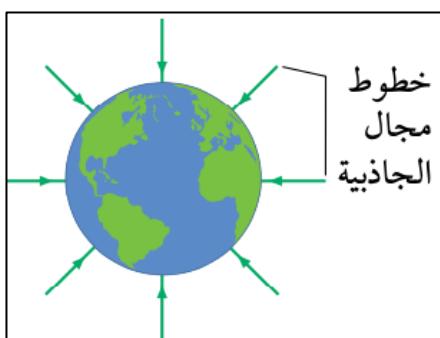


الوحدة الأولى

# مجالات الجاذبية

## ١-١ تمثيل مجال الجاذبية

### خطوط مجال الجاذبية



**مجال الجاذبية:** هو منطقة من الفضاء تؤثر فيها قوة الجاذبية على كتلة ما.

يُمثل مجال الجاذبية باستخدام خطوط المجال.

**خصائص خطوط مجال الجاذبية:**

1. الشكل: شعاعي، لأن خطوط المجال تبتعد كلما ابتعدنا عن مركز كتلة الجسم.
2. الاتجاه: نحو مركز كتلة الجسم الذي ينبع منها (هو نفسه اتجاه قوة جاذبية الجسم).
3. كثافة الخطوط تحدد شدتها، وبالتالي تحدد مقدار قوة الجاذبية، حيث:

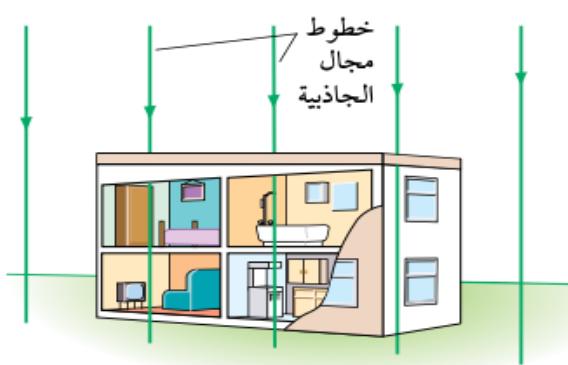
يصبح المجال أقوى في المنطقة التي تقارب فيها الخطوط (أي كلما اقتربنا من مركز كتلة الجسم).

### مجال الجاذبية المنتظم

يعتبر مجال الجاذبية بالنسبة لمبنى منتظم لأن حجم المبنى محمي مقارنة بحجم الأرض.

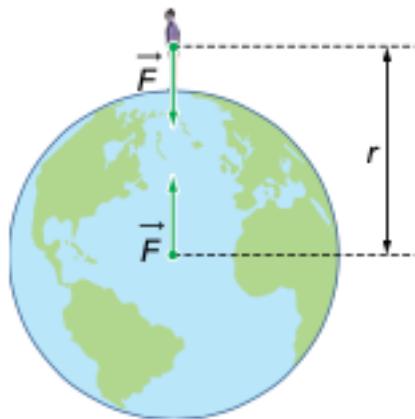
**في مجال الجاذبية المنتظم:**

- يمثل المجال بخطوط متوازية.
- شدة مجال الجاذبية متساوية في جميع النقاط داخل المبنى وحوله.
- قوة الجاذبية هي نفسها في كل مكان داخل المبنى وحوله.



## قانون نيوتن للجاذبية

أي كتلتين شقيقتين تجذب كل منها الأخرى بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيها وعكسياً مع مربع المسافة بينهما

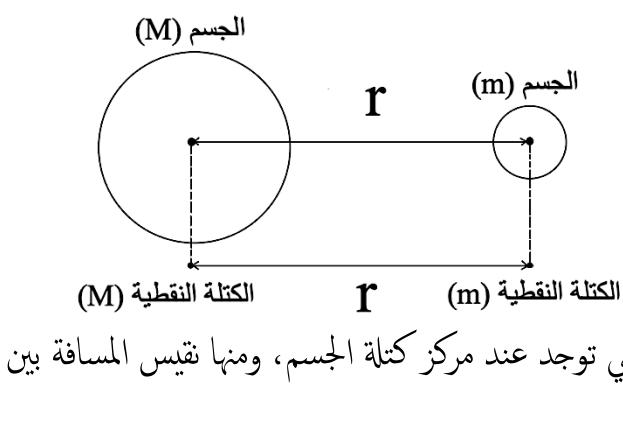


$$\vec{F} = \frac{GMm}{r^2}$$

- حيث ( $M, m$ ) هما الكتلتان النقطيتان،
- و( $r$ ) هي المسافة بينهما،
- و( $F$ ) هي قوة تجاذب وهي متوجهة نحو الجسم المنتج للقوة.
- و( $G$ ) هو ثابت الجاذبية ويسمى ثابت الجذب الكوني لأن قيمته ثابتة في أي مكان في الكون.

انتبه: وفقاً لقانون نيوتن الثالث، الكتلتان النقطيتان تؤثر كل منهما على الأخرى بقوة متساوية في المقدار ومعاكسة في الاتجاه.

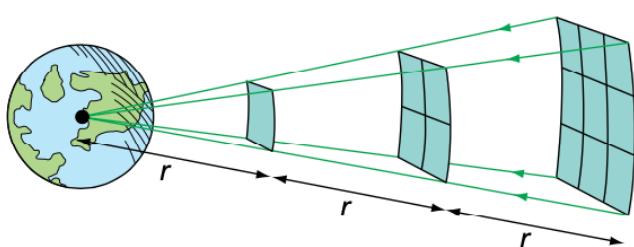
## فهم الكتلة النقطية



- الكتلة النقطية هي: النقطة التي يمكن اعتبار أن كتلة الجسم تتركز فيها.
- قوة الجاذبية بين جسمين هي مجموع قوى التجاذب بين كل جسيم في الجسم الأول وكل جسيم في الجسم الثاني.
- عوضاً عن كل ذلك فإننا نستخدم مصطلح "الكتلة النقطية" والتي توجد عند مركز كتلة الجسم، ومنها تقيس المسافة بين جسم وآخر.

## قانون التربيع العكسي

**قوة الجاذبية ( $F$ ) تتناسب عكسيًا مع مربع المسافة بين الكتلتين النقطيتين.**



إذا تضاعفت المسافة فإن الخطوط تنتشر على مساحة أكبر بأربعة أمثال، لذلك فإن تركيز الخطوط سيتناقص إلى الربع. وبالتالي يقل كل من شدة الجاذبية وقوة الجاذبية إلى الربع.

## أسئلة

- ٢) قدر قوة الجاذبية بين شخصين يجلسان جنباً إلى جنب على مقعد في حديقة. كيف تقارن هذه القوة بقوة الجاذبية التي تؤثر بها الأرض على كل منهما (بمعنى آخر، وزن كل منهما)؟ افترض أن كتلة كل شخص (70 kg)، وبينهما مسافة (0.5 m).
- ا. جسمين تفصل بين مركزيهما مسافة (1.0 cm)، وكتلة كل منهما (100 g).
- ب. كويكبين تفصل بين مركزيهما مسافة ( $4.0 \times 10^9$  m) وكتلة كل منهما ( $5.0 \times 10^{10}$  kg).
- ج. قمر صناعي كتلته ( $1.4 \times 10^4$  kg) يدور حول الأرض على بعد (6800 km) من مركز الأرض (كتلة الأرض تساوي  $6.0 \times 10^{24}$  kg).

## ١-٢ شدة مجال الجاذبية (g)

شدة مجال الجاذبية عند نقطة ما: هي قوة الجاذبية المؤثرة على جسم صغير كتلته 1 kg موضوع عند تلك النقطة.

وتعرف أيضاً بـ **تسارع السقوط الحر**

وتتقاس بوحدة  $N \cdot kg^{-1} s^{-2}$  وأيضاً بوحدة  $m$ .

وتحسب من العلاقة:

$$\vec{g} = \frac{\mathbf{GM}}{r^2}$$

- حيث (M) هي كتلة الجسم الذي ينتج المجال.

- و(r) هي المسافة من مركز كتلة الجسم إلى النقطة التي نريد معرفة شدة المجال عندها.

وبالطبع يمكن استنتاج هذا القانون باستخدام قانون نيوتن للجاذبية ( $\vec{F} = \frac{GMm}{r^2}$ ) وقانون نيوتن الثاني ( $\vec{F} = m\vec{g}$ ) حيث سيتم اختزال (m) من المعادلة:

$$\vec{F} = m\vec{g} \quad , \quad \vec{F} = \frac{GMm}{r^2} \quad \rightarrow \quad m\vec{g} = \frac{GMm}{r^2} \quad \rightarrow \quad \vec{g} = \frac{GM}{r^2}$$

ملاحظات على قانون شدة مجال الجاذبية:

- تعتمد شدة مجال الجاذبية فقط على كتلة الجسم الذي ينتج المجال ولا تعتمد على كتلة الجسم الآخر.
- تخضع شدة مجال الجاذبية لقانون التربيع العكسي مع المسافة.

انتبه: الكتلة في القانون ( $\vec{F} = m\vec{g}$ ) هي كتلة الجسم الذي نريد حساب وزنه (أي نريد حساب قوة الجاذبية المؤثرة عليه).

## أسئلة

- ٤ أ. احسب شدة مجال الجاذبية:
- بالقرب من سطح القمر.
  - بالقرب من سطح الشمس.

ب. اقترح كيف تساعد إجاباتك في شرح سبب وجود غلاف جوي رقيق للقمر، بينما يكون للشمس غلاف جوي سميك.

- ٥ أ. احسب شدة مجال الجاذبية الأرضية في موقع القمر.  
ب. احسب القوة التي تؤثر بها الأرض على القمر، ثم احسب تسارع القمر نحو الأرض.

٦ تبلغ كتلة المشتري 320 مرة كتلة الأرض، ونصف قطره 11.2 مرة نصف قطر الأرض، وشدة مجال الجاذبية على سطح الأرض ( $9.81 \text{ N kg}^{-1}$ ). احسب شدة مجال الجاذبية بالقرب من سطح كوكب المشتري.

- ٧ طفل كتلته (4.0 kg)، احسب قوة الجاذبية المؤثرة عليه بسبب:

أ. تأثير كوكب المريخ عندما يكون عند أقرب مسافة له عن الأرض ومقدارها ( $1.0 \times 10^8 \text{ km}$ ) بين مرکزيهما.

علمًا بأن كتلة كوكب المريخ ( $6.4 \times 10^{23} \text{ kg}$ ).

ب. تأثير أمّه التي كتلتها (50 kg) وتبعد عنه مسافة (0.40 m).

ستحتاج إلى البيانات الواردة في الجدول ١-١ للإجابة عن الأسئلة من ٣ إلى ٧.

الجسم	الكتلة (kg)	نصف القطر (km)	المسافة من مركز الأرض (km)
الأرض	$6.0 \times 10^{24}$	6400	-
القمر	$7.3 \times 10^{22}$	1740	$3.8 \times 10^5$
الشمس	$2.0 \times 10^{30}$	$7.0 \times 10^5$	$1.5 \times 10^8$

الجدول ١-١

٨ يبلغ ارتفاع جبل إيفيرست (9.0 km) تقريبًا. قدر كم يقل وزن متسلق جبال كتلته (100 kg) (مع حقيبة الظهر)، مقارنة بوزنه عند مستوى سطح البحر. هل سيكون هذا الاختلاف قابلاً لليقاس بميزان الأشخاص؟

٩ يُسهم كل من القمر والشمس في المد والجزر على محيطات الأرض. أيٌ منها له قوةشد أكبر على كل كيلوغرام من مياه البحر، الشمس أم القمر؟

## مثال

$$M = 9.81 \times \frac{(6.4 \times 10^6)^2}{6.67 \times 10^{-11}}$$

$$M = 6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$$

الخطوة ٣: استخدم المعادلة:

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}} \text{ لتحديد كثافة الأرض} (\rho).$$

بما أن الأرض كتلة كروية تقريبًا، يمكن

حساب حجمها باستخدام:

$$\rho = \frac{M}{V}$$

$$= \frac{6.0 \times 10^{24}}{\frac{4}{3} \times \pi \times (6.4 \times 10^6)^3}$$

$$\rho = 5486 \approx 5500 \text{ kg m}^{-3}$$

$$= 5.5 \times 10^3 \text{ (برقمين معنويين)}$$

١. يبلغ نصف قطر الأرض (6400 km)، وشدة مجال الجاذبية على سطح الأرض تساوي ( $9.81 \text{ N kg}^{-1}$ ). استخدم هذه المعلومات لتحديد كتلة الأرض ومتوسط كثافتها.

الخطوة ١: اكتب الكميات المعطاة:

$$r = 6.4 \times 10^6 \text{ m}$$

$$g = 9.81 \text{ N kg}^{-1}$$

الخطوة ٢: استخدم المعادلة  $\frac{GM}{r^2}$ ، لتحديد كتلة الأرض ( $M$ ).

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

$$9.81 = \frac{6.67 \times 10^{-11} M}{(6.4 \times 10^6)^2}$$

## ٣-١ الطاقة وحمد الجاذبية

### طاقة وضع الجاذبية ( $E_p$ )

لا يمكننا استخدام القانون ( $E_p = mgh$ ) لحساب طاقة وضع الجاذبية لجسم بعيد جداً عن الأرض لسببين:

1. هذا القانون اعتبار أن سطح الأرض هو المستوى المرجعي (أي المكان الذي تكون عنده  $h = 0$  وبالتالي  $E_p = 0$ ).
2. شدة مجال الجاذبية ( $g$ ) تقل إذا ارتفع الجسم بمقدار كبير عن سطح الأرض.

تكون طاقة وضع الجاذبية بصفر عند نقطة تقع على مسافة لا نهاية من جميع الكتل الأخرى حيث تكون عندها ( $g = 0$ ). عملياً: الالهامية بالنسبة لأي كوكب هي أي نقطة تقع خارج مجال جاذبيته، حيث  $0 = g$  وبالتالي  $E_p = mgh = 0$ .

الآن نعرف طاقة وضع الجاذبية لجسم عند نقطة ما: بأنها **الشغل المبذول لتحريك الجسم من الالهامية إلى تلك النقطة**.

وتحسب بالقانون التالي:

$$E_p = -\frac{GMm}{r}$$

حيث ( $r$ ) هي المسافة من مركز الكوكب إلى النقطة التي يوجد بها الجسم.

ملاحظات على القانون:

- الإشارة السالبة تتحقق شرط انخفاض طاقة وضع الجاذبية كلما اقتربنا من الكوكب وازيدادها كلما ابتعدنا عنه.
- هذا يعني أن القيمة القصوى لطاقة وضع الجاذبية هي الصفر، وتتحقق عند الموضع الذي تكون فيه ( $g = 0$ ).
- الشغل الموجب يسبب ازدياد طاقة وضع الجاذبية للجسم (يبذل ضد جاذبية الكوكب ويسبب ابعاد الجسم عنه).
- الشغل السالب يسبب انخفاض طاقة وضع الجاذبية للجسم (يبذل بواسطة جاذبية الكوكب ويسبب اقتراب الجسم منه).
- لجعل جسم يفلت من مجال جاذبية كوكب ما، فعليه أن يبذل شغلاً مساوياً لطاقة وضع ذلك الجسم على سطح الكوكب.

