١١

الجُزءُ الأَوَّل

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

الفيزياء

المؤلِّفون:

د.عدلي صالح
أ.ياسر مصطفى
أ. أيمن الشروف
أ. سفيان صويلح
أ. مرسي سمارة
أ. محمد أبو ندى
أ. لبنى أبو عودة

أ. أحمد سياعرة (منسقاً)

مركز المناهج

قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين
تدريس هذا الكتاب في مدارسها بدءاً من العام الدراسي ٢٠١٧/ ٢٠١٨ م

الإشراف العام

رئيس لجنة المناهج	د. صبري صيدم
نائب رئيس لجنة المناهج	د. بصري صالح
رئيس مركز المناهج	أ. ثروت زيد

الدائرة الفنية

الإشراف الإداري	أ. حازم عجاج
التصميم الفني	ابتهال صوالحة

التحكيم العلمي	د. مؤيد أبو صاع
التحرير اللغوي	أ. وفاء الجيوسي
الرسومات	أ. سالم نعيم
المتابعة للمحافظات الجنوبية	د. سمية النخالة

الطبعة الأولى
٢٠١٨ م/ ١٤٣٩ هـ

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي
مركز المناهج

حي الماصيون، شارع المعاهد
ص. ب 719 – رام الله – فلسطين
pcdc.mohe@gmail.com | pcdc.edu.ps

mohe.ps | mohe.pna.ps | moehe.gov.ps
.com/MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym
+970-2-2983280 هاتف | +970-2-2983250 فاكس

تـقـديـم

يتصف الإصلاح التربوي بأنه المدخل العقلاني العلمي النابع من ضرورات الحالة، المستند إلى واقعية النشأة، الأمر الذي انعكس على الرؤية الوطنية المطورة للنظام التعليمي الفلسطيني في محاكاة الخصوصية الفلسطينية والاحتياجات الاجتماعية، والعمل على إرساء قيم تعزز مفهوم المواطنة والمشاركة في بناء دولة القانون، من خلال عقد اجتماعي قائم على الحقوق والواجبات، يتفاعل المواطن معها، ويعي تراكيبها وأدواتها، ويسهم في صياغة برنامج إصلاح يحقق الآمال، ويلامس الأماني، ويرنو لتحقيق الغايات والأهداف.

ولما كانت المناهج أداة التربية في تطوير المشهد التربوي، بوصفها علماً له قواعده ومفاهيمه، فقد جاءت ضمن خطة متكاملة عالجت أركان العملية التعليمية التعلمية بجميع جوانبها، بما يسهم في تجاوز تحديات النوعية بكل اقتدار، والإعداد لجيل قادر على مواجهة متطلبات عصر المعرفة، دون التورط بإشكالية التشتت بين العولمة والبحث عن الأصالة والانتماء، والانتقال إلى المشاركة الفاعلة في عالم يكون العيش فيه أكثر إنسانية وعدالة، وينعم بالرفاهية في وطن نحمله ونعظمه.

ومن منطلق الحرص على تجاوز نمطية تلقّي المعرفة، وصولاً لما يجب أن يكون من إنتاجها، وباستحضار واعٍ لعديد المنطلقات التي تحكم رؤيتنا للطالب الذي نريد، وللبنية المعرفية والفكريّة المتوخّاة، جاء تطوير المناهج الفلسطينية وفق رؤية محكومة بإطار قوامه الوصول إلى مجتمع فلسطيني ممتلك للقيم، والعلم، والثقافة، والتكنولوجيا، وتلبية المتطلبات الكفيلة بجعل تحقيق هذه الرؤية حقيقة واقعة، وهو ما كان له ليكون لولا التناغم بين الأهداف والغايات والمنطلقات والمرجعيات، فقد تآلفت وتكاملت؛ ليكون النتاج تعبيراً عن توليفة تحقق المطلوب معرفياً وتربوياً وفكرياً.

ثمّة مرجعيات تؤطّر لهذا التطوير، بما يعزّز أخذ جزئية الكتب المقررّة من المنهاج دورها المأمول في التأسيس؛ لتوازن إبداعي خلّاق بين المطلوب معرفياً، وفكرياً، ووطنياً، وفي هذا الإطار جاءت المرجعيات التي تم الاستناد إليها، وفي طليعتها وثيقة الاستقلال والقانون الأساسي الفلسطيني، بالإضافة إلى وثيقة المنهاج الوطني الأول؛ لتوجّه الجهد، وتعكس ذاتها على مجمل المخرجات.

ومع إنجاز هذه المرحلة من الجهد، يغدو إزجاء الشكر للطواقم العاملة جميعها؛ من فرق التأليف والمراجعة، والتدقيق، والإشراف، والتصميم، وللجنة العليا أقل ما يمكن تقديمه، فقد تجاوزنا مرحلة الحديث عن التطوير، ونحن واثقون من تواصل هذه الحالة من العمل.

وزارة التربية والتعليم العالي

مركز المناهج الفلسطينية

آب / ٢٠١٧

مـقـدمـة

إن اهتمـام وزارة التربيـة والتعليـم العالـي الفلسـطينية بتطويـر مناهـج التعليـم؛ وتحديثهـا فـي إطـار الخطـة العامـة للـوزارة؛ وسـعيها الحثيـث لمواكبـةِ التطـورات العالميـة على الصُّعُـد كافـة، باسـتلهام واضـح للتطـوّر العلمـي والتكنولوجـي المتسـارع، وبمـا ينسـجم وتطلعاتنـا للطالـب الـذي نطمـح؛ ليغـدو فاعـلا، وباحثـا، ومجربّـا، ومستكشـفا، ومتأمـلا.

في هـذا الإطـار؛ يأتـي كتـاب الفيزيـاء للصـف الحـادي عشـر فـي إطـار مشـروع تطويـر مناهـج العلـوم الهـادف إلـى إحـداث تطويـر نوعـيٍّ فـي تعليـم العلـوم، وتعلّـم كل مـا يرتبـط بهـا مـن محـاور واكتسـاب مـا تتطلبـه مـن مهـارات، وبمـا يوفّـر الضمانـات الكفيلـة بـأن يكـون للطالـب الـدور الرئيـس المحـوريُّ فـي عمليـة التعلـم والتعليـم .

أمـا عـن الكتـاب الـذي بيـن أيدينـا، فقـد توزعّـت مادتـه علـى فصليـن دراسـيين،الفصل الدراسـي الأول يشـتمل علـى سـت فصـول فـي موضـوع الميكانيـكا، وحرصنـا علـى عـرض المحتـوى بأسـلوب سـلسٍ، وبتنظيـمٍ تربـوِّي فاعـل؛ يعكـس توجهـات المنهـج وفلسـفتهُ، ويتمثـل فـي دورة التعلـم، حيـث تـم إسـتخدام المعادلـة والقوانيـن بالحـروف الإنجليزيـة ليخـدم الطلبـة الذيـن سـيتابعون دراسـتهم الجامعيـة فـي المجـالات العلميـة.

اشـتمل المحتـوى علـى أنشـطةٍ متنوعـةِ المسـتوى تَتَّسِـمُ بإمكانيـة تنفيـذ الطلبـة لهـا، مراعِيَـةً فـي الوقـت نفسـهِ مبـدأ الفـروق الفرديـة بينهـم، مـع الاهتمـام بتضميـن المحتـوى صـورا ورسـومات إيضاحيّـة معبّـرة تعكـسُ طبيعـة الوحـدة أو الـدرس، مـع تأكيـد الكتـاب فـي وحداتـهِ ودروسـهِ المختلفـةِ علـى مبـدأ التقويـم التكوينـيّ، والتقويـم الواقعـيّ .

وتسـتلهم فلسـفةُ الكتـاب أهميّـة اكتسـاب الطالـب منهجيـة علميـة فـي التفكيـر والعمـل، وتنميـة مهاراتـه العقليـة والعمليـة، ومنهـا: قـراءة الصـور، والكتابـة والقـراءة العلميّـة، والرسـم، وعمـلُ النمـاذج والتجـارب، عـلاوة علـى اهتمامهـا بربـط المعرفـة بواقـع حيـاة الطالـب مـن جهـة، وبالرياضيـات مـن جهـة أخـرى، لجعـل التكامـل حقيقـة واقعـة، وهدفـا قابـلا للتحقـق.

المؤلفون

المحتويات

الوَحدةُ الأولى: الميكانيكا (Mechanics)

الفصل الأول:	الكميّات المتّجهة والحركة في بُعديْن (Vectors and Two-Dimensional Motion)	٤
الفصل الثاني:	القوى والعزوم (Forces and Torques)	٢٢
الفصل الثالث:	قوانين نيوتن في الحركة (Newton's Laws of Motion)	٣٨
الفصل الرابع:	الشغل والطّاقة الميكانيكيّة (Work and Mechanical Energy)	٥٤
الفصل الخامس:	الحركة الدائريّة (Circular Motion)	٧٢
الفصل السادس:	الحركة التوافقية البسيطة (Simple Harmonic Motion)	٨٤

الوَحدةُ الأولى

الميكانيكا (Mechanics)

أسهمت الأبحاث في الفيزياء عبر العقود الأخيرة في تطور التكنولوجيا في مجالاتٍ عدة، كالإتصالات والأقمار الصناعية والمواصلات وغيرها. فما دور علم الميكانيكا في هذه التطورات؟

الميكانيكا (Mechanics)

تُعدُّ الميكانيكا الركيزةَ الأساسيّةَ لعلم الفيزياء وأقدمَ فروعها. وتُعنى الميكانيكا بدراسة كيفيّة تحرُّك الأجسام، أو اتّزانها عند تعرُّضها لقوىً تؤثّر في حالتها الحركيّة. لقد صاغ إسحاق نيوتن مبادئ بسيطةً تُعرَفُ بقوانين الميكانيكا الثلاثة عام 1678م، التي نجحت في تفسير هذه الحركة. فكيف تمكنّنا هذه المبادئ من التنبؤ بموضع وسرعة الأجسام، بدقةٍ عالية، من خلال التعرُّف إلى القوى المؤثّرة فيها؟ وكيف تمكنُّنا قوانينُ الميكانيكا من حساب مسارات الأجسام على اختلافها، سواءً كانت صغيرةً مثل كرةِ القدم المُنطلِقة لدى رَكْلها، أو بندولٍ مُعلَّق، أو قذيفةٍ تنطلق من فُوّهةِ مِدفع، أو كانت كبيرةً كالكواكب التي تدور في أفلاكٍ حول الشمس والنجوم؟ وكيف تُوظَّفُ الميكانيكا في الحياة العمليّة؟ وما أهميّةُ تطبيقِ مبادئها في تصميم المباني والمنشآت، وكذلك المُعدّات، وآلات النّقل، ومرْكبات التنقّل على اختلاف غايات استعمالها؟

يُتوقَّعُ منك بعد دراستك هذه الوَحدة، أنْ تجيبَ عن الأسئلة السابقة وغيرها، وأنْ تحقّقَ النتاجات الآتية:

- توظيف المفاهيم العلميّة في تفسير الظواهر الطبيعيّة التي تتعلّق بالميكانيكا.
- اكتساب مهارة التحليل الفيزيائي للمسائل المتعلّقة بالميكانيكا.
- التعرّف إلى تطبيقات الميكانيكا في المُعدّات والآلات.
- إنتاج مشروع حول استخدام الميكانيكا في بعض المُعدّات مثل: الروافع، والمصاعد، وألعاب الملاهي، وغيرها.

الكميّات المتّجهة والحركة في بُعديْن (Vectors and Two-Dimensional Motion)

هناك العديدُ من الكميّات الفيزيائيّة التي نواجهها في حياتنا، كالمسافات التي نسيرها يوميّاً إلى الأماكن التي نبغي وصولها، والأزمان التي نحتاجها لذلك، وكذلك القوى التي ندفع بها الأشياء من حولنا، كمركبةٍ معطّلةٍ، بهدف تحريكها، وغيرها من الكميّات. وكما مرّ معك سابقاً، فإنّ هذه الكميّات يُمكن تصنيفُها من حيثُ ما يلزم لوصفها، والتعبير عنها بشكلٍ كامل؛ حيث نسمّي بعضَها كميّاتٍ قياسيّة، بينما نسمّي البعضَ الآخر كميّاتٍ متّجهةٍ، أو متّجهات.

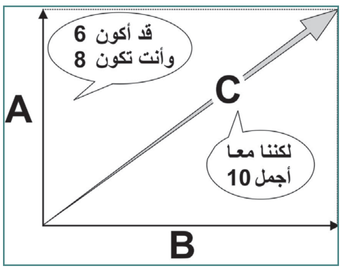
فما الفرقُ بين الكميّات القياسيّة والكميّات المتّجهة؟ وكيف نعرف الكميّاتِ المتّجهة، ونمثّلها بيانيّاً؟ وما العمليّات الجبريّة المختلفة التي تُجرى عليها، وكيفيّة إجرائها؟ والتي تساعدُنا في وصف حركة الأجسام بالاعتماد عليها. ويُتوقَّع منك_عزيزي الطالب- بعد دراستك هذا الفصل، أنْ تجيب عن هذه الأسئلة وغيرها، وأنْ تكون قادراً على أنْ:

- تُجريَ العمليّاتِ الجبريّة على المتّجهات.
- تتعرّفَ إلى بعض الكميّات الفيزيائيّة من خلال العمليّات الجبريّة عليها.
- تحلَّ مسائلَ عدديّةً باستخدام جبر المتّجهات.
- تفسّرَ بعضَ التطبيقات على الحركة في بُعديْن.

1-1 الكميّات المتّجهة(Vectors)

لقد مرّ بك في الصفّ العاشر مفهومُ الكميّات المتّجهة، التي تُعرف بأنّها الكميّات الفيزيائيّة التي يلزم للتعبير عنها تحديدُ مقدارها واتّجاهها، كالإزاحة، والسّرعةِ المتّجهة، والقوّة. وتعلّمتَ تمثيلَها بيانيّاً، وإيجاد حاصل جمعها بالطريقة الهندسيّة. ونستخدم الرّمز الغامق **A** أو $\vec{A}$ للتعبير عن المتّجه، بينما نستخدم |**A**| أو A للتعبير عن مقدار المتّجه.

أناقش



١- أعطِ أمثلةً لكميّاتٍ فيزيائيّة.

٢- صنّف الكميّات التي ذكرتَها إلى: قياسيّة، ومتّجهة.

٣- ما المقصود بمعكوس المتّجه؟

٤- كيف نمثّل الكميّة المتّجهة بيانيّاً؟

٥- فسّر الحوار في الشّكل المجاور.

نشاط (1): الموْضع والإزاحة

سافر أبو أحمد من القدس السّاعةَ السّادسة والنّصف صباحاً، لزيارة حيْفا على السّاحل الفِلَسطينيّ، فوصل يافا السّاعةَ السّابعةَ والنّصف صباحاً، قاطعاً مسافة (60 km) ، وبعد أنْ تجوّل فيها مدةَ ساعتيْن، أكمل رحلته إلى حيْفا، فوصلها بعد ساعةٍ ونصف. مستعيناً بخريطة فِلَسطينَ كما في الشكل المجاور، أجب عن الأسئلة الآتية:

١- ما موضعُ أبي أحمدَ السّاعةَ السّابعةَ والنّصف بالنسبة إلى مدينة القدس؟ وما أقربُ مدينةٍ فِلسطينيّةٍ إلى هذا الموضع؟

٢- ما مقدارُ السّرعة المتوسّطة القياسيّة (speed) لسيّارة أبي أحمدَ، أثناءَ رحلته من القدس إلى يافا؟

٣- ما السّرعةُ المتوسّطة المتّجهة (velocity) في الفرع السّابق؟

٤- ما موضعُ أبي أحمد السّاعة الحادية عشرةَ؟

نشاط (2): الكميّاتُ المتّجهة

الموادّ والأدوات: شريط متريّ، ومِنقلة.

الخطوات:

١- سرْ باتّجاه الشرق مسافة (6 m)، ثمّ سرْ باتّجاه الشمال مسافة (8 m).

٢- قمْ بقياس مقدار الإزاحة الناتجة.

٣- قمْ بقياس الزاوية بين الشرق والإزاحة الناتجة.

٤- أعِدْ الخطوة الأولى بالسّير شرقاً (6 m)، ثمّ سرْ (8 m) باتّجاه الشمال الشرقيّ. وكرّرْ الخطوتيْن ٢،٣.

٥- قارنْ بين المسافة المقطوعة ومقدار الإزاحة في كلِّ حالة.

2-1 جمع المتّجهات (Vector Addition)

تعلمتَ في الصفّ العاشر الأساسيّ جمعَ المتّجهات بيانيّاً (الطريقة الهندسيّة)، وجمعَ متّجهيْن متوازييْن، أو متعامديْن.

نشاط (3): الطريقة الهندسيّة لجمع المتّجهات

المواد والأدوات: مِسطرة، وقلم رصاص، وورق رسم بيانيّ، ومنقلة.

لديْكَ المتّجهات ($\mathbf{A}$ = 24) وَحدةً، باتّجاه المِحور السيني الموجَب، (+x) و ($\mathbf{B}$ = 40) وَحدةً، باتّجاه المِحور الصادي(+y) الموجَب، و $\mathbf{C}$ = 48 وَحدةً، باتّجاه المحور السيني السّالب، و $\mathbf{D}$ = 8 وَحداتٍ باتّجاه المِحور السيني الموجَب.

الخطوات:

١- مثّل المتّجهات بيانيّاً بأسهمٍ باختيار مقياس رسمٍ مناسب.

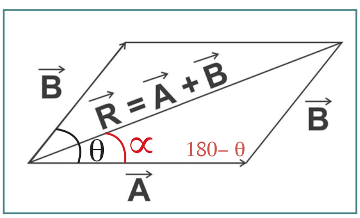
٢- جِدْ مجموع المتّجهات بالطريقة الهندسيّة. (بحيث يتمّ رسمُها على التوالي، مع مراعاة رسم ذيْل السّهم الثاني على رأس السّهم الأوّل، وهكذا مع بقيّة الأسهم التي تمثل المتّجهات الأربعة).

٣- جِدْ ما يأتي باستخدام الطريقة الهندسيّة:

- ناتج $\mathbf{A+B}$
- ناتج $\mathbf{A+B+C}$
- ناتج $\mathbf{A-D}$

لعلك لاحظت أنّ طريقة جمع المتّجهات بالتمثيل البيانيّ باستخدام المِسطرة والمِنقلة لا يتّسم بدقّةٍ كافية، ولكنّها مفيدةٌ في تصوُّر المسألة وتحليلها؛ ونتيجةً لذلك يتمُّ جمعُها رياضيّاً بطرقٍ أخرى: **طريقة متوازي الأضلاع، أو تحليل المتّجهات لمركّباتها، كما يأتي:**

1 -2- Aجمع المتّجهات بطريقة متوازي الأضلاع



إذا كان لديْنا المتّجهان $\mathbf{A}$ و $\mathbf{B}$، بينهما زاوية θ كما في الشكل المجاور، فإنّ قُطرَ متوازي الأضلاع المحصور يمثّل محصّلة المتّجهيْن $\mathbf{R}$، مقداراً واتّجاهاً، وهو السّهم الواصل من ذيْل المتّجه الأوّل إلى رأس المتّجه الثّاني. ويُعطى مقدارُ المحصّلة بالعلاقة الآتية:

$$R=\sqrt{A^2+B^2+2AB\cos\theta} \qquad (1\text{-}1)$$

ولإيجاد اتّجاه المحصّلة، نستخدم قاعدة الجيب لنجد الزاوية ∝ التي تصنعها المحصّلة R مع A

$$\frac{B}{\sin\alpha}=\frac{R}{\sin(180-\theta)} \qquad (1\text{-}2\text{-}A)$$

وحيث إنّ $\sin(180-\theta)=\sin\theta$، فيمكن التعبير عن $\sin\alpha$ من خلال العلاقة:

$$\sin\alpha=\frac{B}{R}\sin\theta \qquad (1\text{-}2\text{-}B)$$

أناقش

ما محصّلةُ متّجهين **A** و**B** إذا كانا:

١- بالاتّجاه نفسه.

٢- باتّجاهيْن متعاكسيْن.

٣- باتّجاهيْن متعامديْن.

٤- متساوييْن مقداراً، وبينهما زاوية θ.

مثال (1): غرزت سيّارةٌ في الرمل، واستُخدم لجرّها حبلان يحصران بينهما زاوية(45°). فإذا كانت قوة الشدّ في أحدِهما($600\,N$) ، وفي الآخر($800\,N$)، ما محصّلةُ قوّتيّ الشّدّ في الحبليْن التي تتأثّر بها السيّارة؟

الحل:

لإيجاد مقدار المحصّلة، نستخدم العلاقة (1-1):

$$R=\sqrt{(600)^2+(800)^2+2\times600\times800\times\cos(45^\circ)}$$

$$R=1295.7N$$

ولإيجاد الاتّجاه، نستخدم قاعدة الجيب (A-2-1):

$$\frac{800}{\sin\propto}=\frac{1295.7}{\sin 45^\circ}$$

$$\sin\propto=0.71\times\frac{800}{1295.7}=0.44$$

$$\propto = 26^\circ$$

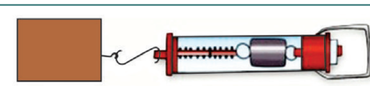
أيّ انّ: **R** تصنع زاوية مقدارها 26° مع **A**.

سؤال

استُخدم حبلان يؤثّران في قوتيّ شدٍّ متساويتيْن مقداراً، يحصران بينهما زاوية 60° ؛ لتحريك جسمٍ على سطحٍ أفقيّ، وكانت محصّلتُهما ($50\,N$)، ما مقدار القوّة التي يؤثّر بها كلٌّ من الحبليْن في الجسم.

B-2-1 جمع المتّجهات بتحليلها إلى مركّبات متعامدة

نشاط (4): تحليل الكميّة المتّجهة



المـواد والأدوات: ميـزانٌ نابـض، وقطعـةٌ خشـبيّةٌ مـع خطّـاف، وقطعُ أوزانٍ مناسبة مـع خطـاف، ومِنقلـة.

الخطوات:

١. ضع القطعة الخشبيةعلى سطح طاولة أفقي ثم قم بسحبها أفقيّاً(θ =0°) باستخدام الميزان النابض، وسجّل قراءة الميزان **F**، عندما تصبح على وشك الحركة.

٢. كرّر الخطوة 1 حسب الزوايا في الجدول.

الزاوية θ	قراءة الميزان(F (N	F cos θ (N)
0°		
15°		
30°		
45°		
60°		

ماذا تستنتج؟ فسر ذلك.

يُسمّى المقدارُ (F cos θ) المركّبةَ الأفقيّة للقوة **F**، ويُرمز لها بالرّمز(F_x)، وتكون هذه المركّبة مُسبّبةً حركةَ الجسم باتّجاهها، في حال كانت كافيةً للتغلّب على قوّة الاحتكاك مع السطح. بينما هناك مركّبةٌ رأسيّةٌ للقوّة **F**، ويُرمز لها بالرّمز (F_y)، وتساوي (F sin θ). وتجدر الملاحظة أنّ الزاوية تُحدَّدُ من اتّجاه المِحور السيني الموجَب، وبعكس عقارب الساعة.

مثال (2): جدْ مركّبتيّ القوة الأفقيّة والرأسيّة في كلٍّ من الحالات الآتية:

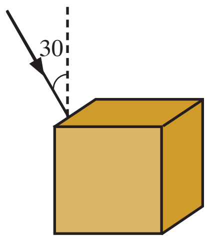
١. يجرُّ طالبٌ حقيبة كُتبه بقوة(20 N)، وباتّجاهٍ يميل عن الأفقيّ بزاوية(53°).

٢. يدفع رجلٌ عربةَ التّسوّق بقوةٍ مقدارها (30 N) ، بحيث تشكّل زاوية (30°) مع الرأسي.

الحل: 1:

$$F_X = F\cos\theta$$
$$= 20\times\cos 53^\circ$$
$$= 12\ N$$
$$F_Y = F\sin\theta$$
$$= 20\times\sin 53^\circ$$
$$= 16\ N$$

2: لاحظْ أنّ القوّة تصنع زاوية رأسيّةً مقدارها (30°) ، وبالتالي فإنّ الزاوية التي تصنعها القوة مع الاتّجاه (+x) هي (60°) :



$$F_x = F\cos\theta$$
$$= 30\times\cos(60^\circ)$$
$$= 15\ N$$
$$F_y = F\sin\theta$$
$$= 30\times\sin(60^\circ)$$
$$= 26\ N$$

سؤال

جدْ مركَّبتيّ القوة الأفقيّة والرأسيّة في كلٍّ من الحالات الآتية:

١- يجرّ حصانٌ عربةً بقوة (600 N) بحيث يميل حبلُ الجرّ بزاوية (60°) عن الأفقي.

٢- يسحب جرارٌ سيّارةً بقوة (800 N) نيوتن، باتّجاه الشمال الغربي.

٣- يجرّ رياضيٌّ سيّارةً بقوة (500 N) نيوتن، باتّجاهٍ يميلُ بزاوية (30°) عن الرأسي (يسار المحور الصادي).

ونستخدم الطريقة التحليليّة لإيجاد محصّلة عدّة قوى، وللقيام بذلك نتبع الخطوات الآتية:

١- نحلّل كلّ قوّةٍ إلى مركّبتيْها الأفقيّة(+x) والرأسيّة(+y).

٢- نحسب المجموع الجبريّ للقوى المؤثّرة في الاتّجاه السيني $\sum F_x$.

٣- نحسب المجموع الجبريّ للقوى المؤثّرة في الاتّجاه الصادي $\sum F_y$.

٤- نحسب المحصّلة الكليّة للمحصّلتيْن المتعامدتيْن.

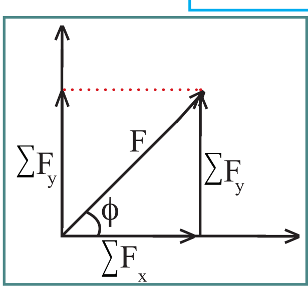
$$F=\sqrt{\left(\sum F_x\right)^2+\left(\sum F_y\right)^2} \qquad (1\text{-}3)$$

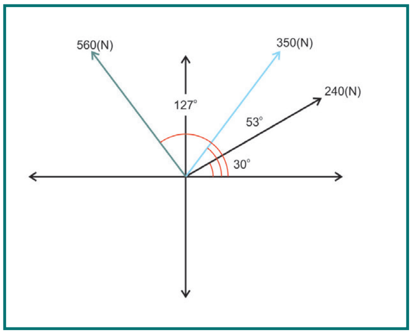
٥- نحدّد اتّجاه القوة المحصّلة من خلال:

$$\phi = \tan^{-1}\frac{\left(\sum F_y\right)}{\left(\sum F_x\right)} \qquad (1\text{-}4)$$

حيث تمثل ϕ الزاوية التي تصنعها المحصّلة F مع المحور السيني الموجب،

مع مراعاة إشارات كل من F_x و F_y كما في الشكل المجاور.





مثال(3): في الشكل المجاور أوْجِد المحصّلة للقوى الثلاث؛ علماً بأنّ القوى تؤثّر في النقطة نفسها، ومقاديرها كما يأتي:

$\mathbf{F_1}= 240$ N $\quad$ $\mathbf{F_2}= 350$ N $\quad$ $\mathbf{F_3}= 560$ N

الحلّ:

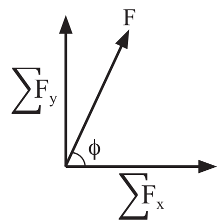
نحلّل كلًّا من القوى لمركّبتيْها، ونجمع مركّباتها الأفقيّة:

$$\sum F_x = F_1 \cos(\theta_1) + F_2 \cos(\theta_2) + F_3 \cos(\theta_3)$$
$$= 240 \cos(30°) + 350 \cos(53°) + 560 \cos(127°)$$
$$= 240 \times 0.86 + 350 \times 0.60 + 560 \times (-0.60) = 80 \text{ N}$$

وكذلك الرأسيّة:

$$\sum F_y = F_1 \sin(\theta_1) + F_2 \sin(\theta_2) + F_3 \sin(\theta_3)$$
$$= 240 \sin(30°) + 350 \sin(53°) + 560 \sin(127°)$$
$$= 240 \times 0.50 + 350 \times 0.8 + 560 \times (0.80) = 848\text{N}$$

$$F=\sqrt{\left(\sum F_x\right)^2+\left(\sum F_y\right)^2}$$
$$=\sqrt{(80)^2+(848)^2}$$
$$= 851.7 \text{ N}$$



$$\phi= \tan^{-1}\frac{\left(\sum F_x\right)}{\left(\sum F_y\right)} = 84.6°$$

3-1 عمليّات ضرب الكميّات المتّجهة (Vector Multipliction)

تعلمتَ فيما سبق، كيف تجدُ محصّلة متّجهيْن أو أكثر، ومرّ بك في الصّف العاشر الأساسيّ ضربُ الكميّة المتّجهة بعدد.

أناقش

لديْك المتّجهات $\mathbf{A}= 6$ وَحداتٍ باتّجاه المحور السيني الموجب،$\mathbf{B}=8$ وَحداتٍ باتّجاهٍ يصنع زاوية $127°$ مع محور السينات الموجب، جدْ:

١. $\mathbf{C} = 2\ \mathbf{A}$

٢. $\mathbf{D} = 0.4\ \mathbf{B}$

٣. $\mathbf{E} = -0.25\ \mathbf{A}$

٤. مثّل بيانيّاً كلًّا من المتّجهات السابقة.

والآن ماذا عن ضرب المتّجهات، فهل يختلف ضرب المتّجهات عن ضرب الكميّات العدديّة؟

A-3-1ضرب الكمّيّة المتّجهة بكمّيّةٍ قياسيّة

عند ضرب الكمّيّة المتّجهة بكمّيّةٍ قياسيّةٍ موجبة، تنتج كمّيّةٌ متّجهة لها اتّجاه الكمّيّة المتّجهة الأصليّة نفسها، بوَحداتٍ فيزيائيّةٍ جديدةٍ، ومن الأمثلة على ذلك علاقة الإزاحة بالسرعة المتّجهة والزمن في حالة الحركة المنتظمة:

الإزاحة = السرعة × الزمن

وبالرموز: $\Delta r = v\Delta t$ (1-5)

وكذلك علاقة القوة بالكتلة والتّسارُع في قانون نيوتن الثّاني:

ونعبّر عن هذه العلاقة

القوة = الكتلة × التسارع

بالرموز: $\mathbf{F} = m\mathbf{a}$ (1-6)

مثال(4): أثّرتْ قوّةٌ في جسمٍ ساكنٍ، كتلته،(10 kg) فحرّكته على سطحٍ أفقيٍ أملسَ، بتسارعٍ ثابتٍ مقداره $(2\ m/s^2)$شرقاً، فما مقدارُ واتّجاه القوة المؤثّرة في الجسم؟

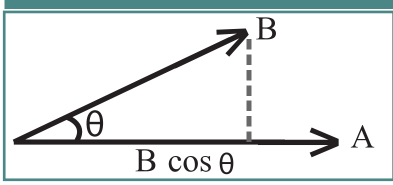
الحل:

بحسب العلاقة (6-1) تكون القوة:

$$\mathbf{F} = 10 \times 2$$

$$= 20\ N \quad \text{(شرقا)}$$

B-3-1 ضرب الكمّيّات المتّجهة ضرباً قياسيّاً (نقطيّاً):



إذا كان لديْنا المتّجهان **A**،**B** يحصران بينهما زاوية θ، كما في الشكل، فإنّ:

$$\mathbf{A}.\mathbf{B} = A\ B \cos\theta \quad (1\text{-}7)$$

الضرب القياسي: حاصل ضرب مقدار أحد المتّجهين في مقدار مركّبة المتّجه الآخر باتّجاهه.

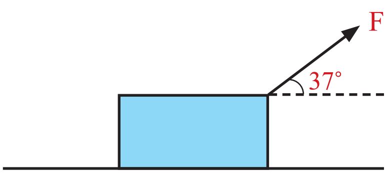
ومثال ذلك: الشغل = القوة . الإزاحة، ونعبّر عن ذلك رياضيّاً كما يأتي:

$$W = \mathbf{F}.\Delta\mathbf{r} = F\Delta r \cos\theta \quad (1\text{-}8)$$

أناقش

١. متى يكون حاصلُ الضرب النقطيّ أكبرَ ما يمكن؟
٢. متى يكون حاصل الضرب النقطي موجباً؟ ومتى يكون سالباً؟
٣. متى يكون حاصل الضرب النقطي صفراً؟
٤. هل يمكن أن نعُدّ الوزن$(\mathbf{F}_g = mg)$ مثالاً للضرب النقطي؟
٥. كيف يمكن استخدام الضرب النقطي في إثبات محصّلة متّجهيْن بينهما زاوية؟

مثال(5): في الشكل أثّرت قوة (35 N)تميل بزاوية (37°) عن الأفقيّ، فأحدثت إزاحة (20 m) للجسم في الاتّجاه الأفقيّ، جد الشغل الذي تبذله القوة؟



الحل:

بحسب العلاقة (1-8):

$$W=\mathbf{F}.\Delta\mathbf{r} = F\ \Delta r \cos\theta$$

$$=35 \times 20 \cos(37) = 560J$$

سؤال:

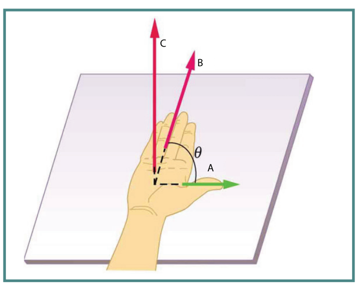
لديك المتّجهات: ($\mathbf{A}$ = 7) وحداتٍ باتّجاه المحور السيني الموجب، ($\mathbf{B}$ = 3.5) وحدة باتّجاه المحور الصادي الموجب، ($\mathbf{C}$ = 21) وحدةً باتّجاهٍ يصنع زاوية (30°) أعلى المحور السيني السالب، جدْ:

١- $(2\mathbf{A}) . (3\mathbf{B})$

٢- $(5\mathbf{A}) . (0.4\mathbf{C})$

1-3-C ضرب الكميّات المتّجهة ضرباً متّجهاً (تقاطعيّاً)

إذا كان لدينا المتّجهان ($\mathbf{A}$) ، ($\mathbf{B}$) ويحصران بينهما زاوية (θ)، وكان($\mathbf{C}$) حاصل ضربهما التقاطعيّ، فإنّ الناتج ($\mathbf{C}$) كميّة متّجهة، ويُعبَّرُ عن حاصل الضرب التقاطعيّ بما يأتي:



$$\boxed{\mathbf{C}=\mathbf{A}\times\mathbf{B} \qquad (1\text{-}9)}$$

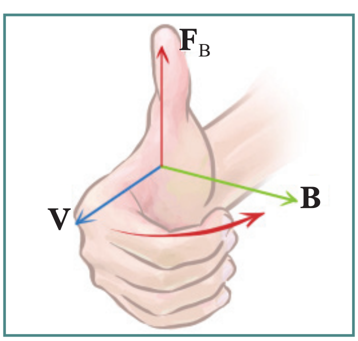
ويعطى مقدار ($\mathbf{C}$) بالعلاقة:

$$\boxed{|\mathbf{C}| = |\mathbf{A}||\mathbf{B}| \sin\theta \qquad (1\text{-}10)}$$

ولتحديد اتّجاه($\mathbf{C}$)نستخدم قاعدة اليد اليمنى، وهي فرد أصابع اليد اليمنى باتّجاه المتّجه الأوّل، ثم تدويرها باتّجاه المتّجه الثاني بأصغر زاوية، فيؤشّر الإبهام باتّجاه حاصل الضرب.

