

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

أهداف التعلم

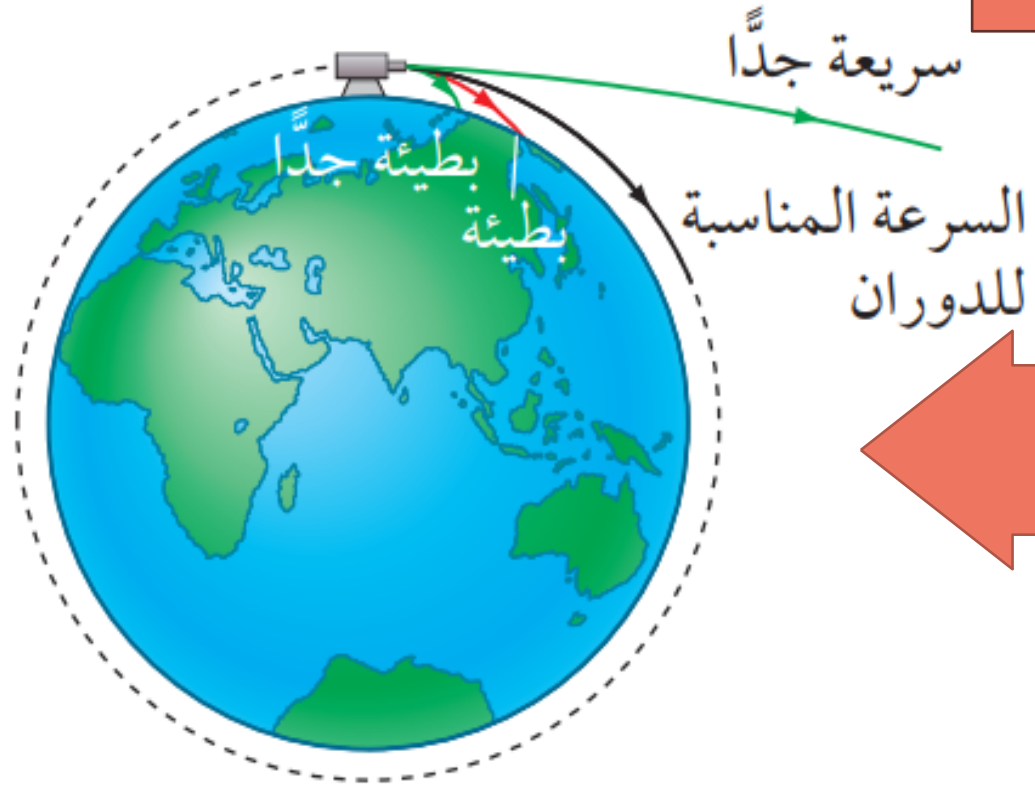
٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

١٠-١ يحلّ المدارات الدائرية في مجالات الجاذبية بدلالة الجاذبية التي تعمل كقوة مركزية والتسارع المركزي الذي تسببه هذه القوة.

١١-١ يذكر أن القمر الصناعي الثابت بالنسبة للأرض يبقى في النقطة نفسها فوق سطح الأرض، ويدور بزمان دوري مدته ٢٤ ساعة، من الغرب إلى الشرق، مباشرة فوق خط الاستواء.

الحادي عشر

فهم الحركة الدائرية



ابتكر إسحق نيوتن (Isaac Newton) تجربة فكرية بارعة تسمح لنا بالتفكير في كيفية بقاء جسم ما في مسار دائري حول الأرض،

يمكننا أن نستنتج

أن هناك قيمة واحدة للسرعة لتحقيق مسار دائري تحت تأثير الجاذبية كما ستري لاحقاً

(لاحظ أننا تجاهلنا تأثير مقاومة الهواء في هذه المناقشة).

