المملكة العربية السعودية
وزارة التربية والتعليم
التطوير التربوي

وزارة التربية والتعليم
MINISTRY OF EDUCATION

قررت وزارة التربية والتعليم تدريس
هـذا الكـتاب وطبـعه على نفـقتها

الفِيزيَاءُ

لِلصَّفِّ الثَّاني الثَّانَوِيّ
الفَصْل الدِّرَاسِيُّ الأَوَّل

تأليف

عبد الرحمن بن صالح العريني
محمد بن عبد العزيز الثويني
محمد بن عدنان العثمان
صالح بن عبد العزيز السنيدي

طبعة ١٤٢٨هـ ــ ١٤٢٩هـ
٢٠٠٧م ــ ٢٠٠٨م

ح وزارة التربية والتعليم، ١٤٢٦هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

السعودية، وزارة التربية والتعليم

الفيزياء : للصف الثاني الثانوي ـ الرياض

١٧٠ ص ؛ ٢١ x ٢٣ سم

ردمك : ٠ ـ ٣٥٠ ـ ١٩ ـ ٩٩٦٠ (مجموعة)

٧ ـ ٣٥٢ ـ ١٩ ـ ٩٩٦٠ (ج١)

١ ـ الفيزياء ـ كتب دراسية ٢ ـ التعليم الثانوي ـ السعودية ـ كتب دراسية أ ـ العنوان

ديوي ٥٣٠،٠٧١٢ ٢٠/١٠٠٥

رقم الإيداع : ٢٠/١٠٠٥

ردمك : ٠ ـ ٣٥٠ ـ ١٩ ـ ٩٩٦٠ (مجموعة)

٧ ـ ٣٥٢ ـ ١٩ ـ ٩٩٦٠ (ج١)

لهذا الكتاب قيمة مهمّة وفائدة كبيرة فلنحافظ عليه ولنجعل نظافته تشهد على حسن سلوكنا معه...

إذا لم نحتفظ بهذا الكتاب في مكتبتنا الخاصة في آخر العام للاستفادة فلنجعل مكتبة مدرستنا تحتفظ به...

موقع الوزارة
www.moe.gov.sa

موقع الإدارة العامة للمناهج
www.moe.gov.sa/curriculum/index.htm

البريد الإلكتروني للإدارة العامة للمناهج
curriculum@moe.gov.sa

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة الكتاب

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على معلم الناس الخير وبعد:

لم تعد غاية تدريس العلوم بعامة والفيزياء بخاصة هي تحصيل المعرفة العلمية فحسب، بل تعدته إلى تطوير إمكانات المتعلم إلى : ماذا يستطيع أن يفعله المتعلم؟. فالاتجاه الجديد ينطلق من ضرورة توظيف هذا العلم في حياة الفرد والمجتمع.

وعلم الفيزياء علم تجريبي يقوم على الملاحظة الواعية الدقيقة ثم التجربة لفهم الظواهر الطبيعية ومن ثمّ تسخيرها لما فيه فائدة الإنسان وراحته، هذا بالإضافة إلى أن علم الفيزياء يعد أساساً لا بد منه لجميع العلوم التطبيقية والتقنية، ومن هنا تأتي أهمية هذا العلم وضرورة فهمه واستيعابه.

وقد نُشرت مادة هذا الكتاب بحيث تنمي أسلوب الاستقصاء من خلال الحوار الذي يثير التفكير العلمي لدى أبنائنا المتعلمين.

ونأمل من زملائنا المعلمين أن يسلكوا بين طلابهم سلوك العالم فيكسبوهم مهارات البحث العلمي، فيأخذوا بيد الضعيف إلى بر الأمان، ويكتشفوا الموهوبين منهم فيوجهوا ميولهم الوجهة السليمة، ويساعدوهم على فهم الظواهر الطبيعية ، فيقوى إيمانهم بالله عز وجل ، وينتفع منهم المسلمون، فتعاليم الدين الحنيف والحقائق العلمية تنطلق من مشكاة واحدة.

كما نأمل من أولياء أمور المتعلمين أن يوفروا الجو المناسب لتحصيل أبنائهم فالأب خير معين لابنه بعد الله عز وجل.

"أما الهدف من العملية التعليمية كلها ومحورها الأساسي وهو المتعلم" فنأمل منه أن يسلك سلوك أجداده من المسلمين في طلب العلم ، وأن لا يجعل تعلمه وسيلة لأهداف دنيوية فانية، بل عليه أن يرتفع ويسمو بمقصده فيوفقه الله عز وجل.

يحتوي هذا الكتاب على خمسة فصول :

الكميات الفيزيائية المتجهة - الحركة على خط مستقيم - قوانين نيوتن - الشغل والطاقة - الحركة الدائرية.

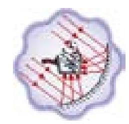
وقد استعملت في الكتاب وحدات النظام الدولي (م للمسافة، كجم للكتلة، ثانية للزمن) وقد حرصنا على وضع عدد مناسب من الأمثلة المحلولة لتسهل للطالب فهم مادة الكتاب ، كما حرصنا على اختصار الكلام ما لم يخل بالمعنى المقصود ؛ وذلك تجنباً للإطالة ومنعاً للجوء إلى مصادر أخرى ربما لا تفي بالهدف المنشود.

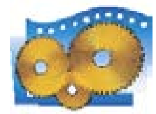
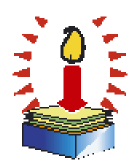
نأمل من كل المهتمين بعلم الفيزياء (أساتذة الجامعات، ومشرفين، ومعلمين، وأولياء أمور) أن لا يبخلوا علينا بملاحظة هادفة أو نقد بنّاء وإرساله عبر فاكس الإدارة العامة للمناهج ٤٠٨١٢٩٧ وحدة العلوم.

كما نأمل أن نكون قد وفقنا بتقديم شيء مفيد لأبنائنا المتعلمين ، والله هو الموفق والهادي إلى سواء السبيل.

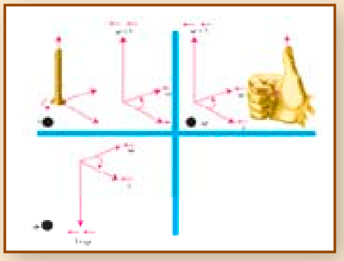
فريق التأليف

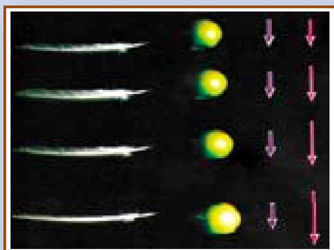
بعض الفقرات في هذا الكتاب ومدلولاتها ورموزها

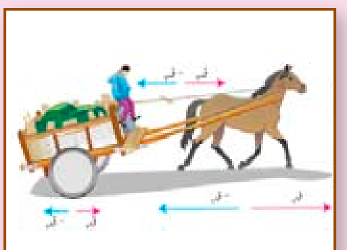
الرمز	الفقرة	مدلولاتها
	لسلامتك	معلومات إضافية حول الموضوع قيد الدراسة، أو فقرات منه تنبه المتعلم إلى خطورة بعض المواد، أو توجهه إلى التصرف الصحيح حيال بعض الأمور، دون أن يدخل ما تضمنته في عمليات تقويم المتعلمين.
	التطبيقات الفيزيائية	ويقصد بها التطبيقات الحياتية للموضوع، أو فقرات منه تزيد من دافعية التعلم لدى المتعلمين، وتشعره بأهمية الفيزياء في الحياة بكافة مناشطها ومستلزماتها.
	نشاط عملي	نشاطات تجريبية عملية يجريها المتعلمون داخل غرفة المختبر، أو يجريها المعلم في حالة عدم توفر الأدوات والمواد الكافية، أو خطورتها عليهم.
	طرائف علمية	أحداث ومبتكرات ومعلومات تتميز بطرافتها ، دون أن يدخل ذلك في التقويم النهائي للفصل الدراسي، وإن دخل في عمليات التقويم أثناء التدريس.
	وقفة تأمل	يراد منها لفت انتباه المتعلم إلى بعض دلائل الإيمان من خلال تأمل بعض الظواهر الفيزيائية ذات العلاقة بالموضوع، كما يمكن أن تكون محور نقاش تربوي إيماني هادف.
	لمعلوماتك	يراد منها اعطاء المتعلم بعض المعلومات الهامة في نفس الموضوع لتثري معلوماته، دون أن تستهدف بذاتها في عملية التقويم.
	الأمثلة	أنواع من الأسئلة المحلولة على الفكرة أو المفهوم المعروض يهدف إلى ترسيخها، ويقيس عليها المتعلم عند تنفيذ التدريبات أو حل أسئلة آخر الفصل.

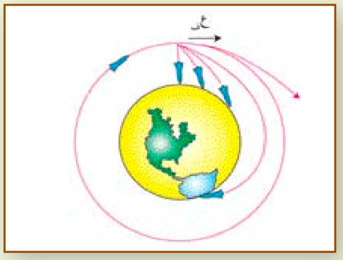
الرمز	الفقـرة	مـدلـولاتــها
	التدريبات	أنواع من الأسئلة تعرض في ثنايا الموضوع المدروس تطبيقاً لفكرة أو مفهوم علمي مر به للتو، بغية التدرب عليها داخل الصف وبالإشراف والتقويم المباشر من قبل المعلم.
	أسئلة آخر الفصل	تتضمن بعض التساؤلات والتمارين حول موضوع الفصل يتم تكليف الطالب بالإجابة عليها منزلياً، ويتولى المعلم تقويمها بصورة منظمة ومجدولة كما يمكن اختيار بعضها للمناقشة الصفية.
	ابحث	محاولة يتم من خلالها ممارسة المتعلم لمهارات البحث العلمي وأساليبه بصورة مبسطة من خلال تساؤل أو مشكلة تعرض عليه، ليصل إلى مبتغاه من خلال المصادر المعرفية المختلفة المتوفرة بين يديه (المكتبة العلمية، البرامج الحاسوبية، الشبكة المعلوماتية العالمية «الإنترنت»، وغيرها)، دون مطالبته بها في عمليات التقويم النهائية آخر الفصل الدراسي.
	أسئلة التفكير	تساؤلات تسهم في تنمية مهارة من مهارات التفكير لدى المتعلمين، وترتبط ارتباطاً وثيقاً بموضوع الدرس أو إحدى فقراته، ولا يطالب بها المتعلم في عمليات التقويم المختلفة.
	تذكر	يراد منها تذكير المتعلم ببعض المفاهيم أو العلاقات والتحويلات الرياضية ذات العلاقة بالموضوع، دون أن تستهدف بذاتها في عمليات التقويم.

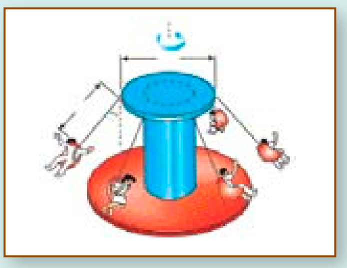
الفهرس



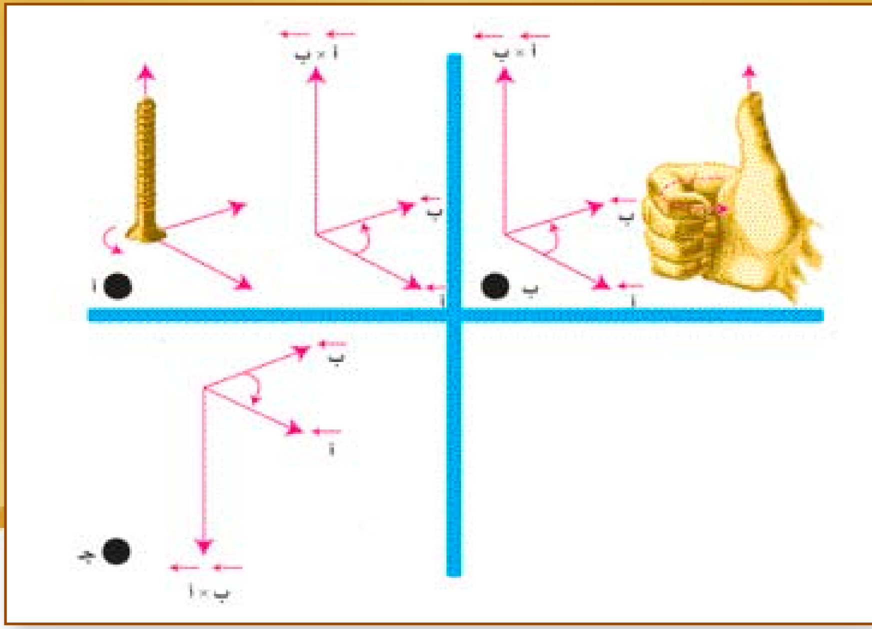








الفصل الأول :



الكميات الفيزيائية المتجهة

أهــداف الفصل الأول :

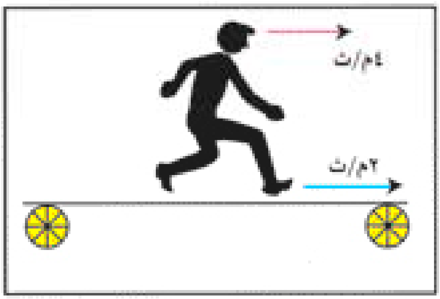
بعد دراستك لهذا الفصل سوف تكون قادراً على أن :

١- تعرّف كل من الكميات المتجهة والكميات القياسية.
٢- تمثّل لكل من الكميات المتجهة والكميات القياسية.
٣- تمثّل الكميات المتجهة بيانياً.
٤- تنقل المتجه من مكان إلى آخر على المستوى.
٥- توضح دلالة الإشارة الجبرية للمتجه.
٦- تفرّق بين الجمع العددي والمتجه.
٧- تعرّف الضرب القياسي للمتجهات.
٨- تعرّف الضرب المتجه للمتجهات.
٩- تحدّد اتجاه المتجه الناتج من الضرب المتجه.
١٠- تعرّف القوة.
١١- توجد المركبات المتعامدة لأي قوة.
١٢- تفرّق بين عمليتي تحليل وتركيب القوى.
١٣- توجد محصلة عدة قوى باستخدام طريقة التحليل.
١٤- تحسب زاوية المحصلة.

الـــكـمـــيات الـفـيزيائية الـمـتـجـهـــة

الكميات المتجهة والقياسية :

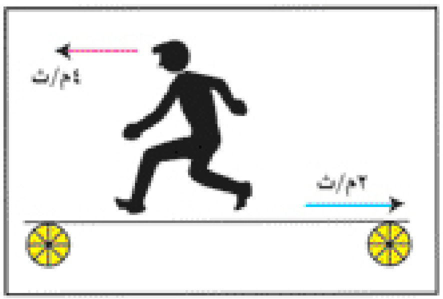
يجري هذا الصبي [شكل (١ ـ ١)] على هذا السير المتحرك، فهل تستطيع أن تعرف كم تبلغ سرعته ؟ وهذا الصبي الآخر [شكل (١ ـ ٢)] يجري على سير آخر باتجاه مخالف، فهل تعرف كم تبلغ سرعته؟



شكل ١ - ١

لماذا اختلفت الإجابتان مع أن قيم السرعات لم تتغير ؟

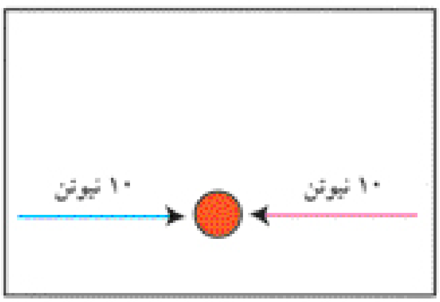
وهاتان القوتان [شكل (١ ـ ٣)] تؤثران على هذا الجسم فهل تعرف مقدار القوة الكلية المؤثرة عليه ؟ حسناً وما الذي يحدث عندما تؤثر القوتان في اتجاه واحد وكم تكون القوة الكلية المؤثرة عليه حينئذٍ؟



شكل ١ - ٢

والآن مرة أخرى لماذا اختلفت الإجابتان ؟

نستنتج مما سبق أن السرعة والقوة كميات تعتمد على الاتجاه وسوف نسميها كميات متجهة وتعرف **الكميات المتجهة بأنها : الكميات التي تحدَّد بالمقدار والاتجاه معاً .**

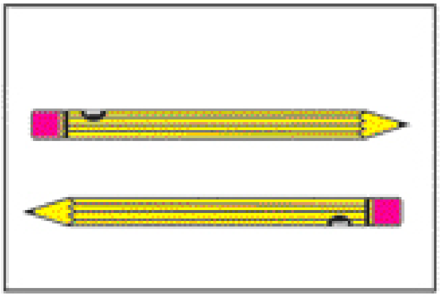


شكل ١ - ٣

ويرمز للكميات المتجهة برمز يعلوه سهم " صغير " للدلالة على كونها متجهة (أو بحرف مثقّل) :

فترمز للسرعة بالرمز : ع⃖ ، وللقوة بالرمز : ق⃖

وسوف تتعرف أثناء دراستك هذا العام بإذن الله تعالى على كميات متجهة أخرى مثل كمية الحركة وغيرها .



شكل ١ - ٤

والآن انظر إلى الشكل (١ - ٤)

ودعنا نقيس المسافة بين رأس هذا القلم وقاعدته هل تختلف المسافة إذا قسناها بين قاعدته ورأسه ؟

لماذا لم تختلف الإجابتان ؟

شكل ١ - ٥

انظر الآن إلى الساعة التي في يدك وراقب حركة عقرب الثواني حتى يتم دورة كاملة .

هل يختلف زمن هذه الدورة إذا نظرت إلى ساعتك من زوايا مختلفة ، مرةً من اليمين ومرةً من اليسار ومرةً من الأعلى ؟

لماذا لم يختلف زمن الدورة ؟

نستنتج مما سبق أن المسافة والزمن كميات لا تعتمد على الاتجاه وسوف نسميها كميات قياسية ، لأنها تُحدَّد بمقدارها فحسب .

وتعرف الكميات القياسية بأنها : الكميات التي تحدّد بالمقدار فقط .

س : مثّل للكميات القياسية بأمثلة أخرى ....

والآن يمكننا القول إن : الكميات الفيزيائية تنقسم إلى قسمين فقط لا ثالث لهما كميات قياسية ، وكميات متجهة ، ولا بد أن تتقن جيداً التفريق بينهما ، لأن تعاملنا الفيزيائي مع كلتا المجموعتين سيكون مختلفاً تماماً .

تمثيل الكميات المتجهة بيانياً

تمثل الكميات المتجهة هندسياً بسهم بحيث :

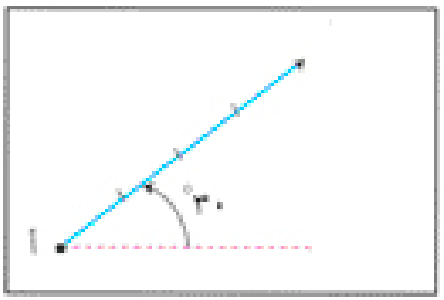
١ - يشير طول السهم إلى مقدار الكمية وذلك باستخدام مقياس رسم مناسب فمثلاً ١سم/ ١ نيوتن (إذا كانت الكمية هي القوة) .

٢ - يشير اتجاه السهم إلى اتجاه الكمية المتجهة وبالطبع ستعبر زاويته عن اتجاهها .

٣ - تشير نقطة أصله إلى نقطة تأثيرها .

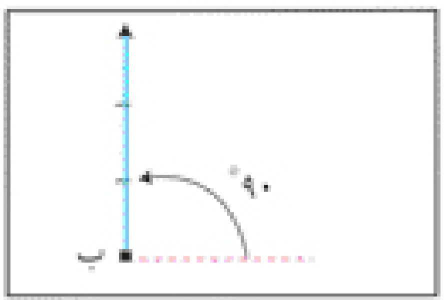
فمثلاً :

يشير الشكل (١-٦) إلى كمية متجهة مقدارها أربع وحدات وزاوية اتجاهها ٣٠° ، وتؤثر في النقطة (أ) .



شكل ١ - ٦

ويشير الشكل (١-٧) إلى كمية متجهة مقدارها ثلاث وحدات وزاوية اتجاهها ٩٠° وتؤثر في النقطة (ب)

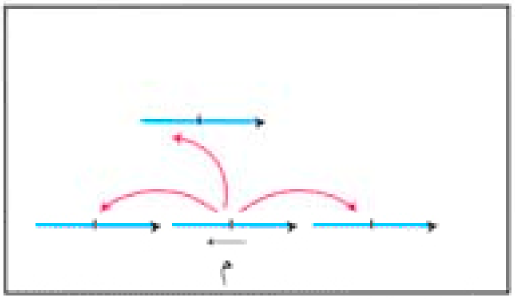


شكل ١ - ٧

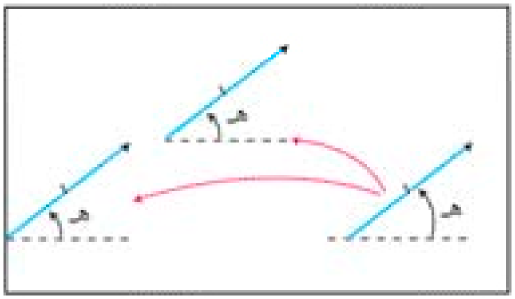
نقل المتجهات :

من الخواص الهندسية البسيطة والمهمة جداً للمتجهات خاصية النقل . ونعني بها : إمكانية نقل المتجه من مكانه إلى أي مكان آخر بشرط المحافظة على طوله واتجاهه .

وسوف تفيدنا هذه الخاصية كثيراً عند تعاملنا مع الكميات الفيزيائية المتجهة ، دون أن تؤثر على الإطلاق على الحلول والنتائج . انظر الشكلين (١-٨) ، (١-٩) .



هنا في هذا الشكل يمكننا نقل المتجه شكل ١ - ٨



وكذلك هنا شكل ١ - ٩

إشارة المتجه :

في الشكل (١-٣) لماذا لا يتحرك الجسم رغم كون القوى المؤثرة عليه : ١٠ نيوتن، ١٠ نيوتن ؟ لعلك توافقني على أن القوتين متعاكستان . أي أن مجموعهما صفر . وإذا كانتا كذلك فإنه لا ينبغي لنا أن نقول إن كلًّا من القوتين تبلغ ١٠ نيوتن وفي نفس الوقت نقول إن مجموعهما صفر .

بل سنقول إن إحداهما ١٠ نيوتن والأخرى -١٠ نيوتن (لماذا) ؟

وأنت تلحظ الآن أننا أضفنا الإشارة السالبة إلى إحدى القوتين لكونها معاكسة للأخرى في الاتجاه ولذا فإننا سنقول :

إذا تغير (انعكس) اتجاه الكمية المتجهة فإن إشارتها ستنعكس أيضاً :

أي إذا كانت ق$_1$ = ١٠ نيوتن هي :

فإن ق$_2$ = −١٠ نيوتن هي :

وسيمر معنا فيما بعد أن اختيار الاتجاه الموجب أو السالب سيكون بناءً على أحد ثلاث مسوغات :

١ ـ وضع المحاور الهندسية .

٢ ـ اتجاه حركة الأجسام .

٣ ـ أن يكون افتراضياً .

جمع المتجهات (المعادلات المتجهة)

سبق لك أن درست في مادة الرياضيات المعادلات الجبرية ، فهل تعرف ما تعنيه بـ : المعادلات المتجهة ؟

تعال إذاً لنتعرف المراد منها ، ولكن تذكر قبل ذلك أنك تعرف الفرق بين الكميات القياسية والمتجهة .

في شكلنا البسيط السابق (١ـ٣)

كانت القوة الكلية المؤثرة = صفر   ١٠ − ١٠ = ٠ .... (١)

ولكنا اتفقنا معك سابقاً على أن ق$_1$= ١٠ نيوتن ، ق$_2$=−١٠ نيوتن لأنهما كميتان متجهتان متعاكستان في الاتجاه فلا يحق لنا أن نعبر عنهما تعبيراً واحداً .

والآن حتى نظهر الرموز ق$_1$ ، ق$_2$ في المعادلة فسوف نكتب المعادلة أولاً كما يلي :

١٠ + (−١٠) = صفر .... (٢)

أو $\overleftarrow{\text{ق}_1} + \overleftarrow{\text{ق}_2} = \overleftarrow{\text{صفر}}$ .... (٣)

نسمي المعادلة (٣) : معادلة متجهة لأنها تجمع كميات متجهة ، أي تجمع أعداداً باتجاهات معينة لا جمعاً مجرداً نظرياً .

وأما المعادلتان (١) ، (٢) فهما معادلتان جبريتان بسيطتان .

كما يمكننا أن نكتب المعادلة الجبرية بالصورة التالية : ق$_1$ - ق$_2$ = صفر .

ونكون هنا نعني بـ ق$_1$ ، ق$_2$: قيمتي القوتين فقط دون اتجاههما .

إذاً :

ق$_1$ - ق$_2$ = ٠ معادلة جبرية تظهر الإشارة السالبة تعبر عن أعداد فقط	وضع الأسهم نزع الأسهم	$\vec{ق}_1 + \vec{ق}_2 = \vec{صفر}$ معادلة متجهة لا تظهر الإشارة السالبة* تعبر عن متجهات

وسوف نسمي العملية : $\vec{ق}_1 + \vec{ق}_2 = \vec{صفر}$ جمعاً متجهاً

* يمكن ظهور الإشارة السالبة عند طرح المتجهات ولكننا لن نتعرض له هنا .

ضرب المتجهات

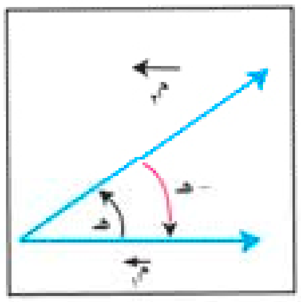
١ - الضرب القياسي للمتجهات (.) :

يعطى حاصل الضرب القياسي لمتجهين بالصيغة الرياضية التالية :

$$\overleftarrow{م_١} \cdot \overleftarrow{م_٢} = م_١ \, م_٢ \; \text{جتا} \, هـ \qquad (١.١)$$

وهو يعطي كمية قياسية . حيث هـ : الزاوية بين المتجهين .

شكل (١-١٠)



شكل ١-١٠

س : ما الفرق بين $\overleftarrow{م_١}$ ، $\overleftarrow{م_٢}$ في الطرف الأيمن و $م_١$ ، $م_٢$ في الطرف الأيسر ؟

تدريب (١ - ١) :

أثبت أن $\overleftarrow{م_١} \cdot \overleftarrow{م_٢} = \overleftarrow{م_٢} \cdot \overleftarrow{م_١}$ (استخدم الزاوية (– هـ) والعلاقة : جتا (– هـ) = جتا (هـ))

----

٢ - الضرب المتجه للمتجهات (×) :

يعطى حاصل الضرب المتجه لمتجهين بالصيغة الرياضية التالية :

$$\vec{\text{م}}_{١} \times \vec{\text{م}}_{٢} = \overrightarrow{(\text{م}_{١}\text{م}_{٢} \text{ جاهـ})} \quad \text{. . . . . (١-٢)}$$

$$= \vec{\text{م}}_{٣}$$

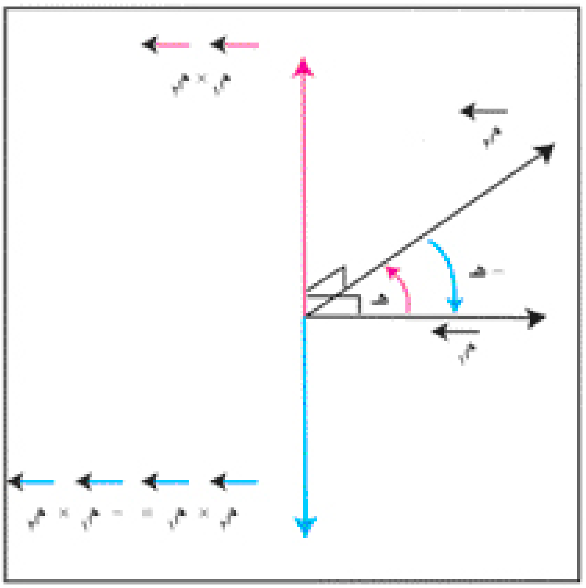
ويكون حاصل الضرب كمية متجهة ($\vec{\text{م}}_{٣}$)متعامدة مع كل من $\vec{\text{م}}_{١}$ ، $\vec{\text{م}}_{٢}$. انظر شكل (١-١١)
ويمكننا معرفة اتجاه $\vec{\text{م}}_{٣}$ بطريقتين :

الطريقة الأولى : باعتبار اتجاه $\vec{\text{م}}_{٣}$ وكأنه اتجاه حركة برغي ، حيث :

١ ـ اتجاه حركة البرغي إلى الداخل عند دورانه مع عقارب الساعة .

٢ ـ اتجاه حركة البرغي إلى الخارج عند دورانه ضد عقارب الساعة .

واتجاه الدوران يحدده اتجاه زاوية الضرب بين المتجهين

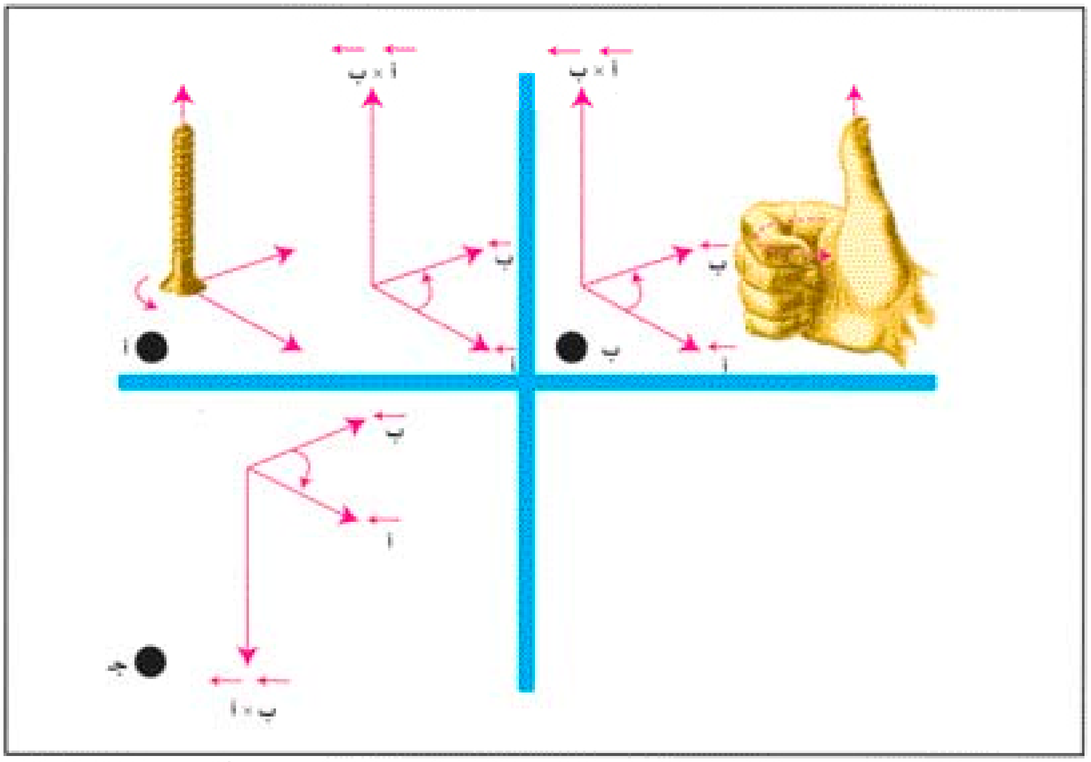


شكل ١-١١

الطريقة الثانية : طريقة قاعدة اليد اليمنى .

حيث يشير دوران الأصابع إلى اتجاه زاوية الضرب بين المتجهين .

ويشير الإبهام إلى اتجاه المتجه الناتج انظر الشكل (١-١٢)



شكل ١-١٢

تدريب (١ - ٢) :

أثبت أن : $\vec{\text{م}}_1 \times \vec{\text{م}}_2 = -\vec{\text{م}}_2 \times \vec{\text{م}}_1$ (استخدم الزاوية (- هـ) والعلاقة :

جا (- هـ) = -جا(هـ))

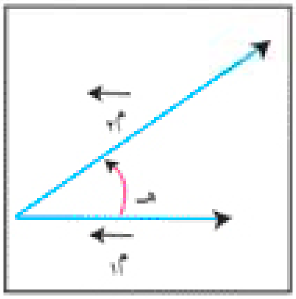
- -

- -

- -

الزاوية بين المتجهات :

للتبسيط فقط سنأخذ المتجهات خارجة من نقطة واحدة ، وعندها ستكون الزاوية محصورة بين المتجهين المقصودين شكل (١-١٣) .

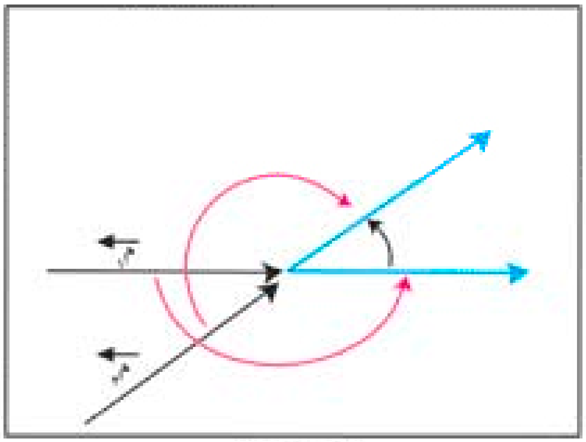


شكل ١ - ١٣

أما عندما لا تكون المتجهات كذلك ، فإننا سنعمل على نقل المتجهات على امتداد خط عملها حتى تحصل على الحالة المطلوبة شكل (١-١٤) .

أي أننا نريد الزاوية المحصورة بين المتجهين أو بين امتداديهما .

تذكر أننا اتفقنا على أن نقطة تأثير المتجه هي نقطة أصله .



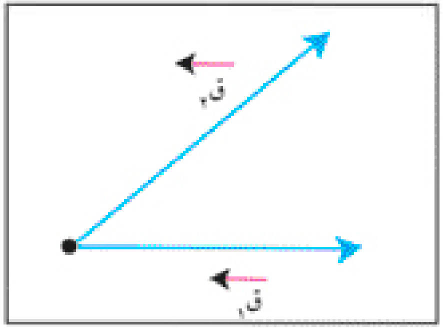
شكل ١ - ١٤

القـوة : $\vec{ق}$

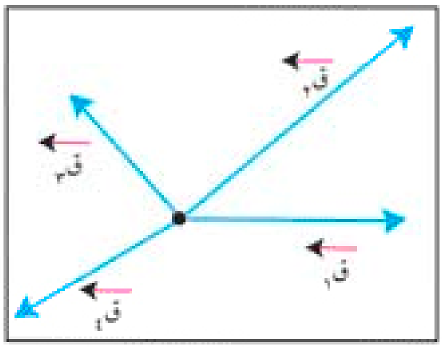
سبق لك معرفة أن القوة هي ذلك المؤثر الذي إذا أثر على جسم فإنه قد يغير من شكله أو حجمه أو موضعه أو سرعته أو اتجاهه ، وهي كمية متجهة وتقاس بوحدة النيوتن (حسب النظام الدولي SI) ويمكن اعتبار القـوة مؤثرة على جميع النقاط الواقـعة على امتداد خط عملها (مبدأ انتقال نقطة تأثير القوة) .

محصلة القوى

محصلة القوى المتلاقية



شكل ١ - ١٥



شكل ١ - ١٦

انظر الشكل (١-١٥) وفكر ملياً ، في أي اتجاه يتحرك الجسم تحت تأثير هاتين القوتين ؟

ثم انظر الآن إلى الشكل (١-١٦) واسأل نفسك : في أي اتجاه يتحرك هذا الجسم ؟

إن ما نهدف إليه هو حصيلة هذه القوى ، أو أثرها النهائي ، وهل يمكن أن نزيل كل هذه القوى ونضع عوضاً عنها قوةً واحدةً ذات مقدارٍ معينٍ واتجاهٍ معينٍ بحيث تقوم بعمل هذه المجموعة كلها ، إن هذه القوة التي نريد هي المحصلة .

إذاً المحصلة هي : قوة تعمل بمفردها عمل مجموعة القوى التي تحل محلها .

حساب المحصلة :

من طرق حساب المحصلة طريقة التحليل ، ولبيان ذلك لنبدأ بالآتي :

تحليل القوى إلى مركبتين

ما المقصود بكلمتي : تحليل ، تركيب ؟

للإجابة عن هذا السؤال دعنا ننظر إلى الشكل (١-١٧) .

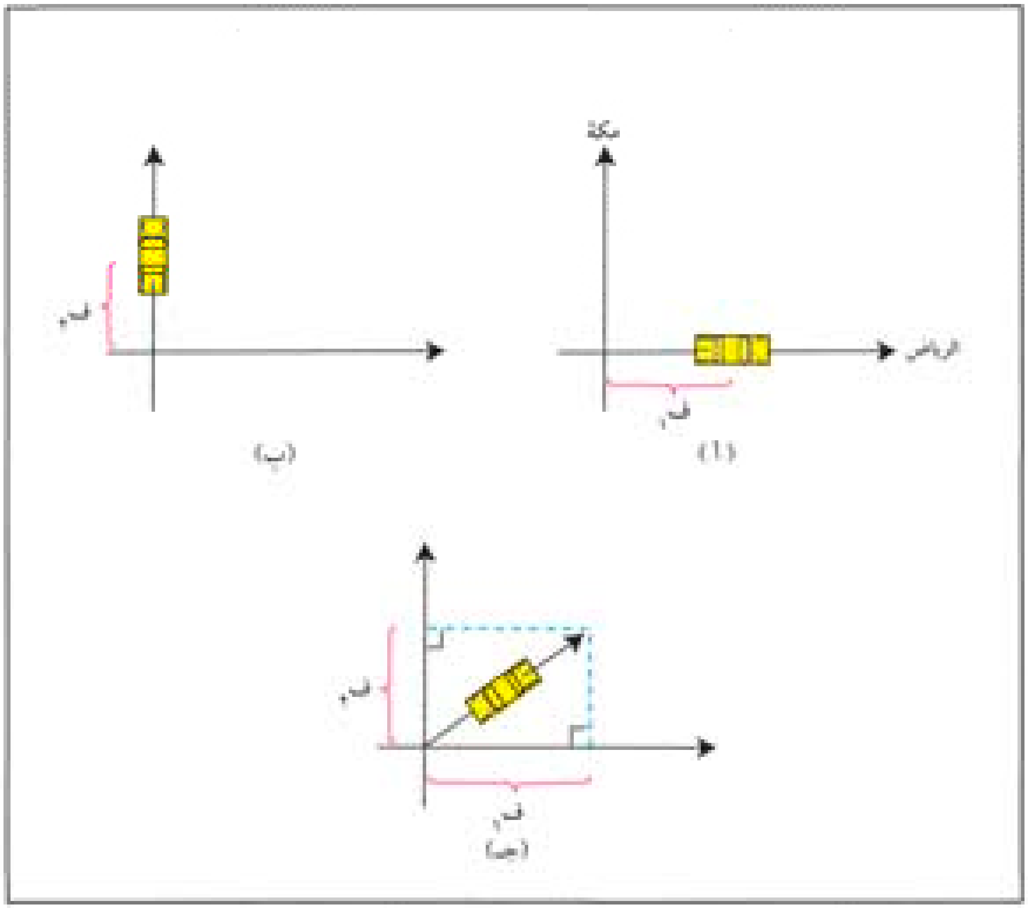
في الشكل (أ) نجد أن السيارة تحركت نحو الرياض مسافة قدرها ف١

وتحركت نحو مكة مسافة قدرها صفر . (لماذا؟)

وفي الشكل (ب) نجد أن السيارة تحركت نحو مكة مسافة قدرها ف٢

وتحركت نحو الرياض مسافةً قدرها صفر . (لماذا؟)

أما في الشكل (جـ) : فرغم أن السيارة لم تتحرك على أي من الطريقين مباشرةً لكنها في الحقيقة قد قطعت مسافة نحو الرياض مقدارها ف١ وقطعت مسافة نحو مكة قدرها ف٢



شكل ١ - ١٧

أي أن حركتها البينية (بين الطريقين) تتركب من حركتين ، حركة نحو الرياض وحركة نحو مكة . ويمكن أن نكتب :

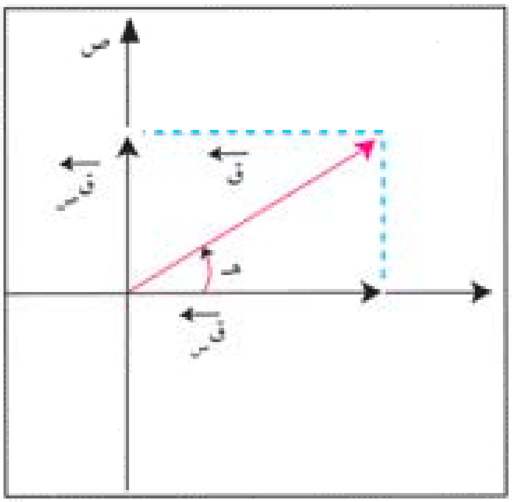
$$\overleftarrow{ف} = \overleftarrow{ف}_{١} + \overleftarrow{ف}_{٢}$$

الآن سنسمي $\overleftarrow{ف}_{١}$: مركبة الرياض

ونسمي $\overleftarrow{ف}_{٢}$: مركبة مكة

ونحصل على المركبتين بالإسقاط العمودي على كلا الطريقين .

والآن قبل أن تتجه بنا السيارة في الطريق البري بين مكة والرياض دعنا نعد إلى ما نحن بصدده ، ونأخذ صورة فيزيائية لهذا المثال الواقعي .



شكل ١ – ١٨

يمكن أن نقول إن القوة المبينة في الشكل (١-١٨) تتركب من قوتين : $\overleftarrow{ق}_{س}$ ، $\overleftarrow{ق}_{ص}$ ، هما مركبتا القوة ويمكن أن نكتب أيضاً :

$$\overleftarrow{ق} = \overleftarrow{ق}_{س} + \overleftarrow{ق}_{ص}$$ (وضح ذلك)

نسمي عملية إيجاد $\overleftarrow{ق}_{س}$ ، $\overleftarrow{ق}_{ص}$: تحليل القوى .

ونسمي عملية إيجاد $\overleftarrow{ق}$ من $\overleftarrow{ق}_{س}$ ، $\overleftarrow{ق}_{ص}$: تركيب أو جمع القوى .

إذاً ($\overleftarrow{ق}_{س}$ ، $\overleftarrow{ق}_{ص}$) $\underset{\text{تحليل القوى}}{\overset{\text{تركيب أو جمع القوى}}{\rightleftarrows}}$ $\overleftarrow{ق}$ (المحصلة)

ومن الشكل (١-١٨) يمكننا حساب مقداري $\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{س}}$ ، $\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{ص}}$ كما يلي :

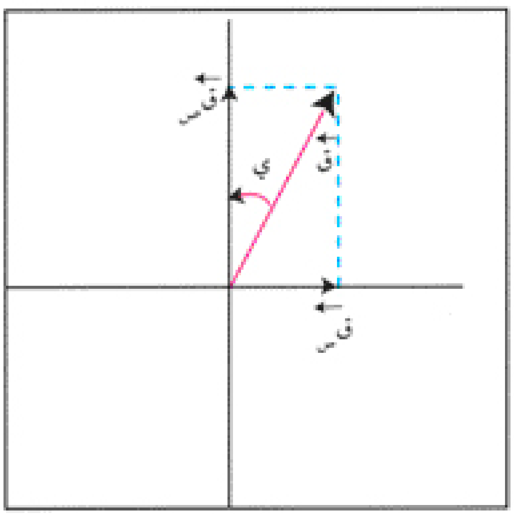
$$\text{جتاهـ} = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{\text{ق}_{\text{س}}}{\text{ق}}$$

إذاً : $\text{ق}_{\text{س}} = \text{ق جتاهـ}$ . . . . (١)

$$\text{جاهـ} = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{\text{ق}_{\text{ص}}}{\text{ق}}$$

إذاً : $\text{ق}_{\text{ص}} = \text{ق جاهـ}$ . . . . (٢)

ولكن دعنا نفترض أن الزاوية المعطاة هي ي (شكل (١-١٩)) ولنحاول أن نحلل القوة بدلالتها .



