخ في كل شهر من شهور الأرض وتحديده. بما أن الجزء المظلم من السماء يكون في منتصف الليل في الاتجاه البعيد عن الشمس، فاطلب من الطلاب إيجاد الشهور التي يكون فيها المريخ مرئيًا أو في الشرق والجنوب (بالنسبة إلى سكان النصف الشمالي للكرة الأرضية) والغرب. ض م **مرئي – مكاني**

المهن

عالم الفلك يدرس عالم الفلك المتخصص أصل الكون وتطور تركيبه. ويدرس فلكيون آخرون ظواهر كانت قبل

McGraw-Hill Education © محفوظة لصالح مؤسسة حقوق الطبع والتأليف

0103_0120_C07_718462.indd 109 8/19/2016 10:54:29 AM

مثال إضافي للحل في الصف

مسألة يخطط مهندسون لوضع محطة الفضاء الدولية (ISS) في مدار على ارتفاع 450 km فوق سطح الأرض. فكم سيكون مقدار سرعتها المدارية؟ وكم سيكون زمنها الدوري؟

الإجابة

المعلوم:

$h = 4.50\times10^{5}\ \text{m}$

$r_E = 6.38\times10^{6}\ \text{m}$

$m_E = 5.97\times10^{24}\ \text{kg}$

$G = 6.67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$

لتحديد نصف قطر المدار: أضف ارتفاع مدار القمر عن سطح الأرض إلى نصف قطر الأرض.

$$r = h + r_E$$
$$= 4.50\times10^{5}\ \text{m} + 6.38\times10^{6}\ \text{m}$$
$$= 6.83\times10^{6}\ \text{m}$$

احسب السرعة.

$$v = \sqrt{\frac{Gm_E}{r}}$$
$$= \sqrt{\frac{(6.67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2)(5.97\times10^{24}\ \text{kg})}{6.83\times10^{6}\ \text{m}}}$$
$$= 7640\ \text{m/s}\ \text{أو}\ 27{,}500\ \text{km/h}$$

احسب الزمن الدوري.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{Gm_E}}$$
$$= 2\pi\sqrt{\frac{(6.83\times10^{6}\ \text{m})^3}{(6.67\times10^{-11}\ \text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2)(5.97\times10^{24}\ \text{kg})}}$$
$$= 5620\ \text{s}$$

وهو يساوي تقريبًا 94 min.

التدريس المتمايز

ضعاف البصر أصدرت وكالة ناسا الفضائية كتاب المس الكون: كتاب في علم الفلك بطريقة برايل تابع لوكالة ناسا لمؤلفته نورين جرايس. استُخدم في الكتاب طريقة برايل ورسومات بارزة تتضمن 14 صفحة لصور التُقطت بتلسكوب هابل الفضائي. وتحوي كل شكل نقوشات لخطوط ومطبات وغيرها من التراكيب. وتنقل الأنماط البارزة شكل الألوان والأشكال وغير ذلك من التفاصيل الصغيرة للأجسام الكونية إلى ضعاف البصر مما يمكّنهم من الشعور بما لا يمكنهم رؤيته. كما تتضمن كل من الصور الفوتوغرافية الأربعة عشرة التي يحويها الكتاب طريقة برايل وأوصافًا بارزة مما يجعل تصميم الكتاب في متناول القراء بمختلف قدراتهم البصرية. يبدأ الكتاب مع القارئ بالأرض ثم ينتقل به عبر النظام الشمسي وينتهي بالصور الأبعد مسافة والملتقطة بواسطة هابل.

عقود محط اهتمام في موضوعات كتب الخيال العلمي: كأصداء الضوء حول النجوم المنفجرة وعدسات الجاذبية. لم يَرْنَدْ جميع علماء الفلك الجامعات. فالعديد منهم يعملون في قطاع الأعمال التجارية والصناعة. إن أفضل طريقة لإعداد الشخص للعمل بوصفه عالم فلك هي تلقي تعليم متقدم في الرياضيات، حيث تُعد دراسة الرياضيات أفضل طريقة للتحضير لدراسة الفيزياء التي تُعد جزءًا مكملًا لتعليم عالم الفلك. وليس من الضروري السعي إلى الحصول على درجة الدكتوراه في علم الفلك، ولكن ينبغي أن يكون دافع الشخص هو مواصلة الدراسات من خلال مستوى الماجستير.

تحديد المفاهيم الخاطئة

انعدام الوزن يظن كثير من الناس أن جاذبية الأرض تتوقف عند نهاية الغلاف الجوي، ويُعزز هذا المفهوم الخاطئ الاستخدامُ غير الصحيح لمصطلحَي انعدام الوزن والجاذبية الميكروية. عند مناقشة التسارع الناتج عن الجاذبية بعيدًا عن الأرض، وضِّح أن تطوير نيوتن لقانون الجذب الكوني يستند إلى إدراكه أن جاذبية الأرض تمتد إلى القمر كما تمتد إلى أبعد من ذلك بكثير.