الضرب التقاطعيّ: حاصل ضرب مقدار المتّجه الأوّل في مركّبة المتّجه الثّاني العموديّة عليه، ويكون اتّجاه المتّجه الناتج عموديّاً على كلٍّ منهما، وعلى المستوى الذي يقع عليه كلا المتّجهيْن.

ومن الأمثلة عليه، القوة F_B التي يؤثر فيها مجالٌ مغناطيسي $\mathbf{B}$، على شحنة كهربائيّة q، تسير بسرعة متّجهة $\mathbf{v}$، حيث تُعطى القوة بالعلاقة:

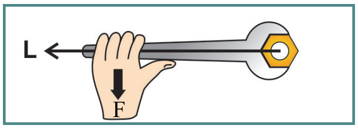


$$\boxed{F_B = q\,(\mathbf{v}\times\mathbf{B})}$$

ولتحديد اتّجاه القوة نستخدم قاعدة اليد اليمنى.

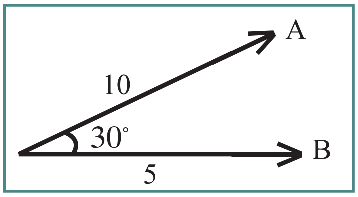
أناقش

١- متى يكون حاصل الضرب التقاطعيّ أكبر ما يمكن؟
٢- متى يكون حاصل الضرب التقاطعيّ صفراً؟
٣- في الشكل المجاور مفتاحٌ تؤثّر فيه كميّةٌ فيزيائية تُعرف بعزم القوة، ستتعرف إليها لاحقاً، ما العوامل التي تعتمد عليها؟



٤- هل عمليّة الضرب التقاطعيّ تبديليّة؟ وضّح إجابتك بمثال.

مثال(6): لديك المتّجهان في الشكل المجاور، فإذا كان مقدار $\mathbf{A}$ =10m، ومقدار $\mathbf{B}$ =5 m في المستوى x-y، جِدْ:



١- $\mathbf{C} = \mathbf{A} \times \mathbf{B}$
٢- $D = \mathbf{A} \cdot \mathbf{B}$

الحل:

١- $|\mathbf{C}|=|\mathbf{A}||\mathbf{B}|\sin\theta = 10\times5\times0.5= 25\ m^2$

باتّجاه المحور الزيني السالب؛ بحسب قاعدة اليد اليمنى.

٢- $D=A\ B\cos\theta =10\times5\times0.86= 43\ m^2$

سؤال:

لديك متّجهان، مقدار أحدهما ثلاثةُ أمثال الآخر، والزاوية بينهما 53°، وحاصل الضرب التقاطعيّ لهما 4 وحداتٍ، ما مقدار كلٍّ من المتّجهيْن؟

مشروع:

ابحثْ في أهميّة المتّجهات في تحليل حوادث السير بين المركبات، من خلال استضافة أحد ضبّاط شرطة المرور، متخصّص في حوادث السير، أو من خلال زيارة مركز شرطة المرور.

4-1 الحركة في بعديْن (Motion In Two-Dimensions)

تعلمتَ في الصفّ العاشر الأساسيّ الحركةَ الرأسيّة، في مجال الجاذبيّة الأرضيّة، وهي حركةٌ في بعدٍ واحد، وسوف نتعرّف إلى حركة الأجسام في الهواء في بعديْن، فعند ممارستك لعبة كرة السلة، فإنّك تقذف الكرة نحو الهدف بزوايا مختلفة؛ اعتماداً على بُعد موضعك عن الهدف.

أناقش

١- ما شكل المسار الذي تسلكه الكرة؟
٢- ما العلاقة بين السرعة الابتدائيّة التي رميت بها الكرة والبعد عن الهدف؟
٣- ما القوى المؤثّرة في الكرة في الهواء؟ (بإهمال مقاومة الهواء).
٤- هل سرعة الكرة وتسارعُها ثابتان أثناء الحركة؟ فسّرْ ذلك.

عند انتقال الكرة من يد لاعب كرة السلة نحو الهدف، فإنّها تتحرّك في بعديْن:

- حركة في الاتّجاه الرأسي توازي المحور الصادي، وهي حركةٌ بتسارُعٍ ثابت، هو تسارع الجاذبيّة الأرضيّة.
- حركة في الاتّجاه الأفقي توازي المحور السيني، وهي حركةٌ بتسارُعٍ يساوي صفراً، لماذا؟

ولكي تتعرّف إلى الحركة في بعديْن، قم بتنفيذ النشاط الآتي:

نشاط (5): المقذوفات

المـواد والادوات: سـطحٌ مائـلٌ قابـلٌ للحركـة، مِنقلـة، ومتـر.

خطوات العمل:

١- ثبّتْ السطح المائل على زاوية معينّة.
٢- ألصقْ أنبوب الماء على السطح المائل، وأطلق الماء. ماذا تلاحظ؟
٣- قم بقياس المدى الأفقيّ الذي يصل إليه الماء، وأقصى ارتفاع، وسجّل القراءات في الجدول أدناه.
٤- كرّر الخطوات السابقة مع زوايا مختلفة، وسجّل القراءات في الجدول الآتي:

المحاولة	الزاوية	المدى الافقي	اقصى ارتفاع
1	15°		
2	30°		
3	45°		
4	60°		
5	75°		

اعتماداً على النشاط، أجبْ عن الأسئلة الآتية:

_ أيّة زاوية يكون عندها أقصى مدى؟
_ أيّة زاويتيْن يكون المدى الأفقي عندهما متساوياً؟
_ ما العلاقة بين الزاوية وأقصى ارتفاع؟

المقذوفات: حركة الجسم في بعدين تحت تأثير قوة الجاذبيّة، وبإهمال مقاومة الهواء.

ومن الأمثلة عليها حركةُ قذيفة المِدفع، وكرة القدم، والأسهم عند قذفها، وحركة لاعب الوثب الطويل، فعندما يركض يكون لسرعته مركّبة واحدة أفقيّة، وعندما يقفز في الهواء يكون لسرعته مركّبتان أفقيّة ورأسيّة.

نلاحظ من الأمثلة السابقة أنّ للسرعة مركّبتان:

$$v_{xi} = v_i \cos\theta \quad ; \quad v_{yi} = v_i \sin\theta$$

وبتطبيق معادلات الحركة الانتقاليّة بتسارعٍ ثابتٍ في مجال الجاذبيّة الأرضيّة على المقذوفات، فإنّ مركّبات الإزاحة والسرعة تُعطى كما يأتي:

معادلات الحركة الانتقاليّة	الحركة الأفقيّة (السينيّة) $a_x = 0$	الحركة الرأسيّة (الصاديّة) $a_y = -g$
	$v_{xi} = v_i \cos\theta$	$v_{yi} = v_i \sin\theta$
$\mathbf{v}_f = \mathbf{v}_i + \mathbf{a}t$	$v_{xf} = v_{xi}$	$v_{yf} = v_{yi} - gt$
$\mathbf{r}_f = \mathbf{r}_i + \mathbf{v}_i t + \frac{1}{2}\mathbf{a}t^2$	$x_f = x_i + v_{xi}t$	$y_f = y_i + v_{yi}t - \frac{1}{2}gt^2$
$v^2_f = v^2_i + 2\mathbf{a}\cdot(\mathbf{r}_f - \mathbf{r}_i)$		$v^2_{yf} = v^2_{yi} - 2g(y_f - y_i)$

حيث:

x_f: الإزاحة الأفقيّة للجسم المقذوف عند الزمن t.

v_{xf}: مركّبة السرعة الأفقيّة للجسم المقذوف عند الزمن t.

y_f: الإزاحة الرأسيّة للجسم المقذوف عند الزمن t.

v_{yf}: مركّبة السرعة الرأسية للجسم المقذوف عند الزمن t.

g: تسارُع الجاذبيّة الأرضيّة.

ولإيجاد الزمن اللازم لوصول الجسم المقذوف إلى أقصى ارتفاع ، وحيث إنّ المركبة الرأسيّة لسرعة الجسم المقذوف عند أقصى ارتفاع تساوي صفراً، فإنّ:

$$v_{yf} = v_{yi} - gt = 0 = v_i \sin\theta - gt_1$$

أو أنّ:

$$t_1 = \frac{v_i \sin\theta}{g}$$

وبالتالي يكون زمن التحليق الكليّ:

$$2t_1 = \frac{2v_i \sin\theta}{g}$$

سؤال:

أثبتْ أنّ:

١- أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم : $H = \frac{v_i^2 (\sin\theta)^2}{2g}$

٢- المدى الأفقيّ للجسم: $R = \frac{v_i^2 \sin(2\theta)}{g}$

أناقش

إذا قُذف جسمٌ بسرعة $(50\,m/s)$، بزوايا مختلفة كما في الشكل المجاور، فأجبْ عمّا يأتي:

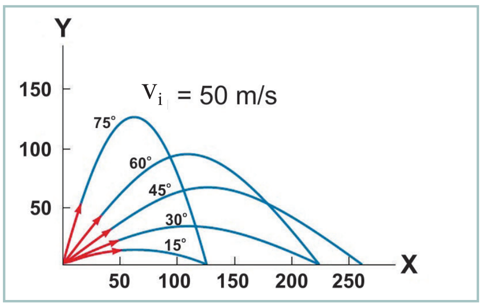
١-ما العلاقة بين أقصى ارتفاع رأسيّ يصل إليه الجسم وزاوية قذفه؟

٢-ما مجموع زاويتيّ القذف عندما يتساوى المدى الأفقيّ؟ تحقّقْ من ذلك رياضيّاً.

٣-هل يمكن الحصول على مدىً أفقيّ أكبر من $(250\,m)$؟

٤-ما الزاوية التي يُقذف بها الجسم ليصل إلى أقصى ارتفاعٍ ممكن؟

٥-ما الزاوية التي يقذف بها جسمٌ ليصل إلى أكبر مدىً أفقيّ؟



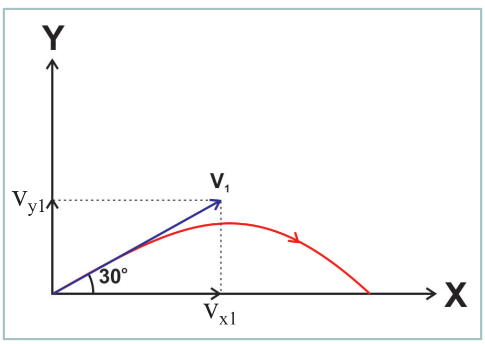
مثال(7): قُذف جسمٌ بسرعة $(11m/s)$ بحيث يصنع زاوية $(30°)$ مع سطح الأرض، أوجدْ ما يأتي:

١- زمن التحليق.

٢- أقصى ارتفاعٍ يصل إليه الجسم.

٣- المدى الأفقيّ للجسم.

٤- سرعة وصوله إلى الأرض.



الحل:

ارسم مخطّط حركة المقذوف، ثم حلّل السرعة الإبتدائية التي قذف بها الجسم إلى مركّبتيْن: أفقيّة ورأسيّة.

المعطيات: $(v_i=11m/s)$، الزاوية مع الأفقي $(30°)$،

لاحظ أنّ إشارة التسارُع سالبة؛ لأنّ المحور الصادي الموجب إلى أعلى.

1: يمكن حساب الزمن (t) من معادلة الإزاحة الرأسيّة ومساواتها بالصفر $(y_2 = 0)$، كما يأتي:

$$y_2 = 0 = v_{y1}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$0 = v_1 \sin\theta\, t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$0 = 11\times 0.5t - 5t^2$$

$$0 = 5.5 - 5t\ ,\ (t = 1.1s)$$

وبالتالي فإنّه يمكن حساب زمن التحليق $(t = 2t_1)$ من المعادلة $t = \dfrac{2v_1 \sin\theta}{g}$

2: عند أقصى ارتفاعٍ رأسيّ $v_{yf} = 0$

$$v^2_{yf} = v^2_{yi} - 2gy = 0 = (11\times \sin(30)^2 - 20y$$

$$y = 1.51\ m$$

3:

$$x_f = v_{xi}t = 11\times \cos(30^\circ)\times 1.1 = 10.5m$$

4 يكون لسرعة الجسم لحظةَ وصوله إلى الأرض مركّبتان:

$$v_{xf} = v_i \cos\theta = 11\times \cos(30^\circ) = 9.5m/s$$

$$v_{yf} = v_{yi} - gt = v_i \sin\theta - gt = 11\times \sin(30^\circ) - 10\times 1.1 = -5.5m/s$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{(9.5)^2 + (5.5)^2} = 11m/s$$

$$\tan\phi = \frac{v_y}{v_x} = \frac{-5.5}{9.5} = -0.58 \Longrightarrow \phi = 30^\circ$$ تحت محور السينات الموجب

سؤال:

قُذِف جسمٌ من سطح الأرض، فكان المدى الأفقي (240 m)، وأقصى ارتفاعٍ له (45 m)، احسب:

١. السرعة والزاوية التي قُذف بها الجسم.

٢. سرعة الجسم بعد مرور (3s).

٣. سرعة الجسم عندما يكون على ارتفاع (5 m) أثناء النزول.

والآن، ماذا نسمّي المقذوفات التي تُقذَف بزاوية صفر مع الأفقي؟

نشاط (6): المقذوفات الأفقيّة

المـواد والادوات: قطعـةُ خشـبٍ، طولهـا متـر تقريبـاً، وعرضهـا(5cm)، ومسـامير، وخيـوط أو أسـلاك، وحلقـات معدنيّـة.

الخطوات:

١. ثبّتْ 4 مسامير في قطعة الخشب، على مسافاتٍ متساوية.

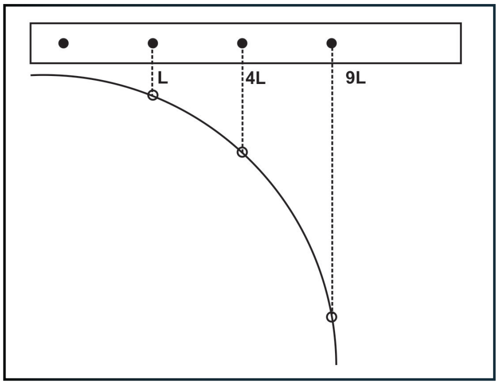
٢. اربطْ خيطاً طوله (L) يتدلّى، وفي نهايته حلقةٌ معدنيّةٌ على المِسمار الثاني، كما في الشكل المجاور.

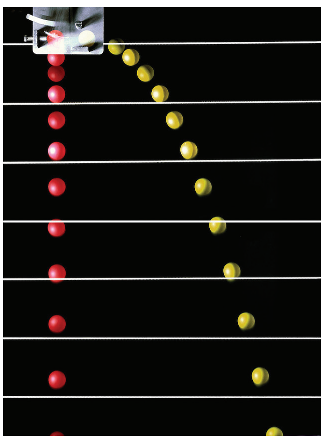
٣. اربـطْ خيطـاً طولـه (4 L) يتدلّـى، وفـي نهايتـه حلقـةٌ معدنيّـةٌ على المِسـمار الثالـث، كمـا فـي الشـكل.

٤. اربـطْ خيطـاً طولـه (9 L) يتدلّـى، وفـي نهايتـه حلقـةٌ معدنيّـةٌ على المسـمار الرابـع، كمـا فـي الشـكل.

٥. أطلـق المـاء أفقيّـاً مـن أنبـوب؛ بحيـث تكـون بدايتـه مـن المسـمار الأوّل. مـاذا تلاحـظ؟ ولمـاذا؟

٦. على ماذا تدلّ حركة الماء خلال الحلقات؟





إذا أفلتنا الكرة الحمراء، وفي اللحظة ذاتها أطلقنا الكرة الصفراء أفقيّاً بإهمال مقاومة الهواء فإنّ الكرتيْن ستصلان الأرض معاً؛ حيث إنّ حركة الكرة الحمراء تماثل حركة السقوط الحرّ، ويمكن إيجاد سرعتها، وإزاحتها عند أيّة لحظةٍ باستخدام معادلات السقوط الحرّ $(\mathbf{a} = \mathbf{g})$ وهي تطابق تماماً حركة الكرة الصفراء في الاتّجاه الرأسيّ.

$$y_f = v_{yi}t + \frac{1}{2}gt^2$$

لاحظ أنّ: $v_{yi} = 0$ للمقذوف الأفقي، لماذا؟

$$y_f = \frac{1}{2}gt^2 \qquad (1 - 11)$$

أما في الاتّجاه الأفقيّ، فنلاحظ أنّ الإزاحة الأفقيّة خلال فتراتٍ زمنيّةٍ متساوية تكون متساويةً؛ أيّ أنّ سرعتها في الاتّجاه الأفقيّ ثابتة، وهنا يمكن استخدامُ معادلات الحركة بسرعةٍ ثابتةٍ في دراسة الحركة الأفقيّة للمقذوف $(v_{xi} = v_{xf} =$ ثابت$)$؛ أيّ أنّ المسافة الافقيّة تتغيّر بشكلٍ منتظَم

$$x_f = v_{xi}t \qquad (1 - 12)$$

مثال(8): قُذفتْ كرةٌ أفقيّاً بسرعة (6 m/s)، عن حافّة طاولةٍ ترتفع (0.8 m) عن الأرض، احسبْ:

١. زمن وصول الكرة الأرض.

٢. بُعد نقطة اصطدام الكرة بالأرض أفقيّاً عن الطاولة.

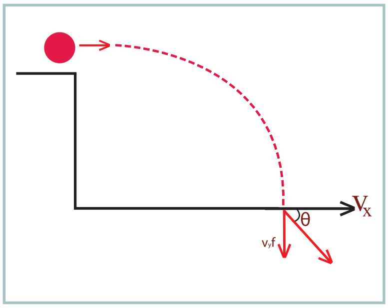
٣. سرعة اصطدام الكرة بالأرض.

الحل:

١: بالتعويض بمعادلة الإزاحة الرأسيّة للمقذوف بشكل أفقيّ:

$$y_f = \frac{1}{2} gt^2 \Rightarrow 0.8 = 5t^2$$

أيّ: $(t = 0.4\ s)$



٢: بالتعويض بمعادلة الإزاحة الأفقيّة للمقذوف بشكلٍ أفقيّ:

$$x_f = v_{xi}t = 6\times(0.4) = 2.4\ m$$

٣: بالتعويض بمعادلة السرعة الرأسيّة للمقذوف بشكلٍ أفقيّ:

$$v_{yf} = gt = 10\times0.4 = 4\ m/s$$

وحيث إنّ السرعة الأفقيّة ثابتة وتساوي $(6\ m/s)$ ، فيمكن حسابُ السرعة باستخدام العلاقة:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{6^2 + 4^2} = 7.1 m/s$$

$$\tan\theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{4}{6} = 0.67 \Rightarrow \theta = 33.7°$$

فكّر

المقذوفات عنصرٌ أساسيٌّ في تصميم النوافير المائيّة.

أسئلة الفصل:

1 ضعْ دائرةً حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

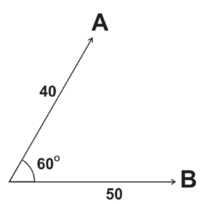
1. ما الزاوية θ بالدرجات التي يتساوى عندها المدى الأفقي مع أقصى ارتفاعٍ رأسيٍّ، لجسمٍ مقذوفٍ بزاوية مع الأفق إلى أعلى؟

أ- 45 ب- 60 جـ- 76 د- 90

2. قُذف جسمٌ بسرعة v ، وبزاوية $30°$ مع الأفق، فكان مداه الأفقيّ 50 m. إذا قُذف الجسم بالسرعة نفسها، بزاوية $60°$، فما المدى الأفقي؟

أ- 25m ب- 43m جـ- 50m د- 100m

3. يبيّن الشكل المجاور مقدار واتّجاه كميّتيْن متّجهتيْن: **A** و **B**، ما مقدار الكميّة المتّجهة **C**؟ حيث **C=A-B**



أ- 46 ب- 10 جـ- 30 د- 78

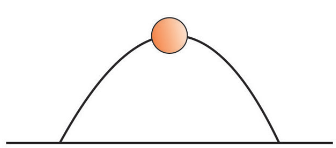
4. ما مقدار الزاوية بالدرجات بين متّجهين، لتكون محصّلتهما أكبر ما يمكن ؟

أ- 0 ب- 45 جـ- 90 د- 180

5. مامقدار الزاوية المحصورة بالدرجات بين متجهين ليكون حاصل ضربهما القياسي = صفرا ؟

أ- 0 ب- 45 جـ- 90 د- 180

6. يبيّن الشكل المجاور مسار كرة مضرب مقذوفه بسرعة **v** ، وباتجاهٍ يصنع زاوية θ مع الأفقي. عندما تصل الكرة أقصى ارتفاع لها، فإنّ:



أ .تسارع الكرة يساوي صفراً، وسرعة الكرة تساوي صفراً.

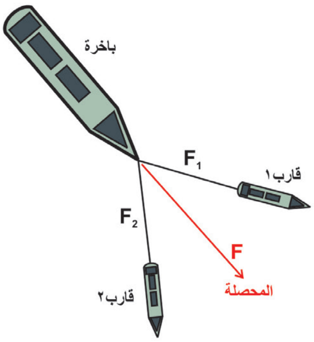
ب .سرعة الكرة تساوي صفراً، وتسارع الكرة لا يساوي صفراً.

جـ .تسارع الكرة يساوي صفراً، وسرعة الكرة لا تساوي صفراً.

د .سرعة الكرة لا تساوي صفراً، وتسارع الكرة لا يساوي صفراً.

2 وضّح المقصود بالمصطلحات الآتية: المقذوفات، والمدى الأفقي، والضرب النقطي.

3 قاربا إنقاذٍ يسحبان باخرةً معطلةً بوساطة حبلين، الزاوية بينهما $37°$، ما محصّلة القوى الناتجة عن القاربين،إذا أثّرا بالقوتين، $(12000N)$، $(15000N)$، على الترتيب؟



4 جد المركّبتيْن السينيّة والصاديّة للكميّات المتّجهة الآتية:

أ- يهرب طائرٌ من صيّاد بسرعة $(2\ m/s)$، باتّجاه يصنع زاوية $(53°)$ غرب الشمال.

ب- قوّة مقدارها $(400\ N)$ باتجاه $(60°)$ شمال الشرق.

5 قوّتان مقدار إحداهما ثلاثة أمثال الأخرى، والزاوية بينهما $(120°)$، جد محصّلتهما.

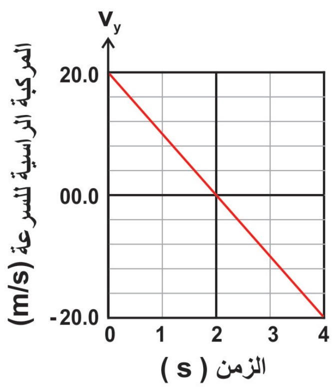
6 يعبّر الرسم البيانيّ المجاور عن تغيّر المركبة العموديّة لسرعةِ جسمٍ مقذوفٍ في مجال الجاذبيّة الأرضيّة، إذا كانت زاوية قذف الجسم $(37°)$ فاحسُبْ:

ا- مقدار السرعة التي قُذف بها الجسم.

ب- أقصى ارتفاعٍ يصل إليه الجسم.

جـ- المدى الأفقيّ للجسم.

د- سرعة الجسم عندما يكون على ارتفاع $(15m)$، أثناء النزول.

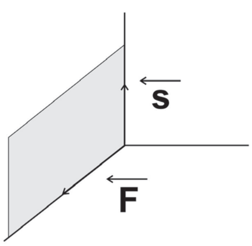


7 وُجِّهَ خرطومُ سيّارة الإطفاء باتجاه $(53°)$ نحو نافذة مبنى، ارتفاعها $(20\ m)$ عن سطح الأرض، إذا دخل الماء من الشباك عند أقصى ارتفاع له، احسبْ:

ا- سرعة اندفاع الماء من الخرطوم.

ب- الزمن اللازم لوصول الماء إلى النافذة.

جـ- بُعْد سيارة الإطفاء عن المبنى.



8 في الشكل المجاور، إذا كانت $(S = 5\,m)$ ، $(F = 12\,N)$، فجدْ:

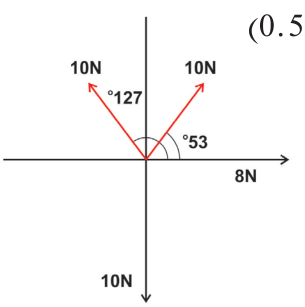
أ- $2S$ ب- $F.S$ جـ- $F \times S$

9 يتمّ تصوير كرة (بيسبول) أليّاً، لدى تدحرُجِها على سطح طاولةٍ أفقيّةٍ، بسرعة $(0.5\ m/s)$ فتصطدم الكرة بالأرض على مسافة أفقيّة $(0.25\ m)$ ، من حافّة الطاولة.

ا- ما ارتفاع سطح الطاولة عن سطح الأرض.

ب- ما سرعة اصطدام الكرة بالأرض.

10 جدْ محصّلة القوى المبيّنة في الشكل المجاور، مقداراً واتّجاهاً.



القوى والعزوم (Forces and Torques)

القوّة كلمةٌ شائعةُ الاستخدام في حياتنا اليوميّة، فقوّتُك العضليّة تساعدك في تحريك الأشياء، وقوّة محرّك المَرْكبة تساعد في بدءِ حَرَكتِها، والفرامل تؤثّر بقوّةٍ تعمل على إيقافها. وحسب مبادئ الميكانيكا، فإنّ القوى المؤثّرة في جسمٍ ما قد تغيّر من حالته الحركيّة، وتمكنُّنا من التنبؤ بحالته الحركيّة بدقّة، وقد تؤثر القوى في الأجسام فتعمل على تدويرها، أو اتّزانها. يتناول هذا الفصل هذه المفاهيم، ويُتوقّع منك بعد دراسة هذا الفصل أنْ تكون قادراً على أنْ:

- توضّحَ تأثيراتِ أنواع القوى المختلفة في الأجسام من حولنا.
- تحدّدَ شروط اتّزان الجسم الجاسئ تحت تأثير عددٍ من القوى المستوية.
- تحلَّ مسائلَ على اتّزان الجسم الجاسئ تحت تأثير عددٍ من القوى المستوية.
- تفسّرَ بعض التطبيقات على اتّزان الأجسام.

فكّرْ ما القوى المؤثّرة في الشكل، وتعمل على اتّزانه؟

2- 1 القوة والحركة (Force and Motion)

ارتبط مفهوم القوة بمفهوم الحركة منذ عهد أرسطو؛ وفي القرن السابعَ عشرَ الميلادي أرسى العالم الإيطالي (جاليليو) قواعد علم الحركة، واستكمل (نيوتن) من بعده دراسة علم الحركة، واضعاً قوانينه الثلاثة التي تُعدّ أساس علم الحركة.

القوة: مؤثرٌ خارجيٌّ قد يغيّر الحالة الحركيّة للجسم، أو شكله، أو كليْهما.

حيث تعلّمتَ سابقاً: أنّ القوة المؤثّرة في جسم = كتلة الجسم × تسارُعه.

ووَحدة قياسها في النظام الدوْليّ (SI) للوَحدات نيوتن ويرمز لها بـِ (N).

سؤال

اكتب ما يكافئ وحدة نيوتن بالوحدات الأساسيّة في النظام الدوْليّ (SI) للوحدات.

هناك عددٌ من القوى التي نوظّفها في حلّ مسائلَ ميكانيكيّة، وسنتعرف إلى بعضٍ منها.

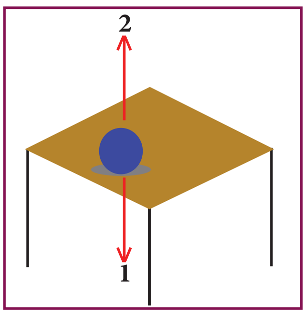
نشاط (1): بعض الأمثلة على القوى

تأمّل الشكليْن: (1)، (2) لأجسام ساكنة، ثم أجبْ عن الأسئلة التي تليها.

١. أعطِ اسماً لكلِّ قوّةٍ من القوى المؤثّرة، المشار إليها بالأرقام من 1 إلى 7.

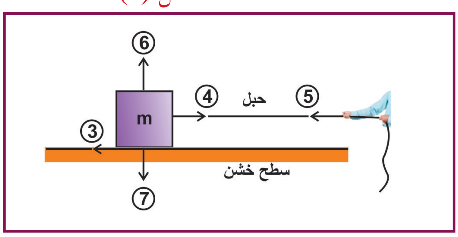
٢. ما علاقة أزواج القوى ببعضها (1 ، 2) ، (4 ، 5) ، (6 ، 7).

٣. صفْ مجموعات القوى (1 ، 7) ، (2 ، 6) ، (4 ، 5) ، (3).



الشكل (1)

لعلك توصّلت من خلال النشاط السابق إلى بعض الأمثلة على القوى ومنها:



الشكل (2)

قوة الجاذبيّة الأرضيّة:(Gravitational Force)

هي القوّة التي تؤثّر بها الأرض في جميع الأجسام، فتجذبُها نحوها، وتكسبها أوزانها، وتساوي مقدار القوة اللازمة لمنع الجسم من السقوط سقوطاً حرّاً، ويتمّ قياسُها بوساطة الميزان النابضي.

ويعبَّرُ عن قوّة جذب الأرض للأجسام القريبة من سطحها بالعلاقة:

حيث: F_g:وزن الجسم بوحدة نيوتن(N)، m: كتلة الجسم تقاس بوحدة كغم (kg)، **g**: تسارع الجاذبيّة الأرضيّة وتقاس بوحدة (m/s^2).

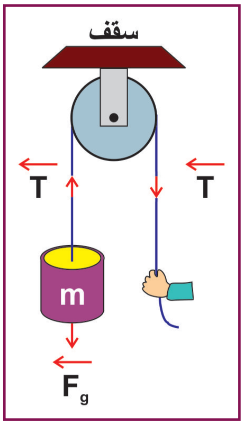
$$\mathbf{F_g} = m\,\mathbf{g} \qquad (2 - 1)$$

وزن الجسم: مقدار قوّة جَذْب الأرض للجسم.

قوّة الشدّ :(Tension)

عند ربط جسمٍ بحبلٍ وشدِّهِ، فإنّ الحبل ينقل نقطةَ تأثير قوّةِ الشدّ باتّجاه طوله،خارجاً من الجسم، انظر الشكل (3).

يعدُّ الحبلُ في الغالب ثابتَ الطّول، ومهمل الكتلة مقارنةً مع كتلة الجسم، وفي هذه الحالة يُعدُّ الشدّ في جميع أجزاء الحبل متساوياً. وعندما يدور الحبل حول بكرةٍ ملساءَ وخفيفةٍ (عديمة الكتلة)، فإنّ الشدَّ يبقى متساوياً في جميع أجزاء الحبل، وتعمل البَكَرة على تغيير اتّجاه الشدّ.



الشكل (3)

بحث ابحثْ عن فوائد البكرات في الحياة اليوميّة.

قوّة التلامُس العموديّة (Normal Force)

لعلك لاحظت في الشكليْن (1) و (2) أنّ هناك قوةً تعاكس قوّةَ الجاذبيّة الأرضيّة بالاتّجاه، تسمّى قوةَ التلامُس العموديّة، ويرمز لها بالرمز (**n**) ، وهي تؤثّر في الجسم عموديّاً على مستوى التلامُس، وبعيداً عن السطح، وتظهر عندما يلامس الجسم سطحاً آخر.

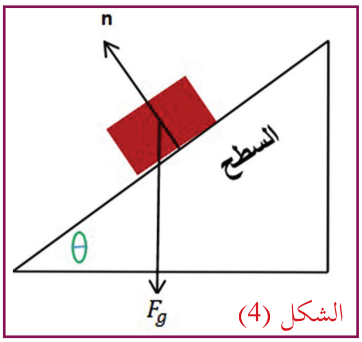
أناقش

وُضِعَ جسمٌ على سطحٍ مائلٍ، كما في الشكل (4).

١. اكتب ما تساويه قوة التلامُس العموديّة.

٢. بيّنْ ما يحدث لمقدار قوة التلامُس العموديّة إذا أثّرتْ قوّة:

* موازية للسطح المائل.
* أفقيّة لليمين، موازية لقاعدة السطح المائل.



الشكل (4)

قوّة الاحتكاك :(Friction Force)

عندما يتحرّك جسمٌ ما على سطحٍ، أو خلال مائعٍ كالهواء أو الماء ، فإنّه يتعرّض لمقاومة من المحيط، وتُعرَفُ هذه المقاومة بالاحتكاك، فلا بدّ أنّك حاولت يوماً دَفْعَ صندوقٍ على الأرض، ولم تفلح في المحاولة الأولى؛ ما جعلك تؤثّر فيه بقوةٍ أكبرَ، حتى استطعت أنْ تتغلّب على قوةٍ معاكسةٍ لقوّتك، تُسمّى قوّةَ الاحتكاك.

تنشأ قوّة الاحتكاك بسبب تداخُل نتوءات السطحيْن المتلامسيْن، فتقاوِمُ انزلاقَهما على بعضهما؛ ولذلك فهي تعتمد بشكلٍ أساسيٍّ على طبيعة السطحيْن.

أناقش

لقوّة الاحتكاك سلبيّاتٌ وفوائد!

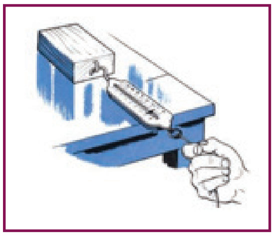
نشاط (2): أنواع الاحتكاك.

المـواد والأدوات: ميـزان نابضـيّ، وبرغـي حلقـة، وقطعـةٌ خشـبيّةٌ مستطيلة الشكل، وأوزان مختلفة، وورقُ رسـمٍ بيانـيّ.