## جهد الجاذبية ( $\phi$ )

جهد الجاذبية عند نقطة ما: هو **الشغل المبذول لنقل كتلة نقطية مقدارها 1 kg من اللانهاية إلى تلك النقطة**.

- ويقاس بوحدة  $\text{kg}^{-1} \text{J}$ . ويجسّب من العلاقة:

$$\phi = -\frac{GM}{r}$$

حيث (r) هي المسافة من مركز الكوكب إلى النقطة التي يوجد الجسم عندها.  
وعلاقة جهد الجاذبية بطاقة الوضع كالتالي:

$$E_p = m\phi$$

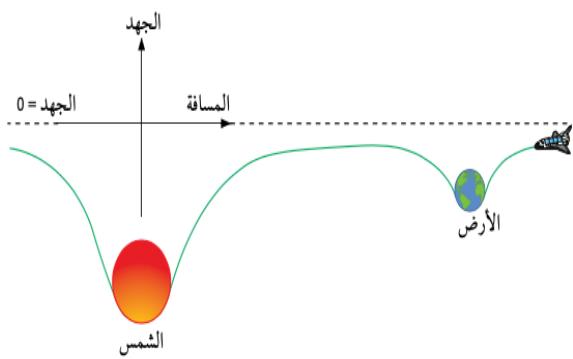
فرق جهد الجاذبية بين نقطتين:

$$\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1 \quad \rightarrow \quad \Delta\phi = GM \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

- حيث ( $r_1$ ) هي المسافة من مركز الكوكب إلى النقطة التي كان الجسم عندها،  
- و( $r_2$ ) هي المسافة من مركز الكوكب إلى النقطة التي انتقل إليها.

**ملاحظات على تلك القوانيين:**

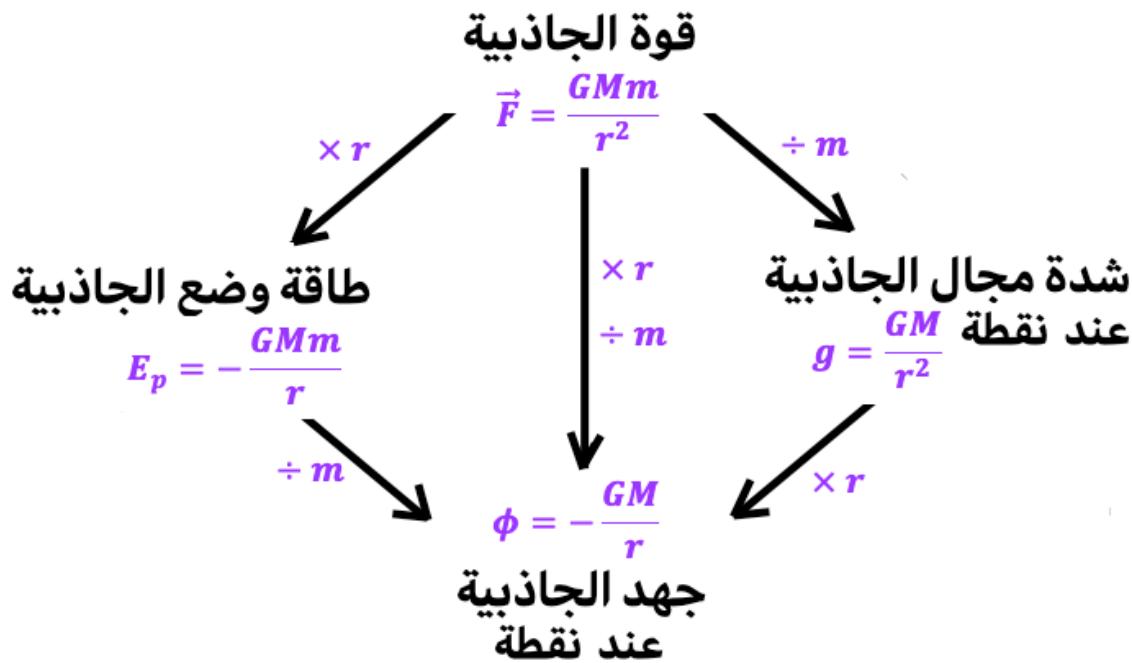
- يزداد جهد الجاذبية كلما ابتعدنا عن الكوكب.
- يكتسب الجسم طاقة وضع عندما ينتقل إلى نقطة ذات جهد جاذبية أعلى (يكون ذلك ببذل شغل موجب).



### فهم بئر الجهد

- الخط الأفقي حيث ( $\phi = 0$ ) يمثل نقطة خارج مجال جاذبية الكوكب.
- بمجرد دخول الصاروخ في مجال جاذبية الكوكب فإنه ينجذب إليه (المثال البياني يوضح هذا كما لو كان سقطاً في البئر).
- وبهذا يقترب أكثر فأكثر من الكوكب (المثال البياني يوضح هذا كما لو كان نزواً إلى نقاط أعمق وأعمق في البئر).
- النقاط الأعمق في بئر الجهد ذات جهد جاذبية أدنى. وعندما يجب أن يبذل الصاروخ شغلاً أكبر ضد الجاذبية لكي يفلت منه.
- أعمق نقطة في بئر الجهد هي سطح الكوكب.
- عمق البئر يزداد بزيادة كتلة الكوكب ونقصان نصف قطره.

$\vec{F} = \frac{GMm}{r^2}$	قوة الجاذبية المؤثرة على جسم كتلته ( $m$ ) يبعد مسافة ( $r$ ) عن مركز كتلة جسم كتلته ( $M$ ).
$E_p = -\frac{GMm}{r}$	طاقة وضع الجاذبية لجسم كتلته ( $m$ ) يبعد مسافة ( $r$ ) عن مركز كتلة جسم كتلته ( $M$ ).
$\vec{g} = \frac{GM}{r^2}$	شدة مجال الجاذبية عند نقطة تبعد مسافة ( $r$ ) عن مركز جسم كتلته ( $M$ ).
$\phi = -\frac{GM}{r}$	جهد الجاذبية عند نقطة تبعد مسافة ( $r$ ) عن مركز كتلة جسم كتلته ( $M$ ).



## مثال

نحسبها باستخدام هذه المعادلة الانخفاض في طاقة وضع الجاذبية للصخرة خلال تسارعها وارتطامها بالكوكب.

**طاقة وضع الجاذبية:**

$$E_p = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 4.9 \times 10^{23} \times 200}{3.4 \times 10^6}$$

$$= -1.92 \times 10^9 \text{ J} = -1.9 \times 10^9 \text{ J}$$

**الخطوة ٣:** في حالة عدم وجود غلاف جوي، فإن كل طاقة وضع الجاذبية تحول إلى طاقة حركة الصخرة، وعليه:

$$\frac{1}{2}mv^2 = 1.92 \times 10^9 \text{ J}$$

$$v = \sqrt{\frac{1.92 \times 10^9 \times 2}{200}}$$

$$= 4385 \approx 4400 \text{ m s}^{-1}$$

لاحظ أن السرعة النهائية للصخرة عند ارتطامها بالكوكب لا تعتمد على كتلة الصخرة؛ هذا لأنه عند مساواة المعادلتين للتغير في طاقة الحركة والتغير في طاقة وضع الجاذبية، فإن كتلة الصخرة ( $m$ ) تختزل.

٢. كوكب قطره (6800 km) وكتلته ( $4.9 \times 10^{23} \text{ kg}$ ). وعلى مسافة بعيدة من الكوكب يوجد صخرة كتلتها (200 kg). في البداية كانت في حالة سكون ومن ثم تسارعت باتجاهه وارتطمت بسطحه. احسب التغيير في طاقة وضع الجاذبية للصخرة وسرعتها عندما ارتطمت بسطح الكوكب.

**الخطوة ١:** اكتب الكميات المعطاة:

$$r = 3.4 \times 10^6 \text{ m}$$

$$M = 4.9 \times 10^{23} \text{ kg}$$

$$m = 200 \text{ kg}$$

**الخطوة ٢:** تُعطي المعادلة  $\frac{GM}{r} = \phi$ ، جهد الجاذبية على سطح الكوكب، أي طاقة وضع الجاذبية لكل وحدة كتلة عند تلك النقطة. إذاً تُعطى طاقة وضع الجاذبية لصخرة كتلتها ( $m$ ) عند تلك النقطة من المعادلة:

**طاقة وضع الجاذبية:**

$$E_p = -\frac{GMm}{r}$$

طاقة وضع الجاذبية للصخرة عندما تكون بعيدة تساوي صفرًا، لذلك تعطي القيمة التي

- أ. احسب جهد الجاذبية عند سطح الأرض.  
ب. احسب جهد الجاذبية عند سطح القمر.

- ج. أي «بئر جهد» أقل عميقًا: الأرض أم القمر؟ ارسم مخططًا مشابهًا للشكل ٦-١ لمقارنة «بئري الجهد» للأرض والقمر.

- د. استخدم مخططًا لشرح سبب وجود حاجة إلى صاروخ كبير لرفع مركبة فضائية من سطح الأرض، في حين يمكن أن يستخدم صاروخ أصغر بكثير للانطلاق من سطح القمر.

٩ مستعيناً بالبيانات الواردة في الجدول ٢-١ أجب بما يأتي:

**ثابت الجاذبية:**  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

الجسم	الكتلة (kg)	نصف القطر (km)
الأرض	$6.0 \times 10^{24}$	6400
القمر	$7.3 \times 10^{22}$	1740

الجدول ٢-١

- أ. لماذا كانت طاقة وضع الجاذبية لمركبة القيادة تتغير في مدارها؟ اشرح إجابتك.

- ب. احسب أكبر فرق لجهد الجاذبية بين سطح القمر وموقع مركبة القيادة.

١٠ أثناء عمليات هبوط المركبات المأهولة على سطح القمر في السنتين دارت مركبة القيادة للقمر الصناعي حول القمر في مدار إهليجي بارتفاع أقصاه (310 km) فوق سطح القمر، في حين هبطت المركبة القمرية على سطح القمر.

# ١- دوران تحت تأثير الجاذبية

## السرعة المدارية

القوة المركزية التي تبقي القمر الصناعي في مداره حول الأرض هي قوة الجاذبية. لذا يمكننا استنتاج ما يلي:

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{GMm}{r^2} \quad \rightarrow \quad v^2 = \frac{GM}{r}$$

تذكّر: يتبع القمر الصناعي مساراً دائرياً لأن قوة الجاذبية تكون عمودية على سرعته المتجهة الخطية ( $v$ ).  
الزمن الدوري المداري ( $T$ )

هو الزمن الذي يستغرقه جسم ما لإكمال دورة واحدة كاملة في مداره.  
إذا دار جسم دورة كاملة ( $2\pi r$ ) وكان زمن هذه الدورة ( $T$ ) فإن:

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad \rightarrow \quad v^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = \frac{GM}{r} \quad \rightarrow \quad T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GM}$$

هذه المعادلة تبيّن أن ( $T^2 \propto r^3$ )

## الدوران حول الأرض

للبقاء على قمر صناعي في مدار معين نصف قطره ( $r$ ) يجب أن يتحرك هذا القمر بالسرعة المناسبة لهذا المدار والتي تعطى بالمعادلة:

$$v^2 = \frac{GM}{r}$$

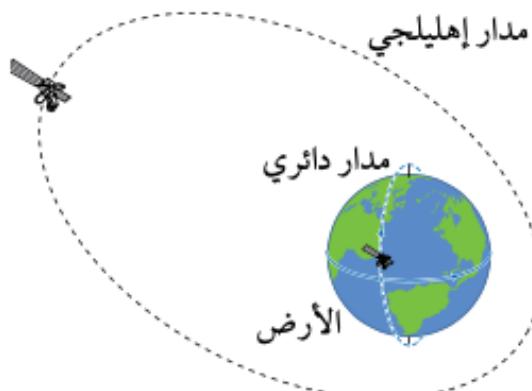
إذا انخفضت السرعة الابتدائية للقمر الصناعي عن السرعة المناسبة لمداره فسوف:

- يسقط باتجاه الأرض،
- وبالتالي يتحول جزء من طاقة وضع الجاذبية التي يمتلكها إلى طاقة حركة فتكتسبه سرعة إضافية،
- وفي النهاية سيُبقى القمر الصناعي في مدار آخر أقرب إلى الأرض يناسب سرعته النهاية.

أما إذا زادت سرعة القمر الصناعي عن السرعة المناسبة لمداره فسوف:

- ينتقل مؤقتاً إلى مدار أبعد عن الأرض يناسب سرعته،
- ولكي يعود إلى مداره لابد من أن يفقد جزءاً من سرعته حتى تصل سرعته النهاية إلى السرعة المناسبة لهذا المدار.

# مراقبة الأرض



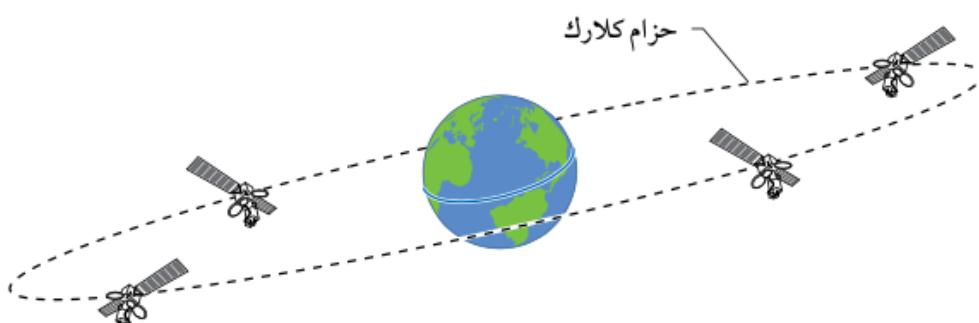
استخدامات الأقمار الصناعية:

1. مراقبة الأرض لأغراض تجارية، أو بيئية، أو جوية، أو عسكرية.
2. الرصد الفلكي بسبب وجودها فوق الغلاف الجوي للأرض،
3. الملاحة والاتصالات اللاسلكية والبث الإذاعي.

مدارات الأقمار الثابتة بالنسبة إلى الأرض

مدار يبقى فيه القمر الصناعي مباشرة فوق النقطة نفسها على الأرض في جميع الأوقات.

