



الجمهورية العربية السورية

جامعة دمشق

كلية الهندسة المعلوماتية

مادة الحسابات العلمية

دراسة فيزيائية عن حركة القمر الصناعي

إعداد:

أنس محمد ريش

انس خالد دره

محمد هادي أحمد بركات

جمان محمد غسان دقماق

التاريخ

2022/5/8

مقدمة:

الـ **Satellite** هو أي جسم يدور حول الأرض، الشمس أو أي جسم ضخم آخر.

يمكن أن تصنف الـ **Satellites** الى نوعين هما:

man-made Satellites و natural Satellites

حيث يعد القمر، المذنبات والكواكب مثال عن الـ **natural Satellites** و تصاحبها في نفس المدار أقمار صناعية تطلق من الأرض (man-made satellites) لأغراض معينة مثل التواصل، الأبحاث العملية، التنبؤ بالطقس و الاستخبارات.

سواء كان قمر (moon)، كوكب (planet) أو قمر صناعي من صنع الإنسان، فإن حركة كل **Satellite** تحكمها نفس المفاهيم الفيزيائية و يتم وصفها بنفس المعادلات الرياضية.

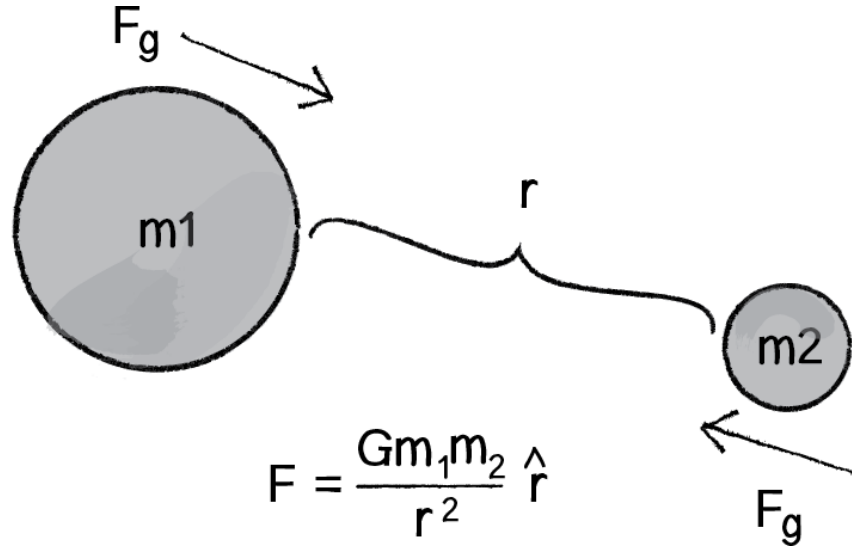
إن الشيء الذي تشترك فيه هذه الأجسام جميعها هو أنها تتحرك في مدارات، وهو ما يعني أنها تتبع مسارات دورية حول جسم أكبر.

تدور الكواكب حول النجوم، وفي المقابل تدور الأقمار حول الكواكب.

«الجرم التابع» مصطلح عام لأي جسم يدور حول كوكب أو نجم، ومن ثم تعد الكواكب والأقمار أجراما تابعة أيضا.

أي جسم له كتلة يؤثر بقوة جاذبية على أي جسم آخر له كتلة.

تؤثر القوة على امتداد الخط المستقيم الواصل بين مركزي كتلة الجسمين، حيث تعمل على جذب الجسمين، أي سحب كل منهما باتجاه الآخر.



ويعتمد مقدار قوة الجاذبية على كتلة الجسمين والمسافة بينهما.

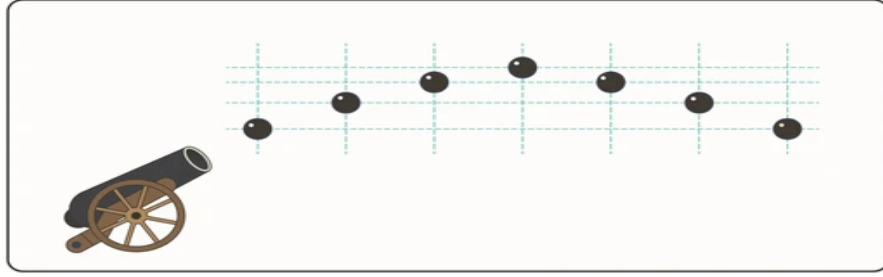
تؤثر الكتلة الكبرى بقوة جاذبية أكبر، وتكون القوة أكبر كلما اقترب الجسمان أحدهما من الآخر.

على سبيل المثال القمر، على الرغم من أن كتلة الشمس أكبر من كتلة الأرض مرات عديدة، فإن القمر أقرب بكثير إلى الأرض منه إلى الشمس، لذا تهيمن الأرض على قوة الجاذبية التي يتأثر بها القمر.

يعد القمر الصناعي من الأجرام التابعة أيضا فهو الة تطلق في الفضاء وتدور حول الأرض أو أي جسم آخر.

