ومُ القوّةِ Concept of Force

حولي فأرى أجسامًا ساكنةً وأخرى متحرِّكة، وأراقبُ الأجسامَ مدَّة منَ الزمنِ،
نَّ الجسمَ الساكنَ قد يتحرَّك، والجسمَ المتحرِّك قد يتغيَّر مقدارُ سرعتِه
اهُ حركتِه أو كلاهما معًا؛ والسببُ في ذلكَ هو تأثيرُ القوى المختلفةِ في
امِ. فمثلاً، القوى المؤثِّرة في الطائرةِ عندَ إقلاعِها تختلفُ عن القوى المؤثِّرة
لطائرةِ التي تقفُ على مدرجِ المطارِ. أتأمَّل الشكلَ (1).

، **القوّةُ Force** بأنَّها تأثيرٌ يؤدّي إلى تغييرٍ في حالةِ الجسمِ الحركيّةِ،
عندَما أدفعُ جسمًا أو أسحبُه فقد أحرِّكه إنْ كانَ ساكنًا، وقد أوقِفُه إنْ
تحرَّكا. وكذلك عندَما أرفعُ جسمًا ثمَّ أتركُه فإنَّ الأرضَ تؤثِّر فيهِ بقوّة.

(1): تتغير الحالة الحركية للطائرة من السكون إلى الحركة بسبب تغير
ى المؤثرة فيها

يفُ القوى Classification of Forces

ت في صفوفٍ سابقةٍ أنواعًا مختلفةً منَ القوى مثلُ قوّة الجاذبيّة،
لشدِّ، وقوّة الاحتكاكِ، والقوّة الكهربائيّة. ويمكنُ تصنيفُ القوى
ا ضمنَ فئتينِ، هما: قوى التلامسِ، وقوى التأثيرِ عنْ بُعْد.

التلامسِ Contact Forces

تطلبُ تلامسًا مباشرًا بينَ الأجسامِ، فمثلاً، عندَما يركلُ لاعبٌ
ندمِه، فإنَّ القوَّة التي يؤثِّر بها اللاعبُ في الكرةِ هي قوَّة تلامسٍ؛ لأنَّ
في الكرةِ يتطلبُ تلامسًا مباشرًا بينَ القدمِ والكرةِ. ومنَ الأمثلةِ على
لتلامسِ، القوةُ العموديُّة؛ وهي قوَّة تنشأُ بينَ الجسمِ والسطحِ الذي

الشكل
يتأثّر
بقوّة
وهي
تلامسٍ
بينَ س
الكتابِ
وسطِ
الطاول
أذكرُ
أخرى
في الك
وأعبُر
برسمِ
مناسبٍ

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com

ع عليهِ، وتكونُ دائمًا عموديَّة على سطحِ التلامُسِ، ويبيِّن الشكلُ
لقوَّة العموديَّة المؤثِّرة في كتابٍ موضوعٍ على سطحِ طاولةٍ أفقيٍّ.

التأثيرِ عن بُعْد Action-at-a-Distance Forces

نشأُ بينَ الأجسامِ دونَ الحاجةِ إلى وجودِ تلامسٍ مباشرٍ بينَها،
ِّة الجاذبيِّة؛ فالجسمُ الموضوعُ على ارتفاعٍ ما عنْ سطحِ الأرضِ
بقوَّة الجاذبيِّة على الرغمِ منْ عدمِ وجودِ تلامسٍ بينَه وبينَ الأرضِ،
تركِه حرًّا يسقطُ نحوَ الأرضِ بتأثيرِ هذهِ القوةِ. وكذلكَ تُعدُّ القوَّة
طيسيَّة والقوَّة الكهربائيَّة قوى تأثيرٍ عنْ بُعْد. أتأمَّل الشكلَ (3).

الشكل
يؤثِّر ا
المشد
قصاص
الورقِ
الموجـ
على
الأرض
جذبٍ،
الرغمِ
عدمِ و
تلامسٍ
بينَهما
فتنجذ
نحوَهُ.

يراتُ الناتجةُ عنِ القوى Effects of Forces

لقوى في الأجسامِ بطرائقَ مختلفةٍ. ويمكنُ فهمُ الأثرِ الناتجِ عنِ القوى،
نُ الحالةِ الحركيَّة للأجسامِ بتطبيقِ قوانينِ نيوتن.