الخطوات:

١. أحضـرِ القطعـة الخشـبيّة، وثبـت بهـا برغي الحلقة في منتصف أحد أطرافها.

٢. علّقِ القطعـة الخشـبيّة بالميـزان النابـض، وقِـسْ وزنهـا.



٣. ضـعْ ثقـلاً معـروف الـوزن فـوق القطعـة الخشـبيّة، وحـاولْ ببـطءٍ شـديدٍ أنْ تجـرَّ القطعـة الخشـبيّة، والثقـل الموجـود عليهـا بوسـاطة الميـزان النابـض، وراقـبْ قـراءة الميـزان، عندمـا يصبـح الجسـم على وشـك الحركـة.

٤. كرّرِ المحاولة باستخدام أثقالٍ مختلفة، ماذا تلاحظ؟

وُجِدَ بالتجربة أنّ مقدار قوّة الاحتكاك (f) تتناسب طرديّاً مع مقدار قوة التلامُس العمودية (n)، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة:

$$f = \mu\ n \qquad (2 - 2)$$

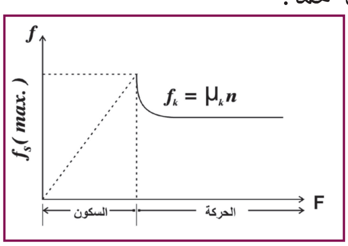
حيث μ: معامل الاحتكاك بين السطحيْن.

سؤال

من خلال النشاط السابق، مثّلْ بيانيّاً العلاقة بين قراءة الميزان (القوة المؤثرة)، وقوة التلامُس العموديّة (وزن الأثقال، والقطعة الخشبيّة)، ثم أوجدْ من الرسم معامل الاحتكاك.

كما دلّت التجارب العمليّة على وجود نوعيْن من قوى الاحتكاك بين الأسطح الصُّلبة، هما:

- قوّة الاحتكاك السكوني $(f_{s(max)} = \mu_s\ n)$
- قوّة الاحتكاك الحركي $(f_K = \mu_K\ n)$



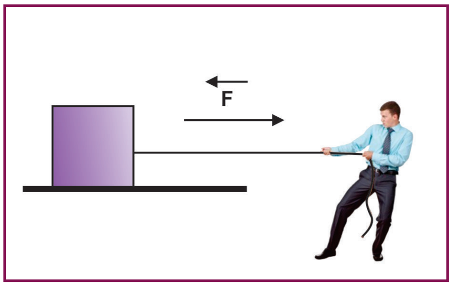
الشكل (5)

حيث ينشأ الاحتكاك السكوني بين سطحيْن متلامسيْن ساكنيْن، وقوة الاحتكاك السكوني متغيّرة، وتوازن باستمرار القوّة المتزايدة والمؤثّرة من قِبَلِك أثناء محاولتك تحريك الجسم، وتصل إلى قيمتها القصوى في اللحظة التي يكون فيها الجسم على وشك الحركة، وبعدها يتحرّك الجسم، وتقلّ قوة الاحتكاك عن قيمتها القصوى، عند بدء الحركة وتُسمّى قوة الاحتكاك في هذه الحالة قوّةَ الاحتكاك الحركي.

أناقش

١. معتمداً على المنحنى في الشكل (5)، الذي يمثّل العلاقة بين القوة المؤثّرة، وقوّة الاحتكاك بين جسمين. قارنْ بين قوّة الاحتكاك السكوني، وقوة الاحتكاك الحركي من حيث: مقدار معامل الاحتكاك، والتغيّر في مقدارهما.

٢. في الشكل المجاور إذا علمت أنّ كتلة الجسم (5kg)، وأنّه يصبح على وشك الحركة عندما تكون $F=50\ N$، وأنّه يتحرك بسرعةٍ ثابتةٍ في اتّجاه القوّة المؤثّرة عندما تكون $F = 46\ N$. احسب مقدار كلٍّ من معامل الاحتكاك السكوني والحركي.



2-2 مركز الثّقَل (Center of Gravity) :

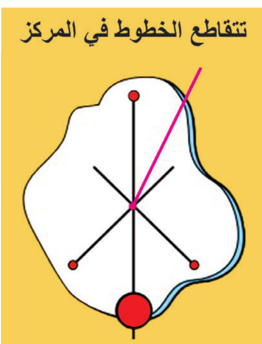
لتحديد موقع هذه النقطة، قمْ بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (3): تحديد مركز ثقل جسم

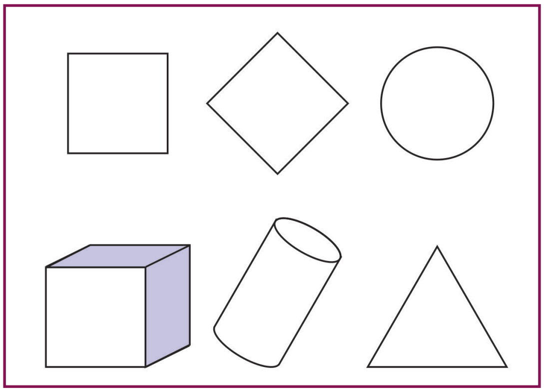
المواد والأدوات: قطعة كرتون، ومِقصّ، وخيوط، وأثقال، ودبوس أو مِسمار.

الخطوات:

١. قُصَّ شكلاً عشوائيّاً من الكرتون.
٢. اثقبْ فيه ثلاثة ثقوبٍ على الأطراف.
٣. اربط ثقلاً بالخيط، وعلّقْ قطعة الكرتون، كما في الشكل.
٤. علّقْ قطعة الكرتون والخيط على مسمار، وارسمْ خطاً مستقيماً تحت الخيط.
٥. أعدْ تعليق قطعة الكرتون من الثقبيْن الآخرين، وارسم الخط الشاقولي (الرأسي) في كل حالة.
٦. عيّن نقطة تقاطع الخطوط الثلاثة. ماذا تمثّل هذه النقطة؟
٧. أعِدِ الخطوات السابقة مستخدماً قطعة كرتون مربّعة الشكل. ماذا تستنتج؟



سؤال



حدّدْ مركز الثّقل في كلِّ شكلٍ من الأشكال المصمّمة الآتية:

مركز الثقل: النقطة التي إذا أثّرت فيها قوّةٌ فإنّها تسبّب حركةً انتقاليّةً للجسم، ولا يتحرّك دورانيّاً.

قضيّة للبحث: يرتبط مركز الثّقل بنوع الاتّزان الحاصل للجسم. ابحث عن أنواع الاتّزان، وبيّن علاقة نوع الاتّزان بمركز ثقل الجسم، مبيّناً أهميّةَ تحديد مركز الثّقل في ثبات وسائل النقل واتّزانها، ومنع حدوث الكوارث من خلال البحث في المراجع الفيزيائيّة، أو الشبكة العنكبوتيّة.

نشاط (4): محاكاة برج بيزا المائل

المواد والأدوات: علبة مشروب غازي، وماء، ومحقن طبي.

خطوات العمل:

١. خذْ علبةً كبيرةً من مشروبٍ غازيّ من الصفيح ، وضعْ فيها قليلاً من الماء.

٢. ثبّتْها على الحافّة المائلة الصغيرة عند قاعدتها، بشكلٍ مائلٍ، ماذا تلاحظ؟ لماذا؟

٣. خذْ مِحقناً طبيّاً، واملأه بالماء، ثم أضفْ الماء إليها تدريجيّاً. بعد إضافة كميّةٍ من الماء إليها، ماذا يحدث؟ ما الذي أدّى إلى اختلال توازنها؟

فكر

لماذا لم يسقط برج بيزا المائل على مدى هذه السنوات

أناقش

١. لا تستطيع القيامَ من جلستك على الكرسيّ إلا بدفع رِجليْك إلى الخلف، أو ظهرك إلى الأمام.

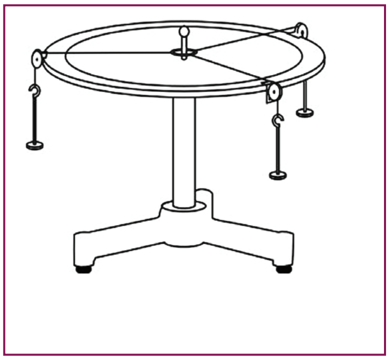
٢. أحضرْ مِلعقةً (أو أيّ جسمٍ غير منتظَم من بيئتك)، وحدّدْ مركز ثقلها؛ من خلال محاولة اتّزانها على إصبعك.

2 -3 اتّزانُ جسمٍ جاسئ (Equilibrium Of Rigid Body)

لتتعرّفَ شرط اتّزانِ نقطةٍ ماديّةٍ صغيرة، أو جسمٍ مهمَلِ الأبعاد، قمْ بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (5): إيجاد القوّة الموازنة لقوّتين مستويتيْن ومتلاقيتيْن

المواد والأدوات: طاولة القوى وملحقاتها (أوزان مع خطاف، وخيوط، وبكرات)، وميزانُ تسويةٍ صغير (ميزان ماء)، وميزان نابض.



الخطوات:

١. نضبطُ استواءَ الطاولة باستخدام ميزان التسوية.

٢. نربط ثلاثة خيوط، طول الواحد منها حوالي (40 cm) في حلقةٍ معدنيّة.

٣. نضعُ الحلقةَ المشتركةَ للخيوط الثلاثة حول محور الطاولة، كما في الشكل المجاور .

٤. نثبّتْ بَكْرتيْن على إطار الطاولة الدائريّ، ولْتكن الأولى على تدريج الصّفر، والثانية على زاوية معيّنة مثل $(60)^\circ$.

٥. نضع عدداً مختلفاً من الأوزان المشقوقة على خطّافين، ونزنُ كلَّ خطّافٍ مع الأوزان المثبتة عليه، باستخدام ميزانٍ نابضيّ.

٦. نعلّق أوزاناً بوساطة الخطّاف بالخيط الأوّل المارّ بالزاوية صفر، وأوزاناً أخرى بالخيط المارّ على البكرة الثانية.

٧. نحدّدُ اتجاه القوّة الموازِنة للقوّتين F_1 و F_2، وذلك بأنْ نشدَّ الخيط الثالث بالميزان النابض، حتى تتزنَ الحلقةُ المركزيّة حول محور الطاولة تماماً.

٨. نثبّتُ بكَرَةً ثالثةً عند زاوية القوّة الموازنة، ونمرّر الخيط الثّالث عليها، ونعلّقُ به أوزاناً مساوية لقراءة الميزان النابض، حتى تتّزن الحلقة تماماً حول محور الطاولة، فتكون القوّة الثّالثة هي القوّة الموازِنة للقوّتين F_1 وF_2.

اتّزان القوى: يكون الجسم متّزناً تحت تأثير قوىً عِدّة مستوية، عندما تكون محصّلتها تساوي صفراً.

ويكون الجسم في وضع اتّزانٍ عندما يكون ساكناً، أو متحرّكاً بسرعةٍ ثابتةٍ في خطٍّ مستقيم، ويُعدُّ هذا شرطًا لحدوث اتّزان الجسم. ويُعبَّر عن هذه العلاقة رياضيًّا كما يأتي:

$$\sum \mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \ldots = 0 \qquad (2 - 3)$$

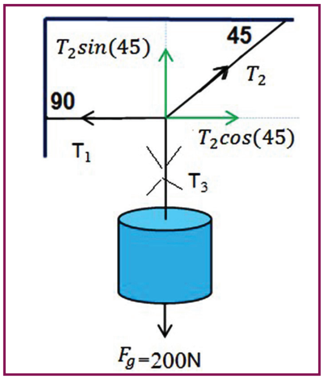
أي أنّ المجموع الجبري للمركّبات السينية يساوي صفراً:

$$\sum F_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \ldots = 0 \qquad (2 - 3 - A)$$

والمجموع الجبري للمركّبات الصاديّة يساوي صفراً:

$$\sum F_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + \ldots = 0 \qquad (2 - 3 - B)$$

مثال1: جسم وزنه 200 N معلّق بوساطة حبلين في سقفٍ أفقيٍّ، وحائطٍ رأسيّ، كما في الشكل المجاور، احسبْ قوى الشدّ في الحبلين عندما يتّزن الجسم.



الحل:

١. نرسم مخطّط القوى المؤثّرة في الجسم.

٢. نحلّل قوّة الشدّ في الحبل (T_2) لمركّبتيْها: السينية والصادية.

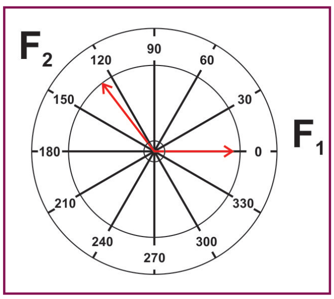
٣. نطبّق شروط الاتّزان:

لاحظ أنّ: $T_3 = F_g$ وأن $T_1 = T_{2x} = T_2 \cos(45)$

وكذلك: $T_3 = F_g = T_2 \sin(45)$

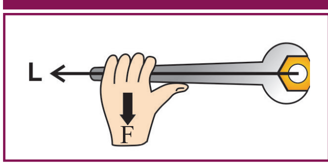
وبهاتين المعادلتين نجد: $T_1 = 200$ N $\qquad T_2 = 283$ N

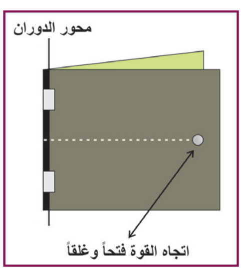
سؤال



قام طالبٌ بضبط استواء طاولة القوى، واستخدم القوّتين ($F_1 = (0.6$ N$)$ و$(F_2 = 1$ N$)$ بحيث الزاوية بينهما (127°) ، كما هو موضّح في الشكل المقابل، احسبْ مقدار القوّة الثّالثة (F_3) التي تُحدِثُ الاتّزان، ثم حدّد اتّجاهها. تحقق من ذلك عملياً.

2 - 4 العزم (Torque):





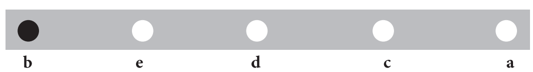
عرفنا أنّ شرط اتّزان نقطةٍ ماديّةٍ، أو جسمٍ مهملِ الأبعاد أن تكون محصّلة القوى المؤثّرة فيه تساوي صفراً، أمّا بالنسبة إلى الأجسام التي لا يُمكن إهمالُ أبعادها، فقد نؤثّر فيها بقوةٍ، أو مجموعة من القوى المتّزنة، ومع ذلك فإنّها تُحدث دوراناً حول نقطةٍ أو محور، وفي حياتنا اليوميّة أمثلةٌ كثيرة على ذلك، منها: فكّ برغي بمفتاح، دوران باب الغرفة حول مِفصله عند التأثير على مِقبضه بقوةٍ، كما هو موضّح في الأشكال المجاورة.

نشاط (6): العوامل التي يعتمد عليها عزم القوة

المواد والأدوات: مِسطرة مترية، ولوح خشبي، وميزان نابض، وبرغي تثبيت.

الخطوات:

١. ضَعِ اللّوح الخشبيّ على طاولة.
٢. ثبّت المسطرة (ab) على اللوح الخشبي من الطرف(b) ،بحيث يكون قابلاً للدوران حوله، كما هو مبيّن في الشكل (6).
٣. شدَّ المسطرة بالميزان النابض في اتّجاهٍ عموديّ عليه (باتّجاه عقارب الساعة)، وفي مستوى اللّوح الخشبي من النقاط(a.c.d.e.b) وسجّل قراءة الميزان النابض في كلّ مرة.
٤. اعكس اتّجاه الشدّ (بعكس اتّجاه عقارب الساعة) عند كلّ نقطةٍ من النقاط السابقة، وعيّن قراءة الميزان النابض في كلّ مرة.
٥. شدَّ المسطرة في اتّجاهٍ يوازي طولها من النقطة a.
٦. زدْ قوة الشدّ عند كل نقطة.
٧. سجّل القراءات في الجدول الآتي:

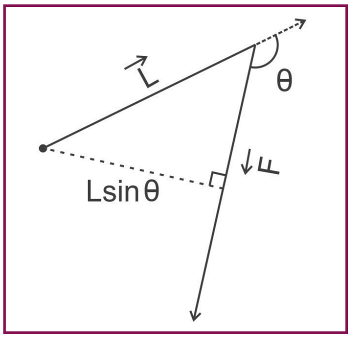


الشكل (6)

النقطة	بعدها عن المحور	مقدار القوة باتّجاه عقارب الساعة	مقدار القوة بعكس اتّجاه عقارب الساعة
a			
c			
d			
e			
b			
القوة موازية للمسطرة			

أناقش

- أيّة نقطة/نقاط تكون قراءة الميزان النابض عندها أكبر؟
- أيّة نقطة/ نقاط لا يمكن أنْ تدور المسطرة عندها ؟
- ماذا يحدث لاتّجاه الدوران عند عكس اتّجاه القوة؟
- ما العلاقة بين القوة المؤثّرة في المسطرة والمقدرة على تدويرها؟



نستنتج من ذلك أنّ عزم القوة يعتمد على عاملين هما:

١. القوة.

٢. البعد العمودي بين خط عمل القوة (F) ومحور الدوران الذي يُسمّى ذراعَ القوة.

عزم القوة: مدى مقدرة القوة على إحداث دوران لجسمٍ حول محورٍ ثابت، وتساوي حاصل الضرب التقاطعي بين بُعد نقطة تأثير القوة عن محور الدوران والقوة.

ويمكن حساب عزم القوة رياضيّاً من العلاقة الآتية:

$$\tau = \mathbf{L} \times \mathbf{F} \qquad (2 - 3)$$

$$|\tau| = LF \sin\theta \qquad (2 - 3 - A)$$

حيث:

τ: متّجه عزم القوة حول محور الدوران وتلفظ تاو.

F: متّجه القوة المؤثّرة.

L: متّجه الموضع لنقطة تأثير القوة بالنسبة لمحور الدوران.

θ: الزاوية المحصورة بين **F** و **L**.

أناقش

- ما وحدة قياس عزم القوة؟
- متى ينعدم عزم القوة؟

أفكر

هل ذراع القوة يساوي دائما البعد بين نقطة تأثير القوة ومحور الدوران؟

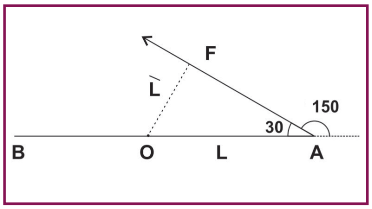
قاعدة اليد اليمنى:

يُحدّدُ اتّجاهُ العزم بقاعدة اليد اليمنى؛ حيث نجعل اتّجاهَ الاصابع باتّجاه متّجه الموضع (L) ، وتدوير الأصابع باتّجاه القوة بأصغر زاوية، فيشير الإبهام إلى متّجه العزم (τ).

اصطُلِحَ على أنْ يكون مقدار عزم القوة (τ) موجباً، حينما يكون عمودياً على الصفحة نحو الخارج (مقترباً من الناظر)، وفي هذه الحالة يكون اتّجاه الدوران بعكس اتّجاه دوران عقارب الساعة، ويكون سالباً حينما يكون عمودياً على الصفحة نحو الداخل (مبتعداً عن الناظر)، وفي هذه الحالة يكون اتّجاه الدوران مع اتّجاه حركة دوران عقارب الساعة.

مثال(2): (AB)لوحٌ طولُه (3 m) قابل للدوران حول محورٍ عموديّ، يمرّ بمنتصفه(o)، أثّرتْ في طرفه (A) قوة (F= 20 N) ، في الاتّجاه المبيّن في الشكل المجاور، احسبْ عزم القوة مقداراً واتّجاهاً حول محور الدوران.

الحل:

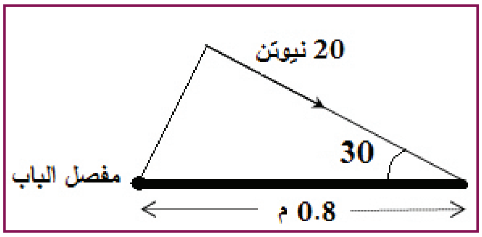


$$|\tau| = LF \sin \theta = 1.5 \times 20 \times \sin (150^o)$$
$$= 15 \text{ N m}$$

واتّجاه الدوران عكس عقارب الساعة، وهذا يعني أنّ العزم موجبٌ (نحو الخارج).

سؤال

يبيّن الشكل المجاور باباً، عرضُه (0.8 m)، مثبّت من مفصله، وتؤثّر فيه قوّة (20 N) بالاتّجاه المبيّن في الشكل، احسبْ عزم القوّة حول مفصل الباب (محور الدوران).



شروط اتّزان الجسم الجاسئ تحت تأثير عددٍ من القوى

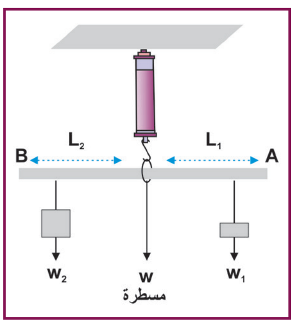
قد يؤثّر في الجسم قوىً عدّة، خطوطُ عملها غير متلاقية، ففي أيّ اتّجاهٍ يدور الجسم؟ ولتتعرفَ شروط اتّزان جسمٍ تحت تأثير عددٍ من القوى المتوازية، نفّذ النشاط الآتي:

نشاط (7): اتّزان الجسم الصُّلب تحت تأثير عدّة قوى متوازية

المواد والأدوات: مسطرة مترية، وميزان نابضي، وكتل مختلفة.

الخطوات:

١. علّق المسطرة من منتصفها بوساطة ميزان نابضي، مثبّت من الأعلى، كما في الشكل المجاور.
٢. علّقْ ثقلاً (W_1) في طرف المِسطرة (A).
٣. علّقْ ثقلاً آخر (W_2) في الطرف الثاني(B)، على بُعدٍ يجعل المِسطرة متّزنة أفقيّاً.
٤. قِسْ ذراع الثقل الأول (L_1) ، وذراع الثّقل الثاني (L_2).
٥. قِسْ قراءة الميزان النابض.
٦. كرّر الخطوات السابقة بتغيير الأثقال في كلّ حالة. سجّل نتائجك في الجدول المرفق.



رقم المحاولة	(W_1)	(L_1)	$(W_1 L_1)$	(W_2)	(L_2)	$(W_2 L_2)$	قراءة الميزان
1							
2							
3							

نلاحظ من التجربة السابقة أنّ المِسطرة تتّزن في كلّ حالةٍ عندما تتحقّق العلاقة: $(W_2 L_2) = (W_1 L_1)$.
وهذا يعني أنّ مجموع العزوم حول محورٍ يمرّ في منتصف المسطرة = صفراً، وأنّ القوة التي يؤثّر بها الميزان في كلّ حالةٍ هي:

$$T = -(W_1 + W_2 + W_3)$$

حيث W_3 وزن المسطرة؛ أي أنّ مجموع القوى المؤثرة في المسطرة تساوي صفراً.

- كرّر الخطوات السابقة باستخدام أثقالٍ عدّة، على أبعادٍ مختلفة من نقطة الارتكاز.
- حرّك الأثقال على طول المِسطرة، حتى تحصل على الاتّزان في كلّ حالة. ماذا تستنتج؟

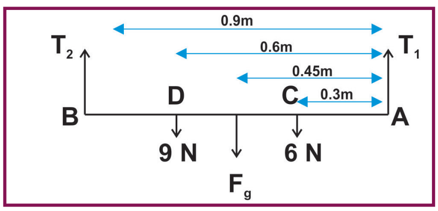
ممّا سبق نلاحظ أنّ الشروط اللازم توفّرها لاتّزان جسمٍ جاسئ تحت تأثير قوىً عدة، هي:

$$\sum\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \ldots = 0 \quad (2 - 4)$$

$$\sum\mathbf{F} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \ldots = 0 \quad (2 - 5)$$

وبغير ذلك يبدأ الجسم بالدوران تحت تأثير محصّلة العزم الذي يحدّد اتّجاه دوران الجسم.

مثال(3): عُلّقَ قضيبٌ طوله (90 cm)، ووزنه(4 N) في وضعٍ أفقيّ، بواسطة خيطيْن رأسييْن عند طرفيه، ثم عُلِّق فيه ثقلان، مقداراهما (9 N و 6 N) عند النقطتين (CوD)، كما في الشكل المجاور. أوْجد الشدّ في كلٍّ من الخيطيْن.



الحل:

نرسم مخطّط القوى، ونحدد ذراع كلٍّ منها، كما في الشكل.

_ نطبّق شرطيّ الاتّزان السابقيْن.

الشرط الأول: $\sum\tau = 0$ (حول النقطة A) = صفر (تذكرَ إشارة العزم)

$$T_1\times0+6\times0.3+4\times0.45+9\times0.6-T_2\times0.9 = 0$$

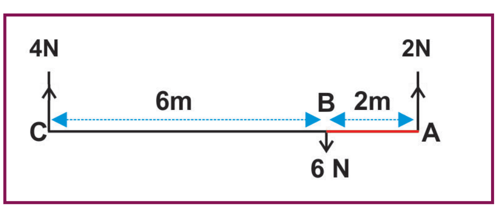
$$T_2=10\,N$$

الشرط الثاني: $\sum F = 0$

$$T_1+T_2-(6+4+9) = 0$$

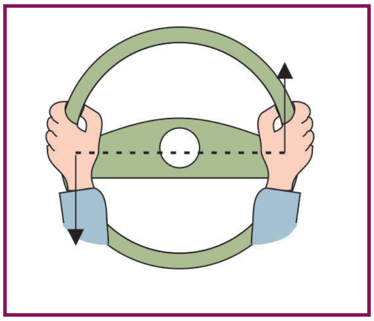
وبتعويض قيمة T_2 نجد أنّ: $T_1= 9\ N$

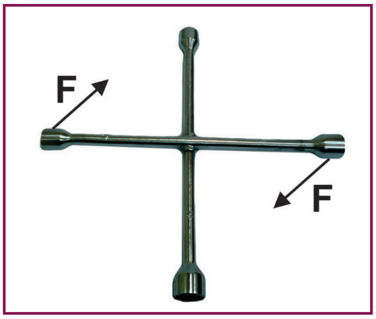
سؤال



يبيّن الشكل المجاور قضيب (ABC) ،طوله (8 m)، تؤثّر فيه ثلاث قوى رأسيّة، معتمداً على بيانات الشكل،
اختبر إذا ما كان القضيب في وضع اتزانٍ، أم لا.

5-2 الازدواج (Coupling)





نعلمُ أنّ مقدار محصّلة قوتيْن متوازيتيْن ومتضادتيْن في الاتّجاه يساوى الفرق بين مقداريهما، وفي اتّجاه القوة الأكبر مقداراً. ويترتّب على ذلك أنّ مقدار محصّلة قوّتيْن متساويتيْن في المقدار، ومتضادتيْن في الاتّجاه يساوى صفراً، ونتوقّع أنْ تتزن هاتان القوّتان. ومع ذلك فإنّنا نرى أنّ مثل هاتيْن القوّتيْن إذا أثّرتا في جسم فإنّهما قد تعملان على دورانه؛ أيّ لا يتزن الجسم اتّزاناً سكونيّاً، كما كنّا نتوقّع، ومن الأمثلة العمليّة على ذلك زوجا القوى التي نؤثّر بهما في كلٍّ من:

حنفيّة المياه عند فتحها أو قفلها، وعجلة قيادة المركبة عند إدارتها يميناً أو يساراً، ومفتاح فكّ أو ربط البراغي.

يشكل زوج القوى في الأمثلة السابقة ازدواجاً، ويُعرف بأنّه: **مجموعةٌ مكوّنة من قوّتين متوازيتيْن ومتساويتيْن في المقدار، ومتضادتيْن في الاتّجاه، ولا يجمعهما خطُّ عملٍ واحد.**

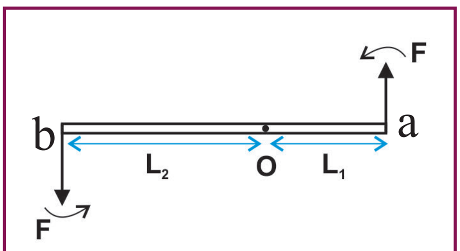
ويُطلَقُ على البعد العموديّ بين خطيّ عملِ قوّتيّ الازدواج ذراعُ الازدواج، ويساوي $(\iota \sin \theta)$ ، وعزم الازدواج يساوي مجموع عزميّ قوّتيْه بالنسبة إلى أيّة نقطةٍ اختياريّة بين القوّتيْن، أو خارجهما، ويُرمز له عادة بالرمز τ_o حيث:

$$\tau_o = \iota \times F \qquad (2 - 7)$$

حساب عزم الازدواج:

نفترض أنّ جسماً صُلباً طوله(ι)، قابلاً للدوران حول محور،

وتؤثّر عند طرفيه قوّتان متساويتان F_a و F_b ،ومتعاكستان و $F_b = - F_a$، وقيمة كلٍّ منهما (F) ، كما في الشكل (7)، وتشكّل هاتان القوّتان ازدواجاً، ولحساب عزم الازدواج حول النقطة (0) :



الشكل (6)

$$\tau_c = \tau_{Fa} + \tau_{Fb}$$
$$= L_1 \times F_a + L_2 \times F_b$$
$$= (L_1 + L_2) \times F_a$$
$$= \iota \times F_a$$
$$|\tau| = |\iota|\ |F_a| \sin \theta$$
$$\tau_c = \iota F \sin \theta$$

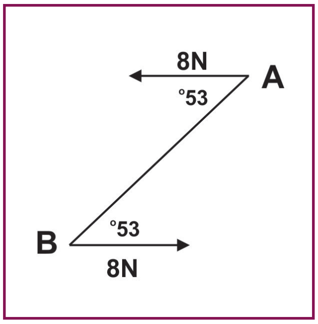
حيث θ هي الزاوية بين أيّةٍ من القوتين، وذراع تأثيرها.

سؤال

هل تشكّل القوّتان ازدواجاً إذا كان محور الدوران يقع خارج القوّتين، على امتداد الخط الواصل بين نقطتيّ تأثيرهما؟ وضّحْ إجابتك بالرّسم والبرهان.

اذكر أمثلة أخرى لأدواتٍ وأجهزةٍ نستخدمها في حياتنا اليوميّة، تدور تحت تأثير عزمِ الازدواج.

مثال(4): في الشكل المجاور مسطرة(AB)، طولها (30 cm)، قابلة للدوران حول محور ارتكازها المارّ بمنتصفها، تؤثّر فيها قوّتان، فما عزم الازدواج المؤثّر فيها؟



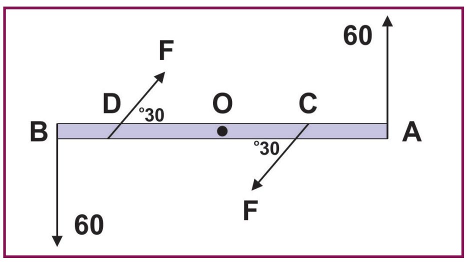
الحل:

$$|\tau| = \iota\ F \sin\theta$$
$$= 0.3 \times 8 \times \sin(53^\circ)$$
$$= 1.92\ \ N.m$$

القوّتان تكوّنان ازدواجاً بعكس عقارب الساعة مقداره:

مثال(5):(BA) مِسطرةٌ مهملَةُ الوزن، طولها(100 cm)، قابلة للدوران حول محورٍ في منتصفها، Cو D نقطتان عليها بحيث كان(AC = BD = 30 cm) ، أثّرت قوّتان مقدار كلٍّ منهما(F_1=F_2 = 60 N) في النقطتين Aو B، وقوّتان مقدار كلٍّ منهما F في Cو D ،كما هو موضّحٌ في الشكل المجاور.

احسبْ مقدار القوة F، لكي تتزن المسطرة.



الحل:

القوّتان تكوّنان ازدواجاً بعكس عقارب الساعة:

$$|\tau| = \iota\ F_1 \sin\theta$$
$$= 1 \times 60 \times \sin(90^\circ)$$
$$= 60\ \ N.m$$

لكي تتزن المسطرة يجب أنْ تؤثّر القوّتان F بعزمٍ مساوٍ للأوّل مع عقارب الساعة:

$$|\tau| = 60 = \iota\ F \sin\theta$$

$$60 = 0.4 \times F \times \sin(30^\circ)$$

$$F = 300\ N$$

أسئلة الفصل:

1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة للفقرات الآتية:

1. يدفع شخص باباً بقوة (10 N) ، تؤثر عمودياً عند نقطة تبعد (80 cm) من مِفصل الباب، فكم يساوي عزم هذه القوة (Nm)؟

أ) 0.08 ب) 8 جـ) 80 د) 800

2. حينما تحمل كتاباً وزنه F_g في يدك وهي ممدودة وطولها L، وترفعها إلى أعلى، بحيث تصنع زاوية (60°) مع الأفقي، فكم يساوي عزم وزن الكتاب على مِفصل يدك؟

أ) $F_g\ L\ \sin(60°)$ ب) $F_g\ L\ \sin(30°)$ جـ) $F_g\ L$ د) صفراً

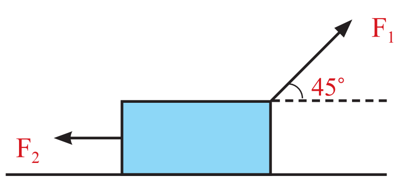
3. في السؤال السابق، لو رفعت يدك إلى أعلى أكثر، فما أثر ذلك في عزم وزن الكتاب؟

أ) يزداد ب) يقلّ جـ) يبقى ثابتاً د) يساوى صفراً

4. ينزلق جسمٌ على سطحٍ مائلٍ خشنٍ، يميل عن الأفق بزاوية (45°) بسرعةٍ ثابتة، فما معامل احتكاك السطح الحركيّ؟

أ) 0.2 ب) 0.5 جـ) 0.7 د) 1

5. في الشكل المجاور، كم تساوي قوة التلامس العموديّة؟



أ) F_g ب) $F_g - F_1 \sin\theta$

جـ) $Fg - F_1 \cos\theta$ د) $F_g - F_2$

6. إذا كان الجسم في السؤال السابق متّزناً، عند زيادة F_1، فما التغيّر الذي يُبقي الجسم متّزناً؟

أ) نزيد θ ب) نقلّل θ جـ) نقلّل F_2 د) نزيد كتلة الجسم

2 ما المقصود بكلٍّ من المفاهيم الآتية: القوة، قوة الاحتكاك السكوني، مركز ثقل الجسم، ذراع الازدواج، وعزم القوة.