شكل ١ - ١٩

$$\text{جتاي} = \frac{\text{المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{\text{ق}_{\text{ص}}}{\text{ق}}$$

إذاً : $\text{ق}_{\text{ص}} = \text{ق جتاي}$ . . . . (٣)

$$\text{جاي} = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{\text{ق}_{\text{س}}}{\text{ق}}$$

إذاً : $\text{ق}_{\text{س}} = \text{ق جاي}$ . . . . (٤)

وبالنظر إلى المعادلات ١ , ٢ , ٣ , ٤ نرى أنه ليس بالضرورة أن تكون المركبة السينية بدلالة (جتا) دائماً ، ولا بدلالة (جا) دائماً .

وكذلك الحال بالنسبة للمركبة الصادية ، لأن هذا يختلف باختلاف موقع الزاوية .

وعلى هذا فيمكننا القول إن :

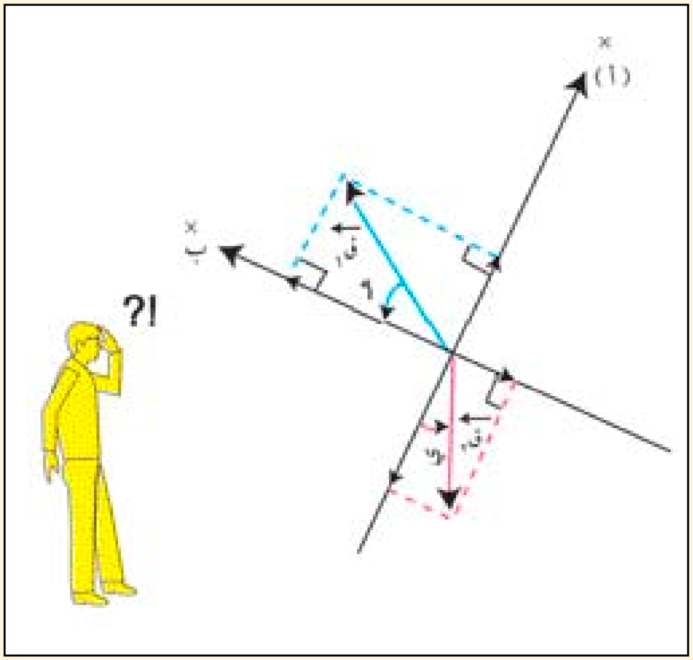
المركبة المجاورة للزاوية تكون دائماً بدلالة (جتا)

ومباشرةً ستكون المركبة المقابلة للزاوية بدلالة (جا) دائماً

* لاحظ أنه إذا كانت القوة في الربع الثاني فإن المركبة السينية ستكون سالبةً .

مـثـــال (١ - ١) :

يعتمد سكان كوكب آخر مختبيء في أعماق الكون (هذا مجرد تخيل) محاور تختلف قليلاً عن محاورنا شكل (١-٢٠) فهل بإمكانك مساعدتهم في تحليل القوى الموجودة بدلالة الزوايا المعطاة باستخدام المحورين أ ، ب ؟



شكل ١ – ٢٠

الحـل :

بالنسبة للقوة ق$_{١}$: ق$_{أ}$ = ق$_{١}$ جاهـ (المركبة المقابلة للزاوية)

ق$_{ب}$ = ق$_{١}$ جتاهـ (المركبة المجاورة للزاوية)

وبالنسبة للقوة ق$_{٢}$: ق$_{أ}$ = − ق$_{٢}$ جتاي (المركبة المجاورة للزاوية)

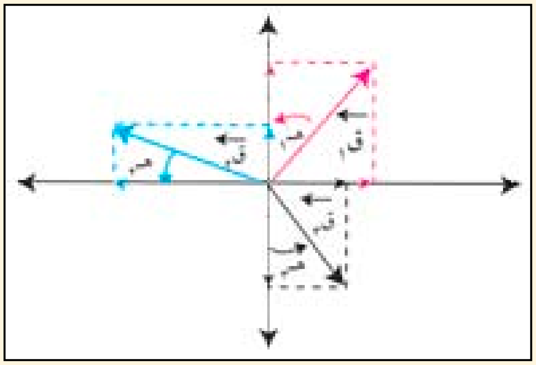
ق$_{ب}$ = − ق$_{٢}$ جاي (المركبة المقابلة للزاوية)

تدريب (١ – ٣) :

في الشكل (١-٢١) حلل القوى التالية إلى مركباتها السينية والصادية.

....

....



شكل ١ - ٢١

إيجاد المحصلة بطريقة التحليل

لإيجاد محصلة عدة قوى باستخدام طريقة التحليل نتبع الخطوات التالية :

لمعلوماتك :

١ – نرسم القوى بزواياها على المحاور (لا يشترط هنا مقياس الرسم ولا استخدام المنقلة).

٢ – نختار الزوايا الأسهل للتحليل عند كل قوة ، وذلك بالنظر إلى أقرب المحاور لها .
(الغرض من هذه الخطوة تسهيل التحليل فقط) .

٣ –نحلل القوى إلى مركبات سينية وصادية وندونها في جدول ، مع الانتباه إلى إشارتها (اتجاهها).

٤ ـ نوجد المجموع الجبري للمركبات السينية (مج قس)

٥ ـ نوجد المجموع الجبري للمركبات الصادية (مج قص)

٦ ـ نرسم القوتين مج قس ، مج قص لوحدهما على المحاور من جديد .

٧ ـ نوجد المحصلة ح باستخدام نظرية فيثاغورس .

٨ـ نوجد زاوية المحصلة باستخدام إحدى الدوال المثلثية : جا أوجتا أو ظا . ودعنا نطبق الآن هذه الخطوات على المثال التالي مباشرة . ولا داعي للقلق من هذه الخطوات الثمان ، فهي سهلة القياد ، ويمكنك بعد المران عليها أن تجمع خطوتين أو أكثر في خطوة واحدة .

مـثــــال (١ – ٢) :

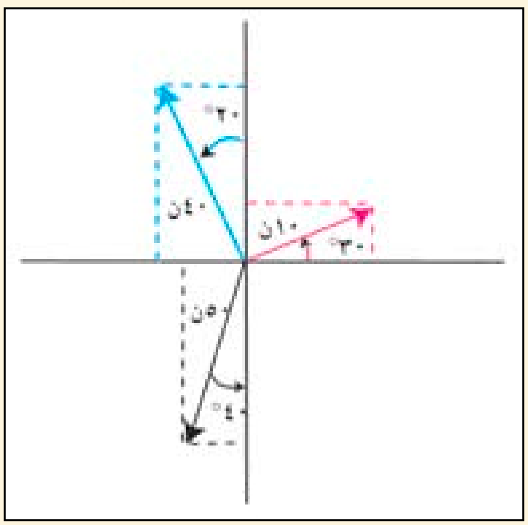
تؤثر القوى التالية على جسم مادي شكل (١–٢٢)، فاحسب محصلتها باستخدام طريقة التحليل :

ق١=١٠ نيوتن ، هـ١ = ٣٠° ، ق٢ = ٤٠ نيوتن ، هـ٢ = ١١٠° ، ق٣=٥٠ نيوتن ، هـ٣=٢٣٠° .

الحل : بالعودة إلى الخطوات السابقة وتطبيقها خطوةً خطوةً نحصل على مايلي :

القوة (نيوتن)	المركبة السينية	المركبة الصادية
١٠	١٠جتا٣٠	١٠جا٣٠
٤٠	– ٤٠جا٢٠	٤٠جتا٢٠
٥٠	– ٥٠جا٤٠	– ٥٠جتا٤٠

س : ما سبب وجود الإشارة السالبة عند بعض المركبات ؟



شكل ١ – ٢٢

* حساب $\sum \text{ق}_{\text{س}}$

$$\sum \text{ق}_{\text{س}} = \text{ق}_{\text{١س}} + \text{ق}_{\text{٢س}} + \text{ق}_{\text{٣س}}$$

ومن الجدول نجد

$$\sum \text{ق}_{\text{س}} = \text{١٠ جتا ٣٠ − ٤٠ جا ٢٠ − ٥٠ جا ٤٠}$$

$$\sum \text{ق}_{\text{س}} = \text{−٣٧,٢ نيوتن} \quad \text{(١)} .$$

* حساب $\sum \text{ق}_{\text{ص}}$:

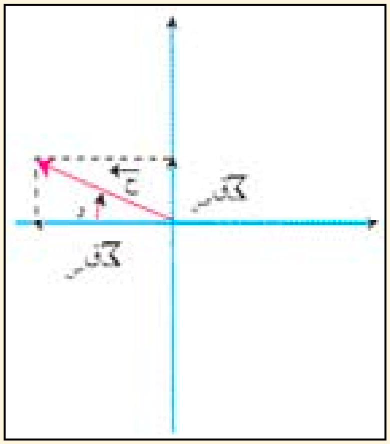
$$\sum \text{ق}_{\text{ص}} = \text{ق}_{\text{١ص}} + \text{ق}_{\text{٢ص}} + \text{ق}_{\text{٣ص}}$$

ومن الجدول نجد أن :

$$\sum \text{ق}_{\text{ص}} = \text{١٠ جا ٣٠ + ٤٠ جتا ٢٠ − ٥٠ جتا ٤٠}$$

$$\sum \text{ق}_{\text{ص}} = \text{٤,٢٨ نيوتن (٢)} .$$

ويمكننا الآن تمثيل $\sum \text{ق}_{\text{س}}$ ، $\sum \text{ق}_{\text{ص}}$ كما في الشكل (١-٢٣)



شكل ١ - ٢٣

* حساب ح :

$$\text{ح}^{2} = (\sum \text{ق}_{\text{س}})^{2} + (\sum \text{ق}_{\text{ص}})^{2}$$

$$\Leftarrow \text{ح} = \text{٣٧,٤ نيوتن}$$

تحديد اتجاه المحصلة

يمكننا تحديد اتجاه المحصلة بمعرفة الزاوية المحصورة بينها وأحد المحاور كما يلي :

$$\text{١ ـ جاو} = \frac{\text{٤,٢٨}}{\text{٣٧,٤}} \quad \text{جاو} = \text{٠,١١٤} \quad \Leftarrow \quad \text{و} = \text{٦,٥٥}^\circ$$

أي أن اتجاه المحصلة يصنع زاوية مقدارها (٦,٥٦°) مع المحور السيني السالب .

٢ ـ جتاو = (أكمل)

٣ ـ ظا و = (أكمل)

إن وظيفة التحليل هنا هي تحويل الجمع المتجهه إلى جمع جبري سواء لمحور واحد أم لمحورين اثنين .

ففي المثال السابق نلاحظ أن معادلةً متجهةً واحدةً آلت إلى معادلتين متجهتين على المحورين أمكن بعد ذلك تحويلهما إلى معادلتين جبريتين عند مراعاة إشارة متجهات القوى .

$$\text{أي أن } \overleftarrow{\text{ق}} = \overleftarrow{\text{ق}}_{١} + \overleftarrow{\text{ق}}_{٢} + \overleftarrow{\text{ق}}_{٣} \quad \Longleftarrow \quad \begin{cases} \text{مج ق}_{\text{س}} = \text{ق}_{١\text{س}} + \text{ق}_{٢\text{س}} + \text{ق}_{٣\text{س}} \\ \text{مج ق}_{\text{ص}} = \text{ق}_{١\text{ص}} + \text{ق}_{٢\text{ص}} + \text{ق}_{٣\text{ص}} \end{cases}$$

سـؤال للتفكير :

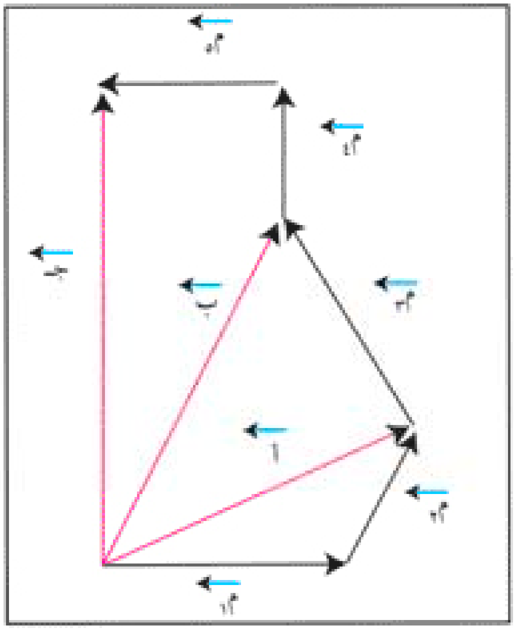
إذا افترضنا أن (مج $\overleftarrow{\text{ق}}$) كانت في الفراغ فكم عدد المعادلات المتولدة منها ؟

- -

- -

- -

س١ : ميِّز الكميات القياسية من المتجهة فيما يلي : الكتلة ـ القوة ـ الزمن ـ الوزن ـ المسافة ـ المساحة ـ الحجم ـ الثقل ـ السرعة ـ الكثافة ـ الطاقة ـ درجة الحرارة ـ شدة المجال الكهربائي ـ الجهد الكهربائي .



شكل ١ – ٢٤

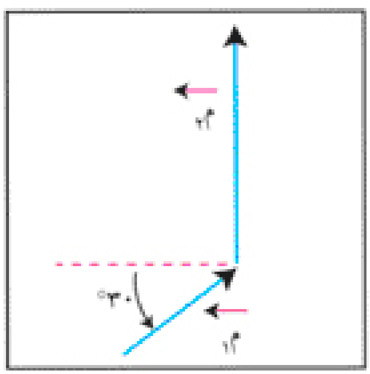
س٢ : احسب حاصل الضرب القياسي والمتجه للمتجهات التالية :

١ – $م_١$ = ١٠سم ، $م_٢$=٥سم ، هـ = ٤٥°

٢ – $م_١$ = ١٢سم ، $م_٢$ = ٥سم ، $هـ_١$=٣٠° ، $هـ_٢$ = ٦٠°

(ارسم شكلاً يبين حاصل الضرب المتجه في الحالتين)

س٣ : بالنظر إلى الشكل (١–٢٤) عبِّر عن كل من $\vec{أ}$ ، $\vec{ب}$ ، $\vec{جـ}$ بصورة معادلات متجهة أو جمع متجه (حاول أن تعبر عنها بأكثر من صورة).



شكل ١ – ٢٥

س٤ : احسب حاصل الضرب القياسي والمتجه للمتجهين التاليين $م_١$=٣سم ، $م_٢$=٦سم شكل (١–٢٥)

س ٥ : تخيل أنك قمت برحلة برية مع بعض زملائك مستخدمين البوصلة وعداد المسافات في السيارة ، هل يمكنك الاستفادة من فكرة جمع المتجهات في العودة إلى نقطة بدايتكم مباشرةً ، حدد المسافة والزاوية اللازمتين (افترض أنكم قمتم بالرحلة على خمس مراحل) .

س ٦ : خمّن نظرياً قيمة الزاوية بين القوتين في الحالات التالية :

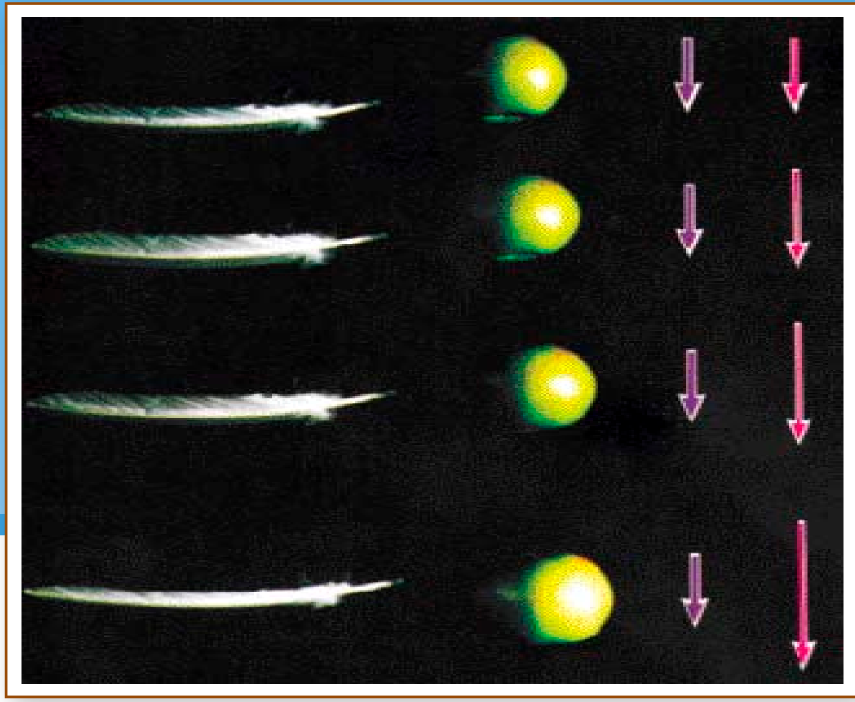
أ ـ $ق_١$=٣٠ نيوتن ، $ق_٢$=٤٠ نيوتن ، ح=٧٠ نيوتن

ب ـ $ق_١$=٣٠ نيوتن ، $ق_٢$= ٤٠ نيوتن ، ح= ١٠ نيوتن

س ٧ : احسب مقدار محصلة القوى التالية وزاويتها :

$ق_١$ = ٢٠ نيوتن ، $هـ_١$ = ٢٠° ، $ق_٢$ = ١٥ نيوتن ، $هـ_٢$ = ١٤٠°

$ق_٣$=٣٠ نيوتن ، $هـ_٣$ = ٢٢٠°



الحركة على خط مستقيم

أهـــداف الفصل الثاني :

بعد دراستك لهذا الفصل سوف تكون قادراً على أن :

١- تفرّق بين السرعة كمقدار فقط والسرعة ككمية متجهة.

٢- ترسم منحنى (ع - ز) لجسم يتحرك بسرعة ثابتة.

٣- ترسم منحنى (ف - ز) لجسم يتحرك بسرعة ثابتة.

٤- ترسم منحنى (ع - ز) لجسم يتحرك بسرعة منتظمة التغير.

٥- تستنتج معادلات الحركة الخطية.

٦- تطبّق هذه المعادلات على جسم يتحرك بتسارع منتظم.

٧- تطبّق هذه المعادلات على جسم ساقط في مجال الجاذبية الأرضية.

١ . السرعة :

مر بك في دراستك السابقة أن السرعة المتوسطة هي مقدار المسافة المقطوعة في وحدة الزمن أي أن :

$$\text{السرعة (ع)} = \frac{\text{المسافة (ف)}}{\text{الزمن (ن)}}$$

ولكننا نعلم أن السرعة كمية متجهة .

ولبيان ذلك ندرس الشكل (٢-١) ومنه نعلم أن : المسافة التي قطعها الجسم هنا هي ٧م ، وأن مقدار الإزاحة التي تحركها هي ٥م .

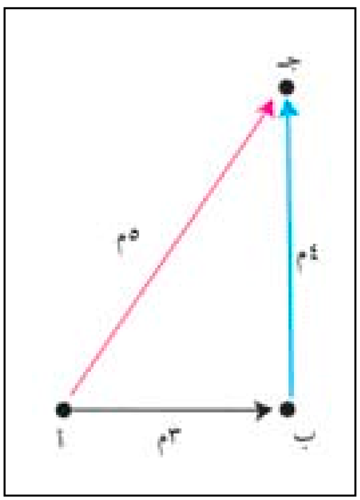
ولذا فإننا سنقول :

١ - إذا كنا نتحدث عن السرعة كمقدار فقط فإن

$ع_م = \frac{ف}{ز} = \frac{٧}{ز}$ وتسمى هذه السرعة المتوسطة .

٢ - أما إذا كنا نتحدث عن السرعة ككمية متجهة ($\overleftarrow{ع}$)

فإن : $\overleftarrow{ع} = \frac{\overleftarrow{ف}}{ز}$ ، مقدار ع $= \frac{٥}{ز}$



شكل ٢ - ١

إذاً : $ع_م = \frac{ف}{ز}$ .... (٢-١) (السرعة المتوسطة)

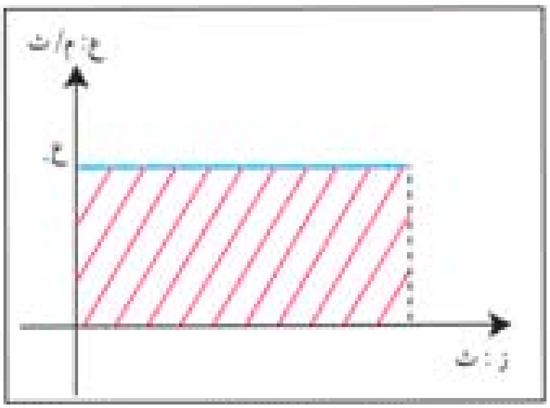
$\vec{ع} = \frac{\vec{ف}}{ز}$ .... (٢-٢) (السرعة ككمية متجهة)

لاحظ أن $ع_م$: ليس بالضرورة أن تكون ثابتة المقدار طيلة الحركة ، لذلك فإن $ع_م$ تعبر هنا عن متوسط السرعة خلال هذا المسار ، وليس بالضرورة أن تأخذ هذه القيمة بالذات طيلة الوقت .

و في الشكل (٢-١) نلاحظ أنه إذا تحرك الجسم من أ إلى ب فقط فإن $ع = \vec{ع}$ (مقداراً) وذلك في الحركة الخطية المستقيمة التي نحن بصدد الحديث عنها الآن .

منحنى (ع - ز) لجسم يتحرك بسرعة ثابتة

عندما يتحرك جسم بسرعة ثابتة فإنه يمكن أن نمثل حركته بالمنحنى البياني التالي بين ع ، ز



شكل ٢ - ٢

وفي الشكل (٢-٢) سنلاحظ ما يلي :

١ - عند أي زمن ستظل قيمة السرعة ثابتة المقدار ($ع_ـ$) طيلة الحركة .

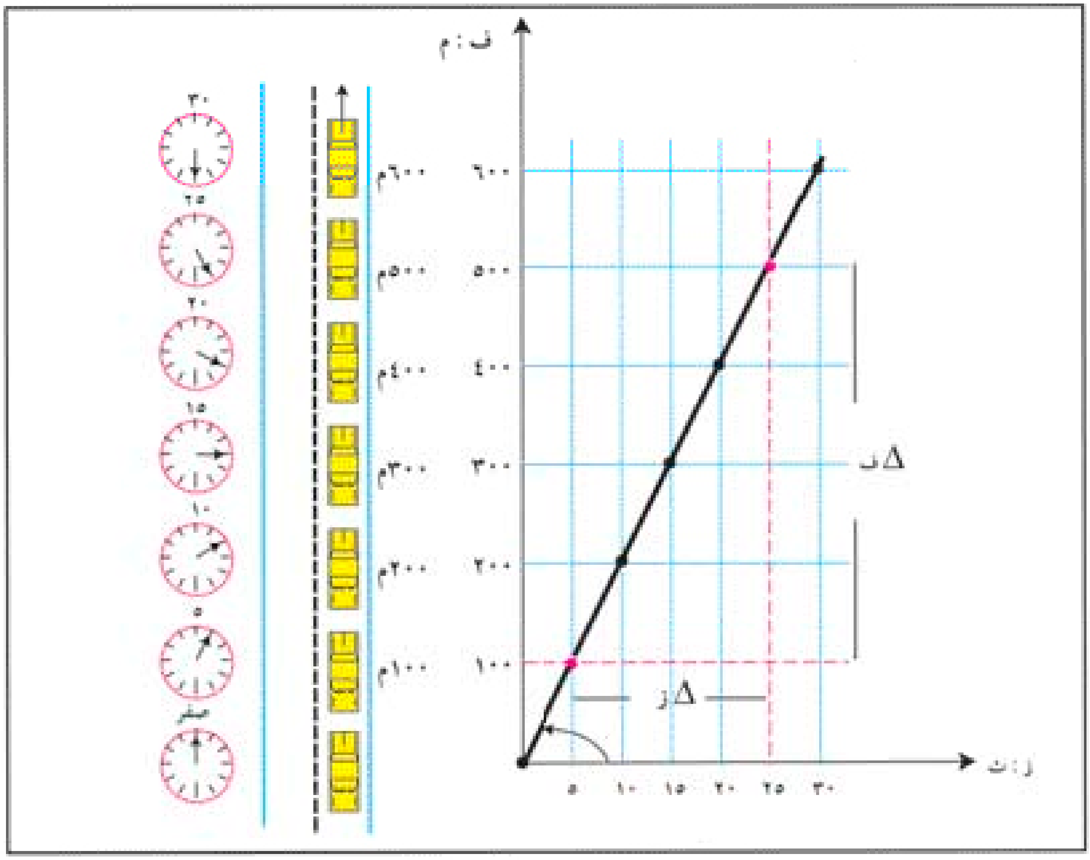
٢ - إذا كانت المسافة = ع × ز ، فإنها في الشكل ستساوي عددياً :

الطول × العرض (مساحة الشكل المظلل) ، وهي هنا تعبر عن المساحة تحت المنحنى

أي [ف = المساحة تحت المنحنى] . ------ -- - (٢-٣)

منحنى (ف – ز) لجسم يتحرك بسرعة ثابتة

عندما تكون سرعة الجسم ثابتة فإن هذا يعني أن المسافة المقطوعة ستزداد بانتظام ويمكننا أن نلاحظ ذلك بالنظر إلى الشكل (٢-٣)



شكل ٢ – ٣

ولكن نعلم أن $ع = \frac{ف}{ز}$ ⟸ $ع = \frac{\Delta ص}{\Delta س}$ = ميل المنحنى = ظاهـ

إذاً : ع = ظا هـ = ميل المنحنى . . . . . . (٢ – ٤)

منحنى (ع - ز) لجسم يتحرك بتسارع منتظم

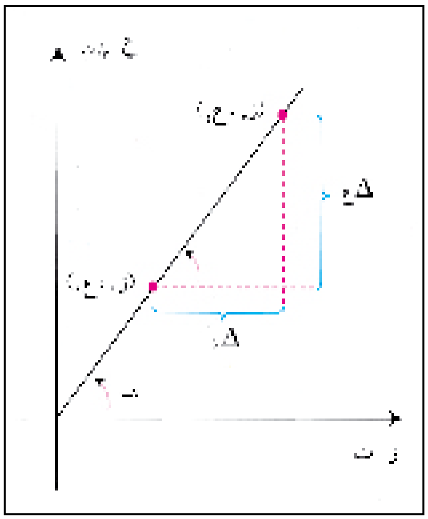
سبق لنا تعريفك بالتسارع وأنه : يعطى بالعلاقة : $\vec{\text{ت}} = \frac{\Delta \vec{\text{ع}}}{\Delta \text{ز}}$

وبدراسة الشكل (٢ - ٤) سنجد أنه يمكننا حساب تسارع الجسم كما يلي :

$$\text{ت} = \frac{\Delta \text{ع}}{\Delta \text{ز}}$$

$$\text{ت} = \frac{\Delta \text{ص}}{\Delta \text{س}} = \text{ميل المنحنى} = \text{ظا هـ}$$

إذاً : التسارع = ميل المنحنى = ظا هـ . . . (٢ - ٥)



شكل ٢ - ٤

سـؤال للتفكير :

ارسم منحنى (ع-ز) لجسم يتحرك بتباطؤ منتظم .

٢ - معادلات الحركة الخطية :

سوف ندرس هنا معادلات الحركة المستقيمة المتغيرة بانتظام ، أي التي تتحرك بتسارع ثابت المقدار والاتجاه ($\vec{\text{ت}}$) .

فإذا افترضنا أن سيارة تتحرك بسرعة ابتدائية قدرها (ع_{0}) ، ثم أخذت تسارع بمعدل (ت) فإنها سوف تقطع مسافة قدرها (ف) خلال زمن قدره (ز) لتصل إلى سرعة نهائية قدرها (ع_{1}) .

وسوف نحاول هنا إيجاد العلاقات الرياضية التي تربط بين هذه الكميات الفيزيائية .

ملاحظة :

تذكر أنه قد تكون السرعة الابتدائية > السرعة النهائية وقد يكون العكس .

المعادلة الأولى : (معادلة : السرعة - الزمن)

عندما يتحرك جسم بسرعة ابتدائية قدرها ($ع_.$) ثم يبدأ بالتسارع بمعدل (ت) فإن سرعته ستزداد بمقدار (ت) لكل ثانية واحدة بعد لحظة الانطلاق .

وبعد ثانيتين ستزداد سرعته بمقدار ٢ ت .

وبعد زمن قدره (ز) ستزداد سرعته بمقدار (زت) .

وعلى هذا فستكون سرعته النهائية التي بلغها ($ع_١$) بعد زمن قدره (ز) من لحظة انطلاقه

هي : $ع_١ = ع_. +$ الزيادة الحاصلة في السرعة .

$\Leftarrow$ $ع_١ = ع_. + ت\,ز$ . . . . (٢-٦) (لاحظ أن ت قد تكون موجبة أو سالبة) .

وهذه معادلة من الدرجة الأولى ، تمثل فيها $ع_.$: الجزء المقطوع من محور السرعة (المحور الصادي) .

وأما ميل المنحنى فهو (ت) كما سبق أن عرفنا ذلك . (يمكنك استيضاح ذلك بالاستعانة بالشكل (٢ - ٤)) .

المعادلة الثانية : (معادلة : المسافة - الزمن)

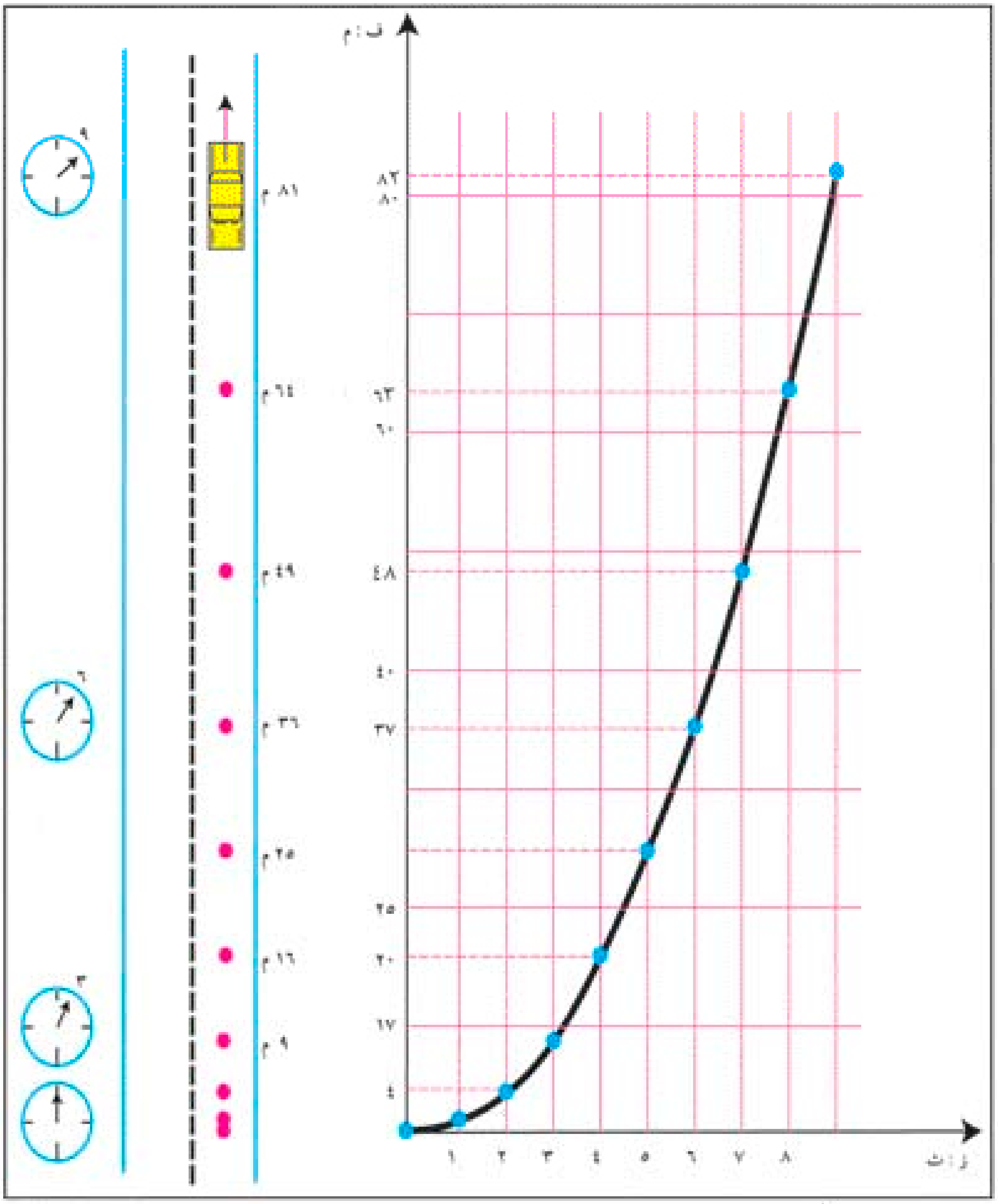
ف = ز × $ع_م$ ولكن $ع_م = \frac{ع_1 + ع_.}{2}$ حيث $ع_م$: السرعة المتوسطة

ف = ز $\frac{(ع_1 + ع_.)}{2}$ وبالتعويض عن $ع_1$ من المعادلة الأولى للحركة الخطية

ف = ز $\frac{(ع_. + ت ز + ع_.)}{2}$

إذاً : $ف = ع_. ز + \frac{1}{2} ت ز^2$ . . . . (٢ـ ٧)

ونلاحظ في هذه المعادلة أنها من الدرجة الثانية بالنسبة للزمن ، وعند رسمها فإنها لن تمثل خطاً مستقيماً بل ستكون خطاً منحنياً ويمكن تمثيلها بالمنحنى البياني شكل (٢-٥) .



شكل ٢ – ٥

ف = ع. ز + $\frac{1}{2}$ ز^{2} جـ

المعادلة الثالثة : (معادلة : المسافة - السرعة)

$$\text{ف} = \text{ز} \times \text{ع}_{\text{م}} \qquad \text{ولكن } \text{ع}_{\text{م}} = \frac{\text{ع}_{١} + \text{ع}_{٠}}{٢}$$

وأما ز فيمكننا إيجادها من المعادلة الأولى للحركـة الخطية حيث سنجد أن :

$$\text{ز} = \frac{(\text{ع}_{١} - \text{ع}_{٠})}{\text{ت}}$$

والآن سنعوض عن كل من ز ، $\text{ع}_{\text{م}}$ في ف :

$$\text{ف} = \frac{(\text{ع}_{١} - \text{ع}_{٠})}{\text{ت}} \times \frac{(\text{ع}_{١} + \text{ع}_{٠})}{٢}$$

$\Leftarrow$ $\text{ع}_{١}^{٢} = \text{ع}_{٠}^{٢} + ٢\text{ت ف}$ . . . . (٢ـ٨) وهذه هي المعادلة الثالثة للحركة .

أمثلة على معادلات الحركة الخطية :

مـثـــــال (٢ - ١)

تتحرك سيارة بسرعة ١٥ م/ث ، ثم أخذت تتسارع بمعدل ٢ م/ث^{٢} فاحسب المسافة التي تقطعهـا حتى تصل إلى سرعـة ٢٠ م/ث من لحظة بدء تسارعهـا ، ثم احسب الزمن اللازم لذلك .

الحل :

$\text{ع}_{٠} = ١٥$ م/ث ، ت = ٢ م/ث^{٢} ، $\text{ع}_{١} = ٢٠$ م/ث

ف = ؟ ، ز = ؟

باستعراض معادلات الحركة نجد أن الزمن يمكن حسابه من المعادلة الأولى

$ع_١ = ع_٠ + ت\,ز \longleftarrow ٢٠ = ١٥ + ٢\,ز \longleftarrow ز = ٢,٥$ ث

أما المسافة فيمكن حسابها من المعادلة الثالثة :

$$ف = \frac{ع_١^٢ - ع_٠^٢}{٢\,ت}$$

ف = ٤٣,٧٥ م .

مــثـــــال (٢ – ٢)

تحرك جسم من السكون بتسارعٍ منتظم، فقطع خلال الثانية الثالثة ١٨ م أوجد سرعته في نهاية الثانية الثامنة .

الحل :

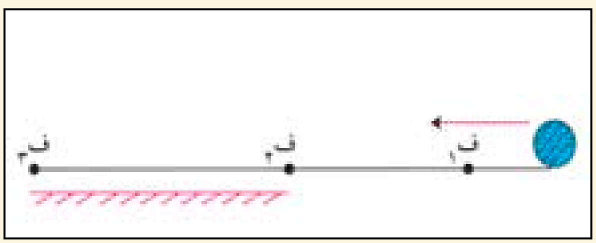
$ع_٠$ = صفر . ت = ؟ ، ولكن ماذا تعني ١٨م .

عند التأمل في الشكل (٢ – ٦) سنلاحظ ما يلي :

بعد ثانية واحدة سيقطع الجسم المسافة $ف_١$

وبعد ثانيتين سيقطع الجسم المسافة $ف_٢$

ولكن خلال الثانية الثانية سيقطع الجسم المسافة ($ف_٢ - ف_١$) وكذلك خلال الثانية الثالثة سيقطع الجسم المسافة ($ف_٣ - ف_٢$)



شكل ٢ – ٦

وهذا هو سر المسألة .

إذاً : $ف_{٣} - ف_{٢} = ١٨$ . . . . (١)

والآن ينبغي علينا حساب قيمة $ف_{٣}$ ، $ف_{٢}$ من المعادلة الثانية للحركة من أجل إيجاد تسارع السيارة

$$ف_{٣} = ٠ \times ٣ + \frac{١}{٢} ت \times ٣^{٢} \longleftarrow ف_{٣} = ٤,٥ \ ت \ . . . . (٢)$$

$$ف_{٢} = ٠ \times ٢ + \frac{١}{٢} ت \times ٢^{٢} \longleftarrow ف_{٢} = ٢ \ ت \ . . . . (٣)$$

ومن (٢) ، (٣) في (١) :

$$٤,٥ \ ت - ٢ \ ت = ١٨ \longleftarrow ت = ٧,٢ \ م/ث^{٢}$$

والآن لنحسب السرعة في نهاية الثانية الثامنة أي بعد ثمان ثوان باستخدام المعادلة الأولى للحركة

$$ع_{١} = ٠ + ٨ \times ٧,٢ = ٥٧,٦ \ م/ث \ .$$

س : ارسم شكلاً بيانياً يمثل هذا المثال .

حركة الأجسام في مجال الجاذبية الأرضية :

عند دراستنا لحركة الأجسام في مجال الجاذبية الأرضية سوف نعتبر أن القوة الوحيدة المؤثرة على الجسم هي قوة ثقله (سنهمل الاحتكاك بالهواء) .

عندها (وحسب قانون نيوتن الثاني) يكون التسارع المؤثر مساويا لتسارع الجاذبية الأرضية .

وهي حالة خاصة من حالات الحركة المتغيرة بانتظام والتي سبق أن استنتجنا معادلاتها .

وتشمل حركة الأجسام في مجال الجاذبية الأرضية ما يلي :

- المقذوفات الرأسية : ومنها السقوط الحر ($ع_٠ = ٠$)
- المقذوفات المنحنية : مثل حركة قذائف المدفعية .

أولاً : المقذوفات الرأسية :

المقذوفات الرأسية هي الأجسام المقذوفة إلى الأعلى عمودياً ، أو الساقطة عمودياً أيضاً ، وعند دراستنا لهذا النوع من حركة الأجسام فيمكننا استنتاج أن معادلات الحركة لها هي نفس المعادلات الثلاث السابقة مع ملاحظة مايلي :

١ـ تسارع مثل هذه الأجسام معروفٌ دائماً وهو تسارع الجاذبية الأرضية ، ولذلك سوف نضع الرمز جـ بدلاً من الرمز ت (جـ = ٩,٨ م/ث^٢) وذلك عند إهمال مقاومة الهواء) .

٢ـ السرعة النهائية للأجسام المقذوفة إلى أعلى = صفر ، والسرعة الابتدائية للأجسام الساقطة سقوطاً حراً = صفر (وضح ذلك) .

س : في حالة صعود الجسم سيكون التسارع سالباً ، وفي حالة الهبوط سيكون التسارع موجباً فلماذا؟

إذاً : يمكننا كتابة معادلات الحركة في هذه الحالة كما يلي :

$ع_١ = ع_٠ + جـ \times ز$ .... (٢-٩)

$ف = ع_٠ ز + \frac{١}{٢} جـ ز^٢$ .... (٢-١٠)

$ع_١^٢ = ع_٠^٢ + ٢ جـ \times ف$ .... (٢-١١)

س : هل توجد علاقة بين تسارع الجاذبية الأرضية و كتلة الجسم المقذوف ؟

للإجابة عن هذا السؤال قم بالنشاط التالي :

نشــاط عملي (٢ – ١) :

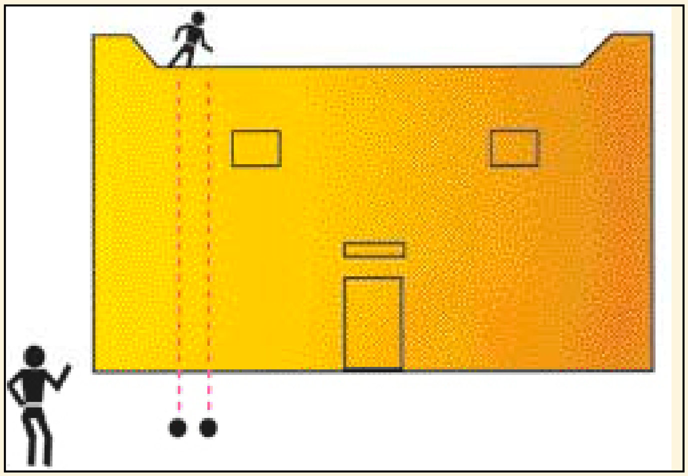
الأدوات : كرتان متساويتان في الحجم إحداهما من الخشب والأخرى من الحديد .

خطوات العمل :

١ – اصعد على سطح مبنى مرتفع واجعل أحد زملائك يقف على الأرض . شكل (٢–٧)

٢ – اجعل الكرتين تسقطان في وقت واحد باتجاه الأرض . (سقوطا حراً) .

٣ – أي الكرتين تصل الأرض أولاً ؟



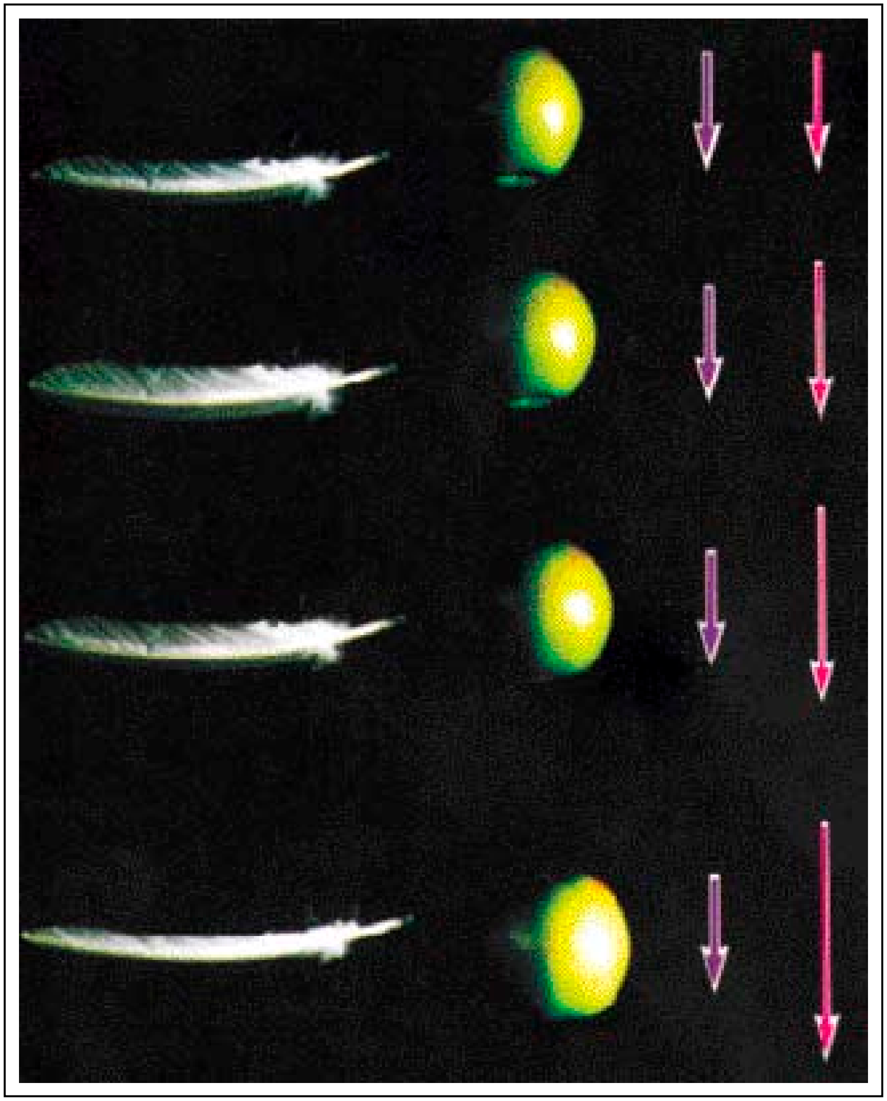
شكل ٢ – ٧

لا شك أنك لاحظت أن الكرتين وصلتا في وقت واحد إلى الأرض رغم اختلاف كتلتيهما ، ومن هنا نستنتج أن تسارع الأجسام الساقطة نحو الأرض ثابت القيمة وهو دائماً مساو لـ ٩,٨ م/ث^{٢} . (هذه القيمة تمثل متوسط قيمة ج)*

• احسب مقدار ع$_{١}$ لكل من الكرتين لتتأكد من هذا الاستنتاج .