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية



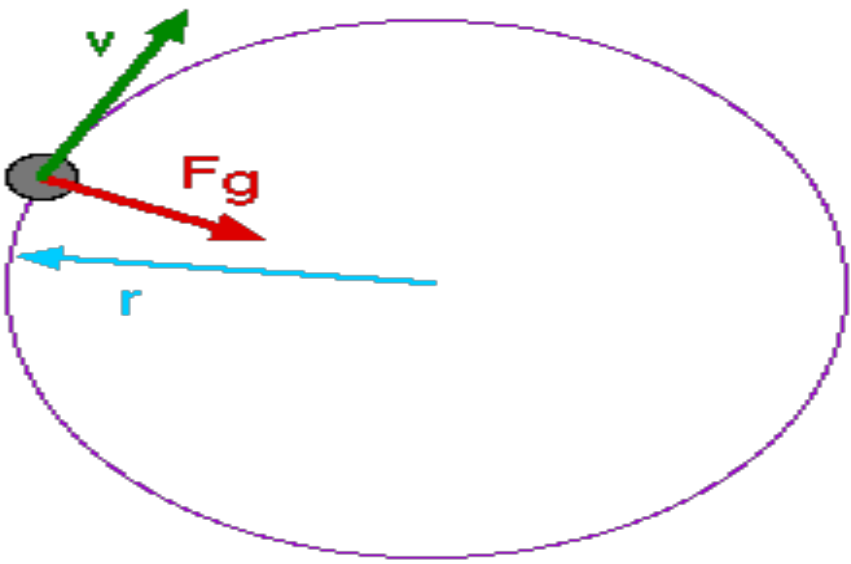
Extramarks

Orbital Velocity

Extramarks

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

حساب السرعة التي يجب أن يتحرك بها القمر الصناعي



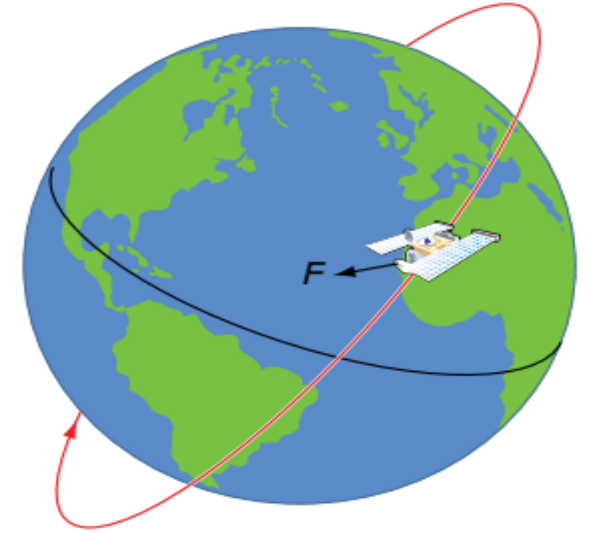
$$F = \frac{mv^2}{r}$$

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

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

السرعة
المدارية

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



الشكل ١-٧ تعمل قوة الجاذبية الأرضية كقوة مركزية تؤثر على القمر الصناعي وتبقيه في المدار.

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

الخطوة ٢: استخدم المعادلة $v^2 = \frac{GM}{r}$ ، لتحديد السرعة المدارية (v).

$$v^2 = \frac{GM}{r} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{3.84 \times 10^8} = 1.04 \times 10^6$$

$$v = \sqrt{1.04 \times 10^6}$$

$$v = 1021 \text{ m s}^{-1} \approx 1.0 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

أي أن القمر يدور في مداره بسرعة تقارب (1 km s^{-1}) .

٣. يدور القمر حول الأرض على مسافة متوسطها $(384\,000 \text{ km})$ من مركز الأرض. احسب سرعته المدارية. (كتلة الأرض $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$).
الخطوة ١: اكتب الكميات المعطاة:

$$r = 3.84 \times 10^8 \text{ m}$$

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

$$v = ?$$

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

سؤال ص

32

١١ احسب السرعة المدارية لقمر صناعي يدور على ارتفاع (200 km) فوق سطح الأرض (نصف قطر الأرض 6.4×10^6 m وكتلتها 6.0×10^{24} kg).

نصف القطر المداري = نصف قطر الأرض + ارتفاع القمر الصناعي فوق سطح الأرض:

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

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}}{6.6 \times 10^6}} = 7.8 \times 10^3 \text{ m s}^{-1}$$

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

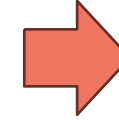
الزمن الدوري المداري

مصطلحات علمية

الزمن الدوري المداري
: Orbital period

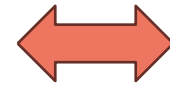
الزمن الذي يستغرقه جسم
ما لإكمال دورة واحدة كاملة
في مداره.

$$\text{الدائرة محيط} = \frac{\text{المسافة}}{\text{الزمن}} = \text{السرعة}$$



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

$$v^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2}$$



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

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

وبإعادة ترتيب المعادلة نحصل على:

