Chapter four الفصل الرابع

Force and Motion القوى والحركة

Laws of motion قوانين الحركة

Newton first law قانون نيوتن الاول في الحركة

يطلق على قانون نيوتن الاول في الحركة بقانون القصور الذاتي law of inertia ومصطلح القصور الذاتي يستخدم لوصف ميول او محاولة الجسم لممناعة التغيير في حركته . يوجد نص اخر لقانون نيوتن الاول في الحركة وهو " **بغياب او عدم وجود قوى خارجية فان الجسم الساكن يبقى ساكنا والجسم المتحرك يستمر بحركته بسرعة ثابتة على طول مسار الخط المستقيم** ". بعبارة اخرى في حالة عدم وجود قوى خارجية تؤثر على الجسم فان **تعجيل الجسم يساوي صفر**. ويعبر عن حالة الجسم بانه في حالة اتزان او استقرار equilibrium . وعليه فان صافي القوى المؤثرة على الجسم تساوي صفر

$$\sum \vec{F} = 0 \qquad \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1)$$

القوة Force : تعرف القوة بانها المؤثر الذي يغيير حركة الجسم

الكتلة Mass : تعتبر الكتلة خاصية للجسم لوصف مقدار ممانعة الجسم لاعتراض التغييرات في سرعة الجسم . وتعد الكتلة كمية عددية وتقاس بوحدات الكيلوغرام kg او الغرام gm . كتلة جسم ما لاتتناقض مع مايسمى بالوزن weight والكتلة والوزن كميتان مختلفتان ، حيث كتلة الجسم تبقى ثابتة مع اختلاف المكان .

الوزن Weight : وزن الجسم يعادل او يساوي **مقدار قوة الجاذبية** المسلطة على الجسم وتتغيير من مكان لاخر . فمثلا وزن شخص ما 84 N على سطح الارض ووزنه بحدود 14 N على سطح القمر وهذا يعني ان وزن الشخص على سطح القمر يختلف عن وزنه على سطح الارض بنسبة (1/6) .

قانون نيوتن الثاني Newton second law : يجيب قانون نيوتن الثاني عن الاسئلة التي تناقش تأثير القوى الخارجية على الجسم . **تعجيل الجسم يتناسب طرديا مع القوة المؤثرة عليه** $\vec{a} \propto \overrightarrow{F}$ وعليه فان تعجيل الجسم يتناسب عكسيا مع كتلة الجسم. $\vec{a} \propto \frac{1}{m}$. في حالة اختيار ثابت التناسب مساويا الى واحد 1

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$ قانون نيوتن الثاني

$\sum \vec{F}$ المجموع الاتجاهي لكل القوى المؤثرة على الجسم

وحدة قياس القوة هي نيوتن Newton (N)

نيوتن Newton : يعرف ال نيوتن بانه القوة المؤثرة على جسم كتلته 1 kg وتنتج تعجيل قدره $1\ m/s^2$ وعليه

$$1N = 1\ kg \cdot \frac{m}{s^2}$$

الوزن وقوة الجاذبية Gravitational force and weight : جميع الاجسام بالطبيعة تنجذب نحو الارض وقوة الجاذبية المسلطة من الارض على الاجسام يطلق عليها ب قوة الجاذبية $\overrightarrow{F}$ وهذه القوة عادة تكون موجهة باتجاه مركز الارض ومقدارها يسمى ب وزن الجسم weight . الجسم الساقط حرا يعاني تعجيلا $\vec{g}$ تاثيره باتجاه مركز الارض .

تطبيق قانون نيوتن الثاني للسقوط الحر لجسم كتلته m وبتعجيل $\vec{g}$

$$\sum \vec{F} = \overrightarrow{F_g} \ \rightarrow\rightarrow\rightarrow \ \overrightarrow{F_g} = m\,\vec{g}$$

حيث $\overrightarrow{F_g} = m\,\vec{g}$ ، يمثل وزن الجسم . بسبب اعتماد وزن الجسم على التعجيل الارضي $\vec{g}$ لذا فوزن الجسم يتغيير مع المكان او الموقع الجغرافي geographic location من حيث نقصان قيمة التعجيل كلما زادت المسافة او الابتعاد عن مركز الارض وعليه فان وزن الاجسام اقل عند الارتفاعات العالية بالمقارنة مع وزنها عند مستوي سطح الارض .

