الفيزيائي المحترف

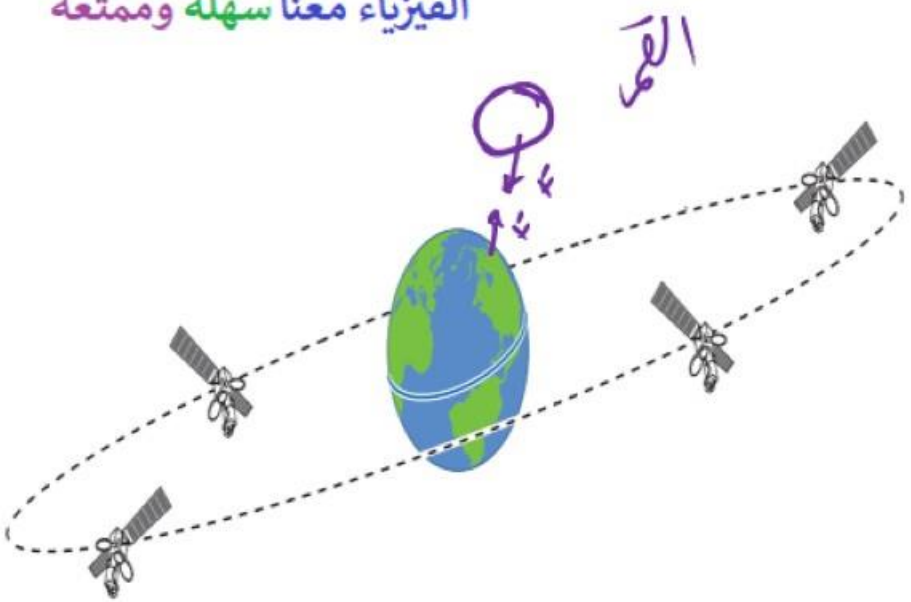
برنامج يساعدك على فهم الفيزياء بسهولة والحصول على أعلى الدرجات

إعداد: أ. خليل بن صالح بن سليمان العزري

مشرف فيزياء سابق بمحافظة الداخلية

١-٤ الدوران تحت تأثير الجاذبية

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة



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

من خلال الشكل المقابل:

س١: لماذا لا تسقط الأقمار الصناعية على الأرض؟

س٢: هل يلزم أن تكون جميع الأقمار لها نفس الكتلة لكي تدور في نفس المدار؟

س٣: استنتج العلاقة لحساب سرعة القمر الصناعي في المدار.

س٤: استنتج العلاقة لحساب الزمن الدوري للقمر الصناعي.

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة

(الشكل ١-٧)، وهذه حالة بسيطة حيث توجد قوة واحدة فقط تؤثر على القمر الصناعي وهي قوة الجاذبية الأرضية.

يتبع القمر الصناعي مسارًا دائريًا؛ لأن قوة الجاذبية تكون بزاوية قائمة على سرعته المتجهة.

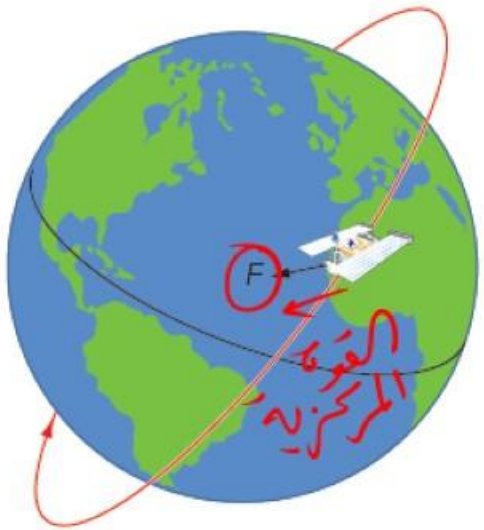
$F = ma$ → التسارع المركزي للقمر

القوة المركزية = قوة الجاذبية بين الأرض والقمر الصناعي

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

وبإعادة الترتيب نحصل على المعادلة:

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



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

الفيزيائي المحترف

الفيزياء معنا سهلة وممتعة

ما هي العوامل التي تعتمد عليها سرعة الجسم في المدار؟

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

M: كتلة الجسم المنشئ للمجال.

r: المسافة من مركز الجسم المنشئ للمجال.