ونُ الأولُ لِنيوتنَ في الحركةِ Newton’s First law of Motion

شكلُ (4/أ) قرصًا أملسَ موضوعًا على سطحٍ أفقيٍّ خشنٍ، يتأثَّر القرصُ بقوَّتين؛
لقوَّة العموديَّة (FN) واتجاهُها إلى الأعلى، والوزنُ (Fg) واتجاهُه إلى الأسفلِ.
كانَ القرصُ يستقرُّ ساكنًا، فإنَّ محصِّلة هاتينِ القوَّتين تساوي صفرًا.
تدفعُ اليدُ القرصَ نحوَ اليمينِ، يكتسبُ القرصُ طاقةً حركيَّة، وبما أن اليدَ تنفصلُ
قرصِ مباشرةً بعدَ دفعِه في الاتجاهِ الأفقيِّ، فإن القرصَ بالاتجاهِ الأفقيِّ يتأثرُ فقطْ
لاحتكاكِ (f)، أتأمَّل الشكلَ (4/ب). ونظرًا إلى أنَّ قوةَ الاحتكاكِ بعكسِ اتجاهِ الحركةِ،
ستعملُ على إبطاءِ سرعةِ القرصِ تدريجيًّا إلى أنْ يتوقَّف.أما الشكلُ(4/ج) فيوضِّح
ن نفسه، لكنّ الحركةَ على سطحٍ أملسَ. وفي هذهِ الحالةِ تكونُ محصِّلة القوّة بالاتجاهِ

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com

ِّ صفرًا، لذا يستمرُّ القرصُ بالحركةِ في خطٍّ مستقيمٍ وبسرعةٍ ثابتةٍ دونَ توقُّف.

نتجُ ممّا سبقَ الأمرينِ الآتيينِ:

القوَّة المحصِّلة المؤثِّرة في الجسم الساكن ، وكذلك الجسم المتحرك بسرعةٍ ثابتةٍ

في خطٍّ مستقيمٍ، تساوي صفر.

الجسمُ عاجزٌ عن تغييرِ حالتِه الحركيِّة من تلقاءِ نفسِه؛ فالجسمُ الساكنُ لا يمكنُ أنْ

تحرَّك إلا إذا أثّرتْ فيهِ قوَّة محصِّلة، والجسمُ المتحركُ بسرعةٍ ثابتةٍ في خطٍّ مستقيمٍ
لا يمكنُ أن يغيِّر من مقدارِ سرعتِه أو اتجاهِها إلا إذا أثّرتْ فيهِ قوةٌ محصِّلة.
ويُمكنُ تعميمُ النتيجةِ التي توصّلْنا إليها بصيغةٍ عبَّر عنها العالمُ نيوتن بما يُعرفُ

القانونِ الأولِ لنيوتن Newton's First law وينصُّ على أنَّ:

الجسمَ يحافظُ على حالتِه الحركيّةِ من حيثُ السكونُ، أو الحركةُ في خطٍّ مستقيمٍ وبسرعةٍ ثابتةٍ،
لم تؤثّرْ فيهِ قوَّة خارجيَّة محصِّلة تُغيِّر حالتَه الحركيَّة)).

الشكل
(أ) ا
ساكنٌ
المحصِّ
تساوي
صفرًا
(ب) ا
يتحرَّك
بسرع
متناقص
والقوَّة
المحصِّ
تساوي
وبعكس
الحرك
(ج) ا
يتحرَّك
بسرع
والقوةُ
المحصِّ
تساوي
صفرًا

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com

رعةٌ الثابتةٌ Constant Velocity

يتحركُ الجسمُ في خطٍّ مستقيمٍ بسرعةٍ ثابتةٍ؛ فإنَّه يقطعُ إزاحاتٍ
يةً في أزمنةٍ متساويةٍ، وتُوصفُ سرعتُه بأنَّها مُنتظَمةٌ. ويبيِّن الشكلُ
مثالًا على الحركةِ بسرعةٍ منتظمةٍ، فالجسمُ يتحركُ بخطٍّ مستقيمٍ
اليمينِ باتجاهِ محورِ (x+)، بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارُها (10 m/s)، وهذا
أنَّ الجسمَ يقطعُ إزاحةً مقدارُها (10 m) في كلِّ ثانيةٍ من زمنِ الحركةِ.
سبُ السرعةُ الثابتةُ بقسمةِ الإزاحةِ المقطوعةِ (Δx) خلالَ مدَّةٍ
(Δt) على الزمنِ اللازمِ لحدوثِ تلكَ الإزاحةِ:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