قانون نيوتن الثالث Newton third law : لتوضيح مبدأ قانون نيوتن الثالث ، لنتصور المثال البسيط التالي. عند المحاولة بالضغط او دفع باليد على وجه كتاب ، يحاول الكتاب ارجاع اليد الى وضعها الطبيعي. وعليه في حالة تفاعل او تصادم جسمين ، فالقوة $\overrightarrow{F_{12}}$ المسلطة من الجسم الاول على الجسم الثاني تكون مساوية بالمقدار ومعاكسة للقوة الاخرى $\overrightarrow{F_{21}}$ المسلطة من الجسم الثاني على الجسم الاول . بمعنى رياضي

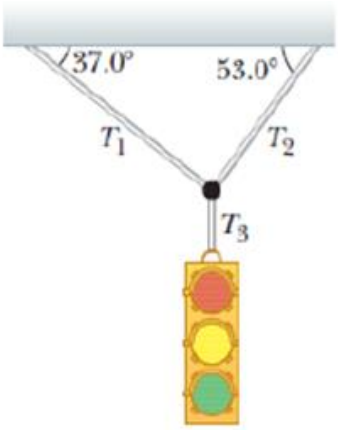
$$\overrightarrow{F_{12}} = -\overrightarrow{F_{21}}$$

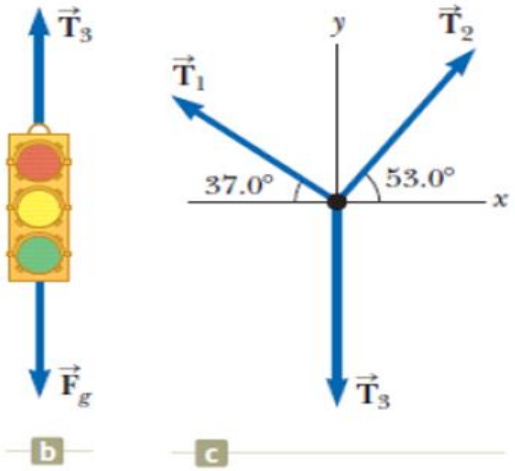
القوة $\overrightarrow{F_{12}}$: يطلق عليها قوة الفعل Action force

القوة $\overrightarrow{F_{21}}$: يطلق عليها قوة التفاعل Reaction force

قوى الفعل والتفاعل تعمل او تؤثر على مختلف الاجسام وتكون ذات نوع متشابه (جاذبية ، كهربائية ، ميكانيكية ، الخ)

مثال (1): لوحة مرورية وزنها 122 N معلقة بحبل مقيد بحبلين مربوطين بقاعدة وكما موضح بالشكل التالي . تصنع الحبال العلوية زوايا قدرها 37 و 53 درجة مع الافق . مع العلم بان متانة الحبلين اقل من متانة الحبل العمودي وبالتالي امكانية خلعهما اذا تجاوز الشد(Tension) 100 N . هل تبقى اللوحة المرورية معلقة تحت الظروف القياسية اعلاه قرر هل ان إشارة المرور ستظل معلقة في هذه الحالة، أم سيقطع أحد هذه الاسلاك؟





من الشكل (b) ، حيث القوتين $\overrightarrow{T_3}$ وقوة الجاذبية الارضية $\overrightarrow{F_g}$ ، نحصل

$$\sum \vec{F} = 0 \quad \rightarrow\rightarrow\rightarrow \overrightarrow{T_3} = \overrightarrow{F_g} = 122\ N$$

من الشكل (C) ، تحلل القوى العاملة او المؤثرة على عقدة التعليق (Knot) ، الى مركباتها وكما يلي

Force	x Component	y Component
$\vec{T}_1$	$-T_1 \cos 37.0°$	$T_1 \sin 37.0°$
$\vec{T}_2$	$T_2 \cos 53.0°$	$T_2 \sin 53.0°$
$\vec{T}_3$	0	-122 N

بسبب ان نقطة عقدة التعليق **في حالة اتزان equilibrium** ، لذا

$$\sum F_x = -T_1 \cos 37 + T_2 \cos 53 = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\sum F_y = T_1 \sin 37 + T_2 \sin 53 + (-122\ N) = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

من المعادلة (1) ، نحصل

$$T_2 = T_1 \left(\frac{cos\ 37}{cos\ 53}\right) = 1.33\ T_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