تمهيد لفكرة القمر الصناعي:

عندما يقذف المدفع قذيفة (Projectile) ما فهي سوف تتجه كما في الصورة وذلك بسبب الاحتكاك والجاذبية الأرضية وهذه القوى هي التي تجعلها تنحرف للأرض و تسقط.



فلولا وجود هذه القوى فإن القذيفة لن تسقط ابدا نحو الأرض بل سوف تسير مباشرة في خط مستقيم بسرعة منتظمة و ستخرج من الأرض و تسير بشكل لا نهائي حتى تصطدم بجسم ما.

لنفرض أن القذيفة تتأثر بقوة الجاذبية الأرضية و هي القوة التي تجذبها الأرض بالإضافة لقوة أخرى تدفعها نحو الخارج حيث تتساوى القوتين (بفرض عدم وجود احتكاك) , هنا سوف تتخذ القذيفة مدارا حول الأرض و سوف تسير بشكل لا نهائي.

فلو اعتبرنا أن القذيفة السابقة هي قمر صناعي تم وضعه الفضاء و تم التأثير عليه بنفس القوتين السابقتين الاولى تجذبه نحو جسم ما ضخم و الثانية تدفعه بعيدا فسوف يسير القمر في مسار (Orbit) لا نهائي حول الجسم الذي يجذبه.

انواع المدارات:

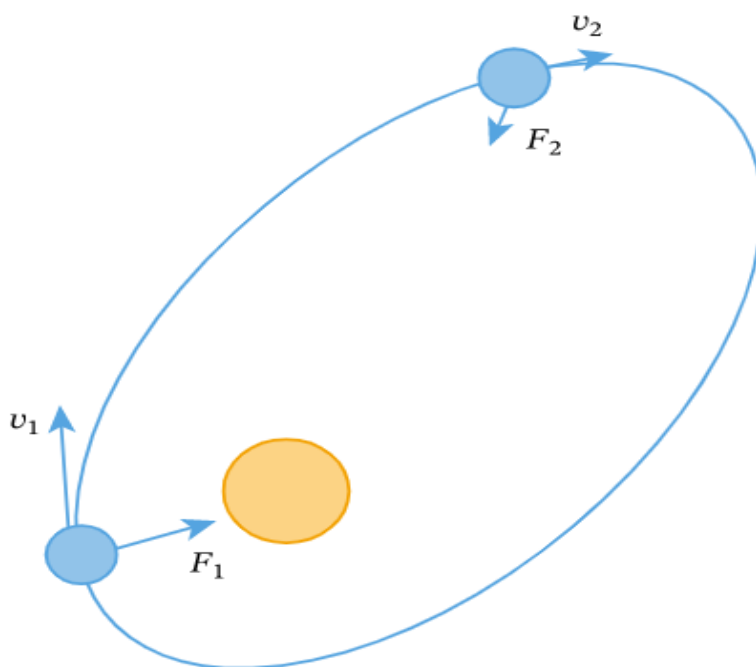
معظم المدارات ليست دائرية، وإنما إهليجية. يتبع الجسم في المدار الإهليلجي مساراً على شكل قطع ناقص. ولا يقع الجسم الكبير في مركز القطع الناقص، بل يكون أقرب إلى أحد الجانبين (التعبير الرياضي لذلك هو أن الجسم الكبير يقع عند إحدى بؤرتي القطع الناقص).

بالتالي المسافة بين الجسم الكبير والجسم الصغير تتغير خلال المدار الإهليلجي بأكمله.

وهذا يعني أن مقدار قوة الجاذبية يتغير فتكون القوة أكبر عندما يكون الجسم أقرب إلى الجسم الكبير، وتكون أقل عندما يكون الجسم الصغير أبعد عن الجسم الكبير.

يؤثر مقدار قوة الجاذبية المتغير ايضا على سرعة الجسم ففي المدار الإهليجي، لا يتغير اتجاه السرعة فحسب، بل يتغير مقدارها أيضا.

يتحرك الجسم بسرعة أكبر عندما يكون أقرب إلى الجسم الكبير، ويتحرك بسرعة أقل عندما يكون أبعد منه.



في الواقع، جميع المدارات المستقرة إهليجية، وتمثل الدائرة حالة خاصة من القطع الناقص.

عادة ما نرسم مدار الأرض حول الشمس على شكل دائرة، على الرغم من أنه في الواقع إهليجي الشكل قليلاً، تكون الأرض أقرب قليلاً إلى الشمس في شهر يناير منها في شهر يوليو. والفرق صغير جداً لدرجة أننا يمكننا عادة تقريب المدار إلى مدار دائري.

