5 Chapter Five الباب الخامس

Force and Motion (I) القوة والحركة (I)

1-5:مقدمة Introduction

درسنا في البابين الثاني والرابع موضوع الحركة motion من منظور وصف الحركة. وصف الحركة هو فرع من فروع الميكانيكا يسمى **الكاينماتيكا Kinematics**، وهو موضوع متأسس على مفاهيم الإزاحة displacement، والسرعة المتجهة velocity، والتسارع acceleration. في هذا الباب سندرس موضوع الحركة من منظور مسبب الحركة، وهذا الموضوع فرع من الميكانيكا يسمى **الديناميكا Dynamics**، وهو موضوع يجيب عن أسئلة كثيرة تخص الحركة مثل: ما الذي يجعل جسماً في حالة السكون يبدأ الحركة؟ ما الذي يجعل جسماً يتسارع أو يتباطئ؟ ما الذي يجعل جسماً ما يتسارع أكثر من جسمٍ آخر؟ ستكون الإجابة عن هذه الأسئلة متعلقة بمفهوم القوة force.

مفهوم القوة سيكون المحور الرئيس لهذا الباب حيث سنبدأ دراسته في البند الثاني. بعد دراسة مفهوم القوة ننتقل لدراسة قوانين نيوتن حيث سندرس في البند الثالث قانون نيوتن الأول والأفكار الفيزيائية المصاحبة له. في البند الرابع سندرس قانون نيوتن الثاني والأفكار الفيزيائية المصاحبة له. قانون نيوتن الثالث- قوة الاحتكاك –بعض التطبيقات.

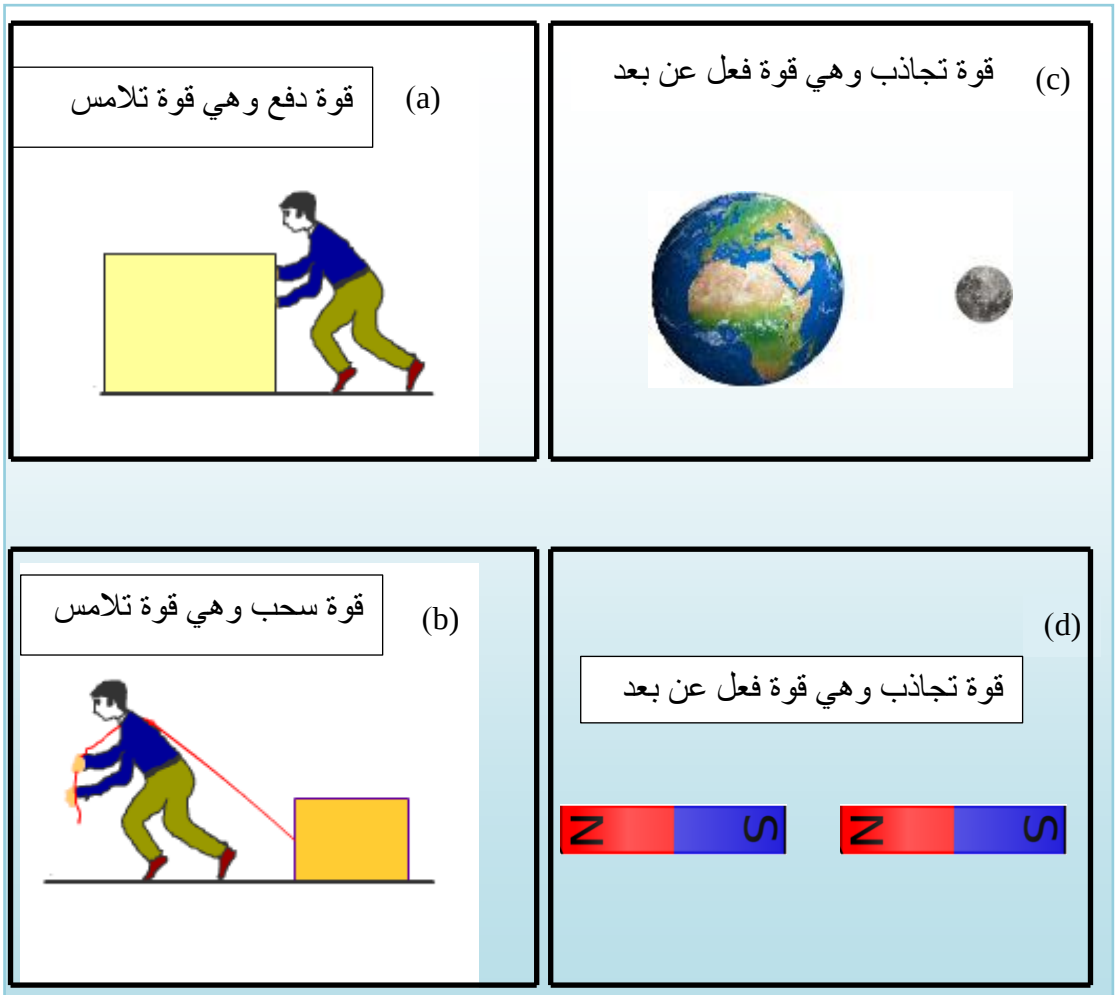
2-5:مفهوم القوة The Concept of Force

من خلال خبراتنا الحياتية تَكَوّن لدى كل شخص منا إدراكاً حسياً عن مفهوم القوة، فنحن نؤثر بقوة عندما ندفع عربة التسوق. ونؤثر بقوة عندما نستعمل حبلاً لرفع جسمٍ ما إلى سطح بناية. ونؤثر بقوة عندما نستعمل الشاكوش لدق مسمار في قطعة خشب. ونؤثر بقوة عندما نركل كرة قدم. ونؤثر بقوة عندما نَمُط جسماً مرناً مثل الزنبرك. ونؤثر بقوة عندما نرغب بتغيير شكل جسم مرن. ونستنتج وجود قوة عندما نقرب مغناطيساً من قطعة حديد؛ أو نقرب قطعة بلاستيك مدلوكة بالصوف من قصاصات صغيرة من الورق؛ أو عندما نشاهد جسماً ينجذب ساقطاً نحو الأرض.

نتيجة لخبراتنا ومشاهداتنا الحياتية يمكن أن نعرف القوة على أنها أي مؤثر يؤثر على الأجسام فيؤدي إلى تغير في حالتها من حيث الشكل أو الحركة. ويمكن أن نصفها على أنها تمثيلاً لطبيعة التفاعل بين جسمين؛ أو بين جسم والبيئة المحيطة به.

D.K.ALKHALED

على المستوى العياني (الجاهري) إذا كان التفاعل فيه اتصال مباشر الشكل (5-a1) و الشكل (5-b1)، فإن القوة في هذه الحالة تسمى قوة تلامس contact force. أما إذا كان التفاعل يحدث دون اتصال مباشر الشكل (5-c1) والشكل (5-d1)، فإن القوة في هذه الحالة تسمى قوة الفعل عن بعد action-at-a-distance force، وتسمى أحياناً قوة مجال field force بسبب فكرة أن الأجسام يتولد حولها منطقة نفوذ تؤثر بقوة على الأجسام الموجودة في تلك المنطقة.



الشكل (5-1)صور تبين قوى التلامس وقوى الفعل عن بعد

على المستوى المجهري، وبعد دراسات وأبحاث نظرية وتجريبية على مستوى الذرة ومكوناتها تم تصنيف جميع القوى في الطبيعة على أنها جميعها قوى مجال، وقسموها في البداية إلى أربعة أنواع:

(١) قوة الجاذبة Gravitational Force ، وهي القوة المتبادلة بين الأجسام اعتماداً على كتلها، وتكون ضعيفة أو غير ملاحظة بين الكتل الصغيرة، وكبيرة جداً على مستوى الأجرام السماوية. تعمل هذه القوى على عدم اصطدام الأجرام السماوية مع بعضها البعض بجعلها تسير في مسارات منتظمة ليؤدي ذلك إلى تماسك الكون.

D.K.ALKHALED

(٢) القوة الكهرومغناطيسية Electromagnetic Force، وهي القوة المتبادلة بين الشحنات الكهربائية. تعمل هذه القوة على ترابط الذرات داخل جزيئات المواد.

(٣) القوة النووية الضعيفة Weak Nuclear Force، وهي قوة ضعيفة وذات مدى قصير جداً لا يتعدى حدود الذرة. تعمل هذه القوة على تنظيم عملية النشاط الإشعاعي من خلال تفكك واضمحلال بعض الجسيمات الأولية داخل أنوية ذرات العناصر التي تسمى العناصر المشعة.

(٤) القوة النووية الشديدة Strong Nuclear Force، وهي قوة شديدة جداً داخل حدود النواة. تعمل هذه القوة على تماسك الجسيمات الأولية المكونة للنواة مثل البروتونات والنيوترونات ومكوناتهما من الكواركات داخل النواة. تفكك هذه المكونات عن بعضها يؤدي إلى الحصول على الطاقة النووية.

في موضوع الديناميكا، توصف القوة من حيث علاقتها بالحركة على إنها إما أن تكون **قوة دفع push force** جسم على جسم آخر ؛ أو **قوة سحب pull force** جسم لجسم آخر. وتعد القوة كمية متجهة vector quantity ؛ فقد نؤثر باتجاهات مختلفة لدفع أو سحب جسم. ونتيجة لعمل قوة الدفع أو قوة السحب على جسم ما تظهر قوة تؤثر على الجسم باتجاه معاكس، وهذه القوة إما أن تكون **قوة احتكاك frictional force** تظهر عندما يتحرك جسم على جسم آخر؛ أو **قوة معيقة drag force** $\left(\vec{F}_{\mathrm{D}}\right)$ **(مثل مقاومة الهواء air resistance force)** تظهر عندما يسير الجسم وسط مائع ما مثل الهواء أو الماء أو أي سائل آخر. قوة الاحتكاك تنتج عن الاتصال المتبادل بين سطح الجسم والسطح الذي يشكل مسار حركة الجسم، وهي قوة مماسية تكون دائماً باتجاه معاكس لاتجاه الحركة. وبما أنها جميعها قوى مجال، فإن جميع القوى التي نتعامل معها في حياتنا اليومية - باستثناء قوة الجاذبية- هي قوى كهرومغناطيسية، وسيتم الإشارة إلى هذه الفكرة بعد دراسة قانون نيوتن الثاني.

3-5: قانون نيوتن الأول والأطر المرجعية

Newton's First Law and Frames of Reference

أولاً: قانون نيوتن الأول.

من خلال دراستنا للبند السابق اتضح لنا مفهوم القوة. في هذا البند سنركز على النتائج المترتبة على وجود $\vec{F}$ قوة أو محصلة قوى $\sum \vec{F}$ net force or resultant force تؤثر على جسم ما، وسنناقش علاقة تأثير ذلك على حركة الأجسام. في البداية، دعنا نسأل أنفسنا

D.K.ALKHALED

السؤال التالي: ماذا يحدث لجسم ما إذا كانت محصلة القوى المؤثرة عليه تساوي صفر، أي $\sum \vec{F} = 0$ ؟ نعلم جميعاً أنه إذا لم تكن هناك أي قوة خارجية تؤثر على جسم ساكن، فإنه يبقى ساكناً. ولكن هل يمكن أن يكون هناك جسماً متحركاً تحت تأثير قوى محصلتها تساوي صفر؟ للإجابة على هذا السؤال بمزيدٍ من الوعي والإدراك دعنا نعود تاريخياً إلى الوراء لنعرف ما كان سائداً من معرفة علمية حول هذا الموضوع.

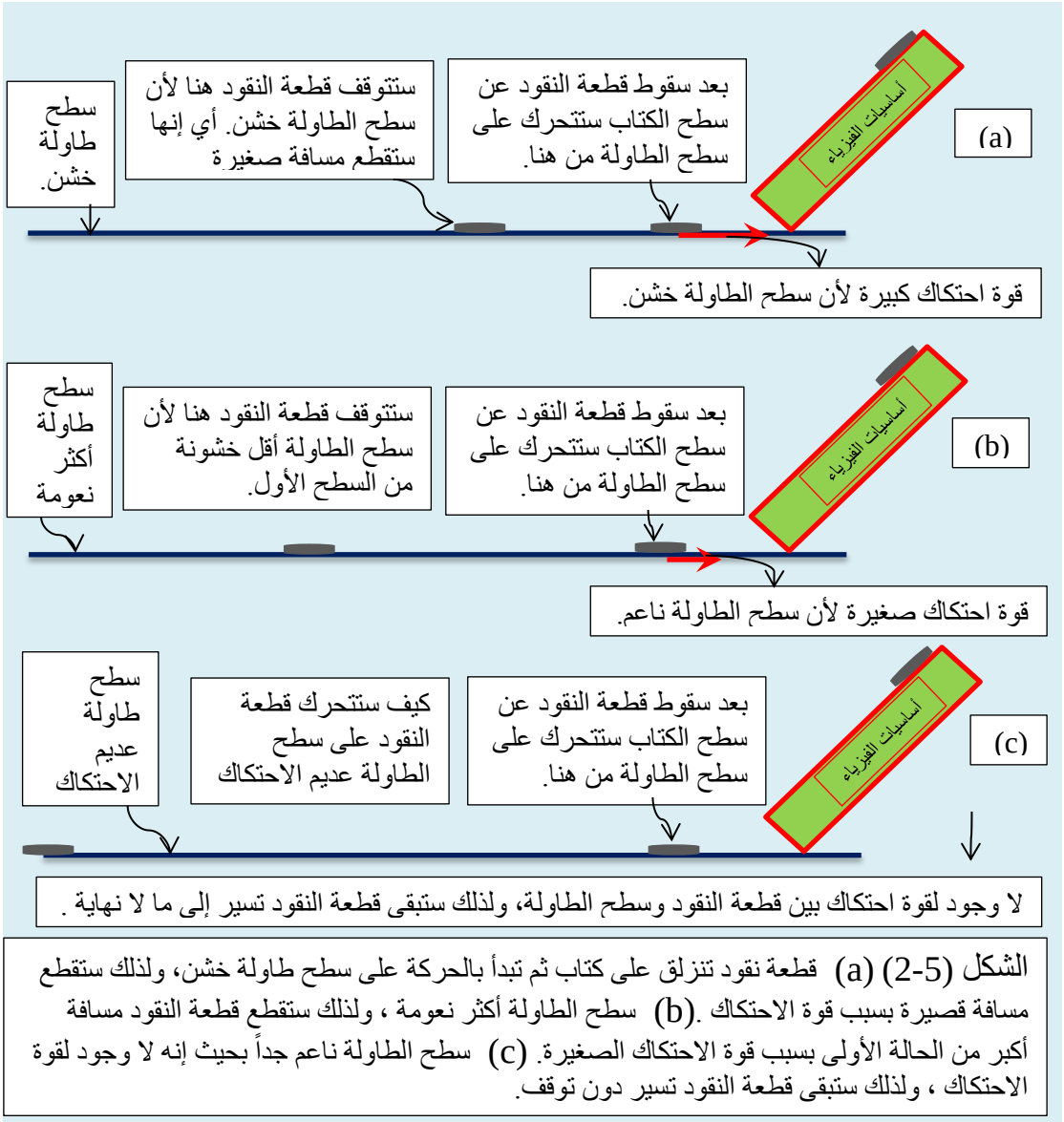
قبل مجيء جاليلو Galileo Galilei (1564-1642) كان الناس يعتمدون في تفسير علاقة القوة مع الحركة على آراء أرسطو في الحركة Aristotle (384-322 B.C.) . من آراء أرسطو في الحركة أن السكون هو الوضع الطبيعي للأجسام، ولجعل الجسم يتحرك لا بد من التأثير عليه بقوة، ولجعل الجسم يسير بسرعة أكبر لا بد من التأثير عليه بقوة أكبر، وإذا أزيلت القوة يتوقف الجسم فجأة (فوراً) عن الحركة.

