المملكة الأردنية الهاشمية
وزارة التربية والتعليم
إدارة المناهج والكتب المدرسية

التعلّم المبنيّ على المفاهيم والنّتاجات الأساسيّة

الفيزياء

الصف الحادي عشر

للفرعين: العلمي والصناعي

الناشر
وزارة التربية والتعليم
إدارة المناهج والكتب المدرسية

الأردن – عمان / ص. ب: (1930)

أشرف على تأليف هذه المادّة التعليمية كلّ من:

د. نواف العقيل العجارمة/ الأمين العام للشؤون التعليمية
د. نجوى ضيف الله القبيلات/ الأمين العام للشؤون الإدارية والمالية
د. محمد سلمان كنانة/ مدير إدارة المناهج والكتب المدرسية
د. أسامة كامل جرادات/ مدير المناهج
د. زايد حسن عكور/ مدير الكتب المدرسية
شفاء طاهر عباس/ عضو مناهج الفيزياء

لجنة تأليف المادة التعليمية:

د. حسين محمود أحمد الخطيب — خلدون سليمان عايد المصاروه — د. شاهر فلاح الدريدي
لينا سامي القاضي — د. ناظم إسماعيل أبو شاويش — هيا غازي الزامل

المتابعة والتنسيق: د. زبيدة حسن أبوشويمة / ر.ق المباحث المهنية

التحرير العلمي:
شفاء طاهر عباس

التحرير اللغوي:
د. خليل إبراهيم القعيسي

التحرير الفني:
نداء فؤاد أبو شنب

التصميم والرسم:
هاني سلطي مقطش

الإنتاج:
د. عبد الرحمن سليمان أبو صعيليك

دقق الطباعة: خلدون سليمان المصاروه، د. ناظم إسماعيل أبو شاويش

راجعها: شفاء طاهر عباس

الطبعة الأولى — 1442هـ / 2021 م

قائمة المحتويات

الموضوع	الصفحة
المقدّمةُ	
1 المحورُ: الميكانيكا	6
إلى أيِّ اتجاهٍ أتحركُ؟	7
الملاحةُ الجويةُ	11
إجازتي الصيفيةُ	21
لا تُسرِعْ	26
2 المحورُ: القوى	34
أنقذوا قطتي	35
سأخترقُ بجسدي الحائطَ	40
3 المحورُ: الميكانيكا	46
قوةُ أختي الصغيرةِ خارقةٌ	47
4 المحورُ: الميكانيكا	50
بشرى سارّةٌ	51
5 المحورُ: الميكانيكا	56
المبدعُ الصغيرُ	57

بسم الله الرحمن الرحيم

المقدِّمةُ

الحمد لله ربّ العالمين، والصّلاة والسّلام على سيد المرسلين سيدنا محمّد، صلى الله عليه وسلم، وعلى آله وصحبه أجمعين.

وبعد، فانطلاقًا من رؤية وزارة التّربية والتّعليم وسعيها في تحقيق التّعليم النّوعيّ المتميّز على نحوٍ يلائم حاجات الطلبة، وإعداد جيل من المتعلمين على قدر من الكفاية في المهارات الأساسيّة اللّازمة للتّكيّف مع متطلّبات الحياة وتحدّياتها، مزوَّدين بمعارف ومهارات وقيم تساعد على بناء شخصيّاتهم بصورة متوازنة؛ بُنِيَ هذا المحتوى التعليمي وفقًا للمفاهيم والنتاجات الأساسية لمبحث الفيزياء للصفّ الحادي عشر للفرعين العلمي والصناعي، الذي يشكّل أساس الكفاية العلميّة لدى الطلبة، ويركّز على المفاهيم التي لا بدّ منها لتمكين الطّلبة من الانتقال إلى المرحلة اللاحقة انتقالًا سلسًا من غير وجود فجوة في التّعلّم؛ لذا حرصنا على بناء المفهوم بصورة مختزلة ومكثّفة ورشيقة بعيدًا عن التوسّع الأفقيّ والسّرد وحشد المعارف؛ إذْ عُني بالتّركيز على المهارات، وإبراز دور الطّالب في عملية التّعلّم، بتفعيل الإستراتيجيات والطرائق التي تدعم التعلّم الذاتيّ، وإشراك الأهل في عملية تعلّم أبنائهم.

وقد اشتمل المحتوى التّعليميّ على موضوعات انتُقيت بعناية، يتضمّن كلٌّ منها المفاهيم الأساسيّة لتعلّم مهارات الفيزياء، بأسلوبٍ شائق ومركَّز.

لذا؛ بُني هذا المحتوى التعليميّ على تحقيق النتاجات العامّة الآتية:

- يميز بين الكميات المتجهة والقياسية.
- يصف حركة الأجسام باستخدام الموقع والسرعة والتسارع.
- يدرس أنواع القوى المؤثرة في الأجسام ويفهم أثرها.
- يوضّح المفاهيم المتعلقة بالموائع الساكنة والمتحركة.

والله وليّ التوفيق

المفهومُ	النتاجُ المرتبطُ بالمفهوم	السؤالُ الرئيسُ
الكمياتُ الفيزيائيةُ القياسيةُ	• يوضحُ المقصودَ بالكمياتِ الفيزيائيةِ: المتجهةِ، والقياسيةِ.	- ما الكمياتُ الفيزيائيةُ القياسيةُ؟
الكمياتُ الفيزيائيةُ المُتَّجِهة	• يوضحُ المقصودَ بالكمياتِ الفيزيائيةِ: المتجهةِ، والقياسيةِ.	- ما الكمياتُ الفيزيائيةُ المُتَّجِهة؟
خصائصُ المُتَّجِهاتِ	• يُطبِّقُ خصائصَ المُتَّجِهاتِ على كمياتٍ فيزيائيةٍ مُتَّجِهةٍ.	- ما خصائصُ المُتَّجِهاتِ؟ وهلْ يُمكنُ إجراءُ العملياتِ الرياضيةِ عليها؟

إلى أيِّ اتجاهٍ أتحرّكُ؟

أريدُ زيارةَ صديقي في بيتِهِ، وقدْ أخبرني أنَّ بيتَه يبُعدُ 800 m منْ هذا التقاطعِ. فهلْ هذا الوصفُ كافٍ؟ وأيَّ طريقٍ سأسلكُ؟

أتهيَّأُ

لكيْ يكتملَ وصفُ صديقي لموقعِ بيتِهِ، لا بُدَّ منْ إضافةِ اتجاهٍ لمقدارِ الموقعِ الذي زوّدَني بهِ، أيْ يجبُ معرفةُ كلٍّ منْ مقدارِ موقعِ البيتِ واتجاهِهِ لتحديدِ مكانِهِ.

- هلْ تحتاجُ الكمياتُ الفيزيائيةُ جميعُها إلى مقدارٍ واتجاهٍ لتحديدِها؟ أفسِّرُ إجابتي.
- في الجدولِ الآتي، أحددُ الكميةَ الفيزيائيةَ التي يكفي المقدارُ لتحديدِها، وتلكَ التي يلزمُ المقدارُ والاتجاهُ لتحديدِها، مُبرِّرًا إجابتي.

الكميةُ الفيزيائيةُ	المقدارُ وحدَهُ	المقدارُ والاتجاهُ معًا	التبريرُ
الإزاحةُ			
المسافةُ			
الوزنُ			

أكتشفُ

هَبْ أنَّ سائحًا استوقفَني عندَ الموقعِ (أ)، طالبًا إليَّ وصفَ طريقٍ وصولِهِ إلى قلعةِ الكركِ عندَ الموقعِ (ب). فأخبرْتُهُ أنَّهُ يمكنُهُ الوصولُ سيرًا، مُتَّجِهًا منَ الموقعِ (أ) غربًا بإزاحةٍ مقدارُها 140 m تقريبًا، ثمَّ ينعطفُ شمالًا، ويتحركُ إزاحةً مقدارُها 100 m تقريبًا، ثمَّ ينعطفُ غربًا إزاحةً مقدارُها 70 m تقريبًا، أوْ أنْ يقودَ سيارتَهُ منَ الموقعِ (أ) شمالًا بسرعةِ 20 km/h مدةَ 22 s تقريبًا، ثمَّ ينعطفُ غربًا بسرعةِ 25 km/h مدةَ نصفِ دقيقةٍ تقريبًا.

1 - أكتبُ الكمياتِ الفيزيائيةَ التي استخدمْتُها في وصفِ الطريقِ للسائحِ.

....

2 - ما الكمياتُ الفيزيائيةُ التي استخدمْتُها ويكتملُ معناها بمعرفةِ مقدارِها فقطْ؟

....

3 - ما الكمياتُ الفيزيائيةُ التي استخدمْتُها ولمْ يكتملْ معناها إلا بمعرفةِ مقدارِها واتجاهِها معًا؟

....

4 - هلْ يُمكنُني تصنيفُ الكمياتِ الفيزيائيةِ التي استخدمْتُها إلى قسمينِ رئيسينِ؟ ما هما؟

....

أُفسِّرُ

- تُصنَّفُ الكمياتُ الفيزيائيةُ إلى قسمينِ رئيسينِ، يوضحُهما المخططُ الآتي:

الكمياتُ الفيزيائيةُ

قياسيّةٌ

يكفي لوصفِها معرفةُ مقدارِها فقطْ

مثلُ:

- Time (t) الزمنُ
- Distance (S) المسافةُ
- Speed (v) السرعةُ القياسيةُ
- Mass (m) الكتلةُ

مُتَّجِهةٌ

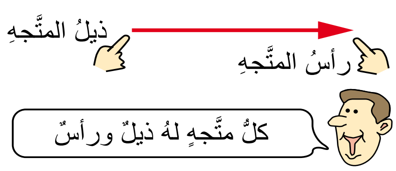
يلزم لوصفِها معرفةُ مقدارِها واتجاهِها معًا

مثلُ:

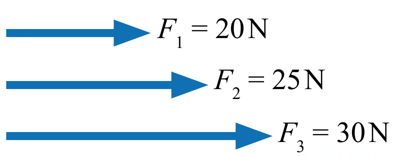
- Acceleration $(\boldsymbol{a})$ التسارعُ
- Displacement $(\boldsymbol{d})$ الإزاحةُ
- Velocity $(\boldsymbol{v})$ السرعةُ المُتَّجِهةُ
- Weight $(\boldsymbol{F}_g)$ الوزنُ

- تتميّزُ رموزُ الكمياتِ المُتَّجِهةِ منْ رموزِ الكمياتِ القياسيةِ بكتابتِها بخطٍ غامقٍ، وكتابةِ رمزِ مقدارِها بخطٍّ عاديٍّ (سنستخدمُ هذهِ الطريقةَ)، أوْ بوضعِ سهمٍ فوقَ رمزِ الكميةِ الفيزيائيةِ المُتَّجِهةِ، ويُكتَبُ رمزُ مقدارِها منْ دونِ سهمٍ، أوْ بوضعِ رمزِها بينَ خطينِ عموديينِ متوازيينِ.

فمثلًا، رمزُ السرعةِ المُتَّجِهةِ $(\boldsymbol{v})$ أو $(\vec{v})$، ورمزُ الإزاحةِ $(\boldsymbol{d})$ أو $(\vec{d})$، ورمزُ القوةِ $(\boldsymbol{F})$ أوْ $(\vec{F})$، ورمزُ مقدارِ السرعةِ المُتَّجِهةِ (v) أو $|\vec{v}|$، ورمزُ مقدارِ القوةِ (F).



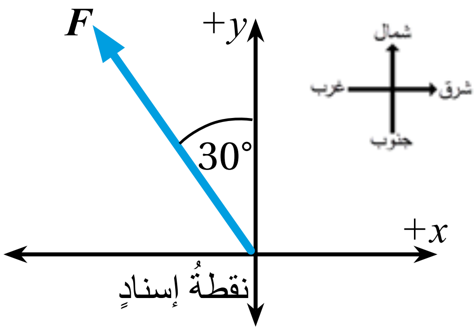
- تُمثَّلُ الكميةُ المُتَّجِهةُ بيانيًا بسهمٍ؛ لذا يجبُ اختيارُ مستوًى إحداثيٍّ $(x\text{-}y)$، وتحديدُ نقطةِ إسنادٍ لرسمِ السهمِ بدءًا منها.



- يتناسبُ طولُ السهمِ ومقدارَ الكميةِ الفيزيائيةِ التي يُمثِّلُها، ويُشيرُ اتجاهُهُ إلى اتجاهِ الكميةِ الفيزيائيةِ.

يُحدَّدُ اتجاهُ السهمِ إما نسبةً إلى الاتجاهاتِ الجغرافيةِ، وإما نسبةً إلى الزاويةِ (θ) التي يصنعُها المُتَّجِه ومحورَ $(+x)$ عكسَ اتجاهِ دورانِ عقاربِ الساعةِ.