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

$$(T^2 \propto r^3)$$

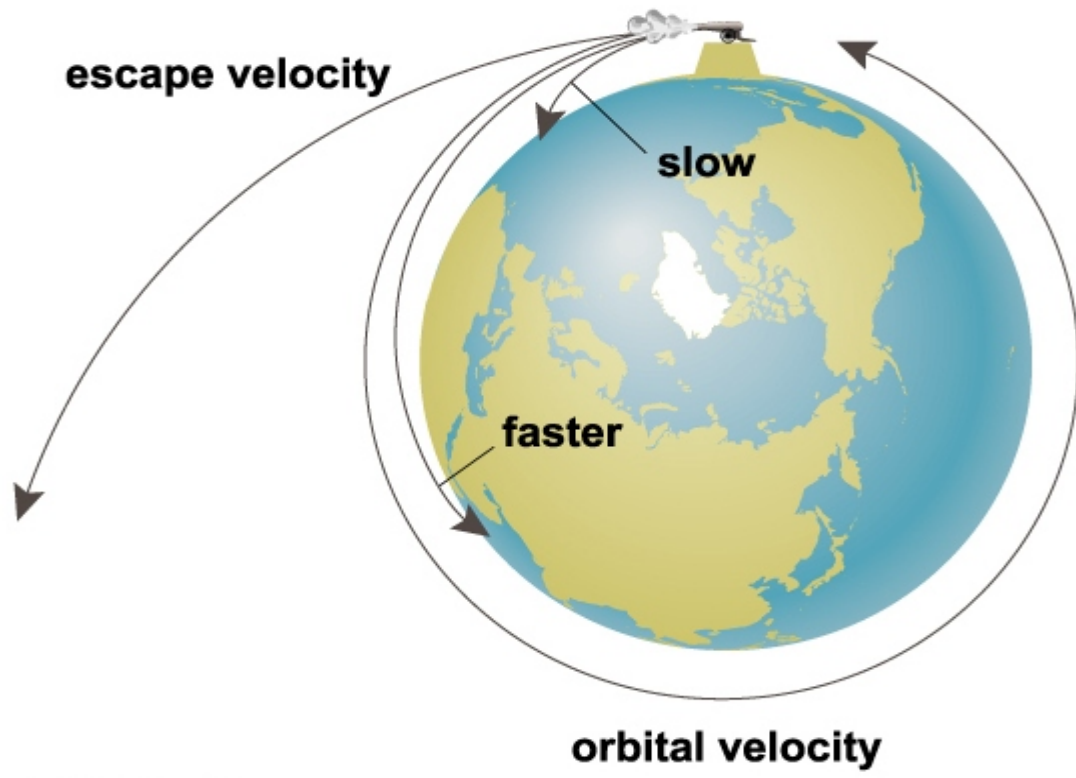
ملاحظة

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

وهذه نتيجة مهمة اكتشفت لأول مرة على يد يوهانس كبلر Johannes Kepler

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

الدوران حول الأرض



إذا تم وضع قمر صناعي في مدار نصف قطره (r) ويتحرك بسرعة ابتدائية (v) أقل من السرعة المناسبة للمدار

1

فسوف يسقط القمر الصناعي باتجاه الأرض

يتطلب هذا الأمر اكتساب سرعة إضافية

حتى تصل سرعته إلى السرعة المناسبة لنصف قطر مداره

2 عالية جدًا

فسينتقل القمر الصناعي إلى مدار أعلى بعيدًا عن الأرض

ويتطلب ذلك فقدده لسرعته حتى تصل سرعته إلى السرعة المناسبة للمدار (r).