بعد حوالي ألفي عام من استمرارية هذه الآراء وجد جاليلو أن هذه الآراء لا تعطي إجابات شافية تتفق مع الواقع، إضافة إلى أنها تحتوي على أفكارٍ خاطئة. وحتى يعطي إجابات مقنعة حول أسئلة الحركة فقد استعمل المنهج التجريبي مع التفكير المنطقي للتوصل إلى الإجابات. لتكتشف عزيزي الطالب الأفكار الخاطئة في آراء أرسطو دعنا نقوم بما يلي، حيث سنناقش الآن الفكرة الخاطئة المتمثلة في بقاء القوة لاستمرار الحركة والتي نبعت من اعتقاد أرسطو أنه من الضروري وجود محصلة قوى غير صفرية للإبقاء على حركة الجسم بسرعة ثابتة. أما الفكرة الأخرى الخاطئة المتمثلة بأنه لجعل الجسم يسير بسرعة أكبر لا بد من التأثير عليه بقوة أكبر فسنناقشها عند دراستنا لقانون نيوتن الثاني:

إذا نظرت إلى قطعة نقود موضوعة على سطح طاولة أفقية ستلاحظ أن قطعة النقود ستبقى في حالة السكون ما لم تؤثر عليها أي قوى خارجية. إذا حاولت التأثير بقوة دفع أفقية مستمرة على قطعة النقود ستلاحظ أنها تتحرك، وتبقى تتحرك ما دام تأثير القوة موجود. إذا أزيل تأثير القوة ستلاحظ أن قطعة النقود تتوقف عن الحركة، وستستنتج ما استنتجه أرسطو قبل أكثر من ألفي عام، وستحاول إقناع الآخرين بصحة آراء أرسطو، ولكن حذاري أن تفعل ذلك، لأنك إن فعلت فستكون معتمداً على حواسك دون عقلك في تكوين المعرفة. فتكوين معرفة تريح ذهن الإنسان تكون بتكامل عمل الحواس مع العقل المتميز بالقدرات والمعرفة السابقة. فالإنسان الذي يمتلك قدرات عقلية ومعرفة سابقة يستفيد من حواسه لتكوين معرفة جديدة تريح ذهنه. ولتكوين معرفة تريح ذهننا، دعنا نعود إلى قطعة النقود:

D.K.ALKHALED

إذا وضعنا قطعة النقود على سطح كتاب موضوع بشكل مائل مع سطح الطاولة الأفقية، ثم تركنا قطعة النقود تتحرك من السكون تحت تأثير جزء وزنها (مركبة وزنها) الموازي لسطح الكتاب، ستلاحظ أن قطعة النقود تستمر في الحركة وتقطع مسافة معينة على سطح الطاولة بعد أن تترك سطح الكتاب الشكل (5-2a).إذا استبدلنا سطح الطاولة بسطح أكثر نعومة من السطح الأول- أي إن قوة الاحتكاك بين سطح قطعة النقود وسطح الطاولة تصبح أقل- وأعدنا التجربة سنلاحظ أن قطعة النقود ستقطع مسافة أكبر من المسافة الأولى الشكل (5-2b). إذا كررنا التجربة باستبدال سطح الطاولة بسطح أكثر نعومة من السابق في كل مرة سنلاحظ أن قطعة النقود ستقطع في كل مرة مسافة أكبر من المسافة السابقة. لنتخيل الآن أن سطح الطاولة عديم الاحتكاك نهائياً وطويل جداً، سنتخيل أن قطعة النقود ستستمر في الحركة دون توقف.



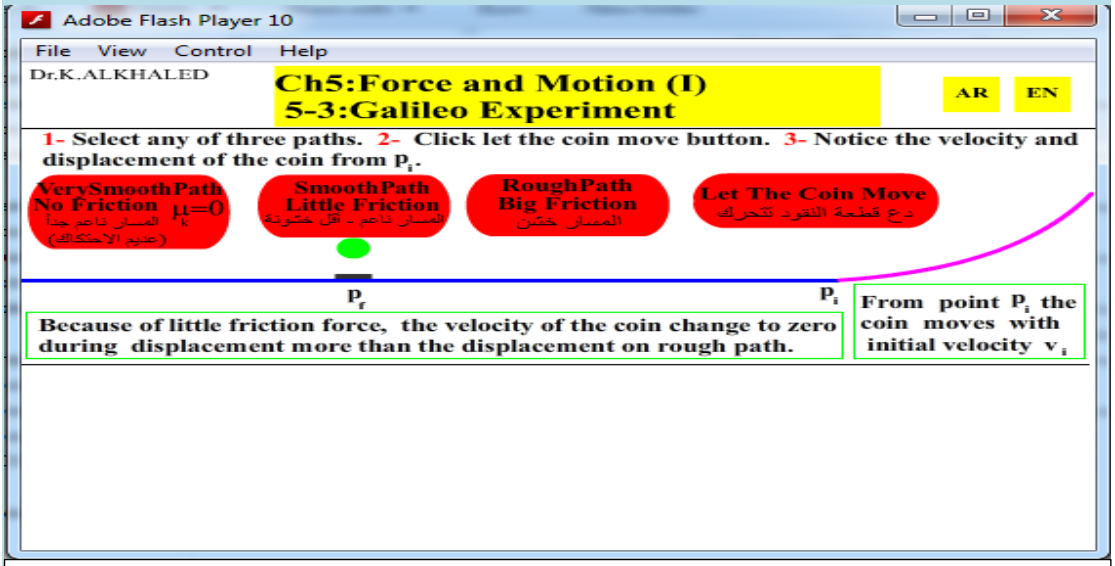
الشكل (5-2) (a) قطعة نقود تنزلق على كتاب ثم تبدأ بالحركة على سطح طاولة خشن، ولذلك ستقطع مسافة قصيرة بسبب قوة الاحتكاك .(b) سطح الطاولة أكثر نعومة ، ولذلك ستقطع قطعة النقود مسافة أكبر من الحالة الأولى بسبب قوة الاحتكاك الصغيرة. (c) سطح الطاولة ناعم جداً بحيث إنه لا وجود لقوة الاحتكاك ، ولذلك ستبقى قطعة النقود تسير دون توقف.

D.K.ALKHALED

ولمزيد من التوضيح ندعوك عزيزي الطالب للرجوع إلى البرمجية الأولى لهذا الباب.

البرمجية الأولى بعنوان: تجربة جاليلو Galileo Experiment.

صورة عن واجهة البرمجية الأولى للباب الخامس وهي بعنوان تجربة جاليلو
Galileo Experiment



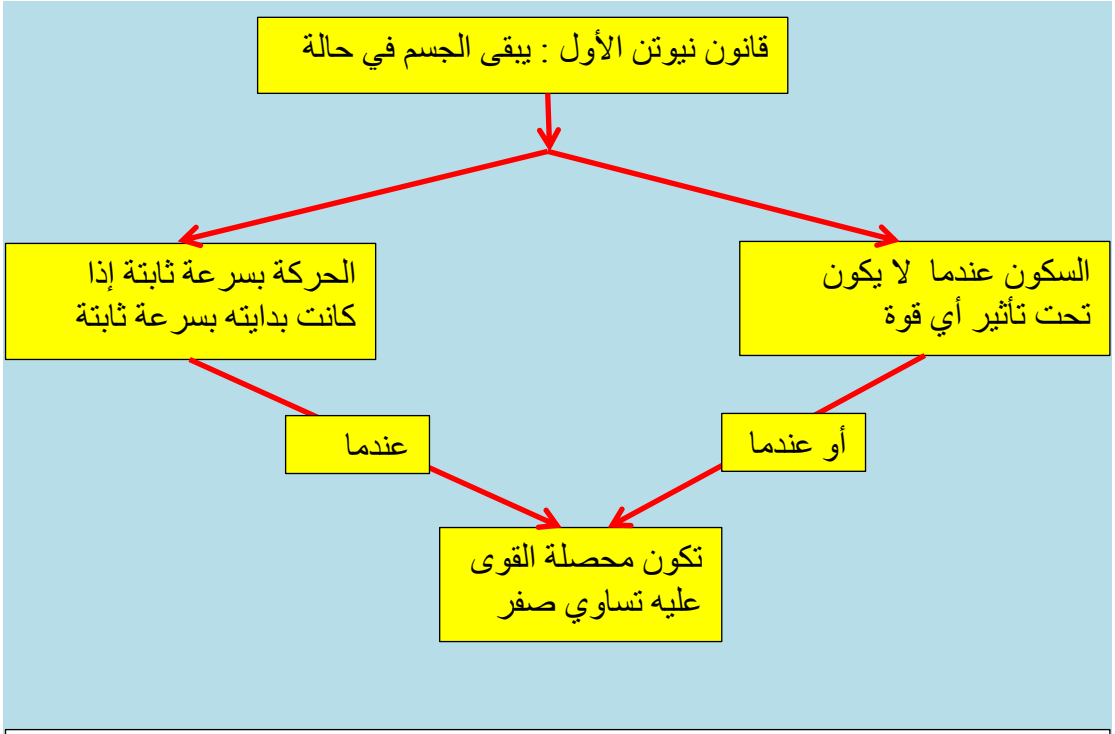
هذه صورة عن واجهة البرمجية الأولى . لاستعمال البرمجية الفعلية ما عليك فعله هو اختيار المسار من خلال النقر على الزر ثم النقر على زر دع قطعة النقود تتحرك
ثم مراقبة الحركة والنظر فيها لإدراك ماذا كان يقصد جاليلو . لقراءة النص في اللغة العربية أنقر عل زر AR .

بالاستعانة بهذه الملاحظات والتفكير المنطقي نستطيع أن نستنتج ما استنتجه جاليلو سابقاً من أن **الجسم المتحرك بسرعة معينة وبخط مستقيم يبقى على حالته الحركية بسرعة ثابتة ما لم تؤثر عليه قوة تغير من هذه الحالة الحركية**. فالقوة ليست ضرورية للمحافظة على الحركة كما قال أرسطو، بل هي ضرورية لتغيير حالة الحركة. والسكون ليس هو الوضع الطبيعي للأجسام، بل السكون والحركة بسرعة ثابتة هما الوضعان الطبيعيان للأجسام، وليس من طبيعة الجسم أن يقف فوراً بعد إزالة القوة المحركة، ومن هذه الفكرة أبدع جاليلو بإنتاج مصطلح **القصور الذاتي Inertia** للإشارة إلى ميل الجسم للمحافظة على الحالة التي هو فيها وقصوره عن تغيير حالته من تلقاء نفسه.

تأسيساً على آراء جاليلو، فقد بنى نيوتن (1642-1727) Isaac Newton نظرية عظيمة في الحركة ضمنها ثلاثة قوانين ووضعها في كتاب بعنوان المبادئ الأساسية لفلسفة الطبيعة نشره سنة 1677 حيث لخص في القانون الأول آراء جاليلو في الحركة ووضعه بصيغة تُعرف الآن باسم قانون نيوتن الأول، وينص هذا القانون على:

أي جسم يكون في حالة السكون يبقى في حالة السكون وأي جسم يكون في حالة حركة منتظمة في خط مستقيم يبقى على حالته ما لم تؤثر عليهما قوى خارجية.

ميل الجسم للمحافظة على الحالة التي هو فيها وقصوره عن تغيير حالته من تلقاء نفسه.



الشكل (3-5) مخطط يوضح قانون نيوتن الأول.

ثانياً: الأطر المرجعية القصورية.

تُعَدُ مفاهيم الموقع والسكون والحركة من المفاهيم النسبية، فتحديد موقع أي جسم يكون نسبة إلى جسم آخر، وهذا الجسم الآخر نسميه إطار مرجعي reference frame . فإذا كان موضع الجسم يتغير مع الزمن بالنسبة لإطار مرجعي نقول إن الجسم متحركاً بالنسبة لذلك الإطار المرجعي. وإذا كان موضع الجسم لا يتغير مع الزمن بالنسبة للإطار المرجعي نقول إن الجسم ساكن بالنسبة لذلك الإطار المرجعي. إن مفهوم الإطار المرجعي يُعَدُ مفهوماً مركزياً بالنسبة لقوانين نيوتن في الحركة. لقد اعتدنا أن تكون نقطة الأصل هي الإطار المرجعي في نظام الاحداثيات على اعتبار أن نقطة الأصل ثابتة، ولكن ماذا يحصل إذا كان الإطار المرجعي متحركاً؟ للإجابة على هذا السؤال دعنا نتصور أن شخصاً A يرتدي زلاجات ويقف على ظهر شاحنة طويلة مخصصة لنقل حاويات البضائع ولكنها فارغة من الحاويات وتسير بسرعة ثابتة الشكل (4-5). إذا كان الشخص A يقف ساكناً عند بداية ظهر الشاحنة عندما بدأ السائق بالتحرك متسارعاً إلى اليمين فإنه سوف يبدأ بالتحرك إلى اليسار بالنسبة للشاحنة. حسب قانون نيوتن

D.K.ALKHALED

الأول، **ما هي القوة التي أثرت عليه لتجعله يغير من حالته ويتحرك إلى اليسار؟ كيف سيشاهد هذا الموقف المراقب B الذي يجلس في الشاحنة؟ كيف سيشاهد هذا الموقف المراقب C الذي يقف بالقرب من أرضية الطريق التي تسير عليها الشاحنة؟**

الشكل (5-4) شاحنة طويلة تسير في البداية بسرعة ثابتة ولذلك تُعد إطاراً مرجعياً قصورياً. الشخص A يرتدي زلاجات ويقف ساكناً على ظهر الشاحنة والحركة تبدو طبيعية لكل من الشخصين B وC . عندما بدأ السائق بالتحرك متسارعاً إلى اليمين فإن الشاحنة تصبح إطاراً مرجعياً غير قصوري فيصبح وصف حركة الشخص A مختلف بالنسبة للشخصين B وC .

إن المراقب C الذي يقف بالقرب من أرضية الطريق سيصف حركة الشخص A بأنها طبيعية، فحسب قانون نيوتن الأول فإن الشخص A يميل إلى الابقاء على حركته بالسرعة التي هو فيها بينما الشاحنة تتسارع. الشخص B الجالس في الشاحنة سيندهش من ابتعاد الشخص A عنه بدون وجود قوة. ولا بد للشخص C أن يخبر الشخص B أنه في الحقيقة لا توجد قوة في اندفاع الشخص A وإنما هناك ميل للشخص A للمحافظة على حالته عندما أصبحت الشاحنة تتسارع. في كثير من الأحيان نسمي قانون نيوتن الأول **قانون القصور الذاتي law of inertia**.

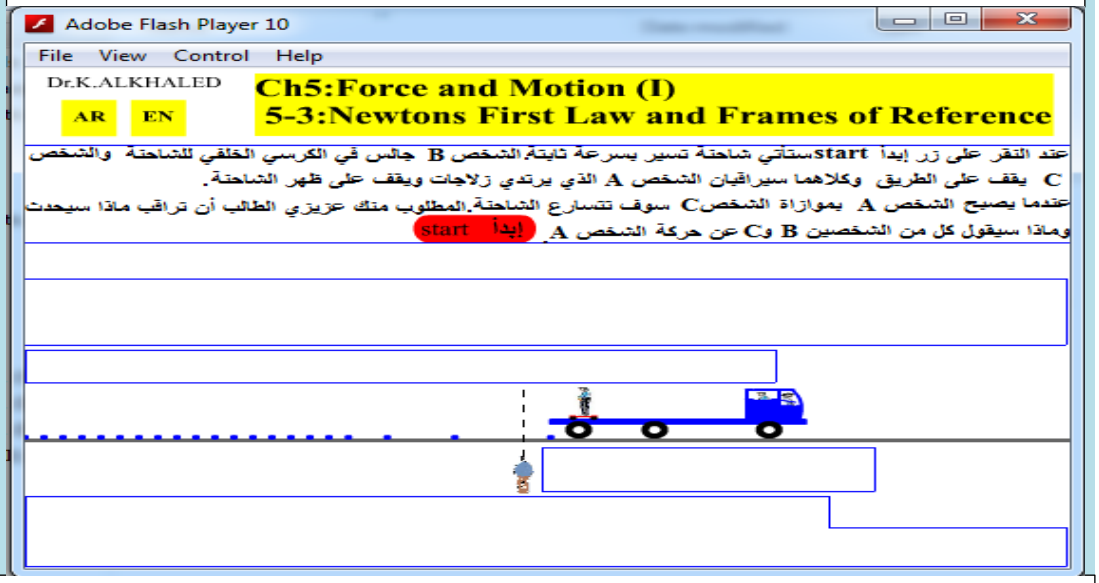
نستنتج من ما ورد من أن قانون نيوتن الأول لا يطبق في حالة الاطار المرجعي المتسارع، وإنما يطبق في الاطار المرجعي الثابت. إن الاطار المرجعي المتسارع الذي لا نطبق فيه قانون نيوتن الأول يسمى إطار **مرجعي غير قصوري noninertial reference frame**. بينما الاطار المرجعي الثابت يسمى **إطار مرجعي قصوري inertial reference frame**. إن أي إطار مرجعي متحرك بسرعة ثابتة بالنسبة لإطار مرجعي ثابت يعد إطاراً مرجعياً قصورياً.