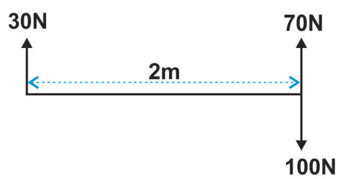
3 فسّرْ ما يأتي تفسيراً علميّاً:

أ- القيمة القصوى لمعامل الاحتكاك السكونيّ أكبر من معامل الاحتكاك الحركي.

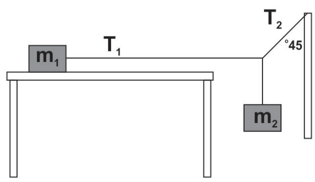
ب- القوّة التي يكون خطّ عملها موازياً للذراع ليس لها أثرٌ دورانيٌّ على الجسم.

4 ماذا يحدث لجسمٍ أثّرت فيه قوّةٌ، ومرّ خطّ عملها في مركزِ ثقله؟

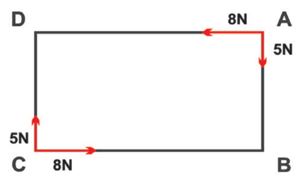
5 تتّزن نجفة ممثّلة بنقطةٍ ماديّةٍ، وزنها $(10\,N)$،تحت تأثير الشدّ في حبليْن: أحدهما يشدّها في الاتّجاه الأفقي بقوة شد (T_1)، والآخر يشدّها في اتّجاهٍ يصنع زاوية $(60°)$ مع الاتّجاه الرأسي، بقوة شدّ (T_2). وضّحْ بالرسم القوى المؤثّرة في النجفة، ثم احسب الشدّ في الحبليْن (T_1) و (T_2) .



6 احسب مجموع العزوم للقوى حول نقطة تبعد $(0.5\,m)$عن القوة $(70\,N)$ من الخارج في الشكل المقابل.



7 في الشكل المقابل، إذا كان سطح الطاولة خشناً، والكتلة $(m_1= 10\,kg)$، والكتلة $(m_2= 7\,kg)$، وتسارع الجاذبيّة الأرضيّة $(g = 10m/s^2)$، والنظام متّزنٌ، احسبْ مقدار الشدّ (T_1) و (T_2)، ومعامل الاحتكاك السكونيّ.



8 (ABCD) مستطيلٌ، طوله $(7m)$، وعرضه $(3\,m)$،أثّرت فيه القوى كما في الشكل المجاور

أ- احسب عزم الازدواج المكافئ.

ب- حاول أنْ ترسم هذا الازدواج المكافئ بطريقتيْن مختلفتيْن.

9 يرتكز عمودٌ منتظمٌ، طوله $(6m)$، ووزنه $(36\,N)$، في وضعٍ أفقيٍّ على حامليْن: أحدهما يبعد $(1\,m)$ عن أحد الطرفين، والثاني يبعد $(2m)$ عن الطرف الآخر. أوجدْ قوّتيّ التلامُس العموديّة من الحامليْن. ثم أوْجد الثّقل الذي يُعلَّق من الطرف الآخر، حتى يكون العمود على وشك الانقلاب.

10 يتزن لوحُ بناءٍ منتظم من الخشب (ab)، طوله $(5\,m)$ ، ووزنه $(80\,N)$ ، موضوع أفقيّاً على حاملين: يبعد أحدهما عن الطرف (a) مسافة $(2\,m)$، ويبعد الآخر عن الطرف (b) مسافة $(1m)$، سار قِطٌّ وزنه $(30\,N)$ نيوتن على اللوح، مبتدئاً من (b) متّجهاً إلى (a)، أوْجد القوّة المؤثّرة من الحاملين، عندما يكون القطّ على بعد $(2\,m)$ من الطرف (b).

قوانين نيوتن في الحركة (Newton's Laws of Motion)

تتحرّك الأجسام من حولنا في أنماطٍ حركيّةٍ مختلفة، فمثلاً نشاهد مركبةً تتحرّك من السكون، ثمّ نشاهدها تدور وتنعطف، أو تصطدم بأخرى، وقد تتوقف، ونشاهد سمكةً تسبح في الماء، وطائراً يحلّق في السماء، وشخصاً ينتقل من مكانٍ إلى آخر، وعربةً يجرّها حصان. فما الذي يحرّك هذه الأجسام؟ وما العلاقة بين الحركة والقوة المؤثّرة في الأجسام؟

هذه الأسئلة وغيرها يمكنك الإجابة عنها من خلال دراستك هذا الفصل. ويتوقّع منك أنْ تكون قادراً على أنْ:

- تذكرَ نَصَّ كلٍّ من: قوانين (نيوتن) الثلاثة في الحركة، وقانون الجذب العام، وقوانين (كبلر).
- تفسّرَ بعض الظواهر والمشاهدات اعتماداً على قوانين (نيوتن).
- تحلَّ مسائل على قوانين (نيوتن)، وقوانين (كبلر).

1-3 قوانين نيوتن في الحركة (Newton's Laws of Motion)

لقد مهّدت أعمال (غاليليو) الطريق أمام العالم (نيوتن) لصياغة القانون الأوّل، في حين يرتبط القانون الثاني بالتسارُع وسببه، أما القانون الثالث فهو قانون الفعل ورد الفعل. تُعدُّ قوانين نيوتن الثلاثة في الحركة أساس الميكانيكا في الوقت الحاضر، وهي ذاتها القوانين التي أوصلت الإنسان إلى القمر.

A-1-3 القانون الأوّل لنيوتن في الحركة (قانون القصور الذاتي)

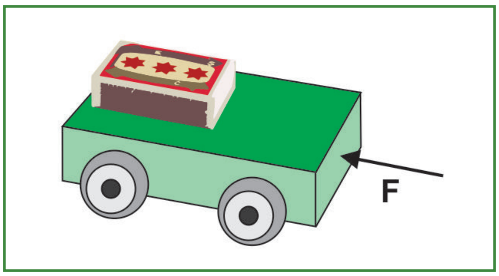
عند الضغط على الفرامل فجأة وأنت راكب بالمركبة تشعر باندفاعك نحو الأمام، لماذا؟ ما أهميّة حزام الأمان في المركبة؟ للإجابة عن هذه الأسئلة، نفّذ النشاط الآتي:

نشاط (1): القانون الأوّل لنيوتن.

المواد والأدوات: مركبة لعبة أطفال، وعلبة كبريت.

الخطوات:

١. ضعْ علبة الكبريت على سطح المركبة.
٢. ادفع المركبة بقوةٍ لتسيرَ مسافة، ماذا يحدث لعلبة الكبريت؟
٣. كرّر الخطوة (2)، ثم ضع حاجزاً أمام العربة، ماذا يحدث لعلبة الكبريت؟ سجّل ملاحظاتك.
٤. فسّرْ ما حدث.



أناقش

شاحنةٌ محمّلةٌ بصناديق البرتقال تقف على الإشارة الضَوْئية، ماذا يحدث للصناديق عند الانطلاق المفاجئ، وعند التوقّف المفاجئ أيضاً، إذا لم يربط السائق الصناديق بالحبال جيداً؟

من خلال النشاط السابق، ودراستك السابقة لقوانين (نيوتن)، تعرّفت إلى مضمون قانون نيوتن الأوّل في الحركة:
الجسم الساكن أو المتحرك بسرعةٍ ثابتةٍ، وفي خطٍّ مستقيم يبقى على حالته الحركيّة، ما لم تؤثر فيه قوّةٌ خارجيّة تغيّر من هذه الحالة.

إنّ الأجسام تمانع التغيير في حالتها الحركيّة من تلقاء نفسها، بل تقاوم أيَّ تغير لهذه الحالة، وهذا ما يُعرف بخاصيّة القصور الذاتيّ، والقصور لغةً: يعني العجز، أما فيزيائيّاً فيعني: ممانعة الجسم تغيير حالته الحركيّة. وتعتمد على كتلة الجسم، التي تُعرف بكتلة القصور الذاتيّ وهي: **كميّةٌ قياسيّةٌ تعتمد على مقدار ما يحويه الجسم من مادّة، تعبّر عن مقدار الممانعة التي يبديها الجسم لتغيير حالته الحركيّة.**

سؤال

لماذا نحتاج إلى شخصيْن لدفع مركبةٍ صغيرة، بينما نحتاج إلى عددٍ أكبر من الأشخاص لتحريك شاحنة كبيرة؟

هل الأجسام الساكنة من حولنا، أو تلك المتحركة بسرعةٍ ثابتةٍ، وفي خطٍّ مستقيم تؤثّر فيها أيّةُ قوّة؟ إنّ الحبل المستخدَم في لعبةِ شدِّ الحبل (الشكل1) يُمكن أنْ يبقى ساكناً رغم القوى المؤثّرة فيه؛ وذلك لأنّ مقاديرها متساوية، واتّجاهاتها متعاكسة، بحيث يلغي بعضها بعضاً؛ أي أنّ محصّلة القوى على الجسم تساوي صفراً، فلا تتغيّر حالتها الحركيّة، وكذلك الحال بالنسبة للمركبة.

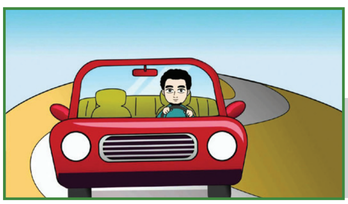
الشكل (1)

مشروع:

كلّفْ مجموعةً من الطلبة بزيارة مركز شرطة المرور، وعمل إحصائيّة حول الأضرار الناجمة عن حوادث السير؛ نتيجة عدم وضع حزام الأمان.

B-1-3 قانون نيوتن الثاني في الحركة (قانون التّسارُع)

وصف القانون الثاني لنيوتن ثبات الجسم على حالته الحركيّة في حال غياب قوةٍ خارجيّة، فكيف تتغيّر هذه الحالة بوجود قوّةٍ خارجيّة؟



أفكر

- كيف يزيد السائق من سرعة المركبة؟
- وكيف يخفّف من سرعتها؟ وكيف يوقِفُها؟

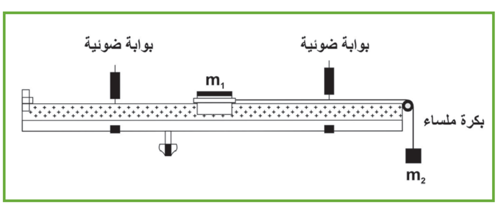
من خلال النشاط الآتي، دعنا نتحقّق من قانون نيوتن الثاني.

نشاط 2: القانون الثاني لنيوتن

المواد والأدوات: السّكة الهوائيّة وملحقاتها، وكتل فلزّيّة مختلفة.

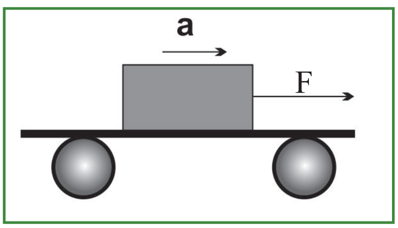
الخطوات:

١. قم بتجهيز السّكّة الهوائيّة، كما في الشكل المجاور.
٢. اضبط استواء السّكة الهوائيّة.
٣. ثبّتْ حاجزاً على شكل حرف U وسجّل عرضَه.
٤. اربط البَكَرة بوساطة خيطٍ خفيفٍ يمرّ فوق البكرة الملساء، واجعله ينتهي بخطّافٍ خفيفٍ.
٥. شغّل المؤقّت الزمني، واضبطه على قياس التسارع.
٦. علّقْ كُتلاً معلومةَ الكُتلة في الخطّاف m_2.
٧. شغّل المِضخّة الهوائيّة، وراقبْ قراءة العدّاد.
٨. سجّلْ قراءة العدّاد.
٩. كرّر التجربة مستخدماً كتلاً مختلفة.



المحاولة	وزن الثقل المعلّق (N)	عرض الحاجز (m)d	t_1 (s)	t_2 (s)	$v_1 = d/t_1$ (m/s)	$v_2 = d/t_2$ (m/s)	t_3 (s)	$a=(v_2-v_1)/t_3$ (m/s^2)	$T=m_2g-m_2a$
1									
2									
3									

١٠.ما القوى المؤثّرة في العربة أثناء حركتها؟ وضّحْها بالرّسم.
١١.ما الهدف من استخدام السّكّة الهوائيّة؟ لماذا لم نستخدم سكّةً دون هواء؟
١٢.ماذا تمثّل قراءات المؤقّت الزمنيّ؟
١٣.مثّلْ بيانيّاً العلاقة بين قوّة الشدّ والتسارُع.
١٤.صفْ حركة العربة حسب المنحنى.
١٥.ماذا يمثّل ميل المنحنى الذي حصلتَ عليه؟
١٦.إذا أُعيد تنفيذُ النشاط بزيادة كتلة العربة، وذلك بإضافة أثقالٍ إليها، فكيف يتغيّر ميل المنحنى؟نستنتج من النشاط السابق أنّ:



$\mathbf{a} \propto F$ (F قوة الشد)

$\mathbf{a} \propto \frac{1}{m}$ (m كتلة العربة)

$\mathbf{a} = \frac{F}{m} \rightarrow F = m\mathbf{a}$

وبتأثير عددٍ من القوى تصبح العلاقة:

$$\boxed{\sum \mathbf{F} = m\,\mathbf{a} \qquad (3-1)}$$

إنّ المعادلة (3-1) تمثّل الصيغة الرياضيّة للقانون الثاني لنيوتن، الذي ينصُّ على أنّ: **التّسارُع الذي يتحرّك به جسمٌ يتناسب طرديّاً مع مقدار القوّة المحصّلة المؤثّرة فيه وباتّجاهها.**

حيث:

$\sum \mathbf{F}$: محصّلة القوى المؤثّرة في الجسم.

$\mathbf{a}$: التسارُع

m : كتلة القصور للجسم (كتلة الجسم)

باستخدام النظام الدوْليّ للوَحدات:

وَحدة قياس الكتلة هي الكيلوغرام (kg)، والتسارع m/s^2، فتكون وحدة قياس القوّة هي $kg\ m/s^2$، وتُسمّى نيوتن N.

النيوتن: القوّة التي إذا أثّرت في جسم كتلته 1 kg أكسبته تسارُعاً مقداره $1 m/s^2$ باتّجاهها.

أفكر يُعدّ القانونُ الأوّل لنيوتن حالةً خاصّةً من القانون الثاني. فسّرْ إجابتك.

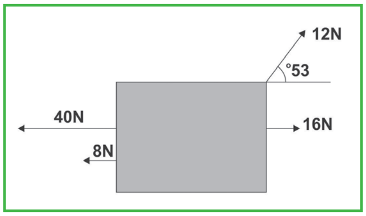
مثال1: أثّرت قوة ($20N$) في عربةٍ كتلتُها($40Kg$)، احسب تسارُع العربة؟

الحل:

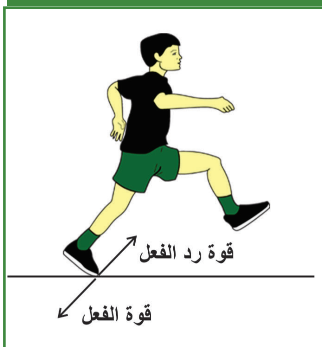
$$\sum \mathbf{F} = m\, \mathbf{a}$$
$$20 = 40\, \mathbf{a}$$
$$\mathbf{a} = 0.5\ m/s^2$$

سؤال

في الشكل المجاور، أثّرت القوى على الجسم الذي كتلته ($4kg$)، جِد التسارُع.



3-1-C القانون الثّالث لنيوتن في الحركة



لعلّك لاحظت عند محاولتك القفزَ إلى أعلى، فإنّك تؤثّر في مكان وقوفك بقوّة، ولزيادة الارتفاع الذي تصلُ إليه فإنّك تحتاج للتأثير بقوّةٍ أكبر، وتُسمّى قوّةُ تأثيرك في مكان وقوفك قوّةَ الفعل، واتّجاهها إلى الأسفل، فتتأثّر بقوّة ردّ الفعل في الاتّجاه المعاكس (إلى الأعلى)أي أنّ القوى في الطبيعة تُوجَدُ على شكل أزواج. ولمعرفة العلاقة بين كلٍّ من قوتي الفعل وردّ الفعل، قم بتنفيذ النشاط الآتي:

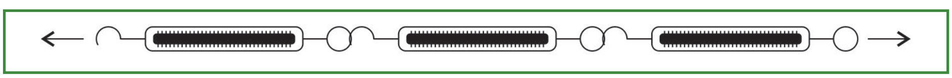
نشاط (3): مقدار قوتيّ الفعل وردّ الفعل.

المواد والأدوات: ميزان نابضي عدد 3.

الخطوات:

- اشبك الموازين الثلاثة كما في الشكل المجاور.
- اسحب الميزانيْن على الأطراف باتّجاهيْن متعاكسيْن.
- سجّلْ قراءة كلِّ ميزان. ماذا تلاحظ؟

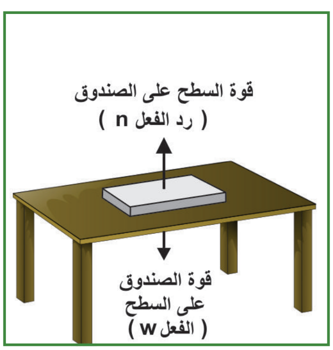
وينصّ القانون الثالث لنيوتن على أنّ: **لكلّ قوّةِ فعلٍ قوّةُ ردِّ فعلٍ مساوية لها في المقدار، ومعاكسة لها في الاتّجاه.**



مثال2: حدّدْ أزواج القوى على الصندوق في الشكل المجاور.

الحل:

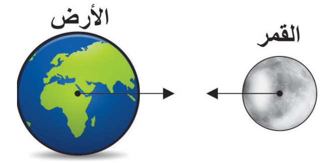
تؤثّر الأرض في الصندوق بقوّة جذب (وزنه)، وكردّ فعلٍ يجذب الصندوق الأرض نحوه بقوةٍ ، ويؤثّر الصندوق بقوةٍ في سطح الطاولة (قوة الفعل)، وسطح الطاولة يؤثّر بقوّةٍ في الصندوق (قوة رد الفعل)، وهي قوة التلامُس العموديّة، وتكون القوى في كلّ زوجٍ متساويةً في المقدار، ومتعاكسةً في الاتّجاه.

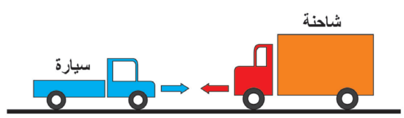


أناقش

أولاً: لماذا لا يجوز تحصيل قوتيّ الفعل وردّ الفعل؟

ثانياً: حدّدْ قوّتيّ الفعل وردّ الفعل في الحالات الآتية:



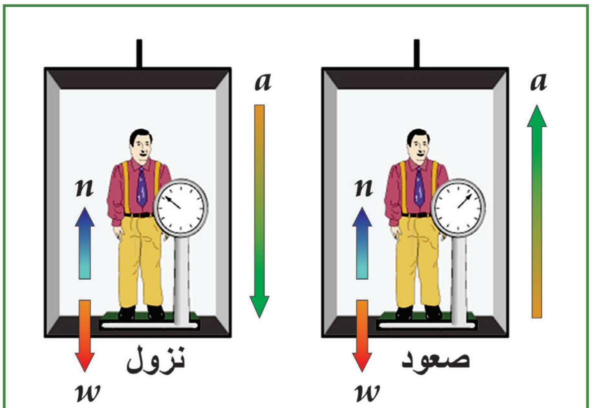


ثالثاً: إذا كان حصانٌ يجرّ عربةً، فإنّ الحصان يؤثّر في العربة بقوةٍ إلى الأمام، والعربة تؤثّر في الحصان بقوّةٍ مساويةٍ لها في المقدار، معاكسةٍ لها في الاتّجاه ، إذن، الحصان والعربة لن يستطيعا التحرك. وضّح الخطأ في العبارة السابقة.

2-3 تطبيقات على قوانين نيوتن.

أولاً: حركة المِصعد

بالنسبة إلى شخصٍ يقف على ميزانٍ موضوعٍ على أرضيّة مِصعد، فإنّ قوة ردّ الفعل تعتمد على اتّجاه حركة المصعد، وتسارُع حركته.



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

أثناء الصعود بتسارع ثابت $\mathbf{a}$

$$\mathbf{n} - \mathbf{w} = m\,\mathbf{a}$$

$$\mathbf{n} = \mathbf{w} + m\,\mathbf{a}$$

أثناء النزول بتسارع ثابت $\mathbf{a}$:

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

$$\mathbf{w} - \mathbf{n} = m\,\mathbf{a}$$

$$\mathbf{n} = \mathbf{w} - m\,\mathbf{a}$$

سؤال

ماذا تتوقّع أنْ تكون قوّةُ ردّ الفعل (قراءة الميزان):

* إذا تحرك المِصعد بسرعةٍ ثابتة؟
* إذا قُطِعَ حبلُ المصعد؟

مشروع:

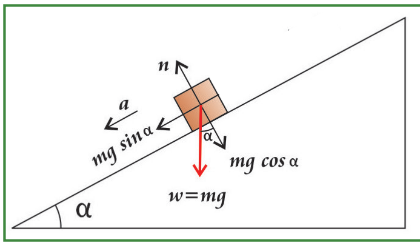
كلّفْ مجموعةً من الطلبة بتصميم نموذجٍ للصّاروخ النفّاث، باستخدام مركبة أطفالٍ صغيرة، ذاتِ عجلاتٍ ملساء، وبالون، وعبوة (كولا) فارغة (أحْدِثْ فيها فتحة، ليسهل نفخ البالون).

- صمّم جدولاً يضمّ تطبيقات قوانين نيوتن في الحياة اليوميّة.

ثانياً: الحركة على مستوى مائل

ما القوّة المسبّبة لانزلاق جسمٍ على مستوىً مائلٍ أملس؟

لتتبيّن ذلك، قم بالنشاط الآتي:

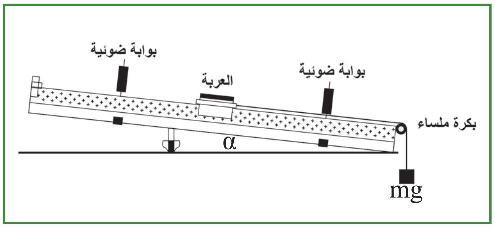


نشاط (4): حركةُ جسمٍ على مستوى مائل.

المواد والأدوات: السّكّة الهوائيّة وملحقاتها.

الخطوات:

١. قم بتجهيز السّكة الهوائيّة كما في الشكل.



٢. ثبّت حاجزاً على شكل حرف U، وسجّل عرضه.

٣. شغّل المؤقت الزمنيّ، واضبطه على قياس التسارع.

٤. ضعْ قرص البلاستيك أسفل القدم، لتصبح السّكّة الهوائيّة على شكل سطحٍ مائل.

٥. قم بقياس ارتفاع السّكّة، وطولها.

٦. شغّل المِضخّة الهوائيّة، وراقب قراءة العداد.

٧. سجّل قراءة العدّاد.

٨. كرّر التجربة مستخدماً ارتفاعاتٍ مختلفةً.

٩. كرّر الخطوات السابقة بتغيير كتلة القطعة المستخدمة، بإضافة قطعٍ إلى العربة.

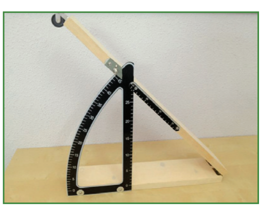
١٠. سجّل القراءات في الجدول بزاويتيْن لكلّ كتلة.

رقم المحاولة	الكتلة المستخدمة m (kg)	جيب زاوية ميل المستوى (sin α)	مركبة الوزن الموازية للمستوى w sin α N	g sin α (m/s²)	التسارع a (m/s²)
١					
٢					
٣					
٤					

- ماذا تستنتج من النشاط السابق؟

نشاط (5): حساب معامل الاحتكاك السكوني على مستوىً مائلٍ خَشِن.

المواد والأدوات: مستوى مائل مع مِنقلة، وقطعة خشب معلومة الكتلة.



الخطوات:

١. ركّب المستوى المائل كما في الشكل المجاور.

٢. اربط القطعة الخشبيّة بخيط، واجعلها تنزلق من أعلى المستوى المائل باتجاه أسفله.

٣. أكمل الجدول الآتي.

رقم المحاولة	الكتلة kg	الزاوية α	$w \sin \alpha$ (N)	$w \cos\alpha$ (N)	$\frac{w \sin\alpha}{w \cos \alpha}$	$\tan \alpha$
١						
٢						
٣						
٤						

٤. ما العلاقة بين $w \sin \alpha$ وقوّة الاحتكاك لحظة بدء الحركة؟

٥. ماذا يمثل حاصل قسمة $\frac{w \sin \alpha}{w \cos \alpha}$؟

٦. كيف تؤثّر زاوية ميل المستوى في قيم مركبتي الوزن، وقيمة معامل الاحتكاك؟

٧. كرّر الخطوات السابقة باستخدام قطعةٍ مصنوعةٍ من مادّة أخرى.

لعلك لاحظت من النشاط السابق أنّ قيمة $w \sin \alpha$ تمثّل قيمةَ قوّة الاحتكاك، عندما يكون الجسم على وشك الحركة. وأنّ قيمة $\tan \alpha$ تمثل معامل الاحتكاك السكونيّ .

أما إذا كان السطح خشناً، فهناك تأثير لقوّة الاحتكاك (f_s) التي تُعدُّ قوةً معيقة للحركة.

$$f_s = \mu n$$

حيث: (μ): معامل الاحتكاك

(n): قوة التلامس العمودية

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

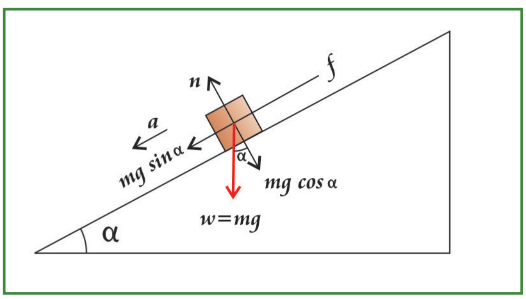
$$w \sin\alpha - f_s = m\, a$$

حيث: ($\mathbf{w}$): تمثّل وزن الجسم المنزلق.

(α): هي زاوية ميل المستوى المائل.

(m): كتلة الجسم المنزلق.

(a): تسارُع الجسم المنزلق.

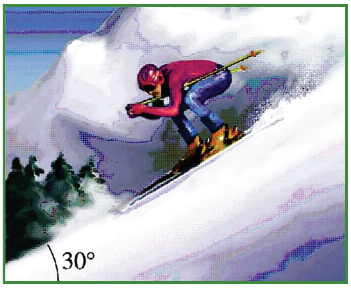


أناقش

في أيّ المتزلّقات المائيّة، في الشكل المجاور، يمتلك الشخص تسارُعاً أكبر؟ ولماذا؟

- ما الهدف من استخدام الماء على المتزلّقات؟
- ما القوّة التي تسبّب انزلاقك على المتزلقات؟ وكيف يمكن زيادتها؟

مثال3: في الشكل المجاور، ينزلق متزلّجٌ، كتلته (80 kg)على منحدرٍ جليديّ، يميل بزاوية 30. احسب تسارع المتزلِّج، بإهمال قوّة الاحتكاك.



الحل:

بإهمال قوة الاحتكاك.

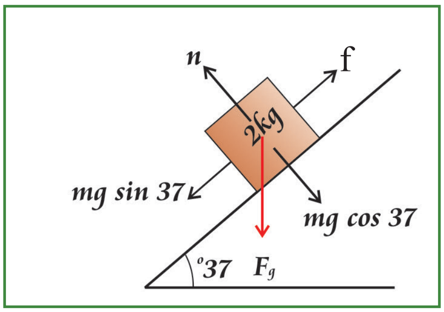
$$\sum \mathbf{F} = m\ a$$

$$F_g \sin 30 = m\ a$$

$$80 \times 10 \times 0.5 = 80\ a$$

$$a = 5 m/s^2$$

مثال 4: بالاعتماد على الشكل المجاور، تنزلق الكتلة (2 kg) على مستوىً مائلٍ خشن، معامل الاحتكاك الحركي (0.4). احسب تسارُع الكتلة.



الحل:

$$f = \mu n$$

$$= \mu\ F_g \cos 37$$

$$= 0.4 \times 2 \times 10 \times 0.8$$

$$= 6.4\ N$$

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

$$F_g \sin 37 - f = m\ a$$

$$2 \times 10 \times 0.6 - 6.4 = 2\ a$$

$$12 - 6.4 = 2\ a$$

$$5.6 = 2\ a$$

$$a = 2.8\ m/s^2$$

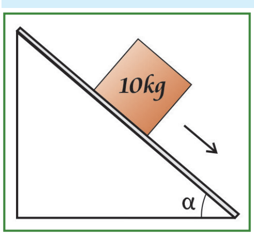
سؤال

تنزلق شاحنةٌ كتلتها (12500 kg)، (على طريقٍ منحدرٍ يميل بزاوية °17 عند الضغط على الفرامل، فإذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين عجلات الشاحنة والطريق (0.6)، احسب تسارع الشاحنة.

مشروع:

- كلّفْ مجموعة من الطلبة بزيارة أحد محلّات صيانة السيّارات؛ للتعرف إلى أهميّة الفحص الشتوي لعجلات المركبات.
- كلّف مجموعة من الطلبة بتصميم نموذج لعبة الانزلاق.

سؤال



تنزلق الكتلة (10 kg) في الشكل المجاور على مستوى مائلٍ أملسَ، ما مقدار زاوية ميل المستوى إذا كان تسارُعها ($2.5\ m/s^2$) ؟

3-3 قانون الجذب العام (Gravitational Law)

نلاحظ من مشاهداتنا اليوميّة للأجسام الحرّة من حولنا سقوطها باتّجاه الأرض كثمار الأشجار، والمطر، فما سبب ذلك؟

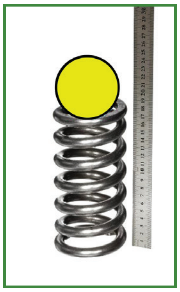
نشاط (6): قانون الجذب العام

المواد والأدوات: نابض، وثقل، ومسطرة.

الخطوات:

١. - علّق الثقل في طرف النابض.

٢. - ما القوّة التي سبّبت استطالة النابض إلى أسفل؟



من المعلوم أنّ النابض يستطيل، أو ينضغط عند التأثير فيه بقوة. إنّ قوة جذب الأرض للجسم سبّبت استطالة النابض، وتمثل هذه القوة وزن الجسم المعلّق.

بما أنّ القوى تتواجد على شكل أزواج، كما مر بنا في قانون نيوتن الثالث، فإنّ الجسم سيجذب الأرض بوزنه نفسه في الاتّجاه المعاكس، وقد توصّل نيوتن إلى قانون الجذب العام الذي ينصّ على أنّ:

كلّ جسمين في الكون يتجاذبان بقوة يتناسب مقدارها طرديّاً مع حاصل ضرب كتلتيْهما، وعكسيّاً مع مربّع المسافة بين مركزيْهما. ويعبّر عن ذلك رياضيّاً:

$$F = \frac{G m_1 m_2}{r^2} \qquad (3 - 2)$$

حيث (F) : قوّة التجاذب بين الجسميْن

(G) : ثابت الجذب العام ويساوي (6.67×10^{-11} N.m²/kg²)

(m_1): كتلة أحد الجسميْن.

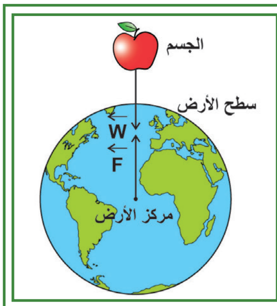
(m_2) : كتلة الجسم الآخر.

(r) : المسافة بين مركزيّ الجسميْن.

حيث وَحدات الكتلة بالكيلوغرام (kg)، والمسافة بالمتر (m). فتكون القوة بوحدة النيوتن (N).ولهذه القوة دورٌ كبير في:

- تماسُك أجزاء الكون، فهناك قوة تجاذب بين الشمس والكواكب. وأيضا بين الكواكب والأقمار.
- الحفاظ على غلافٍ غازيٍّ يحيط بالكوكب.
- حركة الأقمار الصناعيّة حول الأرض.

أناقش



- ما العلاقة بين تسارُع الجاذبيّة الأرضيّة والبعد عن مركز الأرض؟
- احسب قيمة تسارُع الجاذبيّة الأرضيّة g على سطح الأرض؛ علماً بأنّ نصف قطر الأرض (6400 km)، وكتلة الأرض (6×10^{24} kg)
- ما تسارُع الجاذبيّة الأرضيّة على ارتفاع 2r؟
- اشترى رجل ذهباً بالوزن في منطقة البحر الميت (أخفض نقطة على سطح الأرض)، وباعه في جبال الخليل، هل يكسب هذا الرجل أم يخسر؟ فسّرْ إجابتك.

مثال5: إذا علمت أنّ تسارُع الجاذبيّة الأرضيّة على سطح الأرض ($9.8\ m/s^2$)، وثابت الجذب العام ($6.67 \times 10^{-11}\ N\ m^2/kg^2$) ، ونصف قُطر الأرض ، ($6.37 \times 10^{6}\ m$) فما كتلة الأرض m_E؟

لحل:

$$F = \frac{Gm_1\ m_E}{r^2}$$

$$m_1 g = \frac{Gm_1\ m_E}{r^2}$$

$$g = \frac{Gm_E}{r^2}$$

$$9.8 = \frac{6.67\times10^{-11}\times m_E}{(6.37\times10^{6})^2}$$

(كتلة الارض)$m_E = 5.98\times 10^{24}\ kg$

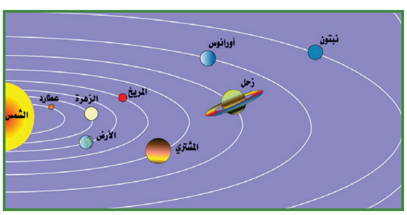
سؤال

احسب مقدار قوة التجاذُب المتبادلة بين الأرض والقمر؛ علماً بأنّ كتلة الأرض $6 \times 10^{24}\ kg$، وكتلة القمر ($7.36 \times 10^{22}\ kg$) وبُعد مركز القمر عن مركز الأرض ($3.8 \times10^{8}\ m$).

3-4 قوانين كبلر (Kepler's Laws)

العالِمُ الألمانيّ (يوهانز كبلر) (1571- 1630 م) أوّلُ مَنْ وضع قوانين تصفُ حركة الكواكب، بعد اعتماد فكرة دوران الكواكب حول الشمس من قِبَل العالِميْن (كوبرنيكوس وغاليلي).