- حيث إن هذه الأقمار تدور بنفس السرعة الزاوية للأرض (أي يجب أن يستغرق القمر 24 ساعة لإكمال دورة واحدة).
- وهذا يوضح لنا لماذا تتجه جميع لواقط أطباقي استقبال إشارات الأقمار الصناعية إلى النقطة نفسها في السماء.
- هذه الأقمار تتحرف تدريجياً خارج مداراتها الصحيحة؛ لذلك تحتاج إلى وقود خاص لحركاتها الصاروخية لكي يعيدها إلى مداراتها الثابتة، ولكن عندما ينفذ الوقود منها فإنه لا بد من استبدالها.
- تُستخدم هذه الأقمار للاتصالات اللاسلكية مثل بث رسائل الهواتف حول العالم، وبث القنوات التلفزيونية الفضائية.



الشكل ٩-١ الأقمار الصناعية الثابتة بالنسبة إلى الأرض مستقرة في «حزام كلارك»، عاليًا فوق خط الاستواء.

إرسال الإشارة واستقبالها. قدر قيمة هذا التأخير الزمني عبر الأقمار الصناعية، واشرح السبب في أن يكون ذلك أقل أهمية عند استخدام الكابلات.

ستحتاج إلى ما يأتي:

- نصف قطر المدار الثابت  
بالنسبة إلى الأرض =  $42300 \text{ km}$

- نصف قطر الأرض =  $6400 \text{ km}$

- سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ تساوي  $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$

سيكون من المفيد لأي مهمة مستقبلية إلى المريخ إنشاء نظام من ثلاثة أو أربعة أقمار صناعية ثابتة بالنسبة إلى المريخ للسماح بالتواصل بين المريخ والأرض.

احسب نصف قطر المدار المناسب حول المريخ إذا علمت أن كتلة كوكب المريخ ( $6.4 \times 10^{23} \text{ kg}$ )، وزمه الدوري 24.6 ساعة.

على الرغم من وجود بعض إشارات الهاتف الدولية التي تُرسل عبر الأقمار الصناعية في المدارات الثابتة بالنسبة إلى الأرض، إلا أن معظمها يُرسل عبر الكابلات الموجودة على سطح الأرض، وهذا يقلل من التأخير الزمني بين

قوة الجاذبية هي قوة تجاذب بين أي جسمين بسبب كثتيهما.

شدة مجال الجاذبية ( $g$ ) عند نقطة ما هي قوة الجاذبية لكل وحدة كتلة لجسم صغير موضوع في تلك النقطة:

$$g = \frac{GM}{r^2} \quad \text{أو} \quad \vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$$

المجال خارج كتلة كروية منتظام هو المجال نفسه لكتلة نقطية في مركز تلك الكرة.

ينص قانون نيوتن للجاذبية على:

تجاذب أي كتلتين نقطيتين بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كثتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.

معادلة قانون نيوتن للجاذبية هي:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

يكون مجال الجاذبية منتظماً على سطح الأرض أو بالقرب منه، لذلك فإن قيمة ( $g$ ) ثابتة تقريباً وتساوي تسارع السقوط الحر.

جهد الجاذبية عند نقطة ما هو الشغل المبذول في نقل وحدة كتلة من اللانهاية إلى تلك النقطة.

يمكن الحصول على جهد الجاذبية لكتلة نقطية من خلال المعادلة:

$$\phi = -\frac{GM}{r}$$

يؤدي مفهوم جهد الجاذبية إلى طاقة وضع الجاذبية لكتلتين نقطيتين.

$$E_p = -\frac{GMm}{r}$$

يمكن تحديد السرعة المدارية للكوكب ما أو قمر صناعي ما باستخدام المعادلة:

$$v^2 = \frac{GM}{r}$$

الزمن الدوري للقمر الصناعي هو الزمن المستغرق لإكمال دورة واحدة كاملة في مداره.

يمكن إيجاد الزمن الدوري المداري من خلال مساواة قوة الجاذبية  $\frac{mv^2}{r}$  بالقوة المركزية  $\frac{GMm}{r^2}$  ، ثم التعويض عن ( $v$ ) لإيجاد الزمن الدوري من خلال المعادلة:

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$$

الأقمار الصناعية الثابتة بالنسبة إلى الأرض لها زمن دوري مداري يبلغ 24 ساعة، وهي تستخدم لنقل الاتصالات اللاسلكية والبث التلفزيوني.

## ملخص

قوة الجاذبية هي قوة تجاذب بين أي جسمين بسبب كتلتَهما.

شدة مجال الجاذبية ( $g$ ) عند نقطة ما هي قوة الجاذبية لكل وحدة كتلة لجسم صغير موضوع في تلك النقطة:

$$g = \frac{GM}{r^2} \quad \text{أو} \quad \vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$$

المجال خارج كتلة كروية منتظمة هو المجال نفسه لكتلة نقطية في مركز تلك الكثرة.

ينص قانون نيوتن للجاذبية على:

تجاذب أي كتلتَين نقطيتَين بقوة تتناسب طرديًّا مع حاصل ضرب كتلتَهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.

معادلة قانون نيوتن للجاذبية هي:

$$F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$$

يكون مجال الجاذبية منتظمًا على سطح الأرض أو بالقرب منه، لذلك فإن قيمة ( $g$ ) ثابتة تقريباً وتساوي تسارع السقوط الحر.

جهد الجاذبية عند نقطة ما هو الشغل المبذول في نقل وحدة كتلة من اللانهاية إلى تلك النقطة.

يمكن الحصول على جهد الجاذبية لكتلة نقطية من خلال المعادلة:

$$\phi = -\frac{GM}{r}$$

يؤدي مفهوم جهد الجاذبية إلى طاقة وضع الجاذبية لكتلتَين نقطيتَين.

$$E_p = -\frac{GMm}{r}$$

يمكن تحديد السرعة المدارية للكوكب ما أو قمر صناعي ما باستخدام المعادلة:

$$v^2 = \frac{GM}{r}$$

الزمن الدوري للقمر الصناعي هو الزمن المستغرق لإكمال دورة واحدة كاملة في مداره.

يمكن إيجاد الزمن الدوري المداري من خلال مساواة قوة الجاذبية  $\frac{mv^2}{r}$  بالقوة المركزية  $\frac{GMm}{r^2}$  ، ثم التعويض عن ( $v$ ) لإيجاد الزمن الدوري من خلال المعادلة:

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$$

الأقمار الصناعية الثابتة بالنسبة إلى الأرض لها زمن دوري يبلغ 24 ساعة، وهي تستخدم لنقل الاتصالات اللاسلكية والبث التلفزيوني.

## أسئلة نهاية الوحدة

١ يقف رائد فضاء على سطح كوكب كتلته  $(M_E = 0.50 M_{\oplus})$  ونصف قطره  $(r_E = 0.75 r_{\oplus})$ ، حيث  $(M_{\oplus})$  هي كتلة الأرض و  $(r_{\oplus})$  هو نصف قطر الأرض. كم تبلغ شدة مجال الجاذبية على سطح الكوكب؟

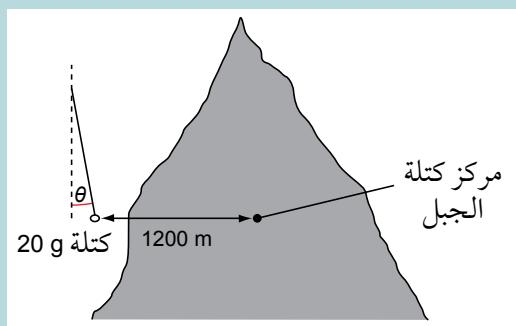
- أ.  $6.5 \text{ N kg}^{-1}$
- ب.  $8.7 \text{ N kg}^{-1}$
- ج.  $11 \text{ N kg}^{-1}$
- د.  $12 \text{ N kg}^{-1}$

٢ يمكن اعتبار الكوكب القزم بلوتو كرة نصف قطرها  $(1.27 \times 10^6 \text{ m})$  وكتلتها  $(1.2 \times 10^{22} \text{ kg})$ . ما جهد الجاذبية على سطح بلوتو؟

- أ.  $-0.59 \text{ J kg}^{-1}$
- ب.  $-7.1 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$
- ج.  $0.59 \text{ J kg}^{-1}$
- د.  $7.1 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$

٣ كرتان صغيرتان كتلة كل منهما  $(20 \text{ g})$  معلقتان جنباً إلى جنب، والبعد بين مركزيهما  $(5.00 \text{ mm})$ . احسب مقدار قوة الجاذبية بين الكرتتين.

٤ يوضح الشكل ١٠-١ أنه يمكن قياس كتلة جبل ما بانحراف كتلة معلقة عن الاتجاه الرأسى.

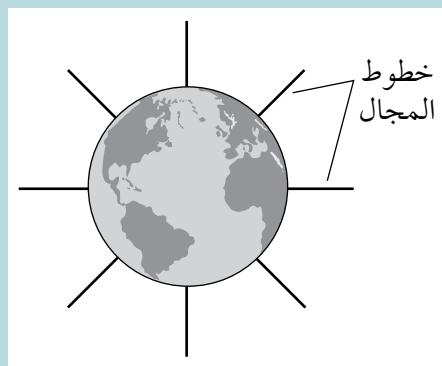


الشكل ١٠-١

- أ. انسخ الشكل وارسم الأسهم التي تمثل القوى المؤثرة على الكتلة. سُمّي الأسهم.
- ب. الكتلة الكلية للجبل هي  $(3.8 \times 10^{12} \text{ kg})$  ويمكن اعتبارها كما لو أنها مرکزة في مركز كتلته. احسب القوة الأفقية المؤثرة على الكتلة بسبب الجبل.
- ج. قارن بين القوة المحسوبة في الجزئية (ب) وقوة الجاذبية الأرضية المؤثرة على الكتلة.

٥

يوضح الشكل ١١-١ خطوط مجال الجاذبية الأرضية.



الشكل ١١-١

- أ. انسخ الشكل وأضف أسهماً لتبيّن اتجاه المجال.
- ب. اشرح سبب استخدام صيغة طاقة الوضع المكتسبة ( $mg\Delta h$ ) لإيجاد الزيادة في طاقة الوضع عند صعود طائرة إلى ارتفاع (10000 m)، ولا يمكن استخدامها لحساب الزيادة في طاقة الوضع عندما تتنقل مركبة فضائية من سطح الأرض إلى ارتفاع (10000 km).

٦

عطارد - أصغر كواكب المجموعة الشمسية الثمانية المعروفة - يبلغ قطره ( $4.88 \times 10^6$  m)، ومتوسط كثافته ( $5.4 \times 10^3$  kg m<sup>-3</sup>).

أ. احسب شدة مجال الجاذبية على سطحه.

ب. رجل يبلغ وزنه (900) على سطح الأرض. كم سيكون وزنه لو كان على سطح عطارد؟

٧

احسب طاقة وضع الجاذبية لمركبة فضائية كتلتها (250 kg) عندما تكون على بُعد (20000 km) من كوكب المريخ (كتلة المريخ =  $6.4 \times 10^{23}$  kg، نصف قطر المريخ =  $3.4 \times 10^6$  m).

٨

جانيميد هو أكبر أقمار كوكب المشتري، وتبعد كتلته ( $1.48 \times 10^{23}$  kg)، ويدور حول كوكب المشتري بنصف قطر مداري يبلغ ( $1.07 \times 10^6$  km)، ويدور حول محوره بزمن دوري مقداره 7.15 يوماً. افترض من أجل مراقبة مركبة هبوط غير مأهولة على سطح جانيميد أنه يجب وضع قمر صناعي ثابت بالنسبة إلى جانيميد في مدار حوله.

أ. احسب نصف القطر المداري للقمر الصناعي الثابت المقترن.

ب. تبأ بالصعوبات التي يمكن مواجهتها في تحقيق المدار الثابت لهذا القمر.

٩

تدور الأرض حول الشمس بزمن دوري مقداره سنة واحدة في مدار متوسط نصف قطره ( $1.50 \times 10^{11}$  m).

احسب:

- أ. السرعة المدارية للأرض.
- ب. التسارع центральный للأرض.
- ج. شدة مجال جاذبية الشمس على الأرض.

١٠

تبلغ كتلة كوكب المريخ ( $6.4 \times 10^{23}$  kg)، وقطره (6790 km).

أ. احسب التسارع بسبب الجاذبية على سطح الكوكب.

ب. احسب جهد الجاذبية على سطح الكوكب.

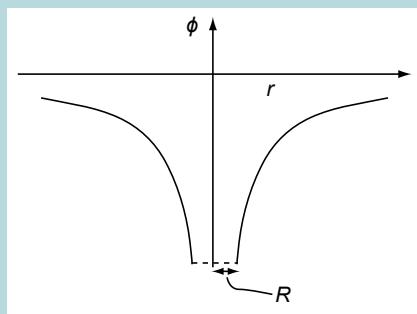
ج. يعيد الصاروخ عينات لبعض المواد من المريخ إلى الأرض. اكتب مقدار الطاقة الذي يجب أن تُعطى لكل كيلوغرام من المادة للإفلات تماماً من مجال جاذبية المريخ (الإفلات من مجال الجاذبية يحتاج إلى طاقة إذ يصل الجسم إلى نقطة حيث جهد الجاذبية  $0\text{ J kg}^{-1}$ ).

د. استخدم إجابتك عن الجزئية (ب) لتوضّح أن الحد الأدنى للسرعة التي يجب أن يصلها الصاروخ للإفلات من مجال جاذبية المريخ هو ( $5000\text{ m s}^{-1}$ ).

د. من أجل مهمة ناجحة إلى المريخ يجب تجميع المركبة التي تقل رواذ الفضاء إلى المريخ في محطة فضائية في مدار حول الأرض لطلاق من هناك وليس من سطح الأرض. ما سبب ذلك؟

يبيّن الشكل ١٢-١ جهد الجاذبية بالقرب من كوكب كتلته ( $M$ ) ونصف قطره ( $R$ ).

١١



الشكل ١٢-١

أ. اشرح المقصود بجهد الجاذبية عند نقطة ما.

ب. انسخ الشكل وارسم عليه منحنيات مشابهة:

١. لكوكب له نصف القطر نفسه ولكن كتلته ( $2M$ ) سُمّ هذا المنحنى (أ).

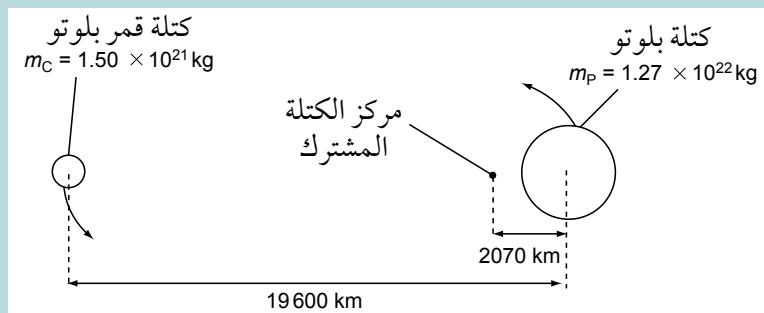
٢. لكوكب له الكتلة نفسها ولكن نصف قطره ( $2R$ ) سُمّ هذا المنحنى (ب).

ج. أيّ من هذه الكواكب الثلاثة يتطلّب أقل قدر من الطاقة للإفلات من سطحه؟ استخدم المخططات لشرح إجابتك.

