الفصل الرابــع

قوانـيـن نـيـوتـن لـلـحـركـة وتـطـبـيـقـاتـــهــا

(4. 1) مقدمـة

في هذا الفصل نـهتمّ بـالأسباب التـي تؤدّي إلـى التغيّر في حركة الأجسام

نُصنّف القوى إلى نوعين:

1) قوى التلامس: وهي التـي تنتج عن التلامس أو التصادم بين الجسم والمُحيط

2) قوى المجال: وهي لا تنشأ بسبب التلامس أو التصادم بين الأجسام، ولكنها تؤثّر عن بُعْد عبر الفضاء

(2 .4) قانون نيوتن الأوّل للحركـة

وينصّ على أنّ: "الجسم الساكن يبقى على حالته من السكون، والجسم المتحرّك بسرعة ثابتة في خطٍّ مستقيم يستمرّ على حالته من الحركة ما لم تُجْبرهما قوى خارجية على تغيير حالتيهما“

$$\sum \mathbf{F} = 0 \ , \quad \mathbf{a} = 0$$

تُعبّر المعادلة عن توازن الجسم سواءً كان في حالة السكون أو حالة الحركة بسرعة ثابتة في خطٍّ مستقيم

يُطْلق عل خاصيّة "الكسل" في الأجسام اسم "القصور الذاتي"، ومن أمثلتها حركة الراكب في السيارة عند إيقاف السيارة فجأة إذْ نجد أنّ الراكب يندفع إلى الأمام مرتطماً بالجزء الأمامي في السيارة، وذلك – بطبيعة الحال- في حالة عدم استخدامه لحزام الأمان. ومن الواضح هنا أنّ جسم الراكب قد حافظ – عبر خاصيّة "القصور الذاتي" - على الحركة التي اكتسبها من حركة السيارة قبل توقّفها المفاجئ، وقاوم قوة الإيقاف المعاكسة لحركته واستمرّ في حركته المندفعة إلى الأمام. ومن المهمّ أنْ نُلاحظ أنّ "قانون نيوتن الأوّل" يجعل من الحركة المنتظمة في خطٍّ مستقيم حالة مكافئة تماماً لحالة السكون، وهذا يعني أنّه لا يُمْكننا التمييز بين حالة السكون وحالة الحركة المنتظمة في خطٍّ مستقيم بأيّ تجربة فيزيائية

(3 .4) قانون نيوتن الثاني للحركة

وينصّ هذا القانون على أنّه: "إذا أثّرت قوة محصّلة أكبر من الصفر على جسم ما، فإنّها تُسبّب تسارع الجسم في اتّجاه القوة، ويتناسب مقدار التسارع تناسباً طردياً مع مقدار القوة المحصّلة، وتناسباً عكسياً مع كتلة الجسم".

$$\sum \mathbf{F} = m\,\mathbf{a}$$

$$\left.\begin{aligned} \Sigma \mathbf{F}_x &= m\,\mathbf{a}_x \\ \Sigma \mathbf{F}_y &= m\,\mathbf{a}_y \\ \Sigma \mathbf{F}_z &= m\,\mathbf{a}_z \end{aligned}\right\}$$

(4. 4) كتلة القصور والوزن:

الكتلة مقياس لخاصيّة القصور الذاتي؛ فكلّما كَبُرت الكتلة ازداد قصورها الذاتي، فعلى سبيلِ المثال إذا كانت الكتلة 3kg تتسارع بمقدار $4m/s^2$ تحت قوة مقدارها **F**، فإنّ التسارع يُصبح $2m/s^2$ لكتلة قدرها 6kg تحت تأثير القوة نفسها. ويُمْكن التعبير عن ذلك على النحو التالي:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\mathbf{a}_2}{\mathbf{a}_1}$$