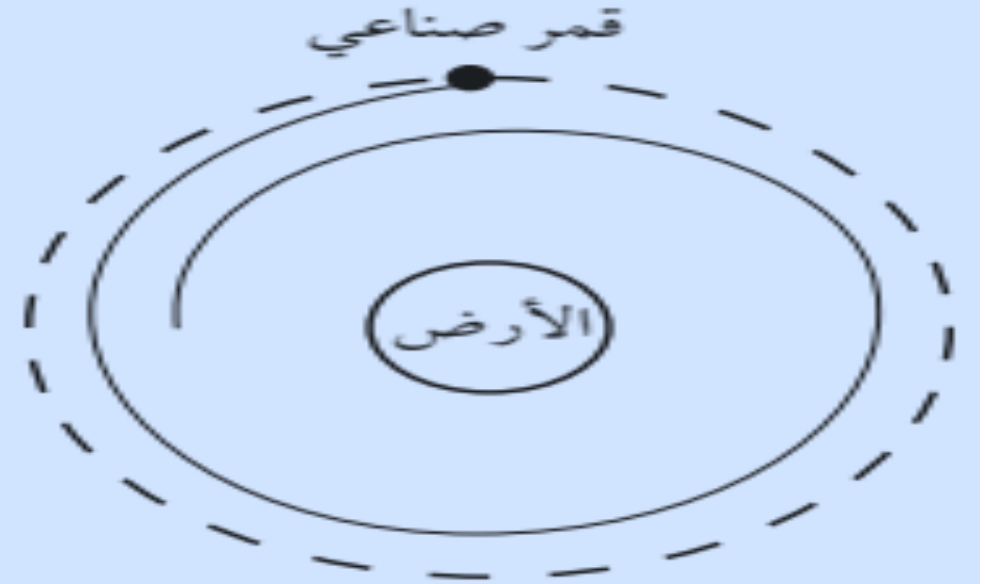
سؤال

ص
33

١٢) قمر صناعي يدور على ارتفاع بضع مئات من الكيلومترات فوق سطح الأرض ويتأثر بقوة احتكاك طفيفة مع الغلاف الجوي (الرقيق جداً) للأرض. ارسم مخططاً لإظهار كيف تتوقع أن يتغير مدار القمر نتيجة لذلك. وكيف يمكن التغلب على هذه المشكلة إذا كان ضرورياً الإبقاء على القمر الصناعي على ارتفاع معين فوق الأرض؟

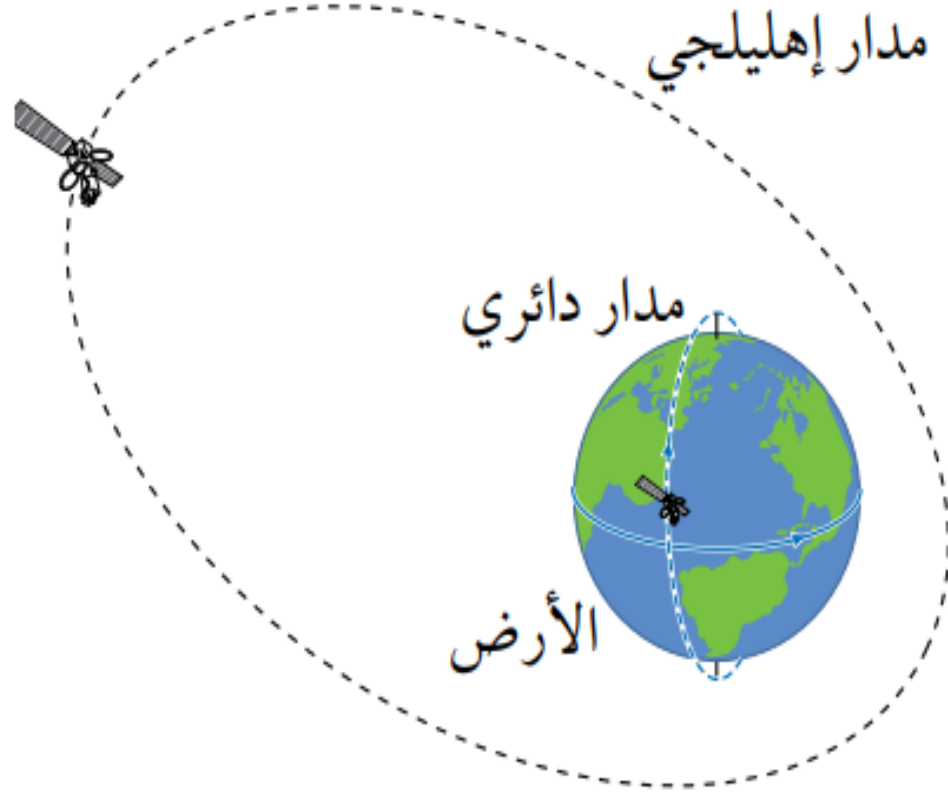
يبين المخطط قمرًا صناعيًا وهو يدور لولبيًا نحو الأرض.

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



٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

مراقبة الأرض



الشكل ١-٨ قمران صناعيان يدوران حول الأرض.

يوضح الشكل ١-٨ مدارين نموذجيين، أحدهما لقمر صناعي في مدار دائري قريب من سطح الأرض ويمر من فوق القطبين، ويكمل نحو 16 دورة في 24 ساعة، حيث «يرى» القمر الصناعي شريطاً مختلفاً من سطح الأرض خلال كل دورة له في أثناء دوران الأرض من تحته؛ أما المدار الآخر فهو لقمر صناعي يدور في مدار إهليلجي فيرى مشهداً أبعد للأرض.