مناقشة

مسألة كيف يمكن استخدام أحواض السباحة لنمذجة حالة انعدام الوزن ومحاكاة ما يواجهه رواد الفضاء على القمر أو في المحطات الفضائية؟

الإجابة يشعر الشخص أن وزنه أقل وذلك بسبب قوة الطفو الناتجة عن الماء والمؤثرة فيه إلى أعلى. ويمكن للشخص أن يُجرِّب الشعور بانعدام الوزن إلى حد ما من خلال أدائه بعض الحركات داخل الحوض. ض م

مجال الجاذبية ونوعا الكتلة

خلفية عن المحتوى

مجال الجاذبية تبعث فكرة التأثير عن بُعد على القلق. افترض أن الشمس لم تعد موجودة. فإذا كانت الجاذبية تؤثر عن بُعد، فسيكون تأثيرها في هذه الحالة فوريًّا. فبمجرد اختفاء الشمس، ستبدأ الأرض بالتحرك في مسار بخط مستقيم. إن مفهوم المجال يجعل كل التأثيرات محلية، فلا تتأثر كتلة الأرض بكتلة الشمس ولكن تتأثر بمجال الجاذبية للشمس عند موقع الأرض. وقد أُجريت حديثًا تجربة تهدف إلى مقارنة سرعة قوة الجاذبية وسرعة الضوء. فوجد العلماء أنها تساوي 1.06 أمثال سرعة الضوء (بنسبة خطأ 20%). ولكن علماء آخرين رفضوا هذا التحليل ورأوا أن هذه التجربة ليست إلا تجربة لقياس سرعة الضوء. للحصول على مراجع عن هذا الموضوع، راجع صفحة الويب
.http://physics.wustl.edu/cmw/SpeedofGravity.html

استخدام التجربة المصغرة

في تجربة الماء عديم الوزن، يضع الطلاب الماء في كوب به فتحة، في المطبخ أو المطعم. وسيظن الطلاب أن هذه فكرة سيئة. ولكن الطلاب الذين توقعوا أن الماء سيتسرب أو لن يتسرب من الكوب أثناء السقوط الحر ويريدون الآن حكمًا نهائيًا، سيرون أن وضع الماء في كوب به فتحة فكرة جيدة للغاية في حقيقة الأمر.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 110 8/19/2016 10:54:29 AM

استخدام التجربة المصغرة

عند دراسة الوزن في السقوط الحر، يمكن أن يلاحظ الطلاب ما يحدث في وزن الجسم في ما يتعلق بمناط الاستناد عند السقوط الحر.

عرض عملي سريع

قياس كتلة القصور

الوقت المقدَّر 15 دقيقة

المواد شفرة منشار

الإجراءات علِّق شفرة المنشار على المكتب من أحد طرفيها بحيث يمكن للشفرة أن تتحرك أفقيًا. ثم علق أجسامًا مختلفة الكتلة بالطرف الآخر. قم بقياس الزمن الدوري للتردد. لاحظ أن الزمن الدوري يعتمد على الجذر التربيعي للكتلة. كتلة القصور فقط هي التي تؤثر.

نشاط مسألة تحفيزية في الفيزياء

المقاييس والموازين اجمع أكبر عدد ممكن من الأدوات التي يمكن استخدامها لقياس وزن جسم ما، ثم حدد طريقة عمل كل منها. مثلًا، يقيس المقياس الزنبركي استطالة الزنبرك الناتجة عن القوة (الوزن) المؤثرة فيه، ويستخدم الميزان الإلكتروني الاستطالة أيضًا، ولكنه يستخدم المقاومة الكهربائية لقياسها، بينما يقارن الميزان ذو الأذرع بين قوة الجاذبية على الجسم وقوة الجاذبية على كتلة المعايرة. أما ميزان كتلة القصور فيقيس الزمن الدوري للاهتزاز الذي يعتمد على كل من كتلة القصور للجسم والقوة التي يؤثر بها زنبرك الميزان. ف م حركي

استخدام تجربة الفيزياء

كيف يمكنك قياس الكتلة. يستخدم الطلاب ميزان القصور لقياس الكتلة.

استخدام تجربة الفيزياء

في كتلة القصور وكتلة الجاذبية، يحدد الطلاب العلاقة بين كتلة القصور وكتلة الجاذبية.

خلفية عن المحتوى

الجسيمات والأجسام يعطينا قانون نيوتن في الجاذبية قوة الجاذبية بين جسيمين، لكل منهما كتلته، ولكن بدون حجم، كما هو الحال مع النقاط الهندسية. ما قوة الجاذبية إذًا بين الجسمين (1 و2)، وأي منهما لديه حجم؟ يتم نمذجة كل جسم باعتباره عددًا كبيرًا من الجسيمات (أو العديد من الأجسام باعتبارها توزيعًا مستمرًا للمادة، نموذج الجسيم). كل جسيم في الجسم 1 يؤثر بقوة جاذبية في كل جسيم في الجسم 2. ويكون إجمالي قوة الجاذبية في الجسم 1 بسبب الجسم 2 هو حاصل جمع متجهات كل قوى الجاذبية في الجسم 1 بسبب الجسم 2، ويُحدد كل منهما باستخدام قانون نيوتن في الجاذبية. (إذا كانت الأجسام عبارة عن مادة مستمرة، فعند ذلك يكون إجمالي القوة هو تكامل كمية المتجهات بدلًا من حاصل جمعها). إذا كان حجما الجسمين 1 و2 صغيرين جدًا بالنسبة إلى بُعد المسافة بينهما، فعند ذلك يكون الجسمان مجرد جسيمين نقطيين يُطبَّق عليهما قانون نيوتن.

أما إذا لم يكن حجما الجسمين 1 و2 صغيرين جدًا بالنسبة إلى بُعد المسافة بينهما، كما في الحالة التي يكون لدى الجسمين فيها تناظر كرويّ (كما هو الحال، على سبيل المثال، في الكثافة المنتظمة، الكرة الصلبة)، فعند ذلك يكون حاصل جمع متجهات القوى في الجسم 1 المذكور أعلاه هو القوة نفسها التي تنتج إذا تم استبدال الجسم 1 بجسيم مفرد مع كتلة الجسم 1 ووقوعه عند مركز الكتلة واستبدال الجسم 2 بجسيم مفرد مع كتلة الجسم 2 عند مركز كتلته. وهذا يعني، استبدال مسألة قوة الجسمين بمسألة قوة جسيمين أبسط بكثير. بالنسبة إلى المسألة الأخيرة، يتم تحديد مقدار القوة المؤثرة في الجسيم 1 (الجسم 1) من خلال معادلة الكمية القياسية التالية: $F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$.