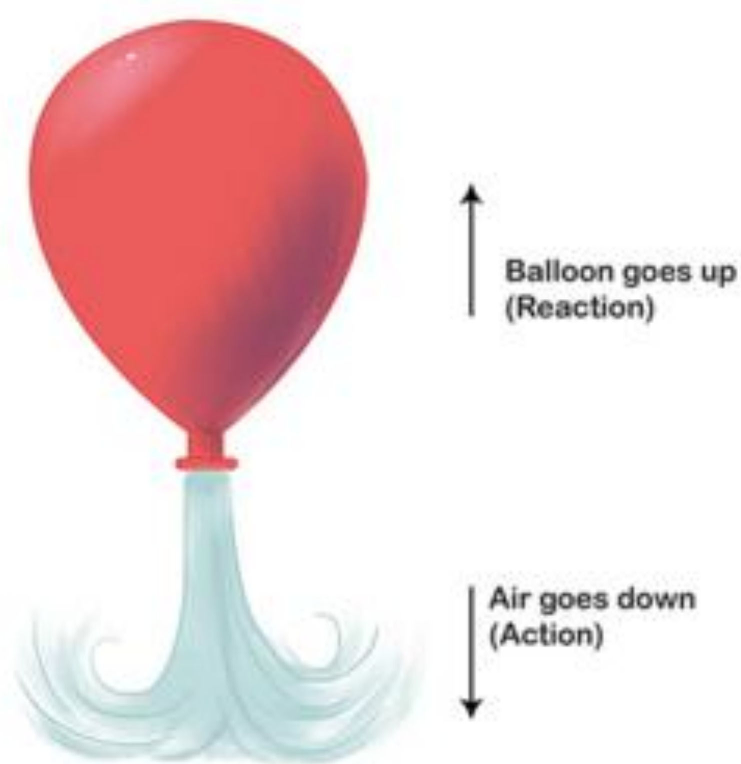
ينبغي التنويه هنا بأهميّة عدم الخَلْط بين مفهوم الكتلة ومفهوم الوزن؛ فـ الكتلة هي: كميّة المادة الموجودة في الجسم، وهي كميّة قياسيّة، وأمّا الوزن فهو: قوة الجاذبية الأرضيّة المؤثّرة على الجسم لتُحْدِث به تسارعاً مقداره g. أيّ أنّ:

$$\left.\begin{aligned} \mathbf{w} &= mg \\ \mathbf{w} &= 9.8\ m \end{aligned}\right]$$

تُقاس **w** بوحدة النيوتن (N)في "النظام الدّولي للوحدات" (SI)، وأمّا وحدة الكتلة فهي kg)

(4. 5) قانون نيوتن الثالث للحركة

ينصّ هذا القانون على أنّه: لكلّ فعل ردّ فعل مساوٍ له في المقدار ومضادٍّ له في الاتّجاه.



$$\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$$

(6 .4) تطبيق قوانين نيوتن في الحركات الأفقيّة والرأسيّة والمائِـلة:

استرتيجية تطبيق قوانين نيوتن في المسائل المختلفة

لاستخدام قوانين نيوتن في اغلب التطبيقات يجب على الطالب اتباع الخطوات التالية:

1- تحديد محاور (x, y) لوصف الحركة على ان يكون محور (x) في اتجاه الحركة

2 - رسم تخطيط لتوزيع القوى المؤثرة على الجسم

3 - تحليل جميع القوى الى مركبات في اتجاه المحاور (x, y)

4 – تطبيق قانون نيوتن الثاني على في اتجاة محور (x) وفي اتجاه محور (y)

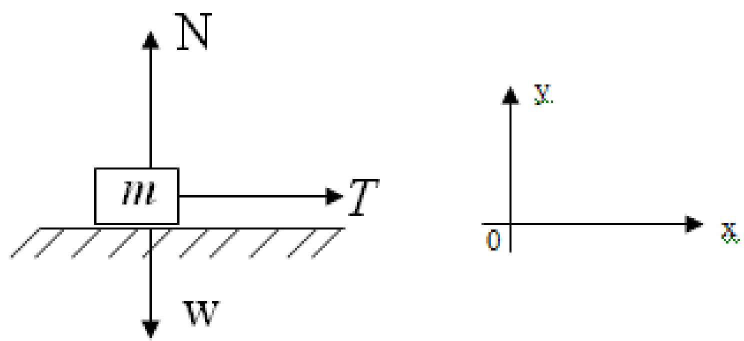
$$\Sigma F_x = ma_x$$

$$\Sigma F_y = ma_y$$

5 – تحصل على مجموعة معادلات ، بالحل الاني لهذه المعادلات تحصل على المطلوب .