D.K.ALKHALED

ولمزيدٍ من التوضيح ندعوك عزيزي الطالب للرجوع إلى البرمجية الثانية لهذا الباب.

البرمجية الثانية بعنوان: قانون نيوتن الأول والأطر المرجعية.

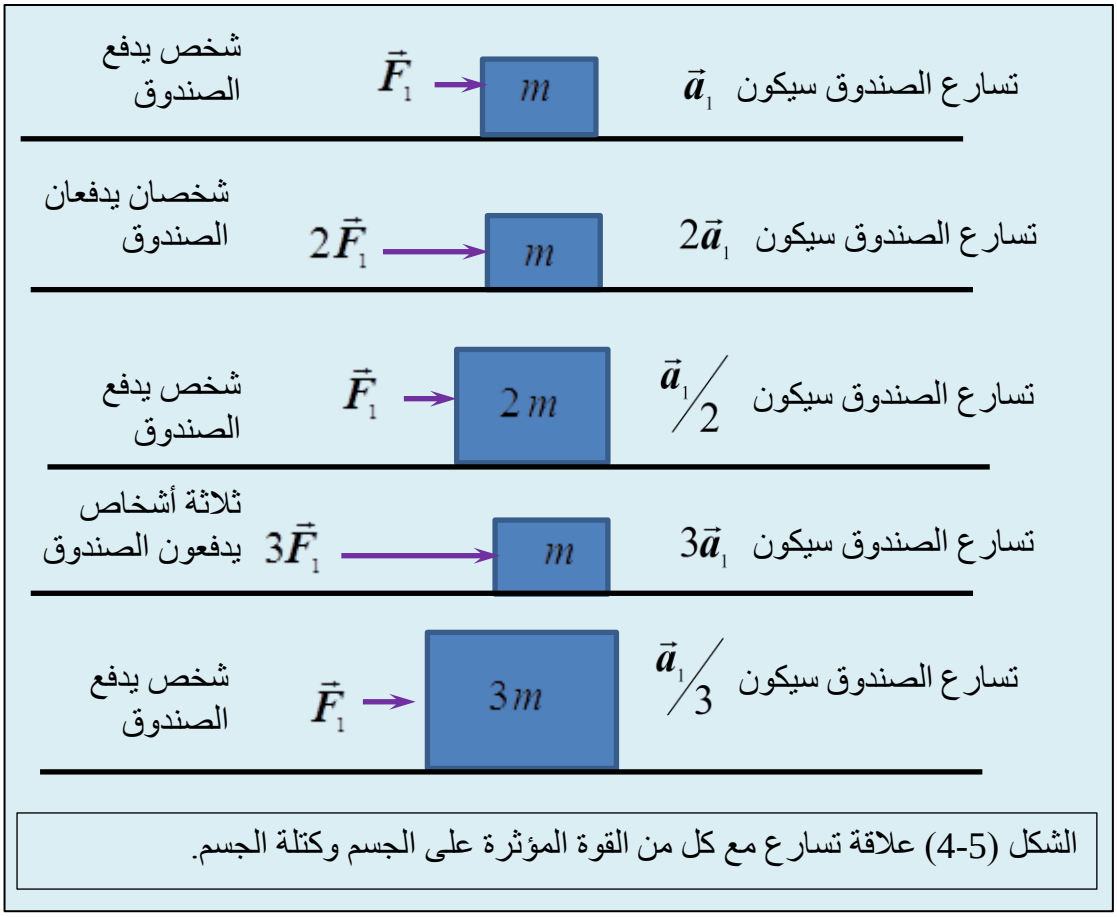
صورة عن واجهة البرمجية الثانية للباب الخامس وهي بعنوان قانون نيوتن الأول والأطر المرجعية.



هذه صورة عن واجهة البرمجية الثانية. لاستعمال البرمجية الفعلية ما عليك فعله هو ل النقر على زر ابدأ ثم الانتظار حتى تدخل الشاحنة، ثم مراقبة الحركة والنظر وماذا سيقول الشخص B الجالس في الكرسي الخلفي في الشاحنة، وماذا سيقول الشخص الواقف على الطريق. النصوص تظهر في اللغة العربية فقط .

4-5: قانون نيوتن الثاني Newton's Second Law

لقد وضّح لنا قانون نيوتن الأول أن الجسم يكون إما ساكناً أو متحركاً بسرعة ثابتة في خط مستقيم عندما تكون محصلة القوى المؤثرة عليه تساوي صفراً. لكن ماذا يحدث للجسم إذا كانت محصلة القوى المؤثرة عليه لا تساوي صفراً. إن قانون نيوتن الثاني يجيب على هذا السؤال، فقد قال نيوتن إن الجسم في هذه الحالة سوف تتزايد سرعته، أي سوف يتسارع. وإذا كانت متحركاً باتجاه معين وكانت محصلة القوى باتجاه معاكس فإن سرعة الجسم سوف تتناقص.



الشكل (4-5) علاقة تسارع مع كل من القوة المؤثرة على الجسم وكتلة الجسم.

لتوضيح العلاقة بين القوة والتسارع لاحظ الشكل (4-5) الذي يمثل صندوق موضوع على سطح أفقي أملس. إذا أثرت قوة F_1 على الصندوق فإن الصندوق سوف يكون تسارعه لِنَقل a_1. إذا تضاعفت القوة فإن تسارع الصندوق سوف يتضاعف. أما إذا تضاعفت كتلة الصندوق وبقيت القوة المؤثرة هي نفسها F_1، فإن تسارع الصندوق سوف يتقلص إلى النصف. وإذا أصبحت القوة المؤثرة على الصندوق $3F_1$ فإن تسارع الجسم سوف يصبح $3a_1$. أما إذا أصبحت كتلة الصندوق مع بقاء القوة المؤثرة هي نفسها F_1، ، فإن تسارع الصندوق سوف يتقلص إلى الثلث، وهكذا نستطيع أن نكتب قانون نيوتن الثاني بالصيغة التالية:

إن تسارع أي جسم يتناسب تناسباً طردياً مع محصلة القوى المؤثرة عليه وتناسباً عكسياً مع كتلة الجسم. ويكون اتجاه تسارع الجسم باتجاه محصلة القوى المؤثرة عليه.

وبصيغة رياضية اتجاهية يمكن التعبير عن قانون نيوتن الثاني بالرموز التالية:

$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}$$

حيث m كتلة الجسم، و $\sum \vec{F}$ المجموع الاتجاهي للقوى المؤثرة على الجسم (محصلة القوى).

والصيغة الرياضية الاتجاهية المألوفة أكثر هي:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a} \qquad \text{..... (5-1a)}$$

أما المركبات القياسية في المحاور الكارتيزية فتكتب على الصورة:

$$\sum F_x = ma_x \text{ ،} \qquad \sum F_y = ma_y \text{ ،} \qquad \sum F_z = ma_z \qquad \text{..... (5-1b)}$$

حيث

$$\sum \vec{F} = \sum F_x \hat{i} + \sum F_y \hat{j} + \sum F_z \hat{k} \qquad \text{و} \qquad \vec{a} = a_x \hat{i} + a_y \hat{j} + a_z \hat{k}$$

نلاحظ من المعادلات (5-1) أنه عندما تكون محصلة القوى المؤثرة على الجسم تساوي صفر $\sum \vec{F} = 0$ فإن تسارع الجسم يساوي صفر، أي يبقى الجسم يسير بسرعة ثابتة، وقد يتبادر إلى الذهن أن قانون نيوتن الثاني يتضمن قانون نيوتن الأول. لكن هناك فكرة مهمة جداً موجودة في قانون نيوتن الأول وهي أنه يشير إلى خاصية طبيعية تتميز بها جميع الأجسام المادية وهي خاصية القصور الذاتي التي تعني أن الأجسام تميل إلى أن تبقى على الحالة التي هي فيها وتمانع التغير. فالسكون والحركة المنتظمة وضعان طبيعيان للأجسام المادية. ولذلك يجب الانتباه إلى أهمية قانون نيوتن الأول، وأنه قانون منفصل قائم بذاته، ويفيدنا في تفسير العديد من الظواهر الطبيعية. وإن قانون نيوتن الثاني يعالج المسائل التي فيها محصلة القوى لا تساوي صفر $\sum \vec{F} \neq 0$.

تعريف الكتلة والوزن والقوة Mass, Weight and Force

لقد تعلمنا في المدارس أن مصطلح كتلة الجسم تعرف على إنها مقدار ما في الجسم من مادة. وقد استخدم نيوتن هذا المصطلح كمرادف للمنعى مقدار ما في الجسم، ولكن هذا المعنى يُعد معنىً حدسياً غير واضح من الناحية الكمية. من خلال قانوني نيوتن الأول والثاني نستطيع أن نعطي تعريفاً أدق كأن نقول إن كتلة الجسم هي مقياس لقصور الجسم الذاتي inertia عن تغيير الحالة

التي هو فيها، أو مقياس لممانعة الجسم على تغيير الحالة التي هو فيها. (مقياس تغير حالة الحركة هو التسارع). فعند المقارنة بين جسمين واحد كتلته كبيرة والآخر كتلته صغيرة فالجسم الذي كتلته كبيرة يحتاج إلى قوة كبيرة لكي يبدأ الحركة من السكون. وكذلك الأمر إذا كان الجسمان متحركين فإن الجسم الذي كتلته كبيرة يحتاج إلى قوة كبيرة لإيقافه. وأيضاً كلما كانت كتلة الجسم أكبر فإنه بحاجة إلى قوة أكبر ليكتسب تسارعاً معيناً. ومن هنا نستطيع أن نقول إن الكتلة والقوة هما كميتان أساسيتان في الفيزياء نعرفهما كما يأتي:

القوة فعل له خاصية القدرة على إحداث تغير في حالة جسم أو إحداث تسارع للجسم وهي كمية فيزيائية متجهة.

الكتلة كمية قياسية لها خاصيتان: الخاصية الأولى إنها تنجذب بفعل الجاذبية ومقدار قوة الجذب هو الوزن. الخاصية الثانية إنها مقياس للقصور الذاتي عندما يتعرض الجسم لقوة خارجية، ومقدار هذا القياس هو النسبة بين القوة الخارجية المؤثر على الجسم إلى التسارع الذي يكتسبه ذلك الجسم.

في النظام الدولي للوحدات تم اعتماد النيوتن Newton واختصارها N كوحدة للقوة. وتُعرف على أنها مقدار القوة التي إذا أثرت على جسم كتلته واحد كيلوغرام 1kg تكسبه تسارعاً مقداره $1\ m/s^2$:

$$1N = (1kg).(m/s^2)$$

في النظام سنتيمتر غرام ثانية cgs تكون وحدة القوة هي الداين dyne . وتُعرف على أنها مقدار القوة التي إذا أثرت على جسم كتلته واحد غرام 1g تكسبه تسارعاً مقداره $1\ cm/s^2$:

$$1dyne = (1g).(cm/s^2)$$

ويمكن ببساطة إثبات أن $(1N = 10^5\ dyne)$.

في النظام الهندسي البريطاني تكون وحدة القوة هي الباوند pound ويُعّرف الباوند على أنه مقدار القوة التي إذا أثرت على جسم كتلته واحد سلاق slug تكسبه تسارعاً مقداره $1\ ft/s^2$:

$$1\ lb = (1slug).(ft/s^2)$$

وبالرجوع إلى الجدول 1-5 الذي يبين بعض وحدات النظام البريطاني وما يقابلها في النظام العالمي، يمكن ببساطة إثبات أن $(1bl \approx 4.45\ N)$.

والجدول 5-1 يبين وحدات القوة والكتلة والتسارع في ثلاثة أنظمة قياس. **وهنا لا بد من الاشارة إلى أهمية أو ضرورة استعمال وحدات نظام واحد فقط في الحسابات. فإذا أعطيت القوة بوحدة النيوتن والكتلة بوحدة الغرام وكان المطلوب حساب التسارع فإنه من الضروري تحويل وحدة الكتلة من الغرام إلى الكيلوغرام.**

جدول 5-1 يبين بعض وحدات النظام البريطاني وما يقابلها في النظام العالمي

الوحدة في النظام البريطاني		علاقة الوحدات ببعضها	ما يقابلها في النظام العالمي
البوصة	**inche (in)**		1in=2.54cm
القدم	**foot (ft)**	1ft=12in	1ft=30.45cm
اليارد	**yard (yr)**	1yr=3ft	1yr=91.44cm
الميل	**mile (mi)**	1mi=1760yr	1mi=1.6093km
الأونصة*	**ounce (oz)**		1oz≡28.35gram
الباوند*	**pound(lb)**	1lb=16oz	1lb≡453.6gram
السلاق*	**slug**	1slug≡32.2lb	1slug=14.6kg

* يجب الانتباه إلى أن الأونصة والباوند وحدتي وزن، أما السلاق فهو وحدة كتلة.

الإشارة ≡ تعني تكافئ

الجدول 5-2 يبين وحدات القوة والكتلة والتسارع في ثلاثة أنظمة قياس.