فمثلًا، يُمكنُ تسميةُ مُتَّجِهِ القوةِ الآتي، إذا كانَ مقدارُ القوةِ 200 N، بتحديدِ الزاويةِ التي يصنعُها بالنسبةِ إلى محورِ $(+x)$، كما يأتي: $F = 200\ \text{N}, 120°$



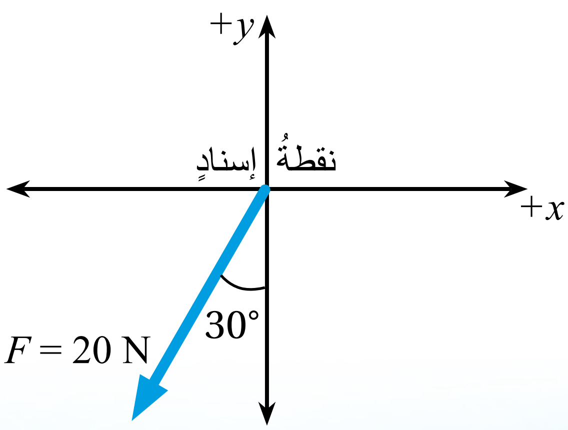
أُطبِّقُ

أُصنِّفُ الكمياتِ الفيزيائيةَ الآتيةَ إلى كمياتٍ قياسيةٍ، وكمياتٍ مُتَّجِهةٍ، كاتبًا رمزَ كلٍّ منها:

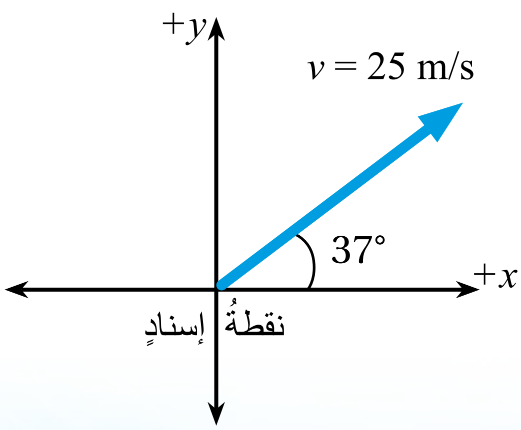
الكميةُ الفيزيائيةُ	كميةٌ قياسيةٌ	كميةٌ مُتَّجِهةٌ	رمزُ الكميةِ الفيزيائيةِ
المسافةُ			S
الإزاحةُ			
الكثافةُ			ρ
الزمنُ			t
الكتلةُ	✓		
الوزنُ			$\boldsymbol{F}_g$
القوةُ		✓	
التسارعُ			$\boldsymbol{a}$

أُقيِّمُ تعلُّمي

أُسمّي كلَّ مُتَّجِهٍ في الشكلينِ الآتيينِ وأحددُ اتجاهَ كلِّ متّجهٍ نسبةً إلى الزاويةِ (θ) التي يصنعُها المُتَّجِهُ معَ محورِ $(+x)$ عكسَ اتجاهِ دورانِ عقاربِ الساعةِ.



(أ)



(ب)

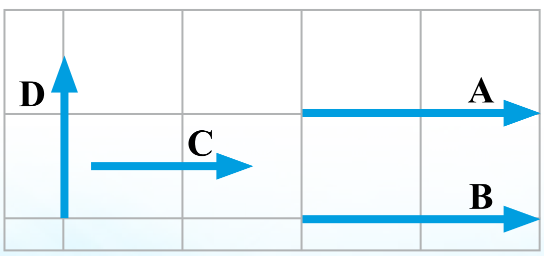
الملاحةُ الجويّةُ

في مطارِ الملكةِ علياءَ الدوليِّ، أبراجٌ للمراقبةِ، يُنظِّمُ طاقمُ كلٍّ منها حركتَي الإقلاعِ والهبوطِ في المطارِ، وتُزوِّدُ الطيّارينَ ببعضِ المعلوماتِ التي يحتاجونَ إليها. وعليهِ، أتوقعُ بعضَ الكمياتِ الفيزيائيةِ المُتَّجِهةِ التي قدْ يحتاجُ إليها الطيّارُ منْ برجِ المراقبةِ.

أتهيَّأُ

عرفْتُ أنَّ الكمياتِ الفيزيائيةَ نوعانِ: قياسيةٌ، ومُتَّجِهةٌ. وعندَ إجراءِ العملياتِ الرياضيةِ - منْ جمعٍ وطرحٍ وغيرِهما - على الكمياتِ القياسيةِ، فإنني أتعاملُ معَ مقاديرَ فقطْ، أما إذا أردْتُ إجراءَ العملياتِ الرياضيةِ على الكمياتِ المُتَّجِهةِ، فلا بدَّ منْ مراعاةِ اتجاهاتِ هذهِ الكمياتِ إضافةً إلى مقاديرِها.

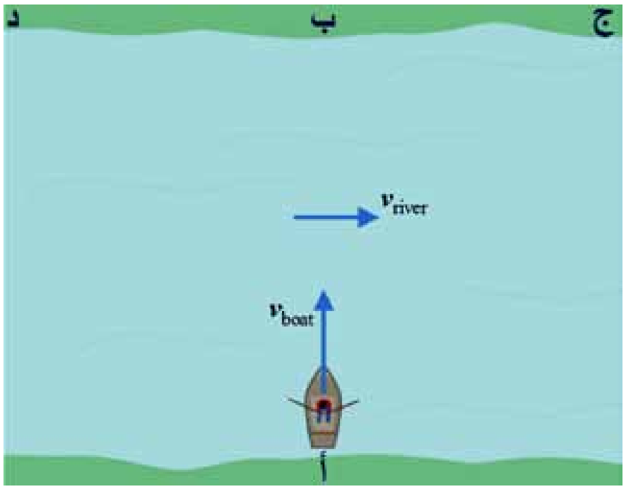
- هلْ يختلفُ جمعُ الكمياتِ المُتَّجِهةِ عنْ جمعِ الكمياتِ القياسيةِ؟ أفسِّرُ إجابتي.
- هلْ تختلفُ عمليةُ جمعِ المُتَّجِهينِ: **A** و**C** عنْ عمليةِ جمعِ المُتَّجِهينِ: **A** و**D**؟ أفسِّرُ إجابتي.
- هلْ أستطيعُ أنْ أُحدِّدَ العلاقةَ بينَ المُتَّجِهينِ: **A** و**B**؟ أذكرُها؟



أكتشفُ

أتخيّلُ أنّني رُبّانُ المركبِ الموضحِ في الشكلِ المجاورِ، وأُريدُ عبورَ النهرِ منَ الموقعِ (أ) إلى الموقعِ (ب)، حيثُ أبحرْتُ بالمركبِ بسرعةِ (v_{boat}) شمالًا، وسرعةُ جريانِ مياهِ النهرِ (v_{river}) شرقًا.

1 - هلْ سأصلُ وجهتي عندَ الموقعِ (ب)؟ ولماذا؟



....

....

2 - إذا انطلقْتُ في اتجاهِ الموقعِ (ب) مباشرةً، فأيُّ المواقعِ الثلاثةِ يُمكنُني الوصولُ إليهِ؟ لماذا؟

....

....

....

....

3 - كيفَ أغيّرُ اتجاهَ سرعةِ المَركبِ للوصولِ إلى وجهتي؟ أُبرِّرُ إجابتي.

....

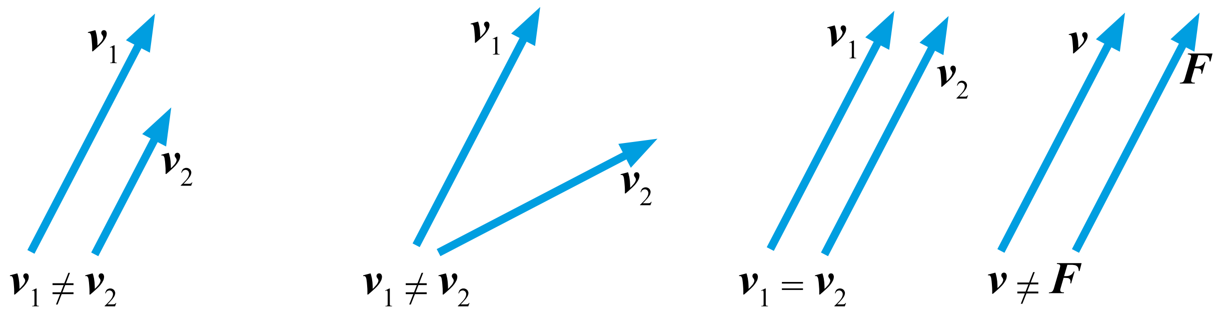
....

أُفسِّرُ

خصائصُ المتجهاتِ

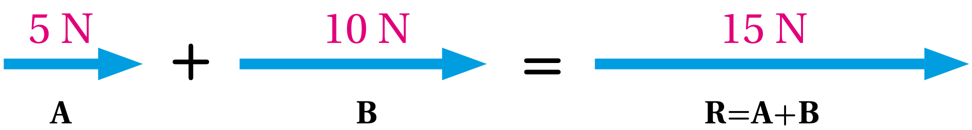
تساوي المُتَّجهينِ	نقلُ المُتَّجهِ	جمعُ المُتَّجهاتِ	ضربُ المُتَّجهاتِ
إذا كانَ لهما المقدارُ والاتجاهُ والنوعُ أنفسُها.	يمكنُ نقلُ المُتَّجهِ مُحافظًا على مقدارِهِ واتجاهِهِ.	يُجمَعُ مُتَّجهانِ أوْ أكثرُ بأيِّ ترتيبٍ مُحافظًا على مقدارِهما واتجاهِهما.	يُمكنُ ضربُ مُتَّجهٍ في مُتَّجهٍ، أوْ في كميةٍ قياسيةٍ.

- يتساوى مُتَّجِهانِ إذا كانَ لهما المقدارُ، والاتجاهُ، ونوعُ الكميةِ الفيزيائيةِ أنفسُها.

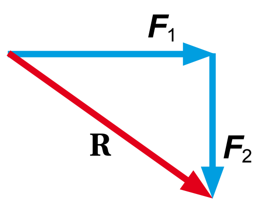


- يختلفُ جمعُ الكمياتِ المُتَّجِهةِ عنْ جمعِ الكمياتِ القياسيةِ؛ لأنَّ الكمياتِ المُتَّجِهةَ تتضمنُ مقدارًا واتجاهًا، وأستفيدُ منْ خصيصةِ نقلِ المُتَّجِهِ مُحافِظًا على مقدارِهِ واتجاهِهِ في عمليةِ جمعِ المُتَّجهاتِ بيانيًّا.

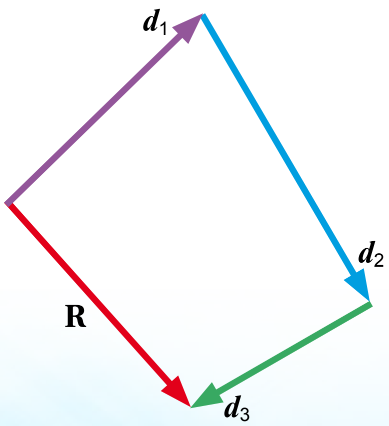
يُجمَعُ مُتَّجِهانِ أوْ أكثرُ منَ النوعِ نفسِهِ في **بُعْدٍ واحدٍ** بأيِّ ترتيبٍ مُحافِظًا على مقداريهما واتجاهيهما، ويُسمّى المُتَّجِهُ الناتجُ مُتَّجِهَ المحصلةِ **(R)**.



- إذا كانَ المُتَّجِهانِ في الاتجاهِ نفسِهِ، فإنَّ مقدارَ محصلتيهما يساوي ناتجَ جمعِ مقداريهما، واتجاهُها في اتجاهِ أيٍّ منهما. وإذا كانا متعاكسينِ، فإنَّ مقدارَ المحصلةِ يساوي الفرقَ بينَ مقداريهما، واتجاهُها في اتجاهِ المُتَّجِهِ الأكبرِ مقدارًا.



- أجدُ محصلةَ مُتَّجِهينِ أوْ أكثرَ منَ النوعِ نفسِهِ في **بُعْدينِ** بيانيًّا، بأيِّ ترتيبٍ مُحافِظًا على مقداريهما واتجاهيهما.

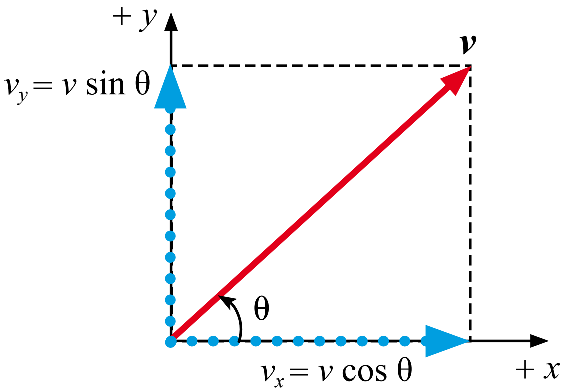


يوضحُ الشكلُ المجاورُ إيجادَ محصلةِ مُتَّجِهَي قوةٍ متعامدينِ بطريقةِ الذيلِ على الرأسِ، ويوضحُ الشكلُ الثاني إيجادَ محصلةِ مُتَّجِهاتِ إزاحةٍ بالطريقةِ نفسِها، كما يأتي:

أرسمُ المُتَّجِهَ الأولَ مُحافِظًا على طولِهِ (مقدارِهِ) واتجاهِهِ نفسيهما، ثمَّ أرسمُ المُتَّجِهَ الثاني على أنْ يكونَ ذيلُهُ عندَ رأسِ المُتَّجِهِ الأولِ، مُحافِظًا

كذلكَ على طولِهِ واتجاهِهِ، وهكذا بقيةُ المُتَّجِهاتِ. ولإيجادِ المحصلةِ (**R**)، أرسمُ سهمًا منْ ذيلِ المُتَّجِهِ الأولِ إلى رأسِ المُتَّجِهِ الأخيرِ.

- أجدُ محصلةَ مُتَّجِهينِ أوْ أكثرَ منَ النوعِ نفسِهِ في **بُعْدينِ** حسابيًّا بالطريقةِ التحليليةِ، مُدرِكًا عمليةَ تحليلِ المُتَّجِهاتِ قبلَ ذلكَ.