* ويكون تسارع الجاذبية الأرضية عند خط الاستواء أقل بقليل منه عند القطبين بسبب كبر (نق$_{ء}$) عنده .

* لقد تم إجراء مثل هذه التجربة في المختبر حيث وضعت تفاحة مع ريشة طير داخل أسطوانة مفرغة من الهواء فوجد أنهما يسقطان معاً انظر الشكل (٢ - ٨) .



شكل ٢ - ٨

س : لماذا تكون الأسطوانة مفرغة من الهواء ؟

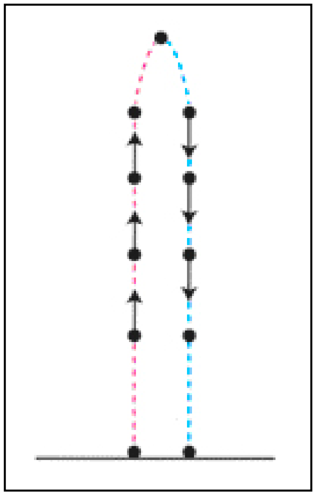
س : لاحظ في هذا الشكل أيضاً أن المسافة التي يقطعها الجسمان عمودياً تكبر في كل مرحلة زمنية عن المرحلة التي تسبقها ، فهل تستطيع تفسير ذلك ؟

* * *

وقبل أن تدرس معك بعض الأمثلة دعنا نتمعن في الشكل التالي (٢ –٩) لنكتشف ما يلي :

١ ـ أن زمن الصعود = زمن الهبوط (وضح ذلك) .

٢ ـ سرعة الجسم عند أي نقطة أثناء الصعود = سرعة الجسم عند نفس النقطة عند النزول (وضح ذلك)



شكل ٢ – ٩

مـثـــال (٢ – ٣) :

قذف صبي حجراً إلى الأعلى فوصل إلى أقصى ارتفاع له بعد ٣ ثوان ، فاحسب :

١ ـ أقصى ارتفاع يصل إليه الحجر .

٢ ـ سرعة اصطدام الحجر بالأرض عند عودته .

الحل :

١ـ في حالة الصعود : $ع_١$ = صفر ، $ع_.$ =؟ ، ز = ٣ ث ، ف = ؟ ، جـ =ـ ٩,٨ م/ث^٢

$ع_١ = ع_. + جز$ ⟵ $٠ = ع_. - ٣ \times ٩,٨$ ⟵ $ع_. = ٢٩,٤$ م/ث

$ف = ع_. ز + \frac{١}{٢} جز^٢$ ⟵ $ف = ٢٩,٤ \times ٣ - \frac{١}{٢} \times ٩,٨ \times (٣)^٢$

⟸ ف = ٤٤,١ م .

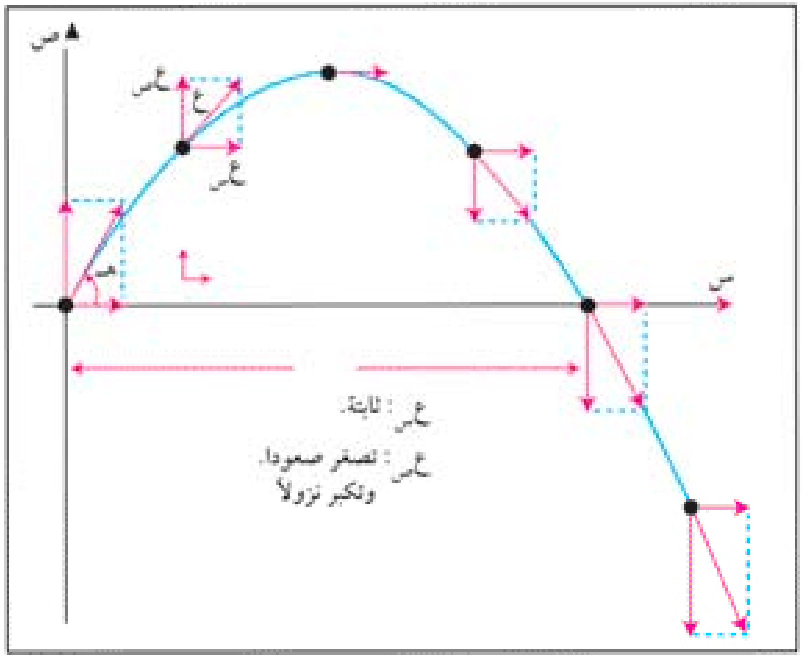
⟸ ٢ – وأما في حالة الهبوط فإن تسارع الجسم هو جـ = ٩,٨م/ث^٢ وزمن الهبوط = زمن الصعود =٣ ثوان ⟵ سرعة اصطدام الحجر بالأرض = ٢٩,٤ م/ث

(وضح ذلك)

ثانياً - المقذوفات المنحنية

تصور عام :

دعنا نتأمل في حركة هذا المقذوف(قذيفة مدفعية مثلاً) والتي ستأخذ خطاً منحنياً كما هو مبين في الشكل(٢ - ١٠) ، وتنطلق بسرعة ابتدائية قدرها ($ع_٠$) وبزاوية قدرها (هـ) مع المستوى الأفقي . سوف نلاحظ أن :



شكل ٢ - ١٠

١ ـ هذه الحركة تتركب في الواقع من حركتين (مركبتين) :

الأولى : على المحور السيني (أفقية) وهي بسرعة ثابتة ($ع_س$) لعدم وجود قوى مؤثرة على الجسم .

والثانية : على المحور الصادي (رأسية) وهي بسرعة متغيرة بانتظام ($ع_ص$) تحت تأثير تسارع الجاذبية الأرضية (جـ) وعلى هذا المحور فقط تنطبق معادلات الحركة الثلاث .

فإذا انطلق الجسم بزاوية قدرها هـ مع الأفقي فإن :

$ع_س$ = $ع_٠$. جتاهـ . . . . (٢-١٢)

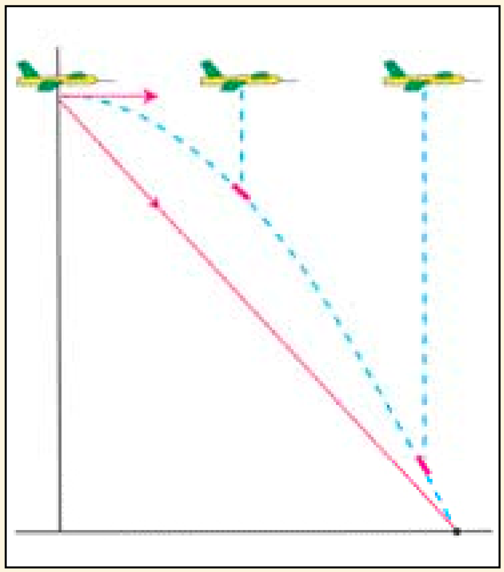
$ع_{ص} = ع.\,جاهـ$ .... (٢-١٣)

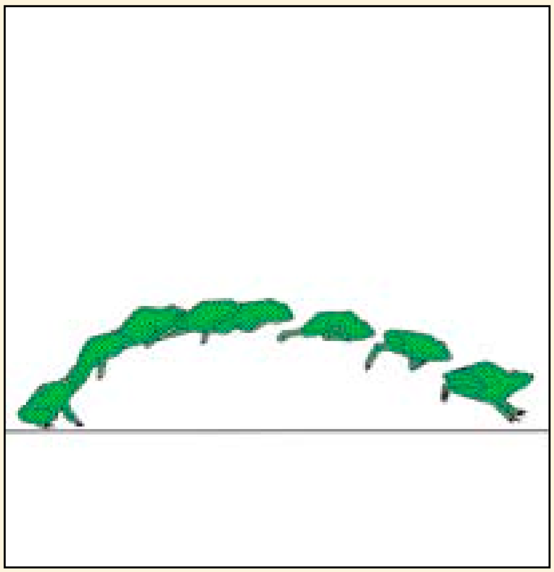
* س : حاول أن تكتب معادلات الحركة للجسم على المحور السيني وكذلك معادلات الحركة على المحور الصادي .

لمعلوماتك :

١ - مما يدل على كون سرعة المقذوف على المحور السيني ثابتة المقدار، هو كون قذيفة الطائرة الساقطة نحو الأرض تظل في حركتها دائماً تحت الطائرة حتى تصطدم بالهدف (وذلك بافتراض ثبات سرعة الطائرة وإهمال مقاومة الهواء) انظر الشكل (٢ - ١١) .

٢ - من الظواهر الطبيعية للحركة المنحنية حركة الضفدع في القفز، فإن منحنى قفزته في الهواء يماثل تماماً الحركة التي ندرسها هنا. لكن وجد دائماً أنه يقفز بزاوية قدرها ٤٥° مع الأفق فهل تستطيع أن تفسر ذلك؟ انظر شكل (٢ - ١٢) .


شكل ٢ - ١١


شكل ٢ - ١٢

أسئلة الفصل الثاني

س١ : انطلق جسم من السكون فبلغ سرعة ١٥ م/ث خلال خمس ثوانٍ ، ثم سار بسرعته تلك مدة عشر ثوانٍ أخرى ، بدأ بعدها يتباطأ حتى توقف خلال ثانيتين .

أ ـ ارسم شكلاً بيانياً يمثل حركة هذا الجسم .

ب ـ احسب مقدار تسارع هذا الجسم وتباطئه (من الشكل) .

جـ ـ احسب مقدار المسافة الكلية التي قطعها (من الشكل) .

س٢ : عندما نرسم منحنى (ف ـ ز) لجسم يتحرك بسرعة ثابتة فإنه يكون على شكل خط مستقيم ، أما عند ما نرسم هذا المنحنى لجسم يتحرك متسارعاً فإنه يكون على شكل خط منحني فكيف تفسر ذلك ؟

س٣ : احسب مقدار تسارع جسم انطلق من سرعةٍ ابتدائية قدرها ١٠ م/ث فقطع مسافة ١٠٠٠ م حتى بلغ سرعة ٣٠ م/ث ، ثم احسب الزمن اللازم لذلك .

س٤ : قذف حجر رأسياً إلى أعلى من قمة برجٍ ارتفاعه ٣٤,٣ م بسرعةٍ قدرها ٢٩,٤ م/ث فاحسب :

أ ـ الزمن اللازم للوصول إلى أقصى ارتفاع . (٣)

ب ـ الزمن اللازم للحجر حتى يعود إلى سطح الأرض . (٧)

س٥ : أطلقت قذيفة مضادة للطائرات رأسياً إلى أعلى فوجد أنها قطعت مسافة ٥٤٣,٩ م خلال الثانية الثالثة ، فاحسب :

أ – السرعة الابتدائية لها . (٥٦٨,٤) .

ب – زمن التحليق الكلي للقذيفة . (١١٦) .

س ٦ : سقــط حجر من سطح عمارة سقوطاً حراً ، وبعد ثانية قذف آخر من النقطة نفسها إلى الأسفل بسرعة ابتدائية قدرها ١٢ م/ ث فاحسب :

أ ـ الزمن اللازم حتى يلحق الثاني بالأول . (٢, ٣) .

ب ـ بعد مكان الالتقاء عن نقطة الإسقاط . (٥٠) .

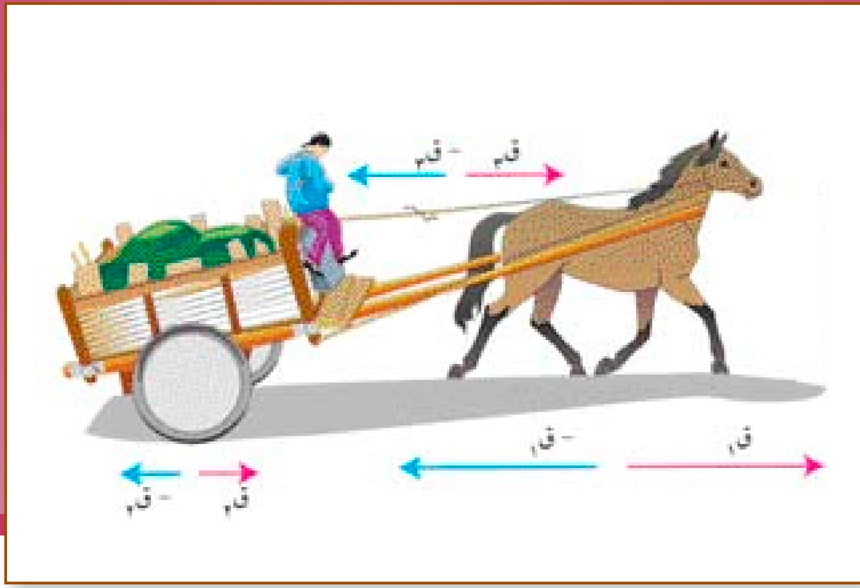
س ٧ : أطلق حجرٌ رأسياً من قمة برج إلى الأعلى بسرعة ٢٠ م/ ث وبعد ٣ ثوانٍ أسقط آخر من القمة نفسها سقوطاً حراً فاحسب الزمن اللازم حتى يتلاقى الحجران . (٦٩, ٤) .

س ٨ : يتحرك قطارٌ بسرعة ٦٠ كلم / ساعة ، ضغط السائق على جهاز الإيقاف فأخذ القطار يتباطأ بمعدل ٢ م/ $ث^{٢}$ فاحسب ما يلي :

١ ـ الزمن اللازم لتوقف القطار

٢ ـ المسافة اللازمة لتوقفه .

الفصل الثالث :



قـــوانـــيـــن نيـــوتـــن

أهـــداف الفصل الثالث :

بعد دراستك لهذا الفصل سوف تكون قادراً على أن :

-١ تعرّف القصور الذاتي.
-٢ تمثّل للقصور الذاتي.
-٣ تذكر القانون الأول للحركة.
-٤ تطبّق هذا القانون على الأجسام الساكنة والمتحركة.
-٥ تذكر القانون الثاني للحركة.
-٦ تطبّق هذا القانون على جسم واحد تؤثر عليه عدة قوى.
-٧ تطبّق هذا القانون على مجموعة من الأجسام المتماسكة التي تؤثر عليها عدة قوى.
-٨ تطبّق الشرط الأول للتوازن.
-٩ تذكر القانون الثالث للحركة.
-١٠ تطبّق هذا القانون على الأجسام الساكنة والمتحركة.
-١١ تحسب مقدار قوة الاحتكاك.
-١٢ تذكر قانون الجذب العام.
-١٣ تحسب مقدار قوى الجذب المتبادلة بين الأجسام.
-١٤ تحسب مقدار تسارع الجاذبية لأي كوكب.

القصور الذاتي

للتعرف على القصور الذاتي قم بالنشاط التالي :

نشــاط عملي (٣ – ١) :

الأدوات : كأس ، ماء

خطوات العمـل :

١ – املأ الكأس بالماء

٢ – انطلق بسرعة إلى الأمام ، ماذا تلاحظ ؟ ------------------------

٣ – قف فجأة . ماذا تلاحظ؟ ------------------------

٤ – حرك الكأس فجأةً إلى اليمين . ماذا تلاحظ ؟ ------------------------

٥ – حرك الكأس فجأةً يساراً . ماذا تلاحظ ؟ ------------------------

لعلك لاحظت من النشاط السابق أن الماء ينسكب من الكأس أثناء التغير المفاجيء في حركتك ، فهو ينسكب في نفس اتجاه الحركة بعد توقف الجسم فجأة ، وينسكب في اتجاه معاكس للحركة عند تحرك الجسم فجأة ، ونستطيع في مثل هذا الوضع أن نقول إن الماء عاجز عن مسايرة التغيرات التي تحدث له ، وهذا ما يعرف بالقصور الذاتي .

ويعرف القصور الذاتي بأنه : مقاومة الجسم للتغير الطاريء على حالته الحركية.

ومن الأمثلة على القصور الذاتي مايلي :

ما يحدث لراكب السيارة عندما تنطلق السيارة فجأةً من السكون

ما يحدث لراكب السيارة عندما تتوقف السيارة فجأةً عن الحركة

ما يحدث لراكب السيارة عندما تنحرف السيارة إلى اليمين

ما يحدث لراكب الدراجة عندما تصطدم بحجر ثابت في مسيرها

ويمكننا القول إننا نلاحظ القصور الذاتي عندما يعجز الجسم عن التحول من :

حالة السكون إلى حالة الحركة

أو من حالة الحركة إلى حالة السكون

أو أثناء تغيير اتجاه حركته

س : قُدْ سيارتك مرةً وهي فارغةٌ من الركاب ومرة أخرى وهي ممتلئة بأفراد عائلتك ،

ما الفرق بين الحالتين عندما تحاول إيقاف السيارة عند إقبالك على إشارة ضوئية ؟

ما علاقة كتلة الجسم بخاصية القصور الذاتي لديه ؟

ما الفرق أيضاً بين الحالتين عندما تحاول تحريك السيارة من السكون ؟

تدريب (٣ – ١) :

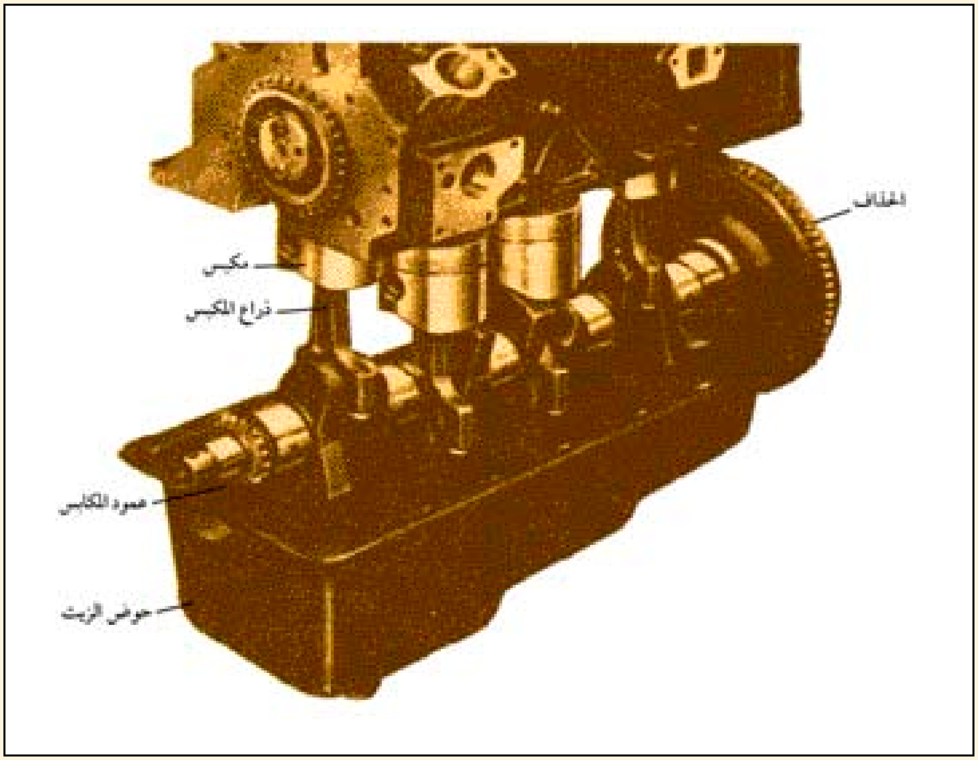
أخرج طفل يده من نافذة السيارة وهو يحمل بها قلمه المدرسي وعندما مرت السيارة أمام عمود الإضاءة سقط القلم عفواً من الطفل ، فأين يقع القلم على الأرض عند العمود أم بعده أم قبله ؟ ـ

ـ ـ

تطبيقات فيزيائية :

يعمل قرص الحذاف في السيارة ـ بعد أن يديره باديء التشغيل ـ على استمرار دوران عمود المكابس داخل المحرك وذلك بسبب كتلته الكبيرة التي تسبب زيادة عزم القصور الذاتي لديه، مما يساهم في زيادة الضغط على خليط الوقود والغاز ثم حدوث الانفجار (الاشتعال) داخل أسطوانات الاحتراق. شكل (٣-١) .

(كما يساهم الحذاف أيضاً في ثبات سرعة الحركة الدورانية للعمود مما يعطي انتظاماً في حركة السيارة)



شكل ٣ - ١

ومن خلال دراستنا لمفهوم القصور الذاتي يمكننا أن نستنتج القانون الأول للحركة .

القانون الأول للحركة

« يبقى الجسم محافظاً على حالته من سكون أو حركة بسرعة ثابتة وعلى خطٍ مستقيم ما لم تؤثر عليه قوة خارجية » وتنسب صياغة هذا القانون بهذا الشكل إلى نيوتن الذي استفاد من دراسةٍ سابقةٍ لجاليليو في هذا المجال.

من الأمثلة على القانون الأول :

الحركة بدون احتكاك حركة افتراضية مثل الصابونة المبللة بالماء والمتزلقة على سطح زجاجي أفقي أملس .

تدريب (٣ - ٢) :

المشكلة في الأجسام المتحركة أنها لا تظل محافظةً على حركتها ، فمثلاً الكرة المتدحرجة تقل سرعتها شيئاً فشيئاً حتى تتوقف ، فهل يناقض هذا القانون الأول للحركة ؟

تكمن أهمية هذا القانون في كونه ساعد على إيجاد مفهوم للقوة وارتباطها بتغير سرعة الجسم مقداراً أو اتجاهاً أو مقداراً واتجاهاً معاً .

تدريب (٣ - ٣) :

ولكن قد يكون هناك جسمٌ تؤثر عليه مجموعةٌ من القوى ورغم ذلك يكون التغير في سرعته مساوياً للصفر فكيف تفسر ذلك ؟ ----------------------------

* يمكننا أن نعبر عن القانون الأول للحركة بالصورة الرياضية التالية :

($\overleftarrow{ق}$ = . $\Longleftrightarrow$ $\overleftarrow{ت}$ = .) وضح ذلك .

القانون الثاني للحركة :

عرفنا من قانون نيوتن الأول أن الجسم الذي لا تؤثر عليه قوةٌ خارجيةٌ ($\sum \overleftarrow{ق} = \overleftarrow{صفر}$) يظل في حالة حركةٍ منتظمة ، وهذا بلا شك يقودنا إلى أن الجسم الذي تؤثر عليه قوةٌ خارجيةٌ سوف تكون حركته غير منتظمة ، وبتعبيرٍ آخر سوف تعمل القوة على تزايد سرعة الجسم أو تناقصها أو تغيير اتجاهها أي أن القوة تحدث تسارعاً للجسم . وهذا ما عبر عنه نيوتن في قانونه المسمى بـ قانون نيوتن الثاني والذي ينص على ما يلي :

« إذا أثرت قوة مقدارها (ق) نيوتن على جسم كتلته (ك) كجم فإنها تكسبه تسارعاً مقداره (ت) م/ ث^2 في نفس اتجاه القوة » وذلك وفق العلاقة التالية :

$$\overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت} \quad \text{..........} \quad (٣ - ١)$$

$\longleftarrow$ (نيوتن = كجم × م / ث^2)

ويمكننا الآن إعادة تعريف النيوتن من خلال هذا القانون باستخدام صيغتي الوحدات والكميات للقانون كما يلي :

النيوتن هو مقدار القوة التي إذا أثرت على جسم كتلته ١ كجم أكسبته تسارعاً مقداره م/ ث^2 .

تعميم القانون :

١ - عندما تؤثر مجموعةٌ من القوى على جسم فإنه يمكننا كتابة القانون بالشكل التالي :

$$\sum \overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت}$$

٢ـ وعندما تؤثر مجموعة من القوى على مجموعة من الأجسام المتماسكة فإنه يمكننا كتابة القانون بالشكل التالي : $\sum \overleftarrow{ق} = \overleftarrow{ت} \times \sum ك$

تدريب (٣ – ٤) :

لماذا أخرجنا ($\overleftarrow{ت}$) خارج المجموع؟ ------------------------------

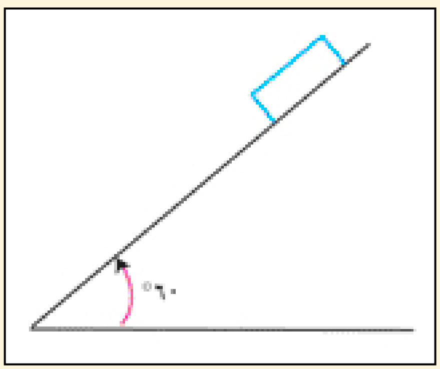
وعند تطبيقنا للصيغة الأخيرة فإننا نهمل قوى الترابط الداخلية بين الأجسام (قوى الشد ـ قوى رد الفعل) باعتبارها غير مؤثرة على حركة أجزاء المجموعة بالنسبة لبعضها بسبب تماسكها .

وحتى يسهل استخدام قانون نيوتن الثاني في حالة جسم أو عدد من الأجسام التي تؤثر عليها عدة قوى فإننا نوجد محصلة هذه القوى أولا ثم نطبق قانون نيوتن بصيغته الرياضية الأخيرة .

وعندما يكون اتجاه الحركة غير محدد أو لا يمكن التنبؤ به فإننا نفرض اتجاهاً موجباً للحركة ، فإن أصبحت قيمة (ت) موجبة فإن الاتجاه المفروض يكون صحيحاً . وعندما تكون قيمة (ت) سالبة فإن الاتجاه المفروض يكون خاطئاً (وضح ذلك) .

مـثـــال (٣ – ١)

في الشكل (٣-٢) احسب قيمة تسارع الجسم إذا علمت أن ك = ١٠ كجم ، وأن الاحتكاك مهمل بين الجسم والسطح .



شكل ٣ – ٢

الحـــل :

سنقوم أولاً بتحليل ثقل الجسم إلى مركبتين عمودية على السطح وموازية له .

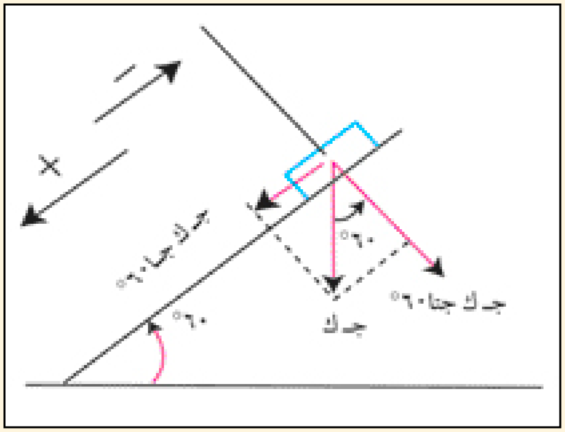
وبرسم القوى المؤثرة وافتراض اتجاه الحركة سنحصل على الشكل (٣-٣) :

والآن بتطبيق قانون نيوتن الثاني :

ق = ك × ت

ت = $\frac{ق}{ك}$ = $\frac{جـــ ك جا ٦٠}{١٠}$ =

٨,٤٩ م/ث٢



شكل ٣ - ٣

أسـئلة للتفكير :

١ – عند حسـابنا للتسـارع لماذا لم نستخدم المركبـة العـمودية للثقل على السطح؟ ------------------------------------

٢ – لكي نجعل هذا الجسم ينزلق بسرعة ثابتـة هل نزيد من زاوية مـيل السطح أم نقللها ؟ ------------------------------------

حساب الزاوية اللازمة لانزلاق الجسم بسرعة ثابتة على مستوى مائل أملس :

من القانون : ق = ك × ت ⟵ جـــ ك جاهـ = ك × ت

وعندما تكون السرعة ثابتة فإن : ت = ٠

⟵ جـ ك جاهـ = ٠ ⟵ جاهـ = ٠ ⟵ هـ = جا$^{-1}$ (صفر)

إذاً : هـ = صفر° .

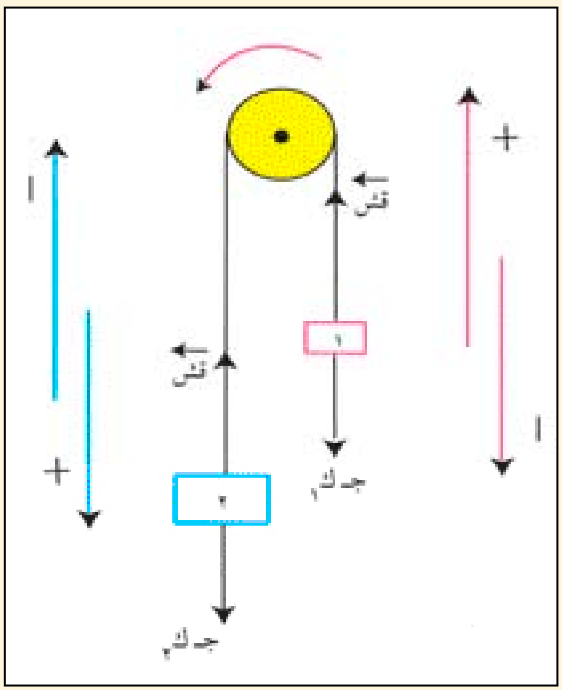
أي أنه لا يمكن أبداً أن ينزلق الجسم بسرعة ثابتة على سطح أملس إلا أن تكون زاوية ميل المستوى مساويةً للصفر ، أي أن يكون المستوى أفقياً تماماً .

تدريب (٣ – ٥) :

يمكننا القول إن القانون الأول للحركة هو حالة خاصة من القانون الثاني وضح ذلك .

مـثـــال (٣ – ٢)

في الشكل (٣–٤) احسب تسارع المجموعة إذا علمت أن ك$_{١}$ = ٥ كجم ، ك$_{٢}$ = ٧ كجم ، مع إهمال احتكاك البكرة .



شكل ٣ – ٤

الحل :

الطريقة الأولى : باستخدام الصيغة

$\overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت}$

عند تطبيق هذا القانون على الجسم الأول فإننا سنجد أن :

قش – جـ ك$_{١}$ = ك$_{١}$ ت

⟸ قش ـ ٤٩ = ٥ ت . . . (١)

وعند تطبيق القانون على الجسم الثاني فإننا سنجد أن :

$جـ ك_2 - قش = ك_2 \times ت$ ⟵ $68,6 - قش = 7\,ت$ . . . . (2)

ومن (1) ، (2) :

إذاً : $ت = 1,63$ م/ث^2 ، قش = 57,15 نيوتن .

س : قارن بين مثالنا ورياضة شد الحبل بين مجموعة من اللاعبين، ثم فسر لماذا كانت قوة الشد في طرفي الحبل واحدةً؟ مع أن في كل جهة ثقلاً مختلفاً ، ثم لماذا كان تسارع الجسمين واحداً؟ (مع إهمال كتلة الحبل) ------------------------------

----

الطريقة الثانية : باستخدام الصيغة $\sum \vec{ق} = \vec{ت} \sum ك$

القوى الخارجية المؤثرة على المجموعة كاملة هي : جـ$ك_2$ ، جـ$ك_1$ فقط ، (وضح ذلك) .

إذاً : $جـ ك_2 - جـ ك_1 = ت\,(ك_1 + ك_2)$

$جـ\,(ك_2 - ك_1) = ت\,(ك_1 + ك_2)$

$$ت = جـ \frac{(ك_2 - ك_1)}{ك_1 + ك_2}$$

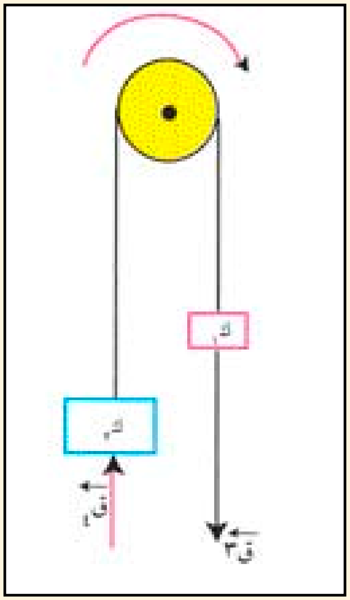
إذاً : $ت = 1,63$ م/ث^2 . (نفس النتيجة السابقة)

تدريب (٣ – ٦) :

سنجري بعض التعديلات على مثالنا السابق وهي المبينة في الشكل (٣–٥). حيث أثرنا على الجسمين بالقوتين الإضافيتين ق١، ق٢.

والمطلوب منك أن تطبق قانون نيوتن الثاني على كل جسم على حدة (اكتب معادلة الحركة فقط).

ثم أن تطبق قانون نيوتن الثاني على الجسمين معاً.

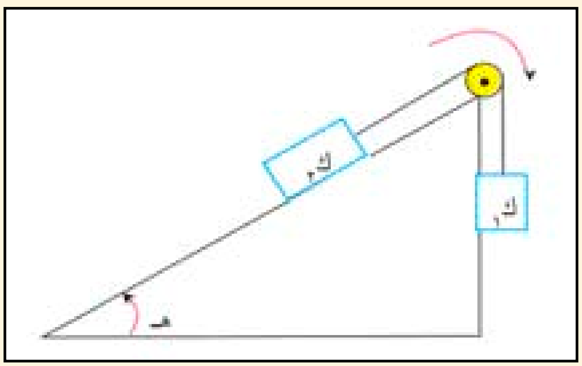


شكل ٣ – ٥

تدريب (٣ – ٧) :

في الشكل (٣ – ٦) كون فقط معادلة حركة كل جسم على حدة وذلك بتطبيق قانون نيوتن الثاني.

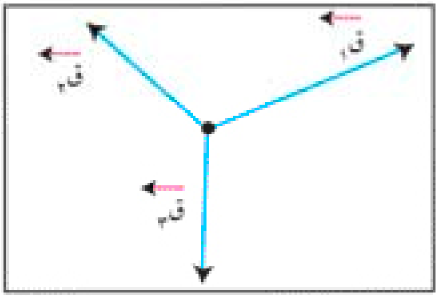
ثم كون بعد ذلك معادلة حركة الجسمين معاً. ------------------------



شكل ٣ – ٦

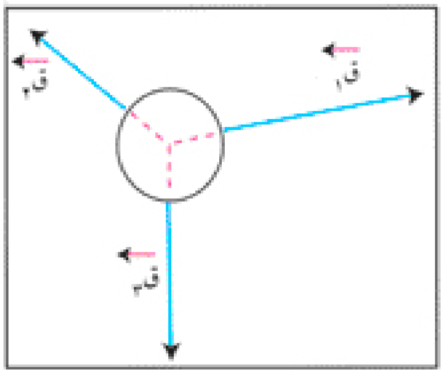
الشـــرط الأول للتـــوازن

لكي يستمر الجسم في حالة السكون لابد من تحقق شرطين أساسيين سنناقش الشرط الأول، أما الشرط الثاني فإنه يتعلق بدوران الجسم وسيناقش في الفصل الخامس.



شكل ٣-٧

القوى المتلاقية هي التي تلتقي مباشرة كما في شكل (٣ – ٧)، أو تلتقي امتداداتها كما في شكل (٣ – ٨).



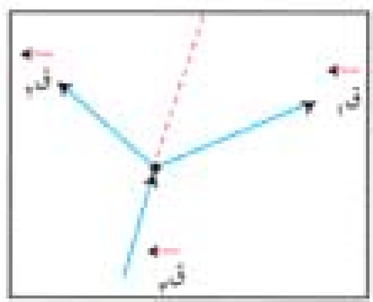
شكل ٣-٨

وللتبسيط سنأخذ القوى خارجة من نقطة التقائها ، وعندما تكون إحدى هذه القوى داخلة إلى نقطة الالتقاء فسوف نقوم بإزاحة هذه القوة على محور عملها حتى تحقق هذا الشرط كما في الشكلين (٣ – ٩)، (٣ – ١٠)

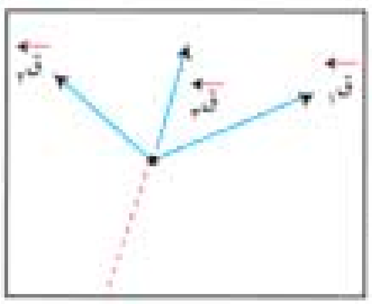
والآن لننظر إلى الشكل (٣ – ١١) ونتساءل :

متى يتزن هذا الجسم ؟

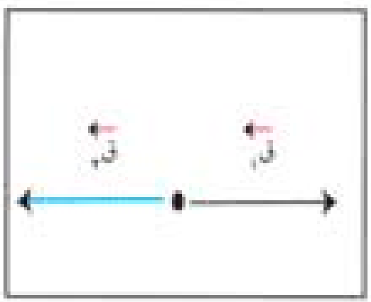
لعلك تعلم مما مضى أنه يتزن عندما يتحقق الشرط التالي : $\overleftarrow{\text{ق}}_{١} = -\overleftarrow{\text{ق}}_{٢}$



شكل ٣ – ٩



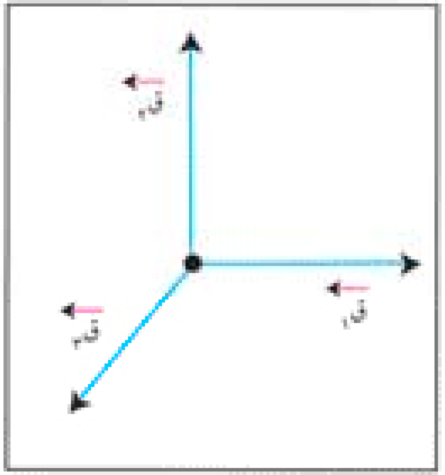
شكل ٣ – ١٠



شكل ٣ – ١١

أي أن : $\vec{\text{ق}}_1 + \vec{\text{ق}}_2 = \text{صفر}$

أو : $\sum \vec{\text{ق}} = \text{صفر}$



شكل ٣ - ١٢

ولنتساءل الآن أيضاً : متى يتزن هذا الجسم الممثل في الشكل (٣-١٢)

أظنك ستقول : عندما تتساوى القوى وتتساوى الزوايا بينها وهذا حق، ولكنه يمثل حالةً واحدةً من بين العديد من الحالات الأخرى التي يمكن أن يتزن فيها الجسم .

ولكن دعنا نفكر الآن بطريقة أكثر تفصيلاً .

إذا كان الجسم متزناً تحت تأثير عدة قوى متلاقية في مستوى ، فإنه سيكون متزناً على المحور السيني وعلى المحور الصادي معاً .

إذاً :

١ ـ سيكون المجموع الجبري صفراً للمركبات السينية لهذه القوى .

أي أن : $\sum \text{ق}_{\text{س}} = \text{صفر}$

٢ ـ سيكون المجموع الجبري صفراً للمركبات الصادية لهذه القوى .

أي أن : $\sum \text{ق}_{\text{ص}} = \text{صفر}$

إذاً شرطا الاتزان في هذه الحالة هما :

$\sum$ ق$_{س}$ = صفر .... (٢-٣)*

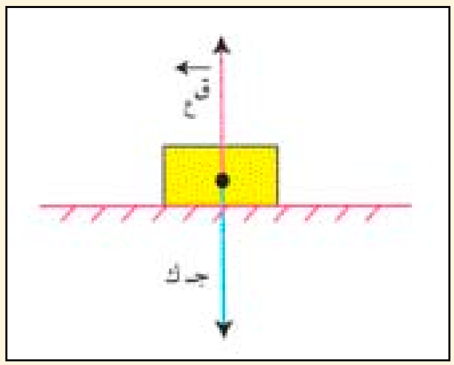
$\sum$ ق$_{ص}$ = صفر .... (٣-٣)*

لاحظ أن : $\sum \overleftarrow{ق}$ = $\overleftarrow{صفر}$ يعني أن :

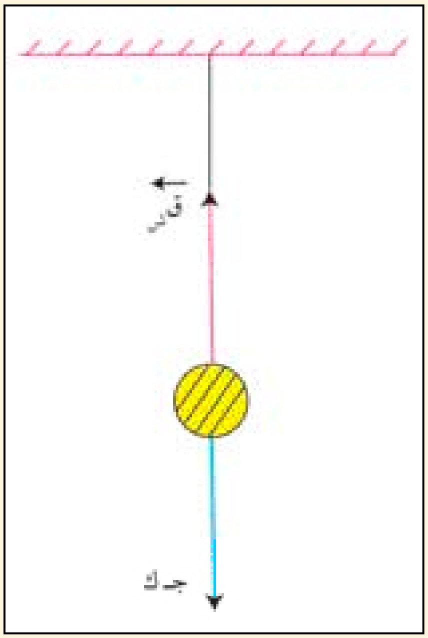
$\sum$ ق$_{س}$ = صفر و : $\sum$ ق$_{ص}$ = صفر

تدريب (٣ – ٨) :

س : باستخدام شرط التوازن $\sum$ق = صفر ، حاول إثبات وجود ما يسمى بقوة رد الفعل في الشكل (٣-١٣) وقوة الشد في الحبل في الشكل (٣-١٤)



شكل ٣-١٣



شكل ٣-١٤

كيف تطبق الشرط الأول للتوازن ؟

لحل المسائل على هذا النوع من اتزان القوى فإننا نتبع الخطوات التالية :

* سوف نعتبر جمع القوى على محور واحد جمعاً جبرياً .

لمعلوماتك :

١- نرسم المحاور في نقطة تلاقي القوى (أو نقطة تلاقي امتداداتها).

٢- نرسم القوى ونحدد الزاوية المحصورة بين كل قوة وأحد المحاور.

٣- نجعل جميع القوى خارجة من نقطة الالتقاء ، وذلك بنقل متجه القوة إن لزم الأمر.

٤- نحلل القوى إلى مركباتها في جدول (للتبسيط).

٥- نطبق الشرط $\sum ق_{س} = صفر$ ، $\sum ق_{ص} = صفر$

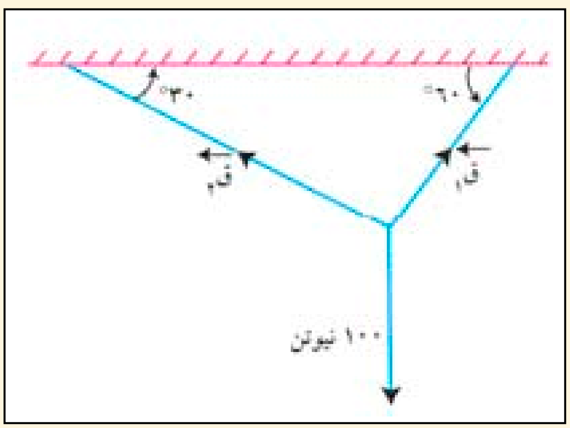
٦- نحل المعادلات الناتجة .

تذكر أننا لا نطالبك بحفظ هذه الخطوات وإنما نبين لك الطريق الذي ستسلكه أنت وحدك فيما بعد .

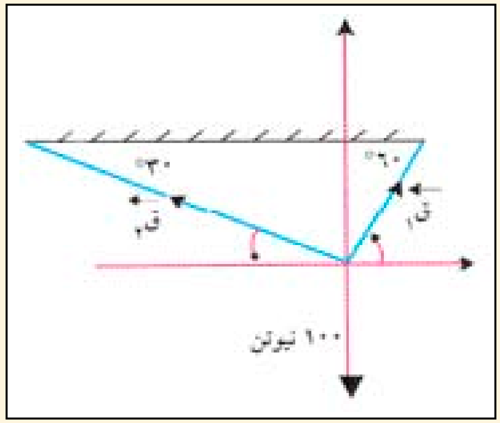
ولنطبق الآن هذه الخطوات على المثال التالى :

مـثــــال (٣ - ٣)

في الشكل (٣-١٥) المقابل احسب مقدار قوتي الشد $ق_{١}$ ، $ق_{٢}$ في الخيط .