(x_f) الموقع النهائي، (x_i) الموقع الابتدائي

ارعُ الثابتُ Constant Acceleration

ِ حركةِ الأجسامِ عندَما تتحركُ بسرعةٍ متغيرةٍ، يستخدمُ العلماءُ
التسارُعِ. ويبيِّن الشكلُ (5/ب) سيارةً تتحركُ بخطٍ مستقيمٍ،
رصدِ حركةِ السيارةِ مدةً منَ الزمنِ، لوحظَ أنَّ السرعةَ تزدادُ بمقدارِ
(m/s في كلِّ ثانيةٍ من زمنِ الحركةِ، ما يعني أنَّ السرعةَ تزدادُ بانتظامٍ،
صفُ السيارةُ بأنَّها تتحركُ بتسارعٍ ثابتٍ يُرمز إليهِ بالرمزِ (a)، ويُحسبُ
التغيِّر في السرعةِ على المدةِ الزمنيةِ التي حدث خلالَها هذا التغيُّر:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

(v_f) السرعة النهائية، (v_i) السرعة الابتدائية.

التسارعُ بوحدةِ (m/s^2)، والسرعةُ والتسارعُ كميَّات متَّجهة؛
لكلٍّ منها مقدارًا واتِّجاها.

جدولُ الآتي التغيُّرَ في الموقعِ لجسمينِ (A,B) خلالَ مدَّةٍ منَ الزمنِ.

الزمنُ(s)	موقعُ(A) (m)	موقعُ (B) (m)
0	0	0
5	6	3

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com

10	12	7
15	18	19

كلِّ جسمٍ ، هلْ يتحرَّك بسرعةٍ ثابتةٍ أم متغيِّرة؟ موضِّحًا كيفَ توصّلْتُ إلى الإجابةِ.

محلول

قطارٌ حركتَه منَ السكونِ بتسارعٍ ثابتٍ في خطٍّ مستقيمٍ باتجاهِ محورِ (x+)، فتزدادُ سرعتُه
حَ (20 m/s) بعدَ مرورِ (16 s)، أحسُبُ تسارُعَ القطارِ.

:

بِ التسارعِ أستخدمُ العلاقةَ:

$$a = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$

$$a = \frac{20 - 0}{16} = 1.25\ m/s^2$$

. أنَّ الحركةَ باتجاهِ محورِ (x+) وإشارةَ التسارعِ موجبةٌ، أيْ إنَّ اتجاهِ التسارعِ باتجاهِ الحركةِ
، لذا فإنَّ القطارَ يتسارعُ.

مثال

ةُ سباقٍ تتحركُ بخطٍّ مستقيمٍ، تتناقصُ سرعتُها من (45 m/s) إلى (0 m/s) خلالَ (3 s).
سب تسارُعَ السيارةِ.

:

بِ التسارُعِ أستخدمُ العلاقةَ:

$$a = \frac{v_f - v_i}{\Delta t}$$

$$a = \frac{0 - 45}{3} = -15\ m/s^2$$

. أنَّ الحركةَ باتجاهِ محورِ (x+) وإشارةَ التسارعِ سالبةٌ، أيْ إنَّ اتجاهَ التسارعِ بعكسِ
لحركةِ، فتناقصَتْ سرعةُ السيارةِ من (45 m/s) إلى صفرٍ، لذا توصفُ السيارةُ بأنَّها تتباطأُ.

ن

سيارةٌ (20 km) خلالَ (30 min). أحسُبُ سرعةَ السيارةِ بوحدةِ (km/h).

ونُ الثاني لنيوتن في الحركةِ Newton's Second law of Motion

، منَ القانونِ الأولِ لنيوتن أنَّ تغييرَ سرعةِ الجسمِ يتطلَّب قوَّة محصَّلة، وعندَما تتغيرُ السرعةُ، فإنَّ

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com

يتحركُ بتسارعٍ. القانونُ الثاني لنيوتن يوضّح العلاقةَ بينَ التسارعِ والقوّة المحصّلة المسبِّبةِ لهُ.
رُ دراستُنا على تطبيقِ القانونِ الثاني لنيوتن على أجسامٍ تتحركُ بخطٍّ مستقيمٍ، ولا تتغيَّر كتلتُها في
الحركةِ)كتلةُ الجسمِ ثابتةٌ(، وبذلكَ يمكنُ صياغةُ القانونِ الثاني لنيوتن Newton's Second law على
ِ الآتي:

ارعُ جسمٍ يتناسبُ طرديًّا معَ محصّلةِ القوّةِ المؤثِّرةِ فيهِ، وعكسيًّا معَ كتلتِه ». ونعبّرُ عنهُ رياضيًّا
لاقةِ الآتيةِ:

$$F = ma\sum$$

(ΣF) القوّةُ المحصِّلة المؤثِّرة في الجسمِ، وتُقاسُ بوحدةِ النيوتن (N).(m) كتلةُ الجسمِ،
ُ بوحدةِ (a) .(kg) تسارعُ الجسمِ، ويُقاسُ بوحدةِ (m/s^2)ففي الشكلِ (6/أ)، يمثِّل
(F) القوّة المحصَّلة المؤثِّرة في العربةِ، وعندَما يتضاعفُ مقدارُ القوّة ليصبحَ (2F)،
ارُعَ العربةِ سوفَ يتضاعفُ. وبكتابةِ العلاقةِ بالصورةِ:

$$(a = Fm)$$

ح التسارعَ يتناسبُ عكسيًّا معَ الكتلةِ بثبوتِ القوّةِ المحصّلة. أتأمل الشكل (6/ب) الذي
ح أنَّ استبدالَ جسمٍ كتلتُهُ (m2) بالجسمِ الذي كتلتُه (m) يؤدّي إلى زيادةِ التسارعِ إلى
فِ، بثبوتِ القوّةِ المحصِّلة.

محلول

، القوَّة المحصّلةَ اللازمةَ كي يكتسبَ جسمٌ كتلتُه (kg 5) تسارُعًا ثابتًا مقدارُه (m/s^2)
:

ِ القوّة المحصِّلة أستخدمُ العلاقةَ :

$$f=ma\sum f = 5\times 2 = 10$$

الشكل
(أ) يبـ
التسار
طرديًّا
القوّة
المحصّ
بثبوتِ
(ب) يبـ
التسار
عكسيًّ
الكتلةِ
القوّة
المحصّ

ونُ الثالثُ لنيوتن Newton's Third law

التعبيرُ عنِ القانونِ الثالثِ لنيوتن Newton's Third Law بالصيغةِ الآتيةِ:
تفاعلَ جسمانِ (A، B) فإنَّ القوةَ التي يؤثِّر بها الجسمُ (A) في الجسمِ (B)
ي في المقدارِ وتعاكسُ في الاتجاهِ القوَّة التي يؤثِّر بها الجسمُ (B) في
(A)). فمثلًا يبيِّن الشكلُ (7/أ) كرتينِ (A، B) تتحركانِ باتجاهينِ متعاكسينِ،

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com

ة تصادمِ الكرتينِ، تؤثِّر الكرةُ (A) في الكرةِ (B) بقوةِ دفعٍ (F_{AB}) ،وكذلكَ تؤثِّر
(B) في الكرةِ (A) بقوةِ دفعٍ مساويةٍ في المقدارِ ومعاكسةٍ في الاتجاهِ (F_{BA})،
الشكلَ (2/ب). تُسمَّى إحدى القوّتين الفعلَ، وتُسمَّى القوةُ الأخرى ردَّ الفعلِ،
قوّتان متساويتانِ في المقدارِ، ومتعاكستانِ في الاتجاهِ ($F_{AB} = -F_{BA}$)، ومن النوعِ
تنشآن في اللحظةِ نفسِها، وتؤثِّران في جسمينِ مختلفينِ، ويُسمِّيان زوجًا؛
وردَّ الفعلِ. يُقدِّم لنا قانونُ نيوتن الثالثُ تفسيرًا لمشاهداتٍ يوميَّة، مثلُ المشي.
الشكلُ (8) زوجَ القوى المؤثِّر في كلٍّ منِ الأرضِ والقدمِ عندَ المشي. فعندَما
ُ القدمُ الأرضَ ينشأُ زوجٌ منَ القوى المتبادَلةِ بينِ الأرضِ والقدمِ؛ فتؤثِّر القدمُ في
ِ بقوَّة إلى الخلفِ، وبالمقابلِ تؤثِّر الأرضُ في القدمِ بقوَّة مساويةٍ في المقدارِ
كسةٍ في الاتجاهِ فتدفعُها إلى الأمامِ.

الشكل
(أ) كر
تتحرّك
باتجاه
متعاكس
(ب) ل
التصا
كلُّ كر
الأخر
دفعٍ، و
القوّتان
متساو
ومتعا

الشكل
في أثن
المشي
القدمُ ا
إلى الـ
فتدفعُ
القدمَ إ
الأمام

Convert web pages and HTML files to PDF in your applications with the Pdfcrowd HTML to PDF API | Printed with Pdfcrowd.com