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

مدارات الأقمار الثابتة بالنسبة إلى الأرض

مصطلحات علمية

مدار الأقمار الثابتة بالنسبة إلى الأرض

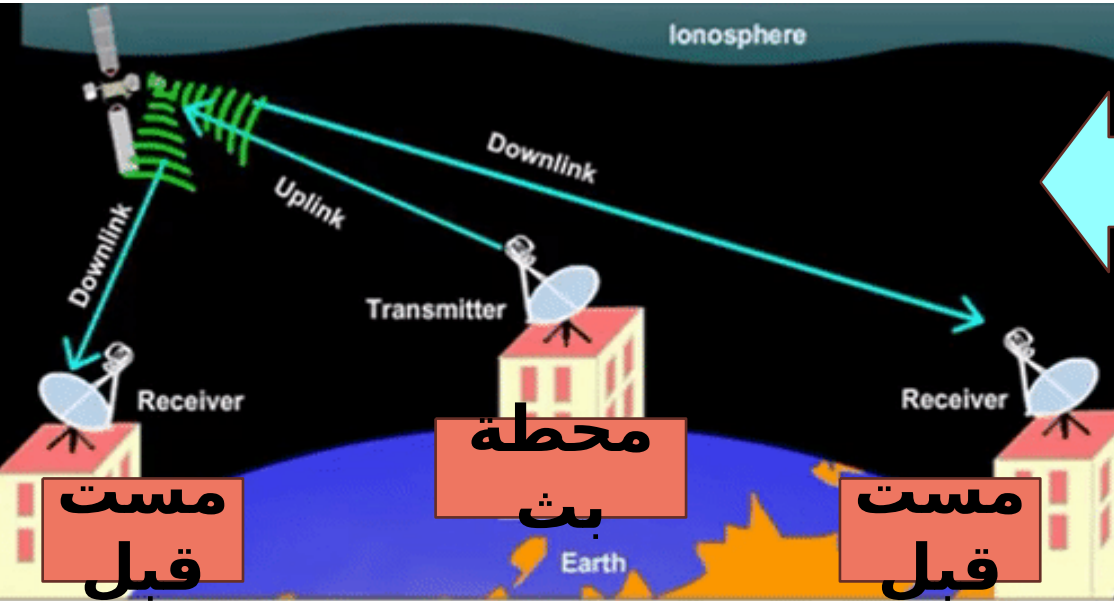
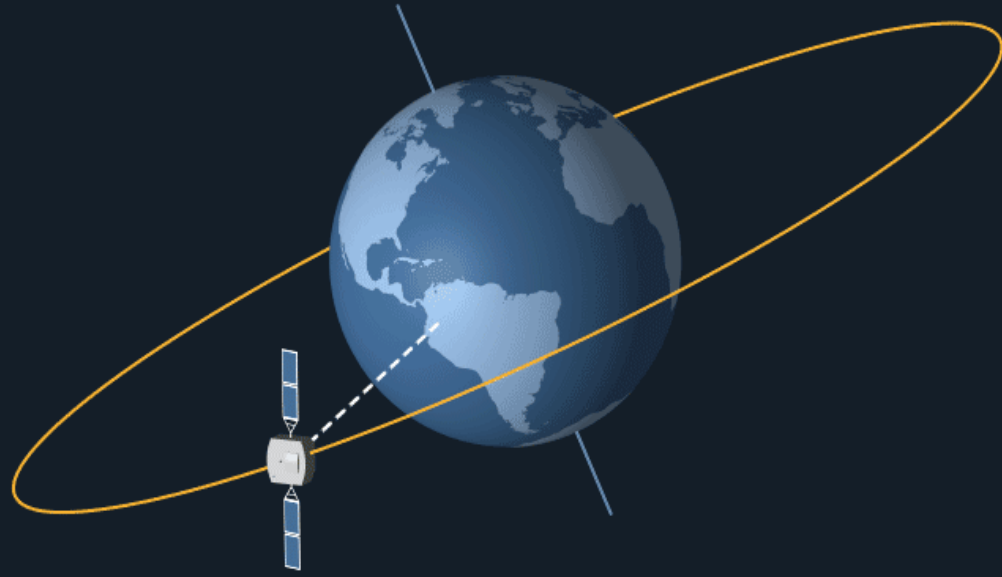
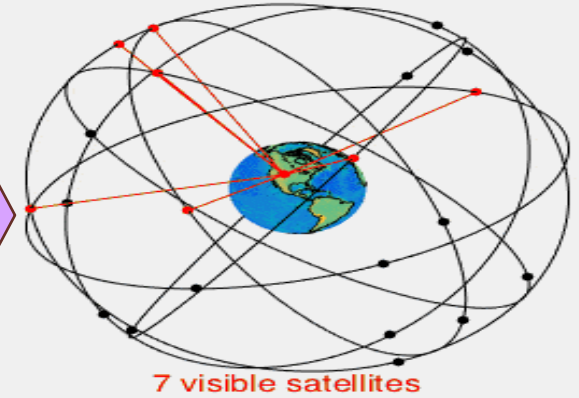
: Geostationary orbit

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

تتجه أطباق استقبال إشارات الأقمار الصناعية الثابتة إلى النقطة نفسها في السماء

الأقمار الصناعية التي تتحرك في مدارات أخرى عبر السماء

فتحتاج إلى نظام تتبع للتواصل معها



The time period for one complete orbital motion of an artificial satellite is equal to the time period of the earth's one complete rotation.