بتعويض نتيجة معادلة (3) في معادلة (2) نحصل

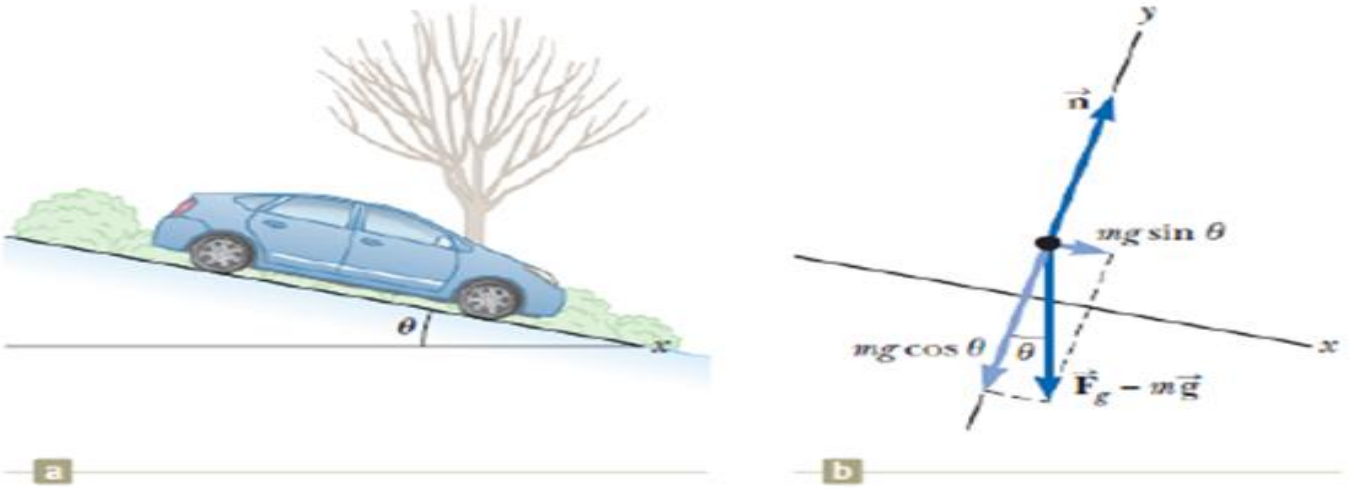
$$T_1\ sin\ 37 + (1.33\ T_1)\ sin\ 53 - 122\ N = 0$$

$$T_1 = 73.4\ N$$

$$since \quad T_2 = 1.33\ T_1 \ \rightarrow\rightarrow\rightarrow \ T_2 = 97.4\ N$$

يلاحظ ان قيمة قوة الشد في كلا الحبلين اقل من 100 N فعليه تبقى اللوحة المرورية معلقة ولاينخلع الحبلان .

<u>مثال (2):</u> عجلة سيارة كتلتها m تسير على طريق جليدي مائل عن الافق بزاوية θ وكما موضح بالشكل الاتي



احسب تعجيل السيارة والزمن اللازم لوصول السيارة حافة الطريق الافقي وماهي السرعة او الانطلاق للسيارة عند وصولها حافة الطريق ؟ علما بان المسافة مابين جبهة السيارة وحافة الطريق d .

تطبيق المعادلة ، التالية

$$x_f = x_i + v_{xi} \cdot t + \frac{1}{2} a_x t^2$$

حيث $x_f=d$, $x_i=0$, $v_{xi}=0$ ، بالتعويض عن قيم المعاملات في المعادلة اعلاه نحصل

$$d = 0 + 0(t) + \frac{1}{2} a_x t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2d}{a_x}}$$

$$\sum F_x = mg\sin\theta = m\,a_x \rightarrow\rightarrow\rightarrow \boldsymbol{a_x = g\sin\theta}$$

$$\sum F_y = n - mg\cos\theta = 0$$

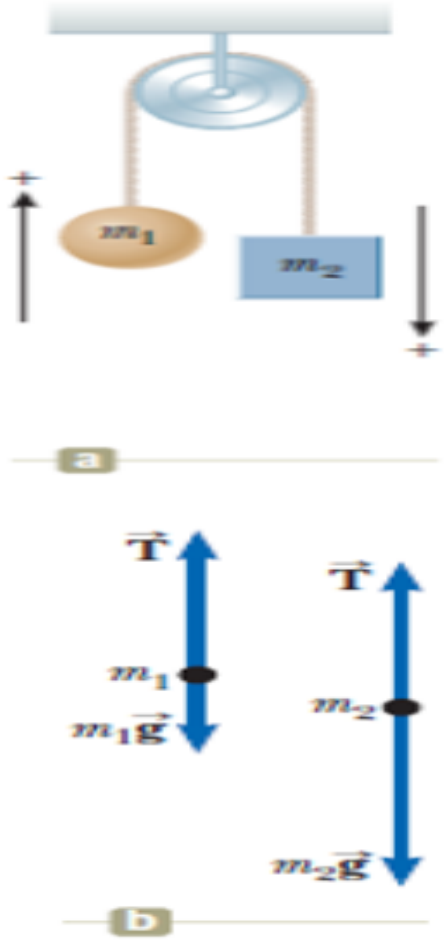
$$t = \sqrt{\frac{\boldsymbol{2d}}{\boldsymbol{g\,sin\,\theta}}}$$