د. يبلغ قطر كوكب الزهرة (12100 km) وكتلته ( $4.87 \times 10^{24}$  kg). احسب الطاقة اللازمة لرفع كيلوغرام واحد من سطح كوكب الزهرة إلى محطة فضائية في مدار يبعد (900 km) عن سطحه.

١٢

- أ. اشرح المقصود بشدة مجال الجاذبية عند نقطة ما.
- ب. بيّن الشكل ١٣-١ الكوكب القزم بلوتو وقمره، ويمكن اعتبارهما نظاماً كوكبياً مزدوجاً يدوران حول المركز المشترك لكتلتيهما.

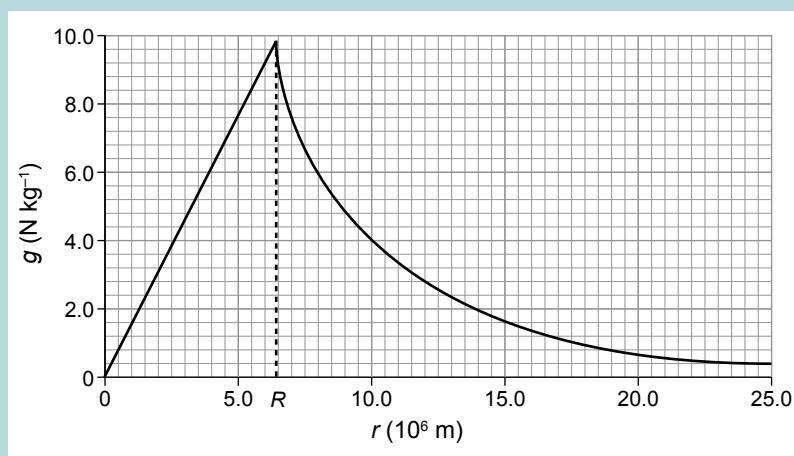


الشكل ١٣-١

١٣

١. احسب قوة جاذبية الكوكب بلوتو لقمره.
٢. استخدم إجابتاك في الجزئية (١) لحساب الزمن الدوري المداري لقمر بلوتو.
٣. لماذا يجب أن يكون الزمن الدوري المداري للكوكب بلوتو مماثلاً لقمره؟ اشرح إجابتاك.

بيّن التمثيل البياني في الشكل ١٤-١ اختلاف شدة مجال الجاذبية الأرضية مع البعد عن مركزها.



الشكل ١٤-١

٤٠

- أ. حدد شدة مجال الجاذبية على ارتفاع يساوي  $(2R)$  فوق سطح الأرض، حيث  $(R)$  هو نصف قطر الأرض.
- ب. يوضع قمر صناعي في مدار على هذا الارتفاع. احسب التسارع المركزي للقمر الصناعي.
- ج. احسب السرعة التي يجب أن يتحرك بها القمر الصناعي للبقاء في هذا المدار.
- د. قوى الاحتكاك تعني أن القمر الصناعي يتباطأ تدريجياً بينما يكمل دورة كاملة. ارسم مخططاً للمسار المداري الدائري الابتدائي للقمر الصناعي، وبيّن المدار الناتج عندما تعمل قوى الاحتكاك على إبطاء حركة القمر الصناعي.
- هـ. لماذا لا تسقط الأقمار الصناعية القديمة على سطح الأرض باستمرار؟ اقترح السبب واشرح إجابتاك.

# مجالات الجاذبية Gravitational Fields

## أهداف التعلم

- ١-١ يذكر أن مجال الجاذبية هو مثال على مجال القوة ويعرف شدة مجال الجاذبية على أنها القوة لكل وحدة كتلة.
- ٢-١ يمثل مجال الجاذبية باستخدام خطوط المجال.
- ٣-١ يذكر أنه بالنسبة إلى نقطة خارج كرة منتظمة يمكن اعتبار كتلة الكرة كتلة نقطية في مركزها.
- ٤-١ يذكر نص قانون الجاذبية لنيوتن ويستخدم المعادلة:  $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ .
- ٥-١ يستنتج من قانون الجاذبية لنيوتن وتعريف شدة مجال الجاذبية المعادلة:  $\frac{GM}{r^2} = g$  لشدة مجال الجاذبية لكتلة نقطية.
- ٦-١ يستخدم المعادلة:  $\frac{GM}{r^2} = g$ .
- ٧-١ يعرف جهد الجاذبية عند نقطة معينة على أنه الشغل المبذول لوحدة الكتل لنقل كتلة نقطية (كتلة اختبارية) صغيرة من اللانهاية إلى تلك النقطة.
- ٨-١ يستخدم المعادلة:  $\frac{GM}{r} = \phi$  لجهد الجاذبية في مجال كتلة نقطية.
- ٩-١ يصف كيف أن مفهوم جهد الجاذبية مرتبط بطاقة وضع الجاذبية لكتلتين نقطيتين ويستخدم المعادلة:  $E_p = -\frac{GMm}{r}$ .
- ١٠-١ يحلل المدارات الدائرية في مجالات الجاذبية بدلالة الجاذبية التي تعمل كقوة مركبة والتسارع المركزي الذي تسببه هذه القوة.
- ١١-١ يذكر أن القمر الصناعي الثابت بالنسبة للأرض يبقى في النقطة نفسها فوق سطح الأرض، ويدور بزمن دوري مدته ٢٤ ساعة، من الغرب إلى الشرق، مباشرةً فوق خط الاستواء.

$$\text{شدة مجال الجاذبية} = \frac{\text{قوة الجاذبية}}{\text{الكتلة}}$$

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m}$$

$$\text{جهد الجاذبية} = \frac{\text{الشغل المبذول}}{\text{الكتلة}}$$

$$\phi = -\frac{GM}{r} \quad \text{و}$$

$$\text{قانون نيوتن للجاذبية: } F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

$$\text{شدة مجال الجاذبية: } g = \frac{GM}{r^2}$$

$$\text{طاقة وضع الجاذبية لكتلتين نقطيتين: } E_p = -\frac{Gm_1m_2}{r}$$

$$\text{القوة المركبة} = \text{الكتلة} \times \text{التسارع المركزي}$$

$$F = \frac{mv^2}{r}$$

$$\Delta\phi = GM \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$\text{مربع السرعة في المدار: } v^2 = \frac{GM}{r}$$

$$\text{الזמן الدوري المداري: } T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$$

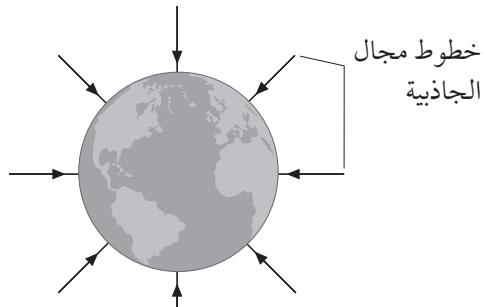
## < الأنشطة >

### نشاط ١-١ قانون نيوتن للجاذبية

مصطلحات علمية
<b>مجال الجاذبية</b> <b>: Gravitational field</b> منطقة من الفضاء تتأثر فيها كتلة ما بقوة الجاذبية.

اكتشف نيوتن القانون الذي يصف قوة الجاذبية التي يؤثر بها جسم على آخر. في هذا النشاط ستدرب على رسم خطوط المجال وتقسيرها، واستخدام معادلة قوة الجاذبية.

١. يوضح الشكل ١-١ كيف يمكننا تمثيل مجال الجاذبية للأرض:



الشكل ١-١: للسؤال ١. تمثيل مجال الجاذبية للأرض.

- أ. لماذا يكون اتجاه جميع الأسهم الموجودة على خطوط المجال باتجاه الأرض؟  
اشرح إجابتك.
- .....  
.....

- ب. في أي نقطة يمكن لجميع خطوط المجال أن تتلاقى؟
- .....

- ج. المبني الذي تجلس فيه موجود على سطح الأرض، ويوصف مجال الجاذبية الأرضية فيه بأنه منتظم.

١. ارسم مخططاً لإظهار خطوط مجال الجاذبية في المنطقة من حولك.

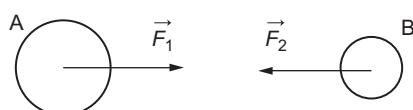
٢. كيف تبيّن خطوط المجال التي رسمتها أن المجال منتظم؟

.....  
.....  
.....

د. انظر إلى الشكل ١-١ مرة أخرى، وشرح كيف يتضح من هذا الشكل أن مجال الجاذبية الأرضية ليس منتظاماً.

.....  
.....  
.....

ب. يوضح الشكل ٢-١ رسماً تخطيطياً لجسمين: A و B، كتلة الجسم A أكبر من كتلة الجسم B، ويجذب A و B أحدهما الآخر بقوّتي الجاذبية ( $\vec{F}_1$ ) و ( $\vec{F}_2$ ):



الشكل ١-٢: للسؤال ٢. جسمان: A و B يجذب كل منهما الآخر بقوّتي الجاذبية  $\vec{F}_1$  و  $\vec{F}_2$ .

أ. ماذا يمكنك أن تقول عن اتجاهي القوّتين ( $\vec{F}_1$ ) و ( $\vec{F}_2$ )؟

.....  
.....

ب. ماذا يمكنك أن تقول عن مقدارى القوّتين ( $\vec{F}_1$ ) و ( $\vec{F}_2$ )؟

.....  
.....

### مهم

في السؤال ٢ ج،  
ستحتاج إلى التفكير  
في كتلتي الجسمين.

ج. الجسمان A و B كانوا في حالة سكون، وتدفعهما قوّتاً الجاذبية بينهما إلى التسارع أحدهما باتجاه الآخر. أيّ من الجسمين سيكون له تسارع أكبر؟  
اشرح إجابتك.

.....  
.....  
.....

مصطلحات علمية
<b>قانون نيوتن للجاذبية</b> <b>Newton's law of gravitation</b> أي كتلتين نقطيتين تجذب كل منهما الأخرى بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.

٣. يعبر عن قانون نيوتن للجاذبية بالمعادلة  $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ , حيث ( $G$ ) هو ثابت الجاذبية (ثابت الجذب الكوني).

أ. أعد ترتيب المعادلة للحصول على ( $G$ ).

.....

ب. أثبت أن وحدة ( $G$ ) هي  $N m^2 kg^{-2}$  وأن وحدتها الأساسية في النظام الدولي للوحدات هي  $m^3 s^{-2} kg^{-1}$ .

.....

.....

٤. يوضح الشكل ٣-١ جسماً كتلته ( $M$ ) على سطح الأرض:



الشكل ٣-١: لسؤال ٤. جسم كتلته  $M$  على سطح الأرض.

أ. أضف سهماً إلى الرسم في الشكل لتوضيح اتجاه قوة جاذبية الأرض ( $\vec{F}$ ) المؤثرة على الجسم ( $M$ ).

ب. ينجدب الجسم إلى جميع النقاط الموجودة داخل الأرض. أي منطقة من الأرض تؤثر بأكبر قوة جاذبية على الجسم؟ ارمز إلى هذه المنطقة في الشكل بالحرف (أ). اشرح إجابتك.

.....

.....

.....

ج. أي منطقة من الأرض تؤثر بأقل قوة جاذبية على الجسم؟ ارمز إلى هذه المنطق في الشكل بالحرف (ب). اشرح إجابتك.

.....  
.....  
.....

د. يمكننا اعتبار قوة جاذبية الأرض كما لو كانت كل كتلتها مركزة عند نقطة واحدة هي مركز جاذبيتها. حدد هذه النقطة على الشكل وارمز إليها بالحرف (ج). اشرح إجابتك.

.....  
.....  
.....

٥. قيمة ثابت الجاذبية  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ .  
أ. استخدم قانون نيوتن لحساب قوة جاذبية الأرض لجسم كتلته (6.0 kg) وموضعه على سطح الأرض (كتلة الأرض:  $M = 6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$ ; ونصف قطر الأرض يساوي  $R = 6400 \text{ km}$  تقريباً).

.....  
.....  
.....

ب. احسب قوة جاذبية الشمس للأرض (كتلة الشمس تساوي  $2.0 \times 10^{30} \text{ kg}$  تقريباً؛ نصف قطر مدار الأرض حول الشمس يساوي  $150 \times 10^6 \text{ km}$  تقريباً).

.....  
.....  
.....

**مصطلحات علمية**

**شدة مجال الجاذبية**  
**Gravitational field**  
**strength:** شدة مجال الجاذبية عند نقطة ما هي قوة الجاذبية المؤثرة لكل وحدة كتلة لجسم صغير موضوع في تلك النقطة.

**نشاط ١-٢ شدة مجال الجاذبية**

شدة مجال الجاذبية ( $g$ ) تُعد كمّية فيزيائية مألفة لأننا نستخدمها لحساب الوزن ( $W$ ) لأي جسم ولنفترض كتلته ( $m$ ) باستخدام المعادلة  $W = mg$ , وقيمة ( $g$ ) على سطح الأرض تساوي ( $9.81 \text{ N kg}^{-1}$ ) تقريباً. يتمحور هذا النشاط حول حساب شدة مجال الجاذبية للأجسام مختلفة في النظام الشمسي.

١. بما أن الأرض ليست كروية تماماً، تتراوح قيمة ( $g$ ) من ( $9.78 \text{ N kg}^{-1}$ ) عند خط الاستواء إلى ( $9.83 \text{ N kg}^{-1}$ ) عند القطبين.  
تم نقل جسم كتلته ( $20.0 \text{ kg}$ ) من خط الاستواء إلى القطب الشمالي.
  ٢. احسب وزن الجسم عند نقطة ما حيث شدة مجال الجاذبية الأرضية ( $g$ ) تساوي ( $9.80 \text{ N kg}^{-1}$ ).
- .....  
.....

٣. احسب مقدار الزيادة في وزن الجسم أثناء انتقاله من خط الاستواء إلى القطب الشمالي.
- .....  
.....

**مهم**

في السؤال ١ ج، تذكر أن قوة جاذبية جسم آخر تعتمد على المسافة بين مركزي كتائهما.

٤. اشرح كيف ستتغير ( $g$ ) إذا صعدت إلى قمة جبل عالٍ.
- .....  
.....  
.....

٥. قوة الجاذبية التي تؤثر بها كتلة على أخرى تُعطى بقانون نيوتن للجاذبية  $F = \frac{Gm_1 m_2}{r^2}$ . يعني تعريف شدة مجال الجاذبية ( $\vec{g}$ ) أن قيمته هي قوة الجاذبية المؤثرة لكل وحدة كتلة من جسم ما.

٦. أثبت أن معادلة شدة مجال الجاذبية على مسافة ( $r$ ) من كتلة نقطية ( $M$ ) تعطى بالعلاقة:  $g = \frac{GM}{r^2}$ .
- .....  
.....