(1.6 .4) قوى الشّـدّ:

تنْشأُ هذه القوة نتيجةً لتأثير قوة على كتلة m بواسطة سلكٍ مشدود، ويُرمز لها **T**، ويُمْكن تمثيل القوى المؤثّرة على الجسم بما يُعْرَف باسم مُخطّط الجسم الحر

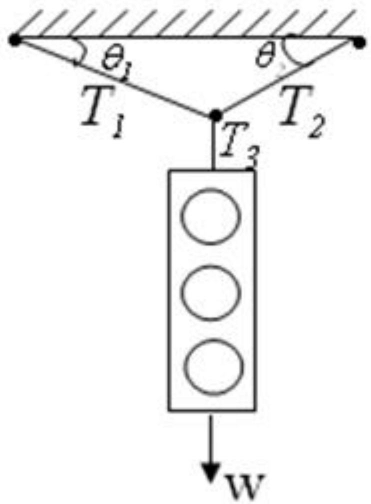


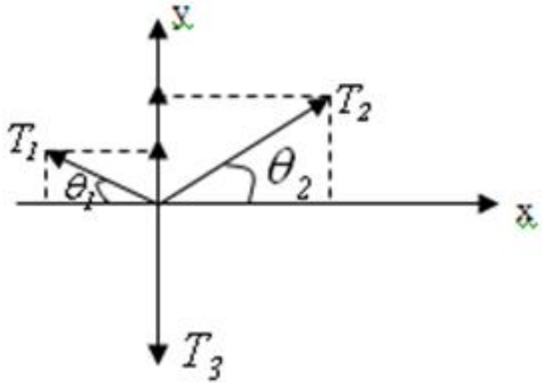
$$\Sigma \mathbf{F}_x = m\mathbf{a}_\mathbf{x} \quad , \quad \Sigma \mathbf{F}_y = 0 \quad , \quad \mathbf{a}_y = 0$$

$$\mathbf{T} = m\mathbf{a}_x \quad , \quad \mathbf{N} - \mathbf{W} = 0 \quad , \quad \mathbf{N} = \mathbf{W}$$

(2.6 .4) توازن جسم مُعلّق

لنفترض أنّ وزن إشارة مرور ضوئية هو w، وتمّ تعليقها وربْطها بأسلاكِ شدٍّ فان





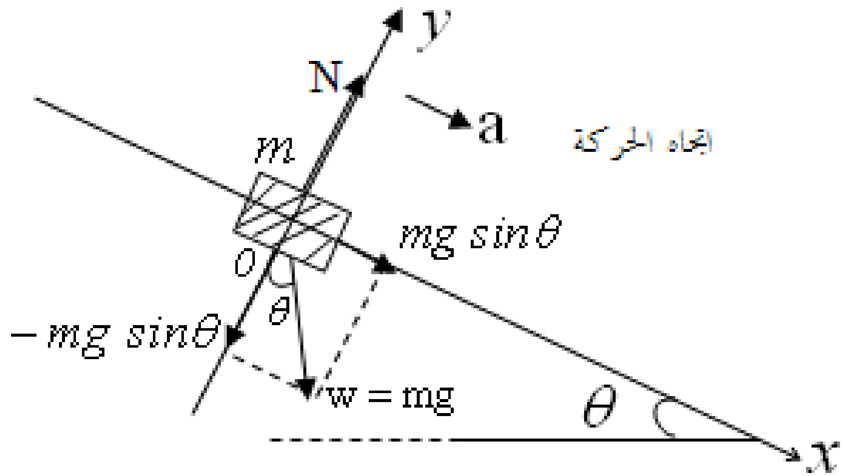
$$\Sigma F_x = T_2 \cos\theta_2 - T_1 \cos\theta_1 = 0$$

$$\Sigma F_y = T_1 \sin\theta_1 + T_2 \sin\theta_2 - w = 0$$

$$\mathbf{T}_2 = \mathbf{T}1 \left(\frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} \right)$$

(3.6 .4) الحركة على سطح أملس مائل

الحركة على مستوى مائل بزاوية θ، و"التسـارع" - في هـذه الحالة - هو $a_x = a$ فقط لأنّ $a_y = 0$.