باستخدام المعادلة $v^2{}_{xf} = v^2{}_{xi} + 2a_x(x_f - x_i)$ ، نحصل

$$v^2{}_{xf} = 0 + 2a_x d \rightarrow\rightarrow\rightarrow v_x = \sqrt{2a_x d} = \sqrt{\boldsymbol{2dg\,sin\,\theta}}$$

ملاحظة: اعد حل المثال اعلاه وباعتبار d=10 m و $\theta = 30^\circ$

مثال (3) : جسمين مختلفين بالكتلة m_1 , m_2 معلقين عموديا بواسطة بكرة عديمة الكتلة . احسب مقدار التعجيل في كلا الجسمين واحسب قوة الشد *tension* في الحبل المتين الخفيف الوزن light weight cord ؟



من المفيد والضروري ان نبين ان المنظومة الموضحة بالشكل (a) يطلق عليها تسمية **ماكنة أتود** ***Atwood machine*** وتستخدم احيانا في المختبرات العلمية العملية لقياس قيمة التعجيل الارضي g .

بتطبيق قانون نيوتن الثاني على الجسم الاول في الشكل (b)

$$\sum F_y = T - m_1 g = m_1 a_y \qquad \therefore T = m_1 a_y + m_1 g$$

بتطبيق قانون نيوتن الثاني على الجسم الثاني في الشكل (b)

$$\sum F_y = m_2 g - T = m_2 a_y \qquad T = m_2 g - m_2 a_y$$

بمساواة المعادلتين اعلاه ، نحصل على قيمة التعجيل

$$\boldsymbol{m_1 a_y + m_1 g = m_2 g - m_2 a_y \rightarrow\rightarrow\rightarrow m_1 a_y + m_2 a_y = m_2 g - m_1 g}$$

$$a_y(m_1 + m_2) = g(m_2 - m_1)$$

$$\boldsymbol{a_y = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}\right) g}$$

لايجاد قيمة الشد في الحبل او السلك . من المعادلة الاولى السابقة

$$T - m_1 g = m_1 a_y \rightarrow\rightarrow\rightarrow \rightarrow T = m_1(g + a_y)$$

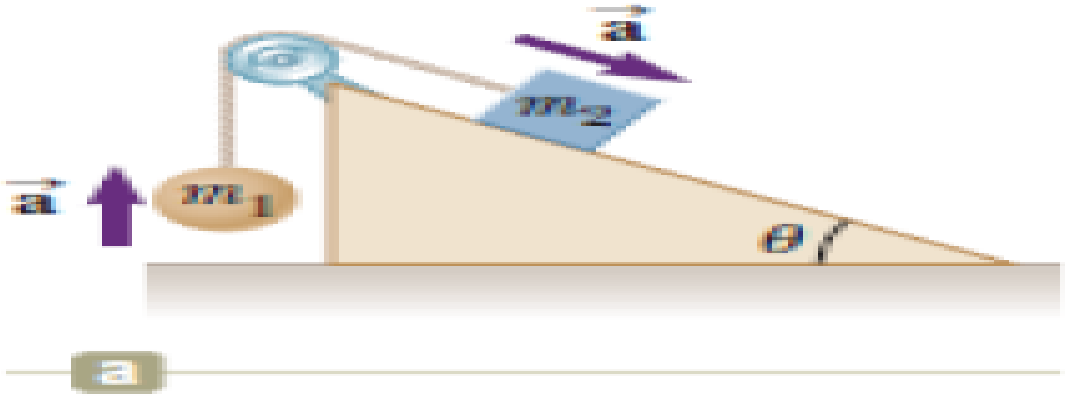
بالتعويض عن نتيجة a_y المستحصلة سابقا في المعادلة اعلاه ، نحصل

$$T = m_1 g + m_1 \left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}\right) g = m_1 g \left(1 + \left(\frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1}\right)\right)$$

$$T = m_1 g \left(\frac{m_2 + m_1 + m_2 - m_1}{m_2 + m_1}\right) == m_1 g \left(\frac{2m_2}{m_1 + m_2}\right) \rightarrow \boldsymbol{T = \left(\frac{2m_2 \cdot m_1}{m_2 + m_1}\right) g}$$

ملاحظة: اعد حل المثال اعلاه وباعتبار m_1=2 kg, m_2=5 kg

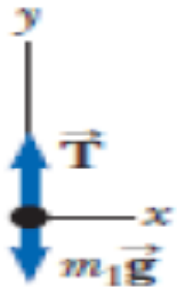
مثال (4): كرة كتلتها m_1 معلقة بسلك خفيف من طرف ومعلقة بحجر m_2 من الطرف الاخر ويتحركان من على بكرة . الحجر موضوع على سطح مائل بزاوية θ مع الافق. احسب مقدار التعجيل للجسمين (الكرة والحجر) وقوة الشد في السلك ؟