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

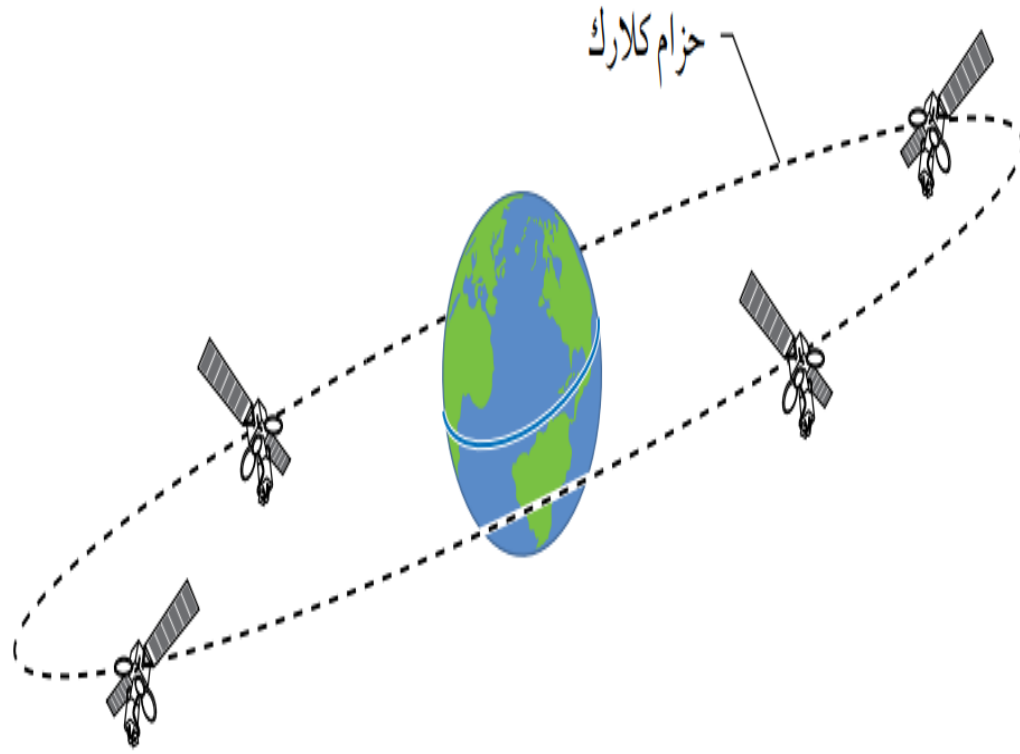
مدارات الأقمار الثابتة بالنسبة إلى الأرض

يمكن تحديد بُعد القمر الصناعي في المدار الثابت بالنسبة إلى الأرض باستخدام المعادلة:

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



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



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

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

$$T = 24 \text{ hours} = 86400 \text{ s}$$

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

$$86400^2 = \left(\frac{4\pi^2}{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}} \right) r^3$$

$$r^3 = \frac{86400^2}{\left(\frac{4\pi^2}{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24}} \right)}$$

$$r^3 = 7.57 \times 10^{22} \text{ m}^3$$

$$r = \sqrt[3]{7.57 \times 10^{22}}$$

$$r \approx 4.23 \times 10^7 \text{ m} = (42300 \text{ km})$$

يعادل 6.6 مرة قدر نصف قطر الأرض مقاسًا من مركز الأرض (أو 5.6 مرة قدر نصف قطر الأرض مقاسًا من سطحها)

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

أسئلة ص 35

١٣ 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 ($6.4 \times 10^{23} \text{ kg}$)، وزمنه الدوري 24.6 ساعة.

$$r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2}$$
$$r^3 = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.4 \times 10^{23} \times (24.6 \times 3600)^2}{4\pi^2}$$
$$= 8.48 \times 10^{21} \text{ m}^3$$
$$r = 2.0 \times 10^7 \text{ m}$$

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

أسئلة ص ٣٥

١٤

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

ستحتاج إلى ما يأتي:

• نصف قطر المدار الثابت

بالنسبة إلى الأرض = 42300 km

• نصف قطر الأرض = 6400 km

• سرعة الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ تساوي

$$c = 3.0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

المسافة المقطوعة للإشارة 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 :