$$\Sigma \mathbf{F}_x = m\mathbf{g} \sin\theta = m\,\mathbf{a}_x$$

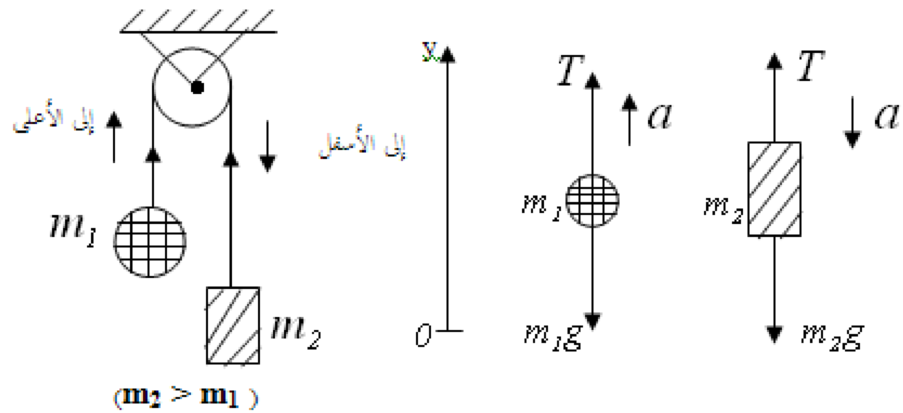
$$\Sigma \mathbf{F}_y = \mathbf{N} - m\mathbf{g} \cos\theta = 0$$

أيّ أنّ:

$$\mathbf{a}_x = \mathbf{g} \sin\theta \qquad \mathbf{N} = m\mathbf{g} \cos\theta$$

(4.6 .4) حركة البَكَرة ـ آلةَ أتْوود

وهي عبارة عن جسمين (m_1, m_2) متصلين بحبل يمر على بكرة ملساء



$$\Sigma F_y = \mathbf{T} - m_1\, \mathbf{g} = m_1\, \mathbf{a}$$

$$\Sigma F_y = \mathbf{T} - m_2\, \mathbf{g} = -m_2\, \mathbf{a}$$

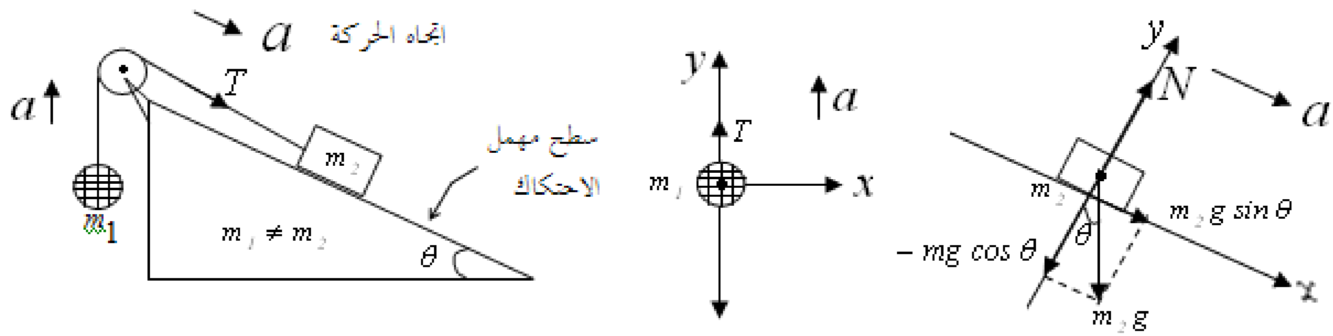
أمّا ΣF_x فهي تساوي صفراً لأنّ الحركة رأسيّة فقط

وبحل هذه المعادلات نحصل على

$$\mathbf{a} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}\right)\mathbf{g} \qquad \mathbf{T} = \left(\frac{2m_1\, m_2}{m_1 + m_2}\right)\mathbf{g}$$

(5.6 .4) حركة كتلة على سطح مائل مُقيّدة بكتلة مُعلّقة

تُدْمَج فيها الحركة على سطح انزلاق مائل مع حركة رأسيّة وبتطبق قانون نيوتن الثاني على الكتلة m_1 نحصل على



$$\Sigma \mathbf{F}_x = 0 \;\; , \;\; \Sigma \mathbf{F}_y = \mathbf{T} - m_1\mathbf{g} = m_1\mathbf{a} \;, \; \mathbf{T} > m_1\mathbf{g}$$