شكل ٣-١٥



شكل ٣-١٦

القوة (نيوتن)	المركبة السينية (نيوتن)	المركبة الصادية (نيوتن)
$ق_1$	$ق_1$ جتا ٦٠	$ق_1$ جا ٦٠
$ق_2$	$-ق_2$ جتا ٣٠	$ق_2$ جا ٣٠
$ق_3$	صفر	١٠٠ -

الحل :

برسم المحـــاور عند نقطة تلاقي القوى نحصل على الشكل (٣-١٦)

$\sum ق_س$ = صفر

$\Leftarrow$ $ق_1$ جتا٦٠ - $ق_2$ جتا ٣٠ = صفر .... (١)

$\sum ق_ص$ =صفر

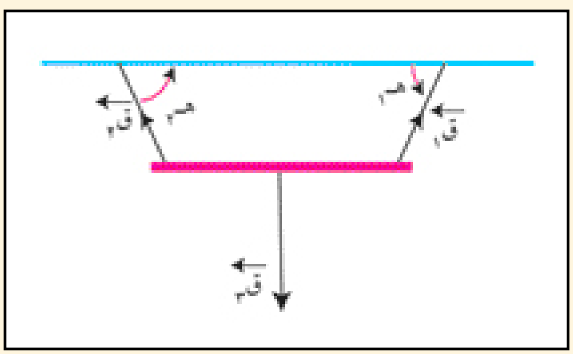
$\Leftarrow$ $ق_1$ جا ٦٠ + $ق_2$ جا ٣٠ - ١٠٠ = صفر.......... (٢)

وبحل هاتين المعادلتين نجد أن :

$ق_1$ = ... $ق_2$ = ... (أكمل الحل).

تدريب (٣ - ٩) :

طبّق شروط التوازن السابقة على الشكل (٣-١٧) .



شكل ٣-١٧

القانون الثالث للحركة

سبق أن مر معك في دراستك السابقة صيغة مبسطة لهذا القانون هي :

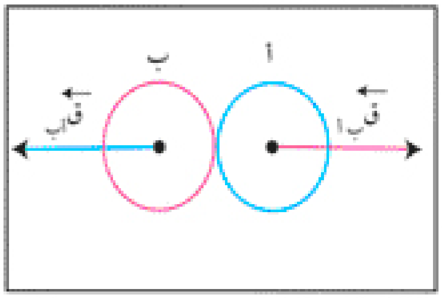
« لكل فعل رد فعل مساوي له في الكمية ومعاكس له في الاتجاه »

ولكنا لن نرضى بهذه الصيغة الآن وسنجري تعديلاً طفيفاً عليها لإزالة بعض اللبس الذي يطرأ عند تطبيق القانون على الواقع .

وسنصوغ القانون بالعبارة التالية :

« لكل قوة فعلٍ قوة رد فعل مساويةٌ لها في المقدار ومعاكسةٌ لها في الاتجاه »

فإذا أثر الجسم (أ) على الجسم (ب) بقوة فإن الجسم (ب) سيؤثر على (أ) بقوة مساوية لها في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه. الشكل (٣-١٨)



شكل ٣ - ١٨

ويعبر عن هذا القانون بالصورة الرياضية التالية :

$$\overleftarrow{ق}_{أب} = - \overleftarrow{ق}_{بأ}$$

حيث $\overleftarrow{ق}_{أب}$: هي القوة التي يؤثر بها الجسم أ على ب .

حيث $\overleftarrow{ق}_{بأ}$: هي القوة التي يؤثر بها الجسم ب على أ .

والسبب في إجراء هذا التعديل في نص القانون هو أن القانون يتحدث عن « القوة » وهي مصطلح فيزيائي معروف ، وليس عن (الفعل) الذي يمثل مصطلحاً اجتماعياً أو لغوياً ، فصيغة القانون السابقة توحي بأن لكل حركة رد حركة ، وأن لكل جذب رد جذب ، وهذان التعبيران يوحيان بامتناع أو استحالة حركة الأجسام .

وأما صياغتنا الأخرى فلا تقتضي ذلك .

وحتى تتضح لك الصورة دعنا نسرد لك بعض الملحوظات والأمثلة لتوضيح هذا القانون

ملحوظات :

١ ـ هذا القانون يتحدث عن القوى المتبادلة بين الأجسام ، وليس عن حركة الأجسام أو سكونها إذ يمكن تطبيقه على الأجسام الساكنة (كتاب على طاولة) وعلى الأجسام المتحركة أيضا (الصاروخ واندفاع الغاز منه) .

٢ ـ هذا القانون يحتاج في تطبيقه إلى جسمين بخلاف القانون الأول والثاني اللذان ينطبقان على جسم واحد .

٣ ـ القوى المتبادلة (زوج القوى) تؤثر على جسمين مختلفين لا على جسم واحد ، ولذا فإنهما لا تلغيان بعضهما .

٤ ـ من أهم نتائج هذا القانون اختزال القوى الداخلية لكل نظام أي لكل مجموعة مترابطة من الأجسام مثل قوى الشد ، أو القوى بين الجزئيات الصغيرة للجسم الواحد .

٥ ـ يتحرك الجسم بسبب تأثير القوة المؤثرة عليه من الخارج ، وليس بسبب تأثير القوة التي يؤثر بها هو على الأجسام ، ولا تحت تأثير محصلة هاتين القوتين .

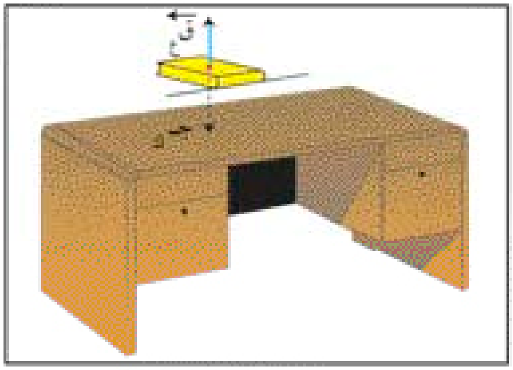
٦ ـ لا توجد في الكون قوة مفردة لوحدها ، بل جميع القوى عبارة عن أزواج متبادلة من القوى بين الأجسام .

٧ ـ يفيدنا هذا القانون في تمثيل قوى الترابط (قوى الشد ـ قوى رد الفعل) .

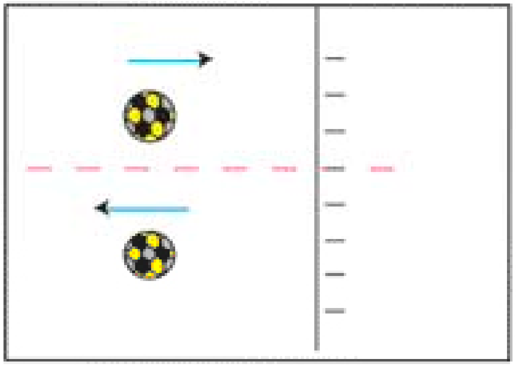
٨ ـ ينطبق هذا القانون على أي جزأين من نظام ما بغض النظر عن كونهما مرتبطين مادياً أم لا ، مثل تجاذب الكواكب .

٩ - يطبَّق هذا القانون على جميع أنواع القوى المعروفة .

أمثـــلـة :

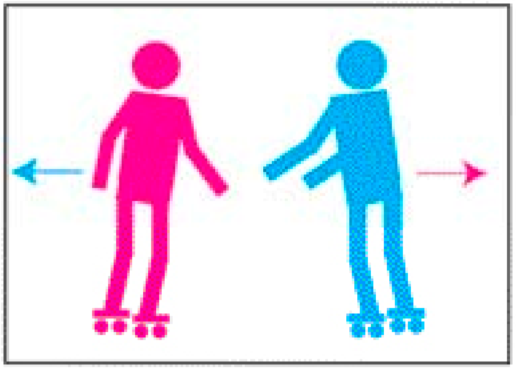


شكل ٣ – ١٩ كتاب على طاولة

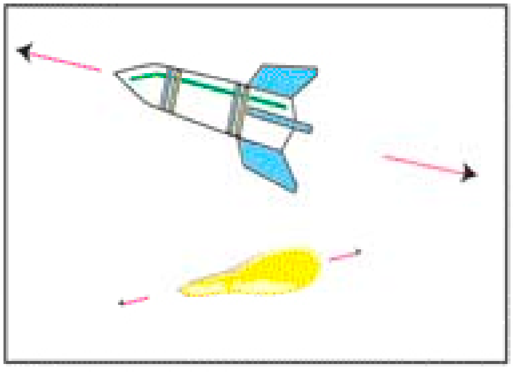


شكل ٣ – ٢٠ كرة تصطدم بجدار

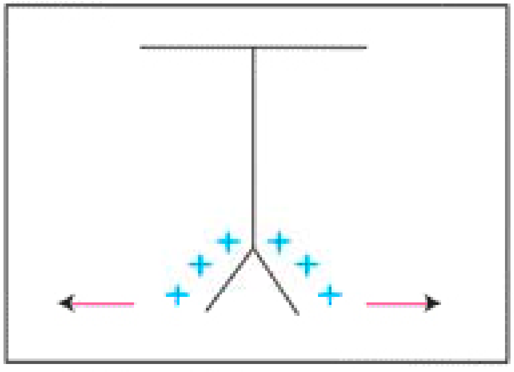
شكل ٣ – ٢١ رجل الإطفاء



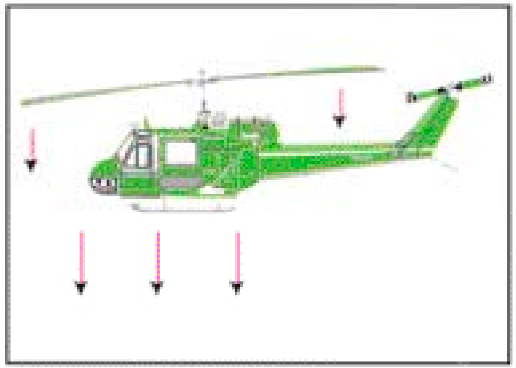
شكل ٣ – ٢٢ صبيان يرتديان أحذية زلاجة يدفع أحدهما الآخر
ونلاحظ أن الصبي الدافع يتحرك باتجاه معاكس لحركة الصبي المدفوع



شكل ٣ – ٢٣ البالونة والصاروخ

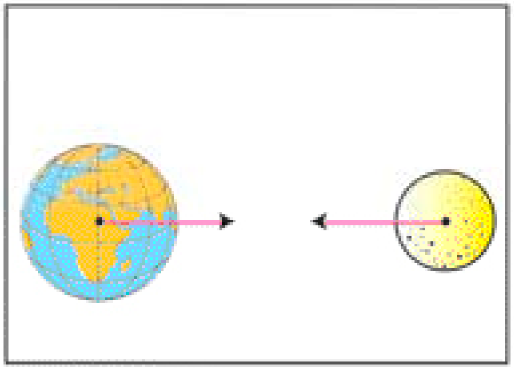


شكل ٣ – ٢٤ ورقتا الكشاف الكهربائي



شكل ٣ - ٢٥

الطائرة المروحية تدفع الهواء إلى الأسفل ويندفع جسمها إلى الأعلى، وعند ارتفاعها تبدأ بالدوران بعكس دوران المروحة ولكن تثبتها المروحة الخلفية الصغيرة أما في الطائرة المروحية الحديثة فلا يحدث ذلك (لماذا؟)



شكل ٣ - ٢٦ الأرض والقمر

نشـــاط عملي (٣ - ٢) :

الأدوات :

قاعدة قابلة للدوران (كرسي دوار) - كيس به رمل ، حبل .

خطوات العمـل :

١- اربط كيس الرمل بالحبل ثم قف على القاعدة القابلة للدوران .

٢- ابدأ بإدارة كيس الرمل بشكل عمودي على سطح الأرض . هل تحرك جسمك مع القاعدة المتحركة ؟ --

٣- ابدأ بإدارة كيس الرمل بشكل موازٍ لسطح الأرض وباتجاه عقارب الساعة ، هل تحرك جسمك مع القاعدة المتحركة ؟ ----------------------------------

٤- ابدأ بإدارة كيس الرمل بشكل موازٍ لسطح الأرض وباتجاه ضد عقارب الساعة ، هل تحرك جسمك مع القاعدة المتحركة ؟ ------------------------------

٥- ماذا تستنتج من هذا التجربة ؟

لاشك أنك لاحظت أن جسمك لم يتحرك في الحالة الأولى بينما تحرك في الحالة الثانية والثالثة باتجاهٍ معاكسٍ لاتجاه دوران كيس الرمل وهذا مايسمى برد فعل القوة الذي ينص عليه قانون نيوتن الثالث .

نشــاط عملي (٣ – ٣) :

الأدوات : مغناطيس قوي ، دبابيس ، قطعة حديد كبيرة .

خطوات العمـل :

١ – ضع الدبابيس على سطح طاولة أفقية ثم ابدأ بتقريب المغناطيس من الدبابيس تدريجياً . ماذا تلاحظ ؟ --

٢ – ضع المغناطيس على الطاولة ثم ابدأ بتقريب قطعة الحديد إليه تدريجياً . ماذا تلاحظ ؟
----

٣ – ماذا تستنتج من هذه التجربة ؟

لاشك أنك لاحظت أن المغناطيس يجذب الحديد وكذلك الحديد (القطعة أو الدبابيس) تجذب المغناطيس وليس هذا إلا تطبيقاً لقانون نيوتن الثالث.

في هذا النشـاط نلاحظ أن الجسم ذا الكتلة الأصغر هو الذي يبدأ بالحركة . فهل تستطيع أن تفسر ذلك ؟ ---

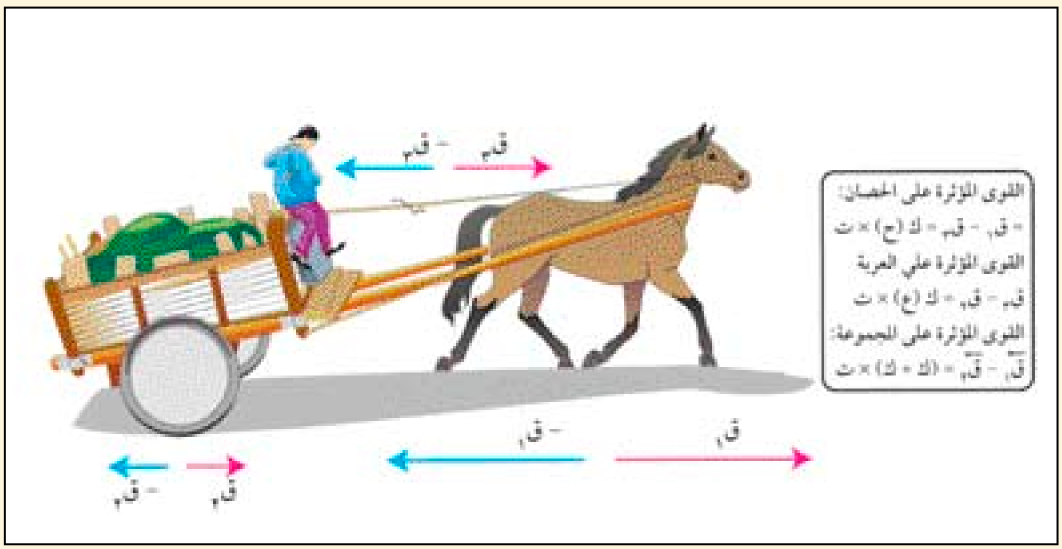
أسـئلة للتفكير :

- لعبة أطفال على هيئة طائرة عمودية ذات مروحة علوية وتعمل بالبطارية ، عند تشغيل هذه الطائرة ثم الإمساك بالطائرة من مروحتها التي تدور ورفعها عن الأرض ماذا يحدث للطائرة ؟
- هل يختص هذا القانون بالحركة الخطية فقط أم يشمل غيرها أيضاً ؟ ____________
- هل وجود رد فعل القوة يعني انعدام الحركة ؟ _________________________
- هل يشترط كون رد الفعل مساوياً لوزن الجسم ؟_________________________
- إذا كانت الأرض تجذب التفاحة فهل التفاحة تجذب الأرض ؟ ________________
- إذا كان الحصان يجر العربة والعربة تجر الحصان فلماذا يتحركان ؟ ______________

وللإجابة عن هذا السؤال الأخير تأمل الشكل (٣-٢٧) وحدد محصلة القوى المؤثرة على الأجسام الثلاثة :

١ ـ الحصان ٢ ـ العربة ٣ ـ (العربة والحصان معاً) .

(ستحتاج في هذا الشكل إلى فهم أثر قوى الاحتكاك وهو موضوع درسنا التالي) .



شكل ٣ - ٢٧

الاحتكاك

الاحتكاك من الظواهر الطبيعية الهامة في حياتنا العملية ، فله كثير من الآثار الطبيعية ، والتطبيقات الصناعية التي تنتشر في كل مكان .

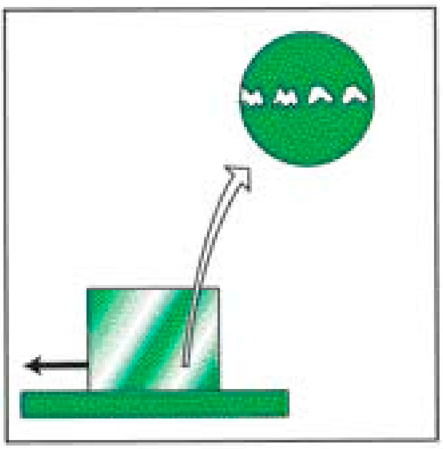
وهناك نوعان من الاحتكاك :

١ ـ الاحتكاك الجاف : وهو الذي ينشأ بين سطوح الأجسام الجامدة المتلامسة .

٢ ـ الاحتكاك الرطب : وهو الذي ينشأ بين طبقات السوائل والغازات عند جريانها .

وسوف نتعرض إلى النوع الثاني من خلال دراستنا لحركة جريان السوائل في كتاب الفيزياء للصف الثالث الثانوي بإذن الله .

ويعيد العلماء منشأ الاحتكاك إلى وجود نتوءات وتجويفات مجهرية في سطوح الأجسام (مهما بلغت نعومتها) ، وينتج عن تداخل هذه النتوءات والتجويفات لكل من السطحين ما يسمى بقوة الاحتكاك (٣-٢٨) .



شكل ٣ – ٢٨

فوائد الاحتكاك :

١ ـ تمكين المخلوقات البرية من المشي أو الزحف على اليابسة .

٢ ـ تمكين السيارات والقطارات والعربات وغيرها من الحركة .

٣ ـ تمكين الآليات التي تعتمد في عملها على السيور والكوابح من أداء وظيفتها .

مضارّ الاحتكاك :

١ ـ التسبب في تآكل السطوح المتلامسة .

٢ ـ التسبب في زيادة استهلاك الطاقة .

٣ ـ ارتفاع درجة الحرارة الذي قد ينشأ عنه حدوث الحرائق والكوارث .

ويمكننا التقليل من الاحتكاك في الآلات بزيادة صقل السطوح ، واستخدام زيوت التشحيم .

* * *

وقوة الاحتكاك هي قوة رد فعلٍ مماسي (موازية للسطح) بين سطحين متلامسين وتكون دوماً معاكسة لاتجاه حركة الجسم .

وعندما تسير فإنك تحاول دفع الأرض إلى الوراء بقوة مقدارها ($ق_1$) وذلك بسبب وجود قوى الاحتكاك وهي بالمقابل تقوم برد فعلٍ على قدميك فتدفعك نحو الأمام ، ولذلك نستطيع السير . وعند انعدام الاحتكاك (مثلاً أرض عليها سائل الصابون) فإننا لا نستطيع أن نتحرك . ويمكننا تشبيه حركة الإنسان على الأرض بحركة البهلوان على الكرة حيث يستطيع تدويرها بقدميه والسير عليها ، لكن كرتنا هنا كرة عملاقة لا تدور هي بل تدفعك أنت لتدور عليها .

ولكن كيف يبدأ الجسم حركته ؟

للإجابة عن هذا السؤال قم بالنشاط التالي :

نشــاط عملي (٣ – ٤) :

الأدوات :

سطح مستوي (طاولة) ، جسم صلب مكعب الشكل ، خيط ، كفة ميزان ، بكرة ، رمل

خطوات العمـل :

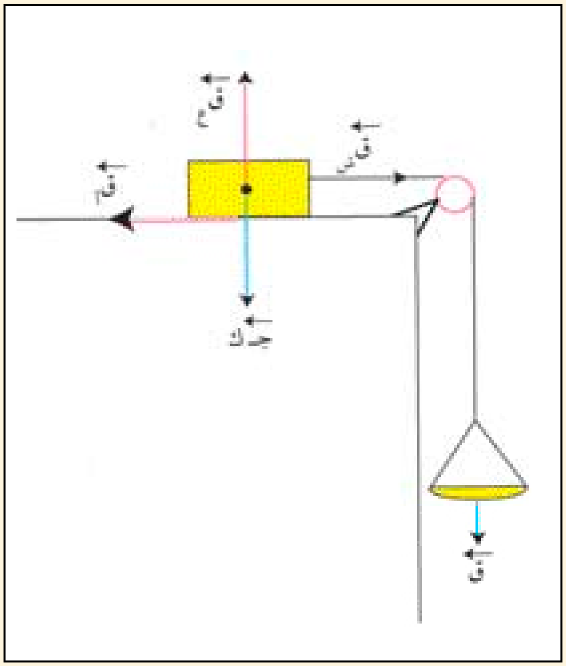
١ – ثبت الخيط بالجسم المكعب وبكفة الميزان وضعها على الطاولة كما في الشكل (٣–٢٩) .

٢ – ضع قليلاً من الرمل في كفة الميزان .

٣ – استمر في زيادة الرمل في كفة الميزان حتى يبدأ الجسم بالحركة .

٤ – احسب وزن الرمل مع كفة الميزان (و١) .

إن الوزن الذي حصلت عليه يساوي تقريباً قوة الاحتكاك وتسمى في هذه الحالة قوة الاحتكاك السكوني (قس) لأنها القوة اللازمة لابتداء الحركة من السكون .



شكل ٣ – ٢٩

٥ – عد إلى النشاط العملي مرةً أخرى :

٦ – أوقف الجسم عن الحركة وخذ قليلاً من كمية الرمل التي في كفة الميزان وأبعدها

٧ – هل يتحرك الجسم؟ ------------------------------------

٨ – حاول تحريك الجسم باتجاه شد الخيط بطرقه برفق . هل يتحرك ؟ ....

٩ – إذا لم يتحرك فزد كمية الرمل قليلاً مع استمرارك في طرق الجسم برفق حتى يتحرك .

١٠ – احسب وزن الرمل مع كفة الميزان في هذه الحالة ($و_٢$)

١١ – إن الوزن الذي حصلت عليه يساوي تقريبا قوة الاحتكاك وتسمى في هذه الحالة قوة الاحتكاك الحركي ($ق_ا$) لأنها القوة اللازمة لاستمرار حركة الجسم بعد إكسابه سرعة ابتدائية (بالدفع أو السحب) .

١٢ – أيهما أكبر الوزن الذي حصلت عليه في المرة الأولى أم الذي حصلت عليه في المرة الثانية ($و_١$ أم $و_٢$) ؟ ....

من النشاط السابق نلاحظ أن القوة اللازمة لبدء الحركة عند وجود الاحتكاك تكون أكبر من القوة للازمة لاستمرارها أي أن $ق_س > ق_ا$

وسوف نقتصر في دراستنا على $ق_ا$ أما $ق_س$ فلا يتسع المجال للخوض فيها .

حساب قيمة $ق_ا$:

بالنظر إلى الشكل (٣-٣٠) نجد أن :

$ق \; \alpha \; ق_ا$ ....(١)

ولكن : $ق \; \alpha$ جـك ....(٢)

جـك $\alpha \; ق_ع$ .....(٣) ($ق_ع$: قوة رد الفعل العمودي من السطح على الجسم)

من ١ ، ٢ ، ٣

إذاً : $ق_ا \; \alpha \; ق_ع \Longleftarrow ق_ا = ثابت \times ق_ع$

حيث الثابت هو ثابت الاحتكاك ويرمز له بالرمز (أ)وتعتمد قيمته على مدى خشونة السطحين المتلامسين .

إذاً : $ق_ا = أ \times ق_ع$ .... (٣-٤)

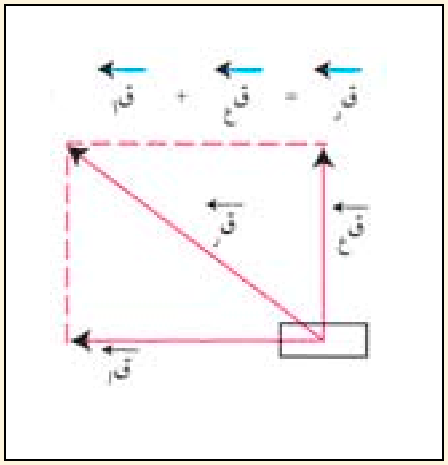
تدريب (٣ – ١٠) :

بالاعتماد على المعادلة (٣–٤) استنتج وحدة قياس معامل الاحتكاك أ ؟

لمعلومـاتـك :

في الحـالة العـامة يكون لقـوة رد الفعل ($\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{ر}}$) مـركبـتان إحـداهمـا عمـودية هي ($\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{ع}}$) ، والأخـرى موازية لخط الحركة ومماسية بين الجسمين هي ($\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{أ}}$) . أي أن ($\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{ر}}$) ستكون محصلة هاتين القوتين كما هو موضح في الشكل (٣-٣٠)

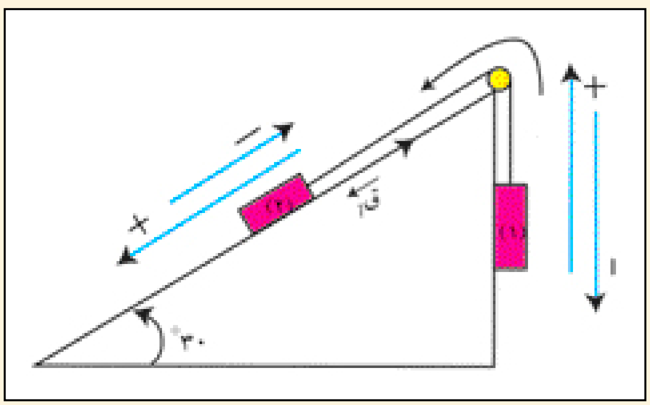
ويمكننا أن نكتب : $\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{ر}} = \overleftarrow{\text{ق}}_{\text{ع}} + \overleftarrow{\text{ق}}_{\text{أ}}$



شكل ٣ – ٣٠

مـثـــال (٣ – ٤) :

في الشكل (٣-٣١) احسب مقـدار تسارع المجموعة ك١ = ك٢ = ١٠ كجم ، وأن معامل الاحتكاك بين الجسم الثاني والسطح هو ١, ٠



شكل ٣ – ٣١

الحـل :

سنفرض أن اتجاه الحركة هو الاتجاه المبين في الشكل ، أي أنه هو الاتجاه الموجب .

بتطبيق قانون نيوتن الثاني على الجسم الأول نجد أن :

$\sum \overleftarrow{ق} = ك \times \overleftarrow{ت}$ ⟸ قش − جـ × ك$_{1}$ = ك$_{1}$ ت

إذاً : قش − ٩٨ = ١٠ت . . . . (١)

وبتطبيق قانون نيوتن الثاني على الجسم الثاني نجد أن :

جـ × ك$_{2}$ جا ٣٠ − قش −ق$_{ح}$ = ك$_{2}$ × ت

ولكن ق$_{ح}$ = أ ق$_{ع}$ = أ (جـ ك$_{2}$ جتا ٣٠)

إذاً : جـ × ك$_{2}$ جا ٣٠ −قش −أجـ ك جتا ٣٠ = ك$_{2}$ ت

٩,٨ ×٥ − قش − ٠,١ × ٩٨ × ٠,٨٧ = ١٠ ت . . . . (٢)

من المعادلتين (١) ، (٢) يمكننا حساب كل من ت ، قش

أكمل الحل :

− --

− --

− --

− --

* ونلاحظ أن التسارع أصبح سالب القيمة مما يدل على أن الاتجاه المفترض للحركة هو بعكس الاتجاه الحقيقي .

قانون الجذب العام :

جذب الأرض للأجسام المحيطة بها ليس إلا مثالاً بسيطاً لقوى التجاذب في هذا الكون الواسع ، وقد استفاد نيوتن من قوانين كبلر في استنتاج صيغة رياضية تعطي مقدار قوة الجذب المتبادلة بين الأجسام في الكون كالكواكب والنجوم وغيرها .

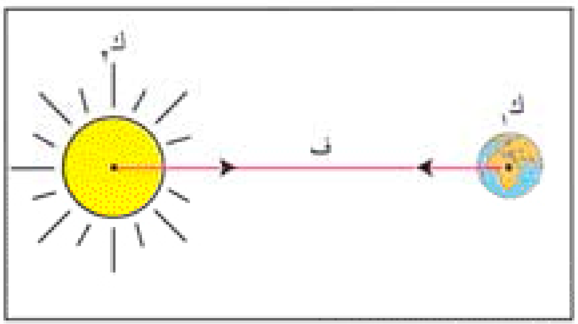
وينص هذا القانون على ما يلي : « كل جسمين ماديين يتجاذبان بقوة يتناسب مقدارها طردياً مع حاصل ضرب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة بين مركزي كتلتيهما » ، وذلك حسب العلاقة التالية :

$$ق = \frac{ج\, ك_{١}\, ك_{٢}}{ف^{٢}} \quad ...... \quad (٣-٥)$$

حيث $ك_{١}$ ، $ك_{٢}$: كتلتا الجسمين بالكجم ،

ف : المسافة بين مركزي الجسمين بالمتر .

(ج) : ثابت يسمى ثابت الجذب العام ، أو ثابت الجذب الكوني ومقداره = $٦,٧ \times ١٠^{-١١}$



شكل ٣ – ٣٢

تدريب (٣ – ١١) :

استنتج وحدة الثابت ج بالاعتماد على القانون في العلاقة (٣-٥) .

س : ما العلاقة بين قانون الجذب العام وقوة جذب الأرض للأجسام من حولنا ؟

جـ : بالنسبة لجسم على سطح الأرض فإن :

$$ق = \frac{ج\,ك\,ك_{أ}}{نق_{أ}^{٢}}$$ . . . . (١) حيث ك كتلة الجسم، $ك_{أ}$ كتلة الأرض، $نق_{أ}$ نصف قطر الأرض.

وبما أن : ق = جـ × ك - - - (٢)

من (١) ، (٢) نجد أن :

$$\text{تسارع الجاذبية (جـ)} = \frac{ج\,ك_{أ}}{نق_{أ}^{٢}}$$

ويمكننا تطبيق هذه العلاقة على أي كوكب آخر كالقمر أو غيره لمعرفة تسارع الجاذبية عليه مع ملاحظة التعويض عن كتلة الكوكب المطلوب ونصف قطره ، وأما قانوننا السابق ق = جـ ك فما هو إلا تبسيط للقانون العام ، حيث إنه خاص فقط بجذب الأرض للأجسام.

س : تتحول النجوم من حالة إلى حالة بتضاغط عظيم لكتلها في أحجام أصغر ، وزيادة عالية في درجة حرارتها فتتحول من النجوم الحمراء إلى النجوم البيضاء ثم النجوم السوداء (الثقب الأسود) فإذا علمت أن نجماً بحجم الشمس يتحول إلى ثقب أسود بحجم كرة الطاولة، فكم يكون تسارع الجاذبية لهذا الثقب علماً بأن كتلة النجم $ك_{ش}$ = ١,٩٧ × $١٠^{٣٠}$ كجم (افترض أن نصف قطر كرة الطاولة ٢سم)

مـثـــال (٣ – ٥) :

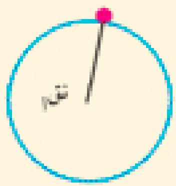
احسب مقدار كتلة الكرة الأرضية إذا علمت أن :

ج = ٦,٧ × ١٠$^{-١١}$ نيوتن . م^{٢} / كجم^{٢} وأن نق$_{أ}$ = ٦,٤ × ١٠^{٦} م

الحـل :

بالنسبة لجسم على الأرض فإن : ق = جـ ك

، ق = $\dfrac{\text{ج ك ك}_{أ}}{\text{نق}^{٢}_{أ}}$



شكل ٣ – ٣٣

جـ ك = $\dfrac{\text{ج ك ك}_{أ}}{\text{نق}^{٢}_{أ}}$ ⟵ ك$_{أ}$ = ٦ × ١٠^{٢٤} كجم

وقفة تأمل

لعلك تعلم أن ٦ × ١٠^{٢٤} تعني الرقم ٦ وأمامه أربعة وعشرون صفراً .

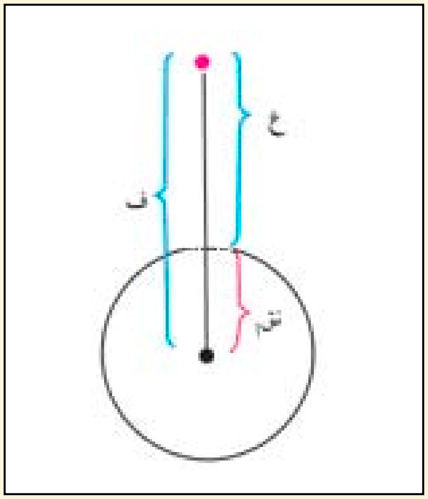
أي ٦,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠,٠٠٠ كجم فسبحان من خلقها .

وصدق الله حين قال : ﴿ لَخَلْقُ السَّمَٰوَٰتِ وَالْأَرْضِ أَكْبَرُ مِنْ خَلْقِ النَّاسِ وَلَٰكِنَّ أَكْثَرَ النَّاسِ لَا يَعْلَمُونَ ﴾ (غافر الآية ٥٧) ولكن أكثر الناس معرضون عن التفكر في خلق الله ، فقد صدق عليهم قول الله : ﴿ وَكَأَيِّن مِّنْ آيَةٍ فِي السَّمَٰوَٰتِ وَالْأَرْضِ يَمُرُّونَ عَلَيْهَا وَهُمْ عَنْهَا مُعْرِضُونَ ﴾ (يوسف الآية ١٠٥) .

وإذا كانت هذه كتلة الأرض فكيف بالنجوم العظيمة الأخرى المنتشرة في الكون .

مــثــــال (٣ - ٦)

احسب الارتفاع الذي يكون عنده وزن الجسم مساوياً لنصف وزنه على الأرض .
شكل (٣-٣٤) إذا علمت أن $ك_أ$ = ٦ × $١٠^{٢٤}$ كجم ، $نق_أ$ = ٦,٤ × $١٠^{٦}$ م .



شكل ٣ - ٣٤

الحــل :

لنفرض أن بعد الجسم عن مركز الأرض هو ف

إذاً : باستخدام قانون الجاذبية العام :

$$ق = \frac{ج ك ك_أ}{ف^{٢}} \quad .... \quad (١)$$

ولأن وزن الجسم سيكون مساوياً لنصف وزنه على سطح الأرض فإن :

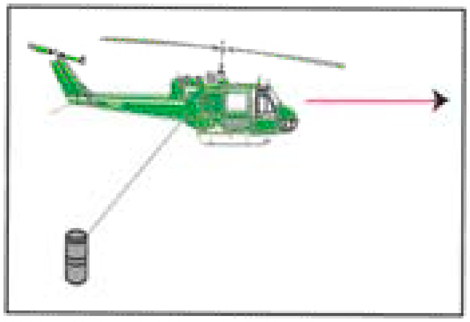
$$ق = \frac{١}{٢} جـ × ك \quad .... \quad (٢)$$

ومن (١) و (٢) نجد أن : ف =٦, ٩٠٥٧ كلم

إذاً : ارتفاع الجسم عن سطح الأرض = ف - $نق_أ$ = ٦, ٢٦٥٧ كلم

أسئلة الفصل الثالث

س١ – تحمل طائرة الدفاع المدني برميلاً من المواد المطفئة للنار لتنقله إلى مكان الحريق ولكنك عندما تنظر إليه محمولاً في الهواء تجده متأخراً عن الطائرة قليلاً فما سبب ذلك في رأيك ؟ شكل (٣–٣٥)



شكل ٣ – ٣٥

س٢ – احسب مقدار قوة الجذب بين كرتين معدنيتين كتلة كل منهما ١٠ كجم والمسافة بين مركزيهما متر واحد ، ثم احسب بعد ذلك نسبة هذه القوة إلى قوة جذب الأرض لأي منهما بافتراض أنهما على سطح الأرض .

س٣ – إذا علمت أن تسارع الجاذبية الأرضية ٩,٨ م/ ث^{٢} فكم تكون سرعة الجسم الساقط سقوطاً حراً بعد : ١ث ، ٢ث ، ٣ث ؟

س٤ – يعتبر احتكاك الأجسام مع الأرض معيقاً للحركة عليها ، ولكنه في نفس الوقت ضروري لها فكيف تفسر ذلك ؟

س٥ – إذا كانت الأرض تجذب التفاحة والتفاحة تجذب الأرض ، فاحسب تسارع الأرض نحو التفاحة إذا علمت أن : ك$_{م}$ = ٦ × ١٠^{٢٤} كجم ، وأن كتلة التفاحة ٠,٢ كجم .
(ماذا تلاحظ ؟) (٠,٣٣ × ١٠$^{-٢٤}$)

س٦ – احسب مقدار تسارع الجاذبية الأرضية للأرض إذا ضغطت كتلتها في كرة نصف قطرها ٢ سم .

س٧- وجد أن تسارع الجاذبية على سطح القمر يساوي سدس تسارع الجاذبية الأرضية ، فاحسب نسبة تسارع جاذبية الشمس إلى الجاذبية الأرضية ، إذا علمت أن كتلة الشمس = ١,٩٧ × $١٠^{٣٠}$ كجم ، وأن قطر الشمس يساوي ١٠٩ أضعاف قطر الأرض ، وأن $ك_ر$ = ٦ × $١٠^{٢٤}$ كجم (٢٧,٧).

س٨- تم تعليق جسمين متساويي الكتلة بخيط يمر على بكرة ملساء وعندما أضفنا كتلة قدرها ٣٠ جرام إلى أحد الجسمين تحركت المجموعة بتسارع قدره ٠,٤ م/$ث^٢$. ما هي كتلة كل من الجسمين ؟ وما مقدار قوة الشد في الخيط ؟

(٠,٣٥ ، ٠,٣٨ ، قش = ٣,٥٧)

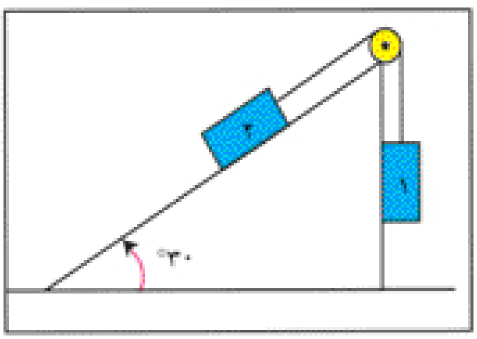
س٩- احسب مقدار وزنك في الأماكن التالية :

أ - على سطح الأرض

ب - على علو ٢٠٠ كلم عن سطح الأرض .

جـ - في الفضاء الخارجي بعيداً عن جميع النجوم والكواكب (افترض أن كتلتك ٧٠كجم)

س١٠- يتحرك جسمان كما هو موضح في الشكل (٣-٣٦)



شكل ٣ – ٣٦

فإذا كانت كتلة كل منهما ٢كجم ، فحدد اتجاه تسارع المجموعة واحسب مقداره إذا علمت أن معامل الاحتكاك بين الجسم (٢) والسطح هو ٠,١

س١١ – علق جسم كتلته ١٠ كجم في سقف مصعد شكل (٣-٣٧) فاحسب مقدار الشد في الحبل في الحالات التالية:

أ - إذا كان المصعد ساكناً .

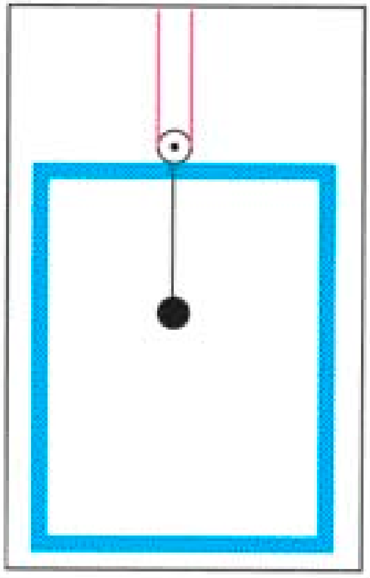
ب - إذا كان المصعد صاعداً إلى الأعلى بسرعة ثابتة قدرها ٢ م/ث .

جـ - إذا كان المصعد صاعداً إلى الأعلى بتسارع قدره ٢ م/ث^{٢} .

د - إذا كان المصعد نازلاً إلى الأسفل بتسارع قدره ٢ م/ث^{٢} .

هـ - إذا كان المصعد نازلاً إلى الأسفل بتسارع قدره ٩,٨ م/ث^{٢} .

(٩٨ – ٩٨ – ١١٨ – ٧٨ – صفر)

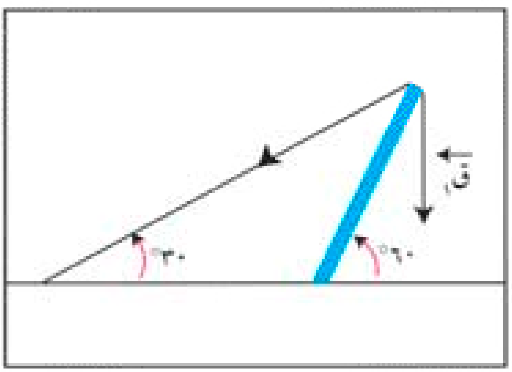


شكل ٣ – ٣٧

س١٢ – أعط أمثلةً لأجسام ليست في حالة توازن رغم كون محصلة القوى المؤثرة عليها تساوي صفراً ؟

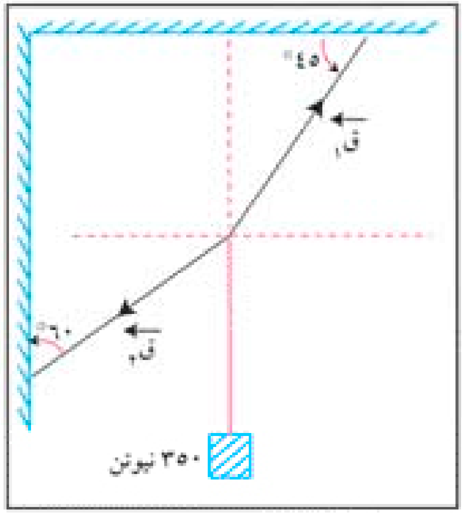
س١٣ – في الشكل (٣-٣٨) احسب مقدار القوة التي يدفع بها اللوحُ الحبلَ ، وكذلك قوة الشد في الحبل إذا علمت أن ق$_{١}$ = ٢٠٠ نيوتن .

(قش = ٢٠٠ ، ق$_{ر}$ = ٣٤٦,٤)



شكل ٣ – ٣٨

س١٤- في الشكل (٣-٣٩) احسب كلاً من $ق_١$ ، $ق_٢$



شكل ٣ - ٣٩

س١٥- علق جسمان كتلتاهما ٠,٢٤ ، ٠,٢٥ كجم في خيط خفيف يمر على بكرة ملساء ، فإذا تحركت المجموعة من السكون فأوجد :

أ- تسارع المجموعة . (٠,٢)

ب- قوة الشد في الخيط . (٢,٤).

جـ- المسافة الرأسية بينهما بعد ثانيتين إذا كانت إحداهما تعلو الأخرى بمقدار ٢٠سم عند بدء الحركة . (١).