ب. احسب شدة مجال الجاذبية على سطح الأرض. اكتب إجابتك مقرّبة إلى أقرب رقمين معنويّين. (كتلة الأرض تساوي  $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$  تقريباً، نصف قطر الأرض يساوي  $6400 \text{ km}$  تقريباً، ثابت الجاذبية:  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ ).

.....  
.....

٣. كتلة القمر تساوي  $(7.3 \times 10^{22} \text{ kg})$  تقريباً ومتوسط نصف قطره يساوي  $(1.74 \times 10^6 \text{ m})$  تقريباً.

أ. احسب قوة الجاذبية المؤثرة على جسم، كتلته  $(1 \text{ kg})$  على سطح القمر. (ثابت الجاذبية:  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ ).

.....  
.....

ب. ما مقدار شدة مجال الجاذبية على سطح القمر؟

.....  
.....

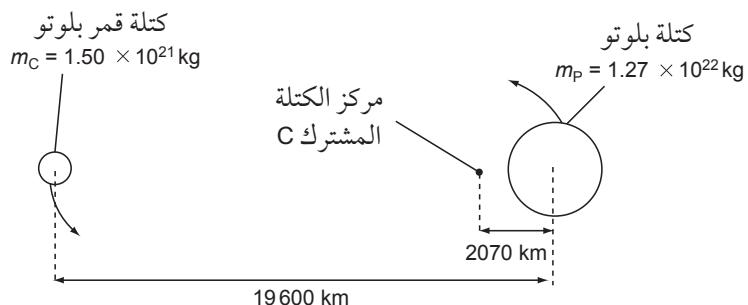
ج. احسب وزن جسم كتلته  $(20.0 \text{ kg})$  على سطح القمر.

.....  
.....

د. تخيل أنك أسلقّت جسماً بالقرب من سطح القمر. احسب مقدار تسارع الجسم.

.....  
.....

٤. يدور قمر الكوكب القزم بلوتو حوله، كما هو موضح في الشكل ١-٤:



الشكل ١-٤: للسؤال ٤. يوضح الكوكب القزم بلوتو يدور حوله قمره.

### مصطلحات علمية

**مركز الكتلة**

: Centre of mass

هو النقطة التي يمكننا اعتبار إجمالي كتلة الجسم مرکزاً فيها.

**مهم**

فَكِّر في تعريف المجال، وتذكر أنها كمية متّجحة.

في الواقع، يدور كل منهما حول الآخر حول المركز المشترك للكتلتين C (الذي هو عبارة عن النقطة حيث كتلة الجسمين موزعة بالتساوي حولها).

أ. احسب شدة مجال الجاذبية عند النقطة C بسبب بلوتو.

$$\text{ثابت الجاذبية: } G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$$

.....  
.....  
.....

ب. احسب شدة مجال الجاذبية عند النقطة C بسبب قمر بلوتو. حدّد اتجاه هذا المجال.

.....  
.....  
.....

ج. ما مقدار قوة الجاذبية المؤثرة على جسم كتلته (1.0 kg) موضوعاً عند النقطة C؟ اشرح إجابتك.

.....  
.....

## نشاط ٣- الطاقة وجهد الجاذبية

### مصطلحات علمية

**جهد الجاذبية**

: Gravitational potential

جهد الجاذبية عند نقطة

ما هو الشغل المبذول

لكل وحدة كتلة لنقل كتلة

نقاطية من اللانهاية إلى

تلك النقطة.

يحدّد جهد الجاذبية عند نقطة ما من خلال الشغل المبذول لكل وحدة كتلة لنقلها من اللانهاية إلى تلك النقطة. يمكنك التفكير في الأمر على أنه طاقة وضع الجاذبية لكل وحدة كتلة، لكن تذكر أن قيمتها تساوي صفرًا عند اللانهاية وأقل من الصفر في أي مكان آخر. يتيح لك هذا النشاط فهم معادلة حساب جهد الجاذبية واستخدامها.

أ. جهد الجاذبية عند نقطة ما ولتكن P يساوي (60 J kg<sup>-1</sup>). .

من خلال تعريف جهد الجاذبية ( $\phi$ ):

أ. ما مقدار طاقة وضع الجاذبية لجسم كتلته (1.0 kg) عند النقطة P؟

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

ب. احسب طاقة وضع الجاذبية لجسم كتلته (50.0 kg) عند النقطة P.

ج. ما مقدار الشغل المبذول في تحريك جسم كتلته (50.0 kg) من اللانهاية إلى

النقطة P

.....  
.....  
.....

د. ما مقدار الشغل المبذول في تحريك جسم كتلته (50.0 kg) من النقطة P إلى اللانهاية؟

.....  
.....  
.....

هـ. جهد الجاذبية يساوي ( $\phi = -40 \text{ J kg}^{-1}$ ) عند نقطة أخرى Q.

١. أي النقطتين P أم Q لها الجهد الأعلى؟

.....  
.....  
.....

٢. احسب الشغل المبذول في تحريك جسم كتلته (50.0 kg) من النقطة P إلى النقطة Q.

.....  
.....  
.....

٣. ستحتاج إلى هذه البيانات للإجابة عن السؤال الآتي:

ثابت الجاذبية: ( $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ ).

الأرض: الكتلة =  $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$  ، نصف القطر =  $6.4 \times 10^6 \text{ m}$

القمر: الكتلة =  $7.4 \times 10^{22} \text{ kg}$  ، متوسط نصف القطر =  $1.74 \times 10^6 \text{ m}$

يُعطى جهد الجاذبية ( $\phi$ ) في مجال كتلة نقطية من خلال المعادلة:  $\phi = -\frac{GM}{r}$ .

أ. ما دلالة كل من الرموز (G) و (M) و (r)؟

.....  
.....

مهم
تذكّر أنه على الرغم من أن جهد الجاذبية بالقرب من كتلة ما يكون دائمًا سالبًا، إلا أنه يزداد مع البعد عن الكتلة، أي يصبح أقل سالبية.

ب. استخدم معادلة ( $\phi$ ) لحساب جهد الجاذبية على سطح الأرض.

.....

.....

.....

ج. احسب جهد الجاذبية ( $\phi$ ) على سطح القمر.

.....

.....

د. رائد فضاء كتلته (120 kg) يقف على سطح القمر. احسب طاقة وضع الجاذبية له (اعتبر أن طاقة الوضع عند نقطة على مسافة لانهائية من القمر تساوي صفرًا).

.....

.....

.....

هـ. يوجد رائد فضاء آخر في مركبة فضائية تدور فوق سطح القمر. أي رائد فضاء له أعلى جهد جاذبية؟

.....

.....

.....

٣. عند رفع جسم كتلته ( $m$ ) إلى ارتفاع ( $h$ ), فإن الزيادة في طاقة وضع الجاذبية للجسم .  $mgh$

يجب أن تكون على دراية بهذه المعادلة، ولكن لاحظ أنها تنطبق فقط بالقرب من سطح الأرض حيث تكون ( $g$ ) ثابتة المقدار تقريرًا. في هذا السؤال يمكنك التحقق من حصولك على الإجابة نفسها باستخدام هذه المعادلة وباستخدام المعادلة العامة  $\phi = -\frac{GM}{r}$ .

أ. وضع جسم كتلته (1.0 kg) على سطح الأرض وبالتحديد على مسافة  $6.40 \times 10^6$  m من مركز الأرض. احسب طاقة وضع الجاذبية للجسم مستعيناً بالبيانات المعطاة في السؤال رقم (٢). قرب إجابتك إلى أقرب ثمانية أرقام معنوية.

.....  
.....  
.....

ب. رفع الجسم مسافة (100 m) رأسياً إلى الأعلى، وأصبحت المسافة بين مركز الجسم ومركز كتلة الأرض تساوي ( $6.400100 \times 10^6$  m). باستخدام المعادلة  $\phi = -\frac{GM}{r}$ ، احسب القيمة الجديدة لطاقة وضع الجاذبية للجسم.

.....  
.....  
.....

ج. احسب الزيادة في طاقة وضع الجاذبية للجسم.

.....  
.....  
.....

د. احسب الكمية نفسها باستخدام المعادلة:  
 $mgh$ . التغير في طاقة وضع الجاذبية =

هل حصلت على الإجابة نفسها كالتى حصلت عليها في الجزئية (ج)؟

.....  
.....  
.....

## نشاط ٤-٤ المجال والجهد الناشئ عن كتلتين

في هذا النشاط ستعلم أن شدة مجال الجاذبية هي كمية متجهة، وأن جهد الجاذبية هو كمية عددية.

١. عند الانطلاق من الأرض إلى القمر، هناك نقطة واحدة P حيث تكون قوة جاذبية الأرض متساوية لقوة جاذبية القمر بالمقدار، وتقع هذه النقطة على مسافة  $(3.41 \times 10^8 \text{ m})$  من مركز الأرض، ومسافة  $(3.8 \times 10^7 \text{ m})$  من مركز القمر.

إذا كانت كتلة الأرض =  $(6.0 \times 10^{24} \text{ kg})$  وكثافة القمر =  $(7.3 \times 10^{22} \text{ kg})$ ، فاحسب:

أ. شدة مجال وجهد الجاذبية الأرضية عند النقطة P.

.....  
.....

ب. شدة مجال وجهد جاذبية القمر عند النقطة P.

.....  
.....

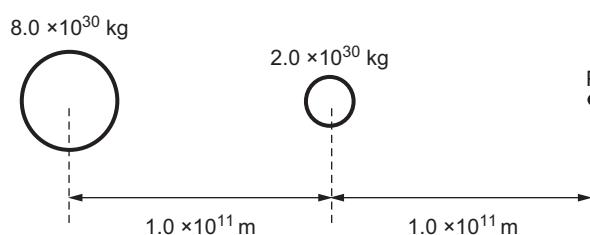
ج. محصلة شدة مجال جاذبية الأرض والقمر عند النقطة P.

.....  
.....  
.....

د. مجموع جهد جاذبية الأرض والقمر عند النقطة P.

.....  
.....  
.....

٢. يُظهر الشكل ٥ نظاماً نجمياً ثنائياً يدور فيه نجمان أحدهما حول الآخر، كما يُظهر كتلتَي النجمَيْن وبُعدَهُما عن نقطَة ما P:



الشكل ١-٥: للسؤال ٢. نظام نجمي ثنائي ونقطة P.

أ. احسب محصلة شدة مجال الجاذبية عند النقطة P.

.....

.....

.....

ب. احسب جهد الجاذبية الكلي عند النقطة P.

.....

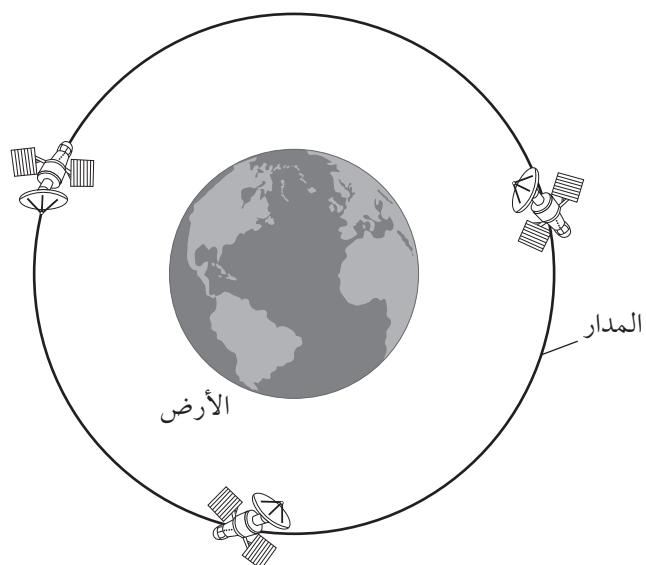
.....

.....

## نشاط ٤-٥ الدوران تحت تأثير الجاذبية

الجاذبية هي القوة الأكثر أهمية للأجرام السماوية مثل الكواكب والأقمار في النظام الشمسي. كما أنها تبقى الأقمار الصناعية الثابتة بالنسبة إلى الأرض في مداراتها حول هذا الكوكب. هذا النشاط يأخذ في الاعتبار المركبات الفضائية والأقمار الصناعية لأنواع مختلفة من المدارات حول الأرض.

١. يوضح الشكل ٦-١ ثلات مركبات فضائية متماثلة تشتراك في مدار دائري حول الأرض، وكتلة كل مركبة فضائية (450 kg) :

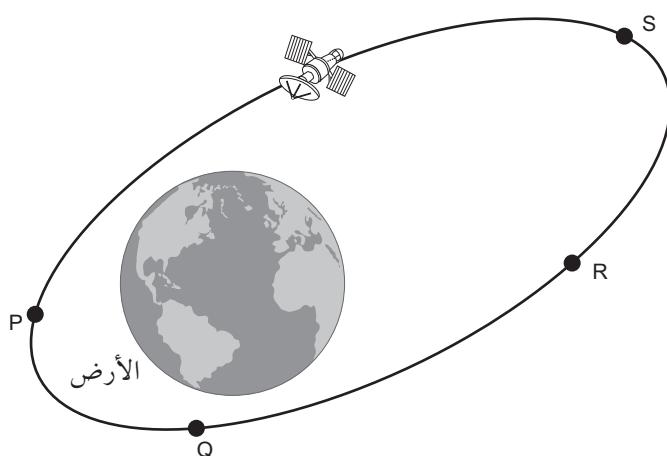


### مهم

تذكّر دائمًا حساب بُعد المركبة الفضائية عن مركز الأرض، وليس عن سطحها.

الشكل ٦-١: للسؤال ١. ثلات مركبات فضائية تشتراك في مدار دائري حول الأرض.

- أ. أضف سهم قوة إلى الرسم في الشكل لكل مركبة فضائية لإظهار تأثير قوة جاذبية الأرض عليها.
- ب. تدور كل مركبة فضائية على مسافة (2600 km) فوق سطح الأرض. احسب مسافة كل مركبة فضائية من مركز الأرض، ومقدار قوة الجاذبية المؤثرة عليها (ثابت الجاذبية:  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$ ، كتلة الأرض =  $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$ ).  
 نصف قطر الأرض =  $(6.4 \times 10^6 \text{ m})$ .
- .....  
 .....  
 .....
- ج. يجب على أي مركبة فضائية أن تتحرك بسرعة مناسبة لتبقى في مدارها.  
 احسب مقدار هذه السرعة باستخدام معادلة الحركة الدائرية  $F = \frac{mv^2}{r}$ .
- .....  
 .....  
 .....
- د. احسب الزمن الذي تستغرقه إحدى المركبات الفضائية لإنجاز دورة كاملة حول الأرض. أعط إجابتك بالدقائق.
- .....  
 .....  
 .....
٢. يوضح الشكل ٧-١ مركبة فضائية في مدار إهليجي حول الأرض. تتغير المسافة بينها وبين الأرض نتيجة حركتها حول المدار:



الشكل ٧-١: للسؤال ٢. مركبة فضائية في مدار إهليجي حول الأرض.