أمّا بالنسبة للكتلة m_2 فنحصل على

$$\Sigma \mathbf{F}_x = m_2\mathbf{g}\sin\theta - \mathbf{T} - m_2\mathbf{a}$$

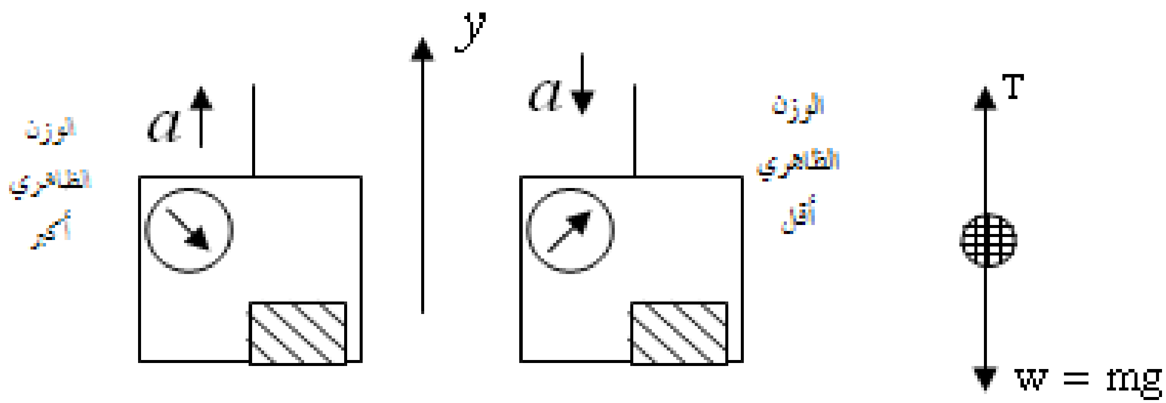
$$\Sigma \mathbf{F}_y = \mathbf{N} - m_2\,\mathbf{g}\cos\theta = 0$$

وبحل هذه المعادلات نحصل على قوة الشد وتسارع المجموعة

$$\mathbf{a} = \frac{m_2\,\mathbf{g}\sin\theta - m_1\,\mathbf{g}}{m_1 + m_2} \qquad\qquad \mathbf{T} = \frac{m_1\, m_2\, \mathbf{g}\,(1+\sin\theta)}{m_1 + m_2}$$

(6.6 .4) المصعد الكهربائي

وهو عبارة عن صندوق معلق بحبل وتكون الحركة في اتجاه رأسي فقط ، واذا وضع جسم داخل المصعد فان وزنه الضاهري يكون اكبر من وزنه الحقيقي في حالة تحرك المصعد الى اعلى ويكون وزن الجسم الضاهري اقل من وزنه الحقيقي حالة تحرك المصعد الى اسفل.



$$\Sigma \mathbf{F} = \mathbf{T} - \mathbf{w} = m a$$

$$\Sigma \mathbf{F} = \mathbf{T} - \mathbf{w} = - m a$$

$$\mathbf{T} = \mathbf{w}\ (1 \pm \frac{\mathbf{a}}{\mathbf{g}})$$

تعني أنّ الحركة إلى أسفل(-) إلى أنّ حركة المصعد إلى أعلى، والإشارة (+)ترمز الإشارة

(7 .4) قوى الاحتكـاك

تُعرّف قوة الاحتكاك، **f**، بأنّها القوة التي تُعاكس اتّجاه حركة الجسم، وهناك نوعان من قوى الاحتكاك ؛ الأولى تُدْعى قوة الاحتكاك الساكن $\mathbf{f_s}$، ويَظْهر تأثيرها عندما يكون الجسم ساكناً.

أمّا النوع الثاني لقوَى الاحتكاك فتُدْعى قوة الاحتكاك الحركي $\mathbf{f_k}$، ويظهر تأثيرها عندما يكون الجسم متحرّكاً.

$$\mathbf{f_s} = \mu_s \, . \, \mathbf{N}$$

$$\mathbf{f_k} = \mu_k \, . \, \mathbf{N}$$

حيث μ_s معامل الاحتكاك الساكن و μ_k معامل الاحتكاك الحركي.