س١٦ - أطلقنا جسماً كتلته ١ كجم من أسفل سطحٍ مائلٍ بسرعة قدرها ١٠ م/ث ، فإذا كان ميل السطح يشكل زاوية ٤٥° مع الخط الأفقي . فاحسب :

أ- زمن صعود الجسم . (١,٤٥) - (١,٢)

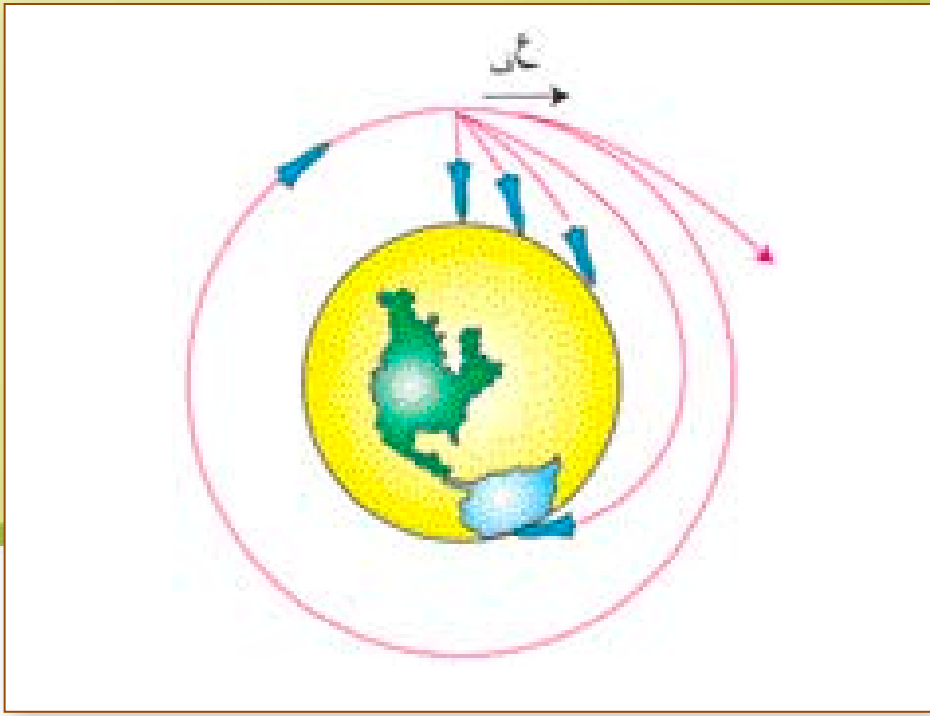
ب- المسافة التي يقطعها . (٧,٢) - (٦)

جـ- زمن نزول الجسم . (١,٤٥) - (١,٦١)

د- قارن بين زمن الصعود وزمن النزول . (متساويان - غير متساويين).

هـ- إذا كان معامل الاحتكاك ٠,٢ ، فأعد حساب الفقرات السابقة ، ثم قارن بين نتائج الفقرة (د) في كلتا الحالتين . ماذا تستنتج ؟

الفصل الرابع :



الــشـــغــل والــطـــاقة

أهــداف الفصــل الـرابـع :

بعد دراستك لهذا الفصل سوف تكون قادراً على أن :

-١ تعرّف الشغل.
-٢ تحّسب مقدار الشغل لقوة ما.
-٣ تذكر وحدة قياس الشغل.
-٤ تحسب مقدار الشغل لقوة ما بيانياً.
-٥ تفرّق بين العزم والشغل.
-٦ تعرّف القدرة.
-٧ تذكر وحدة القدرة.
-٨ تعرّف الواط.
-٩ تعرّف الطاقة.
-١٠ تحسب الطاقة الحركية والكامنة لجسم ما.
-١١ تذكر نص نظرية الشغل والطاقة.
-١٢ تطبق نظرية الشغل والطاقة.
-١٣ تشتق قانون حفظ الطاقة.
-١٤ تعرّف كمية الحركة.
-١٥ تذكر وحدة قياس كمية الحركة.
-١٦ تحسب مقدار كمية الحركة لجسم.
-١٧ تعرّف الدفع.
-١٨ تذكر وحدة قياس الدفع.
-١٩ تحسب مقدار الدفع.
-٢٠ تشتق قانون حفظ كمية الحركة.
-٢١ تطبق قانون حفظ الطاقة.
-٢٢ تعرف التصادم المرن.
-٢٣ تحسب السرعة الكونية الأولى للأقمار الصناعية.
-٢٤ تحسب السرعة الكونية الثابتة للمركبات الفضائية.

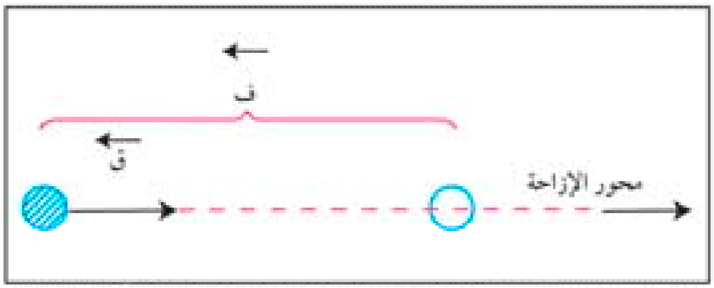
الشغل

يستعمل الشغل كمصطلح اجتماعي في التعبير عن ارتباط الإنسان بعمل ما ، كزيارة قريب ، أو شراء حوائج من السوق ، أو حل واجبات مدرسية أو غير ذلك ، غير أننا نعني بالشغل هنا مصطلحاً فيزيائياً ذا دلالة خاصة .

نقول عن قوة ما إنها أحدثت شغلاً إذا أثرت على جسم ما فسببت له إزاحة .

ويعطى مقدار الشغل في هذه الحالة ـ مبدئياً ـ بالعلاقة التالية :

شغ = ق × ف (إذا كانتا على محور واحد) . شكل (٤ـ١)



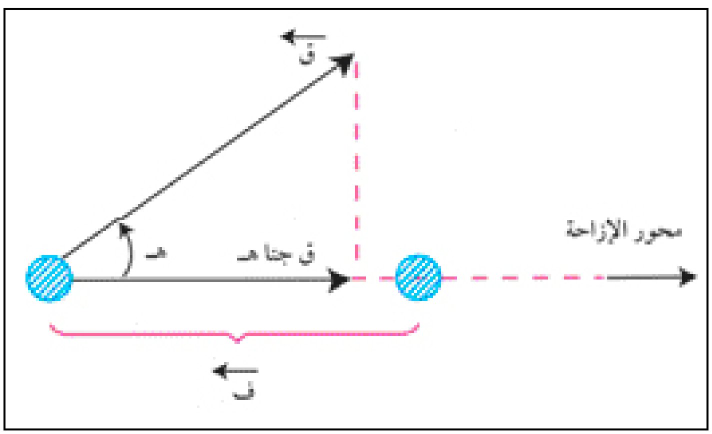
شكل ٤-١

ويقاس الشغل بوحدة تسمى جول حيث :

جول = نيوتن . م .

ولكن كيف يمكننا حساب مقدار الشغل إذا لم تكن ق ، ف على نفس المحور .

بالنظر إلى الشكل (٤ـ٢)



شكل ٤-٢

نرى أن للقـوة (ق) مـركـبـة قـدرها ($\overleftarrow{\text{ق جتـا هـ}}$) تعـمل على نفس المحـور الذي تقع عليـه الإزاحــة ، وفي هذه الحالة فإن :

شغ = (ق جتا هـ) × ف

شغ = ق . ف جتا هـ

شغ = $\overleftarrow{\text{ق}}$. $\overleftarrow{\text{ف}}$ . . . . (٤-١)

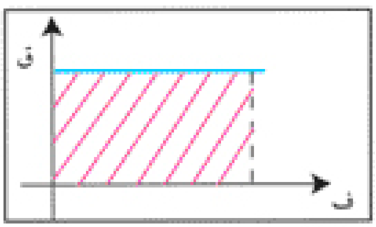
وهذه هي الصورة الرياضية العامة للشغل الذي تقوم به قوة ثابتة ($\overleftarrow{\text{ق}}$) تسبب إزاحة ($\overleftarrow{\text{ف}}$) .

والآن يمكننا القول : إن مقدار الشغل يساوي حاصل الضرب القياسي للقوة في الإزاحة ومنه نستنتج أن الشغل كميةٌ قياسيةٌ . (لاحظ أن مركبة القوة ق جا هـ لا تسبب إزاحة للجسم وبالتالي الشغل الناتج عنها = صفر)

حساب الشغل بيانياً

سوف نحاول الآن حساب مقدار الشغل بيانياً باستخدام منحنى (ق ـ ف) .

أ ـ حساب الشغل لقوة ثابتة المقدار :



شكل -٤ ٣

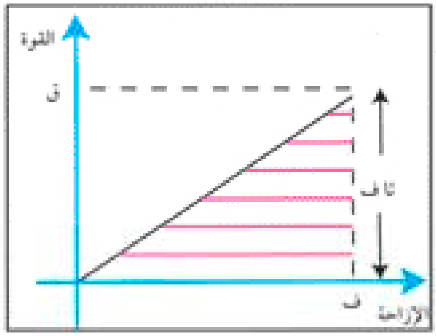
يمثل الخط المستقيم في الشكل (٤-٣) منحنى رياضياً يعبر عن قوة ثابتة المقدار والاتجاه تؤثر على جسم فتسبب له إزاحة ($\overleftarrow{\text{ف}}$) في نفس اتجاه القوة المؤثرة .

وبالرجوع إلى تعريف الشغل ، وعندما هـ = صفر فإن :

شغ = ق × ف = العرض × الطول = المساحة تحت المنحنى في شكل (٤-٣)

إذاً : الشغل بيانياً = المساحة تحت المنحنى في منحنى (ق ـ ف) .

ب ـ حساب الشغل لقوة متغيرة (شغل النابض) :



شكل -٤ ٤

تمثل لهذه الحالة بقوة الشد المؤثرة على النابض حيث تزداد بازدياد الإزاحة الحاصلة له، حسب قانون هوك : ق = ثا ف . شكل (٤ - ٤)

لاحظ أن قوة الشد المؤثرة على النابض هي : ق = ثا ف .

حيث ثا : ثابت التناسب ويسمى بمعامل الصلابة أو ثابت القوة .

ف : الاستطالة الحاصلة (الإزاحة) نتيجة تأثير القوة .

أما قوة الشد في النابض نفسه فهي : ق = − ثا ف . (لماذا ؟)

والآن عندما نرسم منحنى هذه القوة المؤثرة على النابض بدلالة الإزاحة (الاستطالة) فإننا سنحصل على الشكل (٤ـ٤).

وهنا أيضاً : الشغل = المساحة تحت المنحنى .

إذاً : الشغل = مساحة المثلث = $\frac{١}{٢}$ القاعدة × الارتفاع .

= $\frac{١}{٢}$ ف × (ثا ف) = $\frac{١}{٢}$ ثا ف^{٢}

إذاً : الشغل المبذول على النابض = $\frac{١}{٢}$ ثا ف^{٢} .

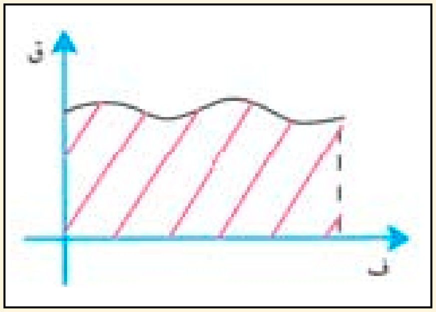
لاحظ أننا لو عوضنا مباشرةً في قانون الشغل فسوف نجد أن :

شغ = ق × ف = (ثا ف) ف = ثا ف^{٢} ، وهذه نتيجةٌ خاطئةٌ فلماذا ؟

لمعلـومـاتــك :

في حـالة وجـود قـوة متـغـيـرة كـمـا في الشـكل (٤-٥) فإن : الشغل = المساحة تحت المنحنى .

وفي هذه الحالة يمكننا حساب المساحة باستخدام مفـهـوم التـكامل الرياضي للدالة (ق) في (ف) ، وهو المفـهـوم الذي ستـدرسـه في العـام القـادم في منهـج مـادة الرياضيـات إن شـاء الله تعـالى .



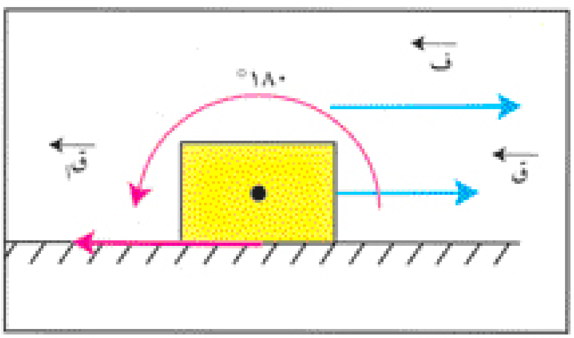
شكل -٤ ٥

حيث شغ = $\int$ ق . د ف

أشغال القوى المختلفة :

١ ـ شغل قوى الاحتكاك (شغ$_{\text{أ}}$) :

باستـخـدام التـعـريـف العـام للشـغل يمكننا إثبات أن : شغ$_{\text{أ}}$ = − ق$_{\text{أ}}$ × ف وهو سـالـب المقدار وسبب الإشـارة السـالبة عائدٌ إلى أن اتجاه قـوة الاحـتكاك معـاكس لاتجاه الإزاحة الحاصلة شكل (٤-٦) أي ينبغي بذل شـغل لمقـاومـة الاحـتكاك إذا أردنا تحريك الجسم . (وضح ذلك)



شكل -٤ ٦

٢ ـ شغل مقاومة الاحتكاك (شغ م$_{\text{أ}}$) :

الشغل المبذول لمقاومة الاحتكاك = ق$_{\text{أ}}$ × ف (وضح ذلك)

٣ـ شغ الجاذبية الأرضية (شغ$_{جـ}$) :

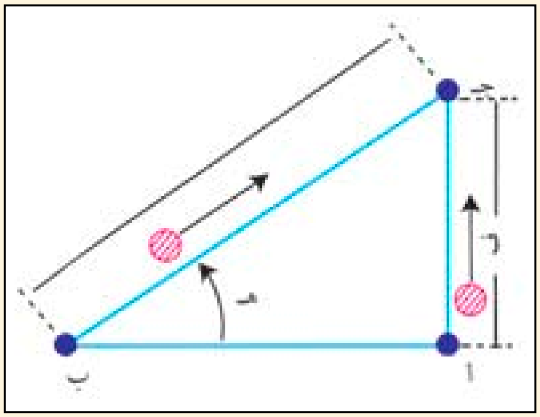
شغ$_{جـ}$ = (جـك) × ف حيث ف هنا تعبر عن الارتفاع العمودي عن سطح الأرض.

أي أن شغ$_{جـ}$ يعتمد على ك ، ف

تدريب (٤ – ١) :

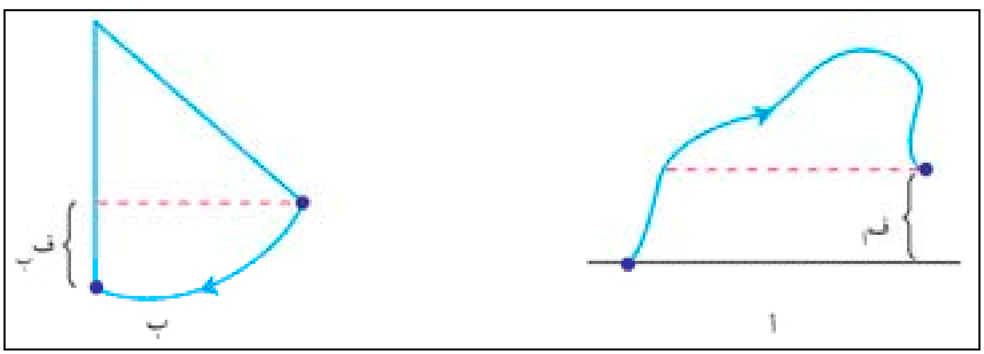
أثبت أن :

شغ (أ جـ) = شغ (ب جـ) وذلك عند إهمال الاحتكاك شكل (٤–٧) .



شكل ٤–٧

نستنتج مما سبق أن الشغل المبذول ضد الجاذبية الأرضية لرفع جسم معين لا يعتمد على المسار بين نقطة البداية ونقطة النهاية لموضوع الجسم ، إنما يعتمد على الارتفاع بينهما فقط شكل (٤–٨)



شكل ٤–٨

٤ ـ شغل النابض :

الشغل الذي يبذله النابض = $\frac{-١}{٢}$ ثا ف^{٢} (ماسبب وجود الإشارة السالبة ؟)

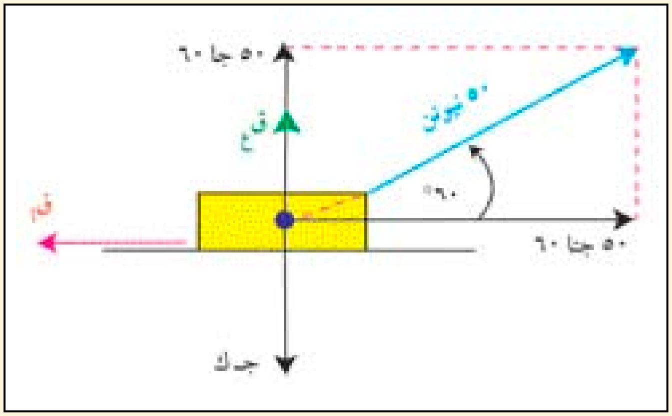
الشغل المبذول لمط النابض = $\frac{١}{٢}$ ثا ف^{٢}

ملحوظـة :

عندما تؤثر قوةٌ قدرها (ق) على جسم لتزيحه على أرض أفقية فإن هذه القوة تبذل شغلاً يصرف جزءٌ منه في مقاومة الاحتكاك ، أما الجزء الآخر فإنه يظهر على شكل تسارع في حركة الجسم (يكسب الجسم طاقة حركية).

إذاً : الشغل الكلي للقوة = الشغل المبذول لمقاومة الاحتكاك + الشغل المبذول لتسارع الجسم .

مـثـــال (٤ – ١) :



شكل –٤ ٩

يسحب رجل جسماً كتلته ١٠ كجم انطلاقاً من السكون على أرض أفقية بقوة مقدارها ٥٠ نيوتن واتجاهها يشكل زاوية قدرها ٦٠° مع الأفقي ، فإذا علمت أن معامل الاحتكاك بين الجسم والأرض يساوي ٢ , ٠ فاحسب :

أ ـ تسارع الجسم .   ب ـ المسافة المقطوعة خلال عشر ثوانٍ .

جـ الشغل الذي يبذله الرجل خلال عشر ثوانٍ أيضاً .

الحل :

أ ـ حساب التسارع :

$$ت = \frac{٥٠ \text{ جتا} ٦٠ - ق_{أ}}{ك} \qquad \text{ولكن } ق_{أ} = أ ق_{ع}$$

ومن الشكل يتضح أن : $ق_{ع} = جـ \times ك - ٥٠ \text{ جا} ٦٠$

$$\text{إذاً : } ت = \frac{٥٠ \text{ جتا} ٦٠ - أ(جـ ك - ٥٠ \text{ جا} ٦٠)}{ك} = ١ , ٤ \text{ م/ث}^٢$$

ب ـ حساب المسافة المقطوعة بعد عشر ثوانٍ :

$$ف = ع_{.} \, ز + \frac{١}{٢} ت ز^٢ \Longleftarrow ف = \frac{١}{٢} ت ز^٢ \Longleftarrow ف = ٧٠ \text{م} .$$

جـ ـ الشغل الذي يقوم به الرجل :

شغ = ق $_{\text{للرجل}}$ × جتا ٦٠ × ف

= ٥٠ × ٠,٥ × ٧٠ = ١٧٥٠ جول

القدرة (قد) :

شكل ٤-١٠

كلفنا البناءين أ ، ب ببناء سور المدرسة فوجدنا أن أحدهما قد أنجز بناء ٢٤٠ لبنةً خلال ساعتين في حين أن الآخر أنجز بناء ١٥٠ لبنةً خلال خمسين دقيقة .

فأي البناءين ذو قدرة أكبر على البناء ؟

يمكننا المقارنة عندما نعرف عدد اللبنات التي ينجزها الواحد منهما خلال دقيقة مثلاً .

فالبناء الأول سينجز : $\frac{٢٤٠}{١٢٠}$ = ٢ لبنة / دقيقة .

والبناء الثاني سينجز : $\frac{١٥٠}{٥٠}$ = ٣ لبنة / دقيقة .

إذاً : البناء الثاني ذو قدرة أكبر على البناء .

إذاً سوف نعرف القدرة بأنها مقدار الشغل المنجز خلال وحدة الزمن .

أي أن : $\text{قد} = \dfrac{\text{شغ}}{\text{ز}}$ . . . . (٤ ـ ٢)

ووحدة قياس القدرة هي الواط = جول/ ث .

ويعرف الواط ـ بالربط بين صيغة الكميات وصيغة الوحدات ـ كما يلي :

الواط هو قدرة إنسان أو آلة تنجز شغلاً مقداره جول واحد خلال زمن قدره ثانية واحدة.

(لاحظ أنه لا بد من مرورنا في التعريف على العناصر الستة الموجودة في الصيغتين) .

وهناك وحدات أخرى لقياس القدرة منها :

كيلوواط = 10^{3} واط ، ميغاواط = 10^{6} واط . حصان ميكانيكي = ٧٤٦ واط .

مــثـــــال (٤ – ٢)

يرفع رجلٌ جسماً كتلته ١٠ كجم إلى علو مترين فاحسب ما يلي :

أ ـ قدرته إذا رفع الجسم خلال دقيقة .

ب ـ قدرته إذا رفع الجسم خلال ٣٠ ث .

جـ ـ قدرته إذا ظل ممسكاً بالجسم عند هذا الارتفاع لمدة ساعة . (بغض النظر عن الشغل المبذول لرفع الجسم) .

الحل :

أ ـ $\text{قد} = \dfrac{\text{الشغل}}{\text{الزمن}} = \dfrac{\text{جـ} \times \text{ك} \times \text{ف}}{\text{ز}_1} = ٣,٢٧$ واط .

ب ـ قد = $\dfrac{\text{جـ} \times \text{ك} \times \text{ف}}{\text{ز}^{2}}$ = ٦,٥٤ واط .

جـ ـ قد = $\dfrac{\text{صفر}}{\text{ز}}$ = صفر . (لماذا؟)

تدريب (٤ – ٢) :

عندما تذهب لشراء مكنسة كهربائية أو غسالة مثلاً ، وتجد أمامك نوعين أحدهما كتب عليها : 2000 WATT والأخرى 1500 WATT فعلى ماذا تدل هذه الأرقام ؟ وأيهما تفضل ؟ ولماذا؟ ____

____

الطاقة

نقول عن السيارة المتحركة إنها تملك طاقة حركية ، ونقول عن الشمس إنها تصدر طاقة ضوئية ، ونقول عن المذياع إنه يصدر طاقة صوتية ، و . . . . . . الخ

فهل الطاقة هي الحركة أم الضوء أم الصوت أم ماذا ؟

هل يمكن أن تكون الطاقة هي هذه الأشياء المختلفة جميعاً وفي نفس الوقت ؟ أم ماذا ؟

نعم إن الطاقة لها عدة صور ولا تعرف ماهيتها .

وقفة تأمل

بالرغم مما توصل له الإنسان من علم فإنه لا يزال يجهل ماهية أكثر الأشياء التي يتعامل معها ﴿ وَمَآ أُوتِيتُم مِّنَ ٱلۡعِلۡمِ إِلَّا قَلِيلٗا ﴾ في رأيك كيف يدعم هذا الجهل بماهية الطاقة بل والمادة أيضاً إيمان المسلم بعالم الغيب الذي نزل به الوحي السماوي ؟

تعريف الطاقة :

دعنا نتفق على تعريف الطاقة بأنها : المقدرة على القيام بشغل ما ، وهي كميةٌ قياسيةٌ تقاس بالجول .

وكل جسمٍ قادرٍ على القيام بشغل ما ، نقول إن له طاقة .

وتتنوع الطاقة في عالمنا المشاهد فهناك الطاقة : الحركية ـ الكامنة ـ الحرارية ـ الضوئية ـ الصوتية ـ النووية ـ الكهربائية ـ المغناطيسية ـ الكيميائية . .

إلا أننا هنا سنقتصر في دراستنا على نوعين فقط هما : الطاقة الحركية والكامنة .

١ . الطاقة الحركية (طح) :

وهي طاقة الجسم الناشئة عن حركته وتعطى بالعلاقة التالية :

$$\text{طح} = \frac{1}{2}\ \text{ك ع}^{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ (٤ـ٣)$$

حيث : (ك) كتلة الجسم (كجم) . ، ع : سرعته (م/ ث)

تدريب (٤ – ٣) :

أثبت أن وحدة الطاقة الحركية هي الجول . (في جملة الوحدات الدولية **SI**)

----

٢ . الطاقة الكامنة (طك) :

وهي طاقة الجسم الناشئة عن وضعه أو شكله أو تركيبه الكيميائي أو النووي . . . .
وسوف نتحدث هنا فقط عن الطاقة الكامنة الناشئة عن الجاذبية الأرضية والتي تعطى

بالعلاقة : طك = جـ ك ف . . . (٤ ـ ٤) .

حيث ف : ارتفاع الجسم عن سطح الأرض .
(التعامل مع هذا القانون يقتضي اعتبار الطاقة الكامنة عند سطح الأرض مساوية للصفر) .
وحدة الطاقة الكامنة هي الجول أيضاً .

نظرية الشغل والطاقة

سبق لنا تعريف الشغل اعتماداً على كميات متجهة (القوة ، الإزاحة)، وسنحاول هنا دراسته من جهة علاقته بالطاقة ، مما يتيح لنا مدى أوسع في دراسة حركة الجسم ، حيث يصح تطبيق هذه النظرية على الجسم المتحرك ذي السرعة الثابتة والجسم المتحرك بتسارع منتظم أو غير منتظم ، في حين لا يمكننا تطبيق معادلات الحركة الخطية وقانون نيوتن الثاني إلا على جسم ذي تسارع منتظم (ثابت) . كما أن التعامل مع الشغل والطاقة وهي كميات قياسية هو أسهل بكثير من التعامل مع القوى التي تمثل كميات متجهة .

وتنص نظرية الشغل والطاقة على ما يلي :

« إن المجموع الجبري للأشـغال المبذولة على الجسم يساوي مقدار التـغير في طاقته الحركية مضافاً إلى مقدار التغير في طاقته الكامنة حسب العلاقة التالية :

$\sum$ شغ = Δ طح + Δ طك . . . . . . (٤ـ٥) .

(ويمكننا كتابة Δطك بالشكل : جـ ك (Δف))

ملحوظات على تطبيق العلاقة (٤ ـ ٥) :

١ ـ $\sum$ شغ : المجموع الجبري للأشـغال بحيث يكون الشغل المساعد على الحـركة موجباً ، والشغل المعيق لها سالباً عند التعويض عن قيم الأشغال .

٢ ـ لا نكتب شغل الجاذبية الأرضية في الطرف الأيمن للعلاقة (٤ ـ ٥) لأنه يمثل Δ طك في الطرف الأيسر .

٣ ـ يمكننا كتابة النظرية السابقة على الشكل التالي :

$\sum$ شغ = ط$_2$ ـ ط$_1$ (وضح ذلك)

حيث الطاقة الميكانيكية للجسم ط = (طح + طك)

وهذه الصـورة تدل على أن التـغير في الطاقة الميكانيكيـة لجسم مـا يساوي المجـموع الجبري للأشغال المبذولة عليه ، أو نقول إن الشغل المبذول على جسم ما يظهر على صوره تغير في طاقته الميكانيكية .

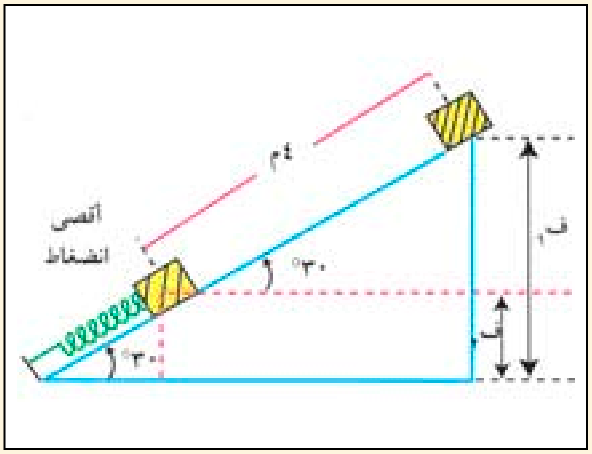
إذاً لا يوجد تغير في الطاقة إلا بشغل مبذول ، ولا شغل إلا بتغير في الطاقة .

مثـــال (٤ – ٣) :

في الشكل (٤-١١) إذا انطلق الجسم من السكون إلى أسفل السطح فاحسب :

أ- مقدار التغير في طول النابض (Δ ل) نتيجة انضغاطه .

ب- المسافة التي يرتدها الجسم إلى أعلى المستوى بعد اصطدامه بالنابض .



شكل ٤- ١١

إذا علمت أن :

ك = ٢ كجم ، أ = ٠,١   ثابت النابض = ١٠٠٠ نيوتن/ م .

الحل : أ : حساب (Δ ل) :

Σ شغ = Δ طح + Δ طك .

Σ شغ = شغ$_{أ}$ + شغ$_{النابض}$

⟸ شغ$_{أ}$ + شغ$_{النابض}$ = Δ طح + Δ طك ...... (١)

شغ$_{أ}$ = – ق$_{أ}$ف = – أ × ق$_{ع}$ × ف

= – أ (جـك جتا ٣٠) × ف

شغ$_{أ}$ = –٠,١ (٩,٨ × ٢ جتا٣٠) × ٤ = –٦,٧٨ جول .... (٢)

، شغ$_{النابض}$ = – $\frac{١}{٢}$ × ثا × (Δل)^{٢}

$= -\frac{١}{٢} \times ١٠٠٠\ (\Delta ل)^{٢} = -٥٠٠\ (\Delta ل)^{٢}$ . . . . . (٣)

لاحظ هنا أن سبب وجود الإشارة السالبة هو كون شغل النابض معيقاً للحركة.

Δ طح = صفر . . . . (لماذا؟) . . . . (٤)

Δ طك = طك$_{٢}$ - طك$_{١}$ = جـ ك (ف$_{٢}$ - ف$_{١}$)

ومن الشكل نجد أن جا ٣٠ = $\frac{ف_{١} - ف_{٢}}{٤}$

إذاً : ف$_{١}$ - ف$_{٢}$ = $\frac{٤}{٢}$ = ٢م

$\Leftarrow$ ف$_{٢}$ - ف$_{١}$ = - ٢ م

إذاً : Δ طك = جـك (-٢) = - ٩,٨ × ٤ = -٣٩,٢ جول . . . . (٥)

ومن (٢) ، (٣) ، (٤) ، (٥) في (١) يمكننا حساب التغير في طول الزنبرك (Δ ل)

٦,٧٨ - ٥٠٠ $(\Delta ل)^{٢}$ = صفر -٣٩,٢

$\Leftarrow$ Δل = ٠,٢٥م

ب - حساب المسافة (فَ) التي سيرتدها الجسم شكل (٤ - ١٢)

Σ شغ = Δ طح + Δ طك

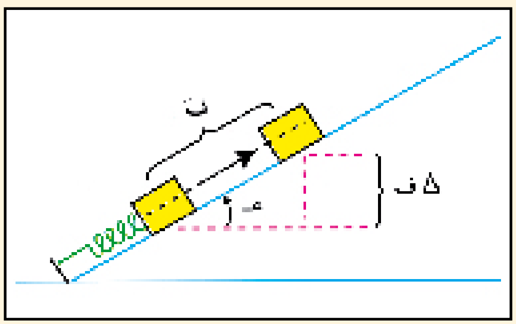
شغ$_{ز}$ + شغ$_{نابض}$ = Δطح + Δطك ...(١)

Δ طح = صفر .... (٢) (لماذا؟)

Δ طك = جـــ ك (Δ ف).... حيث(Δف) هي الارتفاع العمودي الذي سيقطعه الجسم عند ارتداده.

ولكن Δ ف = فَ جا٣٠ = $\frac{١}{٢}$ فَ

$\Leftarrow$ Δطك =جــ ك ($\frac{١}{٢}$ فَ) = ٩,٨ فَ ....(٣)



شكل -٤ ١٢

شغ$_{أ}$ = - أ (ق$_{ع}$) فَ

= - أ (جـك جتا ٣٠) فَ = -١,٧ فَ ....(٤)

شغ$_{النابض}$ = $\frac{١}{٢}$ ثا (Δ ل)^{٢} = +٣١,٢٥ جول ....(٥)

لاحظ هنا أن شغل النابض سيكون موجباً لأنه مساعدٌ على الحركة إلى الأعلى.

وبالتعويض عن (٢) ، (٣) ، (٤) ، (٥) في (١) :

-أ (جـك جتا ٣٠) فَ + $\frac{١}{٢}$ ثا (Δ ل)^{٢} = صفر + جـك ف

ولكن من الشكل : ف = فَ جا ٣٠

-أ (جـك جتا ٣٠) فَ + $\frac{١}{٢}$ ثا (Δ ل)^{٢} = جـك (فَ جا ٣٠)

وكل هذه الكميات معلومةٌ سوى فَ

إذاً : فَ = ٢,٧٢ م

أي أن الجسم سيرتد إلى الأعلى مسافة ٢,٧٢ متر وليس إلى نفس الارتفاع الذي نزل منه وذلك بسبب وجود الاحتكاك .

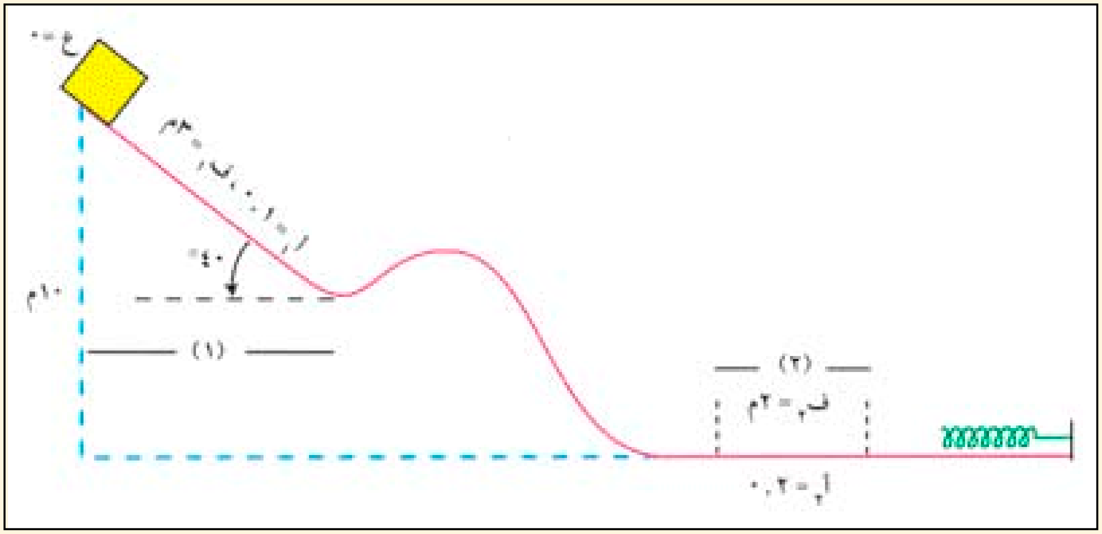
مـثـــــال (٤ - ٤) :

في الشكل (٤-١٣) احسب مقدار ثابت النابض ، إذا علمت أنه ضغط بمقدار ٣٠ سم بفعل الجسم المنزلق ، وأن كتلة الجسم ١ كجم .

(لاحظ وجود منطقتين للاحتكاك في مسار الجسم هما المنطقة (١) ، (٢))

الحـل :

هذا المثال يدرس حالة جسم له طاقةٌ كامنةٌ ، انزلق فأثرت عليه قوى الاحتكاك وبذلت عليه شغلاً ، ثم اصطدم بالنابض فبذل عليه هو الآخر شغلاً لإيقافه ، إذاً نحن ندرس علاقة الطاقة الميكانيكية للجسم بالأشغال المؤثرة ، وهذا هو موضوع نظرية الشغل والطاقة .



شكل -٤ ١٣

من نظرية الشغل والطاقة نعلم أن :

$\sum$ شغ = Δ طح + Δ طك

شغ$_{\text{النابض}}$ + شغ$_{\text{أ١}}$ + شغ$_{\text{أ٢}}$ = Δ طح + Δ طك .... (١)

وسنحاول الآن حساب كلٍ من هذه الكميات على حدة

شغ$_{\text{أ١}}$ = −ق$_{\text{أ١}}$ × ف$_{\text{١}}$ = −أ$_{\text{١}}$(ق$_{\text{ع}}$) × ف$_{\text{١}}$ = −٠,١ × (جـك جتا٤٠) × ٣

=−٢,٢٦ جول ...... (٢)

شغ$_{\text{أ٢}}$ = −ق$_{\text{أ٢}}$ × ف$_{٢}$ = −أ$_{٢}$(ق$_{\text{ع}}$) × ف$_{٢}$ = −٢,٠ × (جـ ك) × ٢ = −٣,٩٢ جول . . . . (٣)

شغ$_{\text{الزنبرك}}$ = −$\frac{١}{٢}$ ثا $(\Delta\text{ل})^{٢}$ = −$\frac{١}{٢}$ × ثا × $(٠,٣)^{٢}$ = −٠,٠٤٥ × ثا . . . . .(٤)

Δ طح = صفر (لماذا ؟) . . . . (٥)

Δ طك = طك$_{٢}$ − طك$_{١}$

= ٠ − جـ × ك × ١٠ = −٩٨ جول . . . . (٦)

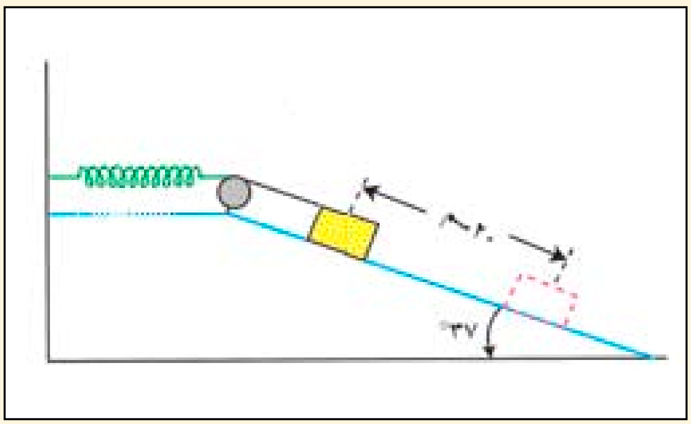
وبالتعويض عن ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ في ١ نجد أن :

−٠,٠٤٥ × ثا −٢,٢٦ − ٣,٩٢ = −٩٨

إذاً : ثا = ٢٠٤٠,٤٤ نيوتن / م

تدريب (٤ – ٤) :

وضعت كتلةٌ مقدارها ٢ كجم على مستوى مائل خشن يميل على الأفقي بزاوية قدرها ٣٧° وربطت بنابض مهمل الوزن وثابت الصلابة له ١٠٠ نيوتن / م.



شكل ٤-١٤

فإذا انزلقت من السكون عندما كان النابض بطوله الطبيعي، وتحركت مسافة ٢٠ سم قبل أن تسكن ، فاحسب مقدار معامل الاحتكاك بين الكتلة والمستوى المائل . إذا كانت البكرة ملساء . انظر الشكل(٤-١٤) (أ = ٠,١١)

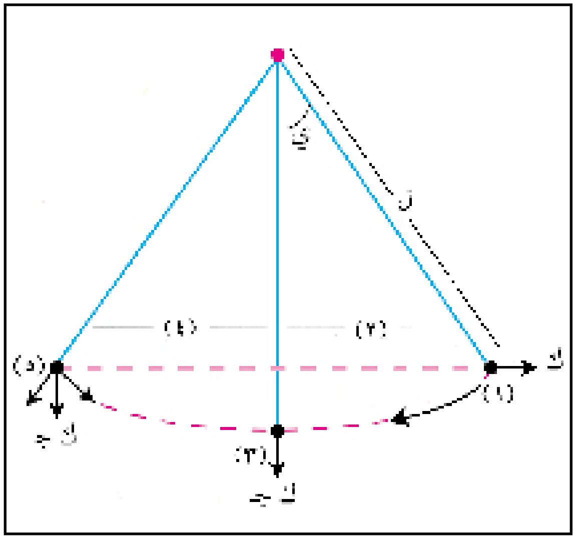
تحول الطاقة الميكانيكية من نوع إلى آخر

البندول البسيط*

الشكل (٤–١٥) يوضح بندول بسيط طوله (طول خيطه) ل وكتلة كرته ك ، أزيحت كرة البندول إلى اليمين ثم تركت.

يمكننا تبيين تحولات الطاقة من كامنة إلى حركية والعكس بالجدول التالي :

	(١)	– ٢ –	(٣)	– ٤ –	(٥)
طح	صفر	تتزايد	كبرى	تتناقص	صفر
طك	كبرى	تتناقص	صفر	تتزايد	كبرى



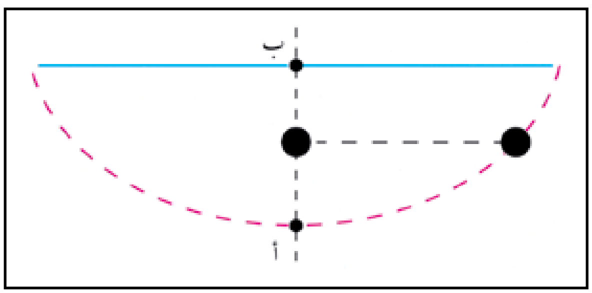
شكل ٤-١٥

حساب الطاقة في البندول:

١ ـ طك = جـ ك ف

ولكن أين هي ف ، انظر إلى الشكل (٤–١٦) وحاول تحديدها .

س : يمكننا استنتاج أن ف هي المسافة التي يصعدها ظل الجسم على الخط أ ب ، أي هي المسافة صعوداً وضح ذلك .



شكل ٤-١٦

* يسمى البندول في الشكل (٤–١٥) بندول بسيط ويمكننا الحصول على بندول مركب عندما نستبدل الخيط أو جزء منه بنابض .

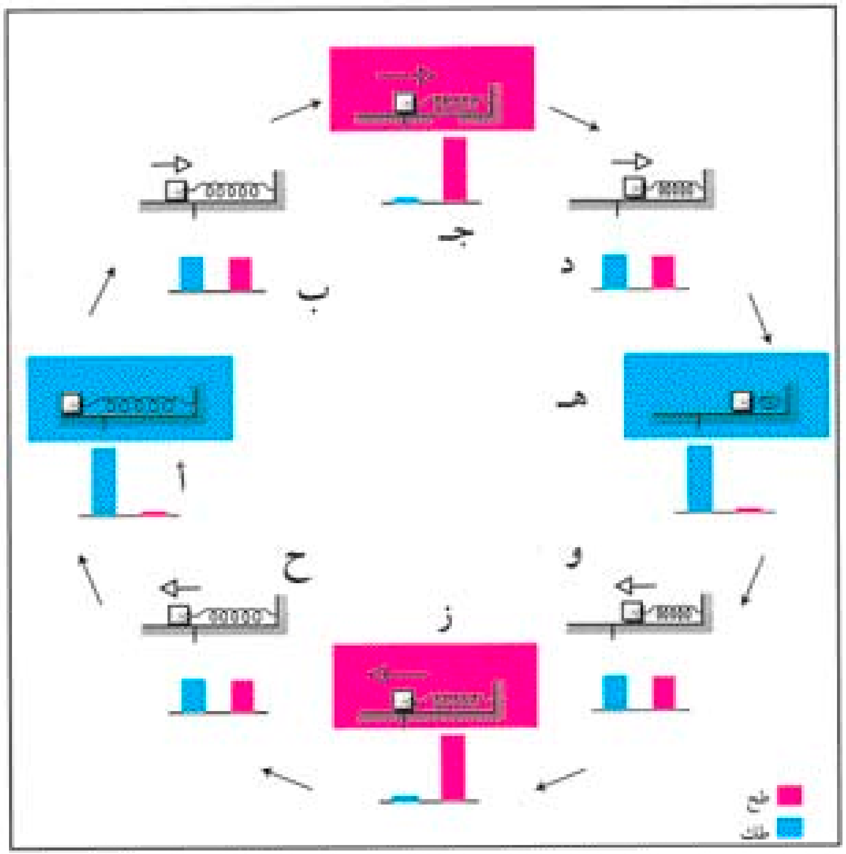
٢ - طح = $\frac{1}{2}$ ك ع^{2}

س : يمكننا استنتاج أن ع^{2} = ٢ جـ ف حيث ف هي المسافة التي ينزلها ظل الجسم على الخط (أ ب) فهل يمكنك توضيح ذلك ؟

س : لاحظ أن مجموع (طح + طك) عند أي نقطة من مسار الحركة يساوي قيمة ثابتة (عند إهمال الاحتكاك) فهل تستطيع تفسير ذلك؟

تحول الطاقة في النابض :

تتحول الطاقة من كـــــامنة في (النابض والجـــسم) إلى حــركـيـــة في (النابض والجـــسم) والعكس ، ويمكنك متابعة هذا التحول بالنظر إلى الشكل (٤-١٧) .