الكمية / النظام	الكتلة	التسارع	القوة
النظام العالمي SI	kg كيلوغرام	m/s^2 متر/ثانية^2	Newton نيوتن وتختصر بالرمز N
النظام cgs	g غرام	cm/s^2 سنتمتر/ثانية^2	dune داين
النظام البريطاني	slug سلاق	ft/s^2 قدم/ثانية^2	Pound باوند وتختصر بالرمز lb

5-5: قانون نيوتن الثالث Newton's Third Law

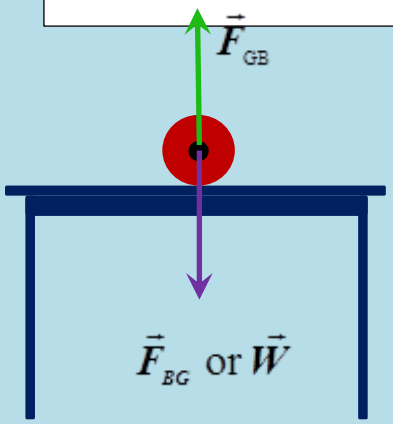
لقد وضّح لنا قانون نيوتن الأول أن الأجسام تميل لأن تبقى على الحالة التي هي فيها في حالة انعدام وجود القوة أو في حالة كون محصلة القوى المؤثرة عليه تساوي صفر. أما قانون نيوتن الثاني فقد وضح لنا بطريقة كمية ماذا يحصل عندما تكون محصلة القوى المؤثرة عليه لا تساوي صفر. والسؤال الآن كيف توجد القوة في الطبيعة. إن الإجابة على هذا السؤال هو ما يدور حوله قانون نيوتن الثالث، وهذا القانون في غاية الأهمية لأنه يفسر لنا مع القانونين الأول والثاني الكثير من الظواهر الطبيعية. إن المشاهدات الحسية لدى الانسان تبين أنه إذا أثر الانسان بقوة سحب أو دفع على جسم ما فإن الانسان يعاني من تأثير قوة علية من الجسم نفسه. فعلى سبيل المثال، إذا أثر الانسان بقوة دفع على جدار فإنه سيشعر بوجود قوة تؤثر عليه من الجدار. وأيضاً إذا جاء إنسان مسرعاً وارتطم بجدار فإنه سوف يتأذى بفعل القوة التي يؤثر بها الجدار على الانسان. وإذا أثر إنسان بقوة على عربة لجرها فإنه سوف يعاني من التعب بسبب أن العربة تؤثر عليه بقوة معاكسة، وبشكل عام فإن ما تشعر به عندما تؤثر بقوة على جسم ما هو القوة التي يؤثر بها الجسم عليك، وكلما كانت قوة تأثيرك أكبر كلما شعرت بقوة عليك أكبر. ومثال آخر على المشاهدات الحسية أنه عندما يوثر شاكوش بقوة على مسمار فإن المسمار يؤثر بقوة على الشاكوش بدليل توقف حركة الشاكوش. من هذه الأمثلة استنتج نيوتن أن القوة لا توجد منفردة في الطبيعة بل توجد بشكل زوج، بمعنى أن القوة المعزولة القائمة بذاتها لا وجود لها في الطبيعة. ومن هنا صاغ نيوتن قانونه الثالث الذي ينص على:

إذا تفاعل جسمين معاً فإن أحد الجسمين (نسميه الجسم الأول) يؤثر بقوة على الجسم الآخر (نسميه الجسم الثاني)، وبنفس الوقت فإن الجسم الثاني يؤثر على الجسم الأول بقوة مساوية في المقدار للقوة المؤثرة عليه وفي اتجاه معاكس لها.

وهذا القانون يختصر بجملة **(لكل فعل رد فعل مساوي له في المقدار ومعاكس في الاتجاه)**. ولا يهم هنا من هي قوة الفعل ومن هي قوة رد الفعل، فالقوتان تحدثان بنفس الوقت، وهما منفصلتان دائماً وتعملان على جسمين مختلفين، ولا يجوز أن نقول إن محصلتيهما تساوي صفر. والأمثلة التالية توضح المقصود بقوة الفعل وقوة رد الفعل. المثال الأول يبين كرة موضوعة على سطح طاولة، ويوضح هذا المثال تفاعل الكرة مع الطاولة وزوج القوى الناتج، وأيضاً يبين تفاعل الكرة مع الكرة الأرضية وزوج القوى الناتج عن ذلك. أما المثال الثاني فيبين كيفية مشي الانسان. المثال الثالث يبين كيفية مسير السيارة. والمثال الرابع يبين حركة الصاروخ والغازات المنبعثة منه. المثال الخامس يبين جميع القوى في حالة رجل يجر عربة.

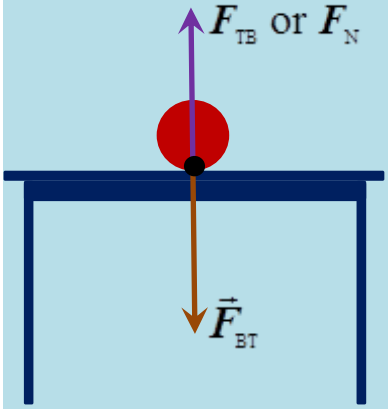
المثال الأول لتوضيح قانون نيوتن الثالث ، وهو يبين تفاعل كرة مع كل من سطح الطاولة الموضوعة عليها والكرة الأرضية كل على حدة .

الكرة تؤثر بقوة رد فعل على الأرض $\vec{F}_{GB}$

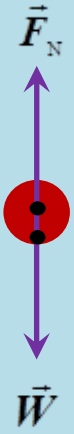


الأرض تؤثر بقوة فعل على الكرة F_{BG} وهذه القوة نسميها الوزن $\vec{W}$. ولا يجوز أن نقول إن محصلة F_{BG} و $\vec{F}_{GB}$ تساوي صفر. وإنما نستطيع أن نقول $\vec{F}_{GB} = -\vec{F}_{BG}$

الطاولة تؤثر بقوة رد فعل على الكرة ، و هذه القوة نسميها القوة العمودية F_{TB} or $\vec{F}_{N}$



الكرة تؤثر بقوة فعل على الطاولة $\vec{F}_{BT}$. لا يجوز أن نقول إن محصلة F_{TB} و $\vec{F}_{BT}$ تساوي صفر. وأنما نستطيع أن نقول $\vec{F}_{BT} = -\vec{F}_{TB}$

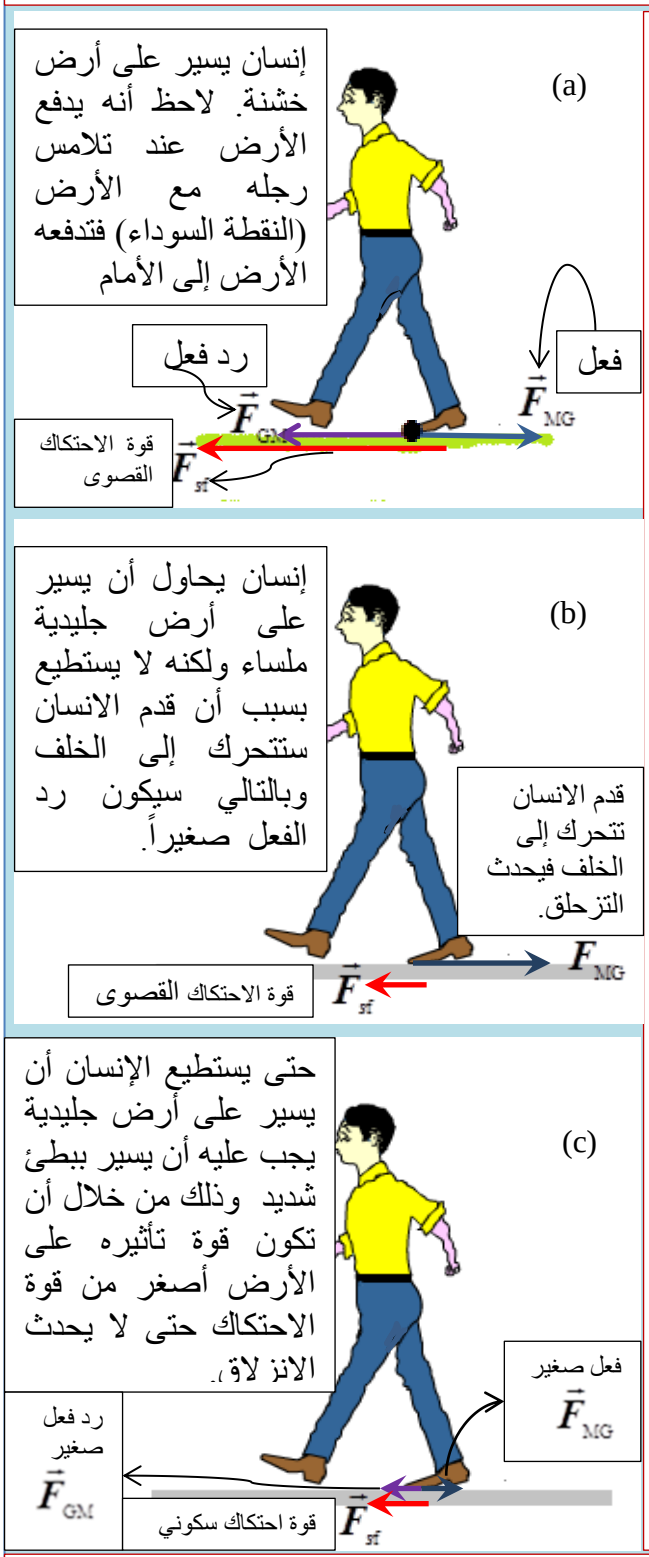


القوتان المؤثرتان فقط على الكرة ومحصلتيهما تساوي صفر هما وزن الكرة $\vec{W}$ للأسفل والقوة العمودية $\vec{F}_{N}$ للأعلى.

الشكل (5-5) يبين كرة موضوعة على سطح طاولة، ويوضح هذا المثال تفاعل الكرة مع الطاولة وزوج القوى الناتج شكل (5a-5)، وأيضاً يبين تفاعل الكرة مع الكرة الأرضية وزوج القوى الناتج شكل (5b-5). أما الشكل (5c-5) فيبين القوتان المؤثرتان فقط على الكرة ومحصلتيهما تساوي صفر هما وزن الكرة $\vec{W}$ للأسفل والقوة العمودية $\vec{F}_{N}$ للأعلى.
القوة العمودية هي التي تمنع الأجسام من السقوط خلال السطوح الموضوعة عليها.

المثال الثاني لتوضيح قانون نيوتن الثالث، وهو يبين كيف يمشي الانسان.

عندما يهم الانسان بالمشي فإنه يؤثر بقوة دفع بواسطة قدمه على الأرض الخشنة إلى الخلف $\vec{F}_{MG}$ وبالتالي فإن الأرض الخشنة تؤثر بقوة دفع مساوية في المقدار على الانسان إلى الأمام $\vec{F}_{GM}$. إذا تم تسمية $\vec{F}_{MG}$ بقوة الفعل فإن رد الفعل هو القوة $\vec{F}_{GM}$. أذا أراد الانسان أن يركض فإن عليه أن يزيد من قوة تأثيره على الأرض وبالتالي فإن قوة تأثير الأرض عليه ستزداد بنفس المقدار بشرط أن تبقى قوة الفعل أقل من قوة الاحتكاك $\vec{F}_{sf}$. قوة الاحتكاك ليس لها علاقة بقانون نيوتن الثالث، إنها تمثل قوة الاحتكاك السكوني ما بين قدم الانسان وسطح الأرض، وهذه القوة وظيفتها أن تمنع قدم الانسان من الانزلاق. فإذا كانت القوة التي يوثر بها الانسان على الأرض أكبر من قوة الاحتكاك فإنه يحدث الانزلاق ولا يستطيع الانسان أن يسير.



الشكل (5-6a) يبين إنسان يسير على أرض خشنة. الشكل(5-6b) يبين أن الإنسان لا يستطيع أن يسير بسرعة على أرض جليدية. أما الشكل(5-6c) فيبين أن على الانسان أن يسير ببطئ على الأرض الجليدية، أي عليه أن يدفع الأرض بقوة أقل من قوة الاحتكاك السكوني.

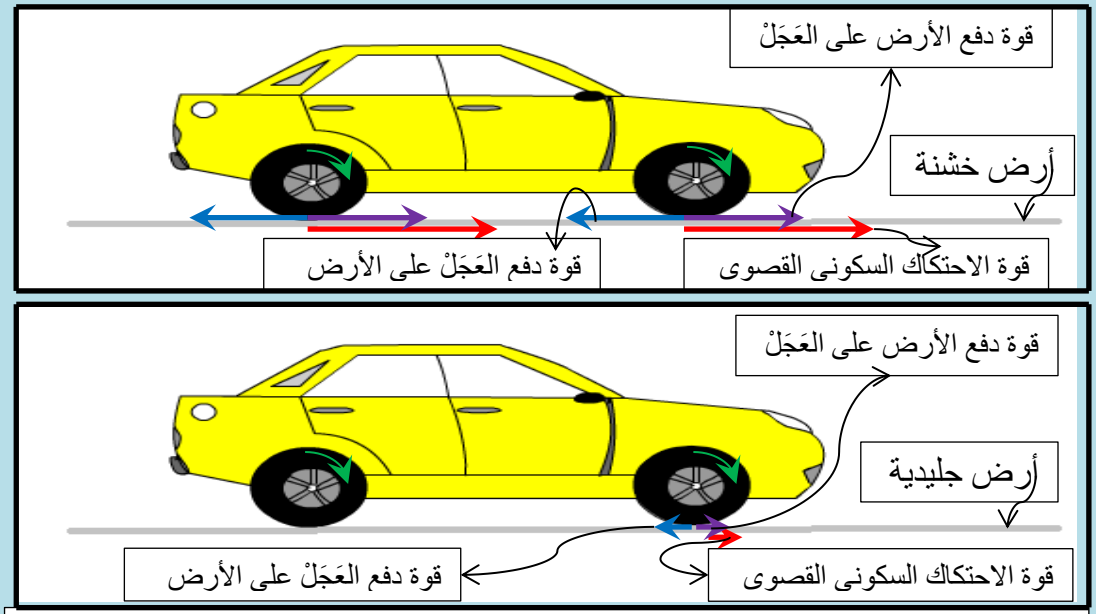
D.K.ALKHALED

المثال الثالث يبين كيفية مسير السيارة.

تسير السيارة بواسطة المحرك (الموتور). لكن السؤال هو هل المحرك هو الذي يدفع السيارة إلى الأمام؟

إن مهمة المحرك والأجزاء المرتبطة به هي نقل الحركة إلى العجلات لتجعلها تدور حول محور. فإذا كانت الطريق جليدية أو طينية فإن السيارة لا تندفع إلى الأمام بل تبقى العجلات تدور حول المحور والسيارة واقفة. أما إذا كانت الطريق خشنة (ترابية صلبة أو مُزَفلتة) فإن السيارة تندفع إلى الأمام ، كيف يحدث ذلك ؟

إن كل عَجَل من عجلات السيارة يدفع الأرض إلى الخلف وهو يدور، وبالتالي فإن الأرض تدفع كل عَجَل إلى الأمام بقوة رد الفعل. وكلما كان دوران العَجَل أكبر كلما كانت قوة الدفع على الأرض أكبر وبالتالي يزداد الاندفاع إلى الأمام لأن قوة دفع الأرض على السيارة تصبح أكبر، وهذا يحث فقط في حالة أن تكون قوة الاحتكاك السكوني القصوى أكبر من قوة دفع العَجَل على الأرض أما إذا كانت قوة الاحتكاك السكوني القصوى صغيرة فإن العَجَل يستمر بدورانه لأنه لم يعد هناك ما يعيقه، وتكون قوة دفعه للأرض صغيرة وبالتالي تكون قوة دفع الأرض عليه صغيرة غير كافية لتحريكه إلى الأمام .



في حالة الأرض الجليدية فإن العَجَلْ ينزلق ويبقى يدور حول المحور بسبب أن قوة الاحتكاك صغيرة غير كافية لإعاقته عن الدوران وبالتالي تكون قوة دفعه للأرض صغيرة وينتج عن ذلك قوة رد فعل غير كافية لدفع العَجَلْ إلى الأمام.

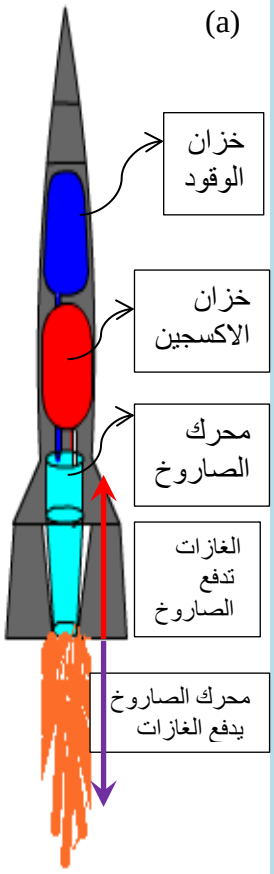
سوف يتم توضيح هذا الموضوع عند دراسة الحركة الدورانية.