أحلّلُ المُتَّجِهَ $\boldsymbol{v}$ مثلًا، إلى مُتَّجِهينِ متعامدينِ يُسمّيانِ مُركّبتَي المُتَّجِهِ.

المُركّبةُ الأفقيةُ v_x تُمثِّلُ مسقطَ المُتَّجِهِ على المحورِ x.

المُركّبةُ العموديةُ v_y تُمثِّلُ مسقطَ المُتَّجِهِ على المحورِ y.

الزاويةُ θ مَقيسةٌ منْ محورِ $+x$ عكسَ اتجاهِ دورانِ عقاربِ الساعةِ.

يكونُ الجمعُ المُتَّجِهيُّ للمُركّبتينِ مساويًا المُتَّجِهَ $\boldsymbol{v}$؛ أيْ أنَّ: $\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_x + \boldsymbol{v}_y$، أما مقدارُ المُتَّجِهِ، فيُحسَبُ بقاعدةِ فيثاغورسَ $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$. واتجاهُ $\boldsymbol{v}$ يُحدَّدُ بقانونِ الظلِّ: $\theta = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_x}$.

إذا كانَتِ السرعةُ المُتَّجِهةُ $\boldsymbol{v} = 50\ \text{m/s}, 37^\circ$، فإنني أجدُ مُركّبتَي السرعةِ: الأُفقيةَ والعموديةَ، كما يأتي:

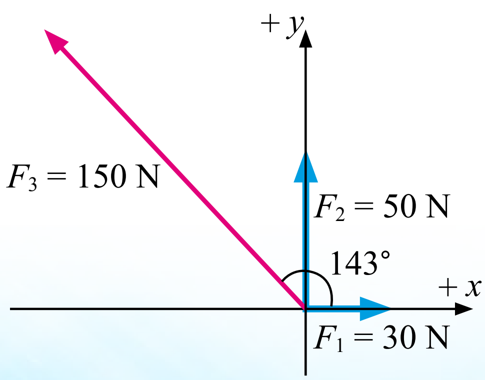
تقع المُركّبة الأفقية على محور $+x$؛ لأنها موجبة. $v_x = v \cos\theta = 50 \cos 37^\circ = 50 \times 0.8 = 40\ \text{m/s}$

تقع المُركّبة العمودية على محور $+y$؛ لأنها موجبة. $v_y = v \sin\theta = 50 \sin 37^\circ = 50 \times 0.6 = 30\ \text{m/s}$

- بعدَ تعرُّفي تحليلَ المُتَّجِهاتِ، أجدُ محصلةَ مُتَّجِهينِ أوْ أكثرَ منَ النوعِ نفسِهِ حسابيًّا، كما يأتي:
  - أُحلِّلُ كلَّ مُتَّجِهٍ إلى مُركّبتَيهِ.
  - أحسبُ مجموعَ المُركّباتِ في اتجاهِ المحورِ x، (R_x)، ومجموعَ المُركّباتِ في اتجاهِ المحورِ y، (R_y).
  - أحسبُ مقدارَ المحصلةِ بقاعدةِ فيثاغورسَ، وأُحدِّدُ اتجاهَها بقانونِ الظلِّ.

مثال

أحسبُ مقدارَ محصلةِ مُتَّجِهاتِ القوى في الشكلِ المجاورِ، مُحدِّدًا اتجاهَها.



الحلُّ

$F_{1x} = F_1 \cos \theta_1 = 30 \cos 0° = 30\ N$

$F_{1y} = F_1 \sin \theta_1 = 30 \sin 0° = 0$

$F_{2x} = F_2 \cos \theta_2 = 50 \cos 90° = 0$

$F_{2y} = F_2 \sin \theta_2 = 50 \sin 90° = 50\ N$

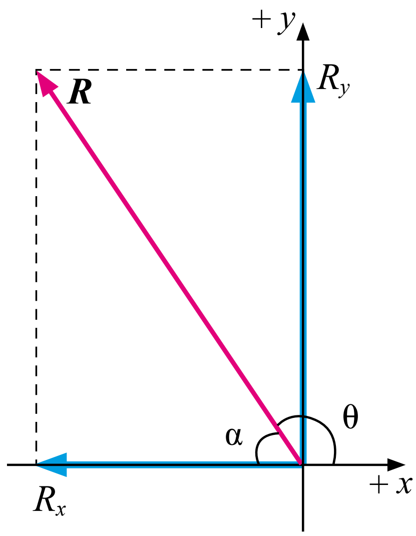
$F_{3x} = F_3 \cos \theta_3 = 150 \cos 143° = 150\,(-\cos 37°) = 150\,(-0.8) = -120\ N$

$F_{3y} = F_3 \sin \theta_3 = 150 \sin 143° = 150\,(\sin 37°) = 150\,(0.6) = 90\ N$

أحسبُ مقدارَ كلٍّ منْ: R_x، و R_y.

$R_x = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 30 + 0 + (-120\ N) = -90\ N,\ \ \boldsymbol{R_x} = 90\ N, 180°$

$R_y = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = 0 + 50 + 90\ N = 140\ N,\ \ \boldsymbol{R_y} = 140\ N, 90°$



وقدْ مثّلت R_x، و R_y، والمحصلةُ $\boldsymbol{R}$ في الشكلِ المجاورِ.

أحسبُ مقدارَ المحصلةِ بقاعدةِ فيثاغورسَ:

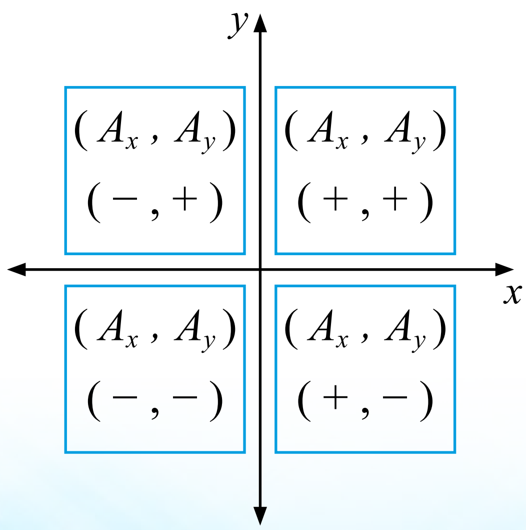
$$R = \sqrt{(R_x^2 + R_y^2)} = \sqrt{((-90)^2 + (140)^2)} = 166.4\ N$$

أُحدِّدُ اتجاهَ المحصلةِ كما يأتي:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{R_y}{R_x} = \tan^{-1} \frac{140}{-90} = -57°$$

أُلاحظُ أنَّ R_x سالبةٌ، و R_y موجبةٌ؛ لذا فإنَّ محصلتَهما تقعُ في الربعِ الثاني، ولتحديدِ اتجاهِها بالنسبةِ إلى محورِ $+x$، فإننا نضيفُ إليها $180°$ كونها تقعُ في الربعِ الثاني:

$$\theta = -57° + 180° = 123°$$



يوضحُ الشكلُ المجاورُ كيفيةَ تغيُّرِ إشاراتِ مركّبتَي المُتَّجِهِ **A** حسبَ الربعِ الذي يقعُ فيه المُتَّجِهُ.

ضربُ المُتَّجهاتِ

- ضربُ مُتَّجهٍ في كميةٍ قياسيةٍ موجبةٍ
  - ينتجُ مُتَّجهٌ لَهُ الاتجاهُ نفسُهُ، ويعتمدُ مقدارُهُ على مقدارِ الكميةِ القياسيةِ التي ضُرِبَ فيها.
- ضربُ مُتَّجهٍ في كميةٍ قياسيةٍ سالبةٍ
  - ينتجُ مُتَّجهٌ يُعاكسُهُ في الاتجاهِ، ويعتمدُ مقدارُهُ على مقدارِ الكميةِ القياسيةِ التي ضُرِبَ فيها.
- ضربُ مُتَّجهٍ في مُتَّجهٍ
  - ضربٌ قياسيٌّ (نقطيٌّ).
  - ضربٌ مُتَّجهيٌّ (تقاطعيٌّ).

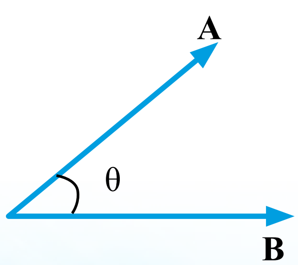
- **عندَ ضربِ المُتَّجهِ (A) في كميةٍ قياسيةٍ (n) مثلًا**، ينتجُ مُتَّجهٌ جديدٌ، مقدارُهُ يساوي (nA)، حيثُ (n) عددٌ حقيقيٌّ، أما اتجاهُهُ، فيكونُ في:
  - اتجاهِ المُتَّجهِ ($\boldsymbol{A}$) نفسِهِ إذا كانَتْ (n) موجبةً.
  - عكسِ اتجاهِ المُتَّجهِ ($\boldsymbol{A}$) إذا كانَتْ (n) سالبةً.

وعندَما تكونُ ($n = -1$)، ينتجُ مُتَّجهٌ جديدٌ يُسمّى **معكوسَ (سالبَ) المُتَّجهِ**، لَهُ مقدارُ المُتَّجهِ الأصليِّ نفسُهُ، إلا أنَّهُ يعاكسُهُ في الاتجاهِ.

ويوضحُ الشكلُ الآتي ما يحدثُ لمُتَّجهِ التسارعِ $\boldsymbol{a}$ عندَ ضربِهِ في كمياتٍ قياسيةٍ مختلفةٍ.

- **الضربُ القياسيُّ (النقطيُّ):** عمليةُ ضربِ مُتَّجهٍ في مُتَّجهٍ آخرَ، ناتجُها كميةٌ قياسيةٌ، يُحسَبُ مقدارُها بالعلاقةِ الآتيةِ:

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{B} = AB\cos\theta$$



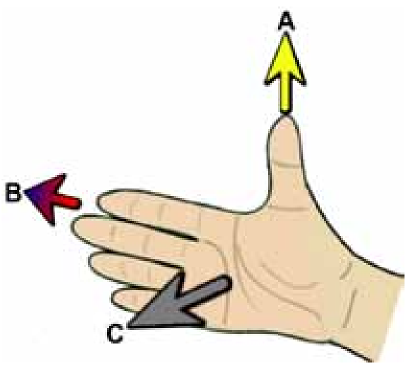
حيثُ θ الزاويةُ الصغرى المحصورةُ بينَ ذيلَي المُتَّجهينِ.

ويُعَدُّ الشغلُ (W) منَ التطبيقاتِ الفيزيائيةِ على الضربِ القياسيِّ؛ حيثُ يُحسَبُ الشغلُ بالضربِ القياسيِّ لمُتَّجهَي القوةِ ($\boldsymbol{F}$) والإزاحةِ ($\boldsymbol{d}$)، كما يأتي:

$$W = \boldsymbol{F}\cdot\boldsymbol{d} = Fd\cos\theta$$

• **الضربُ المُتَّجهي (التقاطعيّ):** عمليةُ ضربِ مُتَّجِهٍ في مُتَّجِهٍ آخرَ، ناتجُها كميةٌ مُتَّجِهةٌ. ويُعَبَّرُ عنِ الضربِ المُتَّجِهيِّ بالعلاقةِ: $\mathbf{C} = \mathbf{A}\times\mathbf{B}$، حيثُ $\mathbf{C}$ المُتَّجِهُ الناتجُ منْ عمليةِ الضربِ، ويكونُ دائمًا مُتعامِدًا والمستوى الذي يُشكِّلُهُ المُتَّجِهانِ $\mathbf{A}$ و $\mathbf{B}$. ويُحسَبُ مقدارُ ناتجِ الضربِ بالعلاقةِ:

$$|\mathbf{A}\times\mathbf{B}| = C = AB \sin\theta$$



حيثُ $|\mathbf{A}\times\mathbf{B}|$ أوْ C هوَ مقدارُ ناتجِ عمليةِ الضربِ المُتَّجِهيّ، وθ الزاويةُ الصغرى المحصورةُ بينَ ذيلَي المُتَّجِهينِ. ويُحَدَّدُ اتجاهُ ناتجِ الضربِ بطرائقَ عدةٍ، منها: قاعدةُ كفِّ اليدِ اليمنى، كما هوَ مُوضَّحٌ في الشكلِ، حيثُ يُشيرُ الإبهامُ إلى اتجاهِ المُتَّجِهِ الأولِ $\mathbf{A}$، وتُشيرُ بقيةُ الأصابعِ إلى اتجاهِ المُتَّجِه الثاني $\mathbf{B}$، فيكونُ اتجاهُ المُتَّجِهِ الناتجِ منَ الضربِ المُتَّجِهيّ للمُتَّجِهينِ عموديًّا على كفِّ اليدِ وخارجًا منها.

ومنَ التطبيقاتِ الفيزيائيةِ على الضربِ المُتَّجِهيّ إيجادُ القوةِ المغناطيسيةِ $\boldsymbol{F}_M$ المؤثرةِ في شحنةٍ كهربائيةٍ q متحركةٍ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ $\boldsymbol{v}$ في مجالٍ مغناطيسيٍّ مقدارُهُ $\mathbf{B}$، ويُعبَّر عنها بالعلاقةِ:

$$(\boldsymbol{F}_M = q\boldsymbol{v}\times\mathbf{B}).$$

مثـالٌ

بروتونٌ يتحركُ بسرعةٍ مقدارُها (2×10^6 m/s) في اتجاهِ محورِ $+y$، دخلَ منطقةَ مجالٍ مغناطيسيٍّ مقدارُهُ (1.5 T) في اتجاهِ محورِ $-x$. أحسبُ مقدارَ القوةِ المغناطيسيةِ المؤثرةِ فيهِ، وأُحدِّدُ اتجاهَها. إذا علمتُ أنّ شحنةَ البروتون (1.6×10^{-19} C).