شكل ٤-١٧

والطاقة الكامنة في النابض فإنها تساوي مقدار الشغل المبذول في شده أو ضغطه .

إذاً : طك للنابض = $\frac{١}{٢}$ ثاف^{٢}

(تماماً مثل الطاقة الكامنة لجسم عند رفعه ، فإنها تساوي مقدار الشغل المبذول عليه) .

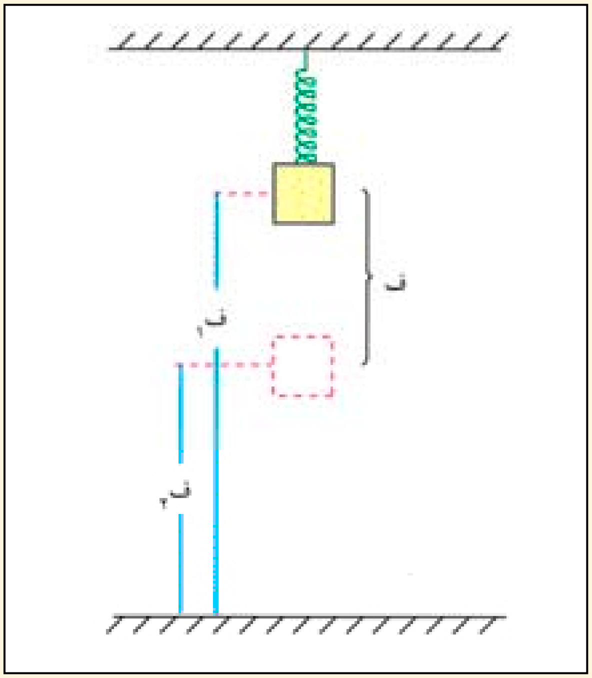
س : عند معرفتك لـ طك كيف يمكنك حساب طح عند أي لحظة في البندول ؟

مـثـــال (٤ - ٥)

في الشكل (٤-١٨) تم تعليق جسم كتلته كيلو جرام واحد بطرف نابض ثابته : ٢٠٠ نيوتن / م ، وطرفه الأعلى معلق بنقطة ثابتة .

أ- إذا تم إنزال الجسم بسرعة خفيفة ثابتة حتى استقر في حالة توازن، فاحسب تمدد النابض في هذه الحالة .

ب- إذا تركنا الجسم حراً ، فما التمدد الأقصى للنابض عندها ؟



شكل -٤ ١٨

الحـل :

أ- عند إنزال الجسم بسرعة ثابتة فإنه سيكون تحت تأثير اتزان قوتين هما قوة الشد في النابض ، وقوة جذب الأرض له .

أي أن : ثا × ف = جـ × ك

$$\Leftarrow \text{ف} = \frac{\text{جـ} \times \text{ك}}{\text{ثا}} = \frac{١ \times ٩,٨}{٢٠٠} = ٠,٠٤٩ \text{ م}$$

ب ـ أما عند ترك الجسم حراً فإن الذي سيحصل هو تحول في الطاقة الكامنة للجسم إلى طاقة كامنة في النابض نتيجة شده ، أو نقول إن الشغل المبذول على الزنبرك الناتج عن شده يساوي التغير في الطاقه الكامنة للجسم .

وعندما نستخدم نظرية الشغل والطاقة فإن هذا المعنى سيتضح بجلاء .

$$\text{ﻉ شغ} = \Delta\,\text{طح} + \Delta\,\text{طك}$$

$\text{شغ}_{\text{النابض}} = \text{صفر} + \text{جـ ك}\ (-\text{ف})$.   حيث $(-\text{ف} = \text{ف}_2 - \text{ف}_1)$

ولكن $\text{شغ}_{\text{النابض}} = -\frac{1}{2}\ \text{ثا ف}^2$

$\Leftarrow\ -\frac{1}{2}\ \text{ثاف}^2 = -\text{جـ ك ف}$

$\frac{1}{2}\ \text{ثا ف} = \text{جـ ك}$

$\Leftarrow\ \text{ف} = \dfrac{2\,\text{جـ ك}}{\text{ثا}} = 0.098\ \text{م}$

لاحظ أن الفقرة (أ) تدرس توازن قوى ، أما الفقرة (ب) فتدرس تحول طاقة.

قوانين الحفظ

١ - قانون حفظ الطاقة :

نعلم من نظرية الشغل والطاقة أن : $\text{ﻉ شغ} = \Delta\,\text{طح} + \Delta\,\text{طك}$

ولكن عندما نأخذ جسماً معزولاً أي لا تؤثر فيه أي قوة خارجية فإن $\text{ﻉ ق} = 0$

وبالتالي فإن : $\text{ﻉ شغ} = 0$

إذًا : ٠ = Δ طح + Δ طك $\Longleftarrow$ ٠ = (طح$_{٢}$ - طح$_{١}$) + (طك$_{٢}$ - طك$_{١}$)

٠ = (طح$_{٢}$ + طك$_{٢}$) - (طح$_{١}$ + طك$_{١}$) .

٠ = ط$_{٢}$ - ط$_{١}$ حيث ط : الطاقة الميكانيكية .

إذًا : ط$_{١}$ = ط$_{٢}$ أو $\boxed{\text{ط}_{\text{ب}} = \text{ط}_{\text{ن}}}$ .... (٤-٦)

أي أن الطاقة الميكانيكية الكلية الابتدائية تساوي الطاقة الميكانيكية الكلية النهائية ،

أو نقول إن الطاقة محفوظة .

وينص قانون حفظ الطاقة على ما يلي :

لا يمكننا إفناء الطاقة ولا استحداثها من العدم، إنما يمكننا تحويلها من صورة إلى أخرى.

وقفة تأمل

لا شك أن قوانيننا الفيزيائية تنطبق على تجاربنا نحن وقدراتنا في التعامل مع القوانين الطبيعية التي أوجدها الله نظاماً لهذا الكون ، لكن هذه القوانين لا تنطبق على قدرة الله سبحانه وتعالى فإنه سبحانه يخلق ما يشاء ويفعل ما يريد ، ويوجد من العدم ويفني إلى العدم وهو سبحانه على كل شيء قدير .

والآن ماذا يحدث عندما تنزلق كرة بسرعة كبيرة على الأرض ، أين تذهب طاقتها الحركية عندما تتوقف الكرة ، أظنك توافقني على أنها قد تحولت إلى طاقة حرارية نتيجة الاحتكاك توزعت على الأرض والكرة والهواء، وعدم إحساسنا بها لا يعني عدم وجودها .

لمعلـومـاتــك :

هذه قاعدة مهمة جداً في العلوم النظرية والتجريبية يمكننا صياغتها كما يلي :

عدم العلم بالشيء ليس علماً بالعدم. وعندما نفصل القول فيها فإنه يمكننا أن نقول:

عدم رؤية الشيء لا يدل على عدم وجوده مثل الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء.

وعدم سماع الشيء لا يدل على عدم وجوده أيضاً مثل الموجات فوق السمعية وتحتها.

وقس على ذلك عالم الغيب كله.

وكذلك يمكننا أن نقول:

إذا ألقى رجلٌ من أهل السودان قطعة من الحديد المسخن في البحر الأحمر، فإن عدم إحساس سكان جدة بالحرارة لا يعني عدم إلقائها.

س : عندما يكون الجسم على الأرض فإن طاقته الكامنة تكون صفراً (اصطلاحاً) فإذا رفعنا هذا الجسم إلى الأعلى فإنه يكتسب طاقةً كامنةً .

فمن أين جاءت الزيادة في الطاقة الكامنة ، وماهي الطاقة الأولى السابقة التي تحولت إلى طاقة كامنة في الجسم ؟

٢ - قانون حفظ كمية الحركة :

كمية الحركة والدفع

يمكننا أن نوجد مقدار القوة المؤثرة على الجسم باستخدام علاقة مباشرة بينها والتغير الحادث في سرعة الجسم نفسه .

ولكن دعنا أولاً نعرف كمية جديدة تسمى : كمية الحركة ويرمز لها بالرمز ($\overleftarrow{\text{كر}}$) ،

وهي كمية متجهة اتجاهها نفس اتجاه سرعة الجسم .

و تعطى كمية الحركة بالعلاقة التالية : $\overleftarrow{\text{كر}} = \text{ك} \times \overleftarrow{\text{ع}}$ ....(٤-٧)

س : ما هي وحدة قياس $\overleftarrow{\text{كر}}$ ؟

س : يمكننا كتابة ($\text{ك}\ \Delta\ \overleftarrow{\text{ع}}$) بالشكل Δ ($\text{ك}\ \overleftarrow{\text{ع}}$) لماذا ؟ .

بما أن : $\overleftarrow{\text{ق}} \times \Delta\,\text{ز} = \Delta\,\overleftarrow{\text{كر}}$

الطرف الأيمن من المعادلة يسمى الدفع ، أي أن :

$\overleftarrow{\text{الدفع}} = \overleftarrow{\text{ق}} \times \Delta\,\text{ز} = \Delta\,\overleftarrow{\text{كر}}$ ---- (٤-٨)

وهي تدل على أن الدفع الذي يؤثر على جسم ما خلال زمن معين يساوي التغير الحاصل في كمية حركته .

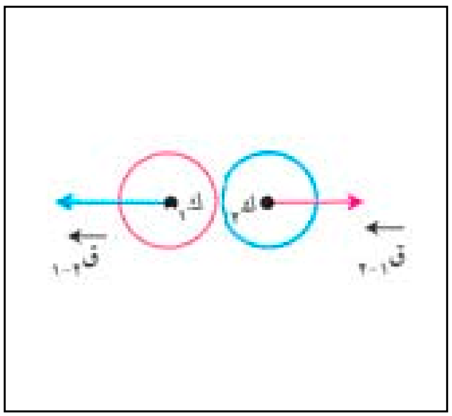
سبق لنا تعريف كمية الحركة حيث : $\overleftarrow{\text{كر}} = \text{ك} \times \overleftarrow{\text{ع}}$ وقد سبق لنا أيضاً استنتاج الصيغة الأخرى لقانون نيوتن الثاني وهي :

$\overleftarrow{\text{ق}} \times \Delta\,\text{ز} = \Delta\,\overleftarrow{\text{كر}}$.

والآن لنفرض أن لدينا كرتين معزولتين عن الوسط الخارجي ، دفعناهما باتجاه بعضهما فتصادمتا ، فسوف تؤثر الأولى على الثانية بقوة مقدارها :

$\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{١-٢}}$ ، وتؤثر الثانية على الأولى بقوة مقدارها : $\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{٢-١}}$

حيث $\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{١-٢}} = -\overleftarrow{\text{ق}}_{\text{٢-١}}$ انظر شكل (٤-١٩)



شكل ٤-١٩

وسوف يكون تغير كمية الحركة لكل منهما إذا كان مسار حركة الجسمين على محور واحد قبل وبعد التصادم كما يلي .

$$\Delta \text{كر}_1 = \text{ق}_{2-1} \times \Delta \text{ز} \Longrightarrow \text{كَر}_1 - \text{كر}_1 = \text{ق}_{2-1} \times \Delta \text{ز} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\Delta \text{كر}_2 = \text{ق}_{1-2} \times \Delta \text{ز} \Longrightarrow \text{كَر}_2 - \text{كر}_2 = \text{ق}_{1-2} \times \Delta \text{ز} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

حيث كَر_1 ، كَر_2 : هما كميتا الحركة بعد التصادم .

وبجمع المعادلتين (١) ، (٢) :

$$(\text{كَر}_1 - \text{كر}_1) + (\text{كَر}_2 - \text{كر}_2) = (\text{ق}_{2-1} + \text{ق}_{1-2}) \times \Delta \text{ز}$$

ولكن الطرف الأيسر يساوي الصفر (لماذا ؟)

إذاً :

$$\text{كَر}_1 - \text{كر}_1 + \text{كَر}_2 - \text{كر}_2 = \text{صفر}$$

أي أن : $\text{كر}_1 + \text{كر}_2 = \text{كَر}_1 + \text{كَر}_2$

وبشكل عام $\text{مج}\ \overleftarrow{\text{كر}} = \text{مج}\ \overleftarrow{\text{كَر}}$ .... (٤-٩)

أي أن محصلة كمية الحركة قبل التصادم مساوية لمحصلة كمية الحركة بعد التصادم .

ويطبق هذا القانون على جميع أنواع التصادمات بين الأجسام ، وكذلك على جميع عمليات الالتحام أو الانقسام التي تحدث لها . ومن الأمثلة العملية : الدفع النفثي للصواريخ وسفن الفضاء والطائرات النفاثة وقذائف المدفعية أيضاً ، **بشرط كون النظام معزولاً عن القوى الخارجية** .

مـثـــــال (٤ - ٦)

أطلقت قذيفة من مدفعية محمولة على عربة متحركة، فإذا كانت كتلة القذيفة ٢كجم، وأطلقت بسرعة ٤٠٠م/ث باتجاه موازٍ للأفقي، فاحسب بأي سرعة تتحرك المجموعة إلى الوراء إذا كانت كتلتها ١٠٠٠ كجم، مهملاً الاحتكاك بين العربة والأرض. (المجموعة: العربة والمدفعية معاً).

الحل :

في هذا المثال يتحرك الجسمان على محور واحد. ولذا فإنه يمكننا تطبيق مبدأ حفظ كمية الحركة مباشرة.

∑ كر = ∑ كرَ

٠ + ٠ = كرَ$_1$ + كرَ$_2$

٠ = ك$_1$ عَ$_1$ + ك$_2$ عَ$_2$

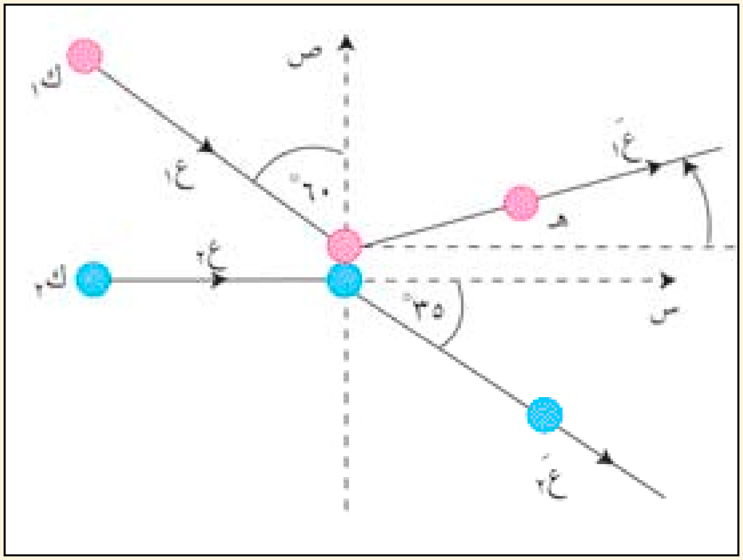
٠ = ٢ × ٤٠٠ + ١٠٠٠ × عَ$_2$

عَ$_2$ = −٨,٠ م/ث. أي بالاتجاه المعاكس لحركة القذيفة.

(لاحظ أن الطرف الأيمن يساوي الصفر لأن المجموعة كلها كانت ساكنة)

مثال (٤ – ٧) :

تصادمت كرتان كتلتاهما (ك$_1$ = ٠,١٥ كجم) و (ك$_2$ = ٠,٢٦ كجم) تتحركان على طاولة ملساء سرعتاهما قبل التصادم على الترتيب (ع$_1$ = ٠,٩ م/ث) و(ع$_2$ = ٠,٥٤ م/ث)، وحسب الاتجاهات المبينة في الشكل (٤–٢٠) فإذا كان مقدار سرعة (ك$_2$) بعد التصادم يساوي (٠,٧) م/ث، وانحرفت عن مسارها بزاوية تساوي (٣٥°)، احسب مقدار سرعة الكتلة الأولى بعد التصادم (عَ$_1$) والزاوية التي تصنعها مع المحور الأفقي (هـ) .



شكل ٤-٢٠

الحل :

في هذا المثال يتحرك الجسمان على المستوى، ولذا فإننا سوف نعمل على تطبيق مبدأ حفظ كمية الحركة مرتين، مرةً على المحور السيني ومرةً على المحور الصادي، وذلك بعد تحليل كل من كميات الحركة إلى مركباتها .

أولاً : بالنسبة للمحور السيني :

$ك_1 ع_1$ جا ٦٠ + $ك_2 ع_2$ = $ك_1 عَ_1$ جتاهـ + $ك_2 عَ_2$ جتا ٣٥ .

وبعد التعويض عن القيم المعطاة سوف نجد أن :

$عَ_1$ جتاهـ = ٠,٧٢ م/ث .... (١).

ثانياً : بالنسبة للمحور الصادي :

$- ك_1 ع_1$ جتا٦٠ + صفر = $ك_1 عَ_1$ جاهـ − $ك_2 عَ_2$ جا ٣٥

وبعد التعويض عن القيم المعطاة سوف نجد أن :

$عَ_1$ جا هـ = ٠,٢٤ م/ث .... (٢).

وبقسمة المعادلة (٢) على (١) :

$\Leftarrow \frac{\text{جا هـ}}{\text{جتا هـ}}$ = ٠,٣٣ ظا هـ = ٠,٣٣ $\Leftarrow$ هـ = ١٨,٢°

وبالتعويض في (١) $\Leftarrow$ $عَ_1$ =٠,٧٦ م/ث

٣. قانون حفظ الطاقة الحركية :

عندما تتصادم الأجسام يتحول جزء من طاقتها الحركية إلى طاقة حرارية ، وعندما تكون هذه الطاقة الحرارية منعدمة أو صغيرة جداً لدرجة يمكن إهمالها فإن الطاقة الحركية للمجموعة المتصادمة تظل محفوظة قبل وبعد التصادم أي أن :

$\sum$ طح = $\sum$ طحَ .... (١٠-٤)

حيث : طحَ هي الطاقة الحركية بعد التصادم .

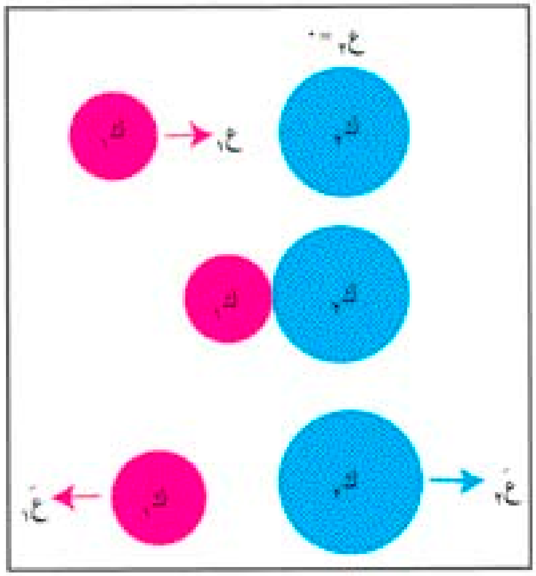
التصادم المرن :

التصادم المرن هو الذي يحقق قانون حفظ الطاقة الحركية وقانون حفظ كمية الحركة. وعندما نطبق هذين الشرطين على الكرتين المتصادمتين في الشكل (٤-٢١) فسوف نجد أن :

$$\frac{1}{2}\text{ك}_1 \times \text{ع}_1^2 + \text{صفر} = \frac{1}{2}\text{ك}_1 \text{عَ}_1^2 + \frac{1}{2}\text{ك}_2 \text{عَ}_2^2 \quad \ldots (1)$$

(لقد درسنا هنا الحالة الخاصة التي تكون فيها $\text{ع}_2 = ٠$.)

ومن قانون حفظ كمية الحركة نجد أن :



شكل ٤-٢١

$$\text{ك}_1\text{ع}_1 + \text{صفر} = \text{ك}_1\text{عَ}_1 + \text{ك}_2\text{عَ}_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

ومن (١) ، (٢) نجد أن

$$\text{عَ}_1 = \frac{\text{ك}_1 - \text{ك}_2}{\text{ك}_1 + \text{ك}_2} \times \text{ع}_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٤\text{-}١١)$$

$$\text{عَ}_2 = \frac{2\,\text{ك}_1}{\text{ك}_1 + \text{ك}_2} \times \text{ع}_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٤\text{-}١٢)$$

س : ادرس قيمتي عَ_1 ، عَ_2 في الحالات التالية :

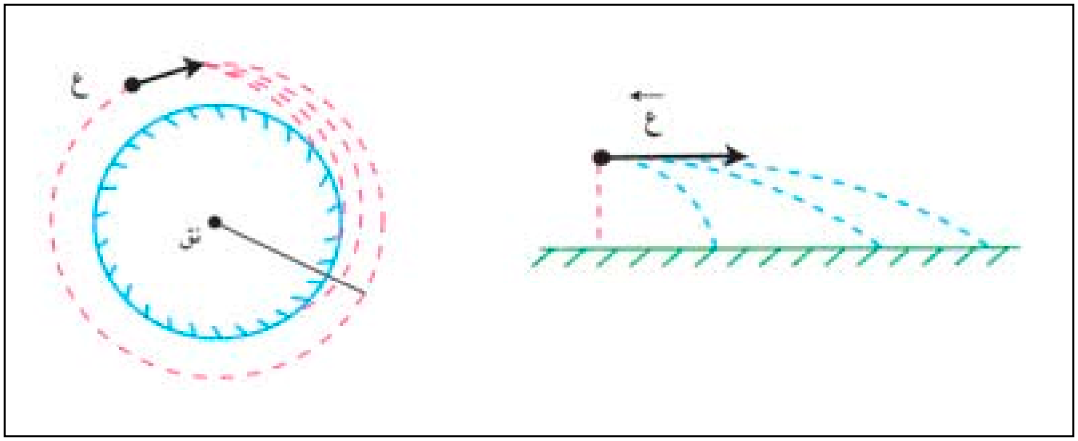
١ : $\text{ك}_1 > \text{ك}_2$ ٢ : $\text{ك}_1 = \text{ك}_2$ ٣ : $\text{ك}_2 > \text{ك}_1$

* لاحظ أن هاتين العلاقتين تطبقان في حالة التصادم المرن وعندما تكون $\text{ع}_2 = ٠$. فقط .

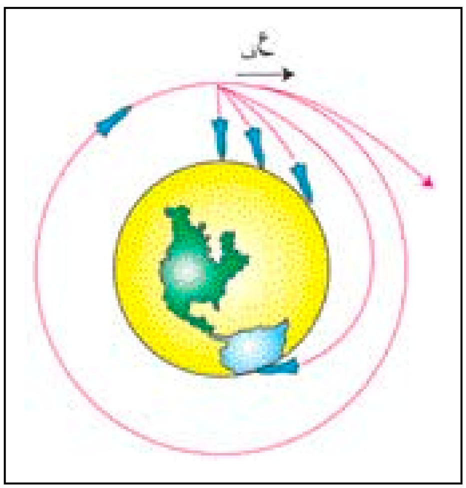
الأقمار الصناعية :

لإطلاق الأقمار الصناعية لا بد من حملها على صواريخ ذاتية الدفع (تدفع نفسها) تنطلق بسرعات عالية لطرد الأقمار بعيداً عن الجاذبية الأرضية .

وبالنظر إلى الشكل (٤-٢٢) سنرى أنه كلما قذف القمر بسرعة أفقية أكبر فإن المدى الأفقي الذي سيقطعه سيكبر فإذا وصلنا إلى السرعة المناسبة فإن القمر سوف يدور حول الأرض في مسار دائري ذي نصف قطر ثابت (لماذا؟) وسرعة ثابتة أيضاً (لماذا ؟) .



شكل -٤ ٢٢



شكل -٤ ٢٣

أما إذا أردنا دفعه خارج نطاق الجاذبية الأرضية فلا بد من إعطائه سرعة أكبر من سرعة الدوران حول الأرض شكل (٤-٢٣) تسمى هذه السرعة بسرعة الإفلات (عف).

حساب سرعة الإفلات :

عندما يكون القمر الصناعي على ارتفاع معين من سطح الأرض فإن مقدار قوة الجذب المؤثرة عليه حسب قانون التجاذب الكوني هي $\text{ق} = \frac{\text{ج ك ك}_{\text{أ}}}{\text{ر}^{2}}$

ويكون له طاقة كامنة ناشئة من إبعاده عن مركز الكرة الأرضية مسافة مقدارها ر .

$$\Leftarrow \text{طك} = \text{ق}^{*} \times \text{ر} \longleftarrow \text{طك} = \frac{\text{ج ك ك}_{\text{أ}} \times \text{ر}}{\text{ر}^{2}} \longleftarrow \boxed{\text{طك} = \frac{\text{ج ك ك}_{\text{أ}}}{\text{ر}}}$$

فإذا أردنا أن يفلت من الجاذبية الأرضية فلا بد من إكسابه طاقة حركية لا تقل عن هذه الطاقة .

إذاً $\boxed{\text{طح}_{\text{ف}} = \frac{\text{ج ك ك}_{\text{أ}}}{\text{ر}}}$ (على الأقل)

إذاً : $\frac{1}{2}\ \text{ك ع}_{\text{ف}}^{2} = \frac{\text{ج ك ك}_{\text{أ}}}{\text{ر}}$

حيث ر نصف قطر مسار القمر حول مركز الأرض فيكون ارتفاع القمر ر − نق$_{\text{أ}}$

أي أن : $\boxed{\text{ع}_{\text{ف}}^{2} = \frac{2\ \text{ج ك}_{\text{أ}}}{\text{ر}}}$ .... (١٣-٤)

وهذه هي سرعة الإفلات من الجاذبية .

أما سرعة الدوران حول الأرض فأظنك تذكر أنها :

$$\boxed{\text{ع}^{2} = \frac{\text{ج ك}_{\text{أ}}}{\text{ر}}}$$

---

* ق تمثل متوسط قوة جذب الأرض للجسم .

* لقد حصلنا على سرعة الإفلات بمساواة الطاقات .

أما سرعة الدوران فقد حصلنا عليها بمساواة القوى .

تسمى ع : السرعة الكونية الأولى ، ع ف : السرعة الكونية الثانية .

ابحث :

هناك أقمار صناعية سعودية وضعت في مدارها حول الأرض . اكتب بحثاً مختصراً حولها .

بإمكانك الاستفادة من الموقع الإلكتروني لمدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية .

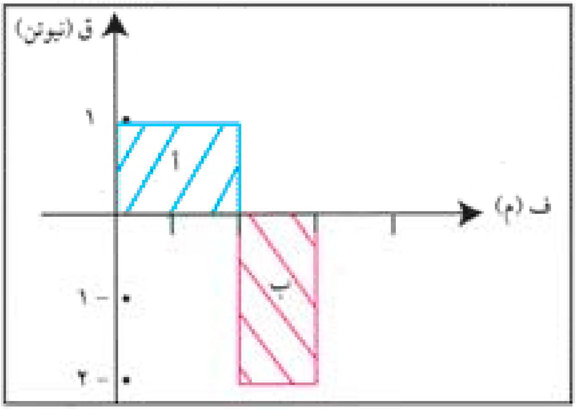
www.kacst.edu.sa

أسئلة الفصل الرابع

س١ : يمثل الشكل (٤-٢٤) منحنى (ق ـ ف) لجسم يتحرك على مستوى .

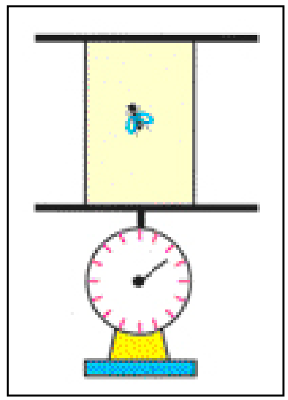
أ - ما نوع تسارع الجسم في المرحلتين أ ، ب ؟

ب - احسب مقدار الشغل الكلي المبذول على الجسم .



شكل ٤- ٢٤

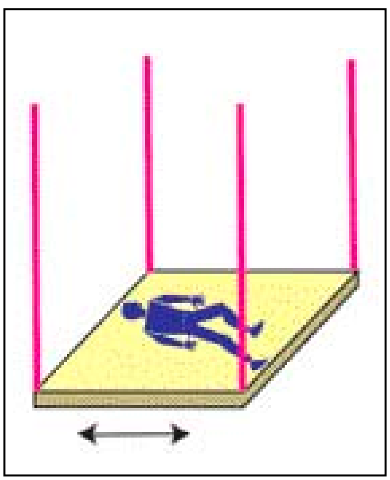
س٢ : ذبابة محبوسة داخل وعاء مغلق تماماً هل تستطيع معرفة ما إذا كانت الذبابة ساكنة أو طائرة عند وزن الوعاء ؟ شكل (٤-٢٥) .



شكل ٤- ٢٥

س٣ : في الشكل (٤-٢٦) يتمدد رجلٌ على لوح معلق بحبال من زواياه الأربع، وتسجل حركة اللوح باستخدام أجهزة حساسة ، يسمى هذا الجهاز : راسم القلب القذفي .

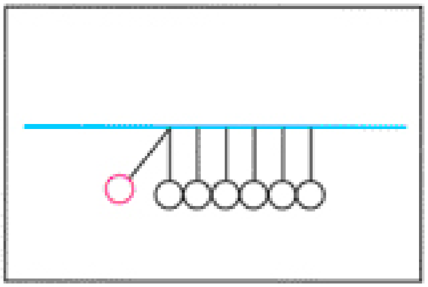
اشرح العلاقة بين عمل القلب والاهتزازات الصغيرة التي تظهر على اللوح .



شكل ٤- ٢٦

س٤ : في الشكل (٤-٢٧) عندما تزاح الكرة اليسرى جانباً ثم تترك فإن الكرة الأخيرة ستنطلق إلى الخارج مع بقاء الكرات الأخرى في أماكنها، إذا افترضنا أن هذا التصادم يحقق شرط حفظ كمية الطاقة الحركية فصف ما الذي يحدث؟

ثم ما الذي يحدث إذا أزحنا الكرتين اليسريين بدلاً من واحدة ؟


شكل -٤ ٢٧

س٥ : هل يتأثر الشغل الذي نقوم به عندما نرفع كتاباً عن الأرض ونضعه على الطاولة بالسرعة التي نرفعه بها ؟

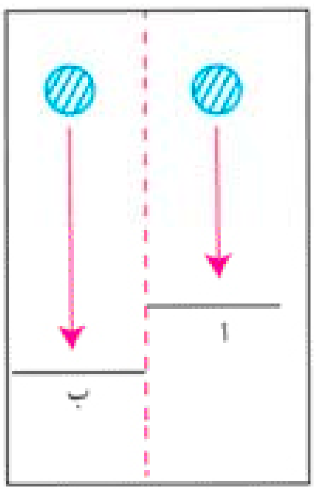
س٦ : سقط الجسم (ك) من ارتفاع ما على سطح زجاجي فإذا غيرنا موضع السطح كما هو موضح في الشكل (٤-٢٨)

١ ـ في أي الحالتين أ ، ب يكون ارتطام الجسم أشد؟ .

٢ ـ ما القوة المؤثرة على الجسم عند سقوطه في كلتا الحالتين؟ .

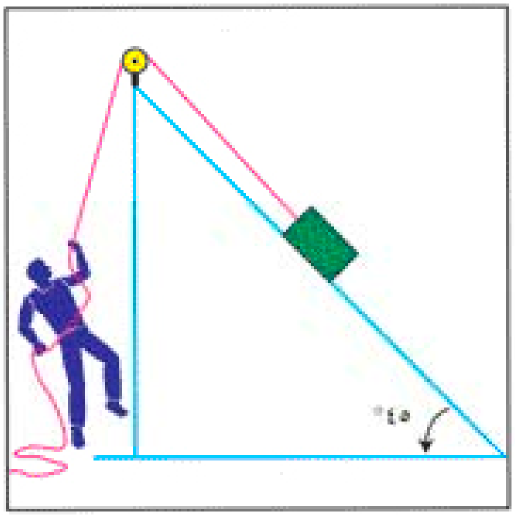
٣ ـ قارن بين إجابتي الفقرتين ١ ، ٢ ماذا تلاحظ؟ .

٤ ـ إذا تركنا السطح يسقط في نفس لحظة سقوط الجسم، فهل سيدركه الجسم قبل الأرض (افترض أن كتلة الجسم أكبر بكثير من كتلة السطح مهملاً الاحتكاك) ؟



شكل -٤ ٢٨

س٧ : تسير كل من شاحنة وسيارة صغيرة بسرعة معينة بحيث تكون الطاقة الحركية للشاحنة ثلث الطاقة الحركية للسيارة ، وإذا زادت الشاحنة سرعتها بمقدار ٥٠ كلم/ ساعة تصبح الطاقة الحركية لها مساوية الطاقة الحركية للسيارة فما هي سرعة كل منهما إذا كانت كتلة الشاحنة خمسة أضعاف كتلة السيارة ؟ (١٨,٩٧ / ٧٣,٤٨)



شكل ٤- ٢٩

س٨ : في الشكل (٤-٢٩) يقوم رجلٌ بشد جسم كتلته ٢٠٠ كجم يتحرك نزولاً على سطح مائل بزاوية ٤٥° وذلك لكي ينزلق الجسم بسرعة ثابتة .

فإذا كان معامل الاحتكاك بين الجسم والسطح يساوي ٠,٢ وطول السطح المائل ١٠م فاحسب :

أ ـ القوة التي يبذلها الرجل . (١٠٩٧,٦)

ب ـ شغل قوى الاحتكاك . (-٢٧٤٤)

جـ ـ الشغل الذي يبذله الرجل . (-١٠٩٧٦)

د ـ شغل الجاذبية الأرضية . (١٣٧٢٠)

هـ ـ شغل محصلة القوى . (صفر)

و ـ استعمل النتائج السابقة لمعرفة (Δ طك) . (-١٣٧٢٠)

ز ـ ما مقدار التغير في طح؟ . (صفر)

س٩ : بندول طوله متران، وثقل كرته نيوتن واحد. أزيحت الكرة مسافة أفقية مقدارها ٢٠سم.

أ ـ ما القوة اللازمة لإبقاء كرة البندول في هذا الموضع؟

ب ـ ما الشغل الذي بذل لإزاحة الكرة؟

جـ ـ ما القدرة اللازمة لإبقاء الكرة في هذا الموضع ؟

د ـ هل بإمكانك معرفة قيمة الطاقة الكامنة للكرة دون حساب؟

هـ ـ احسب مقدار أقصى سرعة تصل إليها الكرة عند تركها .

و ـ إذا اصطدمت الكرة عند عودتها إلى موضع سكونها بجسم ساكن كتلته ١ كجم فاحسب سرعتي ارتداد الجسمين .

ز ـ احسب (طح ، طك) للكرة عند ربع الارتفاع الناتج عن الإزاحة السابقة .

س١٠ : يقف رجل على أرض لا احتكاك بينها وقدميه ، ويقذف كرةً بسرعة ٣٠م / ث فإذا كانت كتلة الرجل ٧٠ كجم ، وكتلة الكرة نصف كيلو جرام فبأي سرعة يرجع الرجل إلى الوراء؟ ما الذي يتغير إذا كان هناك احتكاك بين قدمي الرجل والأرض؟(-٠,٢١)

س١١ : ينفجر جسمٌ ساكنٌ فينقسم إلى ثلاثة أقسام ، الأول كتلته ٥ كجم وينطلق بسرعة مقدارها ٣٠ م/ث ، والثاني كتلته ١٠ كجم وسرعته ٤٠ م/ث واتجاه حركته متعامد مع اتجاه الأول ، الثالث كتلة ٢٠ كجم ، فما هو اتجاه سرعة الثالث وما مقدارها؟ (٢١,٣٦ ، ٢٤٩°)

س١٢ : بندول طوله متر واحد وكتلة كرته ٥٠٠ جرام ، رفعت الكرة حتى بلغت زاوية خط البندول مع خط التوازن ٣٠° ، ثم تركت حرة .

أ ـ ما سرعتها عند ما ترجع إلى نقطة التوازن؟

ب ـ في هذه النقطة اصطدمت الكرة اصطداماً تام المرونة بجسم كتلته تساوي ٢ كجم ، فما السرعة التي ينطلق بها كل من الجسمين بعد الاصطدام ؟

جـ ـ إلى أي علو ترتفع كرة البندول بعد الاصطدام ؟

س١٣ : يتحرك جسم كتلته ٥ كجم بخط مستقيم على أرض ملساء بسرعة ٢٠ م/ ث ، فإذا سقط عليه عمودياً جسم كتلته ١٠ كجم والتصق به فما سرعة الجسمين الملتصقين مهملاً السرعة العمودية للجسم الساقط ؟ (٦,٦٧)

س١٤ : جسمان كتلتاهما ٠,٥ كجم ، ٠,٢٥ كجم يتحركان في خط مستقيم وفي اتجاهين متضادين بسرعة مقدارها ٨ م/ ث . (افترض أن الاتجاه الموجب هو اتجاه حركة الأكبر) فإذا تصادم الجسمان ، وارتد الأصغر بسرعة ٦,٤ م/ ث فاحسب :

أ- سرعة الجسم الأكبر بعد التصادم . (+١,٧)

ب- دفع الجسم الأكبر للأصغر . (٣,١٥)

جـ- بيّن حسابياً ما إذا كان هذا التصادم مرناً أو غير مرنٍ .

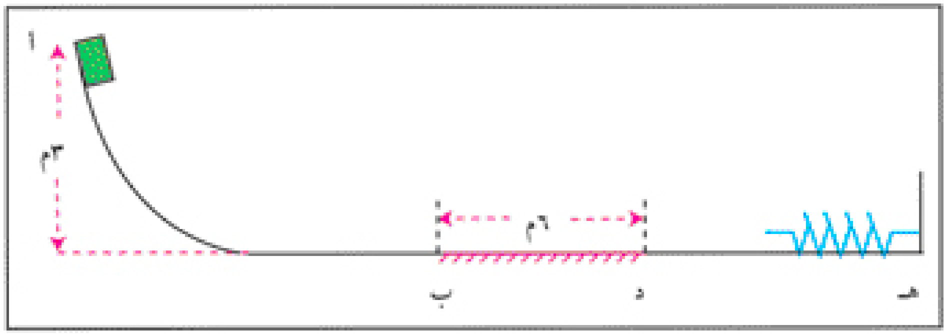
س١٥ : انزلق جسم كتلته ٦ كجم من قمة مستوى مائل خشن ارتفاعه ٢ م فوصل إلى نهاية المستوى بسرعة ٥ م/ ث ، واستمر في حركته على مستوى أفقي خشن حتى سكن بعد أن قطع مسافة ٤ م ، جد :

أ- شغل قوة الاحتكاك على المستوى المائل . (-٤٢,٦)

ب- معامل الاحتكاك بين الجسم والمستوى الأفقي . (٠,٣٢)

جـ- كم تكون سرعة الجسم عند نهاية المستوى المائل إذا كان أملساً . (٦,٢٦)

س١٦ : في الشكل (٤-٣٠) انزلق جسم كتلته ١٠ كجم من النقطة (أ) وتحرك على المسار أ ب د هـ . فإذا كان المسار أملساً عدا الجزء (ب د) الذي طوله ٦م ، وكان ثابت النابض ٢٢٥٠ نيوتن / م ، وانضغط النابض بمقدار ٣٠سم فاحسب معامل الاحتكاك بين الجسم والمسار (ب د) . (٠,٣٣)



شكل -٤ ٣٠

س١٧ـ أطلقت رصاصة كتلتها ١٢٥ , ٠ كجم بسرعة أفقية مقدارها ٥٠٠ م/ ث على كتلة خشبية مقدارها ٣ كجم موضوعة على سطح أفقي خشن . فتحركتا معاً كجسم واحد فاحسب :

أ ـ السرعة المشتركة لهما لحظة اتحادهما معاً . (٢٠)

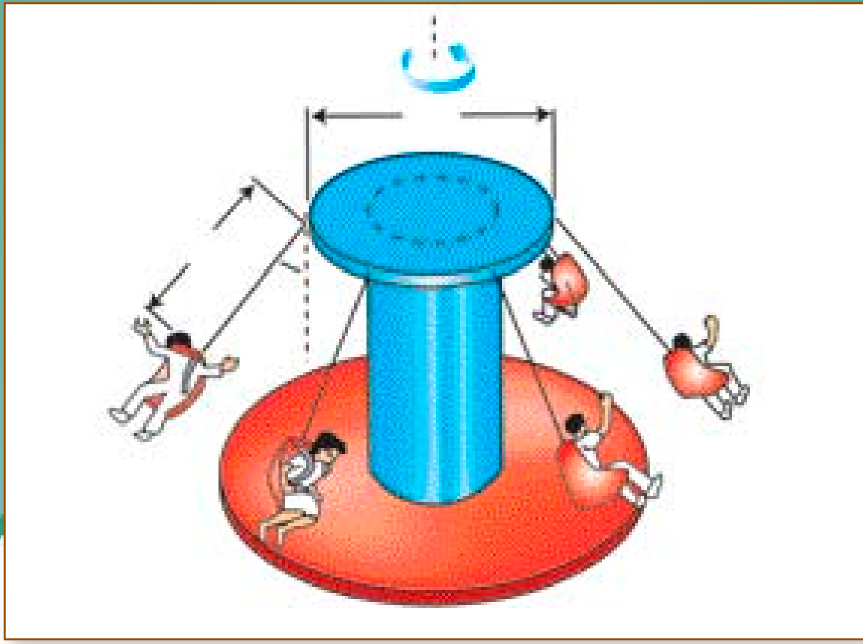
ب ـ قوة الاحتكاك إذا تحركت المجموعة معاً مسافة ٥ , ٠ متر . (١٢٥٠).

س١٨- جسم كتلته ٥٠ كجم أثرت عليه قوة أفقية غيرت سرعته من ٢٢ م/ ث إلى ٥٤م/ ث ، في نفس اتجاه الحركة ، فاحسب :

أ ـ مقدار الدفع الحاصل . (١٦٠٠)

ب ـ مقدار القوة المؤثرة إذا كان زمن تأثيرها ٢ ث . (٨٠٠).

الفصل الخامس :



الحـــركـــة الدائـرية

أهـــداف الفصل الخامس :

بعد دراستك لهذا الفصل سوف تكون قادراً على أن :

-١ تفرّق بين الحركة الخطية على محيط الدائرة والحركة الزاوية.

-٢ تحسب مقدار السرعة الخطية.

-٣ تحسب مقدار المسافة الخطية (القوسية) المقطوعة.

-٤ تستنتج ما يسمى بالتسارع المركزي.

-٥ تحدد اتجاه هذا التسارع.

-٦ تحسب مقدار هذا التسارع.

-٧ تحسب مقدار قوة الجذب المركزية.

-٨ تحسب مقدار قوة الطرد المركزية.

-٩ تعرّف التردد.

-١٠ تحسب مقدار التردد.

-١١ تعرّف الزمن الدوري.

-١٢ تحسب مقدار الزمن الدوري.

-١٣ تستنتج العلاقة بين التردد والزمن الدوري.

-١٤ تعرّف الراديان.

-١٥ تحسب مقدار السرعة الزاوية.

-١٦ تستنتج العلاقة بين القوس المقطوع والزاوية المقابلة له.

-١٧ تستنتج العلاقة بين السرعة الزاوية والخطية.

-١٨ تستنتج العلاقة بين سرعة القمر الصناعي وارتفاعه.

-١٩ تعرّف العزم.

-٢٠ تطبّق نظرية فارينون.

-٢١ تعرّف مركز الثقل.

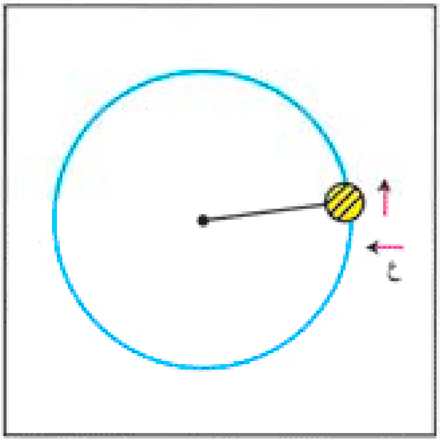
-٢٢ تعين مركز الثقل في بعد واحد أو بعدين لبعض الأجسام.

-٢٣ تطبق الشرط الثاني للتوازن.

-٢٤ تعرّف الازدواج.

-٢٥ تحسب قيمة الازدواج.

الحركة الدائرية :



شكل ٥ - ١

في الشكل (٥ـ١) نربط حجراً بطرف خيط ثم نمسك بالطرف الآخر ، ونبدأ بإدارة الحجر في مسار دائري .