دراسة السلوك الفيزيائي للقمر الصناعي:

فيما يلي سناقش القوى المؤثرة على حركة القمر الصناعي و هي:

الجاذبية
قوة الطرد المركزي
قوة الاحتكاك
قوة الدفع

1- الجاذبية:

و هي تعني ميل الأجسام للاتجاه نحو بعضها البعض و تم صياغة قانون الجاذبية العام من قبل العالم نيوتن حيث قام بربط الكتلة و ثابت الجذب العام لكيبلر و المسافة بين الجسمين.

$$F_g = \frac{G \cdot M \cdot m}{d^2}$$

حيث:

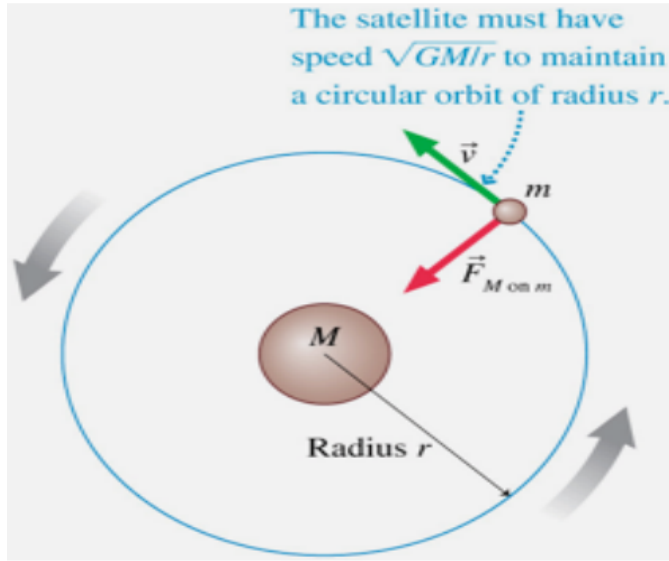
G	ثابت الجذب
M	كتلة الكوكب
m	كتلة القمر
d	البعد بين مركزي الجسمين

لنفترض أن قمر صناعي يتحرك متجاوزا كوكب ذو كتلة كبيرة على الرغم من أن القمر والكوكب يؤثر كل منهما بقوة الجاذبية نفسها، إلا أن كتلة القمر الصناعي أصغر لذا ستؤثر القوة تأثيراً أكبر على حركته. ويعتمد ما يحدث لمساره على مدى قوة الجاذبية

ومدى سرعته. إذا كان القمر يتحرك بسرعة صغيرة، فستجذب قوة جاذبية الكوكب القمر في مسار منحني، حيث يصطدم القمر الصناعي بالكوكب في النهاية.

و إذا كان القمر يتحرك بسرعة كبيرة، فسيكون تأثير قوة جاذبية الكوكب أقل على حركة القمر الصناعي. وينجذب القمر في اتجاه الكوكب، وهو ما يتسبب في انحراف مساره لكنه يتحرك بسرعة كافية للإفلات من جاذبية الكوكب.

و يتشكل المدار إذا لم يتحرك القمر الصناعي بسرعة كبيرة ولا بسرعة صغيرة. أي إذا كانت سرعته مناسبة، فيتحرك القمر حول الكوكب في مدار منتظم.



عندما يدور جسم حول جسم كبير يكون هناك توازن تام بين حركته وقوة الجاذبية المؤثرة عليه. تؤثر قوة الجاذبية دائما في اتجاه الجسم الكبير، وتسحب الجسم الصغير ناحيته وتغير اتجاهه، لكن الجسم الصغير يتحرك بسرعة كافية تضمن عدم سقوطه للداخل. يمكننا التفكير في ذلك على أنه سقوط مستمر للجسم الصغير في اتجاه الجسم الكبير، لكن حركة الجسم الصغير بسرعة مناسبة تمكنه من الإفلات من الجسم الكبير.

في المدار الدائري يقع الجسم الكبير عند المركز ويتبع الجسم الصغير مسارا دائريا حوله وتؤثر قوة الجاذبية على الجسم الصغير دائما في اتجاه مركز الدائرة. وتكون سرعة الجسم الصغير مماسة للدائرة وتشير إلى اتجاه الحركة، وتكون عمودية دائما على القوة.

عندما يتحرك الجسم في مدار دائري لا تتغير المسافة بينه وبين الجسم المركزي ويمكن أن نفترض أن كتلي الجسم الصغير والجسم الكبير لا تتغيران ولذا يظل

مقدار قوة الجاذبية كما هو أما اتجاه القوة فإنه يتغير دائما بحيث يظل مشيرا إلى مركز الدائرة.

و إذا لم تكن هناك قوى أخرى تؤثر على الجسم الصغير فإن مقدار السرعة المتجهة (الذي يعرف أيضا بالسرعة القياسية) يظل كما هو. لكن اتجاه متجه السرعة يتغير بحيث يكون دائما عموديا على اتجاه القوة.

ما يحدث هنا هو أن قوة الجاذبية تجعل الجسم الصغير يتحرك بعجلة باتجاه الجسم الكبير. تعرف العجلة بأنها معدل تغير السرعة المتجهة.