يكون اتجاه القوة على امتداد الخط الواصل بين الجسيمين 1 و2. ومن ثَمَّ، تكون قوة الجاذبية المحصلة المؤثرة في الجسم 1 بسبب الجسم 2، قوة مفردة موجهة من مركز الجسم 1 إلى مركز الجسم 2. ف م

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 111 8/19/2016 10:54:29 AM

التفكير الناقد

الأرض والقمر الصناعي من طرق تشجيع الطلاب على التفكير في الأفكار الموجودة في جزئية الخلفية عن المحتوى، تطبيق هذه الأفكار على قمر صناعي يدور حول الأرض. يمكننا نمذجة الأرض على شكل كرة مكونة من عدد كبير من الجسيمات والقمر الصناعي الصغير بالنسبة إليها باعتباره جسيماً مفردًا. ارسم قمرًا صناعيًا في مدار حول الأرض وارسم خطًا يصل بين القمر الصناعي ومركز الأرض ("الخط الواصل بين الأرض والقمر الصناعي").

اطلب من الطلاب أن يشرحوا لماذا يكون اتجاه قوة الجاذبية المحصلة المؤثرة في القمر الصناعي في اتجاه مركز الأرض على الرغم من أن معظم مواد الأرض تقع على أحد جانبي الخط الواصل بين الأرض والقمر الصناعي. تلميح: افترض أن الأرض مكوّنة من صخور منفصلة متساوية الحجم والكتلة وموزعة بانتظام، تجذب كل منها القمر الصناعي. ارسم نقطتين تمثلان نقطتين تقعان على سطح مستوٍ في الأرض، نقطتين على يمين ويسار الخط الواصل بين الأرض والقمر الصناعي وتكونان على مسافة متساوية من هذا الخط ومن القمر الصناعي. وعند النقطة التي تمثل القمر الصناعي، ارسم متجهَي قوة متساويي المقدار بحيث يتجهان نحو النقطتين المحددتين على الأرض. افصل كل متجه قوة إلى مكوّن على امتداد الخط الواصل بين الأرض والقمر الصناعي ومكوّن عمودي على الخط نفسه. اسأل الطلاب عما لاحظوه عند مقارنة مكونات متجهَي القوة. تتساوى المكونات العمودية على الخط الواصل بين الأرض والقمر الصناعي في المقدار وتتعارض في الاتجاه، في حين أن المكونات الموجودة على امتداد الخط الواصل بين الأرض والقمر الصناعي تكون في الاتجاه نفسه. ثم اسألهم عن حاصل جمع متجه المكونات العمودية. صفر ويمكن التعبير عن هذا بقول إن هذه المكونات "يحذف بعضها بعضًا". قبل تحديد مجموعة ثانية من النقاط، اسأل الطلاب إذا كان لديهم حدس أو برهنة منطقية بشأن هل ستُحذف المكونات العمودية مقابل زوج جديد من النقاط أم لا. يجب أن تُحذف مكونات المتجهات العمودية بصرف النظر عن زوج النقاط المحدد، حيث إن الحذف لا يعتمد على "مكان" وجود النقطتين، ولكن يعتمد على تناظرهما في ما يتعلق بالخط الواصل بين الأرض والقمر الصناعي. ما الذي يفسِّر إذًا قوة الجاذبية المحصلة التي تؤثر في القمر الصناعي المتجه نحو مركز الأرض؟ نظرًا للتوزيع التناظري لمواد الأرض في ما يتعلق بالخط الواصل بين الأرض والقمر الصناعي، فإن مكونات متجهات قوى الجاذبية التي لا تُحذف هي فقط تلك المكونات التي تتجه نحو مركز الأرض. وبسبب أن هذا يوضح قوة الجاذبية في حالة معينة، يحتاج الطلاب إلى البحث عن تناظر في إحدى المسائل لتبسيط الحل في مسألة معينة.

ف م **مرئي – مكاني**

نظرية إينشتاين في الجاذبية

تطوير المفاهيم

الزمكان وانحناؤه قد يرغب الطلاب في مواصلة مناقشة بعض الأفكار الواردة في كتاب الطالب.

الزمكان: الحدث هو ما يحدث في مكان وزمان محددين – مثل التصفيق بيدك وارتداد الكرة. يُقال إن المكان يكون ثلاثي الأبعاد لأن الشخص يحتاج إلى ثلاثة إحداثيات لتحديد موقع حدث ما. في حين يُقال إن الزمان أحادي البُعد لأنه يمكن تحديد زمان وقوع الحدث من خلال إحداثي واحد فقط. في الميكانيكا النيوتنية والنسبية، يمكن أن يفكر الشخص في المكان والزمان باعتبارهما جزءًا من تركيب مفرد رباعي الأبعاد $(3 + 1 = 4)$ يُسمى الزمكان، وهو "الساحة" التي تقع فيها الأحداث (وجهة النظر هذه مفيدة ومهمة بشكل خاص في الميكانيكا النسبية). فكِّر في تحديد حدث من خلال رسم نقطة على الشبكة الإحداثية t-y-x ثلاثية الأبعاد، تُسمى رسم الزمكان، مع جعل محور t مرسومًا عادة كالمحور الرأسي. ولا يمكن استيعاب الإحداثي الرابع z في مثل هذا الرسم، ولذا لم يُرسَم.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 112 8/19/2016 10:54:29 AM

انحناء الزمان المكاني: النسبية العامة هي (على أقل تقدير) نظرية الجذب، في حين أن النسبية الخاصة هي حالة خاصة من النسبية العامة يكون مقدار الجذب فيها ضعيفًا نسبيًّا. ففي النسبية العامة، تؤثر المادة في قياسات المكان والزمان (كما هو موضح أدناه). ويُشار إلى هذه التأثيرات في الغالب بالأسماء التالية: "انحناء" أو "تجعد" أو "تشويه الزمان" المكاني، حيث يكون مصطلح المادة عبارة عن اختصار لكل شيء في الزمان المكاني، الأجسام والإشعاع وما إلى ذلك، بناء على طاقة وزخم هذه الأنظمة. ولقول إن الفضاء "منحني" ("متجعد" أو "مشوه") يعني أن الهندسة الفراغية لا تتوافق مع الهندسة الإقليدية. وهذا يعني على سبيل المثال أن مجموع قياسات الزوايا الثلاث لمثلث لا تساوي 180° (حيث يتم تكوين مثلث من خلال توصيل ثلاث نقاط في الفضاء بأقصر خطوط ممكنة).