ماذا تلاحظ على العلاقة

السرعة الخطية للمدار ← $v^2 = \frac{GM}{r} = \phi$

مربع سرعة المدار تساوي جهد الجاذبية (بالموجب) عند ذلك المدار

الصورة ١–٣ يتحرك كل من رائد الفضاء والمركبة الفضائية عبر الفضاء خلال هذه الرحلة الفضائية بسرعة تزيد عن ($8\ km\ s^{-1}$).

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة

تنبيهات مهمة

القوة المركزية = قوة الجاذبية بين الأرض والقمر الصناعي

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

اكتب العلاقة لحساب التسارع المركزي للقمر الصناعي

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

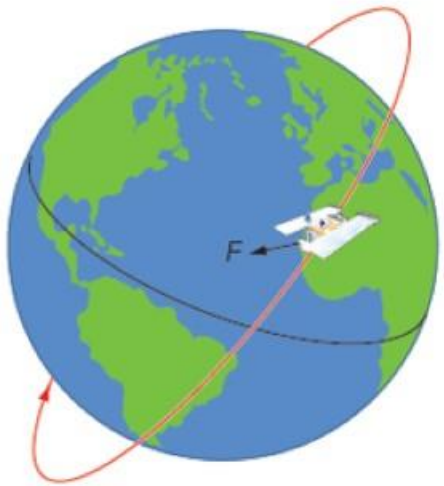
اكتب العلاقة لحساب شدة مجال جاذبية الأرض عند موقع القمر الصناعي

a = (التسارع المركزي للقمر) g = (شدة مجال جاذبية الأرض)

اكتب العلاقة لحساب قوة جاذبية الأرض للقمر الصناعي

$F = ma$ ← التسارع المركزي للقمر الصناعي

m ← كتلة القمر الصناعي

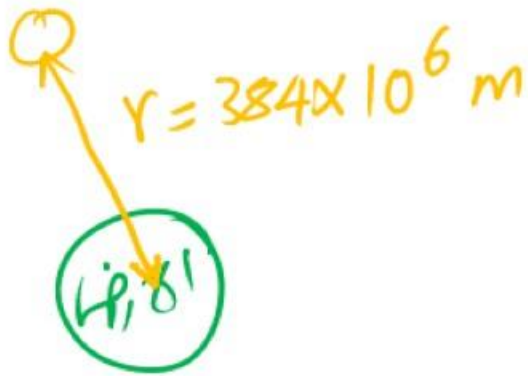


الشكل ١-٧ تعمل قوة الجاذبية الأرضية كقوة مركزية تؤثر على القمر الصناعي وتبقيه في المدار.

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة

مثال

٣. يدور القمر حول الأرض على مسافة متوسطها (384 000 km) من مركز الأرض. احسب سرعته المدارية. (كتلة الأرض 6.0×10^{24} kg).



$$V^2 = G\frac{M_E}{r}$$

$$V = \sqrt{\frac{6.67\times10^{-11}\times 6.0\times10^{24}}{384\times10^{6}}}$$

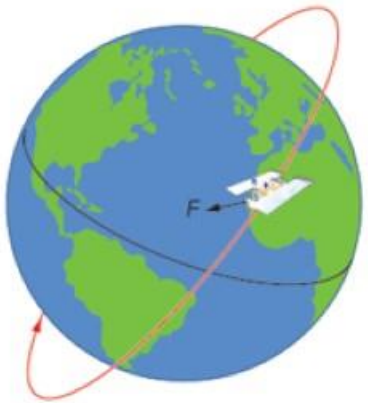
$$V = 1020.9 \ m/s$$

$$= 1.0\times10^{3} \ m/s$$

$$= 1 \ Km.s^{-1}$$

الزمن الدوري المداري

من خلال الشكل المقابل استنتج العلاقة لحساب الزمن اللازم لدوران القمر الصناعي دورة كاملة حول الأرض (الزمن الدوري المداري).



ما هي العوامل التي يعتمد عليها الزمن الدوري المداري؟

r: المسافة من مركز الجسم المنشأ للمجال.