الكوكب يجذب القمر بقوة Fg_{sat} و تكون جهة القوة هي من القمر باتجاه الكوكب.

$$\vec{r} = position_{satellite} - position_{planet}$$

$$\hat{r} = \vec{r} / magnitude(\vec{r})$$

شدة القوة:

$$\frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

و حسب قانون نيوتن الثاني فإن تسارع الجسم مرتبط بعاملين , الأول هو محصلة القوة المؤثرة على الجسم (القمر الصناعي) والعامل الثاني هو كتلة الجسم :

$$\vec{f} = m_{satellite} \cdot \vec{a}_{satellite}$$

محصلة القوى المؤثرة على القمر الصناعي هي قوة وحيدة كما ذكرنا سابقا وهي قوة الجذب من الكوكب:

$$Fg_{satellite} = m_{satellite} \cdot a_{satellite}$$

$$\Rightarrow a_{satellite} = \frac{Fg_{satellite}}{m_{satellite}}$$

و بالتالي فان سرعة القمر الصناعي الجديدة تحسب بكل لحظة كالتالي :

$$\Delta v_{satellite} = a_{satellite} \cdot \Delta t$$

$$\Rightarrow v_{new} - v_{old} = a_{satellite} \cdot \Delta t$$

$$\Rightarrow v_{new} = v_{old} + (a_{satellite} \cdot \Delta t)$$

وانطلاقا من السرعة الجديدة يمكننا حساب الموقع الجديد للقمر في كل لحظة :

$$\Delta x = v_{new} \cdot \Delta t$$

$$\Rightarrow x_{new} - x_{old} = v_{new} \cdot \Delta t$$

$$x_{new} = x_{old} + (v_{new} \cdot \Delta t)$$

وبنفس الطريقة فإن القمر يجذب الكوكب بقوة Fg_{planet} حيث :

$$\vec{f}g_{planet} = - \vec{f}g_{satellite}$$

لكن تأثير القوة على تسارع الكوكب محدود جدا من العلاقة :

$$\begin{aligned}\varepsilon F &= m_{planet} \cdot \vec{a}_{planet} \\ \Rightarrow Fg_{planet} &= m_{planet} \cdot a_{planet} \\ \Rightarrow a_{planet} &= \frac{Fg_{planet}}{m_{planet}}\end{aligned}$$

إذا تأثر تسارع الكوكب بقوة الجذب الناتجة عن القمر الصناعي صغيرة جدا بسبب كتلة الكوكب الكبيرة.

وهذا منطقي فذات القوة تعطي تأثير أكبر على الأجسام ذات الكتل الأصغر منها من الأجسام ذات الكتل الأكبر.

2- قوة الطرد المركزي:

تبعاً لقانون نيوتن الثالث ، لكل فعل رد فعل يعاكسه بالجهة و يساويه بالشدة.

يوجد لدينا قوتين هما:

Centripetal Force : قوة تطبق على جسم يتحرك بمسار دائري و التي تكون موجهة لمركز المسار الذي يتحرك الجسم حوله (toward).

Centrifugal Force : قوة تطبق على جسم يتحرك بمسار دائري و التي تكون موجهة لخارج مركز المسار الذي يتحرك الجسم حوله (outward).

حيث ال Centripetal Force هو الفعل الذي يتم موازنته (balanced) برد فعل هو ال Centrifugal Force فهاتان القوتان متساويتان بالشدة و متعاكستان بالاتجاه.

القوة Centrifugal هي قوة غير حقيقية (imaginary) , فحسب قانون نيوتن الاول, ان لم يوجد قوى تؤثر على الجسم فهو يميل للتحرك بخط مستقيم و لكن عند التحرك

بمسار دائري تشعر أن هناك قوة تدفعك خارج المسار (نتيجة ميل الأجسام للتحرك بخط مستقيم).

نستنتج مما سبق أن هاتين القوتين لا يمكن أن يكونا زوج (فعل-رد فعل) لأن زوج (فعل-رد فعل) هو عبارة عن قوتان حقيقيتان تطبقان على جسمين مختلفين , على سبيل المثال عندما تدفع حائط و الحائط يدفعك يوجد قوة مطبقة عليك و قوة مطبقة على الحائط.

$$F_{centripetal} = F_{centrifugal} = m \cdot \frac{v^2}{r}$$

حيث:

كتلة الجسم	m
سرعة الجسم	v
نصف قطر الدوران	r

3- قوة الاحتكاك:

هي قوة معاكسة للقوة المحركة و تعمل على تقليل سرعة الأجسام و هي ناتجة عن تلامس بين جسمين مثل اعاقه الهواء لحركة السيارات على الارض.

وعلى الرغم من أن قوة الاحتكاك تكون أقل بكثير في الفضاء منها في الأرض إلا أنها قوة موجودة ولكنها صغيرة جدا مقارنة بالأرض.

قوة الاحتكاك قد تكون هي قوة الجر الناتجة عن وجود القمر الصناعي ضمن مدارات قريبة نسبيا من الارض و تنشأ هذه القوة من طبقة الأتموسفير.

والتي تعتبر فراغ جيد مقارنة بالأرض على ارتفاع بضع مئات الكيلومترات لكنها ما تزال تعطي تأثير تراكمي على سرعة القمر الصناعي وبالنهاية ستلعب دور مخفض السرعة مع مرور الوقت مما يدفع القمر للقيام بقوة دفع لتجنب الوقوع الاصطدام الأرض.

$$F_d = \frac{1}{2} p \cdot v^2 \cdot c_d \cdot A$$

حيث :

السطح المعرض للغازات	A
كثافة الغاز	p
سرعة الجسم مقارنة بالغاز	v
معامل الجر وهو معامل مرتبط بشكل الجسم بشكل اساسي	c_d

4- قوة الدفع:

ينص قانون نيوتن الثاني على أنه إذا أثرت قوة أو مجموعة قوى على جسم فإنها تكسبه تسارعا يتناسب طرديا مع محصلة القوى المؤثرة عليه و عكسيا مع كتلته

$$\vec{f} = m \cdot \vec{a}$$

الغرض من هذا القانون في دراستنا معرفة متى لن يتوقف القمر الصناعي عن الدوران عندما نتركه مع سرعة ابتدائية لنثبت أن القوى المؤثرة على القمر الصناعي تتمثل في القوة المحركة فقط.