وهناك ثلاث طرق مختلفة للتفكير في هذا الفضاء أو تصوره. تتمثل إحدى هذه الطرق في تخيُّل أن الفضاء ثلاثي الأبعاد منحنيًا بالمعنى الحرفي لأنه "يقبع" في فضاء كثير الأبعاد (ستكون هناك حاجة إلى 6 أبعاد فعليًا) في حين يكون سطح الأرض ثنائي الأبعاد منحنيًا لأنه "يقبع" في فضاء ثلاثي الأبعاد. وهذا التفسير هو المعنى الحرفي لمصطلح "الفضاء المنحني". ومن الطرق الأخرى، تخيُّل أن الفضاء ثلاثي الأبعاد هو نفسه الفضاء الإقليدي "حقًا"، أي أنه ليس منحنيًا ولكن العُصي المترية مشوهة من مجال الجاذبية بطريقة تجعل نتائج القياسات يتم وصفها من خلال الهندسة غير الإقليدية. وفي هذا التفسير، تتمدد العُصي المترية أو تنكمش حسب موقعها واتجاهها ووقت إجراء القياس. فعلى سبيل المثال، تنكمش العُصي المترية الموجهة على طول الاتجاه نصف القطري بالنسبة إلى مركز الأرض كلما اقتربت تجاهها.

لا يمكن لنظرية النسبية العامة ولا التجارب ولا الملاحظات أن تحدد أي التفسيرين "صحيح". ولذلك فهما ليسا سوى تفسيرين، فيمكن اختيار كل منهما على أساس الفائدة أو الراحة أو التفضيل. القول بأن الزمان "منحنٍ" يعني أن المعدل الذي "تدق" به الساعات يعتمد على المكان و"الزمان" الذي تكون فيه. فعلى سبيل المثال، كلما كانت الساعة أعلى أكثر عن سطح الأرض، كانت أسرع في دورانها، مقارنة بالساعات الموجودة على الأرض، وهو التأثير الذي تم قياسه. ويجب أن يؤخذ هذا التأثير في الحسبان عند تصميم نظام GPS وتشغيله، والذي يتم فيه نقل الإشارات بين الأقمار الصناعية وأجهزة الاستقبال الأرضية.

قراءة إضافية:

Spacetime Physics by Edwin Taylor and J. A. Wheeler; *Black Holes and Time Warps*: *Einstein's Outrageous Legacy* by Kip Thorne; and „Curve Space,„ an edited transcript of a lecture by Richard Feynman, available in Feynman, Leighton, Sands, *The Feynman Lectures on Physics* (Vol. II, Ch. 42) or Feynman, *Six Not-So-Easy Pieces*: *Einstein's Relativity, Symmetry and Space-Time* (Ch. 6).

استخدام تشبيه

تشبيه انحناء الشبك المطاطي بانحناء الزمان المكاني وضِّح للطلاب الطرق التي يكون فيها تشبيه انحناء الشبك المطاطي بانحناء الزمان المكاني الموضَّح في **الشكل 16**، مفيدًا والطرق التي يكون فيها مضللًا. على سبيل المثال: يكون مفيدًا: (1) تمامًا كما تعمل الكرة الصفراء على انحناء الشبكة المطاطية، تعمل الشمس على انحناء الزمان المكاني؛ (2) تمامًا كما يتأثر مسار الكرة الحمراء بشكل الشبكة المطاطية، يتأثر مسار الكوكب في الفضاء بانحناء الزمان المكاني. يكون مضللًا: (1) تعمل الكرة الصفراء على انحناء الشبكة المطاطية، وهي سطح مكاني ثنائي الأبعاد أو فضاء ثنائي الأبعاد، تعمل الشمس على انحناء ليس المكان فقط، بل المكان والزمان، أي الزمان المكاني. في الواقع، إن انحناء الزمان هو الأكثر أهمية في تفسير حركة الكواكب التي تدور حول الشمس وليس انحناء الفضاء. (2) قد يوحي هذا التشبيه بأن الشمس تعمل على انحناء الفضاء بالطريقة نفسها التي تعمل بها الكرة الصفراء على انحناء الشبكة المطاطية أو بقدر كبير مثلها. ولكن في الواقع، إن انحناء الفضاء حول الشمس صغير جدًا لدرجة أنه لم يُكتشَف حتى الآن. (3) تتسارع الكرة الحمراء تجاه الكرة الصفراء لأن الكرة الحمراء على مرتفع، أي، الشبكة المطاطية التي تم انحناؤها بواسطة الكرة الصفراء. (ذكِّر الطلاب أنه حتى في حال تحرك الكرة الحمراء في مسار دائري حول الكرة الصفراء دون الاقتراب، فمع ذلك تتسارع تجاه الكرة الصفراء على الرغم من تحركها فورًا بسرعة متجهة معينة في اتجاه تماسي للمسار). وتتسارع الكرة الحمراء تجاه الكرة الصفراء بسبب تأثير السطح المطاطي المنحدر بقوة تلامس أو قوة طبيعية في الكرة، مع اتجاه مكوِّن واحد منها تجاه الكرة الصفراء. قد يعتقد الطلاب خطأً بوجود آلية مشابهة وفقًا لرؤية الزمان المكاني المنحني لحركة الكوكب. في الواقع، لا يوجد "مرتفع يؤثر بقوة" في الكواكب. ولا يتم الاعتماد على قوة الجاذبية في الواقع على الإطلاق. بل تتحرك الكواكب في "مسار طبيعي" في زمان مكاني منحنٍ.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_Co7_718462.indd 113 8/19/2016 10:54:30 AM