أناقش



تأمّلْ الشكل المجاور، وحاول الإجابة عن التساؤلات الآتية:

- سمِّ كواكب المجموعة الشمسيّة التي تدور في مساراتٍ ثابتة.
- ما شكل هذه المسارات؟
- هل تسير جميع الكواكب حول الشمس بسرعةٍ واحدة؟
- هل تستغرق جميع الكواكب الزمن ذاته لإكمال دورة حول الشمس؟
- هل يختلف بُعْدُ الكوكب عن الشمس أثناء مسيره؟
- هل سرعة الكوكب في مساره ثابتة؟

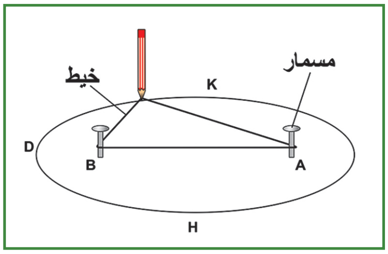
لنتعرفَ إلى طبيعة حركة الكواكب حول الشمس، نفّذْ النشاط الآتي:

نشاط (7): الشكل الإهليجي وقوانين كبلر

المواد والأدوات: لوح خشب، وورق مقوّى، وخيط بطول (30 cm)، ومسماران، وقلم رصاص، ولاصق.

الخطوات:

١. ثبّت الورق المقوّى على اللوح الخشبي باللاصق.
٢. ثبّت المسمارين باللوح في النقطتين A ، B، على أنْ تكون المسافة بينهما (10 cm).
٣. اربط الخيط على شكل حلقة، واجعله يحيط بالمسمارين.
٤. حرّكْ قلم الرّصاص حول المسمارين على الورق المقوّى المثبّت على اللّوح الخشبيّ، بحيث يبقى مشدوداً باستمرار حتى ترسم مساراً مغلقاً.
٥. ماذا يُسمّى الشكل الذي حصلتَ عليه؟
٦. ماذا تُسمّى نقاط موضع المسمارين؟
٧. إذا اعتبرنا الشمس في مكان أحد المسمارين، أين سيكون موضع الكوكب؟
٨. حدّدْ محاور الشكل.

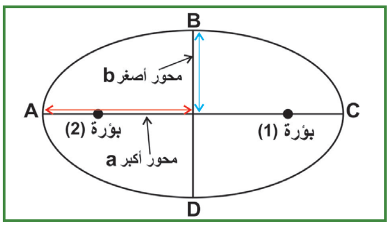


إنّ المسار الذي رسمتَه بوساطة قلم الرصاص يُسمّى المسار الإهليجيّ (قطع ناقص)، وتُسمّى النقاط حيث وضعت المسامير بؤرتيّ الشكل، ويُسمّى الخطُّ المستقيم الواصل بين النقطتين C ، D المحورَ الأكبرَ، أمّا الخطّ المستقيم الواصل بين النقطتين H،K فيُسمّى المحورَ الأصغر، ويمكن حساب مِساحة القطع الناقص من القانون:

المِساحة = $A = \pi a b$ حيث:

a: نصف طول المحور الأكبر (الرئيسي).

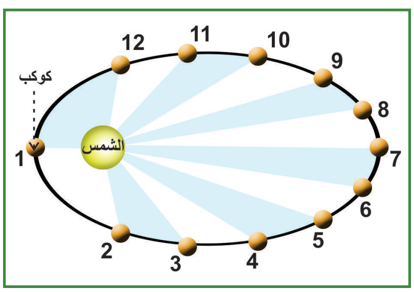
b: نصف طول المحور الأصغر.



وهو يشبه مسار الكواكب حول الشمس، إذا كانت الشمس في موضع أحد المسمارين، ويكون رأس قلم الرصاص موضع الكوكب.

A-4-3 قانون كبلر الأوّل (Kepler's First Law)

لقد كانت الفكرة السائدة حول مسارات الكواكب حول الشمس أنّها دائريّة، وبيّن (كبلر) أنّ مسارات الكواكب حول الشمس إهليلجيّة في قانونه الأوّل الذي ينصّ على أنّ: **كلّ كوكبٍ من كواكب المجموعة الشمسية يسير حول الشمس في مسارٍ إهليلجيّ، بحيث تقع الشمس في إحدى بؤرتيْه.**



وتُسمّى أبعدُ نقطة في مسار الكوكب عن الشمس الأوج، أما أقرب نقطة في مسار الكوكب حول الشمس فتُسمّى الحضيض، لاحظ الشكل المجاور.

كان لهذا القانون أثرٌ كبيرٌ في التقدّم العلميّ في مجاليّ علم الفلك وعلوم الفضاء؛ إذ تمكّن الإنسان من اكتشاف كواكب جديدة في المجموعة الشمسيّة.

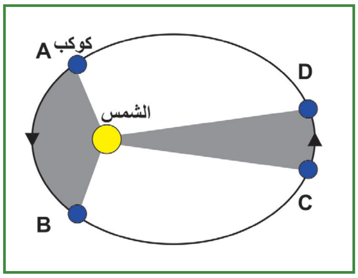
ولهذا القانون صيغةٌ رياضيّةٌ ساعدت في حسابِ مواعيد الظواهر الفلكيّة كالخسوف، والكسوف، وحركات القمر والكواكب، ووَضْعِ وصفٍ دقيقٍ لطبيعة حركة الكواكب حول الشمس.

3-4- B قانون كبلر الثاني (قانون المِساحات المتساوية) (Kepler's Second Law)

اعتمد (كبلر) على كثيرٍ من البياناتِ الفلكيّة المتعلّقة برصد الكواكب، وتحديد مواقعِها في أزمنةٍ مختلفةٍ، في التوصّل إلى القانون الثاني الذي ينصّ على أنّ: **الخطّ المستقيم الواصل بين الكوكب والشمس يقطع مِساحاتٍ متساويةً خلال أزمنةٍ متساوية.**

ويمكن التعبير عنه رياضيّاً:

$d \times v$ = ثابت حيث:



d: البعد بين الكوكب والشمس

v: مقدار سرعة الكوكب عند البعد d.

$$\frac{d_1}{v_2} = \frac{d_2}{v_1} \qquad (3\text{-}3\text{-}A)$$

أو

$$d_1\, v_1 = d_2\, v_2 \qquad (3\text{-}3\text{-}B)$$

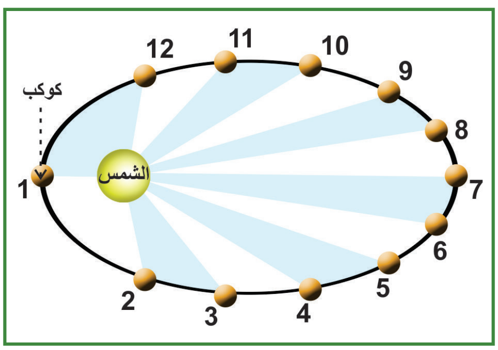
لفهم القانون الثاني، يمكننا تخيّلُ كوكبٍ يستغرق شهراً للانتقال من نقطة معينة إلى نقطة أخرى وليكن من A إلى B، وأيضا من C إلى D.

يلاحظ من الشكل أنّ: **تتساوى مِساحة القطاعين (المثلثيْن) المشكّليْن فيما بين الشمس وقوس المسافات المغطاة من الكوكب أثناء دورانه في الفترتيْن الزمنيتيْن المتساويتيْن (شهر).**

أناقش

- أيّ المسافتين أطول AB، أم CD؟
- أيّهما احتاجت زمناً أطول لقطعها؟
- في أيّ المسارين (الأوج والحضيض) يكون متوسط سرعة الكوكب أكبر؟ لماذا؟

سؤال



يمثّل الشكل المجاور مسار أحد الكواكب حول الشمس، جد:

- نقطتي الأوج والحضيض.
- نقطتين يكون فيهما مقدار سرعة الكوكب متساوية.
- نقطة يكون فيها مقدار سرعة الكوكب أكبر ما يمكن.
- نقطة يكون فيها مقدار سرعة الكوكب أقلّ ما يمكن.

3- 4- C قانون كبلر الثالث (Kepler's Third Law)

يربط هذا القانون بين بُعد الكوكب عن الشمس وزمنه الدوري حولها، وينصّ على أنّ: **مربع الزمن الدوري للكوكب يتناسب طرديّاً مع مكعب نصف المحور الرئيسي لمداره حول الشمس**. فكلمّا زاد بُعد الكوكب عن الشمس زاد زمنه الدوري.

إذا فرضنا الزمن الدوري لكوكبٍ معين t ونصف المحور الرئيس a ، فإنّ:

$$\frac{a^3}{t^2} = \text{constant}(\text{ثابت}) \qquad (3\text{-}4\text{-}A)$$

وتمثّل هذه المعادلة الصيغة الرياضيّة لقانون كبلر الثالث. وهذا ينطبق على جميع الكواكب في المدارات الثابتة حول الشمس.

$$\frac{a_2^3}{t_2^2} = \frac{a_1^3}{t_1^2} \qquad (3\text{-}4\text{-}B)$$

مثال6: إذا علمتَ أنّ طول المحور الرئيس للأرض 2 وحدة فلكية، والزمن الدوري لكوكب الأرض حول الشمس سنة واحدة. جدْ طول المحور الرئيس لكوكب المشتري عن الشمس إذا كان زمنه الدوري 11.86 سنة أرضيّة؟

الحل:

$$\frac{a_2^3}{t_2^2} = \frac{a_1^3}{t_1^2}$$

$$\frac{a_2^3}{(11.86)^2} = \frac{(1)^3}{(1)^2}$$

$a_2 = 5.2$ وحدة فلكية.

سؤال

إذا كان الزمن الدوري لكوكب المريخ 1.88 سنة أرضيّة، احسب متوسط بُعده عن الشمس بالوَحدة الفلكيّة. علماً بأنّ متوسط بُعد كوكب الأرض عن الشمس هو 1 وحدة فلكيّة، والزمن الدوري لكوكب الأرض حول الشمس سنة واحدة.

أسئلة الفصل:

1 ضع دائرةً حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أثّرت قوة محصّلة (F) في جسمٍ كتلته (m)، فأكسبته تسارعاً مقداره (a). إذا أثّرت قوة محصلة مقدارها (4F) في جسمٍ كتلته (2m)، فما التسارع الذي يكتسبه الجسم الثاني؟

أ. 8a　　ب. 4a　　جـ. 2a　　د. 0.5a

2. تحمل طالبةٌ كرةً في يدها، إذا كانت القوة التي تؤثّر بها الأرض في الكرة هي الفعل، فإن قوة ردّ الفعل هي القوة التي تؤثر بها:

أ. الكرة في الأرض.　　ب. الكرة في اليد.　　جـ. اليد في الكرة.　　د. الأرض في اليد.

3. إذا علمت أنّ متوسط بُعد كوكب عن الشمس (4 وحدة فلكية) ، فما زمن دورانه حول الشمس دورة واحدة بوحدة السنة الأرضيّة؟

أ. 2　　ب. 4　　جـ. 8　　د. 16

4. قُذِفت كرةٌ وزنها (1.5 N) بسرعة (12 m/s) باتّجاهٍ يصنع زاوية (30°) مع الأفقي إلى أعلى . عندما تصل الكرة أقصى ارتفاع لها، فكم تساوي محصّلة القوى المؤثّرة فيها؟

أ. 0　　ب. 9.8 N إلى أعلى.　　جـ. 9.8 N إلى أسفل.　　د. 1.5 N إلى أسفل.

5. إذا كانت قوة التجاذب بين جسمين تساوي F، فكم تساوي قوة التجاذب بين الجسمين عند مضاعفة المسافة بينهما؟

أ. ¼ F　　ب. ½ F　　جـ. 2F　　د. 4F

2 وضح المقصود بكلٍّ من: القوة، والقصور، والوحدة الفلكية، قانون كبلر الثاني.

3 علّل:

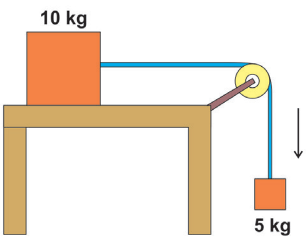
1- الصورة المعلقة على الحائط لا تتحرك.
2- تؤكد الشرطة ضرورة ربط حزام الأمان لكلّ راكبٍ في المركبة.
3- تكون سرعة الكوكب أكبر ما يمكن في الحضيض.
4- لا يكون تسارع الأرض مساوياً لتسارع الجسم، مع أنّ قوة التجاذب المتبادلة بينهما متساوية مقداراً.

4 تقف طالبةٌ كتلتها($45\,kg$) على أرضيّة مِصعد، احسب القوة التي تؤثّر بها أرضيّة المصعد (قوة التلامس العمودية n) فيها في الحالات الآتية:

١. عندما يكون المصعد متحركاً إلى أعلى بتسارع $4m/s^2$
٢. عندما يكون المصعد متحركاً إلى أعلى بسرعة ثابتة $3m/s$
٣. عندما يكون المصعد متحركاً إلى أسفل بتسارع $1.5m/s^2$
٤. إذا انقطع حبل المِصعد.

5 وُضِع جسمٌ كتلته($10\,kg$) على مستوى مائلٍ خشن، يميل عن الأفقي بزاوية 37، وكانت قوة الاحتكاك بين الجسم والمستوى($40\,N$). أجبْ عمّا يأتي:

١. هل يتحرك الجسم على المستوى، أم يبقى ساكناً؟ ولماذا؟
٢. ما مقدار اقلّ قوة تلزم ليصبح الجسم على وشك الحركة نحو أعلى المستوى.



6 في الشكل المجاور، إذا كان السطح الأفقي خشناً، ومعامل الاحتكاك الحركي بين الجسم والسطح 0.2، جدْ:

١. تسارع المجموعة.
٢. الشدّ في الحبل.

7 كرتان من المادة نفسها، كثافتها($7.8\,gm/cm^3$)، متماثلتان في الحجم، نصف قطر كلٍّ منهما($40\,cm$). جدْ قوة التجاذب بينهما إذا كان البعد بين مركزيْهما ($5\,m$)؛ علماً بأنّ ثابت الجذب العام $6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2$

8 كوكب يدور حول الشمس مرة كلَّ 29 سنة أرضيّة، جد:

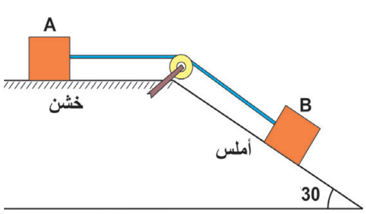
١. متوسط بُعد الكوكب عن الشمس بالوحدة الفلكية، الكيلو متر؟
٢. السرعة المدارية للكوكب.

9 إذا كان الزمن الدوري لأقرب قمرٍ إلى كوكب المشتري هو(1.8 يوم)، وكان على بُعد(4.2 وحدة فلكية) من مركز المشتري، والزمن الدوري للقمر الرابع (16.7 يوم). احسب بُعد القمر الرابع عن المشتري.

10 وضّحْ قوتيّ الفعل وردّ الفعل في حالة:

١. تنافر شحنتيْن كهربائيتيْن.
٢. تجاذب زوج من المغانط المستقيمة.
٣. حمل تفّاحة في يدك.

11 يبيّن الشكل المجاور جسميْن، كتلة كلٍّ منهما($6\,kg$)، الأول موضوع على سطحٍ أملسَ، ويميل عن الأفقي بزاوية ($30°$)، والثاني على سطحٍ أفقيٍّ خشن، معامل الاحتكاك الحركي له (0.1).



جد:

أ. تسارع المجموعة.
ب. الشدّ في الخيط.

الشغل والطّاقة الميكانيكيّة (Work and Mechanical Energy)

يتناول هذا الفصل مفهوميّ الشغل والطاقة اللذيْن يمكن توظيفُهما لدراسة حركة الأجسام في حالات عديدة؛ لما لذلك من أهميّة من حيث سهولة معالجتهما؛ كونهما كميّتيْن قياسيتيْن مقارنة بالكميّات الفيزيائيّة المتّجهة؛ ما يتطلب تحليل القوى لمركّباتها بالاتّجاهات المختلفة، وتطبيق قانون نيوتن الثاني كما مر بك سابقاً. كما يتعرّض هذا الفصل إلى مفهوم القدرة الذي يعبّر عن معدّل صرف الطاقة، أو تغيّرها واستهلاكها. الشكل (1) المجاور يظهر رافعة ميكانيكيّة ذات قدرةٍ محدّدة، تقوم بإزاحة الأحمال من مكانٍ إلى آخر في ورشة بناء. لا شك أنّ هناك شغلاً يتمُّ بذلُه لإنجاز هذه المهام، وأنّ هناك طاقةً يتمّ استهلاكُها في هذا العمل. وأنّ الرافعة تؤثّر بقوةٍ تكفي لتحريك هذه المواد مسافاتٍ افقيّة، وأخرى عموديّة لتضعها في الأماكن المنشودة. فما الشغل في الفيزياء؟ وما الطاقة؟ ومتى تكون الطاقة محفوظة؟ وماذا يحدث لطاقة جسمٍ ما عندما يبذل شغلاً؟ وكيف نحسب القدرة لدى صرف الطاقة في إنجاز العمليّات الميكانيكيّة المختلفة؟ هذه الأسئلة وغيرها، يُتوقَّع منك الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، وستكون قادراً على أنْ:

الشكل (1)

- توضّحَ المقصود بكلٍّ من: الشغل، والطاقة، والقدرة.
- تفسّرَ بعض تطبيقات الشغل والطاقة.
- تحلَّ مسائل على الشغل، والطاقة، والقدرة.
- توظّفَ النابض والسطح المائل في التعرّف إلى الشغل والطاقة.
- تميّزَ بين القوى المحافظة والقوى غير المحافظة.

1-4 الشغل (Work)

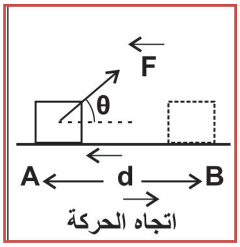
هناك العديد من المفاهيم والمصطلحات التي يتناولها علم الفيزياء، كالتي سبق انْ تعلمتها، مثل الكتلة، والسرعة، والتسارُع، وغيرها، والتي يتقارب تعريفها الفيزيائيّ مع المعنى الشائع لها في الحياة اليوميّة. أمّا الشغل فتعريفه الفيزيائيّ يختلف عمّا هو مقصود به في العادة، فيقال مثلاً: اشتغل معلّماً، أو بنّاءً، أو قاضياً، أو غير ذلك. وهذا يعني أنّ الشغل باللغة الدارجة هو القيام بمجهودٍ عقليٍّ، أو عضليٍّ لتحقيق هدفٍ ما. أمّا في التعريف الفيزيائيّ، فإنّ الشغل ينتج عندما تؤثّر قوةٌ ما في جسم، وتسبّب إزاحته من مكانٍ الى آخر.

ويعرَّف الشغل بأنّه: **حاصل ضرب الإزاحة في مركبة القوة باتّجاه تلك الازاحة، ويُعبَّر عن ذلك رياضيّاً بحاصل الضرب النقطي بين متّجهيّ القوة والإزاحة.**

في الشكل (2) تؤثّر قوةٌ ثابتةٌ **F** في جسمٍ، وتحدث إزاحة **d** بحيث تصنع **F** زاوية θ مع **d**. يمكن حساب الشغل (W) من العلاقة:

$$W = \mathbf{F}.\mathbf{d} \qquad (4\text{-}1\text{-}A)$$

$$W = F\ d\ \cos\theta \qquad (4\text{-}1\text{-}B)$$



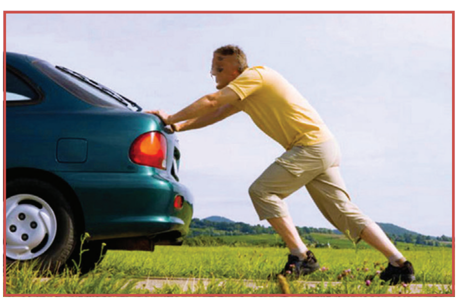
الشكل (2)

فتكون وحدة الشغل في النظام الدوْلي للوَحدات هي [نيوتن].[متر] (N.m)، وتُسمّى [جول] (J)؛ تكريماً للعالِم (جيمس بريسكوت جول)، وبالتالي يمكن تعريف الجول: **الشغل الذي تبذله قوةٌ مقدارها نيوتن واحد عندما تُحدث إزاحة جسمٍ ما باتّجاه تأثيرها، مقدارها متر واحد.**

جيمس بريسكوت جول (1818 -1889م): فيزيائيّ إنجليزيّ له اكتشافات مهمّة، منها قانون التسخين في الموصل الكهربائي، وأبحاث عديدة في الكهرباء والمغناطيسيّة، ولعلّ أشهر أعماله هو تعيين المكافئ الميكانيكيّ للحرارة، وسُميّت وحدة الطاقة باسمه (Joule) جول.

أناقش

* هل الشغل كميّة قياسيّة، أم كميّة متجهة؟
* ما وحدة الشغل في النظام الغاوسي؟
* هل الشغل كميّة أساسيّة، أم كميّة مشتقّة؟
* يؤثّر الرجل في الشكل المجاور بقوة في المركبة، محاولًا دفعَها إلى الأمام.
  - متى يكون الشغل الذي يبذله الرجل موجباً؟
  - متى يكون الشغل الذي يبذله الرجل صفراً؟
  - متى يكون الشغل الذي يبذله الرجل سالباً؟



نشاط (1): مفهوم الشغل

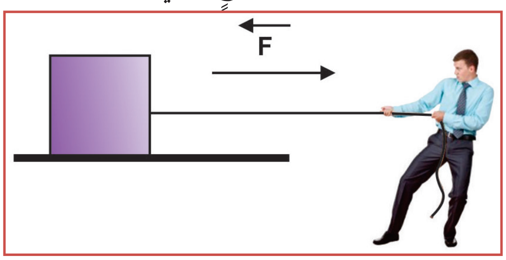
١. ارفع حقيبتك عن الأرض، وضعْها على كتفك.
٢. انطلقْ بسرعةٍ ثابتةٍ في اتّجاهٍ أفقيّ في ساحة المدرسة، ثم عُدْ إلى مكانك.
٣. أعِد الحقيبة إلى حيث كانت.
٤. ارسم شكلاً توضيحيّاً لحركة الحقيبة، بأوضاعها المختلفة خلال الرحلة، بحيث يبيّن:
- القوى المؤثّرة في الحقيبة.
- اتّجاه كلٍّ من القوى المؤثّرة في الحقيبة.
- اتّجاه إزاحة الحقيبة.

أيّ من هذه القوى تبذل شغلاً؟ وكيف تحسب الشغل المبذول من هذه القوى؟

حتى ترفع الحقيبة عن الأرض، لا بدّ أنْ تؤثّر فيها بقوةٍ تزيد قليلاً عن وزنها (بداية الحركة)، وللمحافظة على حركتها الرأسيّة إلى الأعلى بسرعةٍ ثابتة، لا بدّ أنْ تؤثّر فيها بقوةٍ تساوي قوة الجاذبيّة بالمقدار(الوزن) إلى أعلى. لاحظ أنّ قوة الجاذبيّة في هذه الحالة تبذل شغلاً سالباً(لماذا؟)

سؤال

سحب رجلٌ صندوقاً، كتلته (15 kg)، إزاحة $(d = 4\ m)$ بقوة (400 N) نحو اليمين على سطحٍ أفقيّ (أملس)، كما في الشكل المجاور.



- بيّن بالرسم القوى المؤثّرة في الصندوق.
- احسب الشغل الذي بذله الرجل.

سؤال

في الشكل المجاور، جد الشغل الذي يبذله الحصان،الذي يجرّ عربةً إلى اليمين، بقوةٍ مقدارها 400 N،وتميل عن الأفقيّ بزاوية $37°$ مسافة (3 m).

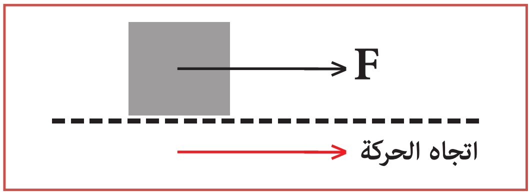
مثال1: تحرّك جسمٌ مسافة مقدارها $(d = 20\ m)$، باتّجاه الشرق (المحور السيني الموجب)، تحت تأثير مجموعة من القوى، كما في الشكل الآتي. احسب مقدار الشغل الذي تبذله قوةٌ مقدارها (10 N)، في كلٍّ من الحالات الآتية:

١. تؤثّر القوة باتّجاه الشرق.
٢. تؤثّر القوة باتّجاه الغرب.
٣. تؤثّر القوة بزاوية °٦٠ شمال الشرق.

الحل:

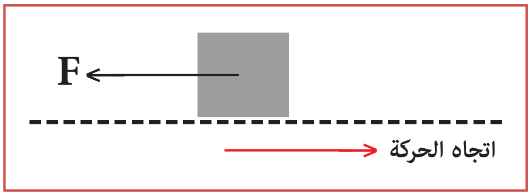
1:

$$W = F\ d \cos \theta$$
$$=10\times20\times1$$
$$=200J$$



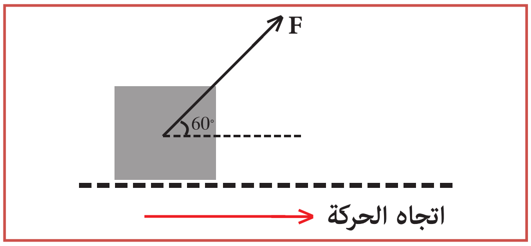
2:

$$W = F\ d \cos \theta$$
$$=10\times20\times-1$$
$$=-200J$$



3:

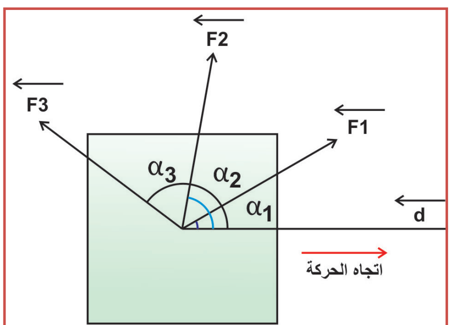
$$W = F\ d \cos \theta$$
$$=10\times20\times0.5$$
$$=100J$$



سؤال

ما شغل كلٍّ من: قوة الجاذبيّة، وقوة التلامس العموديّة في المثال السابق؟

والشغل الكليّ لمجموعةٍ من القوى التي تؤثّر في جسمٍ ما، هو الجمع العددي لشغل كلِّ قوةٍ منها، كما في الشكل (3)، وهو كذلك الشغل الذي تبذله محصّلة القوى، كما يأتي:



الشكل (3) يبين اتجاهات مختلفة لتأثير ق

$$W_{net}= W_1+W_2+W_3+.....\qquad \textbf{(4-2-A)}$$

$$W_{net}= F_{net}\ d \cos \theta \qquad \textbf{(4-2-B)}$$

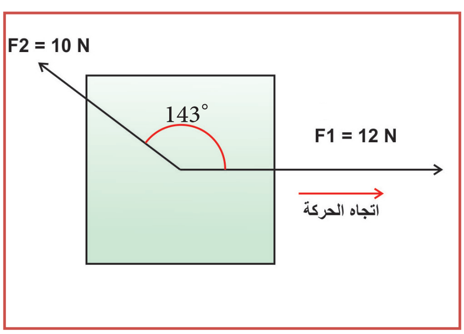
أيّ أنّ الشغل الكلي = شغل محصّلة القوى

مثال2: في الشكل(3)، أثّرت القوى في الجسم فتحرّك (0.2 m) إلى اليمين، احسب:

١. الشغل المبذول من كلّ قوة.

٢. الشغل الكليّ.

٣. تحقّقْ من أنّ شغل القوة المحصّلة يساوي المجموع العدديّ لشغل كلٍّ من القوّتيْن.



الحل:1

$$W_1 = F_1 d \cos \theta = 12\times0.2\times\cos (0) \ = 2.4\ J$$

$$W_2 = F_2 d \cos \theta = 10\times0.2\times\cos (143°) \ = -1.6\ J$$

:2

$$W_{net} = W_1 + W_2 = 2.4 - 1.6 = 0.8\ J$$

:3

$$F_{net} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos\theta}$$

$$F_{net} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos 143^\circ}$$

$$F_{net} = \sqrt{12^2 + 10^2 + 2\times12\times10\times \cos 143^\circ}$$

$$= \sqrt{52} = 7.2\ N$$

نحدّد اتّجاه القوة المحصّلة بالاعتماد على قاعدة لامي / قاعدة الجيوب

$$\frac{F_{net}}{\sin 143} = \frac{F_2}{\sin\alpha}$$

$$\frac{7.2}{\sin\alpha} = \frac{10}{\sin 143}$$

$$\sin\alpha = 0.83 \qquad \alpha = 56^\circ$$

$$W = F_{net}\ d \cos 56$$

$$W = F_{net}\ d \cos 56$$

$$= 7.2 \times 0.2 \times 0.55 \quad = 0.8\ J$$

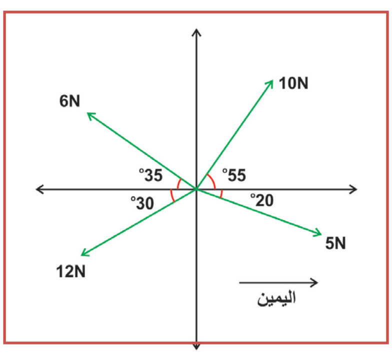
نجد أنّ شغل محصّلة القوى = المجموع العددي لشغل كلٍّ من القوى المؤثّرة.

سؤال

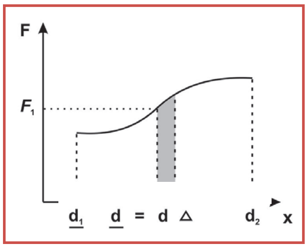
في الشكل المجاور، إذا تحرّك الجسم إلى اليمين إزاحة (0.8m) فجدْ:

١. الشغل المبذول من كلّ قوة.

٢. الشغل الكليّ على الجسم.



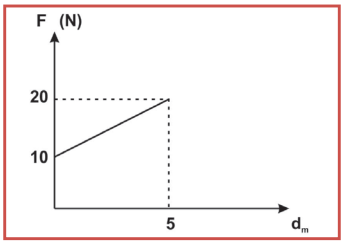
2-4 الشغل الذي تبذله قوةٌ متغيّرة:



يمثّل الشغل الذي تبذله قوةٌ ثابتة (**F**) في جسم، بمِساحة المستطيل، تحت الخط البيانيّ لمنحنى القوة – الإزاحة، ويكون المنحنى خطّاً مستقيماً أفقيّاً، يوازي محور الإزاحة.

ويمكن تعميم النتيجة السابقة على جميع أنواع القوى، بما فيها القوة المتغيّرة المقدار؛ أي أنّ:

الشغل الذي تبذله قوة يساوي عدديّاً المِساحة المحصورة تحت منحنى القوة – الإزاحة (F – x). ومن الأمثلة على القوة المتغيّرة القوة التي يؤثّر بها نابض.



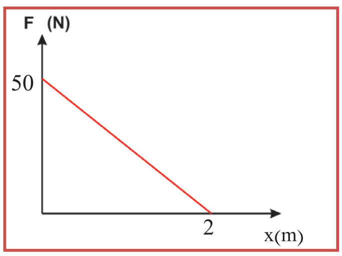
مثال3: في الشكل المجاور، احسب الشغل .

الحل:

الشغل = عدديّاً مساحة شبه المنحرف =½(مجموع القاعدتين المتوازيتين)× الارتفاع

$$W=\frac{1}{2}(10+20)\times 5 = 75J$$

سؤال

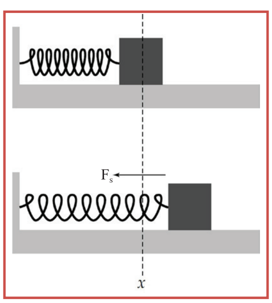


يمثّل الشكل المجاور العلاقة بين القوة المتغيّرة المؤثّرة في جسم وإزاحته، احسب الشغل الكلي المبذول من القوة.

شغل النابض:

مر بك سابقاً قانون (هوك) الذي يوضّح العلاقة بين القوة المؤثّرة في المواد المَرِنة، والتغيّرات الحادثة لشكلها، الذي ينصّ على أنّ: **تتناسب القوة المعيدة في النابض تناسباً طرديّاً مع مقدار استطالته، وتعاكسها في الاتّجاه.**

عندما تؤثّر قوة خارجيّة في نابض فإنها تسبّب شدّه، أو ضغطه بمقدار (x)، وحسب القانون الثالث لنيوتن، فإنّها تنشأ في النابض قوةٌ تساوي القوة الخارجيّة بالمقدار،وتعاكسها في الاتّجاه، تُسمّى القوّة المعيدة التي تحاول إعادة النابض إلى وضعه الأصلي.



ورياضيّاً:

$$\boxed{F_{external} = -F_s = k\,x \qquad (4-4)}$$

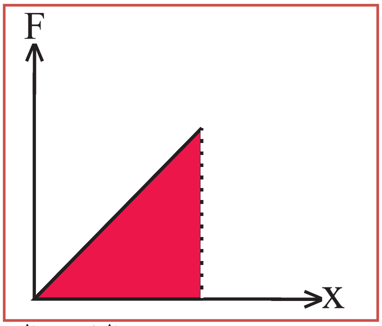
حيث:

$(F_{external})$: القوة الخارجيّة المؤثّرة في النابض، والمسبّبة له الاستطالة، أو الانضغاط.

(F_s) : القوة المعيدة.

(k) : ثابت مرونة النابض.

ويمكن تمثيل العلاقة بين مقدار القوّة المؤثّرة في نابض، والاستطالة الحادثة له بيانيّاً، كما في الشكل المجاور.بما أنّ القوة الخارجيّة المؤثّرة في النابض أحدثت إزاحة، فإنّها تنجز شغلاً، يتم إيجاده بحساب المِساحة المحصورة بين منحنى



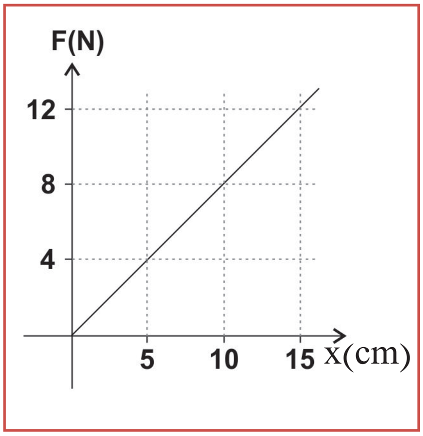
القوة – الإزاحة.