لدينا:

$$\vec{f} = \vec{f} + \vec{p} + \vec{A} + \vec{B}$$

حيث:

القوة المحركة للقمر الصناعي	F
قوة الجاذبية	P
قوة الطرد المركزي	A
قوة الاحتكاك	B

من أجل ان يسير القمر انطلاقا من سرعة ابتدائية و بدون توقف نحتاج إلى أن تبقى القوة المحركة فقط.

نعلم سابقا أن قوة الاحتكاك شبه معدومة ($B \sim 0$). و كما ذكرنا ان قوة الجاذبية و قوة الطرد المركزي متعاكستين و بالتالي يمكن أن يكونا معدومين في حالة تساويهما.

وبالتالي هدفنا هو إيجاد شرط تكون فيه قوة الجاذبية والقوة الطاردة المركزية متساويتين و منه نستطيع تثبيت هذا الشرط للحصول على قمر صناعي يسير دون دوافع (فقط من خلال سرعة ابتدائية).

نفرض ان:

$$\begin{aligned} F_g &= F_{centrifugal} \\ G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2} &= \frac{m_2 \cdot v^2}{d} \\ G \frac{m_1}{d} &= v^2 \\ v &= \sqrt{G \frac{m_1}{d}} \end{aligned}$$

من خلال هذه المعادلة يمكننا معرفة السرعة التي يجب أن ندفع بها القمر الصناعي لكي يسير دون محرك (او دوافع).

تصادم الأجسام في الفضاء:

عندما يحدث التصادم بين جسمين في الفراغ فإن محصلة كمية الحركة للجسم الأول والجسم الثاني قبل الصدم تساوي محصلة كمية الحركة للجسمين بعد الصدم (بفرض عدم وجود أي قوى خارجية تؤثر على الجسمين).

بفرض وجود جسمين بالفضاء الجسم الأول يتحرك بسرعة 5 م/ث بكتلة 2 كيلوغرام بينما الجسم الآخر ساكن بكتلة 4 كيلوغرام. بفرض حدوث تصادم بين الجسمين. كمية الحركة قبل الصدم تساوي:

$$p = m \cdot v$$

$$(2 \times 5) + (4 \times 0) = 10 \text{ kg.m/s}$$

و تساوي كمية الحركة بعد الصدم أيضا.

وبالتالي سرعة الجسمين بعد الصدم ستكون :

$$10 = (v \times (4 + 2)) \Rightarrow v = 10 / 6 \text{ m/s}$$

من منظور الطاقة الحركية : $(K_e = \frac{1}{2} m \cdot v^2)$

$$K_e = \frac{1}{2} \times 2 \times 25 = 25 \text{ J} \text{ : الطاقة الحركية قبل الصدم}$$

$$K_e = \frac{1}{2} \times 6 \times \frac{25}{9} = \frac{25}{3} \text{ J} \text{ : الطاقة الحركية بعد الصدم}$$

نلاحظ أن محصلة الطاقة الحركية للجسمين نقصت والطاقة الضائعة مرتبطة بخصائص الجسمين فالطاقة الضائعة استهلكت في تغيير شكل الجسم .

ذكرنا أنه في الصدم المرن كمية الحركة قبل التصادم تساوي كمية الحركة بعد الصدم:

$$P_{before} = P_{after}$$

$$\Rightarrow m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2; p = m \cdot v$$

و نعلم أن الطاقة الحركية قبل الصدم تساوي الطاقة الحركية بعد الصدم :

$$Ek_{before} = Ek_{after}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot v'^2_1 + \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot v'^2_2$$

بالاستفادة من العلاقتين السابقتين:

$$v'_1 = \frac{v_1 \cdot (m_1 - m_2) + 2m_2 \cdot v_2}{(m_1 + m_2)}$$

$$v'_2 = \frac{v_2 \cdot (m_1 - m_2) + 2m_2 \cdot v_1}{(m_1 + m_2)}$$

من المعادلة الثانية لدينا :

$$m_1(v'^2_1 - v^2_1) = m_2(v^2_2 - v'^2_2)$$

$$m_1(v'_1 - v_1)(v'_1 + v_1) = m_2(v_2 - v'_2)(v_2 + v'_2) \quad (1)$$

و بالاستفادة من المعادلة الأولى :

$$m_1(v_1' - v_1) = m_2(v_2 - v_2') \quad (2)$$

من (1) و (2) نجد :

$$\begin{aligned} v_1' + v_1 &= v_2 + v_2' \\ \frac{|v_1 - v_2|}{|v_1' - v_2'|} &= 1 \end{aligned}$$

المعادلة السابقة هي معادلة معامل التعويض (Coefficient of restitution)

وتكون قيمته 1 كما وجدنا في التصادم المرن التام.