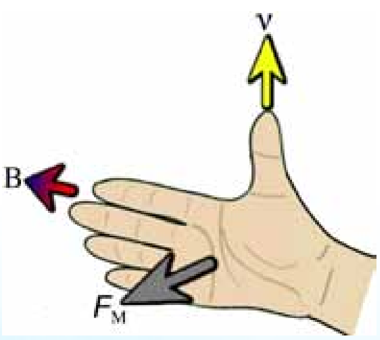
الحلُّ

$$\boldsymbol{F}_M = q\boldsymbol{v}\times\mathbf{B}$$

$$\boldsymbol{F}_M = qvB\sin\theta = (1.6\times10^{-19})(2\times10^{6})(1.5)\sin 90^\circ$$

$$= 4.8\times10^{-13}\ \text{N}$$

وبتطبيقِ قاعدةِ كفِّ اليدِ اليمنى أجدُ أنَّ اتجاهَ القوةِ المغناطيسيةِ، يكونُ نحوَ الناظرِ (خارجَ الصفحةِ، أوْ باتجاهِ المحورِ $+z$).



أطبِّقُ

1 - بالعودةِ إلى النشاطِ السابقِ (أكتشفُ) بدايةَ الدرسِ، إذا تحركْتُ تجاهَ الموقعِ (ب)، فإلى أينَ أصلُ؟ وإذا أردْتُ الوصولَ إلى الموقعِ (ب)، فإلى أيِّ اتجاهٍ أنطلقُ؟

2 - أستخدمُ المفاهيمَ الآتيةَ لوضعِها في المكانِ المناسبِ في الجدولِ الآتي:

مُتَّجِهُ المحصلةِ   تحليلُ المُتَّجِهِ   تساوي المُتَّجِهينِ   الضربُ القياسيُّ (النقطيُّ)

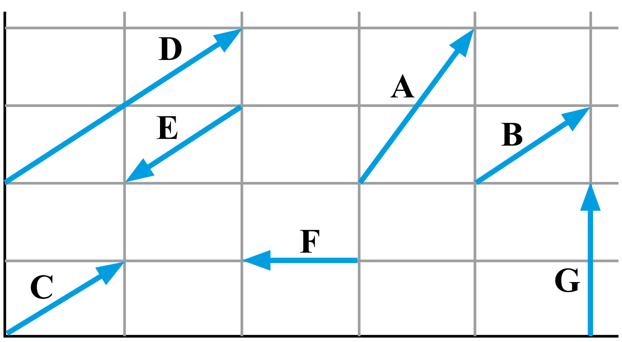
الضربُ المُتَّجِهِيّ (التقاطعيُّ)   معكوسُ المُتَّجِهِ

الرقمُ	العبارةُ	المفهومُ
1	مُتَّجِهانِ لهما المقدارُ والاتجاهُ والنوعُ أنفسُها.	
2	إيجادُ مُركَّبتَي المُتَّجِهِ.	
3	ناتجُ جمعِ مُتَّجِهينِ أوْ أكثرَ.	
4	مُتَّجِهٌ لَهُ مقدارُ المُتَّجِهِ الأصليِّ، إلا أنَّهُ يعاكسُهُ في الاتجاهِ.	
5	عمليةُ ضربِ مُتَّجِهينِ، ناتجُها كميةٌ قياسيةٌ، يُحسَبُ مقدارُها بالعلاقةِ: $AB \cos \theta$.	
6	عمليةُ ضربِ مُتَّجِهينِ، ناتجُها كميةٌ مُتَّجِهةٌ، يُحسَبُ مقدارُ ناتجِ ضربِها بالعلاقةِ: $AB \sin \theta$.	

3 - يُبحرُ قاربُ صيدٍ في نهرٍ بسرعةٍ مقدارُها 4 m/s، وتجري مياهُ النهرِ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ 3 m/s شمالًا. أحسبُ مقدارَ السرعةِ المُتَّجِهةِ المحصلةِ التي سيتحركُ بها القاربُ مُحدِّدًا اتجاهَها، إذا أبحرَ القاربُ:

أ - شمالًا.   ب - جنوبًا.

4 - أستعينُ بالشكلِ الآتي لأُحدِّدَ مُتَّجِهينِ:



أ - متساويينِ.

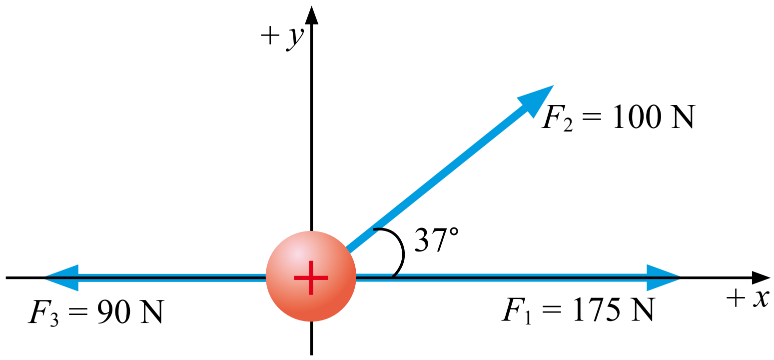
ب- ناتجُ جمعِهما يساوي المُتَّجِهَ **D**.

جـ- ناتجُ جمعِهما يساوي المُتَّجِهَ **G**.

د - لهما المقدارُ نفسُهُ، متعاكسَي الاتجاهِ.

هـ- لهما الاتجاهُ نفسُهُ، ومقدارُ أحدِهما ضعفُ مقدارِ الآخرِ.

5 - تتأثرُ الشحنةُ الكهربائيةُ المُوضَّحةُ في الشكلِ بثلاثِ قوًى كهربائيةٍ في الاتجاهاتِ المُبيَّنةِ. أحسبُ مقدارَ القوةِ المحصلةِ المؤثرةِ في الشحنةِ، مُحدِّدًا اتجاهَها.



أُقيِّمُ تعلُّمي

أشيرُ إلى العباراتِ الصحيحةِ وغيرِ الصحيحةِ في ما يأتي، مُفسِّرًا غيرَ الصحيحةِ:

العبارةُ	صحيحةٌ	غيرُ صحيحةٍ	التفسيرُ
يتساوى مُتَّجِهانِ إذا كانَ لهما المقدارُ نفسُهُ فقطْ.			
يُمكِنُ جمعُ مُتَّجِهِ قوةٍ مع مُتَّجِهِ تسارعٍ.			
يُمكِنُ ضربُ مُتَّجِهِ قوةٍ في مُتَّجِهِ إزاحةٍ.			
يُمكِنُ ضربُ مُتَّجِهينِ لهما النوعُ نفسُهُ.			
المُتَّجِهُ ($-5\boldsymbol{F}$) هوَ مُتَّجِهٌ مقدارُهُ يساوي 5 أضعافِ مقدارِ المُتَّجِهِ $\boldsymbol{F}$، واتجاهُهُ في عكسِ اتجاهِ المُتَّجِهِ $\boldsymbol{F}$.			
يُمكِنُ نقلُ المُتَّجِهِ منْ مكانٍ إلى آخرَ معَ المحافظةِ على اتجاهِهِ فقطْ.			
عندَ جمعِ مُتَّجِهٍ معَ معكوسِهِ، يكونُ الناتجُ صفرًا.			
ناتجُ عمليةِ الضربِ $(\mathbf{A}\times\mathbf{B})$ كميةٌ قياسيةٌ.			

المحورُ

الميكانيكا

المفهومُ	النتاجُ المرتبطُ بالمفهومِ	السؤالُ الرئيسُ
الموقعُ	• يوضحُ المقصودَ بكلٍّ منَ: الموقعِ، ونقطةِ الإسنادِ، والمسافةِ، والإزاحةِ.	- ما الموقعُ؟ وما الفرقُ بينَ المسافةِ والإزاحةِ؟
السرعةُ	• يفسِّرُ رسومًا بيانيةً تتعلَّقُ بوصفِ الحركةِ.	- ما السرعةُ؟ وما أنواعُها؟
الحركةُ المنتظمةُ	• يستقصي أهميةَ التطبيقاتِ الحياتيةِ للحركةِ في بُعْدٍ واحدٍ.	- متى توصفُ حركةُ الجسمِ بأنها منتظمةٌ؟
التسارعُ	• يستخدمُ معادلاتِ الحركةِ، في حلِّ المسائلِ.	- ما التسارعُ؟ ومتى يكونُ الجسمُ المتحركُ مُتسارِعًا؟

إجازتي الصيفيّة

قدمَتْ رؤى معَ عائلتِها منْ دولةِ قطرَ إلى أرضِ الوطنِ لقضاءِ الإجازةِ الصيفيةِ. وفي أثناءِ اقترابِ الطائرةِ منْ مطارِ الملكةِ علياءَ الدوليِّ، نظرَتْ منَ النافذةِ وبدأتْ تصفُ لأخيها منظرَ اقترابِ الطائرةِ، وتخبرُهُ كيفيةَ تغيرِ اتجاهِ حركتِها في أثناءِ ذلكَ. كيفَ تمكنَتْ رؤى منْ تحديدِ أنّ الطائرةَ تقتربُ من المطارِ؟ وكيفَ تمكّنَتْ منْ تحديدِ اتجاهِ حركةِ الطائرةِ؟

أتهيّأُ

لكيْ أصفَ حركةَ جسمٍ وأُحدِّدَ مكانَهُ واتجاهَ حركتِهِ، وهلْ يتحركُ مُقترِبًا مني أوْ مُبتعِدًا عني - يلزمُني تعرُّفُ: الإطارِ المرجعيِّ، والموقعِ، والإزاحةِ، والمسافةِ، والسرعةِ، والتسارعِ.

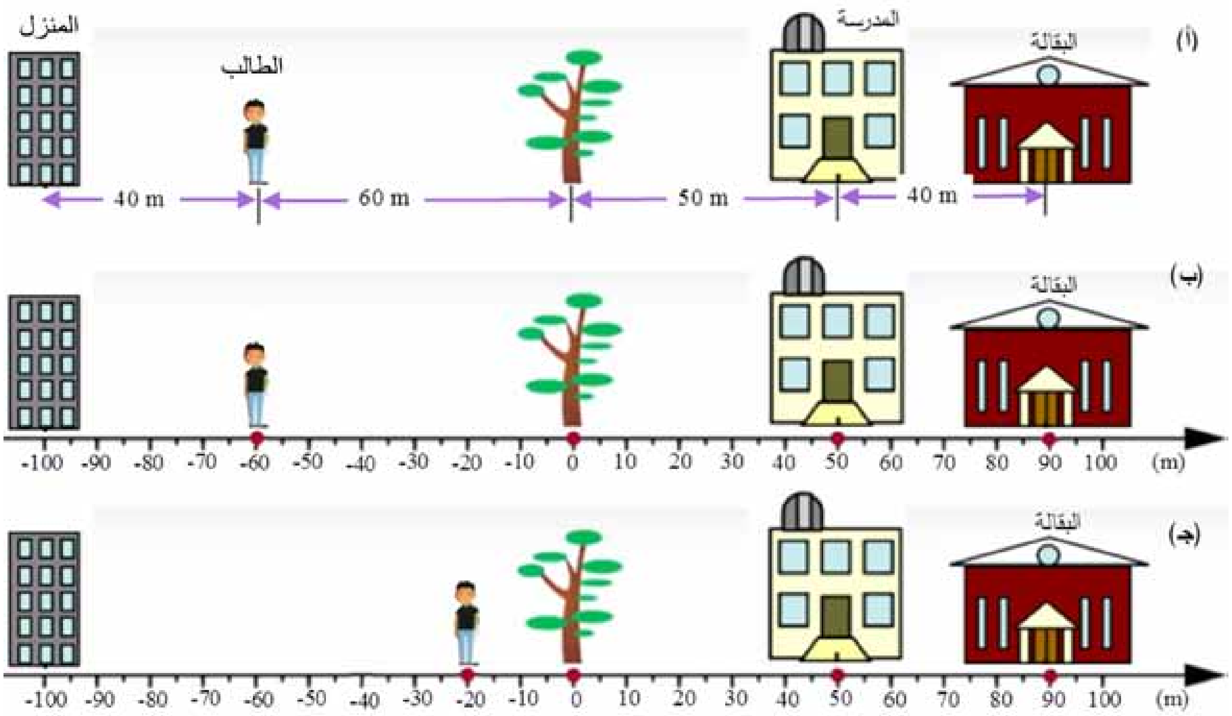
- ماذا يلزمُني لتحديدِ موقعِ جسمٍ؟
- ماذا يلزمُني لتحديدِ اقترابِ جسمٍ مني أوْ ابتعادِهِ عني؟

في الجدولِ الآتي، أحددُ الكمياتِ الفيزيائيةَ التي تلزمُني معرفتُها لوصفِ حركةِ سيارةٍ تتحركُ على طريقٍ أُفقيٍّ مستقيمٍ، وتلكَ التي لا تلزمُني معرفتُها، مُوضِّحًا ذلكَ.

الكميةُ الفيزيائيةُ	يلزمُ	لا يلزمُ	التوضيحُ
كثافةُ مادتِها			
مقدارُ الإزاحةِ التي تقطعُها واتجاهُها			
زمنُ حركتِها			
نقطةُ بدءِ الحركةِ			
طولُ السيارةِ			
المسافةُ التي تقطعُها			

أكتشفُ

أستعينُ بالأشكالِ: (أ، ب، جـ)؛ لإجابةِ الأسئلةِ التي تليها:



1 - ما موقعُ البقالةِ في الشكلين (أ) و(ب)؟

....