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

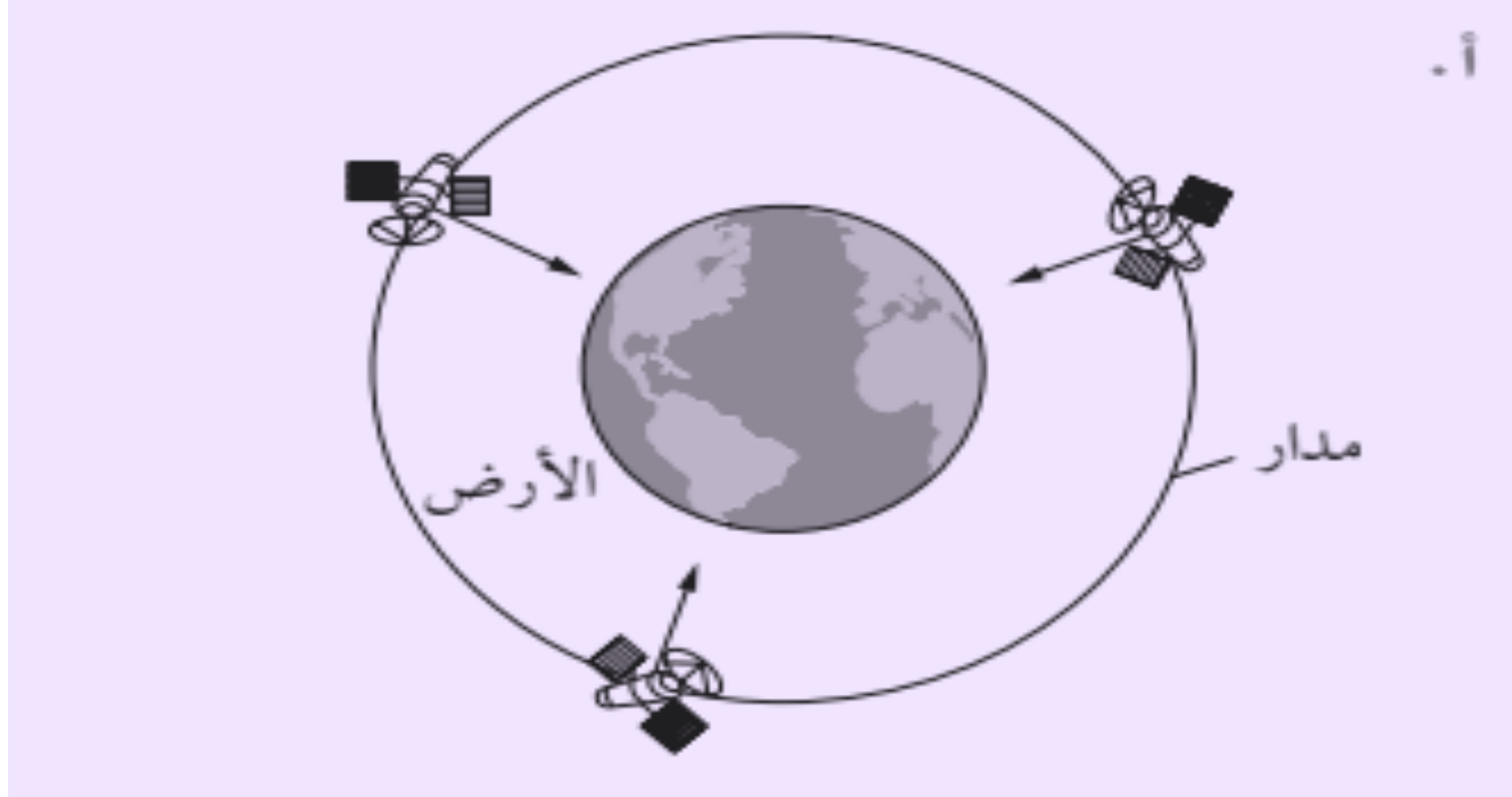
$$t = \frac{7.18 \times 10^7}{3.0 \times 10^8} = 0.24 \text{ s}$$

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

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

نشاط ١-٥ الدوران تحت تأثير الجاذبية

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



- أ. أضف سهم قوة إلى الرسم في الشكل لكل مركبة فضائية لإظهار تأثير قوة جاذبية الأرض عليها.

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

نشاط ١-٥ الدوران تحت تأثير الجاذبية

١. ب.

المسافة:

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

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6.0 \times 10^{24} \times 450}{(9.0 \times 10^6)^2} = 2223.3 \approx 2200 \text{ N}$$

ج.

تعمل قوة الجاذبية كقوة مركزية:

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

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

د.