خلفية عن المحتوى

الانحناء في نظرية نيوتن بالرغم من صحة أن نيوتن قد استخدم الفضاء الإقليدي عند التفكير في الجاذبية، في حين استخدم أينشتاين الزمان المكاني غير الإقليدي (الذي يُسمى غالبًا "الزمان المكاني المنحني")، إلا أن ذلك ليس ما يميز بين النظريتين حقيقة؛ فيمكن بالفعل التعبير عن نظرية الجاذبية لنيوتن بلغة الفضاء المنحني كذلك. فهناك أكثر من وجه اختلاف جوهري بين نظرية نيوتن والنسبية العامة، غير أن أحد أوجه الاختلاف المهمة يتمثل في أن نظرية نيوتن تفيد بأن الزمن مطلق وكوني، وهو ما لا تنص عليه النظرية النسبية العامة.

استخدم الشكل 16

اسأل الطلاب ماذا يحدث للكرة الكبيرة إذا كانت الكرة الصغيرة ذات أكبر كتلة. ستحد زيادة كتلة الكرة الصغيرة من تأثير الكرة الكبيرة في مسار الكرة الصغيرة. ومع زيادة كتلة الكرة الصغيرة، سيزداد تأثيرها في الكرة الكبيرة إلى أن تتساوى الكتلتان في النهاية، ومن ثم ستبدأ الكرة الكبيرة في التحرك باتجاه الكرة الصغيرة. كما يرتبط ذلك أيضًا بالمسافة بين الكرتين. فكلما زادت المسافة بينهما، قلّت الجاذبية. ض م

خلفية عن المحتوى

النظرية النسبية العامة ثبتت العديد من توقعات النظرية النسبية العامة لأينشتاين. كما ثبتت قدرة الجسم ذي الكتلة الضخمة كالمجرة على العمل كعدسة بشكل مدهش، وذلك من خلال الصور الملتقطة بواسطة تلسكوب هابل الفضائي. كما وجد أن النجوم النيترونية أو النجوم النابضة التي تدور بسرعة عالية جدًا تبطئ من سرعة دورانها بطريقة تتفق مع النظرية النسبية العامة؛ حيث يسبب الإشعاع الجاذبي تباطؤًا في سرعة دوران النجوم النابضة. واستمرت تجربة مرصد موجات الجاذبية المتداخلة الليزري تبحث عن الإشعاع الجاذبي من النجوم فوق المستعرة والنجوم النابضة منذ عام 2002.

3 التقويم

تقويم الفكرة الرئيسة

اصطدام مذنب اطلب من الطلاب البحث عبر الإنترنت عن مقاطع فيديو وصور فوتوغرافية لمذنب شوميكر ليفي 9 الذي اصطدم بكوكب المشتري في يوليه 1994. لماذا اصطدم المذنب بالمشتري ولماذا تحطم إلى أجزاء؟ أسر مجال الجاذبية الشديد للمشتري المذنب قبل أن يصطدم به بحوالي 20 إلى 30 سنة. وكان هذا أول مذنب عبر التاريخ جرى رصده يدور حول كوكب قبل الاصطدام به. وقد تحطم المذنب إلى أجزاء بسبب اقترابه من الكوكب حيث أدت قوى المد والجزر إلى تفتيته. وعندما اصطدمت أجزاء المذنب بالمشتري، حدثت انفجارات، وشوهدت ندوب كانت أكثر وضوحًا من البقعة الحمراء الكبيرة في مواقع التصادم وظلت لمدة أشهر بعدها.

التأكد من الفهم

مجال الجاذبية راجع مع الطلاب كيفية حساب وزن جسم ما باستخدام العلاقة التالية: $F_g = mg$.

F_g = وزن الجسم بالنيوتن (N)

m = كتلة الجسم بالكيلوجرام (kg)

g = شدة مجال الجاذبية بالنيوتن/كيلوجرام (N/kg)

اطلب من الطلاب أن يحسبوا شدة مجال الجاذبية حول الأرض. عليهم إيجاد g [بوحدة النيوتن لكل كيلوجرام (N/kg)] عند مسافات nr_E، حيث $n = 1$ و2 و3 و4 و5. وعليهم بعد ذلك حساب وزنهم (بالنيوتن) عند هذه المواقع باستخدام كتلتهم المعروفة (بالكيلوجرام). ض م

إعادة التدريس

انعدام الوزن راجع الطرق المستخدمة في قياس كتلة القصور وكتلة الجاذبية والوزن، ثم ناقش ثلاث حالات يكون فيها وزنك الظاهري قريبًا من الصفر: عندما تكون بعيدًا جدًا عن أي كوكب أو قمر صناعي أو نجم حيث لا تؤثر فيك قوة جاذبية؛ أو عندما تؤثر فيك قوة مثل قوة الطفو؛ أو عندما تكون متسارعًا بمعدل g جنبًا إلى جنب مع الميزان وغيره من المؤثرات الأخرى المحتملة. اسأل الطلاب ما الذي سيشعرون به عندما يجربون هذه الحالة. سيجربون شعور انعدام الوزن. د م

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 114 8/19/2016 10:54:30 AM

التأكد من فهم النصوص والصور

التأكد من فهم الشكل

لم يلتفت المثال إلى تأثيرات مقاومة الهواء.