2 - إذا أخبرَني شخصٌ أنَّ المدرسةَ تبعدُ (40 m) غربًا، فهلْ هذا الوصفُ كافٍ؟ لماذا؟

....

3 - ما موقعُ الطالبِ في الأشكال (أ) و(ب) و(جـ)؟

....

4 - بمَ يختلفُ الشكلُ (ب) عنِ الشكلِ (أ)؟

....

5 - كيفَ أُحددُ أنَّ الطالبَ ساكنٌ أوْ متحركٌ؟ وكيفَ أُحدّدُ اتجاهَ حركتِهِ؟ أفسِّرُ إجابتي.

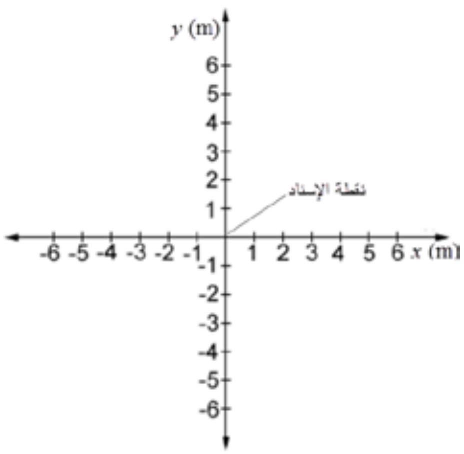
....

6 - ما الذي يلزمُ لتحديدِ أنَّ جسمًا ما متحركٌ أو ساكنٌ، وتحديدِ اتجاهِ حركتِهِ؟

....

أُفسِّرُ

لتحديدِ موقعِ جسمٍ، يلزمُني اختيارُ إطارٍ مرجعيٍّ (نقطةِ إسنادٍ، ونظامِ إحداثياتٍ)، ولتحديدِ مواقعِ الأجسامِ بسهولةٍ، فإننا نختارُ غالبًا نقطةَ الأصلِ على محورِ x لتمثّلَ نقطةَ الإسنادِ $(x = 0)$ عندَ الحركةِ الأفقيةِ، أوْ نقطةَ الأصلِ على محورِ y لتمثّلَ نقطةَ الإسنادِ $(y = 0)$ عندَ الحركةِ الرأسيةِ.



- **الموقعُ (Position):** كميةٌ فيزيائيةٌ مُتَّجِهةٌ، تُحدِّدُ مكانَ جسمٍ نسبةً إلى نقطةِ إسنادٍ معيّنةٍ، ويُمثَّلُ بسهمٍ ذيلُهُ عندَ نقطةِ الإسنادِ، ورأسُهُ عندَ موقعِ الجسمِ.

اصطُلحَ في هذه المادة التعليمية على أنْ يكونَ موقعُ الجسمِ موجبًا إذا كانَ يمينَ نقطةِ الإسنادِ أوْ أعلاها، وسالبًا إذا كانَ يسارَ نقطةِ الإسنادِ أوْ أسفلَها. ويُعبَّرُ عنِ الموقعِ بالرمزِ x عندَ الحركةِ على المحورِ x، أوْ الرمزِ y عندَ الحركةِ على محورِ y.

- **الإزاحـــةُ (Displacement):** كميـةٌ فيزيائيـةٌ مُتَّجِهـةٌ، تـساوي التغيُّرَ في مـوقـعِ الجـسمِ، رمـزُهـا $(\boldsymbol{d} = \Delta \boldsymbol{x} = \boldsymbol{x}_2 - \boldsymbol{x}_1)$، وتُمثَّلُ بسهمٍ ذيلُهُ عندَ الموقعِ الابتدائيِّ $(\boldsymbol{x}_1)$، ورأسُهُ عندَ الموقعِ النهائيِّ $(\boldsymbol{x}_2)$. وتُقاسُ بوحدةِ m وفقًا للنظامِ الدوليِّ للوحداتِ.

بناءً على مُصطلَحِ الاتجاهاتِ المُستخدَمِ في بندِ الموقعِ، تكونُ الإزاحةُ موجبةً عندَ حركةِ الجسمِ نحوَ اليمينِ (الشرقِ) أوْ الأعلى، وسالبةً عندَ حركتِهِ نحوَ اليسارِ (الغربِ) أوْ الأسفلِ.

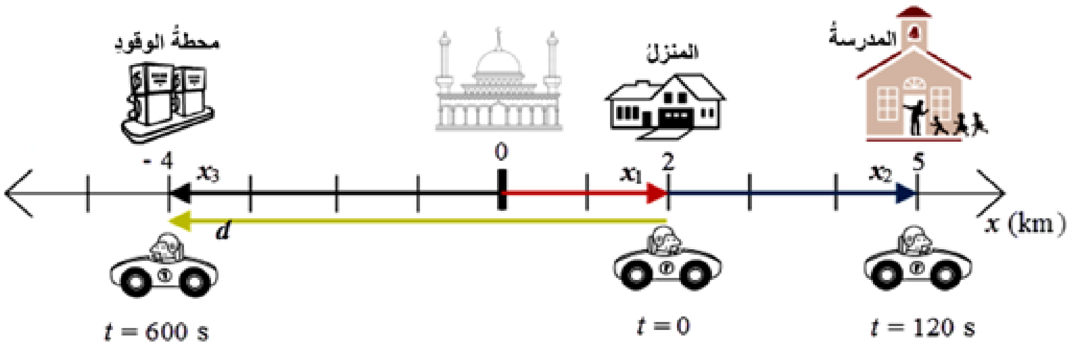
- **المسافةُ (Distance):** كميةٌ فيزيائيةٌ قياسيةٌ، تُمثِّلُ طولَ المسارِ الفعليَّ الذي تحركَهُ الجسمُ، رمزُها (S)، وتُقاسُ بوحدةِ m وفقًا للنظامِ الدوليِّ للوحداتِ.

مثـال

انطلقَ زيدٌ بسيارتِهِ منْ بيتِهِ الذي يبُعدُ 2 km شرقَ المسجدِ، مُتَّجِهًا نحوَ المدرسةِ، وبعدَ وصولِهِ إلى المدرسةِ، انطلقَ غربًا نحوَ محطةِ الوقودِ، كما هوَ مُوضَّحٌ في المخططِ الآتي. إذا كانَ المسجدُ نقطةَ إسنادٍ، فأجدُ ما يأتي:

1 - موقعَ زيدٍ الابتدائيَّ.   2 - موقعَ محطةِ الوقودِ.   3 - إزاحةَ زيدٍ عندَ حركتِهِ منَ البيتِ إلى المدرسةِ.

4 - إزاحةَ زيدٍ الكليةَ.   5 - المسافةَ المقطوعةَ عندَ حركةِ زيدٍ منَ المدرسةِ إلى محطةِ الوقودِ.



الحلّ

1 - الموقعُ موجبٌ، أيْ أنَّ زيدًا يمينَ (شرق) نقطةِ الإسنادِ. $x_1 = 2\text{ km} = 2000\text{ m}$

2 - الموقعُ سالبٌ، أيْ أنَّ المحطةَ يسار (غرب) نقطةِ الإسنادِ. $x_3 = -4\text{ km} = -4000\text{ m}$

3 - الإزاحةُ موجبةٌ؛ لأنَّ الحركةَ تجاهَ الشرقِ. $d_1 = \Delta x_1 = x_2 - x_1 = 5 - 2 = 3\text{ km} = 3000\text{ m}$

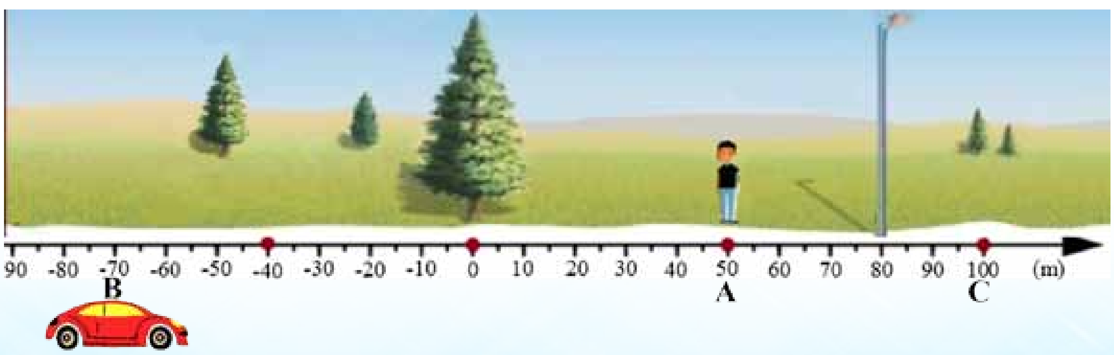
4 - الإزاحةُ سالبةٌ؛ لأنَّ الحركةَ تجاهَ الغربِ. $d = \Delta x = x_3 - x_1 = (-4) - 2 = -6\text{ km}$

5 - المسافةُ المقطوعة دائمًا موجبة. $S = 5 + 4 = 9\text{ km} = 9000\text{ m}$

أُعيدُ حلَّ المثالِ السابقِ على أنَّ البيتَ نقطةُ إسنادٍ، مُلاحظًا أنَّ تحديدَ موقعِ أيِّ جسمٍ يعتمدُ على نقطةِ الإسنادِ، في حينِ لا تعتمدُ الإزاحةُ عليها.

أُطبِّقُ

1 - مُستعينًا بالشكلِ الآتي، أُجيبُ ما يليه:



أ - لماذا يسهلُ اختيارُ الشجرةِ نقطةَ إسنادٍ لتحديدِ مواقعِ الأجسامِ في الشكلِ؟

ب- أُحدّدُ موقعَ كلٍّ منَ: الطالبِ، وعمودِ الإنارةِ، والسيارةِ، وأُمثّلُها على الرسمِ المجاورِ.

جـ- أحسبُ إزاحةَ السيارةِ في أثناءِ حركتِها منَ الموقعِ B إلى الموقعِ C، وأُمثّلُها على الرسمِ.

د - أحسبُ إزاحةَ الطالبِ في أثناءِ حركتِهِ منَ الموقعِ A إلى الموقعِ B، ثمَّ عودتِهِ إلى الموقعِ A مرةً أخرى، ثمَّ أحسبُ المسافةَ التي قطعَها.

2 - أكتب المفاهيمَ الآتيةَ إزاء العبارة المناسبة في الجدولِ الآتي.

الموقعُ نقطةُ الإسنادِ الإزاحةُ المسافةُ

الرقمُ	العبارةُ	المفهومُ
1	كميةٌ قياسيةٌ، تُمثِّلُ طولَ المسارِ الفعليَّ الذي تحركَهُ الجسمُ، رمزُها (S).	
2	كميةٌ فيزيائيةٌ مُتَّجِهةٌ، تُحدِّدُ مكانَ جسمٍ نسبةً إلى نقطةِ إسنادٍ معيّنةٍ.	
3	نقطةٌ مرجعيةٌ يُحَدَّدُ موقعُ الجسمِ نسبةً إليها.	
4	كميةٌ فيزيائيةٌ مُتَّجِهةٌ، تساوي التغيُّرَ في موقعِ الجسمِ.	

أُقيِّمُ تعلُّمي

أشيرُ إلى العباراتِ الصحيحةِ وغيرِ الصحيحةِ في ما يأتي، مُفسِّرًا غيرَ الصحيحةِ:

العبارةُ	صحيحةٌ	غيرُ صحيحةٍ	التفسيرُ
المسافةُ التي يقطعُها جسمٌ، تساوي دائمًا التغيرَ في موقعِهِ.			
لتحديدِ موقعِ جسمٍ، يلزمُ اختيارُ إطارٍ مرجعيٍّ (نقطةِ إسنادٍ، ونظامِ إحداثياتٍ).			
تُمثَّلُ الإزاحةُ بسهمٍ ذيلُهُ عندَ الموقعِ الابتدائيِّ، ورأسُهُ عندَ الموقعِ النهائيِّ.			
إذا رجعَ الجسمُ المتحركُ إلى النقطةِ نفسِها التي بدأَتْ منها حركتُهُ، فإنَّ إزاحتَهُ تساوي مجموعَ مسافتَي الذهابِ والإيابِ.			