D.K.ALKHALED

المثال الرابع يبين حركة الصاروخ والغازات المنبعثة منه

إن اندفاع الغازات من الصاروخ واندفاع الصاروخ بالاتجاه المعاكس هو مثال آخر على تطبيق قانون نيوتن الثالث. إن ما يحصل هو أن محرك الصاروخ يقوم بالتحكم بإحراق الوقود محدثاً بذلك قوة دفع شديدة نتيجة خروج الغازات وبحسب قانون نيوتن الثالث فإن الغازات تؤثر بقوة رد فعل على الصاروخ فتدفعه إلى الأمام. ويستمر الصاروخ باندفاعه إلى الأمام ما دامت الغازات تخرج من محرك الصاروخ.

(a)

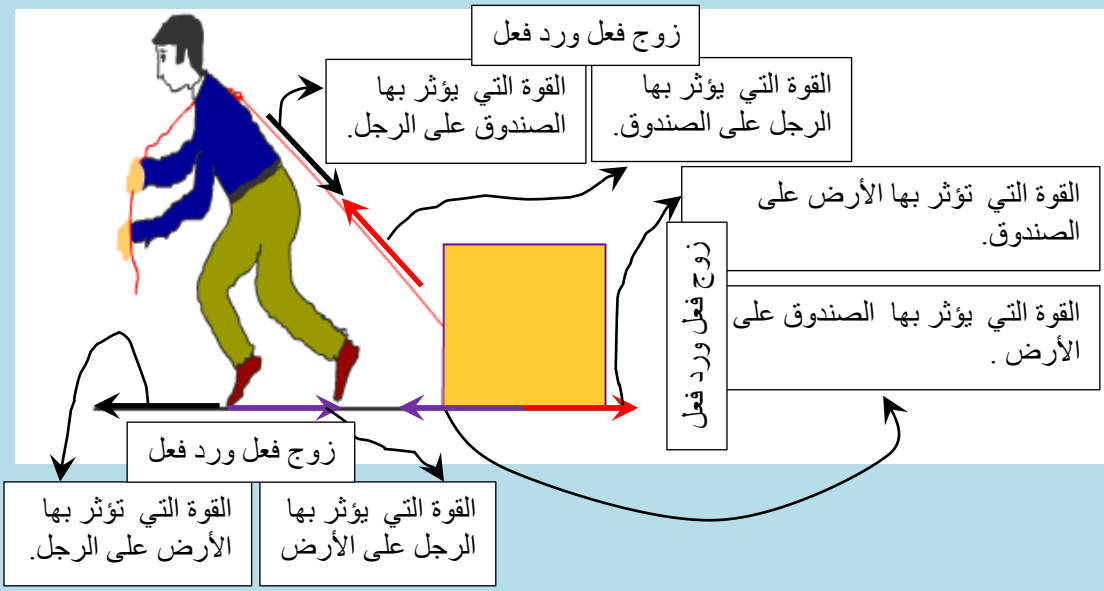


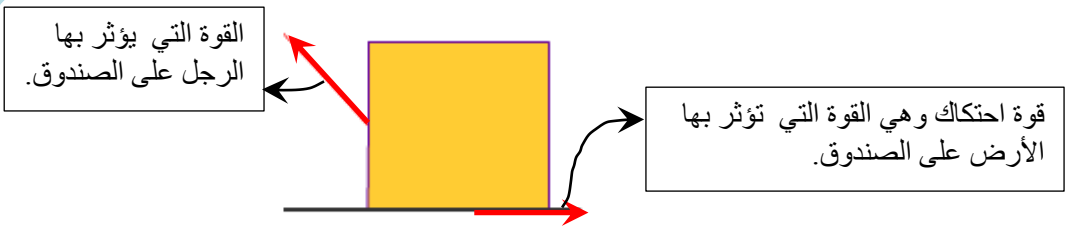
(b)

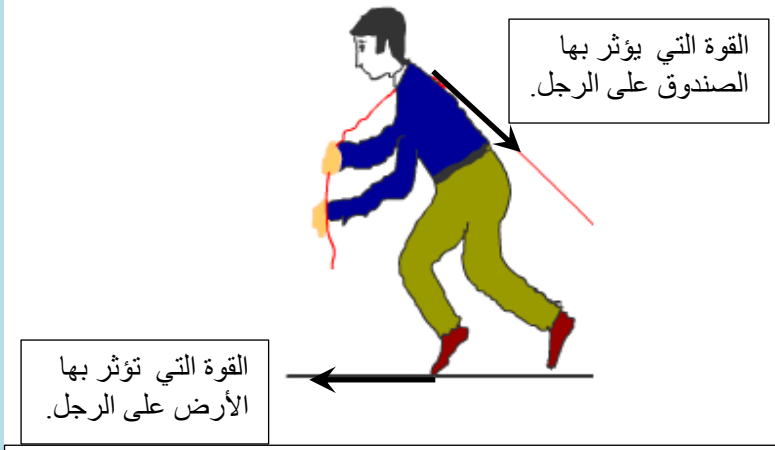
صاروخ يحمل قمراً صناعياً لحظة انطلاقه من الأرض . لاحظ أن كمية الغازات المنبعثة تكون كبيرة جداً وذلك للتغلب على قوة الجاذبية.

الشكل (5-8a) يبين رسم لصاروخ وكيف تندفع الغازات كقوة فعل وبالتالي تكون قوة رد الفعل هي التي تدفع الصاروخ إلى الأمام. الشكل(5-9b) يبين صورة حقيقية لاندفاع الغازات واندفاع الصاروخ.

المثال الخامس يبين جميع القوى في حالة رجل يجر عربة.







الشكل (5-9a) يبين إنسان يسير على أرض خشنة جاراً عربة، ويبين الشكل زوج قوة الفعل وقوة رد الفعل لها لاحظ مرة أخرى أن قوة الفعل تؤثر على جسم وقوة رد الفعل تؤثر على جسم آخر. الشكل(5-9b) يبين القوى المؤثرة على الصندوق . أما الشكل(5-9c) فيبين القوى المؤثرة على الرجل. لاحظ مرة أخرى أن قوة الفعل تؤثر على جسم وقوة رد الفعل تؤثر على جسم آخر.

6-5: قوة الاحتكاك Force of Friction

عندما يكون جسم ما في حالة حركة على سطح خشن أو خلال وسط مائع مثل الهواء أو الماء، فإنه يعاني مقاومة لحركته، إن مثل هذه القوة نسميها قوة احتكاك Force of Friction. ورغم هذه السلبية للاحتكاك إلا أن له أهمية كبيرة في حياتنا اليومية، فالاحتكاك يساعدنا الكائنات الحية على المشي والركض، ويساعد دوران عجلات السيارة على تحريك السيارة.

لدراسة الاحتكاك دعونا نبدأ من حيث انتهى ليوناردو دافنشي Leonardo Da Vinci (1452-1519). فقبل أكثر من مئتي عام من ظهور قوانين نيوتن كتب دافنشي نَصَّين حول الاحتكاك: (1) إذا تضاعف الحِمل الموضوع على السطح فإن الاحتكاك سوف يتضاعف. (2) مساحة التماس بين الجسمين ليس لها تأثير على الاحتكاك. وإضافة إلى هذين النصين، عَرَّف دافنشي معامل الاحتكاك على أنه النسبة ما بين الاحتكاك وكتلة الجسم المنزلق.

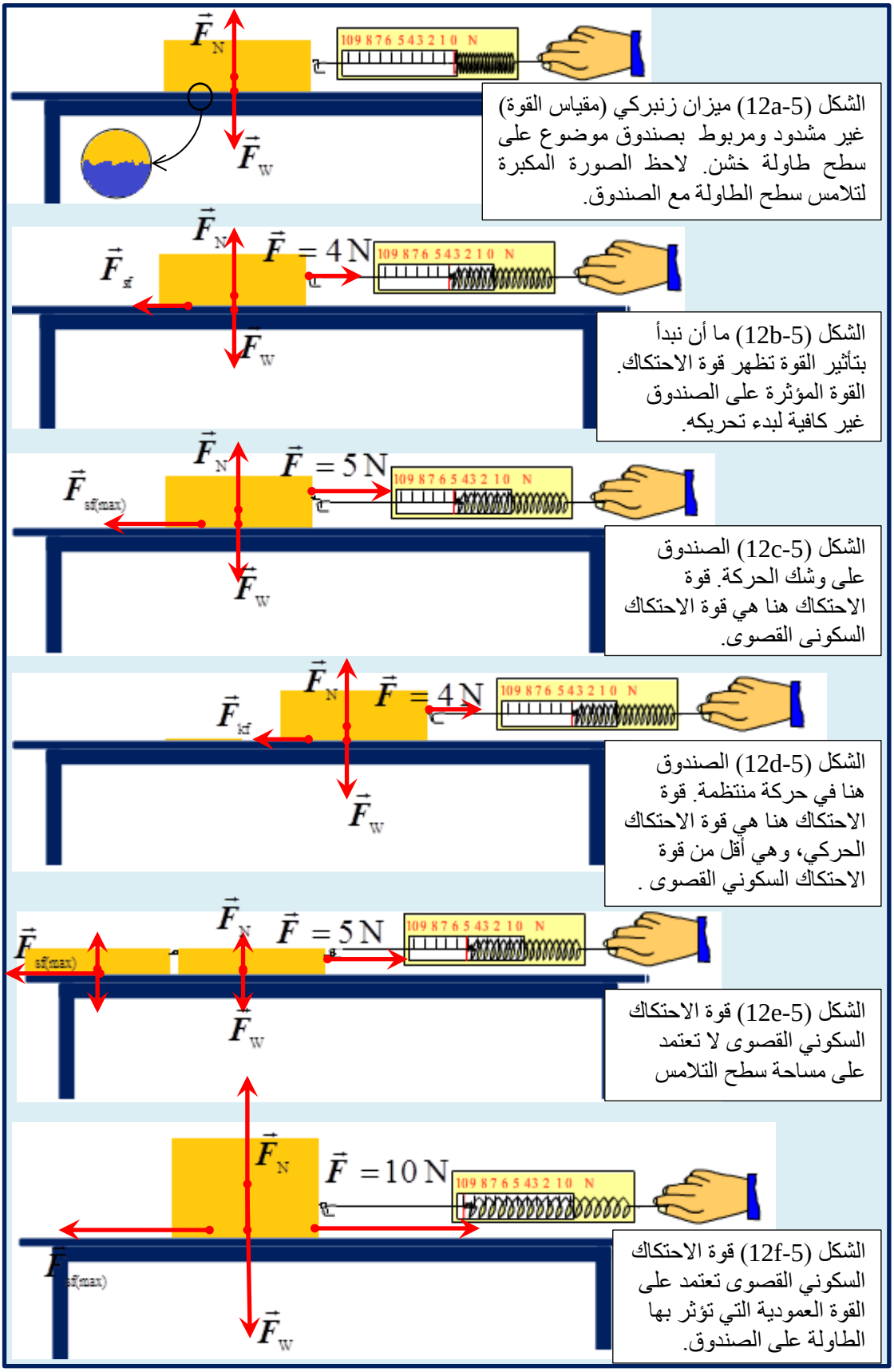
بعد دراستنا لقوانين نيوتن ووضوح مفهوم القوة دعونا نجري النشاط التالي ليتضح قول دافنشي.

في الشكل (12a-5) ميزان زنبركي (مقياس القوة) مربوط بصندوق موضوع على سطح طاولة. إذا أثرنا بقوة $\vec{F}$ كما يظهرها الميزان الزنبركي على الصندوق كما في الشكل (12b-5) فإن الصندوق قد يبقى دون حركة والسبب في ذلك يعود إلى وجود قوة احتكاك سكوني $\vec{F}_{sf}$ force of static frictional تعمل بعكس الاتجاه المطلوب. إن التجارب أظهرت أن الاحتكاك عائد إلى تداخل نتوءات السطحين مع بعضهما البعض، لاحظ الجزء المكبر للسطحين في الشكل (12a-5). أما على المستوى النظري فإن الاحتكاك فيه الكثير من التعقيد، إذ تُعَدُ قوة الاحتكاك من القوى الكهرومغناطيسية ومن غير المجدي أن نخوض بها الآن.

إذا قمنا بزيادة تدريجية لمقدار القوة $\vec{F}$ فإن قوة الاحتكاك تزداد إلى أن نصل إلى أن يوشك الصندوق أن يبدأ الحركة الشكل (12c-5)، وعندها يحدث فجأةً أن تتوقف قوة الاحتكاك عن الزيادة، فهي في هذه الحالة وصلت إلى قوة الاحتكاك السكوني القصوى. وعندما يتحرك الصندوق نلاحظ أنه يتسارع، ونستنتج من ذلك أن قوة الاحتكاك أثناء الحركة أصبحت أقل من قوة الاحتكاك السكوني القصوى، وهي آخر قوة مؤثرة على الصندوق والتي تبينها قراءة الميزان الزنبركي (مقياس القوة). وإذا أردنا أن يتحرك الصندوق بسرعة ثابتة الشكل (12d-5) فإن علينا التقليل من القوة المؤثرة من خلال التقليل من الشد على الميزان الزنبركي.

إذا قمنا بمضاعفة مساحة سطح الصندوق مع بقاء كتلته ثابتة فإننا نصل إلى أن القوة الازمة لجعل الصندوق يوشك على الحرة تبقى نفسها القوة الأولى $\vec{F}$ الشكل (12e-5) .

إذا قمنا بمضاعفة كتلة الصندوق مع بقاء مساحة قاعدته ثابتة فإننا نصل إلى أن القوة الازمة لجعل الصندوق يوشك على الحركة ضعف القوة الأولى أي $2\vec{F}$ الشكل (12f-5) .



الشكل (12a-5) ميزان زنبركي (مقياس القوة) غير مشدود ومربوط بصندوق موضوع على سطح طاولة خشن. لاحظ الصورة المكبرة لتلامس سطح الطاولة مع الصندوق.

الشكل (12b-5) ما أن نبدأ بتأثير القوة تظهر قوة الاحتكاك. القوة المؤثرة على الصندوق غير كافية لبدء تحريكه.

الشكل (12c-5) الصندوق على وشك الحركة. قوة الاحتكاك هنا هي قوة الاحتكاك السكونى القصوى.

الشكل (12d-5) الصندوق هنا في حركة منتظمة. قوة الاحتكاك هنا هي قوة الاحتكاك الحركي، وهي أقل من قوة الاحتكاك السكوني القصوى .

الشكل (12e-5) قوة الاحتكاك السكوني القصوى لا تعتمد على مساحة سطح التلامس

الشكل (12f-5) قوة الاحتكاك السكوني القصوى تعتمد على القوة العمودية التي تؤثر بها الطاولة على الصندوق.

إن تفسير ما حصل في تجربتنا المبينة في الشكل (5-12) لا يبتعد كثيراً عن ما قاله دافنشي، ولكن بالرجوع إلى ما فهمناه من قوانين نيوتن نستطيع أن نلخص ما لاحظناه بالنقاط التالية:

(١) تبدأ قوة الاحتكاك السكوني $\vec{F}_{sf}$ بالظهور عندما نبدأ بتأثير القوة على الجسم، وتزداد كلما زدنا مقدار القوة المؤثرة ما دام الجسم في حالة السكون. أي إن محصلة القوتين تساوي صفر.

(٢) مع ازدياد مقدار القوة المؤثرة نصل إلى أن يوشك الجسم على الحركة، عندها نصل إلى قوة الاحتكاك السكوني القصوى $\vec{F}_{sf(max)}$. وعندما يصبح الجسم في حالة الحركة فإن قوة الاحتكاك في هذه الحالة تسمى قوة الاحتكاك الحركي $\vec{F}_{kf}$ ويكون مقدارها أقل من مقدار قوة الاحتكاك السكوني القصوى $\vec{F}_{sf(max)}$.

(٣) إن مقدار قوة الاحتكاك سكونياً كانت أم حركياً لا يتأثر بمساحة سطح التلامس بين الجسمين.