M: كتلة الجسم المنشئ للمجال

السرعة = المسافة / الزمن

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

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

$$V^2 = G\frac{M}{r}$$

بتربيع الطرفين

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

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

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

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

مصطلحات علمية

الزمن الدوري المداري

Orbital period:

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

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة

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

تبيّن هذه المعادلة أن الزمن الدوري المداري (T) مرتبط بنصف قطر المدار (r)، حيث يتناسب مربع الزمن الدوري طرديًا مع مكعّب نصف القطر ($T^2 \propto r^3$)، وهذه نتيجة مهمة اكتَشفت لأول مرة على يد يوهانس كبلر Johannes Kepler، الذي حلّل البيانات المتاحة آنذاك لكواكب النظام الشمسي، وقد كانت هذه نتيجةً تجريبيةً (اقتصرت على التجربة) لعدم وجود نظرية لديه تشرح سبب وجود هذه العلاقة بين (T) و (r)، ولم يكن من الممكن تفسيرها حتى صاغ إسحق نيوتن قانون الجاذبية الخاص به.

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة

ماذا يحدث للقمر الصناعي إذا زادت أو قلت سرعته عن السرعة المناسبة للمدار؟

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

إذا تم وضع قمر صناعي في مدار نصف قطره (r) ويتحرك بسرعة ابتدائية (v) أقل من السرعة المناسبة للمدار، فسوف يسقط القمر الصناعي باتجاه الأرض. يتطلب هذا الأمر اكتساب سرعة إضافية (حيث تتحول طاقة وضع الجاذبية إلى طاقة حركة) حتى تصل سرعته إلى السرعة المناسبة لنصف قطر مداره (الجديد الأقرب إلى الأرض). وعلى العكس من ذلك إذا كانت السرعة الابتدائية عالية جدًا، فسينتقل القمر الصناعي إلى مدار أعلى بعيدًا عن الأرض ريثما يعود إلى المدار الذي نصف قطره (r)، ويتطلب ذلك فقده لسرعته حتى تصل سرعته إلى السرعة المناسبة للمدار (r).

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة

مراقبة الأرض

للأقمار الصناعية استخدامات عديدة متنوعة، إذ يُستخدم الكثير منها لمراقبة سطح الأرض لأغراض تجارية أو بيئية أو جوية أو عسكرية، ويُستخدم بعضها الآخر في الرصد الفلكي، مستفيدين من وجودها فوق الغلاف الجوي للأرض، كما يُستخدم بعضها الآخر في الملاحة والاتصالات اللاسلكية والبث الإذاعي.

يوضح الشكل ١-٨ مدارَين نموذجيَّين، أحدهما لقمر صناعي في مدار دائري قريب من سطح الأرض ويمر من فوق القطبَين، ويكمل نحو 16 دورة في 24 ساعة، حيث «يرى» القمر الصناعي شريطًا مختلفًا من سطح الأرض خلال كل دورة له في أثناء دوران الأرض من تحته؛ أمّا المدار الآخر فهو لقمر صناعي يدور في مدار إهليلجي فيرى مشهدًا أبعد للأرض.

الشكل ١-٨ قمران صناعيان يدوران حول الأرض.

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة

مدارات الأقمار الثابتة بالنسبة إلى الأرض :

هناك نوع خاص من المدارات يتحرك فيه القمر الصناعي من الغرب إلى الشرق، ويُوضع بحيث يدور في أثناء دوران الأرض من تحته بالسرعة الزاوية نفسها، فيظل القمر الصناعي فوق نقطة ثابتة على خط الاستواء، هذا النوع من المدارات يُسمى **مدار الأقمار الثابتة بالنسبة إلى الأرض Geostationary orbit**.

هناك أكثر من 300 قمر صناعي في مثل هذه المدارات، وتُستخدم هذه الأقمار للاتصالات اللاسلكية مثل بث رسائل الهواتف حول العالم، وبث القنوات التلفزيونية الفضائية، حيث تُرسل المحطة الأساسية على الأرض الإشارة التلفزيونية إلى القمر الصناعي الذي يُضخّمها ويبثها مرة أخرى 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.

الزمن الدوري للقمر الصناعي = الزمن الدوري للأرض

$T = 24 \times 60 \times 60$

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة

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

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

ولكي يبقى القمر الصناعي فوق نقطة ثابتة على خط الاستواء يجب أن يستغرق 24 ساعة بالضبط لإكمال دورة واحدة (الشكل ١-٩).