اذا كانت حركة الحجر نحو الاسفل فعليه تكون حركة الكرة نحو الاعلى وبسبب ان السلك غير قابل للمط (تمدد) ، فعليه يكون تعجيل كلا الجسمين متساوي . لاحظ الاشكال ادناه

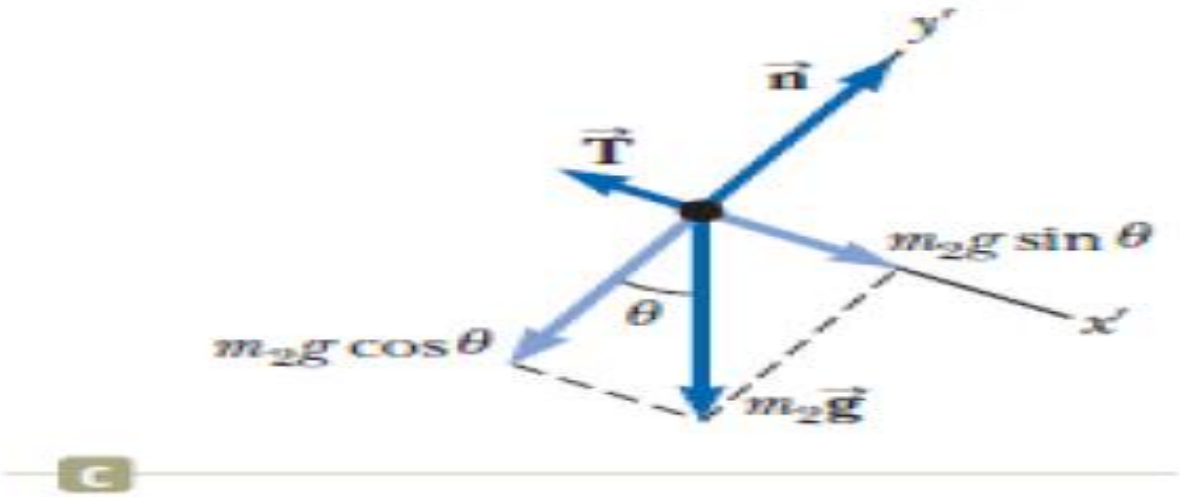
بتطبيق قانون نيوتن الثاني بالنسبة للكرة

$$\sum F_x = 0 \ , \qquad \sum F_y = T - m_1 g = m_1 a_y = m_1 a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$



لاجل تعجيل الكرة بالحركة نحو الاعلى ، لابد ان يكون $T > m_1 g$

بتطبيق قانون نيوتن الثاني بالنسبة للحجر m_2 كما في الشكل c



$$\sum F_{\bar{x}} = m_2 g \sin\theta - T = m_2 a_{\bar{x}} = m_2 a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

لقد استبدلنا التعجيل$(a_{x'})$ بـالتعجيل (a) لأن الجسمين لهما تعجيل متساوٍ في المقدار (a).

$$\sum F_{\bar{y}} = n - m_2 g \cos\theta = 0$$

من المعادلات اعلاه ، نحصل على قيمة قوة الشد T

$$T - m_1 g = m_1 a \;\rightarrow\rightarrow\rightarrow T = m_1(g + a) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

بالتعويض عن قيمة T من العلاقة اعلاه في المعادلة (2) نحصل على مايلي

$$m_2 g\ sin\,\theta - m_1(g + a) = m_2 a$$

وبحل المعادلة اعلاه لايجاد قيمة التعجيل a نحصل على مايلي

$$\boldsymbol{m_2 g \sin\theta = m_2 a + m_1(g + a) \quad \rightarrow \quad m_2 g \sin\theta = m_2 a + m_1 g + m_1 a}$$

$$\boldsymbol{m_2 g \sin\theta - m_1 g = a(m_2 + m_1) \quad \rightarrow \quad (m_2 \sin\theta - m_1) g = a(m_2 + m_1)}$$

$$\boldsymbol{a = \left(\frac{m_2 \sin\theta - m_1}{m_1 + m_2}\right) g}$$

بتعويض نتيجة قيمة التعجيل a في معادلة (3) ، نحصل على قيمة قوة الشد T

$$T = m_1(g + a) \quad \rightarrow \quad T = m_1 \left[g + \left(\frac{m_2 \sin\theta - m_1}{m_1 + m_2}\right) g\right]$$

$$T = m_1 \left[1 + \left(\frac{m_2 \sin\theta - m_1}{m_1 + m_2}\right)\right] g \quad \rightarrow \quad T = m_1 \left(\frac{m_1 + m_2 + m_2 \sin\theta - m_1}{m_1 + m_2}\right) g$$