(٤) إن مقدار قوة الاحتكاك السكوني يتناسب تناسبا طرديا مع القوة العمودية المؤثرة على الجسم، أي إن:

$$F_{sf} \le \mu_s N$$

حيث μ_s كمية غير بعدية تسمى معامل الاحتكاك السكوني coefficient of static friction ، و N مقدار القوة العمودية المؤثرة على الجسم. وتشير إشارة أقل $<$ إلى الحالة التي كانت فيها القوة المؤثرة غير قادرة على جعل الجسم على وشك الحركة. أما إشارة المساواة فتشير إلى قوة الاحتكاك السكوني القصوى، أي إن:

$$F_{sf} = F_{sf(max)} = \mu_s N$$

(٥) إن مقدار قوة الاحتكاك الحركي يتناسب تناسبا طرديا مع القوة العمودية المؤثرة على الجسم، أي إن:

$$F_{kf} = \mu_k N$$

حيث μ_k كمية غير بعدية تسمى معامل الاحتكاك الحركي coefficient of kinetic friction. ويعتمد كل من μ_s و μ_k على طبيعة الجسمين المتلامسين. وبما إن $F_{sf(max)} > F_{kf}$ فإن $\mu_s > \mu_k$ ، وتالياً جدولاً الجدول 5-3 يبين قيماً تقريبية لكل منهما بين سطوح مختلفة.

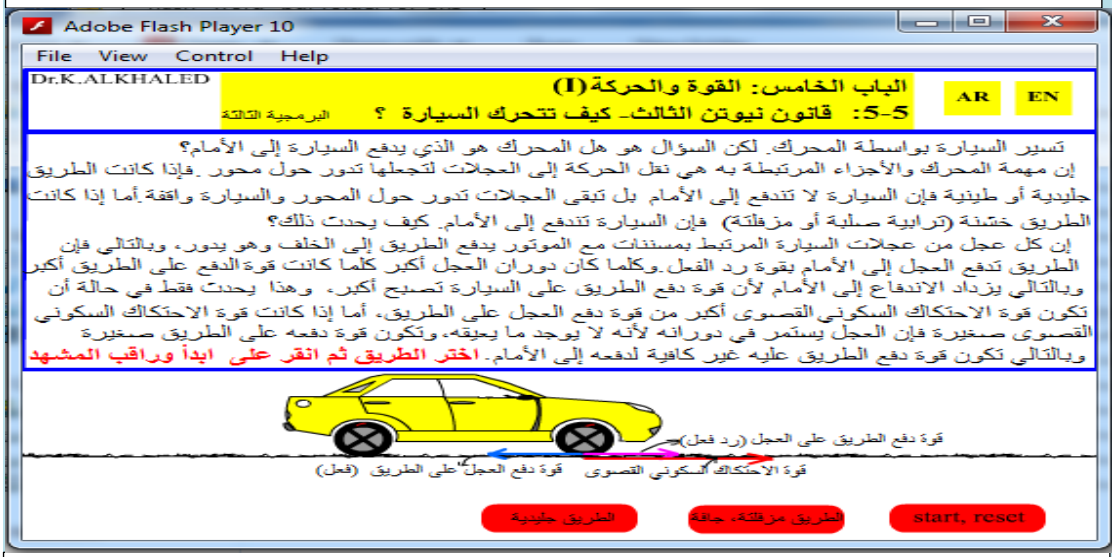
D.K.ALKHALED

الجدول 5-2 يبين قيماً تقريبية لكل من معاملي الاحتكاك لسكوني والحركي.

سطح التلامس	معامل الاحتكاك السكوني μ_s	معامل الاحتكاك الحركي μ_k
حديد على حديد (بدون وجود زيوت ملينة)	0.74	0.57
معدن على معدن (بوجود زيوت ملينة، تزييت أو تشحيم)	0.15	0.07
خشب على خشب	0. 40	0.20
زجاج على زجاج	0.94 (فسر ذلك)	0.20
جليد على جليد	0.10	0.03
مطاط على باطون	0.80-1.0	0.5-0.80
تفيلون على تفيلون	0.04	0.04
بِيَل ذات كرات معدنية (بوجود زيوت ملينة، تزييت أو تشحيم)	<0.01	<0.01
	0.01	0.01

ولمزيد من التوضيح حول السبب الذي يدفع السيارة للحركة ندعوك عزيزي الطالب للرجوع إلى البرمجية الثالثة لهذا الباب وهي بعنوان: قانون نيوتن الثالث ـ كيف تتحرك السيارة؟

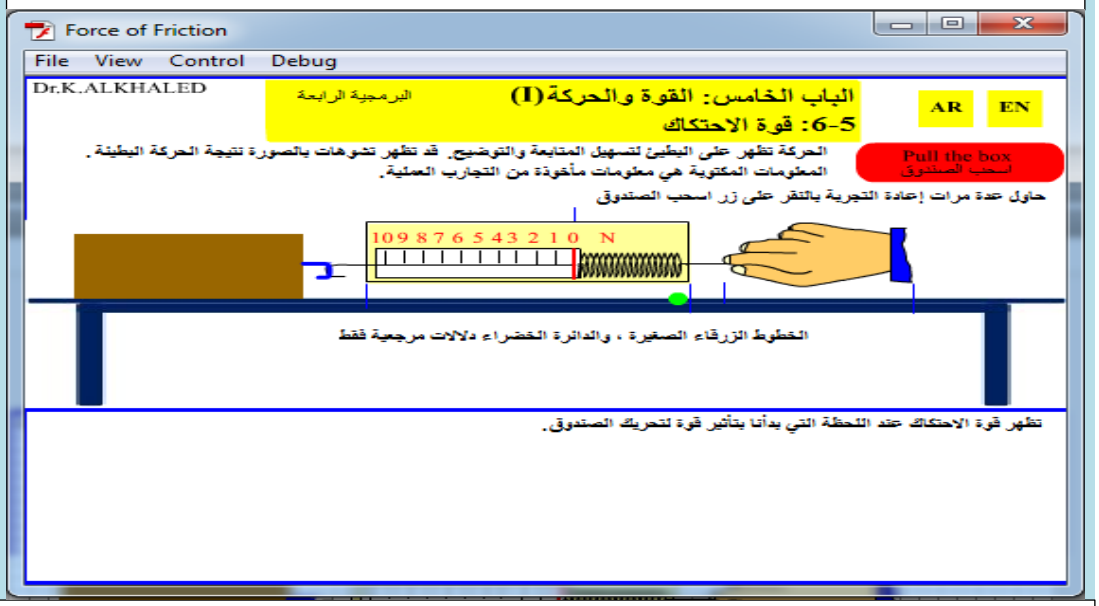
صورة عن واجهة البرمجية الثالثة للباب الخامس وهي بعنوان قانون نيوتن الثالث- كيف تتحرك السيارة؟



هذه صورة عن واجهة البرمجية الثالثة . لاستعمال البرمجية الفعلية ما عليك فعله هو اختيار نوع الطريق ثم النقر على زر start , reset ثم مراقبة الحركة والنظر فيها. نص التوضيح يظهر في اللغة العربية فقط .

ولمزيد من التوضيح حول قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي ندعوك عزيزي الطالب للرجوع إلى البرمجية الرابعة لهذا الباب وهي بعنوان: قوة الاحتكاك.

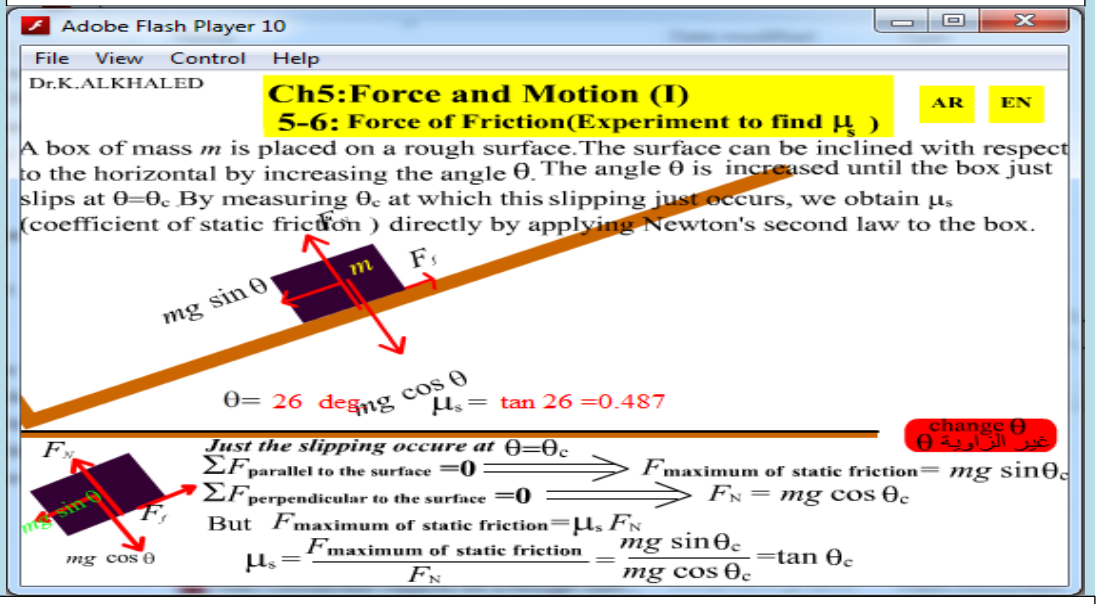
صورة عن واجهة البرمجية الرابعة للباب الخامس وهي بعنوان قوة الاحتكاك.



هذه صورة عن واجهة البرمجية الرابعة . لاستعمال البرمجية الفعلية ما عليك فعله هو النقر على زر اسحب الصندوق ثم مراقبة الزنبرك والصندوق. النصوص تظهر في اللغة العربية فقط .

ولمزيد من التوضيح حول قوة الاحتكاك السكوني وقوة الاحتكاك الحركي ندعوك عزيزي الطالب للرجوع إلى البرمجية الخامسة لهذا الباب وهي بعنوان: قوة الاحتكاك (تجربة لإيجاد معامل الاحتكاك السكوني).

صورة عن واجهة البرمجية الخامسة للباب الخامس .

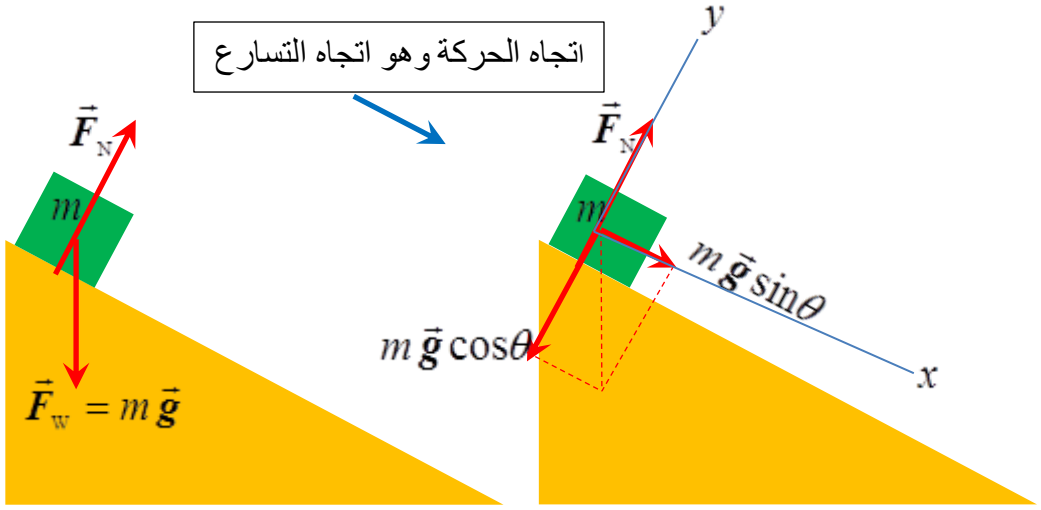


هذه صورة عن واجهة البرمجية الخامسة . لاستعمال البرمجية الفعلية ما عليك فعله هو وضع المؤشر على زر غير الزاوية ثم مراقبة حركة السطح المائل والصندوق.

7-5: حل مسائل بقوانين نيوتن Solving Problems with Newton's Law

مثال 5-8 صندوق كتلته m =5 kg موضوع على سطح عديم الاحتكاك مائل عن الأفق بزاوية $\theta = 30^\circ$ كما في الشكل 5-13. أوجد تسارع الصندوق بعد أن ينطلق متحركاً إلى الأسفل.

Examples 5-8 A box of mass m=5 kg is placed on a smooth (frictionless) inclined plane of angle $\theta = 30^\circ$ as shown in Fig. 5-13 . Find the acceleration of the box after it is released.



a — الشكل (5-13) — b

أولاً: نضع القوى المؤثرة على الصندوق(مخطط الجسم الحر). توجد قوتان فقط تؤثران على الصندوق هما وزن الصندوق $\vec{F}_w$ والقوة العمودية $\vec{F}_N$ التي يؤثر بها السطح المائل على الصندوق الشكل (a13-5).

ثانياً: نعتبر المحور x موازي للسطح المائل والمحور y عمودي على السطح المائل ونحلل الوزن إلى مركبتين كما في الشكل (b13-5) .

ثالثاً: نطبق قانون نيوتن الثاني على الصندوق في كلا الاتجاهين، $m\vec{g}\cos\theta$

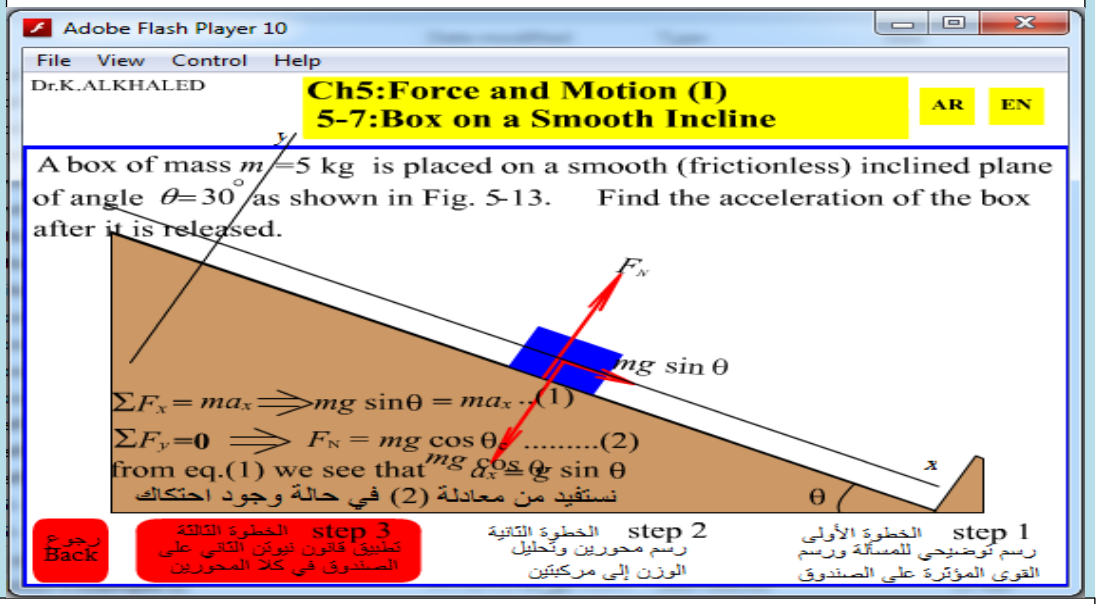
$$\sum F_x = m a_x \Rightarrow mg\sin\theta = ma_x$$

y لا توجد حركة بالاتجاه $\sum F_y = ma_y \Rightarrow F_N - mg\cos\theta = 0$

التسارع بالاتجاه x وهو يساوي $a_x = g\sin\theta$.

ولمزيد من التوضيح حول المثال 5-8 ندعوك عزيزي الطالب للرجوع إلى البرمجية السادسة لهذا الباب وهي بعنوان: صندوق على سطح مائل أملس.