و يعطى بالعلاقة :

$$v_2 - v_1 = -COR (v_2' - v_1')$$

عندما $COR = 1$ يكون الصدم مرن.

و عندما $0 < COR < 1$ يكون الصدم غير مرن و بالتالي يوجد ضياع جزئي بالطاقة الحركية.

عندما $COR = 0$ الصدم غير مرن تماما والأجسام تبقى ملتصقة بعد الصدم.

في حالة التصادم غير المرن تكون السرعة بعد الصدم:

$$v_1' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_2 \cdot COR(v_2 - v_1)}{(m_1 + m_2)} \quad (a)$$

$$v_2' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_1 \cdot COR(v_1 - v_2)}{(m_1 + m_2)} \quad (b)$$

في حالة اصطدام القمر الصناعي بجسم ما فالصدم غير مرن ومعامل التعويض مرتبط بالخصائص الفيزيائية للقمر الصناعي وللجسم الآخر والسرعات الخاصة بالأجسام بعد الصدم تعطى بالعلاقات (a) و (b). اما جهات الأشعة :

$$\begin{aligned} \hat{R}_1 &= x_2 - x_1 \\ \hat{R}_2 &= -\hat{R}_1 \end{aligned}$$

بالتالي :

$$\vec{v}_1' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_2 \cdot COR(v_2 - v_1)}{(m_1 + m_2)} \cdot \hat{R}_1$$

$$\vec{v}_2' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2 + m_1 \cdot COR(v_1 - v_2)}{(m_1 + m_2)} \cdot \hat{R}_2$$

اذا في الفضاء التصادم غير مرن فإن محصلة كمية الحركة قبل الصدم تساوي محصلة كمية الحركة بعد الصدم وبالتالي الكتل والسرعات لا تتغير وتكون ثابتة بينما بالنسبة للطاقة الحركية فكما وجدنا هي غير ثابتة و سنفقد جزء منها عند الاصطدام.

قانون حفظ الطاقة : الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم وإنما تنتقل من شكل لآخر

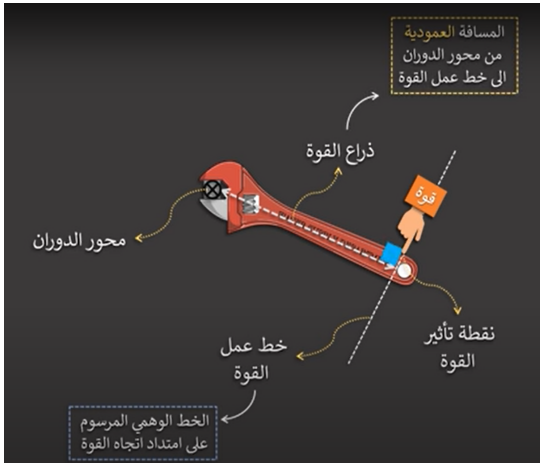
قانون حفظ كمية الطاقة : إذا تصادم جسمين معا ضمن نظام مغلق ، فإن مجموع كمية طاقة الجسمين قبل التصادم يساوي مجموع كمية طاقة الجسمين بعد

التصادم. أي أن النقص في كمية طاقة أحد الجسمين يساوي الكسب في كمية الطاقة للجسم الآخر.

الحركة الدورانية :

إن القوة هي سبب الحركة الانسحابية للأجسام بينما العزم (torque) هو مسبب الحركة الدورانية للأجسام وهو المقياس لمقدرة القوة المطبقة على أحداث الدوران.

العوامل المؤثرة على دوران الأجسام حول نفسها:

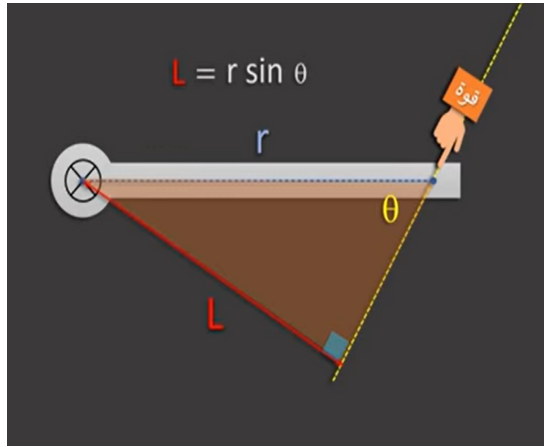


القوة ونقطة تأثيرها
محور الدوران
خط عمل القوة (اتجاه القوة)
ذراع القوة

نلاحظ من العلاقة التالية أن شدة العزم تزداد بازدياد طول الذراع , وتكون عظمى عندما تكون الزاوية بين حامل القوة ونقطة التأثير صفر

$$\tau = F \cdot d$$
$$\tau = F \cdot r \cdot \sin(\theta)$$

للجسم زاوية دوران وسرعة زاوية و تسارع زاوي وهذه الوحدات تقابل الوحدات التالية في الحركة الانسحابية :



$d\tau$	dx
ω	v
α	a

و لحساب التسارع الزاوي :

$$\alpha = \frac{\text{Torque}}{\text{rotational inertia}}$$

حيث (*rotational inertia*) هي العطالة وهي تعتمد على الكتلة وتوزع الكتلة في الجسم و لكل جسم عطالة خاصة به.