$$T = m_1 g \left(\frac{m_2 + m_2 \sin\theta}{m_1 + m_2}\right) \rightarrow \quad T = m_1 m_2 \left(\frac{1 + \sin\theta}{m_1 + m_2}\right)\ g$$

$$T = \left(\frac{m_1 m_2\ (sin\,\theta + 1)}{m_1 + m_2}\right) g$$

ملاحظة اعد حل المسألة اعلاه وباعتبار $\theta = 30^\circ$,m1=2 kg, m2=5 kg

قوة الاحتكاك Friction Force

عندما يتحرك جسم ما على سطح او في وسط ذو لزوجة *viscous* وكما هو عليه الحال في الهواء او الماء ، فهناك مقاومة او ممانعة لحركة الجسم بسبب تفاعل الجسم مع المحيط *surrounding* .في الفيزياء ، يطلق على هذه الممانعة بمصطلح **قوة الاحتكاك *friction force*** .

الاحتكاك هو القوة التي تقاوم الحركة النسبية بين سطحين متماسين. ينقسم معامل الاحتكاك إلى نوعين رئيسيين يعتمدان على ما إذا كان الجسم **ساكنًا** أم **يتحرك**

عند تسليط قوة خارجية افقية باتجاه اليمين على حجر مستقر، فمن الممكن ان يبقى الحجر مستقرا عندما تكون القوة الخارجية قليلة المقدار وبسبب وجود قوة معاكسة بالاتجاه للقوة الخارجية المؤثرة على الحجر وهذه القوة تبقي الجسم مستقرا ويطلق على هذه القوة ب **قوة الاحتكاك المستقرة *static friction force*** .

وعليه في حالة عدم حركة الحجر فان $F=F_s$ وكلما ازدادت القوة $\vec{F}$ تزداد القوة $\overrightarrow{F_s}$ والعكس صحيح تماما ، كلما تتناقص او تتضائل القوة $\vec{F}$ تتناقص القوة $\overrightarrow{F_s}$. مقدار قوة الاحتكاك المستقرة بين جسمين متلامسيين تعطى بالعلاقة التالية :

$$f_s \leq \mu_s n$$

حيث μ_s : ثابت المقدار ويطلق عليه تسمية **معامل الاحتكاك المستقر** السكوني **static friction coefficient**

n : مقدار القوة العمودية المسلطة من سطح جسم ما على سطح جسم اخر .

هذا التعبير يعبر عن العلاقة بين قوة الاحتكاك الساكن f_s والقوة العمودية n بين جسمين متلامسين، حيث:

- f_s قوة الاحتكاك الساكن (القوة التي تمنع الجسم من الانزلاق عندما يكون في حالة سكون). (الوحدة نيوتن)
- μs معامل الاحتكاك الساكن (وهو ثابت يعتمد على طبيعة سطح الجسمين المتلامسين). (ليس له وحدة)
- n القوة العمودية (القوة التي تؤثر على الجسم عموديًا على السطح نتيجة وزنه أو قوة أخرى). (الوحدة نيوتن)

$$f_s \leq \mu_s n$$

المساواة تتحقق عندما يكون سطحي الجسمين المتلامسيين واقعين عند الحافة لوضع الانزلاق . اي

$$f_s = f_{s,max} = \mu_s n$$

وهذه الخاصية يطلق عليها **الممانعة للحركة** ***impending motion***

اللامساواة تتحقق عندما يكون سطحي الجسمين المتلامسيين ليس في وضع عند حافة الانزلاق .

يطلق على قوة الاحتكاك لجسم متحرك يتغير موضعه ب قوة الاحتكاك الحركية $\overrightarrow{F_k}$. مقدار قوة الاحتكاك الحركية F_k مابين جسمين تعطى العلاقة التالية