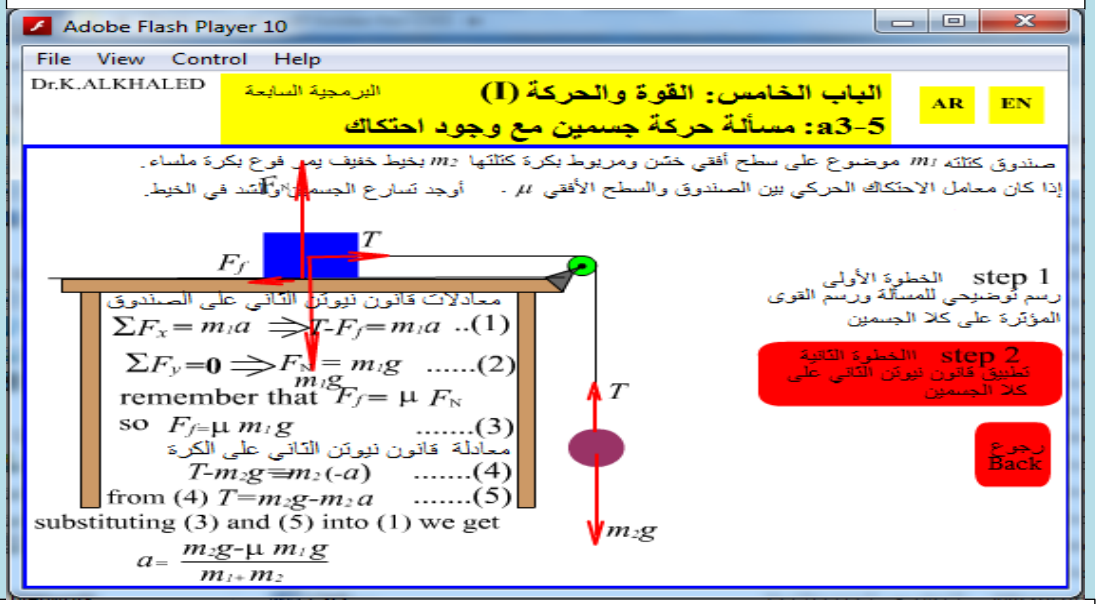
صورة عن واجهة البرمجية السادسة للباب الخامس .



هذه صورة عن واجهة البرمجية السادسة . لاستعمال البرمجية الفعلية ما عليك فعله هو النقر على زر الخطوة الأولى ثم الخطوة الثانية ثم الخطوة الثالثة ومراقبة الحركة .

ولمزيد من التوضيح حول طريقة حل المسألة على قانون نيوتن الثاني بشك عام ندعوك عزيزي الطالب للرجوع إلى البرمجية السابعة لهذا الباب وهي بعنوان: مسألة حركة جسمين مع وجود احتكاك.

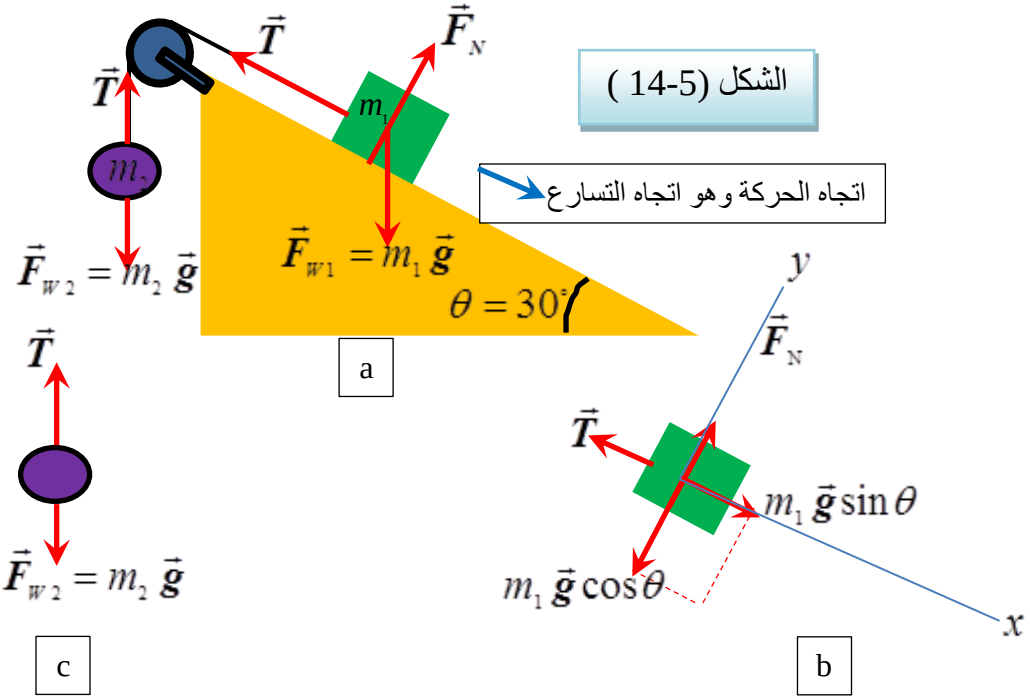
صورة عن واجهة البرمجية السابعة للباب الخامس .



هذه صورة عن واجهة البرمجية السابعة . لاستعمال البرمجية الفعلية ما عليك فعله هو النقر على زر الخطوة الأولى ثم الخطوة الثانية ومراقبة الحركة .

Examples 5-9 Two masses (box and sphere) attached by alight string passes over frictionless pulley as shown in Fig. 5-14. The box of mass m_1=15 kg is placed on a smooth (frictionless) inclined plane of angle $\theta = 30^\circ$,and the mass of the sphere is m_2=5 kg. Find the acceleration of the two masses and the tension in the string.

مثال5-9 كتلتان (صندوق وكرة) مربوطتان بخيط خفيف يمر فوق بكرة ملساء كما في الشكل 5-14. الصندوق كتلته m_1 =15 kg موضوع على سطح عديم الاحتكاك مائل عن الأفق بزاوية $\theta = 30^\circ$ وكتلة الكرة m_2 =5 kg. أوجد تسارع الكتلتين والشد في الخيط.



الشكل (5-14)

اتجاه الحركة وهو اتجاه التسارع

أولاً: نضع القوى المؤثرة على كل جسم لوحده(مخطط الجسم الحر). الشكل (a14-5) والشكل (c14-5).

ثانياً: بالنسبة للجسم الأول نعتبر المحور x موازي للسطح المائل والمحور y عمودي على السطح المائل ونحلل الوزن إلى مركبتين كما في الشكل (b14-5) .

ثالثاً: نطبق قانون نيوتن الثاني على كلا الجسمين كل على حدة مع الأخذ بعين الاعتبار أن الجسمين لهما نفس مقدار التسارع وهو a لأنهما مربوطين معاً.

تكملة حل مثال 5-9 تذكر أن الجسمين لهما نفس مقدار التسارع

الجسم الأول وهو الصندوق:

$$\sum F_x = m_1 a_x \Rightarrow m_1 g \sin\theta - T = m_1 a \quad \ldots. \quad (1)$$

$$\sum F_y = m_1 a_y \Rightarrow F_N - m_1 g \cos\theta = 0 \quad \ldots. \quad (2)$$ لا توجد حركة بالاتجاه y

الجسم الثاني وهو الكرة :

$$\sum F_x = 0 \quad \ldots. \quad (3)$$ لا توجد قوى بالاتجاه x

$$\sum F_y = m_2 a_y \Rightarrow T - m_2 g = m_2 a \quad \ldots. \quad (4)$$

من المعادلة (1) نحصل على

$$T = m_1 g \sin\theta - m_1 a \quad \ldots. \quad (5)$$

ونعوض T في المعادلة (4) فنحصل على

$$m_1 g \sin\theta - m_1 a - m_2 g = m_2 a$$

$$m_1 g \sin\theta - m_2 g = m_2 a + m_1 a$$ ومنها نحصل على التسارع a

$$a = \frac{m_1 g \sin\theta - m_2 g}{m_1 + m_2} \quad \ldots.(6)$$

وبتعويض المعطيات نحسب a

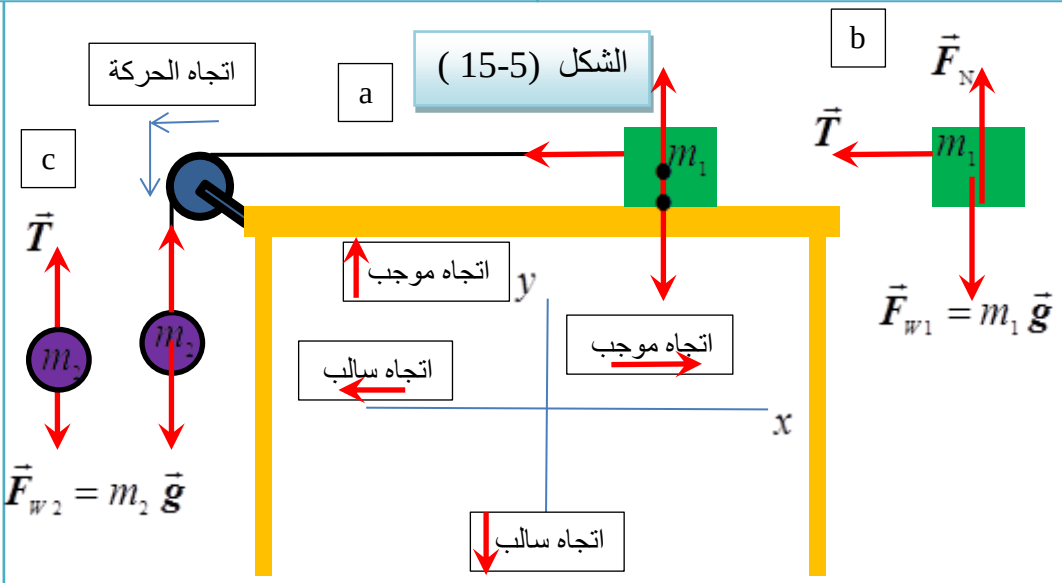
$$a = \frac{(15\,\text{kg} \times 9.8\,\text{m/s}^2 \times 0.5) - (5\text{kg} \times 9.8\,\text{m/s}^2)}{(15\,\text{kg} + 5\,\text{kg})} = 1.3\,\text{m/s}^2$$

وبتعويض قيمة a في المعادلة (5) نحصل على قيمة الشد T

$$T = (15\,\text{kg} \times 9.8\,\text{m/s}^2 \times 0.5) - (15\,\text{kg} \times 1.3\,\text{m/s}^2) = 54\,\text{N}$$

مثال 5-10 صندوق كتلته m_1 موضوع على سطح أفقي عديم الاحتكاك مربوط مع كرة كتلتها m_2 بخيط خفيف يمر فوق بكرة ملساء كما في الشكل 5-15. أوجد تسارع الكتلتين a والشد في الخيط T.

Examples 5-10 A box of mass m_1 placed on a smooth (frictionless) horizontal surface is connected to solid sphere of mass m_2 by alight string passes over frictionless pulley as shown in Fig. 5-15. Find the acceleration a of the two masses and the tension in the string T .



أولاً: نضع القوى المؤثرة على كل جسم لوحده(مخطط الجسم الحر). الشكل (b15-5) والشكل (c15-5).

ثانياً: نطبق قانون نيوتن الثاني على كلا الجسمين كل على حدة مع الأخذ بعين الاعتبار أن الجسمين لهما نفس مقدار التسارع وهو a لأنهما مربوطين معاً.

الجسم الأول وهو الصندوق:

الحركة باتجاه x السالب $\sum F_x = m_1 a_x \Rightarrow -T = m_1(-a)$ .... (1)

لا توجد حركة بالاتجاه y $\sum F_y = m_1 a_y \Rightarrow F_N - m_1 g = 0$ .... (2)

الجسم الثاني وهو الكرة :

لا توجد قوى بالاتجاه x $\sum F_x = 0$ .... (3)

الحركة باتجاه y السالب $\sum F_y = m_2 a_y \Rightarrow T - m_2 g = m_2(-a)$ .... (4)

تكملة حل مثال 5-10 تذكر أن الجسمين لهما نفس مقدار التسارع

من المعادلة (1) نحصل على

$$T = m_1 a \quad \ldots\ldots (5)$$

ونعوض T في المعادلة (4) فنحصل على

$$m_1 a - m_2 g = -m_2 a$$

ومنها نحصل على التسارع a

$$a = \frac{m_2 g}{m_1 + m_2} \quad \ldots\ldots (6)$$

وهو مقدار التسارع.

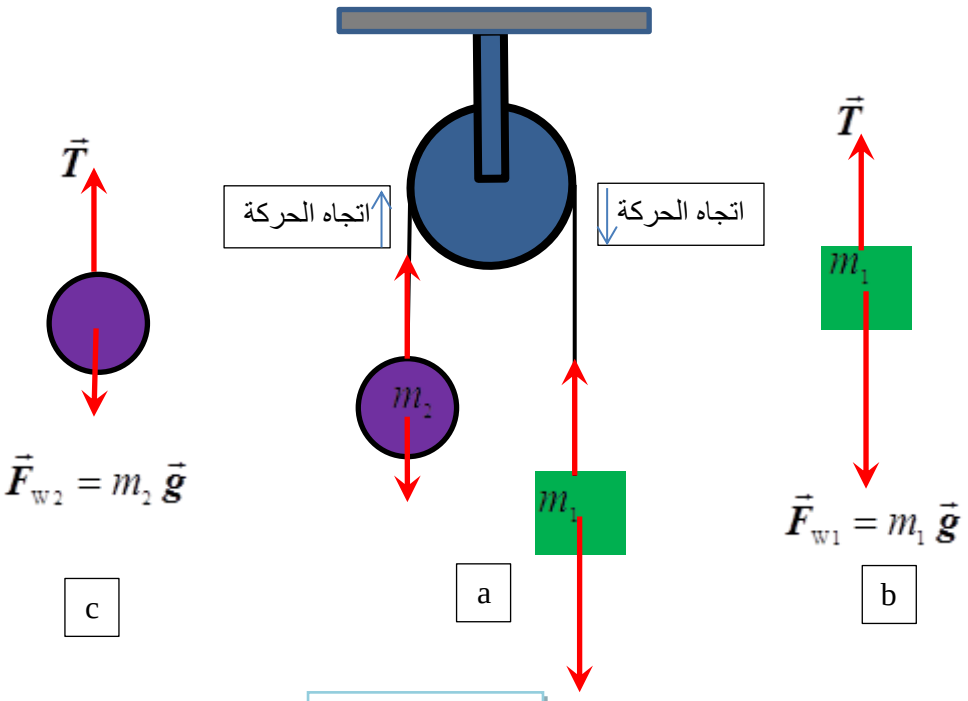
وبتعويض قيمة a في المعادلة (5) نحصل على قيمة الشد T

$$T = m_1 \frac{m_2 g}{m_1 + m_2}$$

وهو مقدار الشد في الخيط.

مثال 5-11 كتلتان m_1 و m_2 ($m_1 > m_2$) مربوطتان بحبل يمر فوق بكرة ملساء مهملة الكتلة كما في الشكل 16-5. أوجد مقدار تسارع الكتلتين ومقدار الشد في الحبل.

Examples 5-11 Two mass m_1 and m_2 ($m_1 > m_2$) connected by cord that passes over a massless frictionless pulley as shown in Fig. 5-16 . Find the magnitude of the acceleration of the two masses and the tension in the cord T.



الشكل (5-16)

تكملة حل مثال 5-11 تذكر أن الجسمين لهما نفس مقدار التسارع

أولاً: نضع القوى المؤثرة على كل جسم لوحده(مخطط الجسم الحر). الشكل (b16-5) والشكل (c16-5).

ثانياً: نطبق قانون نيوتن الثاني على كلا الجسمين كل على حدة مع الأخذ بعين الاعتبار أن الجسمين لهما نفس مقدار التسارع وهو a لأنهما مربوطين معاً.