يمكننا الآن وصف هذه الحركة بطريقتين مختلفتين هما :

الأولى : اعتبار الحجر يتحرك على محيط الدائرة حركة خطية يقطع خلالها مسافات قوسية معينة خلال زمن معين بسرعة معينة .

الثانية : اعتبار الحجر يقطع زوايا معينة (لكل دورة ٣٦٠°) في أزمنة معينة بسرعة معينة .

وسوف نسمي الوصف الأول بـ : الحركة الخطية .

ونسمي الثاني بـ : الحركة الزاوية .

وسوف نتناول كلاً منهما على حدة ثم ندرس العلاقة بينهما ، مع التنبيه إلى أننا سوف نتناول الحركة الدائرية المنتظمة فقط .

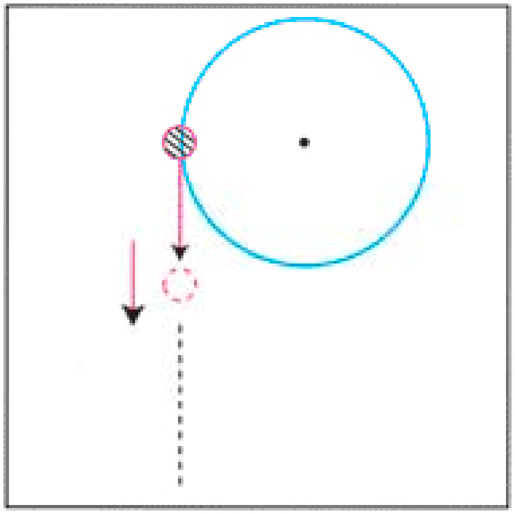
أولاً : الحركة الخطية (على محيط الدائرة).

أ ـ السرعة الخطية $\overleftarrow{ع}$:

عندما يتحرك الجسم على محيط الدائرة نرى أنه يقطع مسافات قوسية متساوية خلال زمن معين . وذلك بافتراض ثبات السرعة لكونها ندرس حركة دائرية منتظمة .

إذاً . . هذه السرعة ثابتة المقدار .

وبالنظر إلى الشكل (٥ـ٢) نرى أنه عند انقطاع الحبل في لحظة معينة فسوف ينطلق الجسم بسرعة ينطبق اتجاهها على المماس عند تلك اللحظة ، وهذا يعني أن متجه السرعة منطبق على المماس عند كل موضع يكون فيه الجسم، ولأن اتجاه المماس مختلف عند كل لحظة فإن اتجاه السرعة الخطية مختلف عند كل لحظة أيضاً أما مقدارها فهو ثابت . وهذا التغير في اتجاه السرعة سيقتضي وجود تسارع للحركة وهو ما سنشير إليه بعد قليل ، أما بالنسبة لاتجاه دوران الجسم فهو إما مع أو ضد عقارب الساعة .



شكل ٥ - ٢

ب ـ المسافة المقطوعة :

أما المسافة التي يقطعها الجسم على محيط الدائرة فإنه يمكن إعطاؤها

بالعلاقة ف = ع × ز . . . . (٥ـ١)

حيث ف : طول القوس المقطوع سواءاً كان جزءاً من المحيط أم أحد مضاعفاته .

جـ ـ التسارع المركزي ($\overleftarrow{ت}_م$) :

عند التأمل في هذه الحركة نرى أن الجسم يغير من اتجاه سرعته الخطية عند كل لحظة .

وبالرجوع إلى قانون نيوتن الأول نعلم أن هذا التغير لا يحدث إلا بتأثير قوة خارجية .

إذاً لابد من وجود قوة مؤثرة تحرف الجسم عن مساره .

وبالرجوع إلى قانون نيوتن الثاني نجد أن وجود القوة يستلزم وجود التسارع .

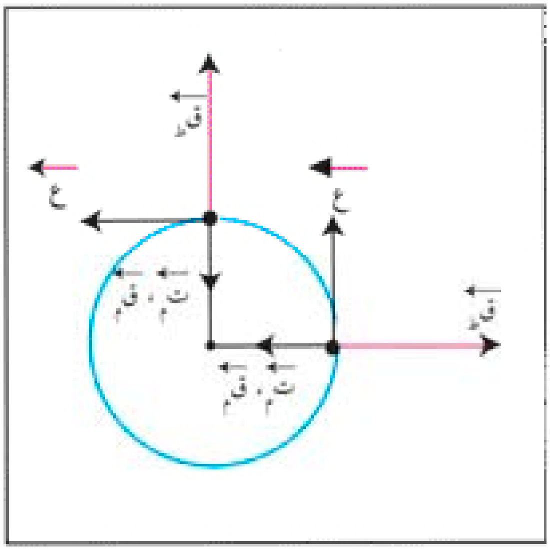
إذاً يوجد لهذه الحركة تسارع ما .

ولكن لماذا يظل الجسم دائماً على نفس البعد من مركز الدوران إن هذا يدل ـ مبدئياً ـ على أن قوة القصور الناتجة عن التغير في الاتجاه* (ق ط) تساوي القوة الجاذبة ولذا فإن نصف قطر المسار لا يتغير.

إذاً هناك قوة طاردة وقوة جاذبة وهما متساويتان. شكل (٥ـ٣)

ولكن اتجاه القوة الجاذبة سيكون دائماً نحو المركز (لماذا ؟) لذا فإن التسارع سيكون أيضاً متجهاً نحو المركز ولذا فسوف نسميه التسارع المركزي (ت م) .

(لاحظ أن قوة الجذب هنا ممثلة بقوة الشد في الخيط . أما في حالة الكواكب مثلاً فإنها تكون ناشئة عن الجذب بين الكتل) .

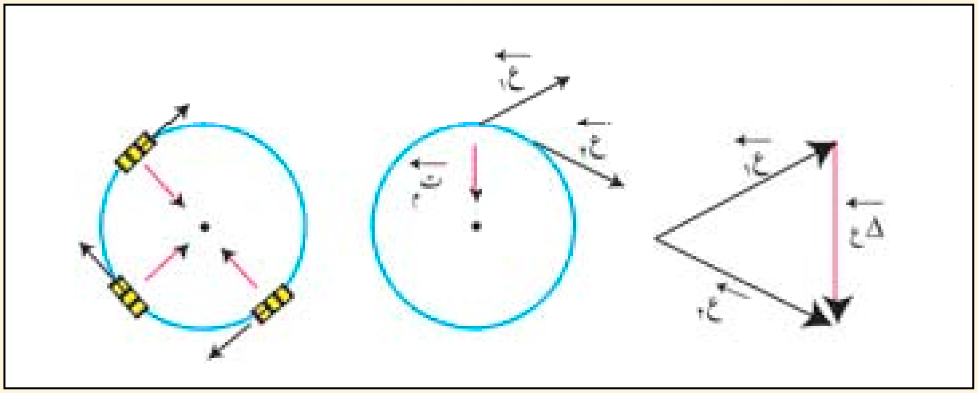


شكل ٥ - ٣

* هي قوة ناتجة من القصور الذاتي للجسم بسبب التغير في الاتجاه و من أجل التسهيل سميناها القوة الطاردة المركزية .

لمعلـومـاتــك :

يمكننا إثبات أن اتجاه التسارع يكون نحـو المركز بمتابعة متجهات السـرعة الخطية ومعرفة التغير الحاصل في اتجاهها، كما هو موضح في الشكل (٥ - ٤)



شكل ٥ - ٤

أما قيمة هذا التسارع فتعطى بالعلاقة التالية :

$$ت_م = \frac{ع^٢}{ر} \quad \text{..........} \quad (٥\text{ـ}٢)$$

حيث ر : نصف قطر المسار .

ع : السرعة الخطية .

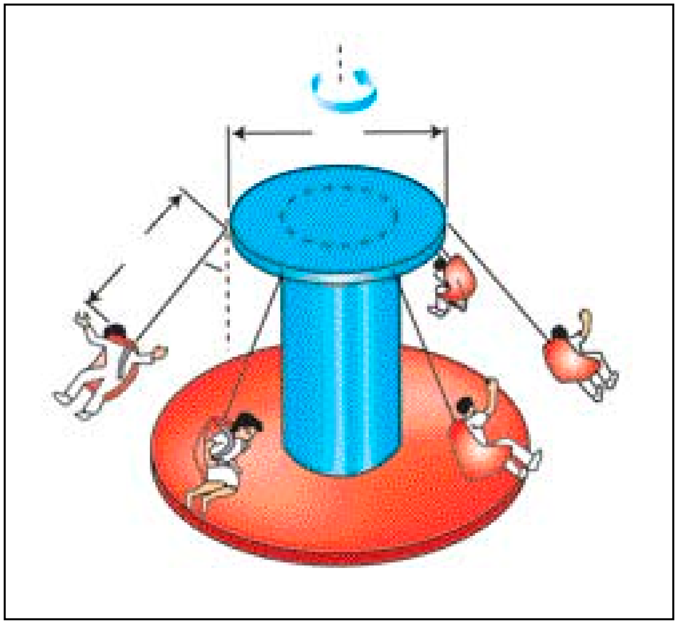
د ـ قوة القصور الناتجة عن التغير في الاتجاه (القوة الطاردة المركزية) :

وجدنا فيما سبق أن القوة الطاردة المركزية تساوي القوة الجاذبة المركزية .

إذاً . $ق_ط = ك \times ت_م \longrightarrow ق_ط = \frac{ك\, ع^٢}{ر}$ .... (٥ـ٣)

وتعطينا هذه العلاقة قيمة القوة الناتجة عن القصور الذاتي (ق ط) ونرى فيها أنها تتناسب طردياً مع $ع^{٢}$ ويمكننا ملاحظة هذه العلاقة بينهما من خلال المشاهدات التالية :

١- ما الذي يحدث لأرجوحة الأطفال عندما تزداد سرعتها الشكل (٥ – ٥) ؟

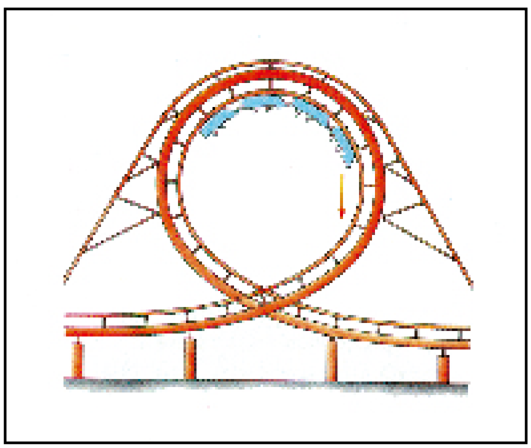


شكل ٥ – ٥

٢- وفي الشكل (٥-٦) لماذا لا يسقط ركاب هذه العربات على رؤوسهم نحو الأرض؟

٣- يعمل النشاف المنزلي للملابس موافقاً لمفهوم قوة القصور الذاتي (ق ط) (وضح ذلك) شكل (٥ – ٧)

٤- ما الذي يحدث عندما نربط حجراً بحبل من المطاط ثم نبدأ بإدارته؟



شكل ٥ – ٦

أسـئلة للتفكير :

لماذا يقلل قائد السـيـارة من سـرعتـهـا عند وصولها إلى منعطف ؟

مـاذا يحـدث إذا اسـتـمـر السـائق بنفس سرعته؟

هـ . التردد (د) :

وهو عدد الدورات التي يتمها الجسم خلال الثانية .

$$د = \frac{عدد\ الدورات}{زمنها}$$ . . (٥.٤) (وضح ذلك).

⟸ وحدة (د) : دورة / ث وتسمى :

◁ هيرتز = ١ / ث

و . الزمن الدوري (ن) :

وهو الزمن اللازم لإكمال دورة واحدة .

$$ن = \frac{زمن\ الدورات}{عددها}$$ . . . . (٥.٥) .

نلاحظ من العلاقتين السابقتين أن :

$$ن = \frac{١}{د}$$ . . . . . . (٥.٦)

شكل ٥ – ٧

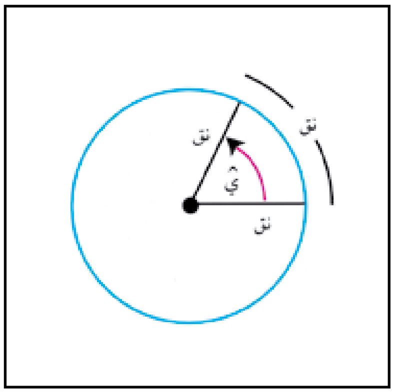
ثانياً : الحركة الزاوية

أ ـ الزاوية المقطوعة (يَ) :

عندما يتحرك الجسم على الدائرة ويقطع دورةً كاملةً فإنه سيقطع زاوية قدرها ٣٦٠° ، ولكننا هنا سنستخدم مقياساً آخر للزوايا هو الراديان بدلاً من الدرجات ، حيث الدرجة هي وحدة قياس الزاوية بالتقدير الستيني أما راديان فهي وحدة قياس الزاوية بالتقدير الدائري .

تعريف الراديان :

الراديان هي الزاوية المركزية التي تقابل قوساً طوله يساوي نصف قطر دائرته . الشكل (٥ – ٨)



شكل ٥ – ٨

كم راديان في الدائرة ؟

في التقدير الستيني لحساب الزوايا نعلم أن الدائرة الكاملة فيها ٣٦٠ درجة فكم راديان في الدائرة الكاملة حسب التقدير الدائري ؟

لقد مر بك في مادة الرياضيات في الصف الأول الثانوي أن الدائرة الكاملة فيها ٦,٢٨ راديان حسب التقدير الدائري .

العلاقة بين الدرجة والراديان :

بما أن : ٦,٢٨ راديان تقابل ٣٦٠°

إذاً : ١ راديان = ٥٧,٣° (وضح ذلك)

وسوف نرمز للزاوية مقيسة بالراديان بالرمز : (يَ) .

ب ـ السرعة الزاوية ($ع_ز$) :

هي الإزاحة الزاوية المقطوعة خلال وحدة الزمن

$$ع_ز = \frac{\text{الزاوية المقطوعة } (\hat{ي})}{\text{الزمن } (ز)} \quad \ldots\ldots \quad (٥\text{ـ}٧)$$

وكما تلاحظ من القانون فإن وحدة قياس السرعة الزاوية هي : راديان / ث .

جـ ـ العلاقة بين السرعة الزاوية والتردد :

إذا أتم الجسم دورة واحدة فإن الزاوية التي يقطعها = ٢ π راديان حيث π = ٣,١٤

والزمن الذي يستغرقه هو الزمن الدوري (ن) أي أن :

$$ع_ز = \frac{٢\pi}{ن} \quad \ldots\ldots \quad (٥\text{ـ}٨)$$

ولكن : $د = \frac{١}{ن}$

إذا : $ع_ز = ٢\pi د$ .... (٥ـ٩)

وبالنسبة لعدد من الدورات فإن : $ع_ز = \frac{\text{عدد الدورات} \times ٢\pi}{ز}$

ثالثاً : العلاقة بين الحركة الخطيّة والزاويّة :

أ ـ العلاقة بين ف ، $\hat{ي}$:

نعلم أن محيط الدائرة = ٢ π نق ولكن المحيط هو المسافة الخطية المقطوعة (ف) لدائرة كاملة.

إذاً : المسافة(ف) = ٢ π نق ، ولكن ٢π = $\hat{ي}$ (عدد زوايا الراديان في الدائرة الكاملة) .

إذاً : ف = $\hat{ي}$ × نق .... (٥ـ١٠) لأي جزء من محيط الدائرة أو مضاعفاته .

أي أن طول القوس المقطوع = الزاوية التي قطعها الجسم (بالراديان) × نصف قطر الدائرة .

ب ـ العلاقة بين ع ، $ع_ز$:

مما سبق : ف = ي × نق

وبقسمة الطرفين على ز نجد أن :

ع = $ع_ز$ × نق .... (١١ـ٥)

ويمكننا تلخيص ما سبق في الجدول التالي :

الحركة الدائرية		
الحركة الخطية	الحركة الزاوية	العلاقة بينهما
المسافة المقطوعة (ف)	الزاوية المقطوعة ($\hat{ي}$)	ف = $\hat{ي}$ × نق
السرعة الخطية (ع)	السرعة الزاوية ($ع_ز$)	ع = $ع_ز$ × نق
التردد (د)	التردد (د)	د = د
الزمن الدوري (ن)	الزمن الدوري (ن)	ن = ن
الدورة= محيط (٢ π نق)	الدورة = ٢ π	٢ π نق (م) $\Leftrightarrow$ ٢ π (راديان)

تذكر أن : π = ١٨٠° باستخدام التقدير الستيني

π = ٣,١٤ باستخدام التقدير الدائري .

وعند استعمال الآلة الحاسبة فلا بد من تحويل نظام الآلة إلى (RAD) عند قياس الزوايا بالراديان .

مــثـــال (٥ – ١)

حجر كتلته ٠,٢ كجم مربوط في طرف خيط طوله ٥٠ سم، يدور ثمان دورات كاملة كل ثانيتين فاحسب:

١ـ التردد

٢ـ السرعة الزاوية

٣ـ الزاوية المقطوعة خلال ٥ ثوانٍ

٤ ـ السرعة الخطية

٥ـ القوس المقطوع خلال ٥ ثوانٍ

٦ـ الزمن الدوري

٧ـ تسارعه المركزي

٨ـ القوة الطاردة المركزية

الحـــل :

نق = ٠,٥ م

$$١ـ\text{التردد} = \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{٨ دورات}}{٢} = \text{٤ دورات / ث} = \text{٤ هيرتز}$$

٢ـ $ع_{ز}$ = ٢ π د = ٢٥,١٢ راديان / ث

٣ـ الزاوية المقطوعة بعد ٥ ثوانٍ = $ع_{ز}$ × ز = ٢٥,١٢ × ٥ = ١٢٥,٦ راديان

٤ـ ع = $ع_{ز}$ × نق = ٠,٥ × ٢٥,١٢ = ١٢,٥٦ م/ث

٥ـ ف (بعد ٥ ثوانٍ) = ع × ز = ١٢,٥٦ × ٥ = ٦٢,٨ م

$$٦ـ\ ن = \frac{١}{د} = ٠,٢٥\ \text{ث}$$

$$٧ـ\ ت_{م} = \frac{ع^{٢}}{ر} = \frac{(١٢,٥٦)^{٢}}{٠,٥} = ٣١٥,٥\ \text{م/ث}^{٢}$$

٨ـ $ق_{ط}$ = ك × $ت_{م}$ = ٠,٢ × ٣١٥,٥ = ٦٣,١ نيوتن

مــثـــــال (٥ – ٢)

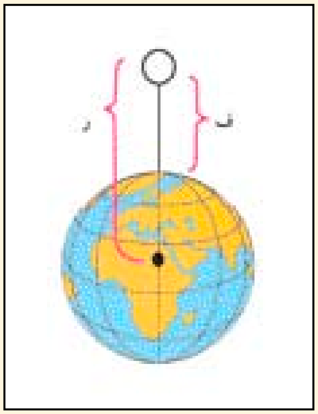
يدور قمر بسرعة مقدارها ع في مسار دائري حول الأرض نصف قطره (ر) .

شكل (٥ – ٩)

أ ـ ما هي العلاقة بين ع ، $ك_{ا}$ ، ر .

ب ـ احسب مقدار سرعته (ع) إذا كان ارتفاعه فوق سطح الأرض ١٠٠٠ كلم .

علما بأن $نق_{ا}$ = ٦٤٠٠ كلم ، $ك_{ا}$ = ٦ × $١٠^{٢٤}$ كجم



شكل ٥ – ٩

الحـل :

أ – العلاقة بين ع ، $ك_{ا}$ ، ر :

$$ق_{م} = ك \times ت_{م} = \frac{ك\,ع^{٢}}{ر} \quad \ldots\ldots\ldots (١)$$

$$ق = \frac{ج\,ك\,ك_{ا}}{ر^{٢}} \quad \ldots\ldots\ldots (٢)$$

ولكن : $ق_{م}$ = ق (لماذا ؟)

إذاً : $\frac{ك\,ع^{٢}}{ر} = \frac{ج\,ك\,ك_{ا}}{ر^{٢}} \longrightarrow \boxed{ع^{٢} = \frac{ج\,ك_{ا}}{ر}} \quad \ldots\ldots\ldots (٣)$

ونلاحظ في هذه العلاقة أن ع لا تعتمد على ك وإنما تعتمد على ر.

ب ـ سرعة القمر :

إذا كان ارتفاع القمر ١٠٠٠ كلم فإن ر = ٦٤٠٠ + ١٠٠٠ = ٧٤٠٠ كلم

وبالتعويض عن (ر) في (٣) نجد أن : ع = ٧,٣٧ × $١٠^{٣}$ م/ث

مــثـــــال (٥ – ٣) :

إذا علمت أن القمر يدور حول الأرض مرة كل ٢٧,٣ يوما ، فاحسب بعده عن مركز الأرض .

الحـل :

تعلم أن $\text{ع} = \dfrac{\text{٢} \pi \text{ ر}}{\text{ز}}$ ، $\text{ز} = \text{٢٧,٣} \times \text{٢٤} \times \text{٦٠} \times \text{٦٠} = \text{٢,٣٦} \times \text{١٠}^{\text{٦}}$ ث .

$\Longleftarrow \text{ع} = \dfrac{\text{٢} \pi \text{ ر}}{\text{٢,٣٦} \times \text{١٠}^{\text{٦}}} \Longleftarrow \text{ع} = \text{٢,٦٦} \times \text{١٠}^{\text{-٦}} (\text{ر})$ م/ ث . . . . (١) .

ونعلم أيضاً أن : $\text{ع}^{\text{٢}} = \dfrac{\text{ج ك}_{\text{أ}}}{\text{ر}} \Longleftarrow \text{ع}^{\text{٢}} = \dfrac{\text{٦,٧} \times \text{١٠}^{\text{-١١}} \times \text{٦} \times \text{١٠}^{\text{٢٤}}}{\text{ر}}$ . . . (٢) .

ومن (١) ، (٢) $\Longleftarrow$ $\text{ر} = \text{٣,٨٤} \times \text{١٠}^{\text{٨}}$ م . (وضح ذلك)

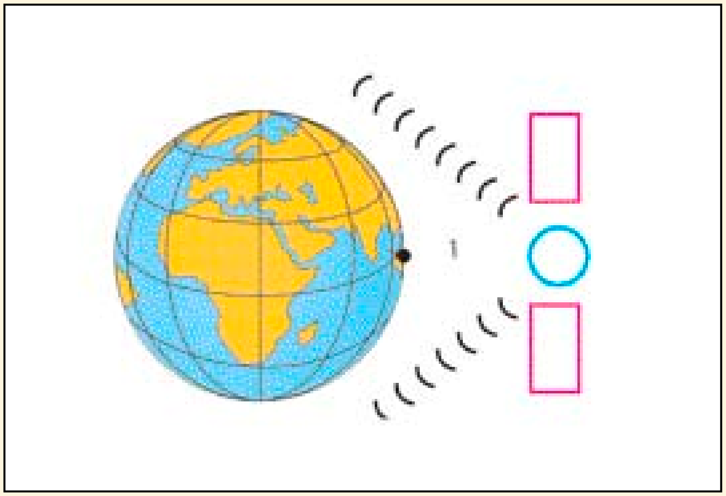
ســؤال للتفكير :

متى نكون أسرع دوراناً حول الشمس في منتصف الليل أم في منتصف النهار* ؟

* إجابة هذا السؤال لا تعتمد على تحديد يوم ما في السنة .

مـثـــال (٥ – ٤) :

احسب الارتفاع فوق سطح الأرض لقمر صناعي يكون في مسار يسمح له بالبقاء فوق نقطة واحدة على الأرض (هذا القمر يستعمل ليعكس موجات البث الإذاعي) شكل (٥ - ١٠)



شكل ٥ – ١٠

إذا كان القمر دائماً فوق نقطة واحدة من الأرض فإن زمن دورته يساوي زمن دوران الأرض حول نفسها .

⟸ ز = ٨٦٤٠٠ ث .

وبنفس الأسلوب المتبع في المثال السابق .

سنجد أن : ر = $٤,٢٣٧ \times ١٠^{٧}$ م .

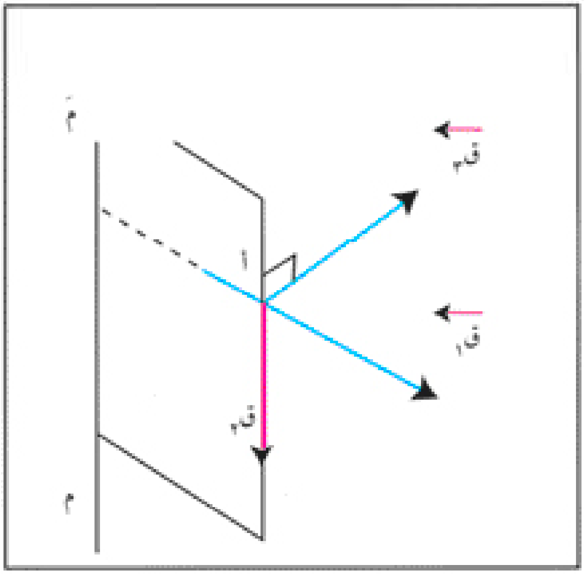
⟸ الارتفاع = ر – نق$_{أ}$

= $٤,٢٣٧ \times ١٠^{٧} - ٦,٤ \times ١٠^{٦} = ٣,٦ \times ١٠^{٧}$ م

العزم ($\overleftarrow{عز}$) :

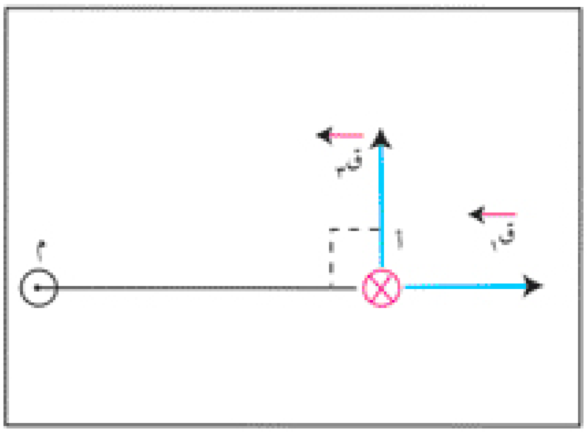
أولا : مفهوم العزم :

يمثل الشكل (٥-١١) باباً قابلاً للدوران حول المحور (م مَ) ، وتؤثر عليه القوى : ق١ ، ق٢ ، ق٣ عند النقطة "أ" فــأي هذه القــوى يعــمل على إدارة الباب؟



شكل ٥ – ١١

والآن لنتـخـيل أننا قطعنا البـاب أفقياً، ونظرنا إليه من الأعلى إننا سوف نحصل على الشكل (٥-١٢) .



شكل ٥ – ١٢

حيث العـلامة ⊗ تشيـر إلى أن اتجاه القوة ق٢ هو إلى داخل مستوى الورقة .

لقـد وجـدنا أن القوة الوحـيـدة التي ستعمل على إدارة الباب هي ق٣ ، ومن الشكل (٥-١٢) يتضح أن خط عمل هذه القوة لا يمر بمركز الدوران (م) .

وأما القوة $\overleftarrow{ق}_{1}$ فلا يمكنها إحداث دوران لأن خط عملها يمر بمركز الدوران (م) .

وأما القوة $\overleftarrow{ق}_{2}$ ، فلا يمكنها إحداث دوران حول المحور لأن خط عملها موازٍ له .

ويمكننا أن نقول الآن : إن القوة $\overleftarrow{ق}_{3}$ لها قدرة على إحداث دوران حول المحور(م مَ) .

وبذلك نقول إن للقوة $\overleftarrow{ق}_{3}$ عزماً حول مركز الدوران . وعلى هذا نعرف العزم بأنه :

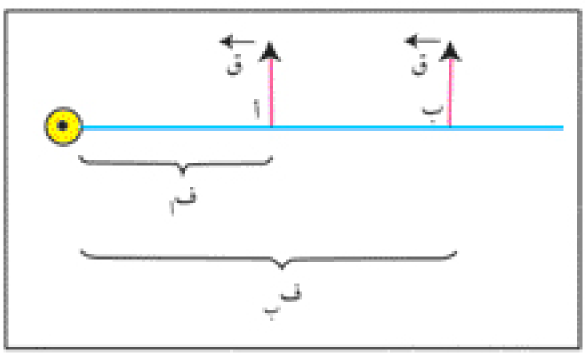
مقدرة قوة على إحداث دوران حول محور .

إذاً للقوة $\overleftarrow{ق}_{3}$ عزم دوران حول (م) .

والعزم كمية متجهة فهو إما أن يسبب دوران الجسم مع عقارب الساعة ، وسوف نصطلح على كون هذا الاتجاه سالباً . أو ضد عقارب الساعة ، وسوف نصطلح على كون هذا الاتجاه موجباً . علما أنه بإمكانك أن تفرض عكس ذلك وسوف تحصل على نفس النتائج . عز(−) ، عز(+)

ثانياً : الكميات الفيزيائية المؤثرة في العزم :

لننظر إلى الشكل (٥-١٣) ونتساءل : ما الذي يحدث عندما ننقل القوة $\overleftarrow{ق}$ من النقطة أ إلى النقطة ب ؟



شكل ٥ – ١٣

سنلاحظ سهولة دوران الباب أي أن مقدرة القوة على إحداث دوران في هذه الحالة أصبحت أكبر ، أي أن :

عز α ف .... (١)

ثم ما الذي يحدث إذا أبقينا القوة ق عند (أ) ولكنا زدنا في قيمتها .

سنجد أيضاً أن عز α ق . . . . (٢)

ومن (١)، (٢) نجد أن :

عز α ف × ق

إذاً: عز = ثا × ق × ف

⇐ عز = ق . ف . عندما تكون ق ، ف متعامدتين

حيث ثا = ١

لاحظ أن ق ، ف : متعامدتان هنا

ولكن ما الذي يحدث إذا كانت ق ، ف غير متعامدتين ؟

للإجابة عن هذا السؤال قم بالنشاط التالي :

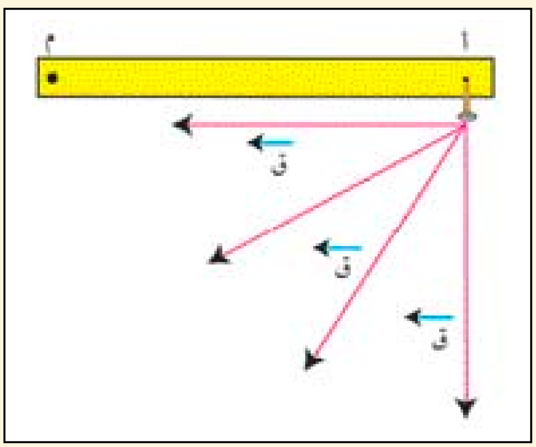
نشـــاط عملي (٥ – ١) :

الأدوات : مسطرة ، عمود خشبي ، خيط ، مسماران .

خطوات العمـل :

ثبت المسطرة من طرفـهـا في العـمـود الخشبي مستخدماً المسمار (عند م) .

ثبت الخيط في الطرف الثاني للمسطرة (عند أ) . شكل (٥ - ١٤)



شكل ٥ – ١٤

شد الخيط بحيث يصنع اتجاه قوة الشد زاوية ١٨٠° مع المسطرة

شد الخيط بحيث يصنع اتجاه قوة الشد زاوية ١٢٠° مع المسطرة

شد الخيط بحيث يصنع اتجاه قوة الشد زاوية ٩٠° مع المسطرة

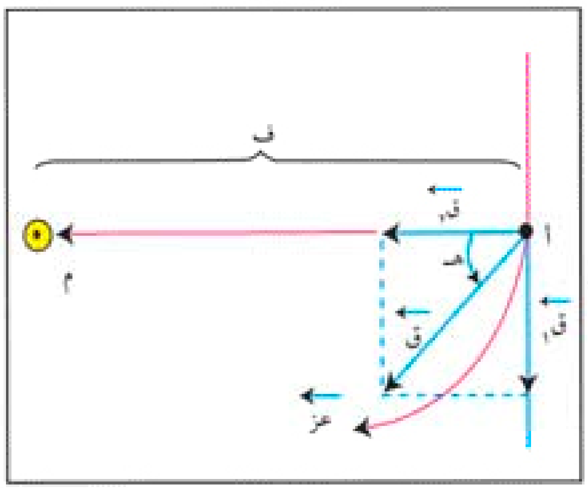
شد الخيط بحيث يصنع اتجاه قوة الشد زاوية ٤٥° مع المسطرة

شد الخيط بحيث يصنع اتجاه قوة الشد زاوية صفر مع المسطرة

في أي الحالات السابقة تدور المسطرة بشكل أسهل؟ ------------------

في أي الحالات السابقة لا تدور المسطرة ؟ ------------------------

لعلك استنتجت الآن أن القوة المحدثة للدوران هي المركبة العمودية للقوة المؤثرة ($\overleftarrow{ق}_1$) فقط (لماذا ؟) وأما مركبة القوة الموازية للمسطرة ($\overleftarrow{ق}_2$) فستحدث ضغطاً على محور الدوران فقط .



شكل ٥ - ١٥

ولننظر الآن إلى الشكل (٥ـ١٥) يمكننا تحليل القوة $\overleftarrow{ق}$ إلى مركبتين $\overleftarrow{ق}_1$ ، $\overleftarrow{ق}_2$ ، وسوف تكون القوة المولدة للدوران هي المركبة $\overleftarrow{ق}_1$ فقط (لماذا ؟)

ولكن ق$_1$ = ق جا هـ

إذاً : عز = ق جا هـ × ف

عز = ق . ف . جا هـ   حيث هـ: الزاوية بين ق، ف .

إذاً : $\overleftarrow{عز} = \overleftarrow{ق} \times \overleftarrow{ف}$ . . . (٥-١٢)

أو نقول إن مقدار عز يعطى بالعلاقة : عز = ق × ف

حيث ف : ذراع القوة . وهي المسافة العمودية بين مركز الدوران (م) وخط عمل القوة .

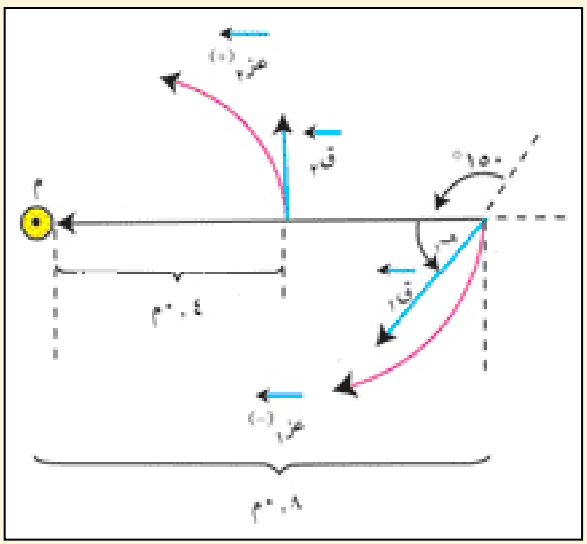
وهذه هي الصيغة الرياضية العامة لحساب مقدار العزم .

ملحوظة :

* إذا لم تكن (ق) متعامدة مع (ف) فيمكننا أخذ المركبة العمودية لأي منهما على الأخرى .

مثال (٥ – ٥) :

في الشكل (٥-١٦) احسب مقدار العزم الناشيء عن كل من $\overleftarrow{ق_١}$ ، $\overleftarrow{ق_٢}$ ثم احسب مقدار العزم الكلي المؤثر (∑عز) حول النقطة (م) إذا علمت أن $ق_١$ = ٥ نيوتن، $ق_٢$ = ٢ نيوتن .



شكل ٥ – ١٦

الحل :

نجد من الرسم أن هـ$_1$ = ٣٠° (علل ذلك)

عز$_1$ = ق$_1$ × ف$_1$ = ق × ف × جاهـ = ٥ × ٠,٨ × جا ٣٠ = ٢ نيوتن . م .

واتجاهه مع عقارب الساعة ⟸ عز$_1$ = −٢ نيوتن . م

عز$_2$ = ق$_2$ × ف$_2$ = ٢ × ٠,٤ × ١ = ٠,٨ نيوتن . م . واتجاهه ضد عقارب الساعة

⟸ مجموع العزوم حول (م) هو $\sum$ عز = عز$_1$ + عز$_2$

⟸ $\sum$ عز = −٢ + ٠,٨

= −١,٢ نيوتن . م

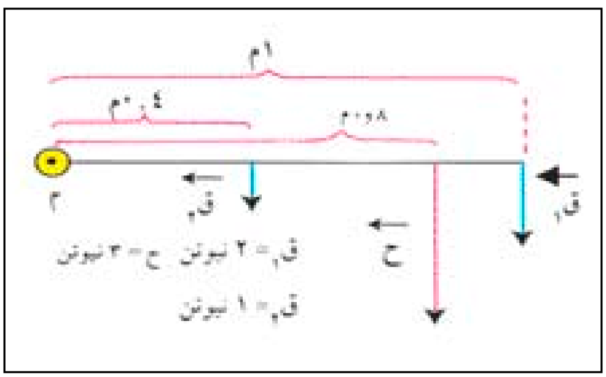
أي باتجاه عقارب الساعة .

نظرية فارينون :

لقد عرّفنا المحصلة فيما سبق بأنها القوة التي تعمل بمفردها عمل مجموعة القوى التي تركبت منها .

والآن ما الذي سيحدث إذا استبدلنا المحصلة بالقوتين ق$_1$ ، ق$_2$ الموضحتين في الشكل (٥ـ١٧)

هل يتغير دوران الباب، أو بعبارة أخرى هل سيتغير العزم الناشيء؟



شكل ٥ – ١٧

س : احسب مقدار $\overleftarrow{\text{عز}}$ (ح) ، $\overleftarrow{\text{عز}_1} + \overleftarrow{\text{عز}_2}$

حول (م) وقارن بين النتيجتين .

كذلك في الشكل (٥-١٨) إذا استبدلنا المحصلة أيضاً بالقوتين هل سيتغير شيء ؟

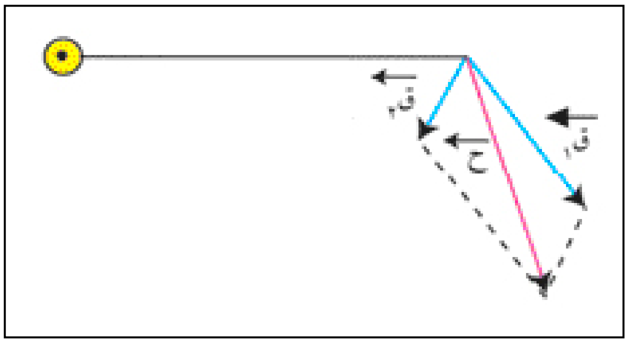
نستنتج مما سبق أن :

مجموع عزوم عدد من القوى = عزم

محصلة هذه القوى

⇐ $\sum \text{عز}_{\text{ق}} = \text{عز}_{\text{ح}}$ ...... (٥-١٣)

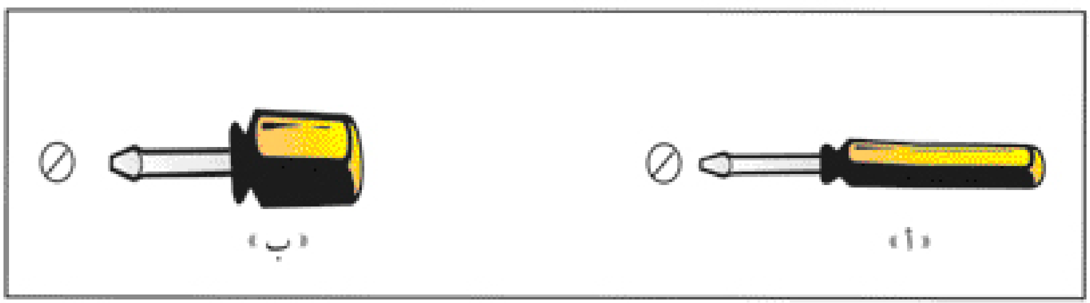
وهذا ما يطلق عليه نظرية فارينون .



شكل ٥ – ١٨

* * * * *

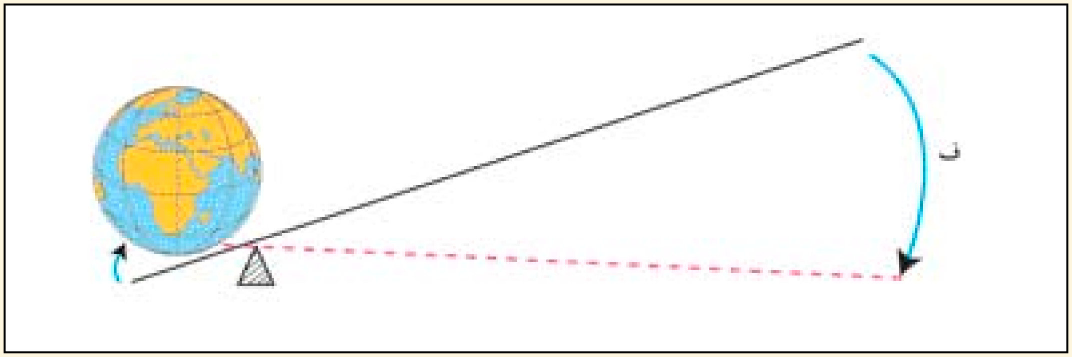
س : في الشكل (٥-١٩) أيهما أسهل : استخدام المفتاح (أ) لفتح البراغي أم المفتاح (ب) ولماذا ؟



شكل ٥ – ١٩

طرائف علمية :

ادعى أرخميدس أنه لو أمكن له الحصول على نقطة ارتكاز لاستطاع رفع الكرة الأرضية وذلك بناءً على فكرة العزوم حيث سيقوم بإطالة ذراع الرافعة إطالة رهيبة حتى يتمكن من ذلك . شكل (٥ـ٢٠)



شكل ٥ - ٢٠

ولكن لسوء حظه أنه لن يتمكن من ذلك لعدة أسباب منها :

١ - أن أحداً لا يملك أن يعطيه نقطة الارتكاز التي يريدها .

٢ - أنه سيحتاج إلى ذراع (عصا) طويلة جداً تقدر ببلايين الكيلو مترات .

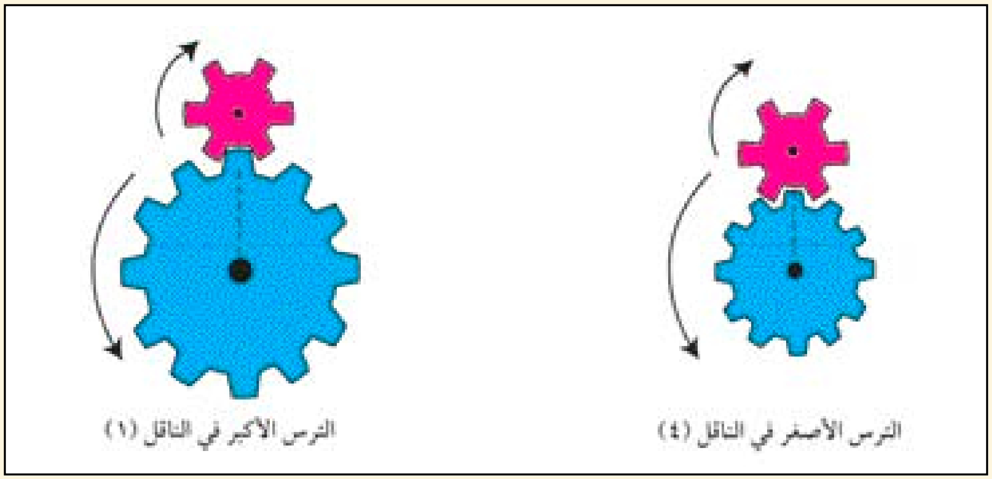
٣ - أنه عند ما يريد رفع الأرض ولو بضعة سنتيمترات ، سيحتاج إلى قطع قوس كوني هائل الطول هو (ف) .

٤ - إذا افترضنا أن أرخميدس يتحرك بسرعة الضوء لقطع القوس فإنه سيحتاج إلى بضعة ملايين من السنين حتى يتم القوس كاملا فلو أمضى أرخميدس عمره كله لما استطاع فعل ما يصبوا إليه .

تطبيقات فيزيائية :

يتكون ناقل الحركة العادي في السيارة من مجموعة من عجلات مسننة (التروس) مختلفة في أنصاف أقطارها (١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥) ، تتصل بالعجلة المسننة (الترس) القادمة من المحرك لتعطي حركات متنوعة تلبي حاجات قائد السيارة .