قم بتضمين الأسباب لإجابتكم عن الأسئلة الآتية:

- أ. تم وضع أربع نقاط P و Q و R و S على المدار. ما النقطة التي تكون عندها المركبة الفضائية أبعد ما تكون عن الأرض؟
- .....  
.....

- ب. ما النقطة التي تكون عندها قوة جاذبية الأرض للمركبة الفضائية أضعف ما يمكن؟
- .....  
.....

- ج. ما النقطة التي تكون فيها طاقة وضع الجاذبية للمركبة الفضائية في ذروتها أكبر ما يمكن؟
- .....  
.....

- د. الطاقة الكلية للمركبة الفضائية (طاقة الوضع + طاقة الحركة) ثابتة. حدد النقطة التي ستتحرك عندها المركبة الفضائية أبطأ ما يمكن.
- .....  
.....

٣. تدور مركبة فضائية حول كوكب ما مرة واحدة كل يوم وتبقى ثابتة بالنسبة إلى الكوكب، أي أنها تبقى عند نقطة ثابتة في السماء فوق خط الاستواء للكوكب.
- أ. حدد الزمن الدوري لمركبة فضائية تدور حول الأرض في مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض. أعط إجابتكم بوحدة الثانية.
- .....  
.....

- ب. يمكن وضع مركبة فضائية في مدار حول كوكب المريخ حيث تبقى ثابتة بالنسبة إلى سطح المريخ من أجل الحفاظ على الاتصال بمركبة هبوط على سطح الكوكب، الزمن الدوري ( $T$ ) للمركبة الفضائية يُستنتج من خلال المعادلة الآتية:

$$T^2 = \left( \frac{4\pi^2}{GM} \right) r^3$$

### مصطلحات عالمية

**مدار الأقمار الثابتة بالنسبة إلى الأرض**

: **Geostationary orbit**

مدار يبقى فيه القمر الصناعي مباشرةً فوق النقطة نفسها على الأرض في جميع الأوقات.

١. اذكر الكميّتين اللتين يمثّلها الرمزان ( $M$ ) و ( $t$ ).  
.....  
.....

٢. احسب نصف قطر المدار لقمر صناعي ثابت يدور حول المريخ.  
استخدم كتاباً مرجعياً أو الشبكة العالمية للمعلومات والاتصالات الدولية  
(الإنترنت) لتوفير البيانات اللازمـة.  
.....  
.....  
.....

### أسئلة نهاية الوحدة

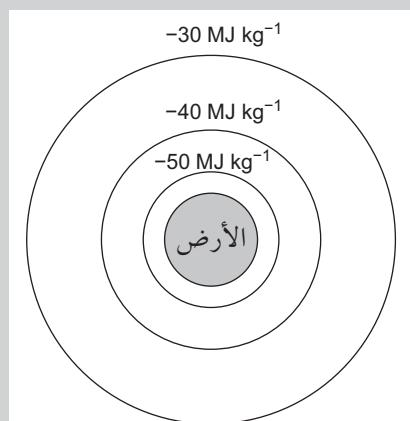
ثابت الجاذبية:  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

كتلة الأرض =  $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$  ، نصف قطر الأرض =  $6.4 \times 10^6 \text{ m}$

١. أ. اشرح المقصود بمصطلح شدة مجال الجاذبية.
- ب. هبطت مركبة فضائية كتلتها (220 kg) على سطح المريخ. بواسطة جهاز استشعار على متن المركبة تم تحديد وزنها على أنه (836 N).
- احسب شدة مجال الجاذبية على سطح المريخ.
- ج. توضح القياسات المأخوذة من الأرض أن قطر المريخ يبلغ ( $6.75 \times 10^6 \text{ m}$ ) استنتج كتلته.
- د. يوصف مجال الجاذبية على سطح المريخ بأنه منتظم. اشرح ما يعنيه هذا.
٢. أ. اشرح المقصود بمصطلح جهد الجاذبية.
- ب. مركبة تجسس فضائية تدور حول الأرض في مدار دائري على ارتفاع (500 km) فوق سطح الكوكب.

  ١. احسب جهد الجاذبية عند هذا الارتفاع.
  ٢. حدد كمية الطاقة لكل كيلوغرام اللازمة لتحرير المركبة الفضائية بالكامل من مجال الجاذبية الأرضية.
  ٣. احسب سرعة المركبة الفضائية في مدارها.
  ٤. احسب الزمن الذي تستغرقه المركبة الفضائية لإكمال دورة واحدة كاملة حول الأرض.

٣. يوضح الشكل ٨-١ ثلاثة أسطح متساوية جهد الجاذبية حول الأرض.



الشكل ٨-١

إذا علمت أنه عند كل نقطة على الدائرة الخارجية جهد الجاذبية يساوي  $-30 \text{ MJ kg}^{-1}$ .

أ. اشرح المقصود بقولنا أن جهد الجاذبية يساوي  $-30 \text{ MJ kg}^{-1}$ .

ب. اشرح سبب كون جهد الجاذبية سالباً.

ج. اشرح كيف تُظهر المسافات بين الأسطح المتساوية الجهد في الشكل ١-٨ أن قوة الجاذبية على كتلة ما تتلاصق بالارتفاع عن سطح الأرض.

د. تعود مركبة فضائية إلى الأرض تحت تأثير قوة الجاذبية من نقطة حيث يكون فيها جهد الجاذبية  $-50 \text{ MJ kg}^{-1}$ . احسب سرعة المركبة الفضائية عندما تكون على مسافة من الأرض حيث يساوي جهد الجاذبية  $-60 \text{ MJ kg}^{-1}$ .

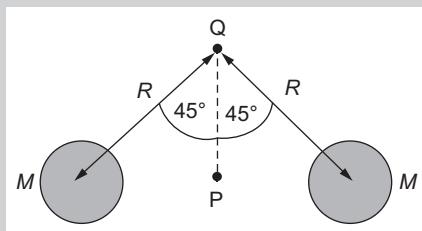
### أفعال إجرائية

اذكر State: عبر بكلمات واضحة.

٤. أ. اذكر نصّ قانون نيوتن لقوة الجاذبية بين كتلتين.

ب. استخدم قانون نيوتن للجاذبية لإثبات أن السرعة ( $v$ ) لقمر صناعي في مدار دائري حول الأرض تُعطى بالمعادلة  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ , حيث ( $G$ ) هو ثابت الجاذبية، و ( $M$ ) هي كتلة الأرض و ( $R$ ) هي المسافة بين القمر الصناعي ومركز الأرض.

ج. يوضح الشكل ٩-١ جسمين متماثلين كتلة كل منها ( $M$ ).



الشكل ٩-١

١. لماذا تكون شدة مجال الجاذبية عند النقطة  $P$ , والتي تقع على مسافة متساوية من الجسمين، متساوية للصفرا؟ اشرح إجابتك.

٢. بدلالة ( $M$ ), و ( $R$ ) وثابت الجاذبية ( $G$ ):

أ. استنتج تعبيراً عن الشدة الكلية لمجال الجاذبية عند النقطة  $Q$ .

ب. ما جهد الجاذبية الكلّي عند النقطة  $Q$ ؟

## إجابات كتاب الطالب

### العلوم ضمن سياقها

- قد تكون القوة الكهرومغناطيسية أقوى بعدها مرات من قوة الجاذبية، ولكن قوة الجاذبية يمكن تأثيرها على مسافات كبيرة؛ لأن قوة الجاذبية تكون دائمًا في حالة تجاذب، في حين يوجد نوعان من الشحنات الكهربائية (موجبة وسلبية)؛ لذلك يمكن أن يكون التفاعل الكهرومغناطيسي إما تجاذبًا أو تناحرًا. وتميل الشحنات السالبة والموجبة بشكل عام إلى إلغاء تأثير بعضها على بعض، الأمر الذي يجعل أي جسم كبير الحجم متعادلاً كهربائيًا تقريبًا.

- يظهر التوازن بين قوى الجاذبية وقوى التناحر الكهرومغناطيسي بصورة رائعة في تكوين النجوم. فالجاذبية تشد كميات متزايدة من الغبار الكوني والغازات معًا؛ فترتفع الحرارة والضغط، وعندما يصبح هذا النجم الأولي كثيفًا بدرجة كافية، فإن كلًا من الحرارة والضغط يصبحان قويين بدرجة تكفي لدمج نوى الهيدروجين معًا، والتغلب على قوى التناحر (القوية جدًا) بين النوى موجبة الشحنة.

### إجابات أسئلة موضوعات الوحدة

١. أ. شدة مجال الجاذبية بالقرب من سطح القمر:

$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{(1.74 \times 10^6)^2} \\ = 1.6 \text{ N kg}^{-1}$$

٢. شدة مجال الجاذبية بالقرب من سطح

الشمس:

$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{30}}{(7.0 \times 10^8)^2} \\ \approx 270 \text{ N kg}^{-1}$$

ب. شدة مجال الجاذبية على سطح القمر ضعيفة

جداً، لذلك ستمتلك جزيئات الغاز طاقة كافية للتحرر من قوة جاذبية القمر؛ لذلك يكون للقمر غلاف جوي رقيق في حين تمتلك الشمس شدة مجال جاذبية عالية جدًا،

.٢

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{70 \times 70}{0.5^2}$$

$$F = 1.3 \times 10^{-6} \text{ N} \approx 10^{-6} \text{ N}$$

يزن الإنسان الذي كتلته (70 kg) نحو (700 N) على الأرض. وزن كل منهما أكبر من جاذبيتهما المتبادلة بـ  $10^6$  مرة تقريبًا.

عند مستوى سطح البحر:

$$W = F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \\ = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24} \times 100}{(6.4 \times 10^6)^2} = 977 \text{ N}$$

عند قمة جبل إيفرست:

$$W = F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \\ = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24} \times 100}{(6.409 \times 10^6)^2} = 974 \text{ N}$$

الفرق:

$$\Delta W = 977 - 974 = 3 \text{ N}$$

نلاحظ أن الفرق بسيط جدًا وربما لا يمكن قياسه وخصوصًا عند وجود عوامل أخرى تحول دون ذلك.

١. أ. شدة مجال الجاذبية بالقرب من سطح

القمر:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{10^{-1} \times 10^{-1}}{(1.0 \times 10^{-2})^2} \\ F = 6.67 \times 10^{-9} \text{ N}$$

.ب.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{5.0 \times 10^{10} \times 5.0 \times 10^{10}}{(4.0 \times 10^9)^2}$$

$$F = 1.04 \times 10^{-8} \text{ N} \approx 1.0 \times 10^{-8} \text{ N}$$

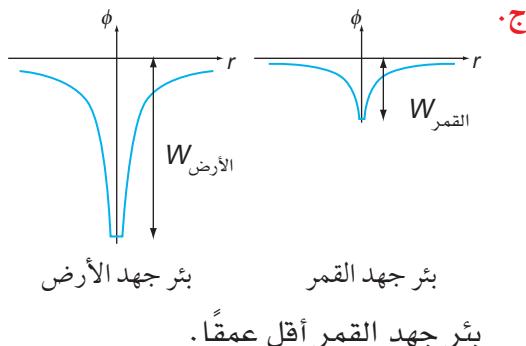
.ج.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{1.4 \times 10^4 \times 6.0 \times 10^{24}}{(6.8 \times 10^6)^2}$$

$$F = 1.2 \times 10^5 \text{ N}$$



$$\text{بـ.} \quad \frac{\phi}{\text{القمر}} = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{1.74 \times 10^6} \\ \approx -2.8 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$



**دـ.** يتضح من المخطط في الجزئية (جـ) أن الأرض هي الطاقة اللازمة لرفع كل كيلوغرام ابتداءً من سطح الأرض ليتحرر من المجال الأرضي، والذي يمكن رؤيته على أنه أكبر بكثير من القمر  $W$  وهي الطاقة اللازمة لرفع كل كيلوغرام ابتداءً من سطح القمر ليتحرر من مجال القمر. لذلك، لا يحتاج الصاروخ الذي ينطلق من سطح القمر إلى حمل كمية كبيرة من الوقود.

**١٠. أـ.** يختلف نصف قطر مدار مركبة القيادة حول القمر (المدار إهليجي): فكلما اقتربت من القمر، كانت في موضع أعمق في بـ جهد القمر وكان جهدها أصغر وبالتالي فإن لها طاقة وضع جاذبية متغيرة.

$$\Delta\phi = GM \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad \text{بـ.} \\ r_2 = r_1 + 310 = 1740 + 310 = 2050 \text{ km} \\ = 6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22} \left[ \frac{1}{(1.74 \times 10^6)} - \frac{1}{(2.05 \times 10^6)} \right]$$

$$\Delta\phi = 4.2 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

وبالتالي فهي تشدّ جزيئات الغاز بحيث تكون قريبة جداً منها؛ لذلك يكون للشمس غلاف جوي سميك.

**٥. أـ.** شدة مجال الجاذبية الأرضية في موقع القمر:

$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{(3.8 \times 10^8)^2} \\ \approx 2.8 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$$

**بـ.** القوة:

$$F = mg$$

$$F = 7.3 \times 10^{22} \times (2.8 \times 10^{-3}) = 2.0 \times 10^{20} \text{ N}$$

التسارع المركزي:

$$a = \frac{F}{m} \\ = \frac{2.0 \times 10^{20}}{7.3 \times 10^{22}} = 2.9 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-2} \\ g_{\text{مشترى}} = \frac{GM}{r^2} = \frac{320}{11.2^2} = 25 \text{ N kg}^{-1} \quad \text{٦ـ}$$

شدة مجال جاذبية الشمس على الأرض:

$$g_s = \frac{GM}{r^2} \\ = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{30}}{(1.5 \times 10^{11})^2} \approx 5.9 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$$

شدة مجال جاذبية القمر على الأرض:

$$g_m = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{(3.8 \times 10^8)^2} \approx 3.4 \times 10^{-5} \text{ N kg}^{-1}$$

لذلك، تمتلك الشمس قوة شدّ أكبر على كل كيلوغرام من مياه البحر.

**٨. أـ.** قوة جاذبية كوكب المريخ على الطفل:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \\ = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23} \times 4.0}{(1.0 \times 10^{11})^2} = 1.7 \times 10^{-8} \text{ N}$$

**بـ.** قوة جاذبية الأم على الطفل:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 50 \times 4.0}{0.40^2} \\ = 8.3 \times 10^{-8} \text{ N}$$

**٩. أـ.**

$$\phi = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6.4 \times 10^6} \\ = -6.3 \times 10^7 \text{ J kg}^{-1}$$

### إجابات أسئلة نهاية الوحدة

ب (أ): أخطأ في تربيع  $r$ ; ج و د: قلب المضاعفات)

ب (أ): القسمة على  $r^2$ ; ج و د: جهد الجاذبية سالب وليس موجباً).