الجسم الأول وهو الصندوق m_1 :

$\sum F_y = m_1 a_y \Rightarrow T - m_1 g = m_1(-a)$ ....(1) الحركة بالاتجاه y السالب

الجسم الثاني وهو الكرة m_2:

$\sum F_y = m_2 a_y \Rightarrow T - m_2 g = m_2(a)$ ....(2) الحركة باتجاه y الموجب

من المعادلة (1) نحصل على

$T = m_1 g - m_1 a$ .... (3)

ونعوض T في المعادلة (2) فنحصل على

$m_1 g - m_1 a - m_2 g = m_2 a$ ومنها نحصل على التسارع a

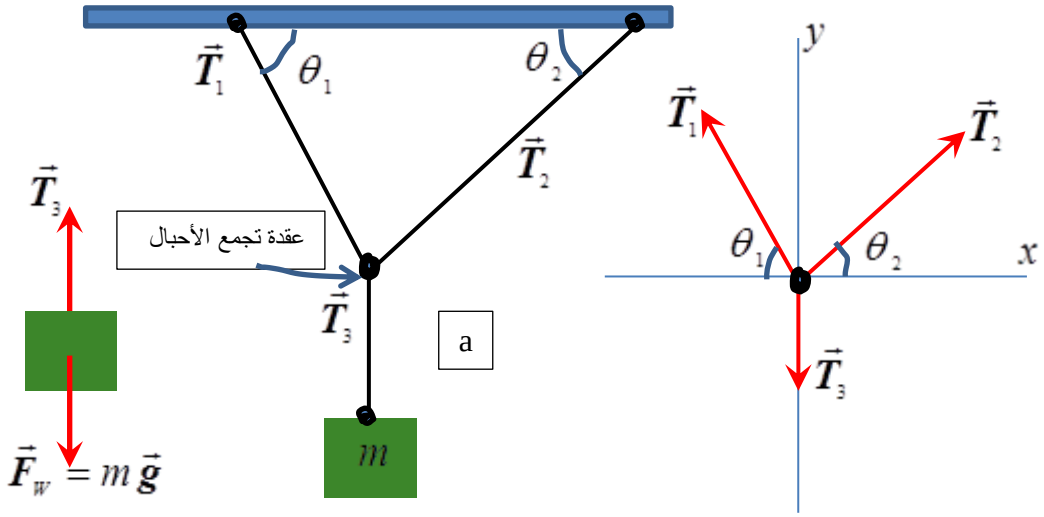
$$a = \frac{m_1 g - m_2 g}{m_1 + m_2} \quad \text{....(4)}$$

وبتعويض قيمة a في المعادلة (3) نحصل على قيمة الشد T

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

مثال5-12 صندوق كتلته m معلق بثلاث حبال كما في الشكل 5-17. إذا كان النظام متزن، أوجد الشد في كل حبل.

Examples 5-12 A box of mass m hangs from three cords as shown in Fig. 5-17. If the system is in equilibrium, find tension in each cord.



الشكل (5-17)

أولاً: نضع القوى المؤثرة على كل جسم لوحده(مخطط الجسم الحر للصندوق الشكل (b17-5 ، ومخطط الجسم الحر للعقدة الشكل (c17-5).

ثانياً: نطبق قانون نيوتن الثاني على كلا الجسمين كل على حدة مع الأخذ بعين الاعتبار أن الجسمين متزنين.

الجسم الأول وهو الصندوق :

نلاحظ أن الشد في الحبل $\vec{T}_3$ يعادل وزن الصندوق وبالتالي فإن مقدار الشد يساوي مقدار الوزن.

الصندوق متزن $\sum F_y = 0 \Rightarrow T_3 - mg = 0 \Rightarrow \quad T_3 = mg$ ....(1)

الجسم الثاني وهو العقدة ● فهي واقعة تحت تأثير ثلاث قوى $\vec{T}_1$ و $\vec{T}_2$ و $\vec{T}_3$ محصلتهم تساوي صفر لأن العقدة متزنة، وبالتالي فإن المحصلة باتجاه x تساوي صفر، والمحصلة باتجاه y . وإيجاد المحصلة كلا الاتجاهين يتطلب تحليل $\vec{T}_1$ إلى مركبتين واحدة بالاتجاه x والأخرى بالتجاه y ، وكذلك الحال بالنسبة للشد $\vec{T}_2$.

تكملة حل مثال 5-12

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow T_2 \cos\theta_2 - T_1 \cos\theta_1 = 0 \quad \text{.... (2)}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow T_1 \sin\theta_1 + T_2 \sin\theta_2 - T_3 = 0 \quad \text{....(3)}$$

من المعادلة (2) نحصل على:

$$T_2 = T_1 \frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} \quad \text{....(4)}$$

وبتعويض T_2 في المعادلة (3) نحصل على:

$$T_1 \sin\theta_1 + T_1 \frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} \sin\theta_2 - T_3 = 0 \quad \text{....(5)}$$ ومنها نحصل على

$$T_1 \left(\sin\theta_1 + \frac{\cos\theta_1}{\cos\theta_2} \sin\theta_2 \right) = T_3$$ ويمكن تبسيطها لتصبح

$$T_1 \left(\frac{\sin\theta_1 \cos\theta_2 + \sin\theta_2 \cos\theta_1}{\cos\theta_2} \right) = T_3$$ ويمكن تبسيطها لتصبح

$$T_1 \left(\frac{\sin(\theta_1 + \theta_2)}{\cos\theta_2} \right) = T_3$$ وبالتالي يكون الشد T_1 يساوي

$$T_1 = \frac{T_3 \cos\theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad \text{....(6)}$$

وبتعويض T_1 في المعادلة (4) نحصل على:

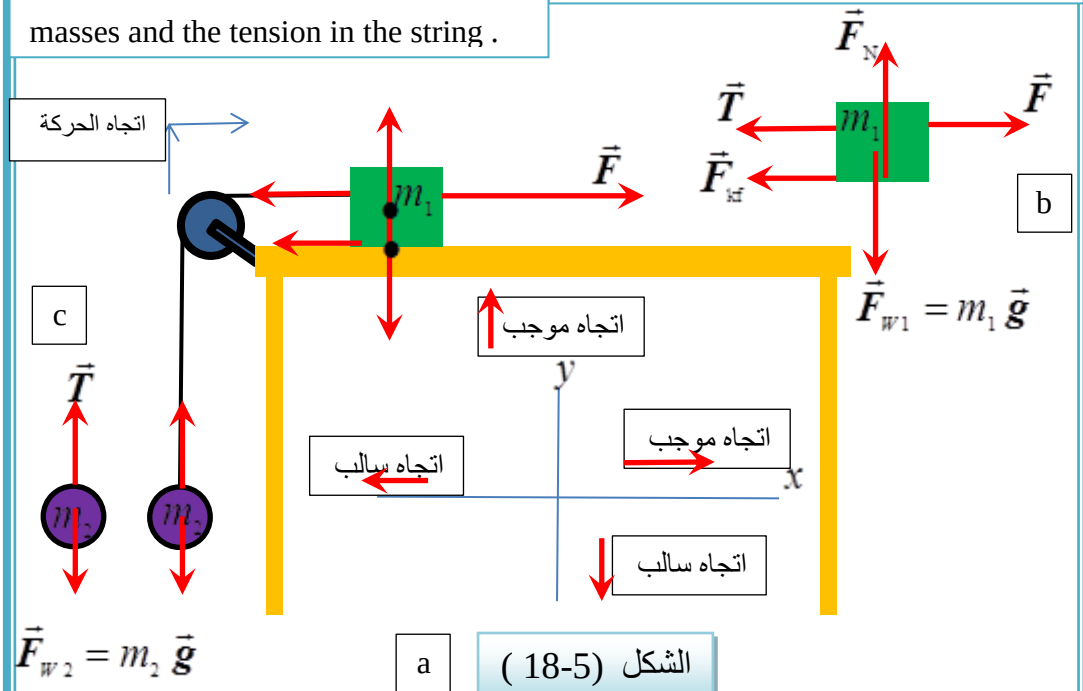
$$T_2 = \frac{T_3 \cos\theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad \text{....(7)}$$

ترتيب النتيجة النهائية:

$$T_1 = \frac{T_3 \cos\theta_2}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad ، \quad T_2 = \frac{T_3 \cos\theta_1}{\sin(\theta_1 + \theta_2)} \quad ، \quad T_3 = mg$$

مثال 5-13 صندوق كتلته m_1 موضوع على سطح أفقي خشن مربوط مع كرة كتلتها m_2 بخيط خفيف يمر فوق بكرة ملساء. أثرت قوة F على الصندوق كما في الشكل 5-18. إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الصندوق والسطح الأفقي μ_K والشد في الخيط T. أوجد تسارع الكتلتين.

Examples 5-13 A box of mass m_1 on a rough horizontal surface is connected to a sphere of mass m_2 by alight string passes over frictionless pulley. A force of magnitude F is applied to mass m_1 as shown in Fig. 5-18. If the coefficient of the kinetic friction between m_1 and the surface is μ_K. Find the acceleration of the two masses and the tension in the string .



الشكل (5-18)

أولاً: نضع القوى المؤثرة على كل جسم لوحده(مخطط الجسم الحر). الشكل (b18-5) والشكل (c18-5).

ثانياً: نطبق قانون نيوتن الثاني على كلا الجسمين كل على حدة مع الأخذ بعين الاعتبار أن الجسمين لهما نفس مقدار التسارع وهو a لأنهما مربوطين معاً.

الجسم الأول وهو الصندوق:

الحركة باتجاه x الوجب $\sum F_x = m_1 a_x \Rightarrow F - T - F_{kf} = m_1(a)$ .... (1)

لا توجد حركة بالاتجاه y $\sum F_x = m_1 a_x \Rightarrow -T = m_1(-a)$ .... (2)

تكملة حل مثال 5-13 تذكر أن الجسمين لهما نفس مقدار التسارع

$$F_{kf} = \mu_K F_N \quad \text{.... (3)}$$

الجسم الثاني وهو الكرة :

$$\sum F_x = 0 \quad \text{.... (4)}$$ لا توجد قوى بالاتجاه x

$$\sum F_y = m_2 a_y \Rightarrow T - m_2 g = m_2 (a) \quad \text{.... (5)}$$ الحركة باتجاه y الوجب

من المعادلتين (2) و (3) نحصل على

$$F_{kf} = \mu_K m_1 g \quad \text{....(6)}$$

ومن المعادلة (5) نحصل على

$$T = m_2 g + m_2 a \quad \text{(7)}$$

وبتعويض المعادلتين (6) و (7) في المعادلة (1) نحصل على

$F - (m_2 g + m_2 a) - \mu_K m_1 g = m_1 a$ وبإجراء ترتيب للحدود نحصل على

$F - g(m_2 + \mu_K m_1) = m_1 a + m_2 a$ ومنها نحصل على التسارع a

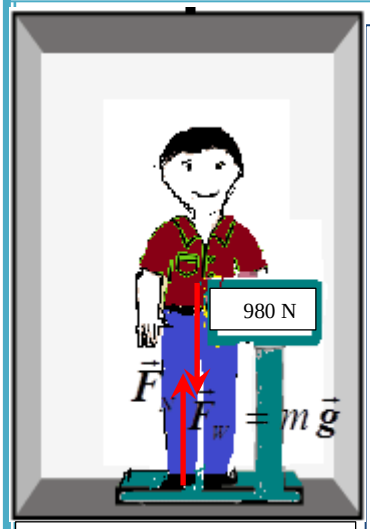
$$a = \frac{F - g(m_2 + \mu_K m_1)}{m_1 + m_2} \quad \text{....(8)}$$ وهو مقدار التسارع.

وبتعويض قيمة a في المعادلة (7) نحصل على قيمة الشد T

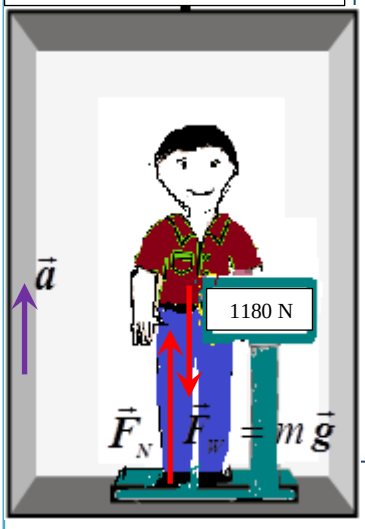
$$T = m_2 g + m_2 \left(\frac{F - g(m_2 + \mu_K m_1)}{m_1 + m_2} \right)$$ وهو مقدار الشد في الخيط.

مثال5-14 رجل كتلته m=100kg يقف على سطح ميزان يقيس بوحدة النيوتن في مصعد كما في الشكل 5-19. كم تكون قراءة الميزان في حالة (I) إذا كان المصعد يتحرك إلى الأعلى بتسارع 2 m/s^2؟ (II) إذا كان المصعد يتحرك إلى الأسفل بتسارع 2 m/s^2؟

Examples 5-14 A 100 kg person stand on a scale that reads in Newton in an elevator Fig. 5-19. (I) If the elevator acceleration is 2 m/s^2 upward, what does the scale read? (II) If the elevator acceleration is 2 m/s^2 downward, what does the scale read?



الشكل 5-a19 المصعد واقف



الشكل 5-b19 المصعد صاعد للأعلى بتسارع a

(I) في حالة صعود المصعد.

أولاً: نضع القوى المؤثرة على الشخص الموجود في المصعد(مخطط الجسم الحر). الشكل (5-b19) .

ثانياً: نطبق قانون نيوتن الثاني على الشخص a.

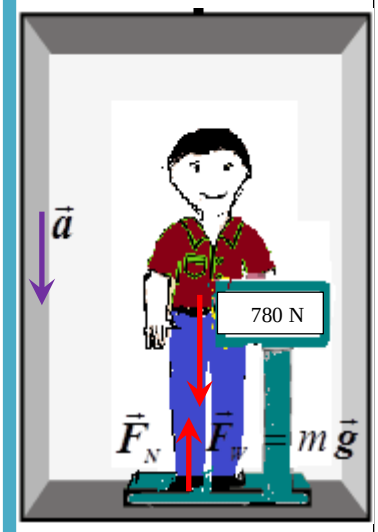
$$\sum F_y = m\,a \Rightarrow F_N - m\,g = m\,a \qquad \ldots(1)$$

الحركة بالاتجاه y الموجب.

F_N هي القوة التي يعملها سطح الميزان على الشخص.

$$F_N = 100\,\text{kg}\,(2\,\text{m/s}^2 + 9.8\,\text{m/s}^2) = 1180\ \text{N}$$

وهذه القوة هي نفسها القوة التي يعملها الشخص على الميزان، ولذلك يكون وزن الشخص كما يقرأه الميزان هو 1180 N بينما وزن الشخص الحقيقي هو 980 N وهو مبين في حالة أن المصعد واقف الشكل (5-a19).



تكملة حل مثال 5-14

(II) في حالة صعود الهبوط .

أولاً: نضع القوى المؤثرة على الشخص الموجود في المصعد(مخطط الجسم الحر). الشكل (b16-5) والشكل (c16-5).

ثانياً: نطبق قانون نيوتن الثاني على الشخص a .

$$\sum F_y = m\,a \Rightarrow F_{\mathrm{N}} - m\,g = m(-a) \quad ...(1)$$

الحركة بالاتجاه y السالب.

F_{N} هي القوة التي يعملها سطح الميزان على الشخص.

$$F_{\mathrm{N}} = 100\,\mathrm{kg}\left(9.8\,\mathrm{m/s^2} - 2\,\mathrm{m/s^2}\right) = 780\,\mathrm{N}$$

وهذه القوة هي نفسها القوة التي يعملها الشخص على الميزان، ولذلك يكون وزن الشخص كما يقرأه الميزان هو $780\,\mathrm{N}$ بينما وزن الرجل الحقيقي هو $980\,\mathrm{N}$.