س : انظر إلى الشكل (٥-٢١) وحاول أن تحدد أي الترسين (١) أو (٤) يولد عزماً أكبر ، وأيهما يدور بسرعة أكبر .



شكل ٥ - ٢١

سؤال للتفكير :

عندما تتدافع الباب مع أحد أصدقائك فإن بإمكانك أن تضع قدمك على الأرض وتتكيء بيدك على الباب ، وسوف ترى أن صديقك سيعجز تماماً عن دفع الباب باتجاهك فهل تستطيع أن تفسر ذلك ؟

لسلامتك :

كثيراً ما يقع الناس في خطأ فادحٍ عند محاولة رفع الأثقال من الأرض أو من السيارة ، فهم يحنون ظهورهم عند رفعها ، مما قد يتسبب في إصابتهم بما يعرف بالانزلاق الغضروفي ، الذي يصيب العمود الفقري ، والذي يسبب ألماً كبيراً ، وربما عجزاً دائماً عن الحركة المرنة . والطريقة الصحيحة لرفع الثقل هي أن يكون ظهر الإنسان منتصباً تماماً مثلما يفعل رافعوا الأثقال .

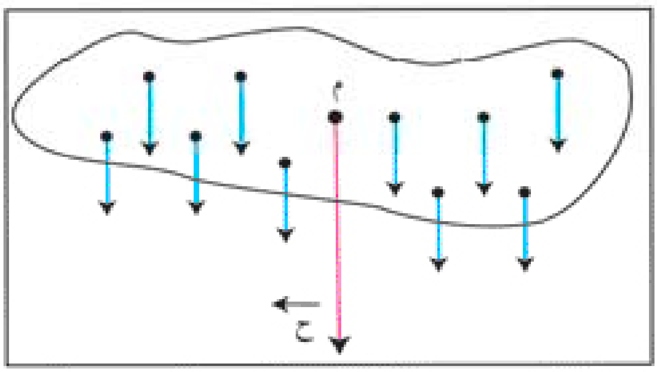
سؤال للتفكير :

الطريقة الصحيحة لرفع الثقل هي أن يكون ظهر الإنسان منتصباً تماماً مثلما يفعل رافعوا الأثقال.

فهل تستطيع أن تفسر ذلك من وجهة نظر فيزيائية ؟

مركز الثقل

يتألف الجسم الصلب من مجموعة من النقاط المادية وبالتالي فإن ثقل الجسم هو مجموع أثقال نقاطه المادية التي يتكون منها .



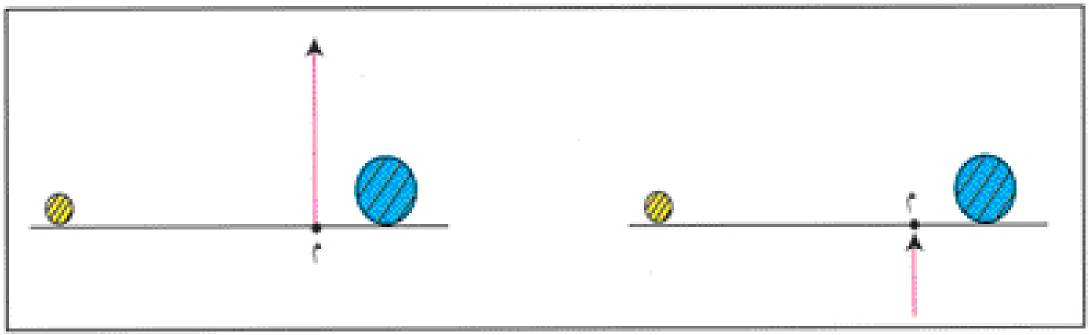
شكل ٥ – ٢٢

وبالنظر إلى الشكل (٥-٢٢) فإننا نرى أن لهذه الأثقال الصغيرة محصلةً مقدارها (ح)، ونقطة تأثيرها (م) . أي كما لو كانت كتلة الجسم مجتمعة في النقطة (م).

وسوف نسمي النقطة (م) بمركز ثقل الجسم والذي يعرّف بأنه :

نقطة تأثير محصلة أثقال نقاط الجسم المادية[1] .

وعند مركز الثقل يمكننا رفع الجسم أو تعليقه متزناً كما في الشكل (٥ـ٢٣) .



شكل ٥ – ٢٣

ملحوظة : لا يشترط أن يكون مركز الثقل لنظام ما نقطة مادية فيه ، بل قد يكون نقطة في الفراغ ، مثل مركز ثقل مغناطيس على شكل حذوة حصان أو مثل حلقة معدنية .

تعيين مركز الثقل :

١ ـ للأجسام منتظمة الشكل والكثافة :

لجميع الأجسام ذات الأشكال الهندسية المنتظمة والكثافة المنتظمة فإن مراكز أثقالها تكون في مراكزها الهندسية .

س : حدد مراكز أثقال الأجسام ذات الأشكال الهندسية التالية :

١ – القضيب المنتظم .   ٢ – الصفيحة المنتظمة (مربعة – مستطيلة) .   ٣ – صفيحة دائرية .

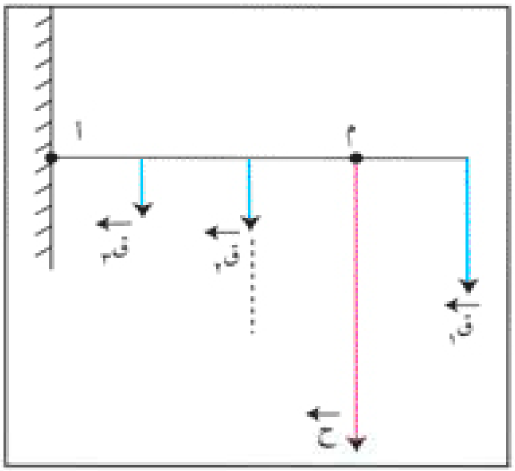
٤ – الكرة .   ٥ – صفيحة مثلثة .   ٦ – صفيحة متوازية الأضلاع .

---

(١) وطالما وجد الجسم في مجال منتظم للجاذبية فإن مركز الثقل يتطابق مع نقطة هامة أخرى هي مركز الكتلة. ولذا فإننا هنا لن نفرق بينهما.

٢ ـ تعيين مركز الثقل في بعد واحد :

في الشكل (٥ـ ٢٤) علقت الأثقال ق$_١$ ، ق$_٢$ ، ق$_٣$ على قضيب منتظم مهمل الكتلة فدعنا نطبق نظرية فارينون للعزوم على هذا الشكل ونحاول تعيين مركز ثقل هذه المجموعة (سنأخذ العزوم حول النقطة أ)



شكل ٥ – ٢٤

$\Leftarrow$ عز$_ح$ = Σ عز$_ق$

ح × ف$_م$ = ق$_١$ ف$_١$ + ق$_٢$ ف$_٢$ + ق$_٣$ ف$_٣$ $\Leftarrow$ $ف_م = \frac{\Sigma\, ق \times ف}{\Sigma\, ق}$ .... (٥ـ ١٤)

حيث ف$_م$: بعد مركز الثقل عن النقطة أ

ومن هذه العلاقة يمكننا تحديد مركز الثقل لمجموعة من الأجسام أو الأثقال التي تقع نقاط تأثيرها على خط عمل واحد .

س : أثبت أنه يمكن كتابة العلاقة (٦.٢) على الصورة التالية : $ف_م = \frac{\Sigma ك \times ف}{\Sigma ك}$ ...(٥ـ ١٥)

٣ ـ تعيين مركز الثقل في بعدين :

في هذه الحالة سنطبق القانون السابق مرتين مرة بالنسبة لمحور السينات ومرة بالنسبة لمحور الصادات ، أي أنه بالنسبة لعدد من القوى فإن :

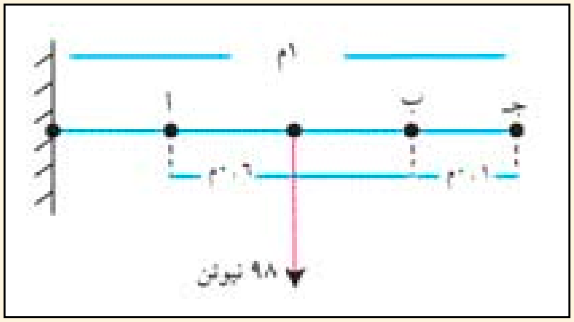
بعد مركز الثقل عن محور الصادات (س) = $\frac{ق_١ س_١ + ق_٢ س_٢ + \cdots}{\Sigma ق}$ ..(٥ـ ١٦)

بعد مركز الثقل عن محور السينات (ص) = $\frac{ق_1 ص_1 + ق_2 ص_2 + \cdots}{\sum ق}$ . . . (٥-١٧)

أي أن مركز الثقل سيكون هو النقطة التي إحداثياتها : (س ، ص)

مـثــــال (٥ – ٦)

ثبت قضيب منتظم طوله ١م ثقله ٩٨ نيوتن في جدار ثم علقت عليه الكتل ٥ كجم، ٣كجم، ٧ كجم على الترتيب عند النقاط أ، ب ، جـ شكل (٥ – ٢٥) حدد مركز ثقل هذه المجموعة بالنسبة للجدار .



شكل ٥ – ٢٥

الحل :

ثقل القضيب = ٩٨ نيوتن ، كتلته = ١٠ كجم وعلى بعد = ٠,٥ م من الجدار .

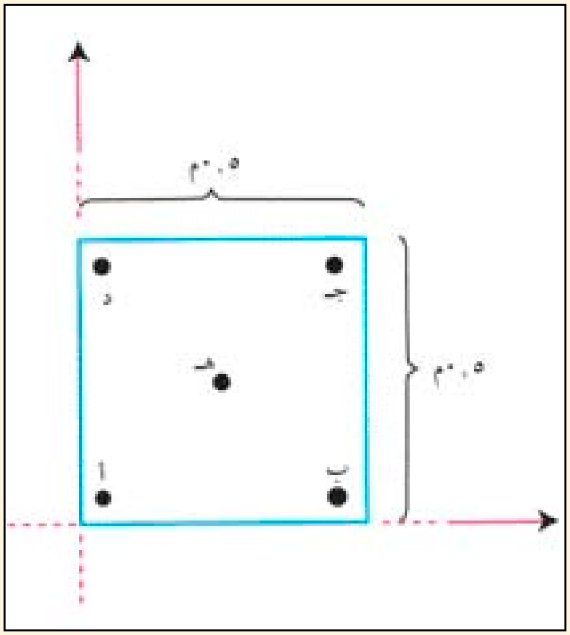
الكتلة أ = ٥ كجم ، وعلى بعد = ٠,٣ م

الكتلة ب = ٣كجم ، وعلى بعد = ٠,٩ م

الكتلة جـ = ٧كجم ، وعلى بعد = ١ م

بعد مركز الثقل عن الجدار (ف م) = $\frac{٥ \times ٠,٣ + ٣ \times ٠,٩ + ٧ \times ١ + ١٠ \times ٠,٥}{٥ + ٣ + ٧ + ١٠}$ = ٠,٦٤٨م

مثـــال (٥ – ٧)



شكل ٥ – ٢٦

في الشكل (٥ ـ ٢٦) إذا كانت كتلة الصفيحة المعدنية المنتظمة هي ٢٠كجم، وكانت الأثقال أ ب ج د على الترتيب هي ٢ نيوتن ، ٥ نيوتن ، ١٠ نيوتن ، ١٥ نيوتن . فحدد مركز ثقل هذه المجموعة، مع افتراض كون هذه الأثقال موضوعة في الزوايا تماماً. خمّن موقع مركز ثقل هذه المجموعة ثم تأكد من ذلك حسابياً.

الحل :

أولاً سنختار المحاور في مكانها المبين في الشكل .

ثانياً : ك = ٢٠ كجم ⟵ ثقل الصفيحة = ٢٠ × ٩,٨ = ١٩٦ نيوتن .

والآن سنستخدم الجدول التالي :

الثقل (نيوتن)	الإحداثي السيني (م)	الإحداثي الصادي (م)
أ= ٢ نيوتن	صفر	صفر
ب =٥ نيوتن	٠,٥ م	صفر
جـ = ١٠ نيوتن	٠,٥ م	٠,٥ م
د = ١٥ نيوتن	صفر	٠,٥ م
هـ = ١٩٦ نيوتن	٠,٢٥ م	٠,٢٥ م

إذاً : س = (٢×٠ + ٥×٠,٥ + ١٠×٠,٥ + ١٥×٠ + ١٩٦×٠,٢٥) ÷ (٢+٥+١٠+١٥+١٩٦) = ٠,٢٥ م

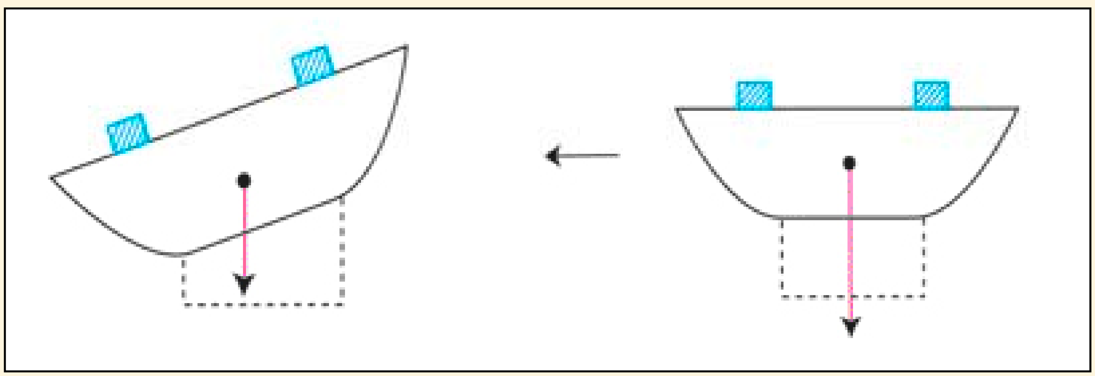
كذلك : ص = (٢×٠ + ٥×٠ + ١٠×٠,٥ + ١٥×٠,٥ + ١٩٦×٠,٢٥) ÷ (٢+٥+١٠+١٥+١٩٦) = ٠,٢٧ م

إحداثيات مركز الثقل : (س ، ص) = (٠,٢٥ م ، ٠,٢٧ م)

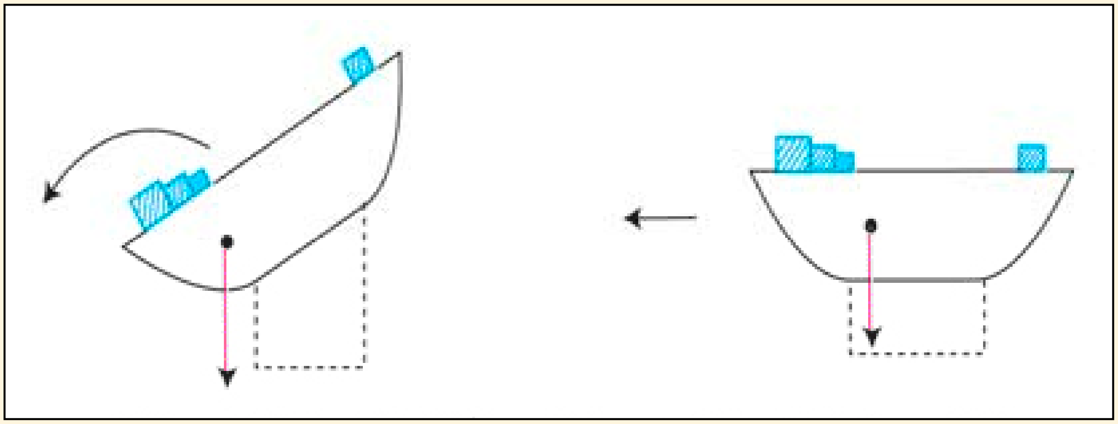
حدد هذه النقطة على الشكل ثم قارنها بتوقعك السابق .

تطبيقات فيزيائية :

من التطبيقات العملية على موضوع مركز الثقل ، ما يقوم به ربان السفينة من توزيع البضائع في أماكن محددة حتى يقع مركز ثقل المجموعة في مكانٍ معين يحمي السفينة من الانقلاب عند اهتزاز الأمواج بها . فإذا كان مركز ثقل السفينة في وسطها فإنه يعمل على إعادة التوازن إلى جسم السفينة كلما تقاذفتها الأمواج ، أما إذا كان مركز الثقل قريبا من أحد جوانبها فإن خطر الانقلاب يكون وشيكاً. انظر الشكلين (٥ ـ ٢٧) ، (٥ – ٢٨) .



شكل ٥ – ٢٧



شكل ٥ – ٢٨

نشـــاط عملي (٥ – ٢) :

كيفية تعيين مركز الثقل لصفيحة معدنية غير منتظمة الشكل . شكل (٥ – ٢٩)

الأدوات :

صفيحة غير منتظمة الشكل ، مثقاب ، خيط

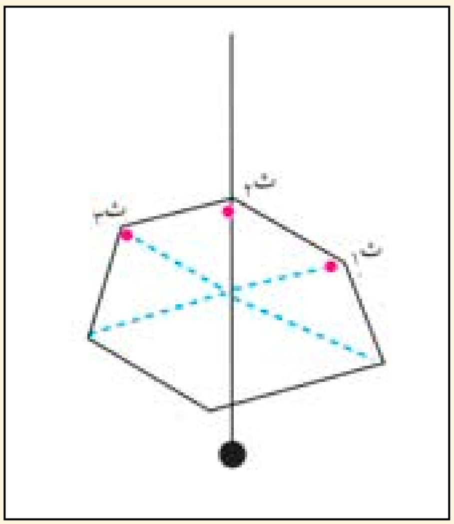
حامل لتعليق الصفيحة – ثقل صغير مربوط بخيط .

خطوات العمل :

١ – اثقب في أطراف الصفيحة ثقوباً صغيرة (ث$_1$ ، ث$_2$ ، ث$_3$)

٢ – علق الصفيحة بحبلٍ من الثقب الأول .

٣ – اربط الثقل الصغير بنفس الثقب واتركه يتدلى نحو الأرض .



شكل ٥ – ٢٩

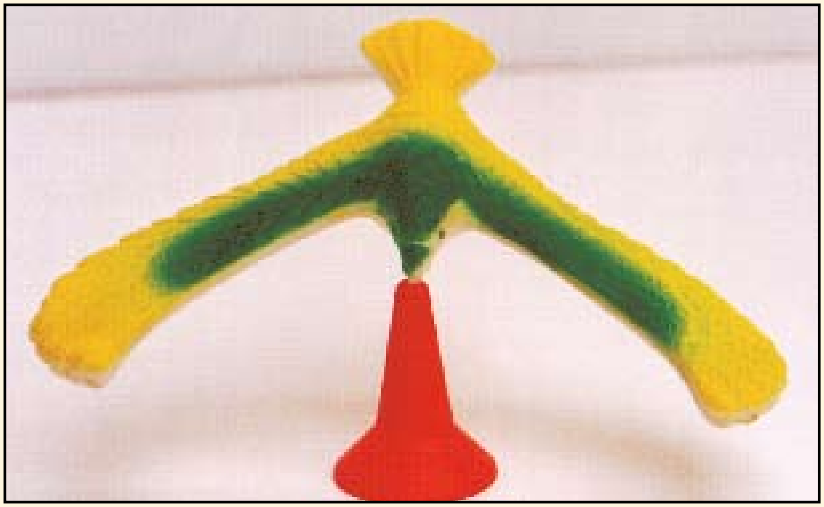
٤ – ارسم على الصفيحة خطاً مستقيماً يمثل مسار الخيط الحامل للثقل .

٥ ـ أجر الخطوة السابقة بالنسبة لباقي الثقوب .

* إن نقطة تلاقي الخطوط هي مركز ثقل الصفيحة . (فسر ذلك) .

سؤال للتفكير :

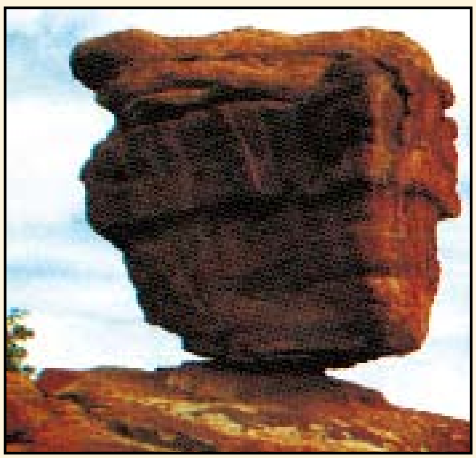
في الشكل (٥ـ٣٠) ترى أنه يمكن حمل نموذج الطائر متوازناً من منقاره فكيف تفسر ذلك ؟



شكل ٥ – ٣٠

وقفة تأمل :

سبحان الله انظر إلى الشكل (٥ـ٣١) وتأمل كيف ثبتت هذه الصخرة .



شكل ٥ – ٣١

الشرط الثاني للتوازن

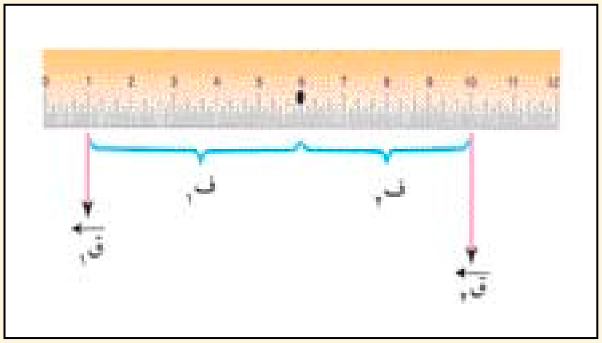
لندرس الآن الشرط اللازم لكي يمنع الجسم من الدوران . نذكر أننا قد ناقشنا في الفصل الثالث الشرط اللازم لكي يكون الجسم في حالة توازن بشرط إهمال جميع التأثيرات الدورانية. وسنوجد الآن الشرط اللازم تحققه لكي يكون الجسم في حالة توازن دوراني.

للتعرف على شروط توازن الجسم الواقع تحت تأثير القوى ، قم بالنشاط الآتي :

نشــاط عملي (٥ – ٣) :

الأدوات : مسطرة ، حامل خشبي ، مسمار ، مطرقة ، ثقلان مختلفان ، خيط .

خطوات العمل :



شكل ٥ – ٣٢

١ – ثبت المسطرة من وسطها تماما على الحامل الخشبي مستخدماً المسمار والمطرقة بحيث تكون المسطرة حرة الدوران . شكل (٥ – ٣٢)

٢ – علق الثقلين المتساويين على جانبي المسطرة وغير من موقعهما حتى تظل المسطرة أفقيةً .

٣ – غير من موقع أحد الثقلين . هل تظل المسطرة متزنةً ؟ ------------------

٤ – أي الجسمين يدير المسطرة ؟ -----------------------------------

٥ – أي الجسمين أكبر عزماً حول مركز الدوران (المسمار)؟ ------------------

٦ – غير من موقع الجسمين حتى تتزن المسطرة مرة أخرى ثم قس المسافة بين كل جسم والمسمار .

٧ – احسب مقدار العزم لكل من الجسمين

* لعلك لاحظت من هذا النشاط أن المسطرة تتزن عندما يتساوى عزما الجسمين ويتعاكسان في الاتجاه أي أن شرط التوازن هو : $\sum \vec{ع} = \vec{صفر}$

س : هل تستطيع استنتاج العلاقة بين مقدار القوتين على جانبي المسطرة والمتجهتين إلى أسفل ومقدار القوة التي يبذلها المسمار إلى أعلى عندما تظل المسطرة متزنة ؟

* لا شك أنك سوف تصل إلى أن مقدار القوتين على جانبي المسطرة = القوة التي يبذلها المسمار إلى أعلى ، أي أن $\sum \overleftarrow{\text{ق}} = \overleftarrow{\text{صفر}}$

إن الشرطين

$\sum \overleftarrow{\text{عز}} = \overleftarrow{\text{صفر}}$ ----- (٥ـ ١٨)

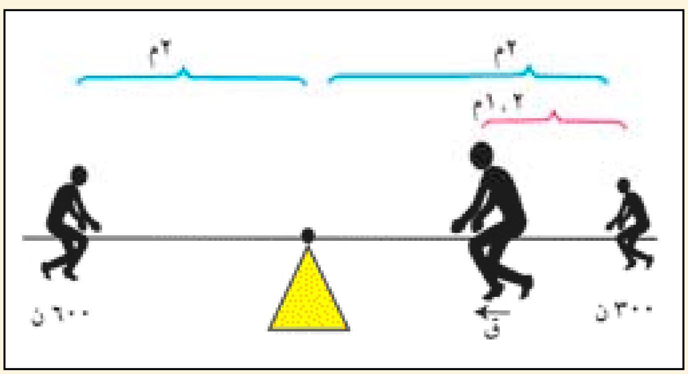
$\sum \overleftarrow{\text{ق}} = \overleftarrow{\text{صفر}}$ ----- (٥ـ ١٩)

هما شرطا التوازن لأي جسم تؤثر عليه مجموعة قوى تعمل على إدارة الجسم .

ملحوظة : ليس بالضرورة أن نجعل مركز العزوم هو وسط الجسم بل يمكننا اختيار أي نقطة أخرى .

مـثـــال (٥ – ٨) :

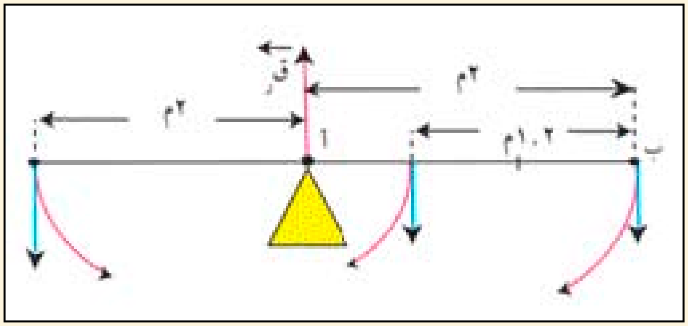
يبين الشكل (٥ – ٣٣) أرجوحة يجلس عليها ثلاثة أطفال . أوجد وزن الطفل الثالث (ق) حتى تظل الأرجوحة متزنة أفقياً وكذلك القوة التي تبذلها نقطة الارتكاز ($\text{ق}_{\text{ر}}$) ؟



شكل ٥ – ٣٣

الحل :

سنرسم أولاً القوى والعزوم كما في الشكل (٥ - ٣٤)



شكل ٥ - ٣٤

ثم نوجـد عـزوم القـوى حول النقطة (أ) ثم نطبق الشرط

مج عز = صفر

⇐ −٣٠٠ × ٢ − ق × ٠,٨ + صفر + ٦٠٠ × ٢ = صفر

(لاحظ أن عز ($ق_{ر}$) يساوي الصفر لماذا ؟)

إذاً : ق = ٧٥٠ نيوتن

وبالتعويض في المعادلة مج ق = صفر

−٣٠٠ − ٧٥٠ + $ق_{ر}$ − ٦٠٠ = ٠

⇐ $ق_{ر}$ = ١٦٥٠ نيوتن

* لا حظ في هذا المثال أن القوى كانت متعامدة مع الأرجوحة وهذا سهَّل مهمتنا كثيراً .

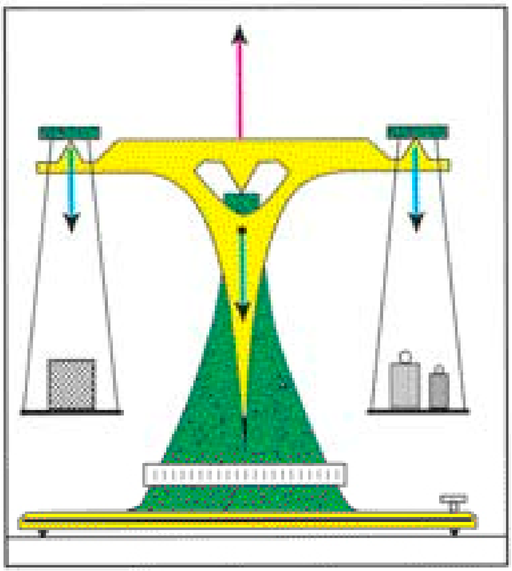
س : في المثال السابق خذ العزوم حول النقطة (ب) (عند الثقل ٣٠٠ نيوتن) ثم أثبت أنك ستحصل على نفس النتائج السابقة .

اشكال للدراسة :

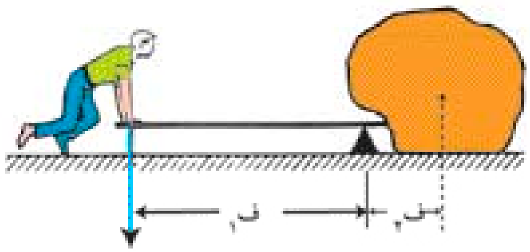
١ - إن الميزان ذا الكفتين يعمل بطريقة توازن القوى المتوازية .

انظر الشكل (٥-٣٥) وادرس كيف يعمل الميزان .

٢- انظر إلى الشكل (٥-٣٦) وحدد الشرط اللازم ليتمكن الرجل من رفع الصخرة ، ثم اكتب ذلك بصورة رياضية .



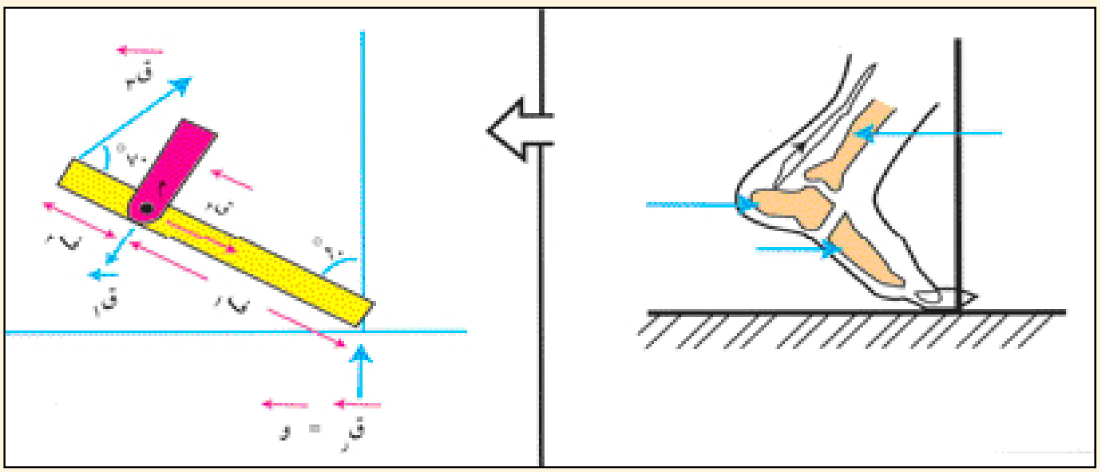
شكل ٥ - ٣٥



شكل ٥ - ٣٦

٣- الشكل (٥-٣٧) يبين القوى المؤثرة عندما يقف الإنسان على رأس إصبع قدمه .

تأمل الشكل ثم حاول كتابة المعادلات الناشئة عن تطبيق شروط التوازن على هذه الحالة.



شكل ٥ - ٣٧

طرائف علمية :

أحضر مكنسة ذات عصا طويلة ثم اطرحها أفقياً واحملها بيدك ثم حاول أن ترفع المكنسة أفقياً على إصبع واحد بحيث تكون متوازنة ، حدد نقطة الاتزان التي حملت المكنسة من خلالها ، احضر المنشار واقطع المكنسة عند تلك النقطة إلى قطعتين .

الآن أحضر ميزاناً ، وزن كلا القطعتين ، أيهما ستكون أثقل وزناً ؟ ولماذا ؟ ثم ما علاقة اتزان المكنسة بموضوع دراستنا ؟ .

القانون العام للتوازن الساكن

إذا أثرت مجموعة من القوى المتوازية والمتلاقية على جسم ما ، فإن شرطي توازن هذا الجسم هما :

$\sum \vec{\text{عز}} = \text{صفر}$ $\qquad$ $\sum \vec{\text{ق}} = \text{صفر}$

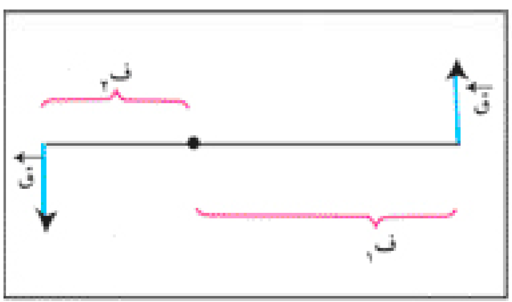
الازدواج

يعرف الازدواج بأنه : قوتان متوازيتان ومتساويتان ومتعاكستان تولدان عزمين في اتجاه واحد شكل (٥-٣٨)

$$\overrightarrow{\text{عزم الازدواج}} = \vec{\text{عز}}_{١} + \vec{\text{عز}}_{٢}$$

$$= \vec{\text{ق}} \times \vec{\text{ف}}_{١} + \vec{\text{ق}} \times \vec{\text{ف}}_{٢}$$

$$= \vec{\text{ق}} \, (\vec{\text{ف}}_{١} + \vec{\text{ف}}_{٢})$$



شكل ٥ – ٣٨

⟸ مقدار عزم الازدواج = ق × ف . . . . . . (٥ـ٢٠)

حيث ف : المسافة العمودية بين القوتين .

تطبيقات فيزيائية :

يمكن أن نلاحظ الازدواج في حياتنا العملية في :

إدارة مفتاح الباب ـ إدارة مقود السيارة باليدين معاً ـ مفتاح العجل الرباعي

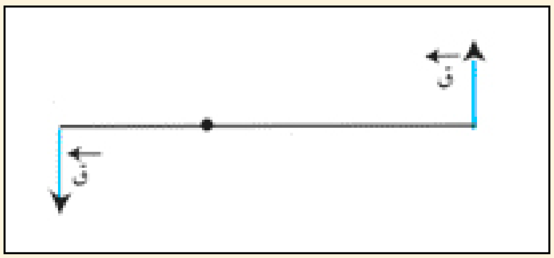
ويتزن الجسم الواقع تحت تأثير عدد من الازدواجات إذا كان : $\sum$ $\overleftarrow{\text{عز}}$ = $\overleftarrow{\text{صفر}}$

(حيث الشرط $\sum$ $\overleftarrow{\text{ق}}$ = $\overleftarrow{\text{صفر}}$ محقق تلقائياً)

مـثـــــال (٥ – ٩) :

في الشكل التالي استخدم القوتين ق١ ، ق٢ للحصـــول على ازدواجـات مـــــوازنة للازدواج المؤثر ، وذلك في حالتين منفصلتين إذا علمت أن :

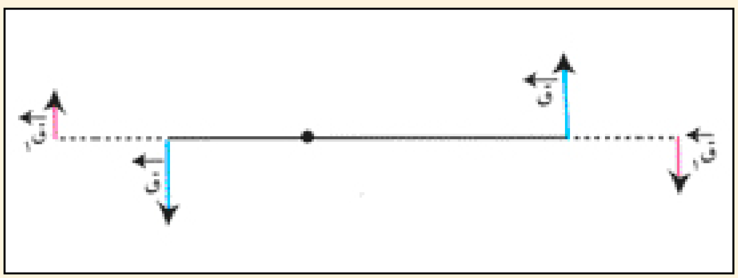
ق١ > ق > ق٢



شكل ٥ – ٣٩

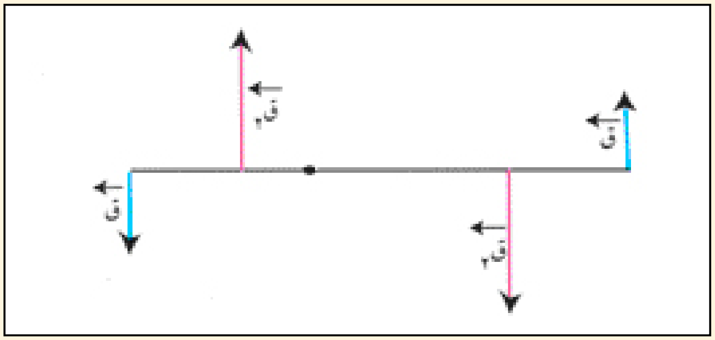
الحل :

أولاً : باستخدام $\overleftarrow{\text{ق}}_1$ يمكننا الحصـــول على الازدواج الموازن كـــمـــــا في شكل (٥ – ٤٠) :



شكل ٥ – ٤٠

ثانياً : باستخدام ق٢ يمكننا الحصول على الازدواج الموازن كما في شكل (٥ – ٤١)



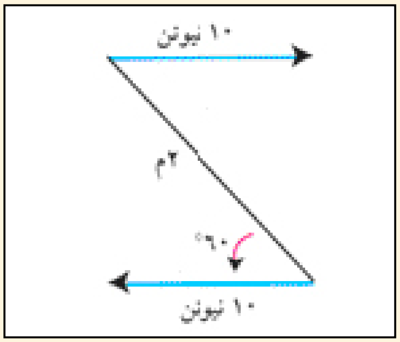
شكل ٥ – ٤١

مثال (٥ –

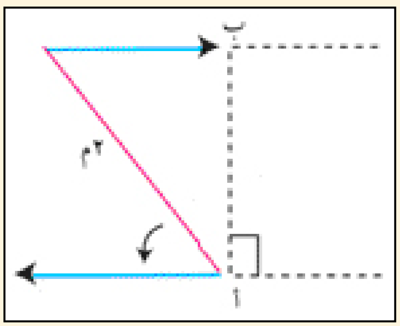
في الشكل (٥–٤٢) احسب قيمة عزم الازدواج المؤثر.

الحل :

لابد من كون ق ، ف متعامدين وفي هذه الحالة فسوف تأخذ مركبة المسافة العمودية على القوتين شكل (٥–٤٣) وستكون هذه المركبة هي أ ب



شكل ٥ – ٤٢



شكل ٥ – ٤٣

ويتضح من الشكل أن أ ب = ٢ جا ٦٠

إذاً : أ ب = ١,٧٣ م

⇐ عزم الازدواج = ١٠ × (١,٧٣) =

١٧,٣ نيوتن . م

س : حدِّد اتجاه الدوران الذي يسببه هذا الازدواج.

س : يستخدم النجار (زرادية) لقطع المسامير الحديدية فهل تنصحه باستخدام (زرادية) طويلة الأذرع أم قصيرة الأذرع ولماذا ؟

أسئلة الفصل الخامس

س ١ : اذكر أمثلة لحركات دائرية منتظمة .

س٢ : اذكر أمثلة لحركات توافقية بسيطة .

س٣ : لاحظ حركة عقربي ساعة يدك ثم أجب عما يلي :

أ- ما هي السرعة الزاوية لعقرب الثواني (افترض أن طول العقرب هو : $ر_1$) ؟

ب- ما هي سرعة طرف العقرب على الدائرة ؟

جـ- اجب عن الفقرتين السابقتين بالنسبة لعقرب الدقائق (افترض أن طول عقرب الدقائق : $ر_2$) .

د- ما قيمة كل من : د ، ن لكل منهما .

س٤ : كتلة مقدارها ٢ كجم ربطت في طرف سلك طوله ٢٥٠ سم ، وأديرت بسرعة ١٢٠ دورة في الدقيقة أوجد :

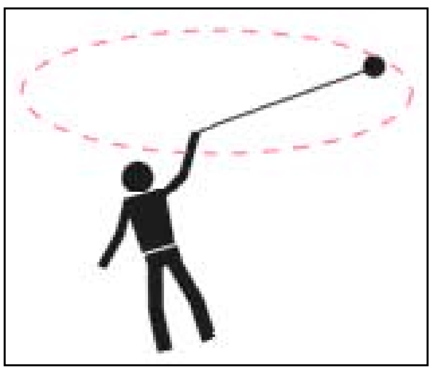
أ- السرعة الخطية لها .
ب- المسافة التي تقطعها خلال عشر دقائق .

جـ- السرعة الزاوية لها .
د- الزاوية التي تقطعها خلال عشر دقائق .

هـ- التسارع المركزي .
و- قوة الجذب المركزية المؤثرة عليها .

ز- قوة الطرد المركزية المؤثرة عليها .

س٥ : صبي طوله ١,٦ م وبيده حجر مربوط بخيط طوله ٠,٥ ، بدأ هذا الصبي يدير الحجر بشكل أفقي و بسرعة ١٢٠ دورة في الدقيقة ، ثم أطلقه ، فاحسب ما يلي :



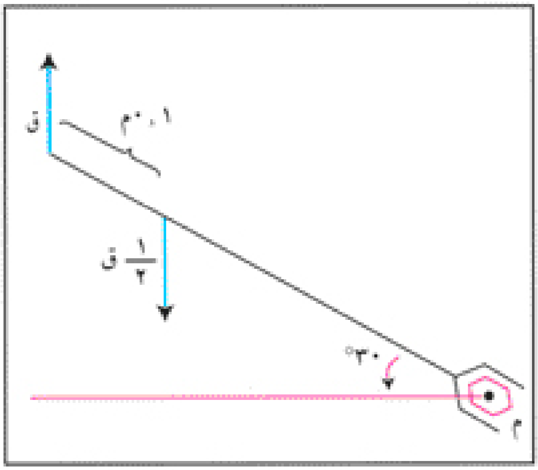
شكل ٥ – ٤٤

أ ـ سرعة انطلاق الحجر .

ب ـ المسافة التي قطعها الحجر أفقياً قبل سقوطه على الأرض . انظر شكل (٥ – ٤٤).

س٦ : (أ ب) قضيب منتظم طوله ٤٠ سم ، ووزنه ٤ نيوتن يرتكز أفقياً على حاملين أملسين أولهما عند نقطة (جـ)، حيث أ جـ = ٩ سم والثاني عند (د) . علق من طرفي القضيب أ، ب الثقلان ١٤ نيوتن ، ٦ نيوتن على الترتيب ، فحدد موضع النقطة (د) بالنسبة لمنتصف القضيب . إذا علمت أن القوة الضاغطة على الحامل عند (جـ) هي ضعف القوة عند (د) .

(افترض أن مساحة كل من رأسي الحاملين هي س) . (٠,٠٢) .



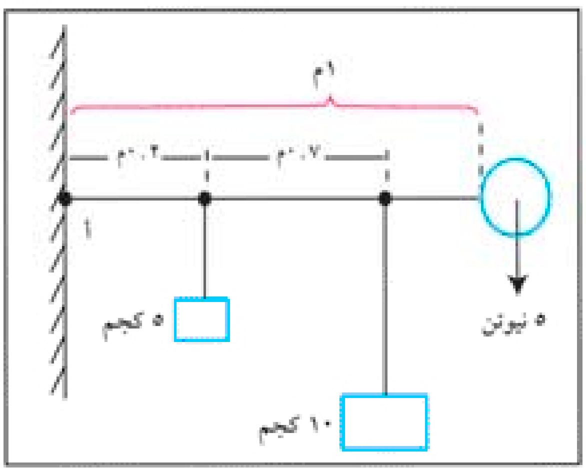
شكل ٥ – ٤٥

س٧ : في الشكل (٥ – ٤٥) احسب ع عز حول م . إذا علمت أن طول ذراع المفتاح = ٠,٣م

(-٠,١٧٤ × ق).

س٨ : احسب بعد مركز ثقل المجموعة التالية عن النقطة أ ، إذا علمت أن ثقل القضيب = ٢٠ نيوتن، وأن نصف قطر الكرة = ٥ سم .

شكل(٥ـ٤٦) . (٠,٦٦م)



شكل ٥ – ٤٦

س٩ – يرتكز طرفا جسر طوله ٥٠ م على دعامتين ، فإذا كان ثقل الجسر $١٠^{٥}$ نيوتن ، وعلمت أن سيارة توقفت على بعد ١٠ م من الدعامة (أ) وأن ثقلها $١٠^{٤}$ نيوتن ، فما هي القوة التي تتحملها كل دعامة ؟ ($ق_{أ}$ = ٥٨٠٠٠ ، $ق_{ب}$ = ٥٢٠٠٠)

س١٠ – أكمل الجدول التالي الذي يوضح وجوه الاختلاف بين العزم والشغل :

العزم	الشغل
كمية متجهة	----------------
$\vec{\text{عز}} = \vec{\text{ق}} \times \vec{\text{ف}}$	$\text{شغ} = \vec{\text{ق}} \, . \, \vec{\text{ف}}$
نيوتن . م (متعامدة)	جول = نيوتن . م (----)
--------------	ينعدم بانعدام الحركة

شركة المطابع الأهلية للأوفست المحدودة
National Offset Printing Press Ltd. Co.
الرياض - المملكة العربية السعودية