شغل القوة الخارجيّة = مِساحة المثلث = ½ القاعدة × الارتفاع

$$w = \tfrac{1}{2}\, x\, (k\, x) = \tfrac{1}{2}\, k\, x^2$$

وتمثّل العلاقة السابقة الشغل الذي تبذله قوة خارجيّة لتغيير طول نابض ضمن حدود مرونته. وحتى يعود النابض إلى وضعه الطبيعي تحت تأثير القوة المعيدة، فانّه يبذل شغلاً يساوي سالب شغل القوة الخارجيّة؛ أي أنّ القوة الخارجيّة تنقل للكتلة المتّصلة بالنابض طاقةً حركيّة، أمّا قوة النابض (القوة المعيدة) فتأخذ هذه الطاقة الحركيّة من الكتلة.

مثال4: احسب الشغل المبذول على النابض في الشكل المجاور



الحل:

الشغل = المساحة تحت المنحنى

$$W = \frac{1}{2} \times 0.15 \times 12 = 0.9\ J$$

سؤال

أثّرت قوة (200 N) في نابضٍ، فضغطته (2 cm). جدْ:

١. ثابت مرونة النابض.

٢. الطاقة المختزنة في النابض.

3-4 طاقة الحركة: (Kinetic Energy)

إذا كانت القوة المحصّلة على جسمٍ ساكنٍ لا تساوي صفراً، فإنّ الجسم يتسارع حسب القانون الثاني لنيوتن، ويصبح في حالة حركة، ويمتلك المقدرة على إنجاز شغل؛ أي أنّه يمتلك طاقةً تعتمد على كتلته وسرعته، تُسمّى الطاقة الحركيّة، وتُعطى بالعلاقة (4-5) ووحدتها هي وحدة الشغل (جول) (Joul).

$$KE = \tfrac{1}{2}\, m\, v^2 \qquad (4\text{-}5)$$

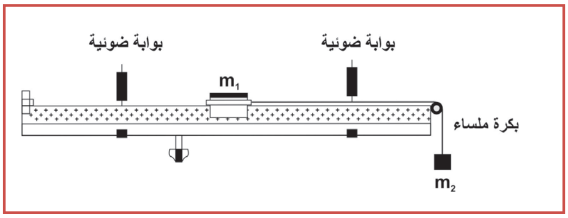
نشاط (2): الشغل وطاقة الحركة

المواد والأدوات: السّكّة الهوائيّة وملحقاتها، وميزان نابض، وأوزان مختلفة.

الخطوات:

- قم بتجهيز السّكّة الهوائيّة.
- اضبط المؤقّت على التسارع.
- علّقْ ثقل معلوم الكتلة (m_2) بطرف الخيط المتّصل بالعربة، والمارّ عن البكرة.
- سجّل كتلة العربة (m_1)، مستخدماً الميزان النابض.

_ سجّل عرض الحاجز المستخدَم.
_ شغّل المِضخّة، وراقب قراءة المؤقّت.
_ كرّر الخطوات باستخدام أوزان مختلفة.
_ كرّر الخطوات بتغيير كتلة العربة واستخدام أوزانٍ مختلفة.



w=F.d joul	T $= w_2 - m_2a$	d (m)	$a = \frac{v_2 - v_1}{t}$	ΔK.E	K_f.E	K_i.E	v_2	t_2	v_1	t_1	m_1(kg)

حيث:
m: كتلة العربة.
t_1: زمن مرور الحاجز من البوّابة الأولى.
t_2: زمن مرور الحاجز من البوّابة الثانية.
v_1: سرعة العربة عند البوّابة الأولى.
v_2: سرعة الحاجز عند البوّابة الثانية.
d : المسافة بين البوّابتين.
قارن بين (ΔK.E) و (W) لكلّ حالة. ماذا تلاحظ؟
ماذا تستنتج؟

4-4 نظرية الشغل والطاقة (Work-Energy Theorem)

إذا أثّرت قوةٌ أفقيّة **F** في جسمٍ، كتلته m، فإنّها تحرّكه باتّجاهها، وتكسبه تسارُعاً ثابتاً **a**، حسب القانون الثاني لنيوتن

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

وإذا تحرّك الجسم إزاحة d، فإنّ الشغل الذي تنجزه القوة:

$$W = F\,d\cos\theta$$
$$= m\,a\,d\cos 0^\circ$$
$$= m\,a\,d$$

ومن معادلات الحركة بتسارع ثابت:

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ad$$

نضرب المعادلة السابقة ×½m فتصبح

$$\tfrac{1}{2}m\ v^2_f = \tfrac{1}{2}m\ v^2_i + \tfrac{1}{2}m\ \times 2ad$$

$$\tfrac{1}{2}m\ v^2_f = \tfrac{1}{2}m\ v^2_i + \tfrac{1}{2}m\ \times 2ad$$

$$(K.E)_f - (K.E)_i = m\ a\ d$$

$$\boxed{\Delta K.E = W_{net} \qquad (4-6)}$$

أي أنّ: الشغل الكليّ الناتج عن قوةٍ، أو مجموعة قوى تؤثّر في جسمٍ متحرّكٍ يساوي التغيّر في طاقة حركة الجسم، وهذا ما يُعرف بنظريّة الشغل – الطاقة الحركيّة.

مثال5: أثّرت قوة (240 N) في جسمٍ ساكنٍ، كتلته (4 kg)، فحرّكته باتّجاهها مسافة (0.5 m)، جد:

١. التغيّر في الطاقة الحركيّة للجسم.

٢. السرعة النهائيّة للجسم.

الحل:1:

$$\Delta K.E = W_{net}$$

$$\Delta K.E = W$$

$$= F\ d \cos\theta$$

$$= 240 \times 0.5 = 120\ \ J$$

:2

$$(K.E)_f - (K.E)_i = \Delta K.E$$

$$\frac{1}{2} m\ v^2 - 0 = 120$$

$$\frac{1}{2} \times 4 \times v_f^2 - 0 = 120$$

$$240 = 4 \times v_f^2$$

$$v_f = 7.7 m/s$$

سؤال

كرةٌ كتلتُها (3 kg)، تنزلقُ بسرعة (5 m/s)، أثّرت فيها قوةٌ ثابتة (200 N). جد الإزاحة التي أحدثَتْها القوة للكرة، حتى أصبحت سرعة الكرة (8 m/s).

سؤال

تتحرّك مركبةٌ كتلتها (2600kg)، بسرعة (20m/s)، فإذا توقّفت عند الضغط على الكوابح:

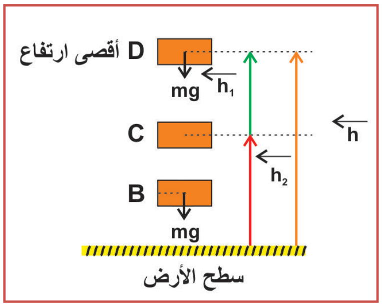
١. ما التغيّر في طاقة حركة المركبة؟

٢. ما مقدار الشغل المبذول أثناء الضغط على الكوابح؟

٣. صفْ تحوّلات الطاقة؟

5-4 طاقة الوضع في مجال الجاذبيّة: Potential Energy (U)

جسمٌ موضوعٌ على سطحٍ أفقيّ، يتّجه إلى الأعلى من النقطة B إلى النقطة D ، ليتحقّق ذلك فإنّه يلزم التأثير بقوة رأسيّاً إلى أعلى، تساوي على الأقلّ قوة جذب الأرض لذلك الجسم، وتبذل شغلاً ضد الجاذبيّة مقداره:



الشغل من القوة الخارجيّة = - الشغل من قوة الجاذبيّة

الشغل من القوة الخارجيّة $W= F\ d \cos \theta$

$= m\ g\ h$

لأنّ الجسم يسكن عند D، فإنّ هذا الشغل يختزن في الجسم على شكل طاقةِ وضعٍ، وتعتمد -كما مر بك سابقاً- على: وزن الجسم، ومقدار الإزاحة عن مستوى الإسناد. وتُعرف بأنّها:**الشغل المبذول لإيصال الجسم إلى ارتفاعٍ معيّن عن مستوى معلوم، يعرف بمستوى الإسناد، حيث طاقة الوضع فيه صفر.**

$$U = m\ g\ h \qquad (4 - 7)$$

حيث U طاقة الوضع في مجال الجاذبيّة الأرضيّة من الشكل وعند رفع الجسم من B الى D: $U_B = 0$ باعتبار الأرض مستوى الإسناد.

$$U_C = m\ g\ h_2$$

$$U_D = m\ g\ (h_1 + h_2)$$

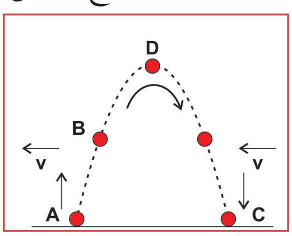
$\Delta U = U_D - U_B$ للجسم أثناء العودة من B إلى D

حيث: $\Delta U = m\ g\ (h_1 + h_2) - 0 = m\ g\ h$

(m): كتلة الجسم بوحدة kg

(g): تسارع الجاذبيّة الأرضيّة، ووحدته m/s^2

(h): الإزاحة الحادثة للجسم عن مستوى الإسناد بوحدة m وعندما تتاح الفرصة للجسم ليسقط باتّجاه سطح الأرض، فإنّ ΔU للجسم أثناء النزول من D الى B



$$\Delta U = U_B - U_D$$

$$\Delta U = -m\ g\ h$$

في نظام (الأرض – الجسم) عند صعود الجسم نحو أقصى ارتفاع، نجد أنّ قوة الوزن تبذل شغلاً، مقداره $-m\ g\ h$ لأنّ قوة الوزن تعاكس الإزاحة الحادثة في الاتّجاه. وعند نزول الجسم فإنّ قوة الجاذبيّة تبذل شغلاً، مقداره $+m\ g\ h$ أي أنّ:

$$W = - \Delta U \qquad (4-8)$$

أناقش

- لماذا تُعدُّ طاقة الوضع على سطح الأرض صفراً؟
- ما الفرق بين التغيّر في طاقة الوضع أثناء ارتفاع الجسم وأثناء نزوله؟ وعلى ماذا يدل ذلك؟
- أثبت أنّ وحدة الشغل، والطاقة الحركيّة، وطاقة الوضع هي الجول.
- جسمٌ يزنُ (600 N) على ارتفاع (2 m) من سطح الأرض، ما مقدار طاقةِ وضعِه على سطح القمر إذا وُضِع على الارتفاع نفسه؛ علماً بأنّ $g_M = 0.16\ g_E$؟

مثال6: كرةٌ كتلتها (2.5 kg) على سطح الأرض، إذا أصبحت على ارتفاع (40 m) من سطح الأرض، جد:

١. الشغل المبذول على الكرة.

٢. التغيّر في طاقة وضعِها، عندما تعود إلى ارتفاع (10 m) عن سطح الأرض.

الحل:

1:

$$W = \Delta (m\ g\ h)$$
$$= 2.5\times10\times 40 - 0$$
$$=1000J$$

2:

$$W = \Delta (m\ g\ h)$$
$$\Delta U = m\ g\ h_f - m\ g\ h_1$$
$$= 2.5\times 10\times10 - 2.5\times10\times 40$$
$$= -750J$$

سؤال

أ- ما مقدار الشغل المبذول لرفع كيسٍ من الإسمنت، يزنُ (500 N) رأسيّاً إلى أعلى، بسرعةٍ ثابتة، مسافة (20 m)؟

ب- قُذِفت كرةٌ تزن (0.5 N) رأسيّاً إلى أعلى، ووصلت أقصى ارتفاعٍ رأسيٍّ لها (10 m)، فما طاقة وضعِها عند أقصى ارتفاع؟

6-4 حفظ الطاقة الميكانيكيّة (Conservation of Mechanical Energy)

مرّ بك سابقاً أنّ الطاقة الميكانيكيّة لنظامٍ ما: هي مجموع طاقتيّ الوضع والحركة للنظام. فمثلاً عند قذف جسمٍ إلى أعلى، فإنّه لحظة القذف لا يمتلك طاقةَ وضعٍ؛ كونه على مستوى الإسناد، ولكنه يمتلك طاقةً حركيّةً، وعند ارتفاعه إلى أعلى تزداد طاقة وضعه، وتقلّ طاقة حركته (لماذا؟)، إلى أنْ يصلَ أقصى ارتفاعٍ، حيث يسكنُ لحظيّاً، وعند عودته تقلّ طاقةُ وضعِه؛ لأنه بدأ بالاقتراب من مستوى الإسناد، وتزداد طاقة حركته لأنّ سرعته تزداد.

وبما أنّ الجسم يتحرك تحت تأثير قوة الجاذبيّة الأرضيّة فقط، فإنّ: $W = \Delta K.E$

شغل قوة الجاذبيّة : $W = -\Delta\ U$

شغل قوة الجاذبيّة : $W = \Delta\ K.E$

إذن:

$$-\Delta\ U = \Delta\ K.E$$

$$U_i + K.E_i = U_f + K.E_f$$

وبشكلٍ عام:

$$\boxed{(U_i + K.E_i)_a = (U_f + K.E_f)_b \qquad (4 - 9)}$$

$E_a = E_b$

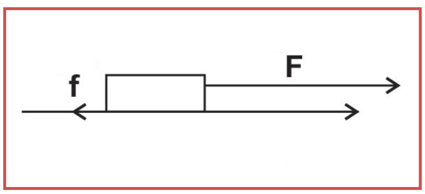
حيث a ، b أيّ موضعين، أي أن: $E = \text{Constsnt}$

أي أنّ الطاقة الميكانيكيّة (E) للنظام تساوي مقداراً ثابتاً. وهذا ما يُعرف بقانون حفظ الطاقة الميكانيكيّة. ويسمّى النظام في هذه الحالة نظاماً محافظاً، وتُعرف القوة بالقوة المحافظة، ومن أمثلتها: قوة جذب الأرض للجسم (الوزن)، والقوة الكهربائيّة، وقوة المرونة (النابض). هل جميع الأنظمة محافظة؟ في الشكل المجاور يتحرّك الجسم بسرعةٍ ثابتةٍ على سطحٍ أفقيّ خشن، بتأثير قوةٍ موازيةٍ للسطح. إنّ الشغل الذي تبذله هذه القوة يساوي:

$$W = F\ d\cos\theta$$

حيث **F:** القوة المؤثّرة.

d: الإزاحة الحادثة للجسم.



وبما أنّه موجب فهذا يعني أنّ هناك زيادة في الطاقة الحركيّة للجسم.

$$W = \Delta K.E$$

أي أنّ سرعة الجسم ستزداد باستمرار، إلّا أنّ قوة الاحتكاك تبذل شغلاً سالباً.

$$W_{\text{احتكاك}} = f \times d\cos 180$$

ويُعَدّ شغلاً معيقاً لحركة الجسم؛ أي أنّه يعمل على تقليل الطاقة الحركيّة للجسم. وإذا توقّف تأثير القوة الخارجيّة **(F)**، فإنّ الجسم سيتباطأ تدريجيّاً إلى أن يتوقّف، فهو سيفقد الطاقة الحركيّة، وتحولّها قوة الاحتكاك إلى حرارة يصعب الاستفادة منها، أو استرجاعها، ويُسمّى النظام في هذه الحالة نظاماً غير محافظ، ومن الأمثلة عليه: جسم – سطح خشن، ومن أشهر القوى غير المحافظة قوة الاحتكاك.

وفي هذا النظام لا يبقى مجموع الطاقة الميكانيكيّة ثابتاً.

ويمكن التعبير عن ذلك رياضيّاً:

شغل القوى غير المحافظة = ΔE وتعرف هذه العلاقة بنظرية(الشغل – الطاقة)

حيث: شغل القوى غير المحافظة هو المجموع الجبريّ لشغل جميع القوى غير المحافظة في النظام.

ΔE: التغيّر في الطاقة الميكانيكيّة للنظام = $\Delta E = \Delta K.E + \Delta U$

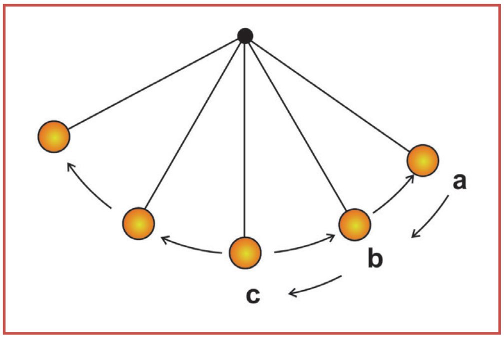
أفكر

- هل يختلف الشغل في النظام المحافظ عنه في النظام غير المحافظ؟
- هل هناك قوى غير محافظة غير قوة الاحتكاك؟

مثال7: في الشكل المجاور، عُلّقت كتلة (0.5 kg) بطرف خيطٍ طوله (3 m)، إذا سُحب الخيطُ جانباً حتى النقطة D على ارتفاع (50 cm) عن موضعها الابتدائي، ثم تُركت تتحرّك بشكلٍ حرّ، احسب بإهمال مقاومة الهواء:

١. سرعة الكتلة لحظة مرورها بالنقطة C.

٢. الطاقة الميكانيكيّة للكتلة عند النقطة B.

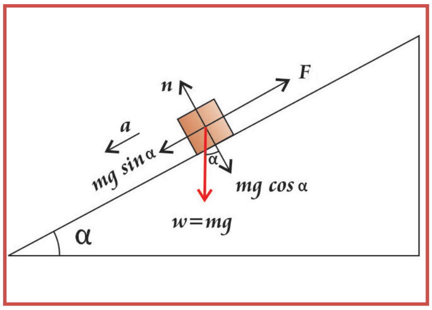


الحل:1:

$$E_C = E_D$$
$$K\,E_C + U_C = K\,E_D + U_D$$
$$\tfrac{1}{2}mv^2 + 0 = 0 + m\,g\,h$$
$$\tfrac{1}{2}v^2 = \tfrac{1}{2} \times 10 \times 5.0$$
$$v_c = 3.3\ \text{m/sec}$$

:2

$$E_B = E_D = K\,E_D + U_D$$
$$0.5 \times 10 \times 0.5 = m\,g\,h + 0$$
$$= 2.5\ \text{J}$$



سؤال

ينزلق جسمٌ كتلته (35 kg) تحت تأثير وزنه، من قمّة مستوى مائلٍ خشنٍ، يميل بزاوية °37 عن الأفقيّ، وارتفاعه (8 m) فإذا كان معامل الاحتكاك الحركيّ بين الجسم والسطح 0.25، جد سرعة الجسم لحظة وصوله أسفل المستوى.

أناقش

- ما تحوّلات الطاقة في مسدس الخرز؟
- أيّهما أسهل: سحب طاولة على سطحٍ أفقيّ أملس، أم على سطح أفقي خشن؟ ولماذا؟
- متى تؤثّر في جسمٍ بقوّةٍ، ولا تحدث له إزاحة؟
- أيّهما أسهل لرفع جسمٍ مسافة (2 m) رأسيّاً إلى أعلى، بسحبه على مستوى مائل أملس، أم برفعه رأسيّاً بقوة؟ ولماذا؟

4- 7 القُدرة(Power):

إنّ مقدارَ ما تبذُله القوّة من شغلٍ يعتمد على مقدار القوة، وعلى الإزاحة الحادثة واتّجاهها، نجد أنّ حاصل قسمة الشغل على الزمن الذي أُنجز فيه الشغل يتناسب عكسيّاً مع الزمن. وهو ما يُعرف بمعدل القدرة فهي: **الكمية الفيزيائيّة التي**

تقيس المعدل الزمنيّ لإنجاز كميّةٍ محدّدةٍ من الشغل، وتعبِّرُ عن مقدار الشغل المُنجز في وَحدة الزمن.

أي أنّ: **معدل القدرة = الشغل / الزمن**

$$P = \frac{W}{t} \qquad (4 - 10)$$

وعليه تكون وحدة قياس القدرة: جول/ ث وتسمى الواط. (watt)

الواط: هو قدرة جسمٍ، أو آلة تُنجز شغلاً، مقداره واحد جول في زمن قدرة واحد ثانية.

ورياضيّاً: $P = \frac{F\ d \cos\theta}{t}$

حيث:

(F): القوة وتقاس بوحدة N

(v): السرعة المتوسطة بوحدة m/s

(t): الزمن بوحدة الثانية s

(θ): الزاوية المحصورة بين متّجهي القوة والسرعة.

ولحساب القدرة اللحظيّة، نستخدم السرعة اللحظيّة وليس السرعة المتوسّطة. والقدرة اللّحظية هي: **القدرة التي تبذلها القوة في لحظةٍ معيّنة.**

القدرة اللّحظية = $\mathbf{F} . \mathbf{v}$

$= F\ v \cos\theta$

$$P = F\ v \cos\theta \qquad (4 - 11)$$

حيث:

F: القوة.

v: السرعة اللحظيّة.

θ: الزاوية المحصورة بين متّجهيّ القوة والسرعة.

أناقش

- هل من وَحداتٍ أخرى للقدرة؟ اذكرها.
- أيّهما أكثر قدرة: عامل يرفع 10 أكياس من الإسمنت في (10 min)، أم عامل يرفع الكمية نفسها، خلال (480 s)؛ علماً بأنّهما يتحرّكان بسرعةٍ ثابتة؟ وضّحْ إجابتك.
- هل القدرة كميّةٌ قياسيّةٌ، أم متّجهة؟ ولماذا؟
- يصعد أحمد وعليّ (لهما الكتلة نفسها) درجاً يوصل إلى الطابق الثاني في المدرسة، وكان أحمد يصعد 5 درجات في (1.4 s)، أمّا عليّ فيصعد 4 درجات في (1 s). أيّهما قدرته أكبر؟ ولماذا؟

مثال8: احسب القدرة في الحالات الآتية:

١. تسحب قوة (240 N) جسماً مسافة (3 m) باتّجاهها، خلال دقيقتين.

٢. تُنجز آلةٌ شغلاً مقداره (720 J) في دقيقة.

الحل: 1:

$$P = \frac{w}{t}$$

$$P = \frac{F.d\cos\theta}{t}$$

$$= \frac{240 \times 3 \times 1}{120}$$

$$= 6 \text{ watt}$$

2:

$$P = \frac{w}{t}$$

$$P = \frac{720}{60}$$

$$= 12 \text{ watt}$$

سؤال

أ . إذا علمتَ أنّ قدرة محرّكِ مركبةٍ (12 hp)، وتتحرّك بسرعة (120 km/h)، جد قوة محرّك المركبة.

ب. آلة قدرتُها (5 hp)، ترفع بضاعة كتلتها (240 kg) إلى أعلى بسرعةٍ ثابتة. جد مقدار السرعة.

مشروع:

- كلّفْ مجموعة من الطلبة بالتعرف إلى قدرة المحرّك في مركبات متنوعة.
- كلّف مجموعة من الطلبة بالتعرف إلى قدرة آلاتٍ وأجهزةٍ مختلفة في حياتهم اليوميّة، موضّحاً ما تعنيه القدرة بالنسبة إلى تلك الأجهزة.
- استضافة تاجر سيّارات للتحدّث عن قدرة المحرّكات في السيارات، وما تعنيه تلك الأرقام.
- كلّف الطلبة بالبحث عن وحدات الطاقة.

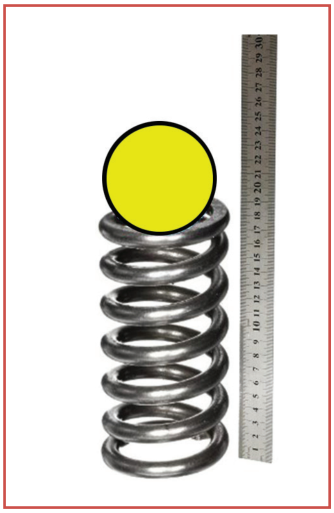
نشاط (3): حفظ الطاقة الميكانيكيّة

المواد والأدوات: كراتٌ مختلفة ذات كتلٍ صغيرة، ونابض معلوم ثابت المرونة، وشريط متري، وميزان نابضي.

الخطوات:

1. ألصقْ مِسطرة بحافّة الطاولة.
2. ثبّتْ نابضاً على سطح الطاولة بجانب المسطرة.
3. سجّل كتلة الكرات باستخدام الميزان.
4. اضغطّ النابض مسافةً معلومة.
5. ضع الكرة فوق النابض.
6. أفلت النابض.

7. سجّل أقصى ارتفاعٍ تصل إليه الكرة.
8. كرّر الخطوات السابقة بتغيير الكرات، ومسافة ضغط النابض.

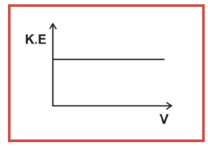


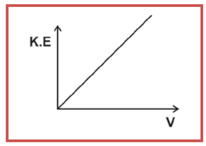
كتلة الكرة (kg)	مسافة انضغاط النابض (m)	ط و مرونية (J)	أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة (m)	ط و الكرة القصوى (J)	ط ح الكرة لحظة إفلات النابض(J)	سرعة الكرة لحظة إفلات النابض (m/s)

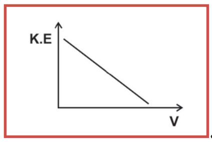
أسئلة الفصل:

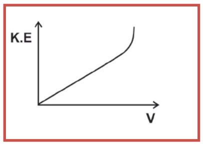
1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. أيّ المنحنيات الآتية يمثّل العلاقة بين طاقة حركة جسمٍ وسرعته؟

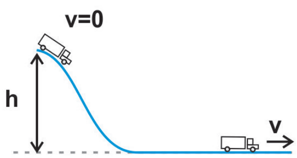
أ. 

ب. 

جـ. 

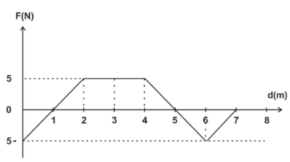
د. 

٢. في الشكل المجاور، تتحرّك عربة كتلتها (m)، من السكون تحت تأثير وزنها على سطحٍ أملس. إنّ مقدار سرعتها عندما تصل إلى السطح الأفقي هو :



أ. $\sqrt{2mgh}$ ب. $\sqrt{mgh}$ جـ. $\sqrt{2gh}$ د. $\sqrt{gh}$

٣. يبيّن الشكل المجاور العلاقة بين القوة المؤثّرة في جسمٍ ما، وإزاحة الجسم عندما يتحرّك على سطحٍ أفقيّ أملس. كم يساوي شغل هذه القوة خلال إزاحة الجسم من صفر إلى (6) م بوحدة «جول» ؟



أ. (5) ب. (8) جـ. (10) د. (15)

٤. جسم طاقته الحركيّة K.E ، فإذا تضاعفت سرعته، كم تصبح طاقة حركته؟

أ. 2K.E ب. ¼K.E جـ. ½K.E د. 4K.E

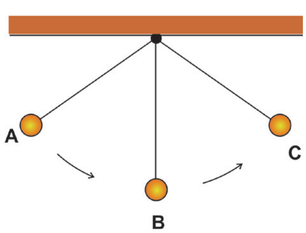
٥. يبيّن الشكل المجاور ثلاثة مواضع لكرةٍ معلّقة في نهاية خيطٍ، تتحرك حركة توافقيّة بسيطة. فإذا كانت سرعة الكرة في النقطة (A) تساوي صفراً، فأيّ العبارات الآتية الصحيحة ؟

أ . طاقة وضع الكرة في (A) تساوي طاقة حركة الكرة في (C).

ب. سرعة الكرة في (A) تساوي سرعة الكرة في (B).

جـ. طاقة وضع الكرة في (B) تساوي طاقة وضع الكرة في (C).

د . طاقة وضع الكرة في (A) تساوي طاقة حركة الكرة في (B).



٦. يتحرّك جسمٌ كتلته (5kg)، بسرعةٍ ثابتة(4m/s)، إذا أثّرت فيه قوةٌ، فتوقّف تماما عن الحركة خلال (2s)، فما متوسّط قدرة القوة (بوحدة watt)؟

أ. 5 ب.10 ج.20 د.40

2 هل يمكن أنْ تتغيّر سرعة جسمٍ، إذا كان الشغل الكليّ عليه صفراً؟

3 طفلٌ كتلتُه (35kg)، يتأرجّح في أرجوحةٍ، طول الحبل فيها (2m). جد طاقة الوضع للطفل بالنسبة إلى أدنى

وضعٍ له في الحالات الآتية:
أ- عندما تكون الحبال أفقيّة.
ب-عندما تشكل الحبال زاوية 30 مع الاتّجاه الرأسي.
ج- في أسفل نقطة في المسار.
د- إذا ارتفعت الأرجوحة ودارت بزاوية 180 عند أخفض نقطة.

4 دفع طالبٌ كتاباً كتلتُه (0.75 kg)على طاولة، فتوقّف الكتاب بعد (1.2 m)، إذا كان معامل الاحتكاك الحركي بين الكتاب والطاولة 0.34 ، فما السرعة الابتدائيّة للكتاب؟

5 يُراد رفع ستارةٍ كتلتها (193 kg) باستخدام محرّكٍ كهربائي مسافة (7.5 m) خلال (5 s). أيّ المحرّكات الآتية هو الأنسب: المحرّك A وقدرته (1 kWatt)، المحرك B وقدرته (3.5 kWatt) ، المحرك D وقدرته (5.5 k Watt)

6 بإهمال تأثير الاحتكاك للوصول إلى قمّة منحدرٍ، لماذا لا يتمّ شقُّ الطرق مستقيمةً باتّجاه القمة، وإنّما يتمّ شقُّها بشكلٍ ملتوٍ، رغم المعروف في الرياضيات أنّ الخطّ المستقيم هو أقصر مسافة بين نقطتيْن.

7 تتسارعُ مركبةٌ كتلتها (1500 kg) من السكون إلى سرعة (18 m/s)، خلال (12 s). ما متوسّط قدرة محرّك المركبة؛ علماً بأنّ متوسّط قوة المقاومة التي تتعرّض لها المركبة (400 N)؟

8 جد أقصى ارتفاعٍ تصل إليه كرةٌ كتلتها (2 kg)، تُقذف رأسيّاً إلى أعلى، إذا كان الشغل الذي تبذله الجاذبيّة على الكرة من لحظة قذفها وحتى لحظة وصولها إلى أقصى ارتفاع (75.5 J).

9 تسحب قوة (400 N) جسماً كتلته (15 kg) نحو قمّة أعلى مستوى مائل، بزاوية 30 عن الأفقيّ، مسافة (10 m)، فإذا كان المستوى خشناً، ومعامل الاحتكاك الحركي 0.2، جد:
١. شغل القوة المؤثّرة.
٢. شغل قوة الاحتكاك.
٣. سرعة الجسم لحظة وصوله أعلى المستوى.

10 ثلّاجة كتلتها (120 kg)، يدفعها رجلان مسافة (4 m)، فإذا كانت قوة الأوّل (70 N)، وتميل بزاوية 37 عن الأفقي، وقوة الثاني (90 N)، وتميل بزاوية 60 عن الأفقي. جدْ - بإهمال الاحتكاك-:
١. الشغل الكلي.
٢. السرعة النهائيّة للثلاجة.

11 استُخدِمت كتلة (2 kg) لضغط نابضٍ، مسافة (4 cm) على سطحٍ أفقيّ أملس، وعندما أُفلِت النابض انطلقت الكتلة بسرعة (1.5 m/s) أفقيّاً، جد ثابت مرونة النابض.

الحركة الدائريّة (Circular Motion)

تُعدُّ الحركة الدائريّة جزءاً مهمّاً من حياتنا اليوميّة، فكثيرُ من ألعاب مدينة الملاهي، والعديد من الأجهزة الكهربائيّة في بيوتنا كالخلّاط والغسّالة تظهر فيها حركة دائريّة، ودوران عجلات الدرّاجة الهوائيّة يُسهم في سهولة حركتها ، وتعاقُب الليل والنهار ناتجُ من دوران الأرض حول نفسها، ومحطّة الفضاء الدّوْليّة، والأقمار الصناعيّة تدور حول الأرض، فكيف نَصفُ الحركة الدائريّة؟ وما مسبّباتها؟ ويُتوقَّع منك بعد دراسة هذا الفصل أنْ تكون قادراً على أنْ:

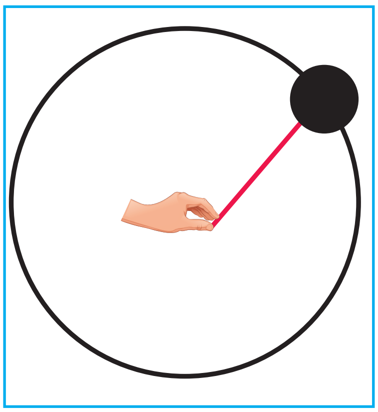
- **توضّح المقصود بالحركة الدائريّة ومتغيّراتها.**
- **تربطَ بين معادلات الحركة الخطّيّة وما يقابلها في الحركة الدائريّة.**
- **تحلَّ مسائل على الحركة الدائرية.**
- **تفسَّر بعض تطبيقات الحركة الدائريّة.**

1-5 الحركة الدورانيّة (Rotational Motion)

تعدُّ الحركة الدورانيّة حركةً مهمّةً في الفيزياء، وفي حياتنا اليوميّة، ويمكن تعريف الحركة الدورانيّة بأنّها: دوران الجسم حول مركزه أو محوره. وقد تعلّمت في الصفّ العاشر الأساسيّ مفهوم الحركة الدائريّة، وهي حالةٌ خاصّةٌ من الحركة الدورانيّة، وتتعلّقُ بحركة جسم على محيط دائرةٍ بسرعةٍ ثابتة، ويقطع فيها الجسم أقواساً متساويةً في أزمانٍ متساويةٍ، وتُسمّى حركةً دائريّةً منتظمة، ويكون نصف قطر الدوران ثابتاً، ويكون للجسم تسارعٌ مركزيّ ناتجٌ عن تغيّر اتّجاه السرعة.

ولمعرفة خصائص الحركة الدائريّة نفّذ النشاط الآتي:

نشاط(1): الحركة الدائريّة

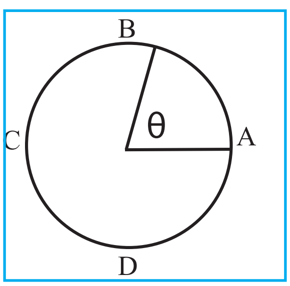


١. اربط كرةً كتلتها (m) بطرف خيط، وأمسك الطرف الآخر بيدك.
٢. قمْ بتدوير الكرة بسرعة (v) ثابتة في مسارٍ دائريّ، في مستوى أفقيٍّ،
٣. كما هو مبيّن في الشكل المجاور، صفْ حركة الكرة.
٤. زد سرعة الكرة، كيف تشعر بتغيّر قوة الشدّ في الخيط عند زيادة السرعة؟
٥. أفلت الخيط، صفْ حركة الكرة.