لا تُسرِعْ

ركبْتُ وصديقي محمدًا الباصَ ذاهبينِ في رحلةٍ إلى مدينةِ العقبةِ. وفي الطريقِ، أوقفتْنا دوريةُ شرطةٍ، حيثُ أخبرَ الشرطيُّ سائقَ الباصِ أنهُ كانَ يقودُ الباصَ مُتجاوِزًا السرعةَ المقررةَ على الطريقِ. وعندَ نظري إلى سيارةِ الدوريةِ، لمحْتُ معَ أحدِ أفرادِها جهازًا يُصوِّبُهُ تجاهَ السياراتِ. ما هذا الجهازُ؟ وما الذي يقيسُهُ؟

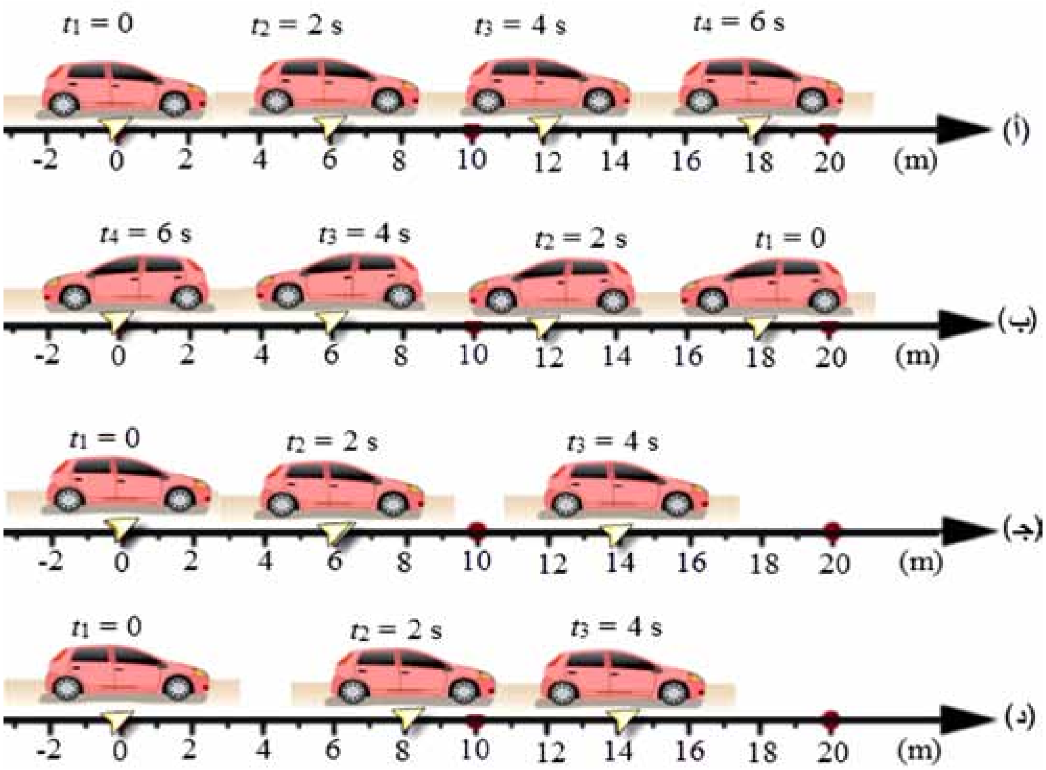
أتهيَّأُ

أستطيعُ وصفَ حركةِ جسمٍ بالمعادلاتِ الرياضيةِ، كما يُمكنُني وصفُها بالمنحنياتِ البيانيةِ، مثلِ منحنى (الموقعِ – الزمنِ)، ومنحنى (السرعةِ المُتَّجِهةِ – الزمنِ).

- كيفَ أُقارنُ بينَ حركتَي سيارتينِ قطعتا الإزاحةَ نفسَها خلالَ مدتينِ زمنيتينِ مختلفتينِ؟
- هلْ تختلفُ السرعةُ القياسيةُ عنِ السرعةِ المُتَّجِهةِ؟ أفسِّرُ إجابتي.

أكتشفُ

أستعينُ بالأشكالِ: (أ، ب، جـ، د)، التي تبيِّنُ تغيرَ موقعِ سيارةٍ خلالَ مددٍ زمنيةٍ متساويةٍ على إجابة الأسئلةِ الآتيةِ:



1 - أيُّ الأشكالِ الأربعةِ تقطعُ فيها السيارةُ مسافاتٍ متساويةً خلالَ مددٍ زمنيةٍ متساويةٍ؟

....

2 - كيفَ أصفُ حركةَ السيارةِ التي تقطعُ إزاحاتٍ متساويةً خلالَ مددٍ زمنيةٍ متساويةٍ؟

....

3 - أُقارنُ بينَ حركةِ السيارةِ في الشكلينِ: (أ، ب) منْ حيثُ: المسافةُ، والإزاحةُ المقطوعةُ خلالَ المددِ الزمنيةِ نفسِها، واتجاهُ الحركةِ.

....

4 - أُقارنُ بينَ حركةِ السيارةِ في الشكلينِ: (أ، جـ) منْ حيثُ: الإزاحةُ المقطوعةُ خلالَ المددِ الزمنيةِ نفسِها. ماذا أستنتجُ؟

....

5 - أُقارنُ بينَ حركةِ السيارةِ في الشكلينِ: (جـ، د)، منْ حيثُ: الإزاحةُ المقطوعةُ خلالَ المددِ الزمنيةِ نفسِها. ماذا أستنتجُ؟

....

أُفسِّرُ

درسْتُ سابقًا مفاهيمَ: الموقعِ، والإزاحةِ، والمسافةِ، واستخدمْتُها في وصفِ حركةِ الأجسامِ. لكيْ يكتملَ وصفي حركةَ هذهِ الأجسامِ، يلزمُني تعرُّفُ مفاهيمَ رئيسةٍ أُخرى، منها: السرعةُ، والتسارعُ.

- **تُقسَمُ السرعةُ قسمينِ رئيسينِ، يوضحُهما المخططُ الآتي:**

- **السرعةُ**
  - **قياسيةٌ**
    - **متوسطةٌ**: المسافةُ المقطوعةُ في وحدةِ الزمنِ. ($\bar{v}_s$)
    - **لحظيةٌ**: مقدارُ سرعةِ الجسمِ عندَ لحظةٍ زمنيةٍ معيّنةٍ. (v)
  - **مُتَّجِهةٌ**
    - **متوسطةٌ**: إزاحةُ جسمٍ في وحدةِ الزمنِ. ($\bar{\boldsymbol{v}}$)
    - **لحظيةٌ**: مقدارُ سرعةِ الجسمِ واتجاهُها عندَ لحظةٍ زمنيةٍ معيّنةٍ. ($\boldsymbol{v}$)

في ما يأتي توضيحٌ لهذِهِ الكمياتِ الفيزيائيةِ.

- **السرعةُ القياسيةُ (Speed)**

السرعةُ القياسيةُ المتوسطةُ (Average speed): كميةٌ فيزيائيةٌ قياسيةٌ، تُحسَبُ بقسمةِ المسافةِ الكليةِ التي يقطعُها الجسمُ (S)، على الزمنِ المُستغرَقِ لقطعِها (Δt)، رمزُها $\bar{v}_s$.

تُقاسُ السرعةُ بوحدةِ m/s وفقًا للنظامِ الدوليِّ للوحداتِ. وتُحسَبُ السرعةُ القياسيةُ المتوسطةُ بالعلاقةِ الآتيةِ: $\left(\bar{v}_s = \dfrac{S}{\Delta t}\right)$

فمثلًا، إذا قطعَتْ سيارةٌ مسافةَ 500 m خلالَ 50 s، فإنَّ سرعتَها القياسيةَ المتوسطةَ:

$$\bar{v}_s = \frac{S}{\Delta t} = \frac{500}{50} = 10\,\text{m/s}$$

ومنْ أمثلتِها: السرعةُ المتوسطةُ للسياراتِ في حلباتِ السباقِ، والسرعةُ المتوسطةُ للعدّائينَ.

السرعةُ القياسيةُ اللحظيةُ (Instantaneous speed): كميةٌ فيزيائيةٌ قياسيةٌ، تساوي سرعةَ الجسمِ عندَ لحظةٍ زمنيةٍ معيّنةٍ، ورمزُها v.

فمثلًا، إذا قطعَ باصٌ مسافةَ 120 km خلالَ 1.5 h فإنَّ سرعتَهُ القياسيةَ المتوسطةَ تساوي 80 km/h، غيرَ أنهُ خلالَ الرحلةِ قدْ لا يثبتُ مؤشرُ عدّادِ السرعةِ عندَ 80 km/h، فتارةً تصبحُ السرعةُ أكبرَ منْ هذا المقدارِ، وتارةً أُخرى أقلَّ منهُ. وتُمثِّلُ قراءةُ العدّادِ عندَ لحظةٍ معيّنةٍ السرعةَ القياسيةَ اللحظيةَ.

إذا كانَتِ السرعةُ القياسيةُ اللحظيةُ ثابتةً خلالَ الرحلةِ، فإنها تساوي السرعةَ القياسيةَ المتوسطةَ دائمًا. وإذا تحركَ جسمٌ بسرعةٍ قياسيةٍ لحظيةٍ ثابتةٍ، فإنَّ حركتَهُ توصفُ بأنها حركةٌ مُنتظِمةٌ Uniform motion.

- **السرعةُ المُتَّجِهةُ (Velocity)**

السرعةُ المُتَّجِهةُ المتوسطةُ (Average velocity): كميةٌ فيزيائيةٌ مُتَّجِهةٌ، تُحسَبُ بقسمةِ إزاحةِ الجسمِ الكليةِ ($d = \Delta x$)، على الزمنِ المُستغرَقِ قطعُها (Δt)، رمزُها $\bar{v}$. كما يُمكنُ تعريفُها بأنها التغيرُ في الموقعِ مقسومًا على الزمنِ المُستغرَقِ لحدوثِ هذا التغيرِ. ويكونُ اتجاهُها تجاهَ الإزاحةِ نفسِها. وتُحسَبُ بالعلاقةِ الآتيةِ: ($\bar{v} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$).

فمثلًا، إذا قطعَتْ سيارةٌ إزاحةَ 500 m شرقًا، خلالَ 50 s، فإنَّ سرعتَها المُتَّجِهةَ المتوسطةَ:

$$\bar{v} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{500}{50} = 10\,\text{m/s}, 0^{\circ}$$

السرعةُ المُتَّجِهةُ اللحظيةُ (Instantaneous velocity): كميةٌ فيزيائيةٌ مُتَّجِهةٌ، تساوي السرعةَ المُتَّجِهةَ لجسمٍ عندَ لحظةٍ زمنيةٍ معيّنةٍ، رمزُها $\boldsymbol{v}$. فإذا أُضيفَ اتجاهٌ للسرعةِ القياسيةِ اللحظيةِ، تُصبحُ سرعةً مُتَّجِهةً لحظيةً. غالبًا يُستخدَمُ مصطلحُ السرعةِ المُتَّجِهةِ في التعبيرِ عنِ السرعةِ المُتَّجِهةِ اللحظيةِ.

فمثلًا، إذا كنْتُ راكبًا سيارةً تتحركُ جنوبًا، ونظرْتُ إلى عدّادِ السرعةِ فيها عندَ لحظةٍ معينةٍ فوجدتُهُ يُشيرُ إلى 90 km/h، فإنَّ سرعتَها القياسيةَ اللحظيةَ تساوي 90 km/h، أما سرعتُها المُتَّجِهةُ اللحظيةُ عندَ اللحظةِ نفسِها، فتساوي 90 km/h جنوبًا. وإذا كانَتِ السرعةُ المُتَّجِهةُ اللحظيةُ ثابتةً خلالَ حركةِ الجسمِ، فإنها تساوي سرعتَهُ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ دائمًا.

- **التسارعُ (Acceleration)**

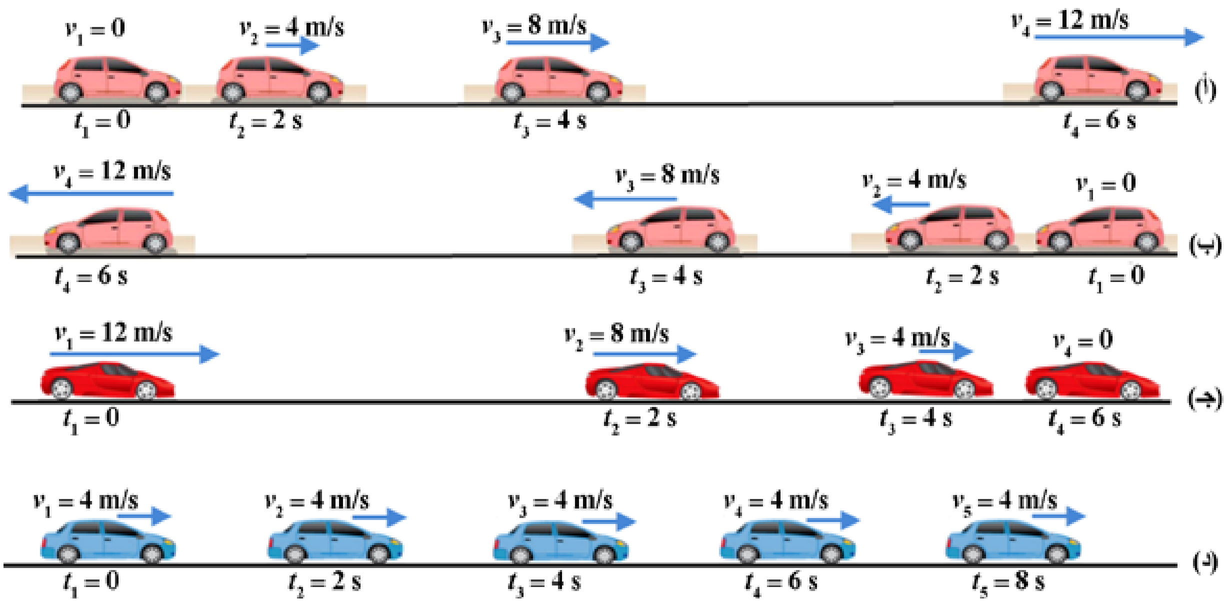
كميةٌ فيزيائيةٌ مُتَّجِهةٌ، يُعرّفُ بأنهُ المعدلُ الزمنيُّ لتغيرِ السرعةِ المُتَّجِهةِ اللحظيةِ لجسمٍ، رمزُهُ $\boldsymbol{a}$، واتجاهُهُ تجاهَ تغيّرِ السرعةِ المُتَّجِهةِ اللحظيةِ نفسِه، ويُقاسُ بوحدةِ m/s^2 وفقًا للنظامِ الدوليِّ للوحداتِ.