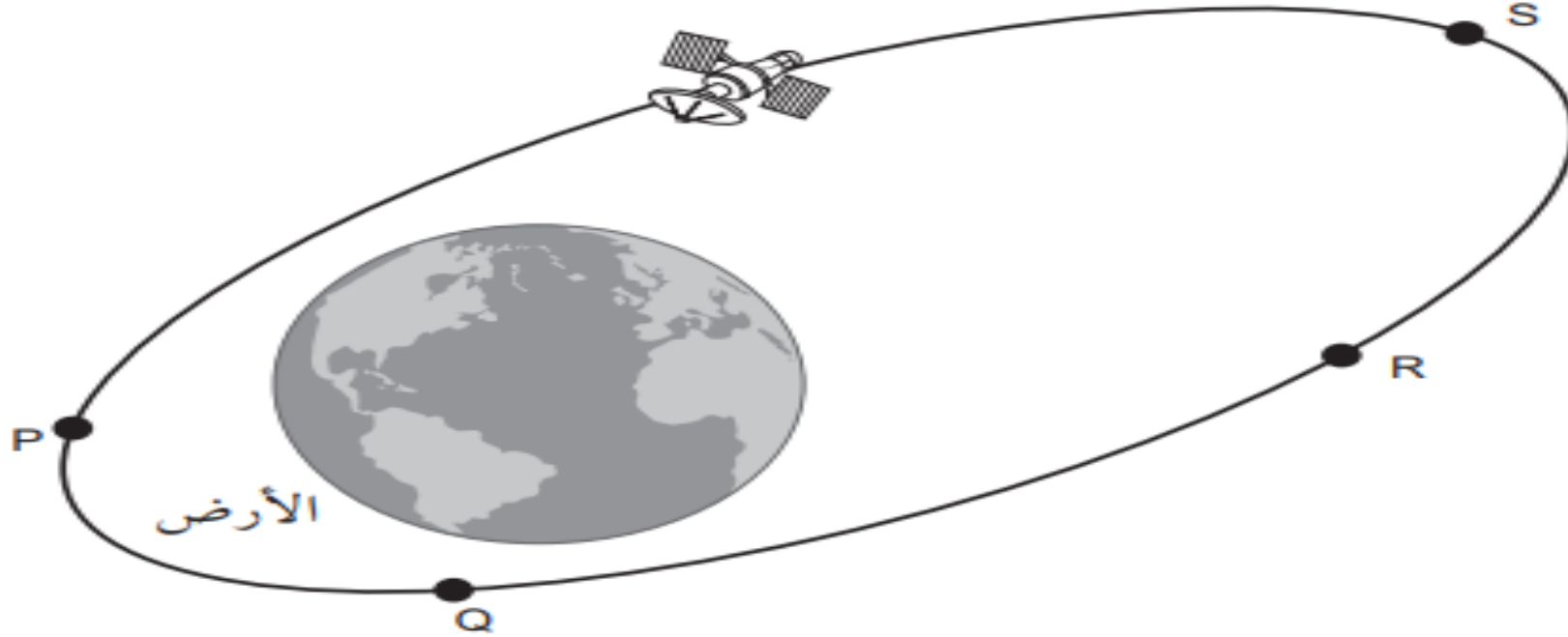
$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi \times 9.0 \times 10^6}{6600} \approx 8500 \text{ s}$$

أو 140 دقيقة تقريبًا.

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

نشاط ١-٥ الدوران تحت تأثير الجاذبية

٢. يوضح الشكل ٧-١ مركبة فضائية في مدار إهليلجي حول الأرض. تتغير المسافة بينها وبين الأرض نتيجة حركتها حول المدار:



قم بتضمين الأسباب لإجاباتك عن الأسئلة الآتية:

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

S

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

نشاط ١-٥ الدوران تحت تأثير الجاذبية

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

S، حيث إن قوة الجاذبية تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بين مركزي الكتلتين.

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

S، لأنها أقل قيمة سالبة في هذه النقطة.

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

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

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

نشاط ١-٥ الدوران تحت تأثير الجاذبية

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.
١. حدّد الزمن الدوري لمركبة فضائية تدور حول الأرض في مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض. أعط إجابتك بوحدة الثانية.

الزمن الدوري المداري هي فترة دوران الأرض
حول نفسها أي ٢٤ ساعة.

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

٤-١ الدوران تحت تأثير الجاذبية

نشاط ١-٥ الدوران تحت تأثير الجاذبية

ص

٣. 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:

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

١. M = كتلة المريخ.

r = المسافة من مركز المريخ إلى موقع القمر الصناعي.

٢. للمريخ:

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

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

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

شكّر
الكم