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$= 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{20 \times 10^{-3} \times 20 \times 10^{-3}}{(5.00 \times 10^{-3})^2}$$

$$F = 1.07 \times 10^{-9} \text{ N}$$

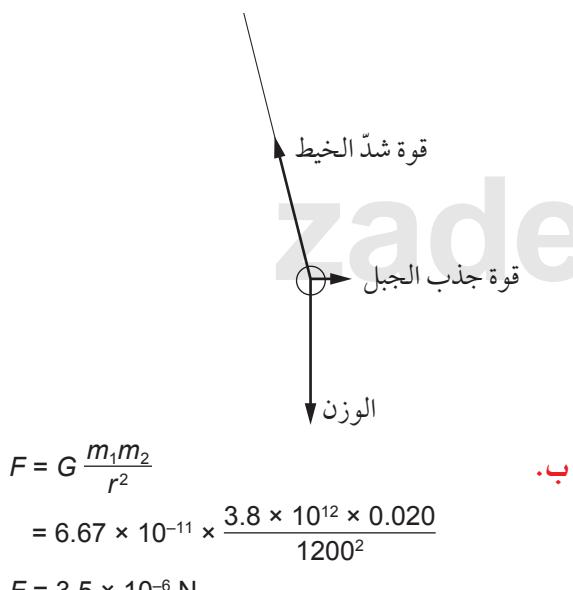
.١

.٢

.٣

.٤

أ. سهم يميل رأسياً إلى الأسفل بعنوان «الوزن» أو «قوة الجاذبية الأرضية»، وسهم إلى اليمين بعنوان «قوة جذب الجبل»، وسهم على طول الخيط بعنوان «قوة شدّ الخيط».



ج. قوة الجاذبية الأرضية:

$$F = mg = 0.020 \times 9.81 = 0.196 \text{ N}$$

وهذه القوة أكبر بمقدار  $10^4 \times 5.6$  مرة من القوة المؤثرة على الكتلة نفسها بسبب الجبل.

١١. نصف قطر المداري = نصف قطر الأرض +

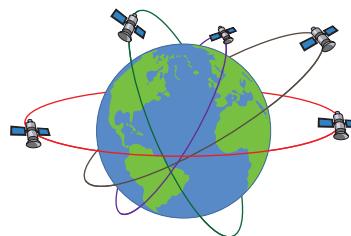
ارتفاع القمر الصناعي فوق سطح الأرض:

$$= 6.4 \times 10^6 + 2.0 \times 10^5 = 6.6 \times 10^6 \text{ m}$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6.6 \times 10^6}}$$

$$= 7.8 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

١٢. يبين المخطط قمراً صناعياً وهو يدور حول الأرض.



يحتاج القمر الصناعي إلى إطلاق صاروخ دفع صغير للبقاء على سرعته ومداره.

$$r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2}$$

$$r^3 = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23} \times (24.6 \times 3600)^2}{4\pi^2}$$

$$= 8.48 \times 10^{21} \text{ m}^3$$

$$r = 2.0 \times 10^7 \text{ m}$$

١٤. المسافة المقطوعة لإشارة المرسلة إلى القمر الصناعي وعودتها:

$$= 2 \times (42300000 - 6400000) = 7.18 \times 10^7 \text{ m}$$

الزمن الإضافي الذي تستغرقه الإشارة التي تنتقل

عبر القمر الصناعي (t):

$$\frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}} = \frac{\text{الزمن}}{t}$$

$$t = \frac{7.18 \times 10^7}{3.0 \times 10^8} = 0.24 \text{ s}$$

تنقل الإشارات أبطأ في الكابلات ولكن المسافة تكون أقصر بكثير. لذا فإن التأخير الزمني (أو الفرق الزمني) الإجمالي أقل من التأخير بالنسبة إلى الأقمار الصناعية.



$$r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 1.48 \times 10^{23} \times (7.15 \times 24 \times 3600)^2}{4\pi^2}$$

$$= 95.4 \times 10^{21} \text{ m}^3$$

$$r = 4.57 \times 10^7 \text{ m}$$

**ب.** قرب كوكب المشتري الكبير جداً من الممكّن أن يؤدي إلى عدم استقرار المدار بسبب قوّة جاذبيّته الكبيرة.

.٨ .أ.

**أ.** محیط المدار:

$$= 2\pi r = 2\pi \times 1.5 \times 10^{11} = 9.42 \times 10^{11} \text{ m}$$

$$\frac{\text{المحیط}}{\text{الزمن}} = \text{السرعة المدارية}$$

$$v = \frac{9.42 \times 10^{11}}{365 \times 24 \times 3600}$$

$$v = 3.0 \times 10^4 \text{ m s}^{-1}$$

**ب.** التسارع المركزي:

$$a = \frac{v^2}{r} = \frac{(3.0 \times 10^4)^2}{1.50 \times 10^{11}} = 6.0 \times 10^{-3} \text{ m s}^{-2}$$

**ج.**  $6.0 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$ ؛ يوفر مجال الجاذبية

للشمس قوّة مركّبة للأرض.

$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23}}{(3.395 \times 10^6)^2} .١ .أ.$$

$$= 3.7 \text{ m s}^{-2}$$

$$\phi = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23}}{3.395 \times 10^6} .٢$$

$$= -1.257 \times 10^7 \approx -1.3 \times 10^7 \text{ J kg}^{-1}$$

**ب.**  $1.3 \times 10^7 \text{ J kg}^{-1}$

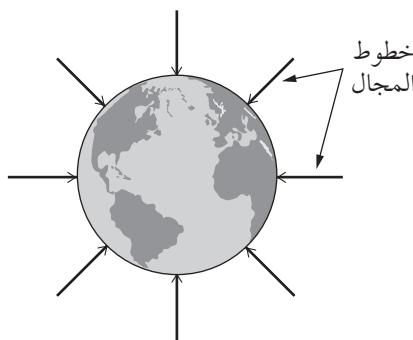
$$\frac{1}{2} mv^2 = m\phi$$

لذلك فإن،

$$v = \sqrt{2\phi} = \sqrt{2 \times 1.257 \times 10^7} = 5014 \text{ m s}^{-1}$$

**د.** لأن الشغل المبذول في رفع كتلة المركبة من الأرض إلى المريخ سيكون كبيراً جداً. لذلك يتطلّب صاروخاً قوياً جداً لتنفيذ كل ذلك دفعة واحدة.

**٥. أ.** أسهم نحو مركز الأرض.



**ب.** يمكن اعتبار مجال الجاذبية الأرضية حتى ارتفاع 10000 m منتظمًا، ولكن عندما يتحرك شيء ما بعيدًا عن الأرض، فإننا يجب أن ندرك أن هناك انخفاضًا كبيرًا في شدة المجال.

**٦. أ.** كتلة عطارد = الكثافة × الحجم

$$M_{\text{عطارد}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \times \rho$$

$$= \frac{4}{3} \pi \times (2.44 \times 10^6)^3 \times 5.4 \times 10^3$$

$$= 3.29 \times 10^{23} \text{ kg}$$

$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 3.29 \times 10^{23}}{(2.44 \times 10^6)^2}$$

$$= 3.68 \text{ N kg}^{-1} \approx 3.7 \text{ N kg}^{-1}$$

**ب.** كتلة الشخص:

$$m = \frac{W}{g} = \frac{900}{9.81} = 91.74 \text{ kg}$$

الوزن على عطارد:

$$W = mg = 91.74 \times 3.68 = 337.1 \text{ N} \approx 340 \text{ N}$$

**٧.** المسافة عن مركز المريخ:

$$= 3.4 \times 10^6 + 20 \times 10^6 = 23.4 \times 10^6 \text{ m}$$

طاقة الوضع:

$$E_p = -\frac{GMm}{r}$$

$$E_p = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23} \times 250}{23.4 \times 10^6}$$

$$= -4.6 \times 10^8 \text{ J}$$

$$F = \frac{mv^2}{r} \quad \text{وبالتعويض عن قيمة } v \text{ من}$$

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

نحصل على:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{rm}{F}}$$

$$= 2\pi \sqrt{\frac{1.7530 \times 10^7 \times 1.5 \times 10^{21}}{3.31 \times 10^{18}}}$$

$$= 5.6 \times 10^5 \text{ s}$$

(يساوي 6.5 يوم)

٣. لكي لا يفقدا الاستقرار في مداريهما (أو  
 بكلمات بهذا المعنى).

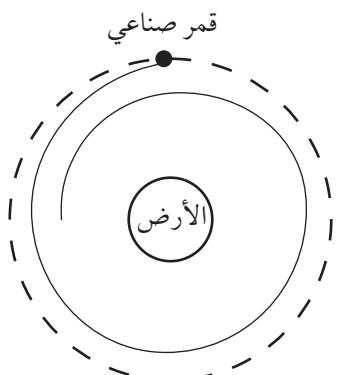
$$\text{٤. } \text{أ. } 0.80 \text{ N kg}^{-1} \pm 0.1 \text{ (مدى مقبول).}$$

**ب.** (يجب أن يكون مساوياً عددياً  
 للجزئية أ).

$$\text{ج. } r = R + 2R = 3R = 19.2 \times 10^6$$

$$= \sqrt{ar} = \sqrt{0.80 \times 19.2 \times 10^6} = 3.9 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

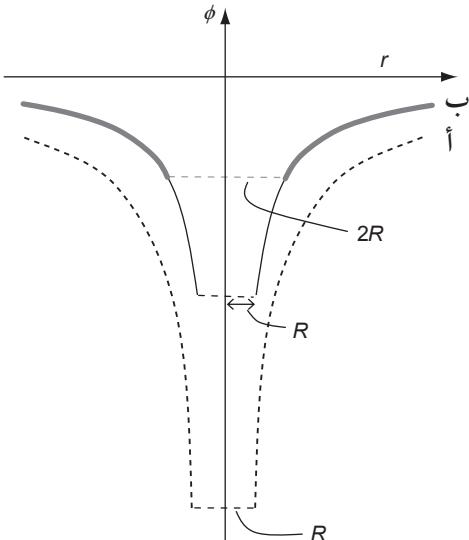
**د.** ١. مسار لولبي إلى المركز.



٢. يتسبّب الشغل المبذول بواسطة قوة  
 الاحتكاك في الغلاف الجوي إلى تسخين  
 «احتراق» القمر الصناعي.

**٥. ١١. أ.** الشغل المبذول لكل وحدة كتلة لنقل كتلة من  
 اللانهاية إلى تلك النقطة.

**ب.**



١. الخط المتقطع في المخطط: له نصف  
 القطر نفسه ولكن عمقه ضعف عمق بئر  
 الجهد الأصلي ويقع خارجه.

٢. الخط السميكي على المخطط: يسير على  
 طول خطوط البئر الحالية، ولكنه يتوقف  
 عند ضعف نصف القطر.

**ج.** الخط ب (٢)، لأن البئر الأقل عمقاً أسهل  
 تسلقاً.

**د.** استخدم المعادلة  $\frac{GM}{r} = -\phi$  مرة، واستخدم  
 $\frac{GM}{r} = -\phi$  مرة ثانية، أو استخدم

$$\begin{aligned} \Delta\phi &= GM \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \\ &= 6.67 \times 10^{-11} \times 4.87 \times 10^{24} \left[ \frac{1}{6.05 \times 10^6} - \frac{1}{6.95 \times 10^6} \right] \\ &= 6.95 \times 10^6 \text{ J Kg}^{-1} \end{aligned}$$

**٦. ١٢. أ.** قوة الجاذبية لكل وحدة كتلة عند النقطة.

$$\begin{aligned} F &= G \frac{m_1 m_2}{r^2} \\ &= 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{1.27 \times 10^{22} \times 1.50 \times 10^{21}}{(1.96 \times 10^7)^2} \\ &= 3.31 \times 10^{18} \text{ N} \end{aligned}$$

## إجابات كتاب التجارب العملية والأنشطة

### إجابات أسئلة الأنشطة

#### نشاط ١-١: قانون نيوتن للجاذبية

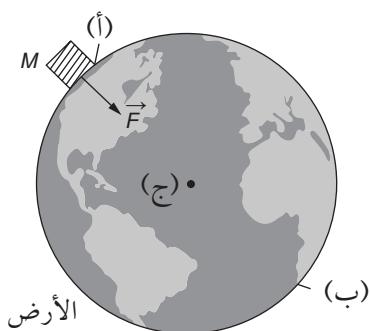
**ب.** بتعويض الوحدات في المعادلة: وحدات

$$\begin{aligned} G &= N \times m^2 / kg^2 = kg \cdot m s^{-2} \times m^2 / kg^2 \\ &= m^3 s^{-2} kg^{-1} \end{aligned}$$

**٤. أ.** الإجابة على الرسم.

**ب.** النقطة (أ) تسبب أكبر قوة جاذبية لأنها الأقرب إلى الكتلة.

**ج.** النقطة (ب) تسبب أقل قوة جاذبية لأنها الأبعد عن الكتلة.



**د.** انظر إلى المخطط موضع (ج). فهذه النقطة هي مركز كتلة الأرض (والكتلة موزعة بشكل منتظم حول هذه النقطة).

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

$$F = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24} \times 6.0}{(6400 \times 10^3)^2} \approx 59 \text{ N}$$

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

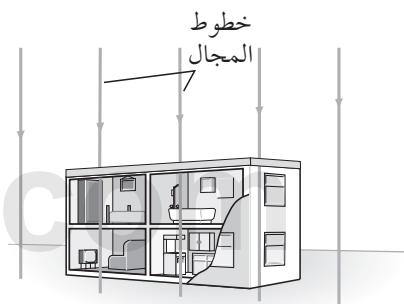
$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{30} \times 6.0 \times 10^{24}}{(150 \times 10^9)^2}$$

$$F \approx 3.6 \times 10^{22} \text{ N}$$

**٥. أ.**

**ب.**

**ج.** ١. يبيّن المخطط خطوط المجال المستقيمة والمتوازية والمتباعدة بشكل متساوٍ والموجهة نحو سطح الأرض على سبيل المثال.



**٢.** خطوط المجال مستقيمة ومتوازية ومتباعدة بشكل متساوٍ.

**د.** تبتعد خطوط المجال أكثر مع ازدياد المسافة عن الأرض.

**٢. أ.** القوتان باتجاهين متعاكسيين.

**ب.** القوتان متساويان في المقدار.

**ج.** سيكون له تسارع أكبر. على الرغم من أن كلاً من الجسمين يتتأثر بقوة لها المقدار نفسه؛ لذلك فإن التسارع يساوي  $\frac{F}{m}$ . ونظرًا إلى أن الكتلة B أقل، فإنه سيكون لها تسارع أكبر.

$$G = \frac{Fr^2}{m_1m_2}$$

#### نشاط ٢-١: شدة مجال الجاذبية

$$W = mg = 20.0 \times 9.80 = 196 \text{ N}$$

**ب.** الوزن عند خط الاستواء:

$$W = mg = 20.0 \times 9.78 = 195.6 \text{ N}$$

الوزن عند القطب:

$$W = mg = 20.0 \times 9.83 = 196.6 \text{ N}$$

ج. كمية متوجهة.