التأكد من فهم النص

لا تؤثر كتلة القمر الصناعي في سرعته المدارية ولا زمنه الدوري.

التأكد من فهم الشكل

يُحسب مجال ال جاذبية (g) باستخدام المعادلة $g = \frac{F_g}{m}$. لن تساوي قوة الجاذبية (F_g) الصفر إطلاقًا لأنها تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة بين جسمين. فعندما تصل r إلى 0، تبلغ القوة أقصى حد لها. وعندما تقترب r من اللانهاية، تقترب قيمة F_g من الصفر ولكنها أبدًا لن تصل إلى هذه القيمة بسبب العلاقة $\frac{1}{r^2}$.

التأكد من فهم الشكل

إننا على الأرض نشاهد انتقال الضوء في خطوط مستقيمة.

مسائل تدريبية

14. **a.** 7.75×10^3 m/s
    b. أبطأ
    c. تكون السرعة أبطأ لأن نصف القطر r أكبر. القمر الصناعي أبعد عن مركز الأرض.
15. 1.4 يومًا أرضيًّا، 70. km/s.6
16. **a.** 7.8×10^3 m/s
    b. 5.3×10^3 s أو 88 min
17. **a.** 2.86×10^3 m/s
    b. 1.65 h

القسم 2 مراجعة

18. **a.** $\frac{g_S}{g_E} = 2.2$
    b. 8.5×10^{19} N/kg
19. نعم. الكراسي منعدمة الوزن ولكنها ليست منعدمة الكتلة. إنها لا تزال في حالة قصور ويمكن أن تؤثر بقوة تلامس في إصبعك.
20. 1.5 N/kg
21. **a.** عندما يكون نصف القطر المداري كبيرًا، سيزداد الزمن الدوري أيضًا؛ ومن ثَمَّ، سيكون للقمر الذي على بعد 160 km الزمن الدوري الأكبر.
    b. القمر الذي على بُعد 150 km، حيث كلما قلَّ نصف القطر المداري، زادت السرعة.
22. يصف قانون نيوتن كيفية حساب القوة بين جسمين لهما كتلة كبيرة، بينما تشرح نظرية أينشتاين كيفية جذب أحد الأجسام كالأرض للقمر.
23. 7.35 N/kg
24. لا، لأن سرعة المدار وزمنه الدوري لا يعتمدان إطلاقًا على كتلة القمر الصناعي، فلم يتمكن المستشارون العلميون من حساب كتلة القمر الصناعي.
25. تدور الأرض باتجاه الشرق، وتزيد سرعتها المتجهة من سرعة القمر الصناعي المتجهة التي يكتسبها من الصاروخ، ومن ثم تقل السرعة المتجهة التي يلزم اكتسابها من الصاروخ.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 115 8/19/2016 10:54:30 AM

لا شيء يستطيع الإفلات

هل الثقب الأسود عبارة عن ثقب حقيقي؟

الغرض

يصف هذا المقال كيف تمنع سرعة الإفلات المتجهة العالية للثقب الأسود كل شيء من الإفلات حتى الضوء.

الخلفية

يتمثل أفق الحدث – حدود التأثير – للثقب الأسود في كرة تحيط بالثقب الأسود في الفضاء. ويميز أفق الحدث المسافة التي لا يستطيع عندها أي شيء الإفلات حتى الضوء. ويبقى المتغير الوحيد الذي يحدد نصف قطر الكرة هو كتلة الثقب الأسود. فعند مجاوزة الأجسام أفق الحدث، تزداد كتلة الثقب الأسود ويتوسع أفق الحدث إلى الخارج.

استراتيجيات التدريس

يمثل "ثقب التصريف"، دوامة في الماء، تشبيهًا للثقب الأسود. حيث تكمن الفكرة في أنه لا يوجد شيء يستطيع أن يتحرك عبر الماء بسرعة أكبر من سرعة الصوت. وفي مناطق معينة بالقرب من ثقب التصريف، يتحرك الماء باتجاه ثقب التصريف بسرعة كبيرة جدًا لا يستطيع الصوت الإفلات منها. ناقش مع طلابك بعض الخواص الفريدة لثقب التصريف هذا. ما أنواع الإشارات التي تستطيع الإفلات من أفق الصوت هذا أو لا تستطيع الإفلات منه؟

لمزيد من التعمق >>>

النتائج المتوقعة في حين أن سرعة الشعاع الضوئي لا تتغير، إلا أن النظرية النسبية العامة لألبرت أينشتاين قد أثبتت أن الجاذبية تؤثر في الضوء بطريقة غير معتادة. فتُفقد الجاذبية الشعاع الضوئي بعض طاقته، وطاقة الشعاع الضوئي تساوي لونه، فكلما فقد الشعاع الضوئي طاقة، انخفض لونه لأسفل الطيف، من الأزرق إلى الأحمر وما يليه. وبالنسبة إلى اللون الأسود المنبعث من الثقب الأسود، فقد انخفضت طاقة الشعاع حتى وصلت إلى صفر.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 116 8/19/2016 10:54:30 AM

القسم 1

إتقان المفاهيم

26. ستختلف الإجابات. يمثل ما يلي نمطًا محتملاً للإجابة الصحيحة: " . . إذا كان متوسط نصف القطر المداري لكوكب ما 9.50×10^{8} km، فما مقدار زمنه الدوري الذي تتوقعه؟"

27. يمثل مسار القمر "لو" إهليلجًا، يشترك مع المشتري في البؤرة ذاتها.

28. حيث إن الأرض تتحرك في مدارها ببطء أكبر خلال الصيف، ووفقًا للقانون الثاني لكبلر، يجب أن تكون أبعد عن الشمس. لذلك تكون الأرض أقرب إلى الشمس في أشهر الشتاء.