نتوصّل ممّا سبق إلى أنّ:

- الحركة الدائريّة المنتظمة حركةٌ مسارُها دائريّ، فيها يقطع الجسم المتحرك أقواساً متساويةً في أزمنةٍ متساوية.
- لكي يتحرّك جسمٌ في مسار دائريّ، لا بدّ أنْ تؤثّر فيه قوةٌ عموديّة على اتّجاه حركته، في اتّجاه مركز المسار الدائريّ؛ وذلك للمحافظة على استمراريّته في الحركة الدائريّة.
- إذا انعدمت هذه القوة فإنّ الجسم سوف يتحرك باتّجاه المماس للمسار الدائريّ.

سؤال



يمثّل الشكل المجاور حركة جسم كتلته (0.1kg) في مسارٍ دائريّ منتظم، طول نصف قطره (3.5m)، حيث سرعة الجسم عند النقطة A تساوي (7 m/s) باتّجاه الجنوب.

١. ما القوة المركزيّة المؤثّرة في الجسم؟
٢. ما التسارع المركزيّ للجسم؟
٣. ما سرعة الجسم وتسارعه عند النقاط B، C،D ؟
٤. كم تصبح القوة المركزيّة إذا ضاعفنا سرعة الجسم مع ثبات نصف القُطر؟

٥. كم تصبح القوة المركزيّة إذا ضاعفنا نصف قطر المسار مع ثبات مقدار سرعة الجسم؟
٦. ما الشغل الذي تبذله القوة المركزيّة على الجسم؟

سؤال

لماذا يقوم السائق بتخفيف سرعته عند دخوله منحدراً حادّاً؟

2-5 الموضع الزاوي والسرعة الزاوية (Angular Position and Average Angular Speed)

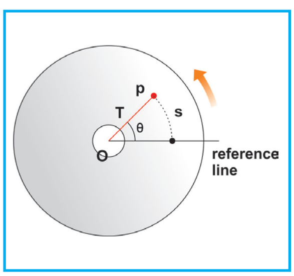
لتتعرف الموضع الزاوي والسرعة الزاوية نفّذ النشاط الآتي:

نشاط (2): الموضع الزاوي والسرعة الزاوية

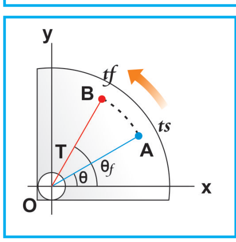
جلس أحمد وصديقه رامي في المقعد A في لعبة الملاهي التي قطرها 12m، وتدور بسرعةٍ ثابتة 3.14 m/s.

١. ما الزمن الدوري؟
٢. ما طول القوس الذي تحرّكه المقعد خلال 3s؟
٣. ما موضع أحمد ورامي بعد 3 s؟ (افرض أنّ الخطّ الأفقيّ المار بالنقطة A هو خط الإسناد)
٤. ما مقدار الزاوية التي دارها المقعد خلال 3s؟
٥. ما العلاقة بين سرعة الجسم v والزاوية التي دارها المقعد (بالتقدير الدائري)؟ (تعبر الزاوية θ (بالتقدير الدائري) التي قطعها المقعد عن الإزاحة الزاوية، وتحدّد الموضع الزاوي).
٦. ما مقدار الإزاحة الزاوية لمقعد أحمد ورامي؟

أ. الموضع الزاوي



لنفرضْ أنّ نقطةً على قرصٍ مرنٍ، على بعد r من مركز القرص عند خط المرجع (+x)، عندما يدور القرص زاوية θ فإنّ النقطة تصبح عند p، وتكون النقطة قد قطعت قوساً طوله S، يقابله زاوية مقدارها θ تعبّر عن الموضع الزاوي.



في الشكل المجاور بدأ القرص الدوران عندما كانت النقطة عند A ، بعد زمن t_i من الوضع الأصلي، حيث الموضع الزاوي ، θ_i وبعد زمن t_f أصبحت عند B، حيث الموضع الزاوي θ_f، فإنّ النقطة تكون قد قطعت زاوية تساوي $\Delta\theta$ ، $\Delta\theta = \theta_f - \theta_i$
والتغيّر بين الموضعين يعبّر عن الإزاحة الزاوية.
وبذلك يكون الجسم قد قطع قوساً طوله s، ويقابل هذا القوس زاوية مركزية $\Delta\theta$ تمثل الإزاحة الزاويّة

ب. الإزاحة الزاوية

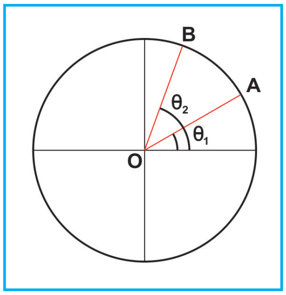
وتُعطى بالعلاقة: $\theta = \frac{s}{r}$ ، وتقاس بوحدة الراديان rad. (5-1)

حيث إنّ الراديان: الزاوية النصف قطرية، ويكافئ زاويةً مقدارها $57.3°$ تقريباً.

قياس الزاوية بالراديان = $\frac{\pi}{180} \times$ قياس الزاوية بالدرجات

ويعدّ الموضع الزاوي موجباً إذا كان الدوران عكس اتّجاه حركة عقارب الساعة، وسالباً إذا كان الدوران مع عقارب الساعة.

ج. السرعة الزاوية ω



الشكل (1)

إنّ موضع الجسم الزاوي في أيّةِ لحظة يتحدّد بالزاوية θ التي يصنعها متّجهُ موضعه الخطي r مع محور السينات (خط المرجع). فإذا كان الجسم عند الموضع A في اللحظة، ثم أصبح عند الموضع B في اللحظة t_2 عندئذ نجد أنّه $\Delta\theta$ في زمنٍ قدرُه Δt ، كما في الشكل (1)، وبالتالي فإنّ السرعة الزاوية المتوسطة (ω) تُعطى بالعلاقة:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} \qquad (5\text{-}2)$$

فالسرعة الزاوية (ω): هي الإزاحة الزاوية التي يدورها الجسم في وحدة الزمن، ووحدتها في النظام الدوْليّ هي راديان/ثانية (rad/s).

الزاوية التي يدورها جسم في زمن t، تُعطى بالعلاقة:

$$\theta = \omega t \qquad (5\text{–}3)$$

وكثيراً ما تُعطى السرعة الزاوية لجسمٍ يدور بوحدات مختلفة مثل دورة /الدقيقة مثلاً، حيث إنّ الدورة الواحدة تعادل 2π radians =360.

مثال1: يدور حوض نشّافة غسّالة بمعدل 1200 rev/ min. ما سرعتها الزاوية المتوسطة؟

الحل:

نلاحظ أنّ الزاوية المسموحة خلال دقيقة هي:

$$1200 \times 2\,\pi \text{ rad}$$

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2400\,\pi}{60} = 40\,\pi \text{ rad/s}$$

سؤال

تدور مِروحةُ سقفٍ بمعدل 1800 rev/ min، احسب الزاوية التي تدورها المروحة خلال 10 s.

3-5 السرعة الزاوية اللّحظيّة: (Instantaneous Angular Velocity)

تُعرف السرعة الزاوية اللّحظيّة بأنها: **السرعة الزاوية لجسمٍ يدور على مسارٍ دائريّ في لحظةٍ معينة**، وتحسب عن طريق حساب السّرعة الزاوية المتوسطة في فترة زمنية قصيرة جداً، بجعل النقطتين A و B في الشكل (1) تقتربان من بعضهما بشكلٍ كبير لتنطبقا في النهاية على بعضهما، عندئذٍ تصبح الزاوية $\Delta\theta$ والزمن Δt غاية في الصّغر، وكلما صغرت الفترة الزمنية اقتربت السرعة الزاوية المتوسّطة من السرعة الزاوية اللحظيّة، وعندما تصبح الفترة الزمنية صغيرةً جداً (تؤول إلى الصّفر) تصبح السرعة الزاوية المتوسّطة مساويةً للسرعة الزاوية اللحظيّة.

أناقش

هل لكلّ أجزاءِ عقرب الدقائق الإزاحة الزاوية نفسها؟ وهل لها إزاحة خطيّة متماثلة خلال فترةٍ زمنيّةٍ معيّنة؟

مثال2: يتحرّك جسمٌ على مسارٍ دائريّ بسرعةٍ زاويةٍ متغيّرة، بحيث تُعطى الزاوية التي يدورها خلال زمن t بالعلاقة
$\theta = t^2 + 3t$

١. ما السرعة الزاوية المتوسطة للجسم بين اللحظتيْن $t_1 = 0$, $t_2 = 4s$ ؟

٢. ما السرعة الزاوية اللحظيّة عندما: $t_1 = 0$ حيث $\omega = 2t + 3$ اللحظية ؟

الحل:

أ- لتحديد السرعة الزاوية المتوسطة نحسب الزاوية التي كان عندها الجسم في اللحظتيْن المذكورتيْن:

$$\theta_1 = \theta(0) = 0$$

$$\theta_2 = \theta(4) = 28 \text{ rad}$$

ولذا نجد السرعة الزاوية المتوسطة بكتابة:

$$\omega = \frac{\theta_2 - \theta_1}{t_2 - t_1}$$

$$\omega = \frac{28 - 0}{4 - 0} = 7 \text{ rad/s}$$

ب- السرعة اللحظية الزاوية $\omega = 2(0) + 3 = 3 \text{ rad/s}$

4-5 التسارع الزاوي المتوسّط واللّحظي (Average and Instantaneous Angular Acceleration)

وكما تعلمنا في الحركة الانتقاليّة (الخطيّة) بأنّ التسارع الخطّيّ يساوي المعدل الزمنيّ للتغيّر في السرعة الخطيّة، وبالمثل فإنّ التسارع الزاوي يساوي المعدل الزمنيّ للسرعة الزاوية، فإذا كانت السرعة الزاوية اللحظيّة عند النقطة A، أي في لحظة t_1 هي ω_1، وعند B، أي في اللحظة t_2 هي ω_2، عندئذٍ يُعطى التسارع الزاوي المتوسّط بين هاتين اللحظتيْن بالعلاقة:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \qquad (5\text{–}4)$$

ومن العلاقة السابقة فإنّ وحدة التسارع الزاوي هي وحدة سرعة زاوية على زمن، أي rad/s^2. ويعرف التسارع الزاوي اللحظي بأنّه متوسّط التسارع الزاوي خلال فترةٍ زمنيّةٍ قصيرة ؛ أي Δt تؤول إلى الصفر في المعادلة (4).

سؤال

بدأت عجلةٌ من الدوران السكون، ثمّ اكتسبت سرعةً دورانيّةً، قدرها 360 rev/min خلال دقيقتين، احسب متوسط التسارع الزاوي.

5-5 الحركة الدائرية بتسارعٍ زاوي ثابت (Uniform Circular Motion)

تعلمت في الصفّ العاشر أنّه إذا تحرّك جسمٌ بتسارعٍ خطيٍّ ثابت a، فإنّ معادلات الحركة التي تصف حركة الجسم تُعطى بالعلاقات

$$v_f = v_i + at$$

$$r = v_i t + \frac{1}{2} a t^2$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2ar$$

وبالمنطق نفسه، إذا دار جسمٌ بتسارع زاوي ثابت α فإنّ معادلات الحركة التي تصفُ حركة الجسم تعطى بالشكل:

$$\omega_f = \omega_i + \alpha t \qquad (5-5)$$

$$\theta = \omega_i t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \qquad (5-6)$$

$$\omega_f^2 = \omega_i^2 + 2\alpha\theta \qquad (5-7)$$

وتوضّحُ الأمثلة الأتية سهولة استخدام العلاقات السابقة، لتحديد متغيّرات الحركة لجسمٍ يدور بتسارعٍ زاويٍّ ثابت.

سؤال

في المعادلات (5 ، 6 ، 7) ما مدلول ووحدة قياس كلٍّ من: θو ω و α ؟

مثال3: بدأ جسم الدوران بسرعةٍ زاوية (4 rad/s)، وبتسارعٍ زاويٍّ ثابت مقداره (2 rad/s²) احسب:

١. الإزاحة الزاوية بعد مرور 3 s.

٢. السرعة الزاوية بعد مرور 3 s.

الحل:

1. باستخدام المعادلة (5-6)

$$\theta = \omega_i t + \frac{1}{2} \alpha t^2$$

$$\theta = 4 \times 3 + \frac{1}{2} \times 2 \times 9 = 21 \text{ rad}$$

2. باستخدام المعادلة (5-5) أو (5-7)

$$\omega_f = \omega_i + \alpha t$$

$$\omega_f = 4 + 2 \times 3 = 10 \text{ rad/s}$$

مثال4: يدور حجرُ طاحونةٍ بدءاً من السكون زاوية $180°$، خلال $(2\ s)$ بتسارعٍ زاويٍّ ثابت. احسب:

١. السرعة الزاوية المتوسّطة للحجر.

٢. التسارع الزاوي.

الحل: 1:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\frac{180}{180}\pi}{2} \frac{\pi}{2}\ rad/s$$

2:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{\omega_f - \omega_i}{t_2 - t_1}$$

$$= \frac{\frac{\pi}{2 - 0}}{2 - 0} = \frac{\pi}{4} rad/s^2$$

مثال5: تدور حلقة خلال$(4\ s)$ زاويةٍ مقدارها $(120\ rad)$، وبتسارعٍ زاوي ثابت $(3\ rad/s^2)$.

١. ما السرعة الزاوية الابتدائيّة للحلقة؟

٢. كم تستغرق للوصول إلى هذه السرعة إذا بدأت من السكون؟

الحل: 1:

نستخدم معادلات الحركة بتسارع زاوي ثابت:

$$\theta = \omega_i t + \frac{1}{2}\alpha t^2$$

$$120 = \omega_i \times 4 + \frac{1}{2} \times 3 \times 4^2$$

$$\omega = 24\ rad\ /s$$

2: إذا بدأ الجسم دورانه من السكون:

$$\omega_f = \omega_i + \alpha t$$

$$24 = 0 + 3t$$

$$t = 8\ s$$

سؤال

أُوقِفَتْ مِروحةٌ كهربائيّة عندما كانت تدور بمعدل $(3\ rev/min)$، ثم وصلت إلى السكون خلال $(18\ s)$. احسب:

١. التسارع الزاوي للمِروحة بفرض أنّه ثابت.

٢. عدد الدورات التي تدورها المِروحة قبل أنْ تصل إلى السكون.

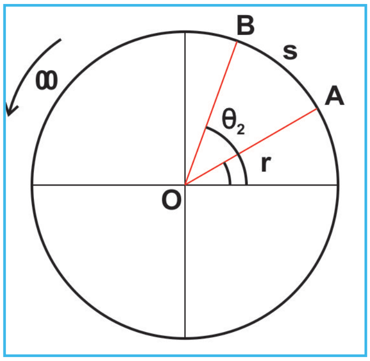
5- 6 العلاقة بين متغيّرات الحركة الدورانيّة والحركة الانتقاليّة

من المفيد جداً أنْ نربط بين متغيّرات الحركتين: الانتقاليّة والدورانيّة، لنلاحظ التناظر التام بينهما، ولذلك نفترض أنّ لدينا جسماً يدور على مسارٍ دائريّ، نصف قطره r، كما في الشكل (4). فنلاحظ أنّه يقطع مسافةً خطيّةً s، عندما يدور زاوية θ في زمن t، بحيث أنّ:

$$s = r\,\theta$$

حيث تُقدّر θ بالراديان دوماً.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{r\,\theta}{t}$$



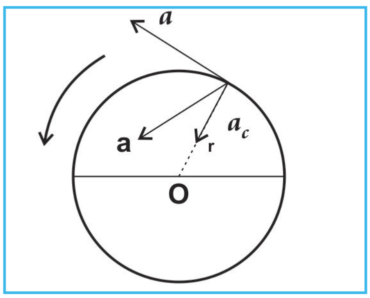
حيث v هي السرعة الخطيّة التي يتحرّك بها الجسم على المسار الدائري، بينما

$\omega = \frac{\theta}{t}$ **هي السرعة الزاوية التي يدور بها، وبالتالي:**

$$\boxed{v = r\,\omega \qquad (5\text{–}8)}$$

كما يمكن الربط بين التسارع الخطّي a والتسارع الزاوي

$$\boxed{a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{r\,\omega}{t} = r\alpha \qquad (5\text{–}9)}$$



وبملاحظة أنّ $\frac{\Delta v}{\Delta t} = a_{\text{المماسية}}$، حيث ($a_{\text{المماسية}}$) التسارع المماسي للجسم على المسار الدائري الذي يدلّ على تغيّر قيمة السرعة الخطيّة للجسم، وعندما يدور الجسم بسرعةٍ خطّيّةٍ ثابتة، وبما أنّ $v = \omega r$ فإنّ التسارع المماسي يكون معدومًا، ولكنّ تسارعه المركزيّ.

$$\boxed{a_c = r^2\,\omega \qquad (5\text{–}10)}$$

لا يساوي صفراً، ومع ذلك تسارعه الزاوي يكون مساوياً للصفر $\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$؛ لأنّ سرعته الزاوية، مثل سرعته الخطيّة ثابتة. فإذا دار الجسم بسرعةٍ خطيّةٍ ثابتة ينعدم تسارعه المماسي والزاوي، ويبقى تسارعه المركزيّ الذي يدل على تغيّر اتجاه حركته، والمعطى بالمعادلة (10).

مثال6: تتسارع أسطوانةٌ موسيقيّةٌ نصف قطرها (15 cm)، بدءاً من السكون، فتصبح سرعتها (33 rev/min) خلال (60 s). احسب:

١. السرعة الخطيّة والتسارع المركزيّ لنقطةٍ على محيطها.

٢. التسارع الزاوي لهذه النقطة.

الحل:

السرعة الخطية: $v = r\,\omega$

$$\omega = \frac{33\times 2\pi}{60} = 3.45\ \frac{rad}{s}$$

$$v = 0.15\times 3.45 = 0.52\ m/s$$

التسارع المركزي : $a_c = \frac{v^2}{r}$

$$\alpha = \frac{0.52^2}{0.15} = 1.8 rad/s^2$$

ب- التسارع الزاوي للأسطوانة: $\alpha = \frac{\omega}{t}$

$$= \frac{3.45}{60} = 0.06 \ rad/s^2$$

سؤال

تدور نقطةٌ ماديّةٌ بتردد $(\frac{5}{\pi} Hz)$. احسب:

١. نصف قطر الدائرة التي ترسمها النقطة المادية إذا كانت السرعة الخطية $(2\ m/s)$.

٢. المسافة المقطوعة خلال ٥ دورات (5 revolutions).

٣. الزاوية الممسوحة خلال $(0.2\ s)$.

٤. التسارع المركزي للنقطة المادية.

أسئلة الفصل:

1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. في حركة قرصٍ مَرِن، أيّ العبارات الأتية صحيحة، فيما يتعلق بالسرعة الخطية والزاوية لنقطة على القرص؟
أ) كلاهما ثابت . ب) كلاهما متغير. جـ) الخطيّة ثابتة والزاوية متغيّرة. د) الخطيّة متغيّرة والزاوية ثابتة.

2. كيف يتناسب التسارع المركزيّ في الحركة الدائريّة المنتظمة؟
أ) طردياً مع السرعة الخطية . ب) طردياً مع السرعة الزاوية.
جـ) عكسياً مع السرعة الزاوية . د) طردياً مع مربع السرعة الزاوية.

3. يتحرك جسمٌ حركة دائرية منتظمة، بحيث يعمل دورة واحدة كلّ ثانية، فكم تساوي سرعته الزاوية بوحدة rad/s ؟
أ) π ب) 2π جـ) 3π د) 4π

4. عربة ملاهي تتحرك حركة دائرية منتظمة بحيث تنجز 8 دورات خلال 4s فكم يساوي زمنها الدوري بالثانية ؟
أ) 0.5 ب) 2 ج) 4 د) 8

5. يتحرّك جسم في مسار دائري بتسارع زاوي منتظم طبقا للعلاقة $a = \frac{\pi}{2}t + \frac{\pi}{4}t^2$، فكم يساوي التسارع الزاوي للجسم بعد ثانية بوحدة rad/s^2؟
أ) $\frac{\pi}{8}$ ب) $\frac{3\pi}{4}$ جـ) $\frac{\pi}{2}$ د) π

6. كرة مربوطة في نهاية خيط طوله 40 cm، تدور بانتظام في مستوى أفقيّ، في مسارٍ دائريّ، فتستغرق زمناً دورياً مقداره 0.2 s، فكم يساوي تسارعها المركزي بوحدة rad/s^2 ؟
أ) 400 ب) $40\pi^2$ جـ) 200 د) $20\pi^2$

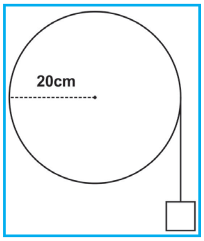
7. كم تساوي الإزاحة الزاوية التي تقطعها كتلة نقطية عندما تتحرك على مسار دائري، طول نصف قطره 100 m مسافة 157 m؟
أ) 1.57° ب) 30° جـ) 60° د) 90°

8. يتحرك جسم نقطي على مسار دائري طول نصف قطره 25 m بزاوية 30°، فما المسافة التي يقطعها الجسم على المسار بوحدة المتر ؟
أ) 1.2 ب) 7.5 جـ) 13 د) 750

2 عرّف المفاهيم الفيزيائيّة الآتية
الإزاحة الزاوية، والسرعة الزاوية، والتسارع الزاوي المتوسط.

3 إذا كان طول قطر الكرة المستخدمة في فأرة الحاسوب 2 cm، وحرّكت الفأرة 12 cm، فما الإزاحة الزاوية للكرة؟

4 إذا كان التسارع الخطي لعربة نقل $1.85\ m/s^2$، والتسارع الزاوي لإطاراتها $5.23\ rad/s^2$، فما قطر الإطار الواحد للعربة؟



5 يمثّل الشكل المقابل خيطاً ملفوفاً حول عجلة نصف قطرها 20 cm، ما مقدار دوران العجلة اللازم لفك 30 cm من الخيط؟

6 بدأت سيارة طول قطر عجلاتها 80 cm الحركة من السكون، وتسارعت بانتظام إلى سرعة قدرها 20 m/s خلال 9 s، أوجد التسارع الزاوي، والسرعة الزاوية النهائية لإحدى عجلاتها.

7 يدور الملف الأسطواني في محرّك غسّالة الملابس 635 rev/nim، وعند فتح غطاء الغسالة يتوقف المحرك عن الدوران، فإذا احتاج الملف 8 s حتى يتوقّف بعد فتح الغطاء، فما التسارع الزاوي للملف الأسطواني؟

8 تعطى زاوية دوران حلقة بالعلاقة $\theta = 5t + 3t^2 + 4.5t^4$ ، احسب:

أ- السرعة الزاوية اللحظيّة للحلقة عندما $t=3\ s$ حيث $\omega_{\text{اللحظية}} = 5 + 6t + 18t^3$

ب- السرعة الزاوية المتوسطة خلال الفترة [3 ، 0].

جـ- التسارع الزاوي اللحظي للحلقة عندما $t = 2\ s$، حيث $\alpha = 6 + 54\ t^2$

د- التسارع الزاوي المتوسط للحلقة خلال الفترة [3 ، 0].

9 تتغير السرعة الزاوية لمحرك من 900 دورة/دقيقة إلى 300 دورة / دقيقة خلال 10 ثانية، ما متوسط تسارعه الزاوي؟ وما عدد الدورات التي يدورها إلى أن يقف؟

10 صف حركة جسم عندما يتسارع بتسارعٍ ثابتِ المقدار في الحالات الآتية:

1. عمودي على سرعته. 2. موازٍ لسرعته.

11 يستطيع حبلٌ خفيفٌ حملَ ثقل كتلته 25 kg قبل أنْ ينقطع، رُبِطَ بأحد طرفيه جسمٌ كتلته 3 كغم، وثُبِّت الطرف الآخر، فإذا ترك تحرُّك الجسم حركة دائرية نصف قطرها 80 cm على سطح طاولة أفقيّة ملساء، فما قيم السرعة التي يمكن أنْ يتحرك بها الجسم دون أنْ ينقطع الحبل؟

12 سيارة في مسارٍ يشكّل جزءاً من دائرة، بسرعة ثابتة مقدارها 14 m /s، فإذا تأثّر السائق بقوة مقداره 130 N، فما القوة التي سيتأثر بها إذا أصبحت السرعة 18 m/s؟

13 تتحرّك سيارة شرقاً، فإذا غيّرت مسارها لتصبح شمالاً في قوسٍ دائريّ، فقطعت مسافة 235 m خلال 36 s، جد:1- التسارع المركزي.

2- السرعة المتوسطة الزاوية للسيارة.

14 جسم كتلته 400 g، مربوط بخيط طوله 2.0 m، يتحرك في مسار دائريّ عموديّ، إذا كانت سرعته في أعلى نقطة في أعلى المسار 4 m/s، احسب الشد في الخيط عند تلك النقطة.

15 يدور قرص حول مركزه بسرعة دائرية منتظمة، بحيث يعمل 40 rev/min، احسب:

1. الزمن الدوري للقرص.
2. السرعة الزاوية للقرص.
3. السرعة الخطية لنقطة على القرص تبعد 20 cm عن مركزه.
4. التسارع المركزي.

الحركة التوافقية البسيطة (Simple Harmonic Motion)

سبق أن درست أنواعاً مختلفة من حركة الأجسام، مثل الحركة الانتقالية كحركة سيارة على الطريق، والحركة الدورانية للأرض حول الشمس، وحركتي البندول والنابض اللتين تتكرران ذهاباً وإياباًعلى نفس المسار حول موضع الاتزان، وسنتعرف في هذا الفصل إلى الحركة التوافقية البسيطة، فما المقصود بالحركة التوافقية البسيطة؟وما تطبيقاتها؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من اجابتها بعد دراستك هذا الفصل، ويتوقع منك أن تكون قادرا على أن:

- تمثل الحركة التوافقية البسيطة رياضياً.
- تصف الحركة التوافقية البسيطة لكتلة مربوطة في نابض، وللبندول البسيط.
- توضح العلاقة بين الحركة الدائرية والحركة التوافقية البسيطة.
- تحل مسائل بسيطة على الحركة التوافقية البسيطة.

(1-6) الحركة الاهتزازية في النابض (Spring Oscillation)

عندما تدفع الأرجوحة بقوة لتصل أقصى ارتفاع لها فإنها تعود إلى الجهة المقابلة مارة بموضعها الأصلي، وكذلك عند سحبك لجسم مثبت بنابض وتركه، فإنه يهتز على جانبي موضعه الأصلي، فما الذي يعيد هذه الأجسام إلى موضعها الأصلي؟ لتتعرف إلى مثل هذه الأنواع من الحركة، قم بتنفيذ النشاط التالي:

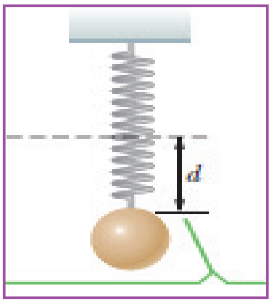
نشاط (1): الحركة الإهتزازية في النابض

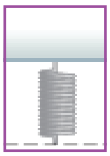
المواد والأدوات: نابض مثبت رأسياً، كتل مختلفة، ومسطرة.

الخطوات:

1. ثبت النابض رأسياً وحدد نهاية النابض.
2. اربط الكتلة بالنابض المثبت رأسياً، وحدد الإزاحة.
3. ماذا تلاحظ لمقدار واتجاه الازاحة الحادثة في النابض؟ هل تنشأ في النابض قوة مرونية؟ وما اتجاهها بالنسبة لاتجاه ازاحة الجسم عن موضع الاتزان؟ وماذا تسمى؟ وما العلاقة الرياضية المعبرة عنها؟

- كرر الخطوة الثانية باستخدام كتل أخرى (بحيث لا يتجاوز النابض حد المرونة)، ما العلاقة بين مقدار وزن الكتلة والإزاحة الحادثة لها عن موضع الاتزان؟





من خلال النشاط نستنتج أن النابض يؤثر على الكتلة بقوة يكون اتجاها نحو موضع الاتزان، أي عكس اتجاه إزاحة الكتلة عن موضع الاتزان وتعمل هذه القوة على ارجاع الكتلة إلى موضع الاتزان، وتعرف بقوة الارجاع ويتناسب مقدارها طرديا مع مقدار الاستطالة في النابض، وحسب قانون هوك فإن:

$F = -kx$، **(إشارة السالب لأنها بعكس اتجاه الاستطالة).**

نطبق القانون الثاني لنيوتن لإيجاد التسارع في الحركة التوافقية $\mathbf{F} = m\,\mathbf{a}$

بالتعويض عن ق بقوة الارجاع $kx = -m\,a$

إذن: $a = \frac{kx}{m}$ (k:ثبات النابض، m:الكتلة)

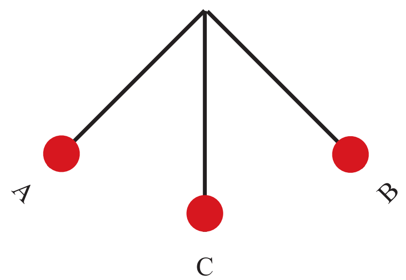
وبما أن k/m مقدار ثابت، فإن $\mathbf{a} \propto \mathbf{-x}$؛ أي أن تسارع الجسم يتناسب طردياً مع الإزاحة وفي اتجاه معاكس لها.

وتعرف هذه الحركة بالحركة التوافقية البسيطة: الحركة الاهتزازية التي تكرر نفسها ويتناسب فيها مقدار (قوة الارجاع) تسارع الجسم طردياً مع مقدار ازاحة الجسم، ويكون اتجاهها بعكس اتجاه الازاحة.

وتوصف هذه الحركة بسعة الاهتزاز أو الاتساع (وهي أقصى إزاحة للجسم المهتز عن موضع الاتزان، وتعرف الاهتزازة بأنها حركة الجسم المهتز عند مروره بنقطة معينة على مسار حركته مرتين متتاليتين في الاتجاه نفسه، والزمن الدوري (T) الزمن الذي يستغرقه الجسم لعمل اهتزازة (أو ذبذبة) كاملة- والتردد (f) عدد الاهتزازات (أو الذبذبات) في الثانية الواحدة، ويقاس بوحدة هيرتز Hz (ذبذبة/ ث). ويمكن ملاحظة أن العلاقة بين التردد والزمن الدوري عكسية؛ أي أن:

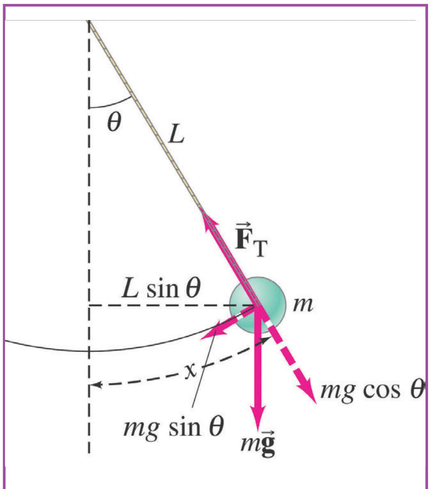
أناقش

تتحرك كتلة مربوطة بنابض على سطح أفقي أملس حركة توافقية بسيطة بين النقطتين B ، A مروراً بوضع الاتزان C. عند أي النقاط يكون:



1. التسارع أكبر ما يمكن.
2. السرعة أكبر ما يمكن.
3. التسارع صفراً.
4. السرعة صفراً.

(2-6) حركة البندول البسيط: (Simple Pendulum)



يعتبرالبندول البسيط أحد الأنظمة الميكانيكية التي تعمل حركة دورية. ولكن، مم يتكون البندول البسيط؟ وهل تنطبق شروط الحركة التوافقية البسيطة على حركة البندول؟

يتكون البندول البسيط من كرة صغيرة مربوطة بخيط مثبت في حامل أفقي كما في الشكل المجاور، عند ازاحتها عن موضع الاتزان بزاوية θ فإنها ستتحرك ذهابا وإياباً حول موضع الاتزان في حركة اهتزازية دورية تحت تأثير كل من قوة الجاذبية وقوة شد الخيط $\mathbf{F_T}$.

عند أقصى إزاحة تكون القوى المؤثرةعلى الجسم المُعلق هي قوة الشد (F_T) التي تنتج في الخيط وقوة الجاذبية الأرضية (F_g). وبتحليل قوة الوزن فإن المركبة باتجاه موضع الاتزان ($F_g\sin\theta$) تؤثر دائماً في الاتجاه الذي يجعل الزاوية (θ = صفراً)، وفي عكس الإزاحة التي تحدث للجسم بالنسبة لموضع الاتزان.اما($F_g\cos\theta$) فتعاكس الشد في الخيط.

قوة الارجاع = $-F_g\sin\theta$ (6-1)

إشارة السالب تدل على أنها باتجاه معاكس لاتجاه إزاحة الكرة عن موضع الاتزان، وتعمل على إرجاع الكرة نحو موضع الاتزان.

عندماتكون الزاوية θ صغيرة ($\theta \leq 15°$) فإن $\sin\theta \simeq \theta$ بالتقدير الدائري (الراديان)،

والزاوية θ = طول القوس $\frac{x}{L}$

بالتعويض في معادلة (6-1)، فإن، قوة الارجاع = $-\frac{mgx}{L}$

ومنها نستنتج أن قوة الارجاع تتناسب طردياً مع الازاحة عن موضع الاتزان (X) وتعاكسها في الاتجاه.

وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن:

$$\mathbf{F} = m\,\mathbf{a} \Rightarrow F = -m\,g\sin\theta \Rightarrow m\,\mathbf{a} = -\frac{mgx}{L}$$

$$\Rightarrow \mathbf{a} = -\frac{gx}{L}$$

بما أن (L،g) ثوابت فإن: $\mathbf{a} \propto -\mathbf{x}$

نستنتج من المعادلة السابقة أن التسارع يتناسب طردياً مع الازاحة (x) ويكون اتجاهه بعكس اتجاه الازاحة، مما يعني أن حركة البندول:حركة توافقية بسيطة.

أناقش

عندما يصل لاعب السيرك المعلق بحبل الى موقع الاتزان تكون القوة المحصلة المؤثرة في اتجاه الحركة صفراً، فما السبب الذي يجعل اللاعب يستمر في التأرجح مروراً بموقع الاتزان؟

(يستفاد من دراستنا للحركة التوافقية البسيطة للبندول وحساب الزمن الدوري له، في إيجاد مقدار تسارع الجاذبية الأرضية، كما في النشاط التالي.

نشاط 2: حساب تسارع الجاذبية الأرضية

المواد والأدوات: بندول، ومسطرة مترية، وساعة إيقاف.