محصلة  $g$ :

$$g = 0.198 - 3.26 \times 10^{-4} = 0.197 \text{ N kg}^{-1}$$

(باستخدام القيم الأصلية غير المقربة).

القوة على كتلة  $1 \text{ kg}$  = محصلة  $g$

(باتجاه بلوتو، إلى اليمين).

### نشاط ٣-١: الطاقة وجهد الجاذبية

$$E_p = -60 \text{ J}$$

$$E_p = m\phi = 50 \times -60 = -3000 \text{ J}$$

$$W = -3000 \text{ J}$$

$$W = +3000 \text{ J}$$

$$Q. ١. هـ$$

$$W = m\Delta\phi = 50.0 \times (-40 - -60) = 1000 \text{ J}$$

٢. أ.  $G$  هو ثابت الجاذبية، و  $M$  هي كتلة الجسم الذي تسبب بمجال الجاذبية، و  $r$  هي المسافة من (مركز) الكتلة التي تسببت بال المجال.

$$\begin{aligned} \phi &= -\frac{GM}{r} \\ &= -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6.4 \times 10^6} \\ &= -6.3 \times 10^7 \text{ J kg}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi &= -\frac{GM}{r} \\ &= -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{1.74 \times 10^6} \\ &= -2.8 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1} \end{aligned}$$

$$E_p = m\phi = 120 \times -2.8 \times 10^6 = -3.4 \times 10^8 \text{ J}$$

هـ. رائد الفضاء في المركبة الفضائية له أعلى جهد جاذبية لأنّه على مسافة أكبر عن مركز القمر (بدل شغل لرفعه إلى المدار).

$$\begin{aligned} E_p &= m\phi = -\frac{GMm}{r} \\ &= -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6.400000 \times 10^6} = -62531250 \text{ J} \end{aligned}$$

الازدياد في الوزن:

$$= 196.6 - 195.6 = 1.0 \text{ N}$$

جـ. ستخفض  $g$  كلما صعدت إلى قمة الجبل؛ لأن المسافة من مركز الأرض تزداد، و  $g$  تتناصف عكسياً مع مربع المسافة عن مركز الأرض.

$$2. أـ.  $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$  وبما أن  $g = \frac{F}{m}$  فإن:$$

$$g = \frac{Gm_1m_2}{m_2r^2} = \frac{Gm_1}{r^2} = \frac{GM}{r^2}$$

$$(m_1 = M \text{ لأن } M)$$

بـ.

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{(6.4 \times 10^6)^2}$$

$$= 9.77 \approx 9.8 \text{ N kg}^{-1}$$

(رقميّن معنويّين)

٣. أـ.

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22} \times 1.0}{(1.74 \times 10^6)^2} \approx 1.6 \text{ N}$$

بـ.  $g = 1.6 \text{ N kg}^{-1}$  لأن  $g$  تعرّف على أنها القوة لوحدة الكتلة.

$$W = mg = 20.0 \times 1.6 = 32 \text{ N}$$

$$F = ma = mg$$

$$a = g = 1.6 \text{ m s}^{-2}$$

٤. أـ.

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 1.27 \times 10^{22}}{(2070 \times 10^3)^2} \approx 0.198 \text{ N kg}^{-1}$$

يتجه نحو بلوتو (إلى اليمين).

بـ.

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 1.50 \times 10^{21}}{(19600 \times 10^3 - 2070 \times 10^3)^2}$$

$$\approx 3.26 \times 10^{-4} \text{ N kg}^{-1}$$

يتجه نحو قمر بلوتو (إلى اليسار).



$$g = \frac{GM_1}{r_1^2} + \frac{GM_2}{r_2^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 8.0 \times 10^{30}}{(2.0 \times 10^{11})^2} + \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{30}}{(1.0 \times 10^{11})^2}$$

$$= 0.027 \text{ N kg}^{-1}$$

٢٠١.

يتجه نحو اليسار.

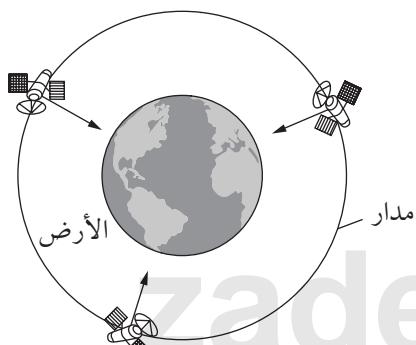
$$\phi = -\frac{GM_1}{r_1} + \left( -\frac{GM_2}{r_2} \right)$$

$$= -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 8.0 \times 10^{30}}{2.0 \times 10^{11}} - \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 2.0 \times 10^{30}}{1.0 \times 10^{11}}$$

$$= -4.0 \times 10^9 \text{ J kg}^{-1}$$

٢٠٢.

### نشاط ١-٥: الدوران تحت تأثير الجاذبية



بـ. المسافة:

$$= 6.4 \times 10^6 + 2.6 \times 10^6 = 9.0 \times 10^6 \text{ m}$$

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$$

$$= \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24} \times 450}{(9.0 \times 10^6)^2}$$

$$= 2223.3 \approx 2200 \text{ N}$$

جـ. تعمل قوة الجاذبية كقوة مركبة:

$$F = \frac{mv^2}{r} = 2200$$

$$v = \sqrt{\frac{Fr}{m}} = \sqrt{\frac{2200 \times 9.0 \times 10^6}{450}} \approx 6600 \text{ m s}^{-1}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

$$= \frac{2\pi \times 9.0 \times 10^6}{6600} \approx 8500 \text{ s}$$

أو 140 دقيقة تقريباً.

٢٠٣.

$$E_p = m\phi = -\frac{GMm}{r}$$

$$= -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24} \times 1.0}{6.400100 \times 10^6}$$

$$= -62530273 \text{ J}$$

$$\Delta E_p = -62530273 - (-62531250) = 977 \text{ J}$$

$$\Delta E_p = mg\Delta h = 1.0 \times 9.81 \times 100 = 981 \text{ J}$$

(الإجابة نفسها تقريباً؛ يأتي الاختلاف لأننا لم نستخدم قيمة دقيقة جداً لنصف قطر الأرض).

### نشاط ١-٤: المجال والجهد الناشئ عن كتلتين

$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{(3.41 \times 10^8)^2}$$

$$= 3.4 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$$

يتجه نحو الأرض.

$$\phi = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{3.41 \times 10^8}$$

$$= -1.2 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

$$g = \frac{GM}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{(3.8 \times 10^7)^2}$$

$$\approx 3.4 \times 10^{-3} \text{ N kg}^{-1}$$

يتجه نحو القمر.

$$\phi = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 7.3 \times 10^{22}}{3.8 \times 10^7}$$

$$= -1.3 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

جـ. ٠ N kg<sup>-1</sup>, لأن شدة مجال الجاذبية كمية متوجهة وعند النقطة P يوجد متوجهان لشدة مجال الجاذبية متساويان في المقدار ومتعاكسان في الاتجاه.

دـ. جهد الجاذبية كمية عددية؛ لذلك يمكن إيجاد الجهد الكلي ببساطة وذلك بجمع الجهدتين.

$$\phi_T = \phi_{\text{القمر}} + \phi_{\text{الأرض}}$$

$$\phi = -1.2 \times 10^6 + (-1.3 \times 10^5)$$

$$= -1.3 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

- ٢.** أ. جهد الجاذبية هو الشغل المبذول لكل وحدة كتلة في نقل جسم من اللانهاية إلى نقطة ما في مجال الجاذبية.

ب. ١. نصف قطر المدار:

$$r = 6400 + 500 = 6900 \text{ km}$$

$$\phi = -\frac{GM}{r} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6900 \times 10^3} \\ = -5.8 \times 10^7 \text{ J kg}^{-1}$$

٢.  $5.8 \times 10^7 \text{ J kg}^{-1}$ , هذا هو الشغل المطلوب لكل كيلوغرام من الكتلة لتحرير الجسم إلى ما لا نهاية (وبالتالي التحرر من المجال).

٣. قوة الجاذبية = القوة المركزية

$$\frac{GMm}{r^2} = \frac{mv^2}{r} \quad \text{لذلك،}$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6900 \times 10^3}} \\ = 7615.8 \approx 7600 \text{ m s}^{-1}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \times 6900 \times 10^3}{7600} \approx 5700 \text{ s} . \quad ٤$$

أو 95 دقيقة تقريباً.

- ٣.** أ. أي يتطلب MJ 30 من الشغل لتحرير 1 kg من نقطة على هذا السطح إلى ما لا نهاية.

ب. طاقة وضع الجاذبية تساوي صفرًا في اللانهاية:

أي يُبذل شغل سالب في نقل الجسم من اللانهاية إلى سطح الأرض (وجود قوة تجاذب).

ج. مسافة أصغر لبذل الشغل نفسه في الانتقال من  $(-50 \text{ MJ kg}^{-1})$  إلى  $(-40 \text{ MJ kg}^{-1})$ .

بالمقارنة مع الانتقال من  $(-40 \text{ MJ kg}^{-1})$  إلى  $(-30 \text{ MJ kg}^{-1})$ ; حيث إن الشغل = القوة × المسافة، لذا فإن المسافة الأصغر تعني قوة أكبر.

**ب.** S، حيث إن قوة الجاذبية تتاسب عكسياً مع مربع المسافة بين مركزَي الكتلتين.

**ج.** S، لأنها أقل قيمة سالبة في هذه النقطة.

**د.** S، لأن لها أكبر طاقة وضع جاذبية في هذه النقطة وأقل طاقة حركة وطاقتها الكلية تبقى ثابتة خلال مدارها.

- ٣.** أ. الزمن الدوري المداري هي فترة دوران الأرض حول نفسها أي ٢٤ ساعة.

$$T = 24 \times 60 \times 60 = 86400 \text{ s}$$

ب. ١.  $M$  = كتلة المريخ.

$r$  = المسافة من مركز المريخ إلى موقع القمر الصناعي.

٢. للمريخ:

$$T = 24.6 \text{ h} = 88560 \text{ s} , M = 6.4 \times 10^{23} \text{ kg}$$

$$r^3 = \frac{T^2 GM}{4\pi^2} \quad \text{لذلك} \quad T^2 = \frac{4\pi^2 r^3}{GM}$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{T^2 GM}{4\pi^2}} \\ = \sqrt[3]{\frac{88560^2 \times 6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23}}{4\pi^2}} \\ = 2.0 \times 10^7 \text{ m}$$

### إجابات أسئلة نهاية الوحدة

- ١.** أ. شدة مجال الجاذبية عند نقطة ما هي قوة الجاذبية المؤثرة لكل وحدة كتلة لجسم صغير موضوع في تلك النقطة.

$$g = \frac{F}{m} = \frac{W}{m} = \frac{836}{220} = 3.8 \text{ N kg}^{-1}$$

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

$$M = \frac{gr^2}{G} = \frac{3.8 \times (3.375 \times 10^6)^2}{6.67 \times 10^{-11}} \\ = 6.5 \times 10^{23} \text{ N kg}^{-1}$$

- د.** شدة المجال هي نفسها من حيث المقدار والاتجاه داخل منطقة محددة بالقرب من سطح المريخ.



**د.** طاقة وضع الجاذبية (GPE) المفقودة = طاقة الحركة المكتسبة (KE)

$$m\Delta\phi = \frac{1}{2} mv^2$$

$$v = \sqrt{2\Delta\phi} = \sqrt{2 \times 10 \times 10^6} = 4.5 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

**٤. أ.** أي كتلتين نقطبيتين تجذب كل منهما الأخرى بقوة تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.

**ب.** قوة الجاذبية = القوة المركزية

$$\frac{GMm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$$

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

**ج.** ١. شدة مجال الجاذبية كمية متوجهة وتكون عند P لكل من الكتلتين متساوية في المقدار ومتعاكسة في الاتجاه.

٢. أ. يحلّ كل متوجه لشدة مجال جاذبية إلى مركبتين رأسية وأفقيّة. مجموع المركبتين الأفقيتين يساوي صفرًا لأنهما س تكونان متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه.

المركبة الرأسية لشدة مجال الجاذبية لكتلة واحدة:

$$g_y = \frac{GM}{R^2} \times \cos 45^\circ$$

المركبة الرأسية المحسّلة للكتلتين:

$$g_T = 2 \times \frac{GM}{R^2} \times \cos 45^\circ$$

المحصلة:

$$g_T = \frac{2GM}{R^2} \times \cos 45^\circ$$

$$\phi_T = -\frac{2GM}{R}$$

ب. وذلك نظراً إلى أن جهد الجاذبية هو كمية عدديّة، لذلك فإن جهد الجاذبية لكل كتلة يُجمع ببساطة إلى جهد جاذبية الكتلة الأخرى.

**zadelm.com**

**قائمة تقييم ذاتي**

بعد دراسة الوحدة، أكمل الجدول الآتي:

مستعد للمضي قدماً	متمكن إلى حدٍ ما	أحتاج إلى بذل المزيد من الجهد	أراجع الموضوع	أستطيع أن
			١-١	أفهم طبيعة مجال الجاذبية.
			١-١	أمثل مجال الجاذبية باستخدام خطوط المجال وأفسره.
			١-١	أتذكر نص قانون نيوتن للجاذبية وأستخدم المعادلة: $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$
			٢-١	أفهم سبب كون (g) ثابتة تقريباً بالقرب من سطح الأرض.
			٢-١	أستنتج من قانون نيوتن للجاذبية المعادلة: $g = \frac{GM}{r^2}$
			٢-١	أستخدم المعادلة: $g = \frac{GM}{r^2}$
			٣-١	أفهم أن جهد الجاذبية عند اللانهاية يساوي صفرًا.
			٣-١	أُعرف جهد الجاذبية $\phi$ عند نقطة ما على أنها الشغل المبذول في نقل وحدة كتلة من اللانهاية إلى تلك النقطة.
			٣-١	أفهم أن جهد الجاذبية يتناقص عندما يتحرك جسم مقترباً من الجسم الثاني، بحيث يكون أكثر سالبية.
			٣-١	أستخدم معادلة جهد الجاذبية: $\phi = -\frac{GM}{r}$ .
			٣-١	أستخدم المعادلة: $\Delta\phi = GM \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$ .
			٣-١	أفهم أن طاقة الوضع لكتلتين نقطتين تساوي: $E_p = -\frac{GMm}{r}$
			٤-١	أحل مسائل تتضمن مدارات دائيرية للأقمار الصناعية من خلال ربط قوة الجاذبية بالتسارع центрی للقمر الصناعي.
			٤-١	أفهم أن قمراً صناعياً في حالة الأقمار الصناعية الثابتة بالنسبة إلى الأرض يبقى فوق النقطة نفسها على سطح الأرض.
			٤-١	أفهم أن القمر الصناعي الثابت بالنسبة إلى الأرض له زمن دوري مداري مقداره 24 ساعة ويتحرك من الغرب إلى الشرق في أثناء دورانه حول الأرض.