$$f_k = \mu_k n$$

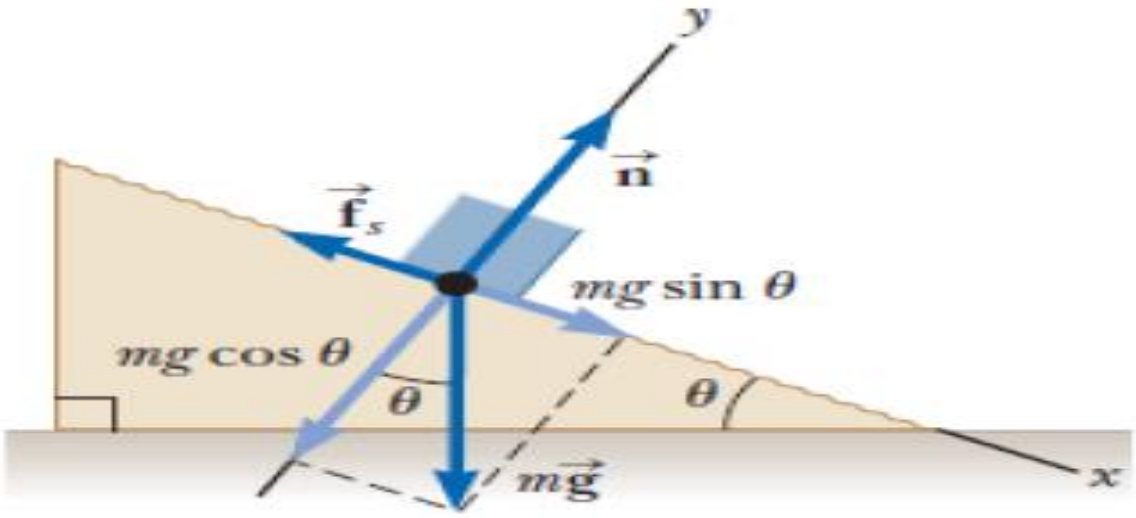
- f_k قوة الاحتكاك ا الحركي (الوحدة نيوتن)
- μ_k : **معامل الاحتكاك الحركي (الانزلاقي)** ***kinetic friction coefficient*** (ليس له وحدة)
- n القوة العمودية (الوحدة نيوتن)

من المفيد والضروري جدا ان نبين ، ان قيمة او مقدار كل من **معامل الاحتكاك المستقر ومعامل الاحتكاك الحركي** ، تعتمد على طبيعة السطوح . وبصورة عامة ، فان $\mu_k < \mu_s$ (معامل الاحتكاك الحركي اصغر من معامل الاحتكاك المستقر) . قيمتهما تتراوح مابين 0.03 to 1.0 .

اتجاه قوة الاحتكاك (كلا الحالتين) المؤثرة على جسم ما عادة تكون موازيه للسطح الملامس للجسم ومعاكسة لاتجاه حركة الجسم الفعلية .

الخاصية	الاحتكاك المستقر (μ_s)	الاحتكاك الحركي (μ_k)
حالة الجسم	ساكن	يتحرك
قيمة المعامل	**دائمًا أكبر** ($\mu s > \mu k$)	**دائمًا أصغر** ($\mu k < \mu s$)
قيمة القوة	تتغير من صفر إلى قيمة قصوى	**ثابتة** تقريبًا
المعادلة	$Fs \leq \mu s N$	$Fk = \mu k N$

مثال (5): قطعة حجر وضعت على سطح خشن مائل بزاوية θ مع الافق وتزداد هذه الزاوية الميلان حتى بلوغ الحجر الشروع بالحركة . احسب معامل الاحتكاك المستقر μ_s بدلالة زاوية الميل θ ؟



نحدد محصلتي القوى الافقية والعمودية وكمايلي

$$\sum F_x = mg \sin\theta - f_s = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\sum F_y = n - mg\, cos\, \theta = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

من المعادلة (2) ، نحصل على $mg = \frac{n}{\cos\theta}$ ، بتعويض هذه النتيجة في المعادلة (1) نحصل على مايلي

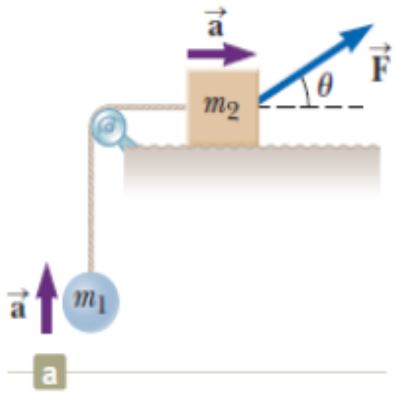
$$f_s = mg\, sin\, \theta = \left(\frac{n}{cos\, \theta}\right) \cdot \sin\theta = n \tan\theta$$

وعليه ، عندما تزداد زاوية الميلان حتى يصل الحجر الى حافة سطح الانزلاق ، عندها تكون قوة الاحتكاك المستقرة f_s في اعظم قيمة عددية . بمعنى اخر