سنقصرُ حديثَنا عنِ التسارعِ الثابتِ للأجسامِ، حيثُ يتساوى التسارعانِ: المتوسطُ واللحظيُّ. ويُحسَبُ مقدارُ التسارعِ بقسمةِ مقدارِ التغيرِ في السرعةِ اللحظيةِ على الزمنِ المُستغرَقِ لحدوثِ هذا التغيرِ، كما يأتي:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$$

- يتسارعُ الجسمُ عندَ:
  1 - تغيرِ مقدارِ سرعتِهِ، أوْ اتجاهِها، أو كليهما.
  2 - تشابهِ إشارتَي السرعةِ والتسارعِ؛ أيْ تكونانِ موجبتينِ أوْ سالبتينِ.
- يتباطأُ الجسمُ عندَ اختلافِ إشارتَي السرعةِ والتسارعِ؛ أيْ أنَّ إحداهما موجبةٌ والأخرى سالبةٌ.

لتوضيحِ مفهومِ التسارعِ، أنظرُ وأتأمَّلُ الأشكالَ: (أ، ب، جـ، د) الآتيةَ.



في الشكلِ (أ): تتحركُ السيارةُ يمينًا؛ أيْ تجاهَ محورِ $+x$، مُلاحِظًا تزايدَ سرعتِها بمقدارٍ ثابتٍ خلالَ مددٍ زمنيةٍ متساويةٍ؛ أيْ أنها تتسارعُ. وأحسبُ تسارعَها بينَ أيِّ مدتينِ زمنيتينِ:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{8 - 4}{4 - 2} = 2 \ \mathrm{m/s^2}$$

للسرعةِ والتسارعِ الإشارةُ نفسُها $(+, +)$، حيثُ تتسارعُ السيارةُ تجاهَ محورِ $+x$.

في الشكلِ (ب): تتحركُ السيارةُ يسارًا؛ أيْ تجاهَ محورِ $-x$، مُلاحِظًا تزايدَ سرعتِها بمقدارٍ ثابتٍ خلالَ مددٍ زمنيةٍ متساويةٍ؛ أيْ أنها تتسارعُ. وأحسبُ تسارعَها بينَ أيِّ مدتينِ زمنيتينِ:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(-8) - (-4)}{4 - 2} = -2 \ \mathrm{m/s^2}$$

للسرعةِ والتسارعِ الإشارةُ نفسُها (−, −)، حيثُ تتسارعُ السيارةُ تجاهَ محورِ x −.

في الشكل (جـ): تتحركُ السيارةُ يمينًا، مُلاحِظًا تناقصَ سرعتِها بمقدارٍ ثابتٍ خلالَ مددٍ زمنيةٍ متساويةٍ؛ أيْ أنها تتباطأُ. وأحسبُ تسارعَها بينَ أيِّ مدتينِ زمنيتينِ:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{8-12}{4-2} = -2 \ \ m/s^2$$

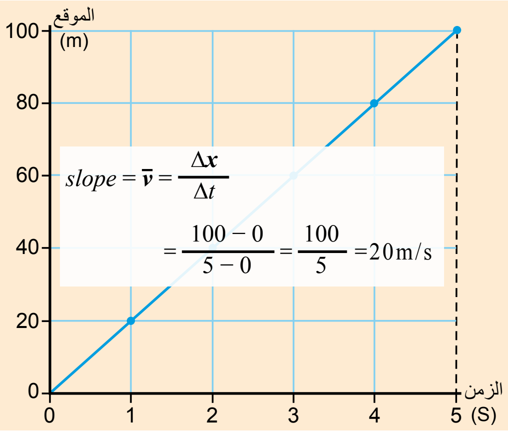
تتحركُ السيارةُ في الاتجاهِ الموجبِ (السرعةِ الموجبةِ)، وتسارعُها سالبٌ؛ لذا فهيَ تتباطأُ تجاهَ محورِ $-x$.

في الشكلِ (د): تتحركُ السيارةُ يمينًا، بسرعةٍ ثابتةٍ مقدارًا واتجاهًا، فيكونُ تسارعُها صفرًا.

- **تمثيلُ الحركةِ بيانيًا**

منحنى (الموقعِ – الزمنِ): رسمٌ بيانيٌّ، يُبيِّنُ مواقعَ الجسمِ المتحركِ بدلالةِ الزمنِ. ميلُ المنحنى يساوي السرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ:

$$slope = \bar{\boldsymbol{v}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

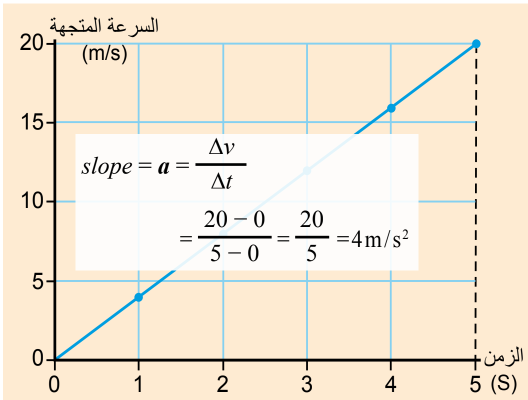


إذا تحركَ جسمٌ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ، فسيكونُ منحنى (الموقعِ – الزمنِ) لَهُ خطًّا مستقيمًا.

فمثلًا، أُلاحظُ منْ منحنى (الموقعِ – الزمنِ) في الشكلِ المجاورِ، أنَّ الجسمَ انطلقَ نحوَ اليمينِ (نحو $+x$) منْ نقطةِ الإسنادِ (0,0) لحظةَ بدءِ رصدِ حركتِهِ، وتغيّرَ موقعُهُ بمقدارٍ ثابتٍ (Δx = 20 m) خلالَ مددٍ زمنيةٍ متساويةٍ (Δt = 1 s)، حيثُ أصبحَ على بُعْدِ 100 m يمينَ نقطةِ الإسنادِ بَعْدَ مرورِ 5 s منْ بدءِ حركتِهِ، ولأنَّ المنحنى البيانيَّ خطٌّ مستقيمٌ، فإنَّ الجسمَ يتحركُ بسرعةٍ مُتَّجِهةٍ ثابتةٍ (تسارعُهُ صفرٌ)، ولما كانَ ميلُ المنحنى موجبًا، فإنَّ الجسمَ يتحركُ تجاهَ $+x$؛ إذًا، ($\bar{\boldsymbol{v}}$ = 20 m/s, 0°).

منحنى (السرعةِ المُتَّجِهةِ – الزمنِ): رسمٌ بيانيٌّ، يُبيِّنُ السرعاتِ المُتَّجِهةَ للجسمِ المتحركِ بدلالةِ الزمنِ. ميلُ المنحنى يساوي التسارعَ:

$$slope = a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$



إذا تحركَ جسمٌ بتسارعٍ ثابتٍ، فسيكونُ منحنى (السرعةِ المُتَّجهةِ – الزمنِ) لَهُ خطًّا مستقيمًا.

فمثلًا، أُلاحظُ منْ منحنى (السرعةِ المُتَّجهةِ – الزمنِ) في الشكلِ المجاورِ، أنَّ الجسمَ انطلقَ منَ السكونِ نحوَ اليمينِ لحظةَ بدءِ رصدِ حركتِهِ، وتغيّرَ مقدارُ سرعتِهِ المُتَّجِهةِ بمقدارٍ ثابتٍ $(\Delta v = 5\ m/s)$ خلالَ مددٍ زمنيةٍ متساويةٍ $(\Delta t = 1\ s)$، حيثُ أصبحَتْ $20\,m/s$ بَعْدَ مرورِ $5\,s$ من بدءِ حركتِهِ، ولأنَّ المنحنى البيانيَّ خطٌّ مستقيمٌ، فأستنتجُ أنَّ الجسمَ يتحركُ بتسارعٍ ثابتٍ، ولما كانَ ميلُ المنحنى موجبًا والسرعةُ المُتَّجِهةُ موجبةً، فإنَّ الجسمَ يتسارعُ تجاهَ $+x$؛ $(\boldsymbol{a} = 4\ m/s^2, 0°)$.

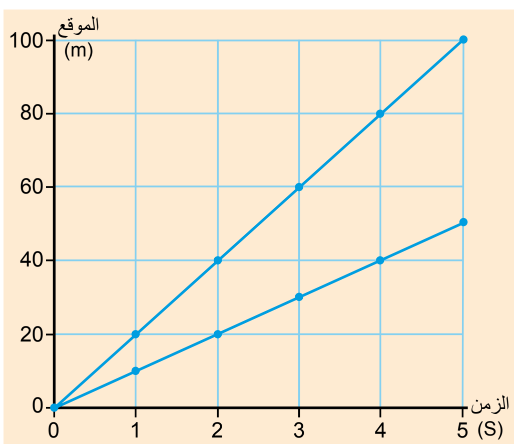
كما يُمكنُني معرفةُ إزاحةِ الجسمِ خلالَ مدةِ حركتِهِ بحسابِ المساحةِ المحصورةِ بينَ منحنى (السرعةِ المُتَّجِهةِ – الزمنِ) وبينَ محورِ الزمنِ، حيثُ تساوي عدديًّا إزاحةَ الجسمِ. مثالٌ: أحسبُ الإزاحةَ المقطوعةَ في الشكلِ السابقِ بحسابِ مساحةِ المثلثِ المحصورِ بينَ المنحنى وبينَ محورِ الزمنِ، كما يأتي:

$$\Delta x = \frac{1}{2}\,\Delta v \times \Delta t = \frac{1}{2}\,(20-0)(5-0) = 50\ m$$

$$\Delta \boldsymbol{x} = 50\ m, 0°$$

أطبِّقُ

1 - يُمثِّلُ الشكلُ الآتي منحنيَي (الموقعِ – الزمنِ) لحركةِ جسمينِ على طريقٍ أُفقيٍّ مستقيمٍ. أستعينُ بهما على إجابةِ ما يأتي:

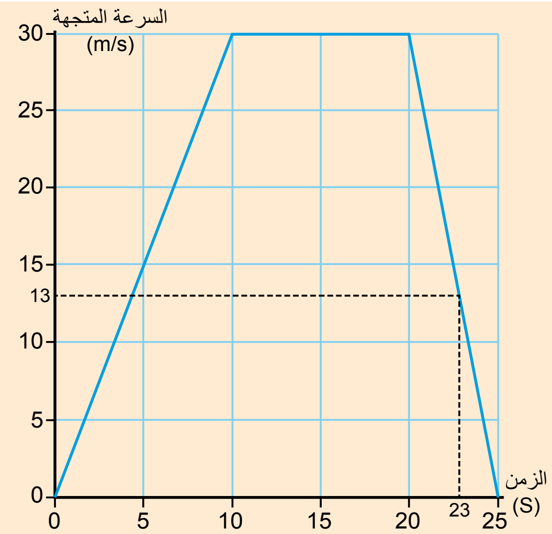


أ - أُقارنُ بينَ حركتَي الجسمينِ في المنحنيينِ، منْ حيثُ: الموقعُ الابتدائيُّ، واتجاهُ الحركةِ، والإزاحةُ الكليةُ.

ب- أُقارنُ بينَ مقدارَي السرعةِ المُتَّجِهةِ المتوسطةِ في كلا المنحنيينِ، أيُّهما أكبرُ؟

2 - أستعينُ بالشكلِ المجاورِ الذي يوضحُ سيارتينِ (A وB) تتحركانِ يمينًا، على المقارنةِ بينَ تسارعَيهما.

3 - يوضحُ الشكلُ المجاورُ منحنى (السرعةِ المُتَّجِهةِ – الزمنِ) لحركةِ سيارةٍ نحوَ الشرقِ على طريقٍ أُفقيٍّ مستقيم.



أ - أحسبُ تسارعَ السيارةِ خلالَ المدةِ $(0 - 10\,s)$. هلْ كانَتِ السيارةُ تتسارعُ أمْ هلْ كانَتْ تتباطأُ؟ أفسِّرُ إجابتي.

ب- أحسبُ تسارعَ السيارةِ خلالَ المدةِ $(20 - 25\,s)$. هلْ كانَتِ السيارةُ تتسارعُ أمْ هلْ كانَتْ تتباطأُ؟ أفسِّرُ إجابتي.

جـ- أحسبُ إزاحةَ السيارةِ خلالَ الرحلةِ كاملةً.

د - أحسبُ السرعةَ المُتَّجِهةَ المتوسطةَ للسيارةِ للرحلةِ كاملةً.

هـ- ما السرعةُ المُتَّجِهةُ اللحظيةُ للسيارةِ عندَ اللحظاتِ: $5\,s$ ، $15\,s$ ، $23\,s$؟

أُقيِّمُ تعلُّمي

أشيرُ إلى العباراتِ الصحيحةِ وغيرِ الصحيحةِ في ما يأتي، مُفسِّرًا غيرَ الصحيحةِ:

العبارةُ	صحيحةٌ	غيرُ صحيحةٍ	التفسيرُ
المساحةُ المحصورةُ بينَ منحنى (السرعةِ المُتَّجِهةِ – الزمنِ) وبينَ محورِ الزمنِ تساوي التسارعَ.			
إذا كانَ تسارعُ جسمٍ سالبٍ، فهذا يعني أنهُ يتباطأُ.			
السرعةُ المُتَّجِهةُ لجسمٍ، تساوي المسافةَ التي يقطعُها في وحدةِ الزمنِ.			
يُعرّفُ التسارعُ بأنهُ المعدلُ الزمنيُّ لتغيرِ السرعةِ المُتَّجِهةِ اللحظيةِ لجسمٍ.			
ميلُ منحنى (الموقعِ – الزمنِ) يساوي التسارعَ.			
يتسارعُ الجسمُ عندَما يتغيرُ مقدارُ سرعتِهِ فقطْ.			
توصفُ حركةُ جسمٍ بأنها منتظمةٌ عندَما يتحركُ بسرعةٍ قياسيةٍ لحظيةٍ ثابتةٍ.			