بالاستفادة من العلاقة السابقة نحصل على التسارع الزاوي وبفرض تطبيق عزم دوران على القمر الصناعي عندها:

$$\begin{aligned} d\omega &= \alpha_{\text{satellite}} \cdot dt \\ \Rightarrow \omega_{\text{new}} - \omega_{\text{old}} &= \alpha_{\text{satellite}} \cdot dt \\ \Rightarrow \omega_{\text{new}} &= \omega_{\text{old}} + \alpha_{\text{satellite}} \cdot dt \end{aligned}$$

ومن السرعة الزاوية نستطيع حساب زاوية الدوران:

$$\begin{aligned} d\theta_{\text{satellite}} &= \omega_{\text{new}} \cdot dt \\ \Rightarrow \theta_{\text{new}} - \theta_{\text{old}} &= \omega_{\text{new}} \cdot dt \\ \Rightarrow \theta_{\text{new}} &= \theta_{\text{old}} + (\omega_{\text{new}} \cdot dt) \end{aligned}$$

تأثير الغلاف الجوي بالقمر الصناعي :

هناك مخاوف مرتبطة بالغلاف الجوي وطبقاته العليا فيما يخص الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض.

التأثر بالإشعاعات:

تأثير الإشعاعات على الاقمار الصناعية يكون عن طريق تفاعل جزيئات الغلاف المشحونة والاشعة الكهرومغناطيسية مع سطح الاقمار الصناعية فينتج احتكاك نوعي يؤثر على حركة القمر والاجهزة الالكترونية.

هذا التأثير مهم في تحديد فترة الدوران للأقمار الصناعية التي تدور في مدارات منخفضة بالنسبة للأرض.

هذه المستويات العالية من الطاقة الكهرومغناطيسية و الجزيئات المشحونة لا تصل للأرض بسبب طبقة الغلاف الجوي وتكون مجاورة للغلاف خارج الأرض وعلى المدارات القريبة من الغلاف.

كثافة الغازات في الطبقات العليا من الأرض :

على الرغم من أن طبقة الأتмосفير العليا (ثيرموسفير) غير كثيفة مقارنة مع الطبقات الادنى الا انها لا تمثل منطقة فراغ مثالية فكثافة الغازات على ارتفاع بضع كيلومترات عن الأرض تكون ملموسة كفاية مع مرور الزمن لتخفيض مدار القمر الصناعي فمع انخفاض القمر الصناعي تزداد كثافة الغازات المؤثرة عليه مما تسبب في النهاية دخول القمر الصناعي الغلاف الجوي وبالتالي يؤدي إلى الاحتراق والاصطدام.

هذه الكثافة مرتبطة بالاشعة الشمسية بشكل أساسي وتختلف يوما عن الآخر تبعا للنشاط الإشعاعي.

بشكل عام بالنسبة للأرض الأقمار الصناعية يجب أن تكون على الأقل على ارتفاع (120km) وإلا فستكون بحاجة لقوى دفع خلال فترات زمنية متقاربة لحمايتها من دخول الغلاف الجوي.

العاملين السابقين لهما دور مهم أيضا في تحديد فعالية الأجهزة الإلكترونية GPS من خلال امتصاص موجات الإرسال وتشويشها.

الأقمار الصناعية المتزامنة:

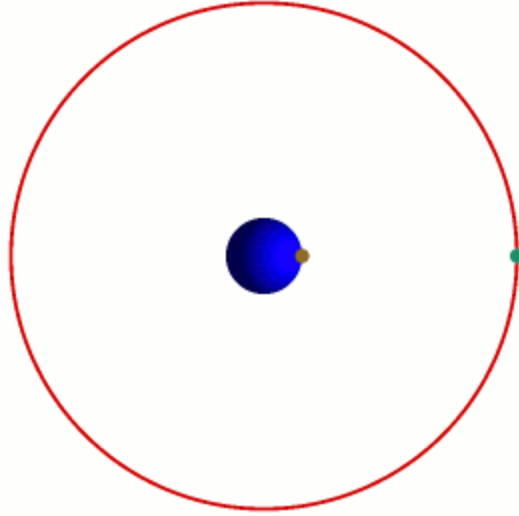
أولا سنعرف الفترة المدارية للجسم، حيث هي مقدار الزمن الذي يستغرقه لإكمال دورة كاملة في مداره.

تعتمد الفترة المدارية لجسم على شكل المدار الذي يحدد المسافة التي يجب أن يقطعها الجسم والسرعة التي يتحرك بها.

يقال عن مدار أنه متزامن إذا كان دورة مدار الجرم (غالبا قمر صناعي) تساوي دورة الكوكب حول محوره.

بالنسبة للأرض لابد من توصيل قمر صناعي إلى مدار على ارتفاع 36.000 كيلو متر فتكون دورته 24 ساعة.