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

نحن نعلم أن:

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

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

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

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

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

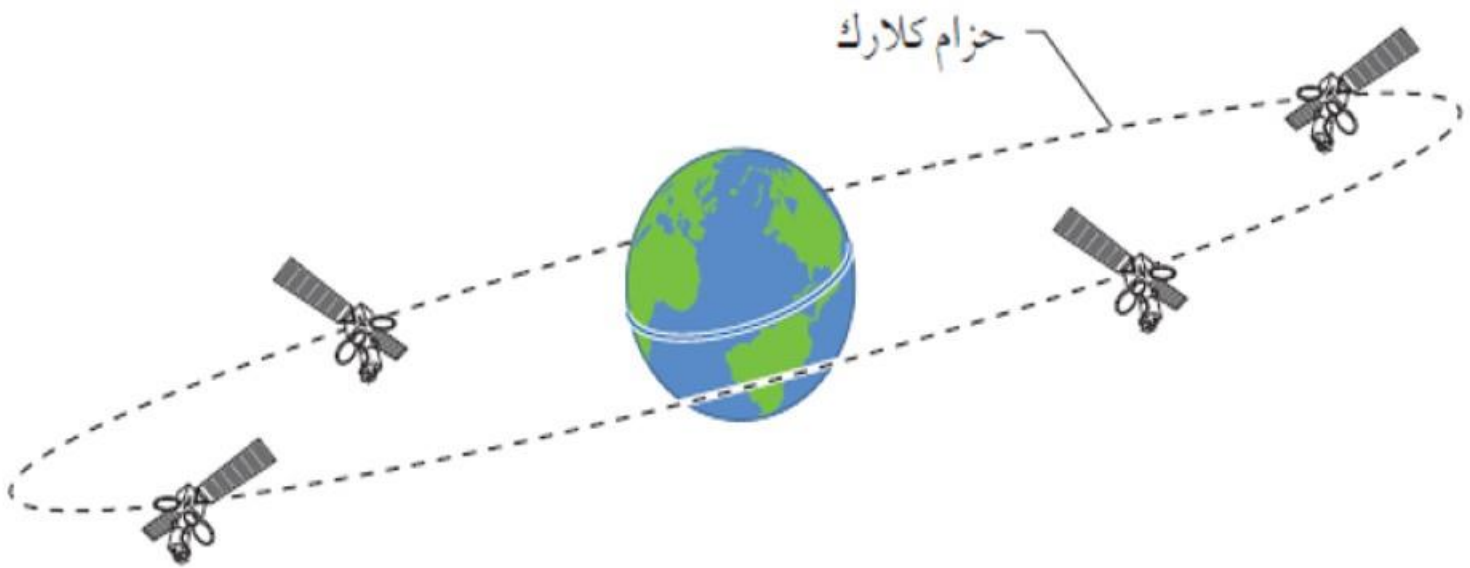
$$r^3 = 7.57 \times 10^{22}\ \text{m}^3$$

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

$$r \approx 4.23 \times 10^{7}\ \text{m}$$

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة

لذلك، لكي يبقى القمر الصناعي في مدار ثابت بالنسبة إلى الأرض، يجب أن يكون على بُعد (42300 km) من مركز الأرض وعند نقطة تقع فوق خط الاستواء مباشرة. لاحظ أن نصف قطر الأرض (6400 km)، وبالتالي فإن نصف قطر المدار يعادل 6.6 مرة قدر نصف قطر الأرض مقاسًا من مركز الأرض (أو 5.6 مرة قدر نصف قطر الأرض مقاسًا من سطحها). رُسم الشكل ١-٩ ليعطي تصورًا عن مدى كبر المدار.



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

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة

ملخص الدرس

① لا تسقط الأقمار الصناعية نحو الأرض لأنها تتحرك بسرعة في مدار دائري.

② لكل مدار له سرعة خاصة به.

③ تعتمد سرعة المدار على كتلة الجسم المنشئ للمجال والمسافة عن مركزه.

④ انتبه للعلاقات التالية: $V^2 = \phi$ ، $a = \frac{V^2}{r}$ ، $F = ma$ ، $T = \frac{2\pi r}{V}$

⑤ $T^2 \propto r^3$

⑥ السرعة الابتدائية للقمر الصناعي لابد أن تساوي سرعة المدار.

⑦ توجد أنواع من المدارات للأقمار الصناعية حسب استخدامها فبعضها في مدار دائري (ثابت) والبعض في مدار اهليلجي.

الفيزيائي المحترف
الفيزياء معنا سهلة وممتعة

أهداف التعلّم

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

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

برنامج يساعدك على فهم الفيزياء بسهولة والحصول على أعلى الدرجات

انتهت مادة هذه الحلقة

نلتقي بإذن الله في الحلقة القادمة

proof.physicist40@gmail.com