قيمة معــامل الاحتكاك الحركي أقلّ دوماً من قيمة معامل الاحتكــاك الساكن

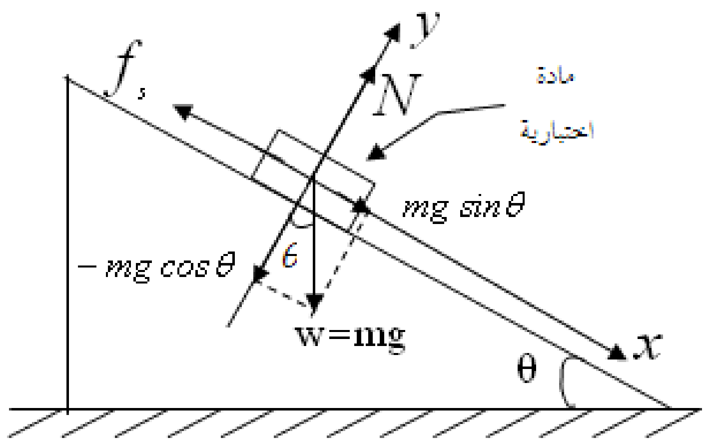
$$(\mu_k < \mu_s)$$

حـركة جسـم على مـستوى مائل خشن

ويمكن هنا استنتاج العلاقة بين معامل الاحتكاك وزاوية ميل السطح الخشن .

$$\Sigma \mathbf{F}x = \mathbf{mg}\ \sin\theta - \mathbf{f}_s = 0$$

$$\Sigma \mathbf{F}y = \mathbf{N} - \mathbf{mg}\ \cos\theta = 0$$



$$\mu_s = \tan\ \theta_c$$

$$\mu_k = \tan\ \theta_c'$$

حيث θ_c الزاوية الحرجة التي يكون عنده الجسم الساكن على وشك الحركة

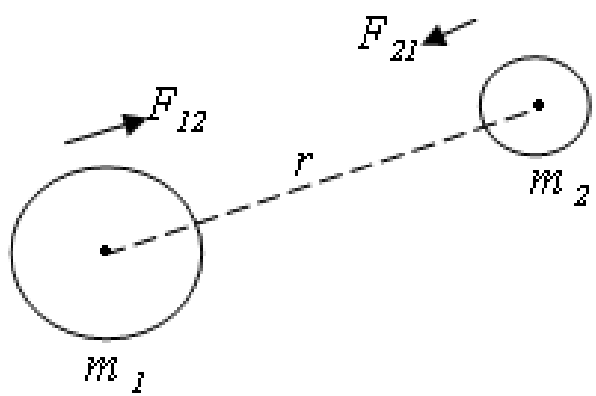
و θ_c' هي الزاوية الحرجة في حالة الاحتكاك الحركي، وتكون دائماً أصغر من θ_c

(1.10.4) قانون نيوتن للجاذبيّـة الكونيّـة

ينصّ قانون نيوتن للجاذبيّة الكونيّة على أنّ كلّ جسم في الكون يجذب كلّ جسم آخر بقوة جاذبة تتناسب طردياً مع ناتج ضرب كتلتي الجسمين، وتتناسب عكسياً مع مربّع المسافة بينهما.

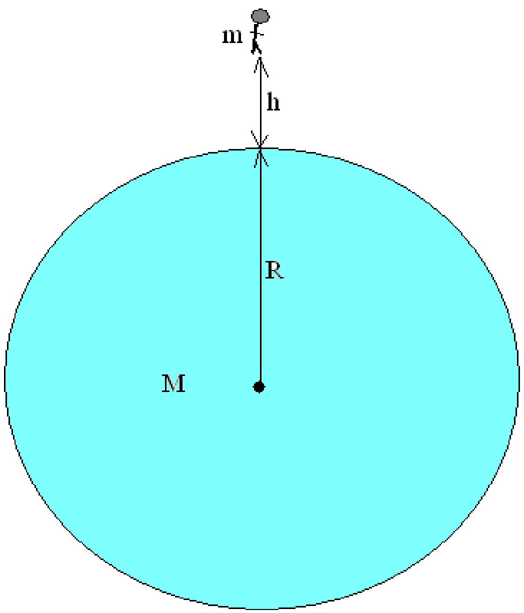
$$\mathbf{F}_g = G. \frac{m_1 \,.\, m_2}{\mathbf{r}^2}$$