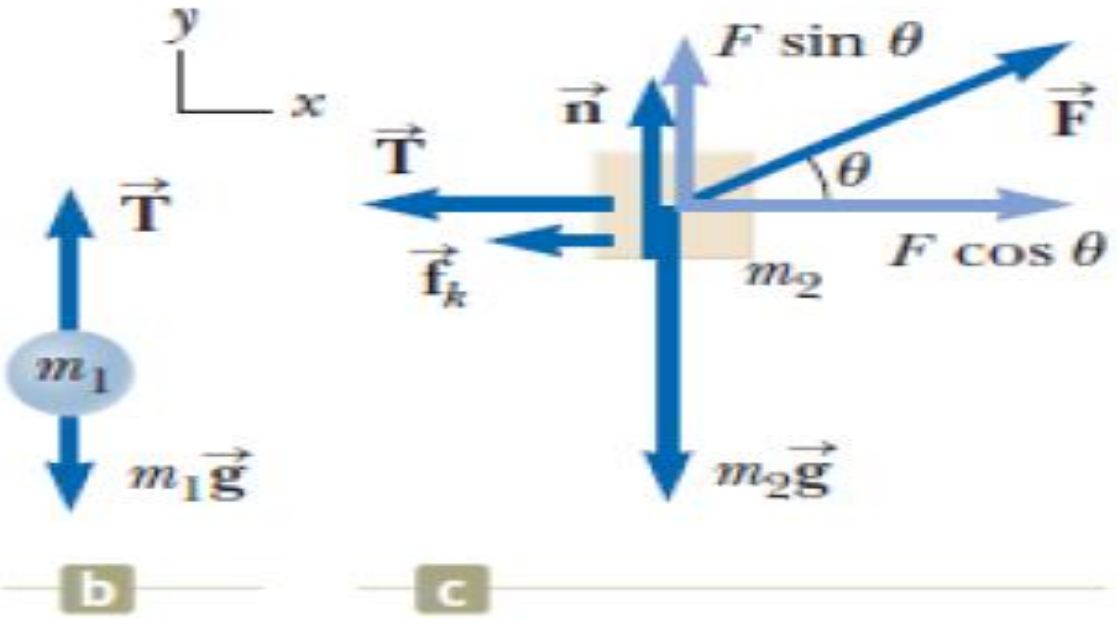
$$f_s = \mu_s n = n \tan\theta \rightarrow\rightarrow\rightarrow \boldsymbol{\mu_s = tan\, \theta}$$

ملاحظة: اعد حل المثال اعلاه وباعتبار قيمة الزاوية 30 درجة $\theta = 45^\circ$

مثال (6) : وضع حجر كتلته m_2 على سطح خشن افقي وعلق به كرة كتلتها m_1 بواسطة سلك او خيط خفيف من على سطح بكرة pulley ، سلطت قوة خارجية قيمتها F وبزاوية قدرها θ مع الافق على الحجر وبالتالي تحرك الحجر نحو اليمين . احسب مقدار التعجيل في الجسمين (الحجر والكرة) ؟



الحل: ان القطعة المكعبة والكرة بسبب هذه القوة سيتحركان، حيث ستتحرك القطعة المكعبة الى اليمين كما اشير الى ذلك بمنطوق المسألة وستتحرك الكرة الى الأعلى لان قوة الشد أكبر من وزنها. ان الشكل b يوضح القوى المسلطة على الكرة. نحلل القوى المسلطة على القطعة المكعبة كما في الشكل c.



تعطى محصلتي القوى **الافقية والعمودية** بالعلاقات التالية

$$\sum F_x = F\cos\theta - f_k - T = m_2 a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\sum F_y = n + F\,sin\,\theta - m_2 g = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$\sum F_y = T - m_1 g = m_1 a \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \qquad (3)$$

من المعادلة (2) ، نحصل على $n = m_2 g - F\,sin\,\theta$ ، بتعويض قيمة n في العلاقة $f_k =$ نحصل $\mu_k n$

$$f_k = \mu_k (m_2 g - F\,sin\,\theta)$$

من المعادلة (3) اعلاه ، لدينا $T = m_1(a+g)$ ، وبتعويض قيمتي T و f_k في المعادلة (1) نحصل وبترتيب العلاقة اعلاه نحصل على قيمة التعجيل وكمايلي

$$(1) \qquad \sum F_x = F\cos\theta - f_k - T = m_2 a$$

$$F\cos\theta - \mu_k(m_2 g - F\sin\theta) - m_1(a+g) = m_2 a$$

$$F\cos\theta - m_2 g\,\mu_k + \mu_k F\sin\theta - m_1 a - m_1 g = m_2 a$$

$$F\cos\theta + \mu_k F\sin\theta - m_1 g - m_2 g\,\mu_k = m_1 a + m_2 a$$

$$F(\cos\theta + \mu_k \sin\theta) - (m_1 + \mu_k m_2) g = a(m_1 + m_2)$$

$$a = \frac{F(\cos\theta + \mu_k \sin\theta) - (m_1 + \mu_k m_2) g}{m_1 + m_2}$$

ملاحظة: اعد حل المثال اعلاه وباعتبار ان m_1=250 gm و m_2=1350 gm . وقيمة زاوية ميلان السطح 45 درجة علما بان قيمة معامل الاحتكاك الحركي هو 0.75 ؟