29. لا، إن تساوي المساحات الممسوحة في وحدة الزمن يُطبَّق على كل كوكب على حدة.

30. عرف نيوتن أن القمر يتحرك في مسار منحنٍ؛ لذلك فهو يتسارع. كما عرف أن التسارع يتطلب وجود قوة مؤثرة.

31. قاس الكتلتين والمسافة بينهما وقوة التجاذب بينهما بدقة، ثم حسب قيمة G باستخدام قانون نيوتن في الجذب الكوني.

32. وفقًا لقانون نيوتن، فإن $F_g \propto \frac{1}{r^2}$. فإذا ضاعفنا المسافة،

قلّت القوة إلى الربع.

33. نظرًا لأن $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{Gm_S}$، فإذا ضاعفنا كتلة الشمس، m_S،

فستنخفض النسبة إلى النصف.

إتقان حل المسائل

34. 12 y

35. 246 y

36. 4.16×10^{23} N

37. 9.11×10^{-31} kg

38. 6.5×10^{-8} N

39. 6.1×10^{-9} N

40. a. 489 N

b. 4.90×10^{2} N

41. a. 6.0×10^{24} kg

ب. 5.5×10^{3} kg/m^3

42. 5.84×10^{-10} N

43. 8.0×10^{-10} N

44. كتلة النجم تساوي 1.91 أمثال كتلة الشمس.

45. 23 سنة

46. $\frac{F_E}{F_S} = \frac{1.0}{2.3}$

47. b> c> e> a> d

48. 0.37 kg، 0.75 kg

49. 101 N

50. 5.65×10^{26} kg

51. 18 AU

52. a. 2.2×10^{15} m^2/s

b. 2.0×10^{11} m^2/s

53. 79 يومًا

القسم 2

إتقان المفاهيم

54. سرعته؛ حيث إنه يسقط طوال الوقت.

55. تعتمد السرعة فقط على b، البعد عن الأرض، وc، كتلة الأرض.

56. قوة الجاذبية بينه وبين الأرض في اتجاه مركز الأرض

57. تعني قوة $5g$ أن وزن رائد الفضاء يساوي خمسة أمثال وزنه على الأرض، فالقوة التي تؤثر في رائد الفضاء تساوي خمسة أمثال قوة الجاذبية الأرضية.

58. يرى أينشتاين أن الجاذبية تمثل تأثيرًا لانحناء الفضاء تسببه الكتلة، في حين أن نيوتن يرى أن الجاذبية هي القوة التي تؤثر مباشرة في ما بين الأجسام. لذا، فوفقًا لأينشتاين، تكون الجاذبية بين الأرض والقمر تأثيرًا لانحناء الفضاء يسببه مجموع كتلتيهما.

59. $\frac{N}{kg} = \frac{kg\cdot m/s^2}{kg} = \frac{m}{s^2}$

60. ستتضاعف قيمة الثابت g.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 117 8/19/2016 10:54:30 AM

إتقان حل المسائل

61. a. 3.07×10^{3} m/s أو 3.07 km/s
b. 8.66×10^{4} s أو 24.1 h

62. a. 0.2 N/m
b. 20 N

63. a. 2.03×10^{20} N
b. 2.80×10^{-3} N/kg

64. ستختلف الإجابات، لكن النموذج الصحيح للإجابة هو "قمر صناعي يدور في مدار دائري حول الأرض، فإذا كان يتحرك بسرعة 8.3×10^{3} m/s، فكم سيكون نصف قطره المداري؟"

65. a. 1.80×10^{3} N
b. 8.00×10^{2} N
c. 2.92×10^{2} N

66. 2.64×10 km^{3}

67. a. 1.6×10^{3} kg
b. 1.3×10^{-10} m/s^{2}

68. 8.3×10^{-9} N

69. 7.3×10^{22} kg

70. 1.60 N/kg

71. 3.0×10^{-47} N

72. a. 1.7×10^{-10} N
b. 1.7×10^{-12} N

73. 241 N

74. a. 29 N/kg
b. 1.1 N/kg
c. 4.9 N/kg

تطبيق المفاهيم

75. لا يعتمد التسارع على كتلة الجسم، وذلك لأن الأجسام ذات الكتلة الأكبر تحتاج إلى قوة أكبر لتتسارع بالمعدّل نفسه.

76. يجب أن تعرف الزمن الدوري ونصف القطر المداري لأحد الأقمار على الأقل.

77. لا تعتمد الحركة المدارية لجسم ما على كتلته، ولا يمكن استخدامها لإيجاد الكتلة. تُستخدم صيغة نيوتن للقانون الثالث لكبلر لإيجاد كتلة جسم ما عند معرفة قمر صناعي يدور حوله.

78. $\frac{1}{4}g$

79. لا شيء يتغير، حيث إن G ثابت كوني لا يعتمد على كتلة الأرض، ومع ذلك، ستتضاعف قوة جذبها.

80. ستتضاعف أيضًا.

81. سيكون المدار السفلي الأيمن هو المحتمل فقط. فالشمس ليست في بؤرة المدارين العلويين، وأما في المدار السفلي الأيسر، فإن الكوكب ليس في مدار حول الشمس.

82. لا، حيث إن القوتين تمثلان الفعل ورد الفعل، وتبعًا للقانون الثالث لنيوتن، فهما متساويتان في المقدار ومتضادتان في الاتجاه.

83. القمر الصناعي ذو نصف القطر المداري الصغير له سرعة متجهة أكبر.

84. إذا زاد نصف القطر المداري، زاد كذلك الزمن الدوري.

85. قيمة g على المشتري تساوي ثلاثة أمثال قيمتها على الأرض.

86. كلما زادت كتلة الكوكب، قلَّ الزمن الدوري للقمر الصناعي. وحيث إن كتلة الأرض أكبر من كتلة المريخ، سيكون الزمن الدوري للقمر الصناعي للأرض أقلّ.