حيث: $G = 6.672 \times 10^{-11} N.m^2/kg^2$



(2.10.4) الوزن وقوة الجاذبيّـة الأرضيّـة

يعرف الوزن بانه قوة جذب الارض للاجسام . فاذا افترضا جسم كتلته (m) على ارتفاع (h) من سطح الارض فطبقا لقانون الجذب العام يمكن كتابة الاتي



$$\mathbf{F}_g = G\,\frac{M_E\ .\ m}{\mathbf{r}^2} = G\ .\ \frac{M_E\ .\ m}{(\mathbf{R}_E + \mathbf{h})^2}$$

$$\mathbf{F}_g = m\mathbf{g}'$$

حيث قيمة كلٍّ منْ نصف قطر الارض $R_E = 6.38 \times 10^6\ m$،

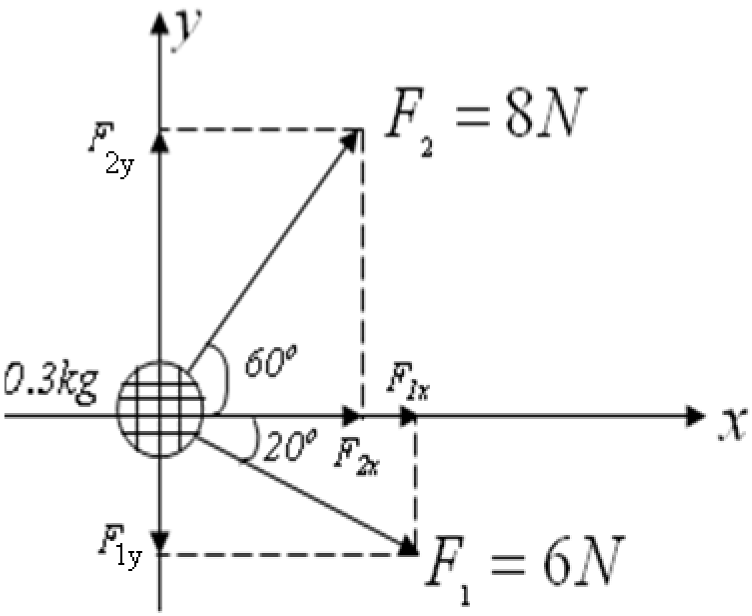
كتلة الأرض $M_E = 5.98 \times 10^{24}\ kg$

ويكون تسارع الجاذبية على هذا الارتفاع يساوي

$$\mathbf{g}' = \frac{G.M_E}{\mathbf{r}^2} = \frac{G.M_E}{(\mathbf{R}_E + \mathbf{h})^2}$$

أمـثلة مـحلولة (11.4)

مـثال (1): أوجدْ مـقدار واتّـجاه التسـارع النهائيّ للجسم الموضّح فـي الشكل التالي



الحل:

$\Sigma \mathbf{F}_x = \mathbf{F}_{1x} + \mathbf{F}_{2x}$

$= \mathbf{F}_1 \cos 20^o + \mathbf{F}_2 \cos 60^o$

$= (5 \times 0.94) + (8 \times 0.5) = 8.7N$

$\Sigma \mathbf{F}_y = \mathbf{F}_{1y} + \mathbf{F}_{2y} = - \mathbf{F}_1 \sin 20^o + \mathbf{F}_2 \sin 60^o$

$= (- 5 \times 0.342) + (8 \times 0.866) = 5.2N$

$$\mathbf{a}_x = \frac{\sum \mathbf{F}_x}{m} = \frac{8.7}{0.3} = 29 \ m/s^2 \qquad \mathbf{a}_y = \frac{\sum \mathbf{F}_y}{m} = \frac{5.2}{0.3} = 17 \ m/s^2$$

$$\mathbf{a} = \sqrt{\mathbf{a}_x^2 + \mathbf{a}_y^2} = \sqrt{(29)^2 + (17)^2} = 34 \ m/s^2 \qquad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{\mathbf{a}_y}{\mathbf{a}_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{17}{29}\right) = 31^o$$