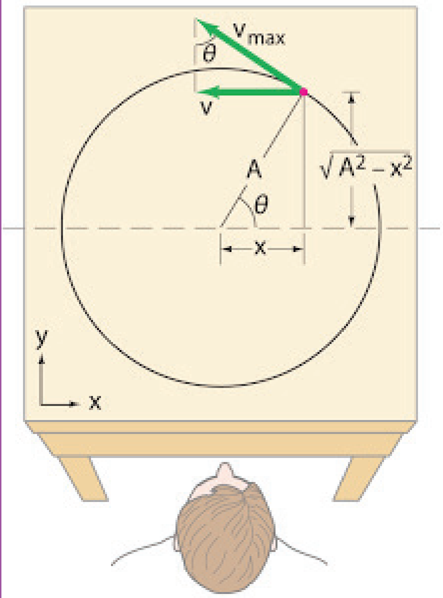
الخطوات:

1. احسب طول خيط البندول بالمتر بدءا من مركز كرة البندول حتى نقطة التعليق.
2. أزح البندول نحو اليمين واتركه ليتحرك حول موضع الاتزان ليعمل دورة كاملة.
3. سجل باستخدام ساعة الايقاف الزمن المستغرق في اتمام عشرة دورات.
4. غير من طول خيط البندول،ثم سجل زمن عشرة دورات، وكرر ذلك 4 مرات.
5. احسب الزمن الدوري المستغرق في كل حالة باستخدام العلاقة:
   T = زمن الاهتزازات / عدد الاهتزازات.
6. ارسم بيانيا العلاقة بين الطول على محور السينات، ومربع الزمن الدوري على محور الصادات، ثم احسب الميل = فرق الصادات / فرق السينات= $\frac{\Delta T^2}{\Delta L}$
7. احسب تسارع الجاذبية الأرضية g باستخدام العلاقة $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$ أي أن $g = \frac{4\pi^2}{\text{الميل}}$.

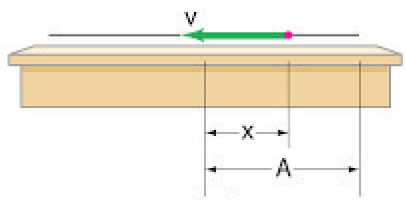
رقم المحاولة	طول الخيط "m"	زمن عشرة اهتزازات "s"	الزمن الدوري "T" = زمن الاهتزازات/ عددها	T^2 $(s)^2$
1				
2				
3				

(3-6) العلاقة بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة:

الكثيرمن الأجهزة التي نستخدمها في حياتنا العملية تُظهر علاقة بين الحركة الاهتزازية والحركة الدورانية، فعلى سبيل المثال:حركة مكبس محرك السيارة يتحرك للأعلى وللأسفل بحركة اهتزازية تنتقل إلى حركة دورانية إلى عجلات السيارة. ولتوضيح العلاقة بين الحركة الاهتزازية والحركة الدائرية. افترض جسماً صغيراً كتلته (m) يدور عكس اتجاه عقارب الساعة في دائرة نصف قطرها (A) بسرعة زاوية ثابتة (ω) على سطح أفقي كما في الشكل المجاور (أ).عند النظر إليه من الأعلى، تكون الحركة دائرية في المستوى (x - y). إلا أن الشخص الذي ينظر إلى الحركة من حافة الطاولة، سيرى حركة اهتزازية نحو اليمين واليسار. وهذه الحركة الخطية تنسجم تماماً مع الحركة التوافقية البسيطة. ولكن، ماذا يرى الشخص؟ إنه مسقط الحركة الدائرية على محور السينات شكل المجاور (ب). لذا، فهذه الحركة السينية تناظر حركة توافقية بسيطة.



(أ)



(ب)

وللتعرف إلى العوامل التي يعتمد عليها الزمن الدوري لجسم يتحرك حركة توافقية بسيطة، نفترض أن جسماً يدور في مسار دائري نصف قطره (r) ومركزه (o) تؤثر فيه قوة مركزية (F_C) متزامن مع الحركة التوافقية البسيطة للجسم (أي لهما نفس السرعة الزاوية) كما في الشكل (6-1)، وبتحليلها إلى مركبتين متعامدتين إحداهما في الاتجاه السيني والأخرى في الاتجاه الصادي، فإن: $F_x = F_c \cos\theta \Rightarrow F_x = m\, a_c \frac{x}{r}$

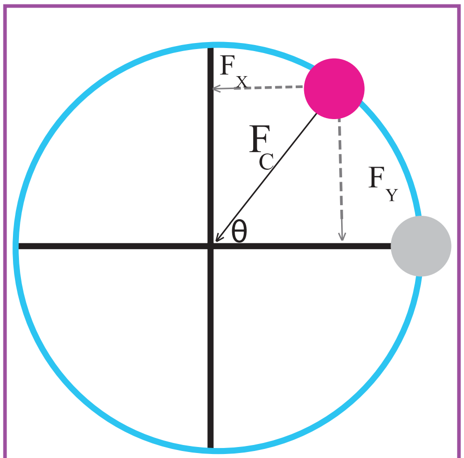
حيث: a_c: التسارع المركزي.

وبتطبيق القانون الثاني لنيوتن لإيجاد التسارع في الحركة التوافقية:

$$m\, a_x = -\, m\, a_c \frac{x}{r}$$

ومنها نجد أن: $a_x = -a_c \frac{x}{r}$

$$a_x \propto -x \qquad (6\text{-}2)$$



الشكل (6-1)

أي أن تسارع الجسم في الاتجاه السيني يتناسب طرديا مع الازاحة، وبالتالي فإن مسقط حركة الجسم على المحور السيني هي حركة توافقية بسيطة.

إن العلاقة بين السرعة الخطية والسرعة الزاوية للحركة الدائرية هي ($v = r\,\omega$)، والتسارع المركزي للحركة الدائرية $a_c = \frac{v^2}{r} = \frac{r^2\omega^2}{r}$ أي أن:

$$a_c = r\,\omega^2 \qquad (6\text{-}3)$$

$$a_x = -\omega^2 x$$

والآن، يمكننا تحديد الزمن الدوري للحركة التوافقية البسيطة، لأنه يساوي زمن الجسم الذي يدور دورة كاملة. أي أن:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\ f$$

أي أن:

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

معادلات الحركة التوافقية البسيطة:

إن العلاقات التي تربط تسارع الأجسام في الحركة التوافقية البسيطة مع الإزاحة، سواء في النابض أم في البندول،أم في الحركة في مسار دائري منتظم كانت على النحو الآتي في:

النابض:	$a = \frac{-kx}{m}$	أو	$a = -\omega^2 x$
البندول:	$a = \frac{-gx}{L}$	أو	$a = -\omega^2 x$
الحركة الدائرية:	$a_x = \frac{-a_c x}{r}$	أو	$a_x = -\omega^2 x$

سؤال

- ما العوامل التي تعتمد عليها السرعة الزاوية في كل من النابض، والبندول، والحركة الدائرية؟
- ما العلاقة التي تحسب منها الزمن الدوري لكل من البندول البسيط، والنابض، والحركة الدائرية؟ وما العوامل التي يعتمد عليها؟

أفكر

دوران الأرض في مدارها حول الشمس حركة دورية، هل تعتبر حركة توافقية بسيطة؟ ولماذا؟

مثال 1: يهتز نظام جسم - نابض في حركة توافقية بسيطة سعتها (6 cm). فإذا كان ثابت المرونة للنابض (100 N/m) ومقدار كتلة الجسم (400 g). احسب:

1. السرعة الزاوية.
2. الزمن الدوري لحركة الجسم.
3. التردد.
4. القيمة القصوى لتسارع الجسم.
5. تسارع الجسم عندما تكون إزاحة الجسم (3 cm) عن موضع الاتزان.

الحل:

$$\omega^2 = \frac{k}{m} = \frac{100}{0.4} = 250 \Rightarrow \omega = 15.81 \text{ rad/s}$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\times 3.14}{15.81} = 0.4 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.4} = 2.5 \text{ Hz}$$

$$a = -\omega^2 x = 250 \times 0.06 = 15 \text{ m/s}^2$$

$$a = -\omega^2 x = 250 \times 0.03 = 7.5 \text{ m/s}^2$$

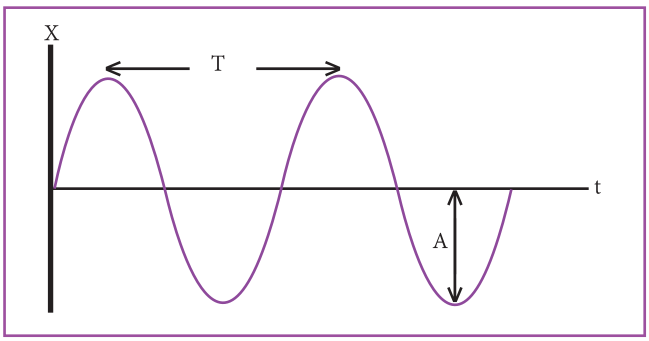
سؤال

بندول بسيط طول خيطه (1 m)، وسعته (10 cm)، وعلى اعتبار ($g= 10 \text{ m/s}^2$) احسب:

1. السرعة الزاوية.
2. الزمن الدوري لحركة الجسم.
3. التردد.
4. القيمة القصوى لتسارع الجسم.
5. تسارع الجسم عندما تكون إزاحة الجسم (5 cm) عن موضع الاتزان.

معادلة الازاحة في الحركة التوافقية البسيطة:

عرفنا أن الحركة التوافقية البسيطة هي حركة تكرر نفسها، وأن الجسم يتحرك حول موضع الاتزان، وبالتالي تتغير ازاحته عن موضع الاتزان مع الزمن، لذلك يمكن التعبير عنها كاقتران جيبي حسب المعادلة التالية:



$$x(t) = A \cos(\omega t + \phi) \qquad (6\text{-}4)$$

حيث: ϕ، ω، A هي ثوابت وبمعرفة مفهومها الفيزيائي

يمكن رسم العلاقة كما بالشكل المجاور، ومن خلال الشكل السابق ومن معادلة (6-4) يتضح أن :

A: هي أقصى إزاحة ممكنة يصل اليها الجسم المهتز عن نقطة الاتزان وتعرف بـسعة الاهتزازة.

ϕ: ثابت الطور وتحدد موضع الجسم عندما $t = 0$

ω: السرعة الزاوية .

مثال 2: بندول بسيط يتحرك حركة توافقية بسيطة حسب المعادلة التالية:

$$x = 0.2 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{6}\right)$$ حيث x بوحدة m والزمن t بوحدة s

احسب كلاً مما يلي: السرعة الزاوية، والزمن الدوري، وزاوية ثابت الطور، وموضع الجسم عندما $t = 1$ s.

الحل:

$\omega = \pi$ من المعادلة مباشرة

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\pi} = 2s$$

$$\phi = \frac{\pi}{6}$$

$$x\ (t) = 0.2 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$x\ (1) = 0.2 \cos\left(\pi t + \frac{\pi}{6}\right)$$

$$x = -0.172\ m$$

أناقش

– هل يمكن تطبيق معادلات حركة جسم يتحرك في خط مستقيم بتسارع ثابتفي الحركة التوافقية البسيطة؟ ولماذا؟

مثال 3: لمعرفة ارتفاع بناية، تم وضع بندول متدلي من السطح ويكاد يلامس الأرض وكان الزمن الدوري للبندول 8 s، فما ارتفاع البرج؟

الحل:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$ بالتربيع =

$L = \frac{g\ T^2}{4\ \pi^2}$ ، ومنها $L = \frac{9.8\times64}{4\ \pi^2}$ إذن $L = 16\ m$

سؤال

يبلغ تسارع الجاذبية على القمر سدس قيمتها على الارض، قارن بين الزمن الدوري لبندول على القمر والزمن الدوري لبندولٍ مماثلٍ على الأرض.

أسئلة الفصل:

1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة للفقرات التالية:

1. كتلة (m) تهتز تحت تأثير نابض ثابت المرونة له (k) بزمن دوري T، عند استبدال النابض بآخر ثابت مرونته (4K) فإن الزمن الدوري يصبح:

أ. 0.25T ب. 0.5T جـ. 2T د. 4T

2. في حركة البندول البسيط يتناسب التردد عكسياً مع الجذر التربيعي لـ:

أ. تسارع الجاذبية ب. الكتلة ج. طول البندول د. سعة الاهتزازة

3. السرعة الخطية لجسم يتحرك في مسار دائري منتظم تعطى من العلاقة:

أ. $r\,v$ ب. $r\,\omega$ جـ. $\frac{v}{r}$ د. $\frac{r}{v}$

4. تصل سرعة الجسم المتحرك حركة توافقية بسيطة أكبر ما يمكن، عندما يكون للجسم:

أ. أكبر إزاحة ب. أقل إزاحة جـ. أكبر تسارع د. أقل إزاحة وأكبر تسارع.

5. إذا كان زمن (20) اهتزازة لجسم مثبت في نهاية نابض يتحرك حركة توافقية بسيطة هو (10 s)، فإن السرعة الزاوية لحركة الجسم بوحدة rad/s يساوي:

أ.(6.3) ب.(2) جـ.(1.57) د. (12.6)

6. حُرك جسم كتلته (3kg) كغم مثبت في نابض على سطح أفقي أملس، حركة توافقية بسيطة حسب المعادلة: $x = 2 \cos (50\ t)$، حيث تقاس الإزاحة بالأمتار، والزمن بالثواني. إن معامل مرونة النابض بوحدة "N /m"يساوي:

أ. (150) ب.(100) جـ.(1) د. (7500)

2 عرف كلاً مما يلي:

أ. الزمن الدوري. ب. سعة الاهتزازة. جـ. السرعة الزاوية.

3 يدور جسم بسرعة ثابتة مقداراً في مسار دائري منتظم نصف قطره (20 cm). إذا كان الزمن الدوري له (2 s)، احسب:

أ. التردد ب. السرعة الزاوية جـ. السرعة الخطية.

4 علق جسم كتلته (5 kg) في نهاية نابض طرفه العلوي مثبت في نقطة ثابتة، فحصلت له إزاحة مقدارها(25 cm). فإذا علق جسم آخر كتلته (2 kg) بدل الجسم الأول، وتحرك هذا الجسم حركة توافقية بسيطة. جد:

أ. السرعة الزاوية ب. الزمن الدوري جـ. التردد.

5 يصنع بندول (150) ذبذبة في الدقيقة. إذا علمت أن تسارع السقوط الحر ($10 m/s^2$) ، فاحسب:

أ. الزمن الدوري لحركة البندول. جـ. التردد.

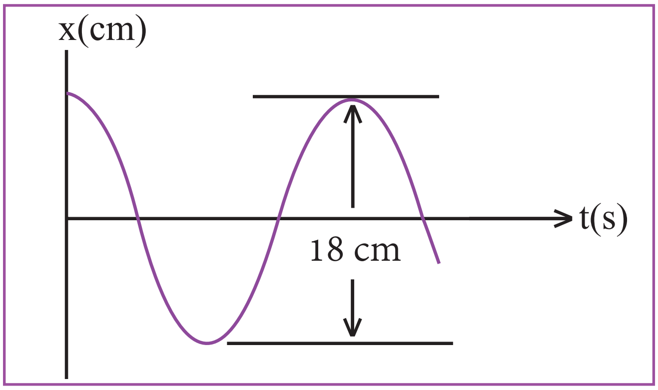
ب. طول خيط البندول. د. السرعة الزاوية.

6 يتحرك جسم حركة توافقية بسيطة حسب المعادلة: $y(t) = 0.1 \cos(2t + 0.5\pi)$ حيث تقاس الإزاحة بوحدة (m)، والزمن (s). احسب:

أ. تردد الجسم. ب. السرعة الزاوية.

جـ. إزاحة الجسم عندما يكون الزمن (π) ثانية. د. سعة الاهتزازة.

7 يمثل الشكل المجاور حركة جسماً مثبت بنابض يتحرك حركة توافقية بسيطة على سطح أفقي أملس. إذا كان تردد حركة الجسم (25) هيرتز، جد:



١. السعة.
٢. السرعة الزاوية.
٣. الزمن الدوري.

أسئلة الوحدة

1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة للفقرات التالية:

1. لمضاعفة الزمن الدوري لبندول بسيط إلى مثلي قيمته، يجب تغيير طول البندول إلى:

أ. مثلي الطول الأصلي   ب. نصف الطول الأصلي   جـ. أربعة أمثال الطول الأصلي   د. ربع الطول الأصلي.

2. بدأ جسم حركته الاهتزازية من موقع يبعد (8 cm) عن موضع الاتزان، إذا كانت سعة الاهتزازة (16 cm) ، فإن زاوية ثابت الطور لحركته الاهتزازية تساوي بوحدة راديان حسب العلاقة $y(t) = A\cos(\omega t + \phi)$:

أ. π ب. $\frac{\pi}{2}$ جـ. $\frac{\pi}{3}$ د. $\frac{\pi}{4}$

3. إذا كان زمن (20) اهتزازة لجسم مثبت في نهاية نابض يتحرك حركة توافقية بسيطة هو (10 s) ، فإن تردد الجسم يساوي بوحدة هيرتز:

أ. (2)   ب. (10)   جـ. (5)   د. (0.5)

4. علق جسم في نهاية نابض، ثم حُرك حركة توافقية بسيطة اتساعها (A)، والزمن الدوري له (2 s) ثانية. إذا حُرك نفس الجسم حركة توافقية بسيطة اتساعها (2 A)، فإن الزمن الدوري لحركة الجسم بوحدة s يساوي:

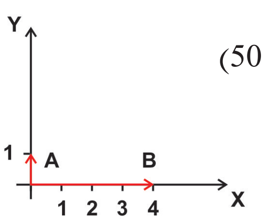
أ. (2)   ب. (3)   جـ. (4)   د. (1).

5. سحب جسم كتلته (m) مربوط في نابض،إزاحة مقدارها (A) على سطح أفقي أملس ثم ترك ليتحرك حركة توافقية بسيطة فإن المسافة التي يقطعها الجسم في دورة كاملة تساوي:

أ) A   ب) 2 A   جـ) 4 A   د) 8 A

6. إذا كانت القيمة القصوى لمحصلة قوّتين متلاقيتين تؤثّران في جسمٍ ما (45 N)، والقيمة الصغرى لمحصّلة القوّتين (5 N)، فما مقدار كلٍّ من القوّتين بوحدة نيوتن ؟

أ) (0، 45)   ب) (5، 9)   جـ) (20، 25)   د) (0، 50)



7. يبيّن الشكل المجاور كميّتين متّجهتين: A، B، فما مقدار **A.(AxB)** : ؟

أ) 0   ب) 4   جـ) 8   د) 16

8. ما أقصى ارتفاع رأسي تصل إليه كرة قذفت بسرعة 4.5 m/s في اتّجاهٍ يصنع زاوية 66° مع الأفقي؟

أ) 0.82   ب) 0.84   جـ) 0.8   د) 0.88

9. قُذفت كرة أفقيّاً بسرعة (v) عن سطح عمارة، وفي اللحظة نفسها، أُسقِطت كرة أخرى سقوطاً حرّاً من الارتفاع نفسه (بإهمال مقاومة الهواء)، فأيّ العبارات الآتية صحيحة ؟

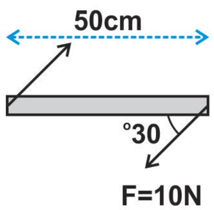
أ) الكرة الثانية تصل الأرض أولاً.

ب) الكرة الأولى تصل الأرض أولاً.

جـ) تصل الكرتان الأرض معاً في آنٍ واحدٍ، وتكون سرعة الكرة الأولى أكبر من سرعة الكرة الثانية.

د) تصل الكرتان الأرض معاً في آنٍ واحدٍ، وتكون سرعة الكرة الثانية أكبر من سرعة الكرة الأولى.

10. ما قيمة واتّجاه عزم الازدواج في الشكل بوحدة N.m؟



أ) -10 ب) +10 جـ) - 8.6 د) -2.5

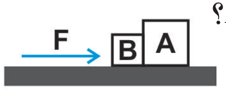
11. أيّ من الآتية تكافئ وحدة قياس القوة (نيوتن) ؟

أ) $kg\ m/s^2$. ب) $kg\ m\ s^2$ جـ) $kg/\ m\ s^2$ د) $kg\ s^2/\ m$

12. قُذف جسم كتلته 2 kg بسرعة 20 m/s بزاوية 37° مع الأفق، فما طاقته الحركية عند أقصى ارتفاع بالجول؟

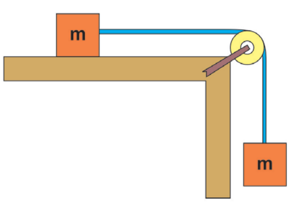
أ) 0 ب) 144 جـ) 256 د) 400

13. في الشكل المقابل، الصندوقان A، B متلاصقان، وموضوعان على سطح أملس، كتلة الصندوق A ضعفي كتلة الصندوق B، أثّرت قوة F في الصندوق B، فكم تساوي القوة المحصلة المؤثّرة في الصندوق A؟



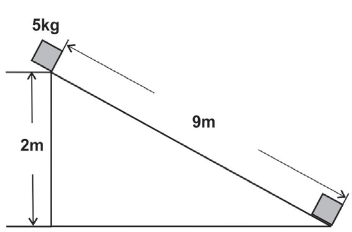
أ) $\frac{2F}{3}$ ب) $\frac{F}{2}$ جـ) F د) 2F

14. الشكل المقابل يبيّن كتلتين متماثلتين تتصلان بحبلٍ عديم الوزن، يمرّ خلال بكرة مهملة الكتلة وعديمة الاحتكاك، فعندما تتحرّك المجموعة، كم تسارعها؟



أ) يساوي صفراً ب) أقل من g جـ) يساوي g د) أكبر من g

15. في الشكل المجاور ينزلق جسم كتلته 5 kg تحت تأثير وزنه من أعلى سطح مائل خشن طوله 9 m ،وارتفاعه 2 m عن سطح الأرض خلال 3 s. إذا كانت الزيادة في طاقة حركة الجسم 90 J، فما مقدار الشغل الضائع ضد قوة الاحتكاك بوحدة جول (J) ؟



أ) 0 ب) 10 جـ) 45 د) 90

16. يتحرّك جسم في مسار دائريّ، بتسارع زاوي منتظم طبقاً للعلاقة $\omega = \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{4}t$ فكم تساوي السرعة الزاوية بعد 2 s بوحدة rad/s ؟

أ) $\frac{\pi}{8}$ ب) $\frac{\pi}{4}$ جـ) $\frac{\pi}{2}$ د) π

17. آلة قدرتها 50 watt، فكم يكون الشغل المبذول خلال 30 min بوحدة كيلوجول(kJ)؟

أ) 1.5 ب) 30 جـ) 60 د) 90

18. رُبِطَ حجر في خيط طوله (0.4 m)، وأُدير في وضعٍ أفقيّ، فكان زمنه الدوري (0.2 s) ، كم يساوي تسارعه المركزي بوحدة m/s^2 ؟

أ) 20π ب) 40π جـ) $20\pi^2$ د) $40\pi^2$

19. كيف يكون التسارع المماسي في الحركة الدورانيّة المنتظمة؟

أ) ثابت القيمة والاتّجاه. ب) متغيّر القيمة وثابت الاتّجاه. ج) متغيّراً قيمة واتّجاهاً. د) ثابتاً قيمة ومتغيّراً اتّجاهاً.

2 فسّر ما يأتي:

أ. إذا كان تسارع جسم يساوي صفراً فلا يعني ذلك عدم وجود قوى تؤثّر فيه.

ب. زعم راكب يقف على أرضيّة حافلة باطلاً أنّه تضرّر عندما ضغط السائق على الكوابح فجأةً ، متسبّبا في اندفاعه للخلف.

3 جد محصّلة قوتين مقدارهما (9 N،10 N) تؤثّران في جسمٍ نقطي، إذا كانت الزاوية بينهما (53°).

4 (F_1، F_2) قوتان تؤثّران في جسمٍ نقطي، فإذا كان مقدار القوة الأولى (4 N) ، ومقدار محصّلتهما (3 N) وتصنع المحصّلة زاوية مقدارها (90)°مع القوة الأولى، جد:

أ. مقدار القوة الثانية.

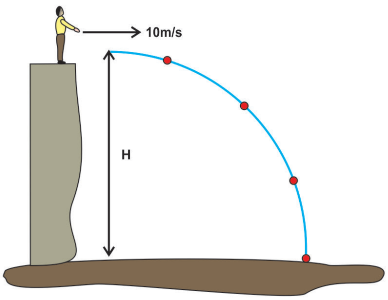
ب. الزاوية بين القوتين.

5 طائرة سرعتها في الهواء الساكن (150 mile/hr). فإذا أراد الطيار أنْ يطير بالطائرة باتجاه الشمال الغربي، وكانت الريح تهب من جهة الجنوب بسرعة (50 mile/hr)، ما الاتّجاه الذي يجب أنْ يوجّه الطائرة به بالنسبة إلى مشاهد على سطح الأرض يراقب هذه الطائرة؟ وما سرعة الطائرة الفعليّة؟

6 قُذف جسم بسرعة 20 m/s وباتجاه يصنع زاوية ($37°$)مع الأفقي إلى أعلى، فوصل الجسم أقصى ارتفاع له، جد:

أ. أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم. ب. المدى الأفقي. جـ. زمن التحليق.

7 في الشكل المجاور، قذفت بنت كرة أفقيّاً بسرعة 10 m/s فوصلت الكرة إلى الأرض بعد مرور 5 s، احسب:



أ. الارتفاع (H).

ب. مركبة السرعة العمودية للكرة عندما تصل الأرض.

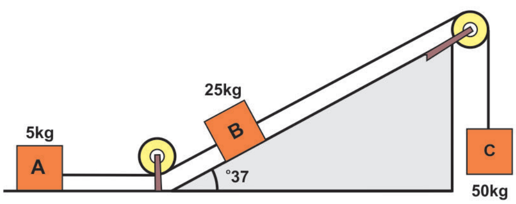
8 عارضة غير متجانسة طولها 6 m وتزن 400 N ، يؤثّر وزنها على بعد 1.5 m من أحد طرفيها، وُضع ثقل 16 kgعلى بعد 2 m من الطرف الآخر.

١. من أيّة نقطة يجب حملها حتى تتزن أفقيّاً؟

٢. ما مقدار القوة اللازم التأثير بها؟

٣. ماذا تمثل النقطة التي يؤثّر بها وزن العارضة؟

9 بالاعتماد على الشكل المجاور، جد:

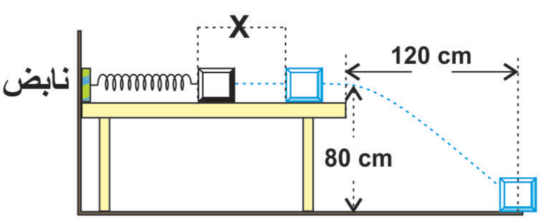


١. الشدّ في كلّ حبل.

٢. تسارع المجموعة.

٣. إذا بدأت المجموعة حركتها من السكون. جد سرعة الجسم A بعد 2 s من بدء الحركة؛ علماً بأنّ معامل الاحتكاك الحركي بين الجسم A والسطح 0.2؟

10 يبيّن الشكل المجاور جسماً كتلته (4 kg)، موضوعاً أمام نابض مضغوط، معامل مرونته (900 N/m) على سطح طاولةٍ ملساء ارتفاعها (80 cm) عن سطح الأرض. عندما أُفلت النابض تحرّك الجسم على سطح الطاولة، ثم استمر في حركته في الهواء حتى وصل سطح الأرض في نقطة تبعد عن حافة الطاولة (120 cm). بإهمال مقاومة الهواء، جد:

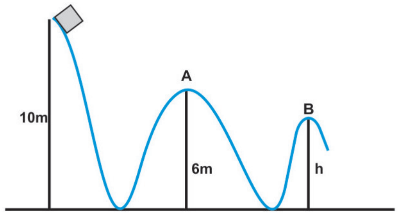


أ. زمن تحليق الجسم في الهواء.

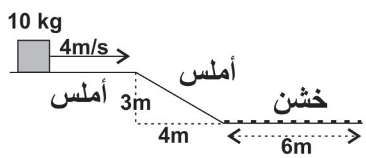
ب. السرعة التي تحرك بها الجسم بعد إفلاته من النابض.

جـ. التغيّر في طول النابض.

11 في الشكل المقابل ينزلق جسم كتلته 1 kg على المنحنى مبتدئاً من السكون. ما سرعته عند النقطة A، وإذا وصل النقطة B بسرعة 12 m/s احسب الارتفاع h بفرض أنّ الاحتكاك مهمل.



12 في الشكل المجاور يتحرك جسم كتلته 10 kg بسرعة 4m/s على سطح أفقي أملس، جد:



أ. طاقة حركة الجسم على السطح الأفقي الأملس.

ب. طاقة وضع الجسم بالنسبة للسطح الأفقي الخشن.

جـ. سرعة الجسم عند نهاية السطح المائل الأملس.

د. مقدار قوة الاحتكاك الحركية بين الجسم والسطح الأفقي الخشن، حتى يتوقف الجسم بعد قطعه مسافة 5m.

13 يتحرك جسم كتلته 200 gm على محيط دائرة بسرعة خطية 125.6 m/s، فإذا كان تردد الجسم 10 Hz ،احسب:

أ – نصف قطر المسار الدائري. ب – القوة المركزية.

جـ – السرعة الزاوية للجسم. د – الزاوية التي يمسحها نصف القطر خلال(3 s).

14 يبيّن الجدول التالي أنصاف أقطار مسارات أقمار صناعيّة R وأزمانها الدورية T، اعتماداً على الجدول، أجب عن الأسئلة الآتية:

القمر	R(km)	T(s)	R^3	T^2
1	20.2×10^3	2.88×10^4		
2	25.5×10^3	4.02×10^4		
3	42.1×10^3	8.61×10^4		

١. أكمل الجدول السابق.

٢. ارسم العلاقة بين مكعب نصف القطر ومربع الزمن الدوري.

٣. أكتب المعادلة الرياضيّة للعلاقة الناتجة في الفرع السابق، وهل تتّفق مع قانون كبلر الثالث ؟

٤. استنتج كتلة الأرض حيث ثابت الجذب العام $G = 6.67 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2$

15 يتحرك جسم حركة توافقية بسيطة حسب المعادلة: $Y(t) = 0.1 \sin(4\pi t + 0.25\pi)$ ، حيث تقاس الإزاحة بوحدة (m)، والزمن (s). احسب:

أ. السرعة الزاوية. ب. الزمن الدوري.

جـ. التردد. د. ثابت زاوية الطور.

16 ربطت كتلة (100 g) بنابض طرفه الآخر مثبت في حائط على سطح أفقي أملس. إذا كان اتساع الاهتزازة (16 cm) ، والزمن الدوري لها (2 s) ثانية، وعلى فرض أن الجسم بدأ الحركة عندما كانت ($x = -16$ cm) أي عندما كان النابض مضغوطا مسافة 16 cm ، جد:

أ. السرعة الزاوية. ب. معامل مرونة النابض.

جـ . زاوية الطور . د. اكتب معادلة ازاحة هذا الجسم بالنسبة للزمن .

المشاريع

١. اذكر أمثلة على حركات دورية في الطبيعة، صمم لوحة عرض تصف الاجسام ذات العلاقة وزمنها الدوري والقوى المؤثرة فيها، أي من هذه الحركات تعتبر توافقية بسيطة؟ وأي منها ليست كذلك.

٢. صمم تجربة تقارن فيها بين الزمن الدوري لاهتزازة نظام يتكون من نابضين موصولين مع الزمن الدوري لكل منهما على حدى، وذلك بوصلهما معا بطريقة التوالي (وصل طرف بطرف) ثم وصلهما بطريقة التوازي (وصل طرفي كل نابض بنقطة مشتركة). ثم سجل النتائج في تقرير واعرضه على المعلم.

قائمة المراجع والمصادر

1. رأفت كامل واصف (2005). أساسيات الفيزياء الكلاسيكية والمعاصرة، الطبعة الثالثة. دار النشر للجامعات، القاهرة.
2. فريدريك بوش، دافيد جيرد، أساسيات الفيزياء، الدار الدولية للاسشمارات الثقافية، مصر.

1. David Halliday and Resnick (2014). Fundamentals of Physics ,10th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
2. Glenco, (2005). Physics Principles and Problems, 5th ed., McGraw Hill, USA.
3. Serway, Jewett, (2014). Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics, 10th ed., Thomson-Brooks, California.
4. Dan Bruni, Greg Dick, Jacob Speijer, Charles Stewart (2012), Physics 12, Nelson Education Ltd., Canada.

لجنة المناهج الوزارية:

د. صبري صيدم	أ. ثروت زيد	د. شهناز الفار
د. بصري صالح	أ. عزام أبو بكر	د. سمية نخالة
م. فواز مجاهد	أ. علي مناصرة	م. جهاد دريدي

اللجنة الوطنية لوثيقة العلوم:

أ.د. عماد عودة	د. جواد الشيخ خليل	د. حاتم دحلان	د. خالد السّوسي
د. رباب جرّار	د. سعيد الكردي	د. صائب العويني	د. عدلي صالح
أ.د. عفيف زيدان	د. محمد سليمان	د. محمود الأستاذ	د. محمود رمضان
د. مراد عوض الله	د. معمر شتيوي	د. معين سرور	د. وليد الباشا
د.إيهاب شكري	د.خالد صويلح	د.سحر عودة	د.عزيز شوابكة
د.فتحية اللولو	أ. أحمد سياعرة	أ. أماني شحادة	أ. أيمن شروف
أ. إيمان الريماوي	أ. ابراهيم رمضان	أ. جنان البرغوثي	أ. حسن حمامرة
أ. حكم أبو شملة	أ. خلود حمّاد	أ. رشا عمر	أ. رياض ابراهيم
أ. صالح شلالفة	أ. عفاف النجّار	أ. عماد محجز	أ. غدير خلف
أ. فراس ياسين	أ. فضيلة يوسف	أ. محمد أبو ندى	أ. مرام الأسطل
أ. مرسي سمارة	أ. مي اشتية	أ. ياسر مصطفى	أ.سامية غبن

المشاركون في ورشة عمل مناقشة كتاب الفيزياء للصف الحادي عشر/ الجزء الأول

بسام عيد	محمدبشارات	سفيان صويلح	كفاح أبو الرب
أيوب دويكات	محمدعوايصة	د.رولى أبو شمة	علا شتية
سمر مناع	رضاالصدر	أيمن شروف	د. عدلي صالح
عبد المجيد جبشة	مظفرعطعط	ربى دراغمة	عبد الرحمن حجاجلة
مرسي سمارة	رائدأحمد	عيسى اسعيد	أحمد سياعرة
سمعان عطا الله	محمدأبوندى	شعبان صافي	جهاد حرز الله
محمد فياض	عطاف الزمار	لبنى عودة	فداء الشويكي
خلود الخولي	ياسر حسين		