القمر الاصطناعي المتزامن مع الأرض هو قمر صناعي يدور في مدار مع فترة مدارية تماثل فترة دوران الأرض حول نفسها. يعود هذا القمر الاصطناعي إلى نفس الموضع في السماء بعد كل يوم فلكي. يُعتبر القمر الاصطناعي الجغرافي الثابت نوعًا خاصًا من الأقمار الاصطناعية المتزامنة مع الأرض، التي تدور في مدار جغرافي ثابت - أي مدار متزامن مع الأرض دائري الشكل فوق خط الاستواء مباشرة.



تتميز الأقمار الاصطناعية المتزامنة مع الأرض بخاصية فريدة من نوعها وهي ثباتها بشكل دائم في نفس الموضع في السماء عند رصدها من أي موقع ثابت على الأرض، ما يغني الهوائيات الأرضية عن تتبعها باستمرار إذ تظل ثابتة في اتجاه واحد.

عادة ما تستخدم هذه الأقمار الاصطناعية لأغراض الاتصالات، الشبكة المتزامنة مع الأرض هي شبكة اتصال تعتمد على الاتصال بالأقمار الاصطناعية المتزامنة مع الأرض أو من خلالها.

يتم حساب المدار المتزامن لأي كوكب عن طريق استخدام قانون الجاذبية العام:

$$h = \sqrt[3]{\frac{G \cdot M \cdot T^2}{4 \cdot \pi^2}} - R$$

حيث:

ارتفاع القمر الصناعي	h
ثابت الجاذبية	G
كتلة الكوكب	M
دور دوران الكوكب حول نفسه	T
نصف قطر الكوكب	R

Planets	Mass (10^{24} kg)	Volume (10^{12} km ³)	Radius (km)	Rotation period (s)	Synchronous orbit altitude (km)	Synchronous orbit Semi-major axis (km)	Satellite speed (km/s)
Mercury	0.3302	0.06083	2439.74	5 053 137	240 025	242 464	0.30
Venus	4.8685	0.92843	6051.83	20 939 611	1 527 832	1 533 883	0.46
Earth	5.9736	1.08321	6371.01	86 163	35 796	42 167	3.07
Mars	0.64185	0.16318	3389.95	88 400	17 002	20 392	1.45
Jupiter	1898.6	1431.28	69910.97	35 629	89 811	159 722	28.17
Saturn	568.46	827.13	58232.00	38 256	53 811	112 043	18.40
Uranus	86.81	68.33	25361.46	61 894	57 173	82 534	8.38
Neptune	102.43	62.526	24622.04	57 837	58 739	83 361	9.06
Europa	0.048	0.01593	1560.90	306 822	18 134	19 694	0.40

Table: synchronous orbits of the planets and moons of planets.

يجب الانتباه الى عدم الخلط بين مفهوم المدار المتزامن للقمر الصناعي و دوران القمر الصناعي المتزامن. كما ذكرنا سابقا أن المدار المتزامن هو المدار الذي يسمح للقمر الصناعي بالقيام بدورة حول الكوكب بينما يصنع الكوكب دورة واحدة حول نفسه.

أما في الدوران المتزامن يكون زمن دوران القمر الصناعي حول محوره نفس زمن دورانه حول الكوكب. ففي حالة المدار المتزامن يبقى القمر الصناعي في نفس المكان في السماء و في حالة الدوران المتزامن دائما يُظهر القمر الصناعي الوجه نفسه للكوكب. هذا هو الحال بالنسبة للقمر الذي له فترة دوران حول نفسه (rotational period) تساوي فترة الدوران حول الكوكب (revolution period) ، فإنه دائماً ما يظهر نفس الوجه على الأرض ولكنه يتحرك في الهواء لأنه لا يقع في مدار متزامن.

References:

Henderson, T. (2022). *Circular Motion Principles for Satellites*.

<https://doi.org/https://www.physicsclassroom.com/class/circles/Lesson-4/Circular-Motion-Principles-for-Satellites>

IOP institute of physics. (2022). *Circular motion*.

<https://doi.org/https://spark.iop.org/collections/circular-motion>

Lee, C. (2011). Infinity and Newton's Three Laws of Motion. *Foundations of Physics*, **41**(12), 1810. <https://doi.org/10.1007/s10701-011-9580-1>

Reference, O. (2022). *Coefficient of Restitution*.

<https://doi.org/https://www.oxfordreference.com/view/10.1093/oi/authority.20110803095621817>

Richard Garriott. (2021). *Momentum in Space*.

<https://doi.org/http://www.our-space.org/materials/states-of-matter/momentum-in-space>

Tom Henderson. (2022). *Mathematics of Satellite Motion*.

<https://doi.org/https://www.physicsclassroom.com/class/circles/Lesson-4/Mathematics-of-Satellite-Motion>

University of Toronto. (2005). *Satellite Orbits*. University of Toronto.

https://doi.org/https://www.atmosp.physics.utoronto.ca/people/strogon/phy499/section2_05.pdf

Vallado, D., & Finkleman, D. (2014). A Critical Assessment of Satellite Drag and Atmospheric Density Modeling. *Acta Astronautica*, **95**(1), 1-10.

<https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2013.10.005>