87. a. تزداد كتلتك.
b. ستظل النسبة ثابتة لأنها تساوي مجال الجاذبية في الموقع.

88. لكي "تسقط" جسمًا إلى الأرض، يتعين عليك إطلاقه في اتجاه عكسي بالسرعة ذاتها التي تتحرك بها في المدار. وبالنسبة إلى الأرض، فإن سرعة الجسم العمودي على اتجاه الجاذبية الأرضية تساوي صفرًا، ومن ثم يمكن أن "يسقط" لأسفل باتجاه الأرض. ومع ذلك، فمن المرجح أن يحترق الجسم نتيجة الاحتكاك مع الغلاف الجوي للأرض في طريقه لأسفل.

89. يوضع القمر الصناعي في أقرب موقع ممكن لخط الاستواء بحيث لا تكون حركته باتجاه الشمال أو الجنوب كبيرة. فيؤدي وجود القمر الصناعي على هذا البُعد إلى أن يكون زمنه الدوري 24.0 h، أما إذا كان أقرب من ذلك، فسيكون الزمن الدوري له أقل من 24.0 h وسيبدو أنه يتحرك باتجاه الشرق، وإذا كان أبعد من ذلك، فسيكون زمنه الدوري أطول من 24.0 h.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 118 8/19/2016 10:54:30 AM

مراجعة جامعة

90. 2.01×10^{30} kg

91. a. 1.7×10^{3} m/s

b. 6.5×10^{3} s

92. $r \geq 7.8\times10^{1}$ m

93. a. 1.2×10^{2} min

b. 1.6×10^{3} m/s

94. a. 0.707 شهر

b. 1.26 أمثال نصف القطر المداري الحالي للقمر

c. لن يتأثر طول السنة على الأرض، فهي لا تعتمد على كتلة الأرض.

95. $0.35T_M$

96. 84.5 min

التفكير الناقد

97. عند مستوى سطح البحر: $c = 4.0\times10^{8}$ وحدات، $y = 9.77$ m/s^2
على قمة جبل إفرست: 9.74 m/s^2
في المدار الطبيعي للقمر الصناعي: 9.47 m/s^2
في المدار الأعلى: 9.18 m/s^2

98. حوالي 8 min

99. a. $F_{Sm} = (5.90\times10^{-3}\ \text{N})m$; $F_{Mm} = (3.40\times10^{-5}\ \text{N})m$

b. تجذب الشمس الماء الموجود على سطح الأرض بقوة أكبر 100 مرة.

c. $(2.28\times10^{-6}\ \text{N})m$

d. $(1.00\times10^{-6}\ \text{N})m$

e. القمر

f. ينتج المد والجزر بشكل أساسي بسبب الفرق بين قوة جذب القمر لسطح الأرض القريب منه وسطح الأرض البعيد عنه.

الكتابة في الفيزياء

100. أحد أقدم القياسات البسيطة جرت على يد العالم جيمس برادلي عام 1732. كما يجب أن تناقش الإجاباتُ القياسات التي أُخذت أثناء مرور كوكب الزهرة التي رُصدت في تسعينيات القرن السابع عشر.

101. تمكن علماء الفلك من قياس السرعة المتجهة الصغيرة للنجوم الناتجة عن قوى جاذبية الكواكب الضخمة المؤثرة فيها. حيث جرى حساب السرعة المتجهة من خلال قياس انزياح دوبلر لضوء النجم الناتج عن هذه الحركة. وتتذبذب حركة النجم بسبب دوران الكوكب حوله، مما أتاح حساب الزمن الدوري للكوكب. وبمعرفة مقدار السرعة المتجهة، أمكنهم تقدير أبعاد الكوكب وكتلته. وبمقارنة أبعاد الكواكب في المجموعة الشمسية وأزمنتها الدورية بكواكب متعددة، واستخدام القانون الثالث لكبلر، يمكن للفلكيين الحصول على أبعاد النجوم والكواكب وكتلتها بشكل أفضل.

مراجعة تراكمية

102. 4.0×10^{2} km

103. 610 N

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_Co7_718462.indd 119 8/19/2016 10:54:30 AM

تدريب على الاختبار المعياري

اختيار من متعدد

1. C
2. D
3. A
4. C
5. D

الإجابة المفتوحة

6. 8×10^5 km

سلم تقدير

يمثل سلم التقدير التالي نموذجًا لأداة تقدير الأسئلة مفتوحة الإجابة.

النقاط	الوصف
4	يُظهر الطالب فهمًا كاملًا لموضوعات الفيزياء التي درسها. قد تتضمن الإجابة بعض الأخطاء البسيطة التي لا تؤثر في إظهار الفهم الكامل.
3	يُظهر الطالب فهمًا لموضوعات الفيزياء التي درسها. وتكون إجابته صحيحة في مجملها وتُظهر فهمًا أساسيًا وليس كاملًا لموضوعات الفيزياء.
2	يُظهر الطالب فهمًا جزئيًا فقط لموضوعات الفيزياء التي درسها. وقد يكون قد استخدم الطريقة الصحيحة في الوصول إلى الحل، أو قدَّم حلًا صحيحًا، إلا أن عمله يفتقر إلى الفهم الأساسي لمفاهيم الفيزياء الأساسية.
1	يُظهر الطالب فهمًا محدودًا جدًا لموضوعات الفيزياء التي درسها. فالإجابة غير كاملة وتتضمن أخطاءً كثيرة.
0	يقدم الطالب حلًا غير صحيح إطلاقًا أو لا يجيب نهائيًا.

حقوق الطبع والتأليف © محفوظة لصالح مؤسسة McGraw-Hill Education

0103_0120_C07_718462.indd 120 8/19/2016 10:54:30 AM