القوى

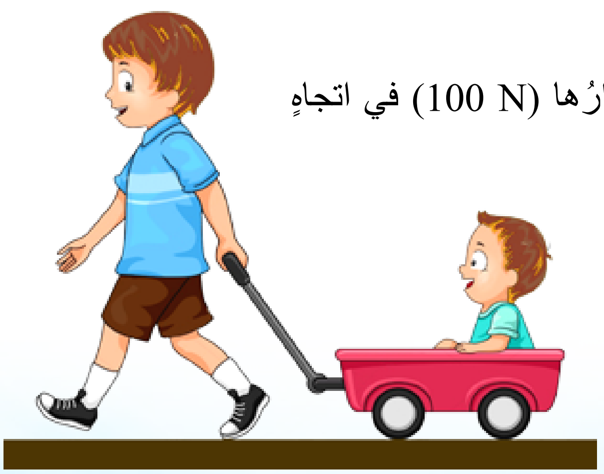
المفهومُ	النتاجُ المرتبطُ بالمفهومِ	السؤالُ الرئيسُ
قوةُ الشدِّ	• يصفُ أثرَ قوةِ الشدِّ في الأجسامِ، ويحلُّ مسائلَ حسابيةً عليها.	- ما قوة الشدّ؟
القوةُ العموديةُ	• يصفُ القوةَ العموديةَ ويحلُّ مسائلَ حسابيةً عليها.	- ما القوةُ العموديةُ؟

أنقذوا قطتي

في قريتِنا بئرٌ مهجورةٌ سقطَتْ فيها قطتي، ماذا عساني أنْ أفعلَ؟ لا يمكنُني النزولُ إلى البئرِ؛ فقدْ تكونُ عميقةً. مرَّ بي صديقي قيسٌ مُقترِحًا فكرةً، فأنقذنا القطةَ.

الحمدُ للهِ، كانَتْ فكرةً رائعةً، في البيتِ، فكّرْتُ كثيرًا في ما حدثَ، كيفَ استطاعَ قيسٌ الوصولَ إلى القطةِ أسفلَ البئرِ وإنقاذَها دونَ أنْ ينزلَ؟

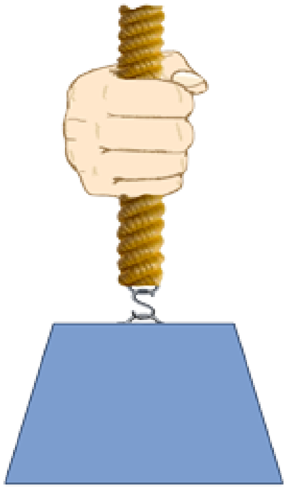
أتهيَّأُ



يسحبُ عامرٌ عربةً يحملُ فيها أختَهُ الصغيرةَ بقوةٍ مقدارُها (100 N) في اتجاهٍ يصنعُ زاويةَ (60°) معَ محورِ (x-).

هلِ القوةُ التي أثرَّتْ في العربةِ أيضًا (100 N)؟

أكتشفُ



- تحاورَ طالبٌ ومعلمُهُ كما يأتي:

المعلـمُ: ماذا يحصلُ لهذا الثقلِ لوْ أفلتَهُ الرجلُ؟

الطالبُ: سوفَ يسقطُ إلى الأسفلِ بسببِ قوةِ الجاذبيةِ.

المعلـمُ: ماذا تقترحُ أنْ نرمزَ إلى هذِهِ القوةِ، علمًا أنَّ القوةَ Force والجاذبيةَ gravity؟ هلْ يصلحُ أنْ نرمزَ إليها بالرمزِ (F_g)؟

الطالبُ: أجلْ يا معلمي، لكنَّ القوةَ بأنواعِها كميةٌ مُتَّجِهةٌ، واعتمدْنا كتابةَ الرمزِ بخطٍّ غامقٍ.

المعلـمُ: إذًا، نرمزُ إلى قوةِ الجاذبيةِ ($\boldsymbol{F_g}$)، وهيَ باتجاهِ الأسفلِ، ولكنْ، لماذا وصفناها قوةً؟

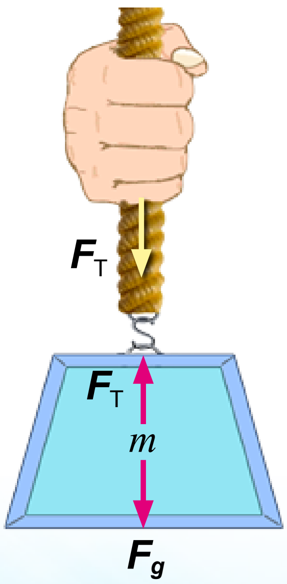
الطالبُ: الجسمُ ساكنٌ وقدْ تحرّكَ، أيْ أنَّ سرعتَهُ تغيرَتْ، والقوّةُ المحصلةُ قد تغيّرُ مقدارَ سرعةِ الأجسامِ، وقد تغيّرُ اتجاهَ حركتِها، وقد تغيّرُ المقدارَ والاتجاهَ معًا.

المعلـمُ: لوْ أمسكْنا بالحبلِ المربوطِ بالجسم وأوقفْنا حركتَهُ إلى الأسفلِ، هلْ تتغيرُ سرعتُهُ؟ ما المسؤولُ عنْ تغييرِ سرعتِهِ؟

الطالبُ: نعمْ، تغيرَتْ سرعتُهُ وأصبحَ ساكنًا والمسؤولُ عنْ ذلكَ هيَ قوةٌ.

المعلـمُ: ما هذِهِ القوةُ؟

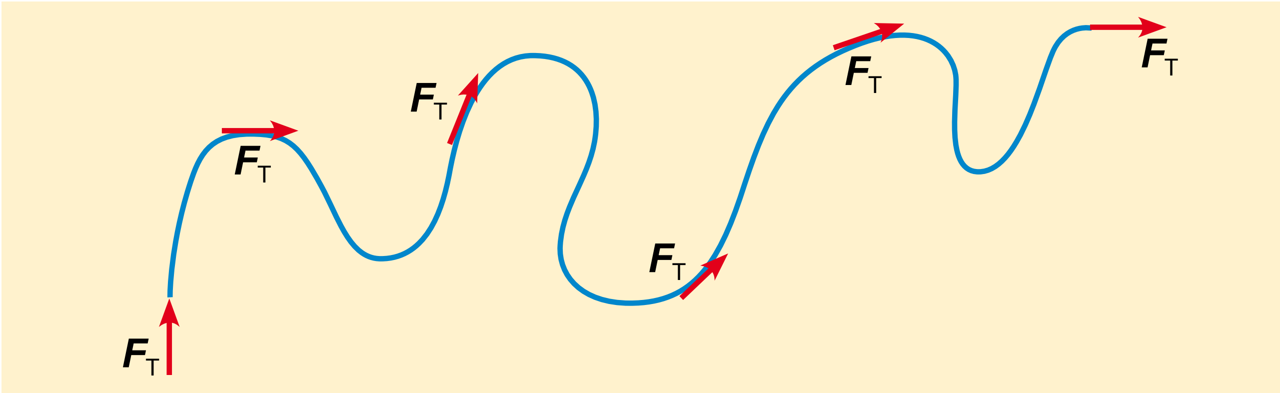
أُفسِّرُ



قوةُ الشدِّ هي قوّةُ سحبٍ تؤثرُ في جسمٍ عنْ طريقِ سلكٍ أو خيطٍ أو حبلٍ، رمزُها ($\boldsymbol{F_T}$)، وتؤثرُ في اتجاهِ طولِ الخيطِ أوْ الحبلِ أوْ السلكِ. وللتبسيطِ عندَ التعاملِ معَ المسائلِ التي تتضمنُ خيوطًا وحبالًا وأسلاكًا، فإننا سنهملُ كتلَها، ونعدُّها غيرَ قابلةٍ للاستطالةِ.

تنتقلُ قوةُ الشدِّ منْ يدِ الشخصِ إلى الثقلِ عنْ طريقِ الحبلِ، وتكونُ قوى الشدِّ متساويةً في جميعِ أجزاءِ الحبلِ.

ففي الشكلِ الآتي، تنتقلُ قوةُ الشدِّ في أجزاءِ الحبلِ جميعِها بالتساوي، إذا كانَ مُهمَلَ الكتلةِ وغيرَ قابلٍ للاستطالةِ.



ولكيْ نحلَّ المسائلَ، يجبُ أنْ ننفذَ ما يأتي:

1 - نحددَ الجسمَ المطلوبَ تحديدُ القوى المؤثرةِ فيهِ، ثمَّ نرسمُ لَهُ مخططَ الجسمِ الحرِّ.

2 - نستخدمُ القانونَ الثاني لنيوتن، متنبهينَ إلى أنَّ القوةَ والتسارعَ كميتانِ مُتَّجِهتانِ، فنستخدم محاور إسناد مناسبة لتحديد اتجاه القوى في القانون بإشارةِ سالب أو موجب، مراعين أن الكتلة كمية قياسية ليس لها اتجاه. والقانونُ كما يأتي:

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

نجدُ مجموع المركّباتِ الأفقية للقوى، ثمَّ نعوضُها في القانونِ الثاني لنيوتن في اتجاهِ المحورِ x:

$$\sum \boldsymbol{F}_x = m\boldsymbol{a}_x$$

ثمّ نجدُ مجموع المركّباتِ العموديةِ للقوى، ثمّ نعوضُها في القانونِ الثاني لنيوتن في اتجاهِ المحورِ y:

$$\sum \boldsymbol{F}_y = m\boldsymbol{a}_y$$

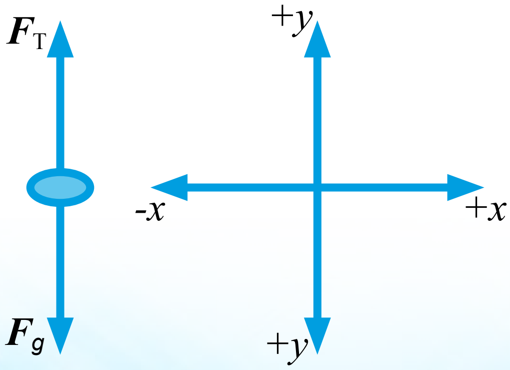
مـثــالُ

دلوُ ماءٍ كتلتها وكتلةُ الماءِ فيها $(10\,\text{kg})$، معلقة بحبلٍ، إذا كانَ مقدارُ أكبرِ قوةِ شدٍّ $(F_{T,max})$ يتحملُها الحبلُ قبلَ أنْ ينقطعَ $(150\,\text{N})$، و$(g = 10\ \text{m/s}^2)$، والدلوُ في حالةِ سكونٍ، فأحسبُ مقدارَ ما يأتي:

1 - قوةِ الشدِّ المؤثرةِ في الحبلِ.

2 - قوةِ الشدِّ في الحبلِ إذا تحركت الدلوُ إلى أعلى بتسارعٍ مقدارُهُ $(2\,\text{m/s}^2)$.

3 - أكبرِ تسارعٍ يمكنُ أنْ تتحرك بهِ الدلوُ إلى أعلى قبلَ أنْ ينقطعَ الحبلُ $(a_{max}.)$.



الحلُّ

1 - الدلوُ ساكنة؛ أيْ أنَّ سرعتها صفرٌ وكذلكَ تسارعها.
القوى المؤثرةُ في الدلوِ هيَ قوةُ الشدِّ إلى أعلى والوزنِ إلى أسفلَ.

مُستخدمينَ القانونَ الثاني لنيوتن بالاتجاهِ العموديِّ

$$\sum \boldsymbol{F}_y = m\boldsymbol{a}_y$$

$$\boldsymbol{F}_T + \boldsymbol{F}_g = m\boldsymbol{a}_y$$

سنكتبُ رمزَ القوّةِ (F) بخط عادي غير غامق،، ثمَّ نضعُ الإشارةَ وفقًا لاتجاهات القوى المؤثرةِ.

ولما كانَ التسارعُ يساوي صفرًا، فستصبحُ المعادلةُ كما يأتي:

$$F_T - F_g = 0$$

$$F_T = F_g$$

و F_g هيَ وزنُ الدلوِ، ويساوي الكتلةَ مضروبةً في تسارعِ الجاذبيةِ. ($F_g = \mathrm{mg}$)

وهكذا تكونُ قوةُ الشدِّ: $F_T = F_g = 10 \times 10 = 100\ \mathrm{N}$

والاتجاهُ إلى أعلى.

2 - إذا تحركت الدلوُ إلى أعلى بتسارعٍ: $\boldsymbol{F}_T + \boldsymbol{F}_g = m\boldsymbol{a}_y$

إذا أردْتُ إزالةَ الخطِّ الغامقِ عن رمزِ الكميةِ المتّجهةِ، فيجبُ تعويضُ الإشارةِ التي تدلُّ على الاتجاهِ، وقدْ ذُكِرَ سابقًا أنَّ التسارعَ إلى أعلى، أيْ أنهُ (+).

$$F_T - 100 = 10 \times 2$$

$$F_T = 100 + 20 = 120\ \mathrm{N}, +y$$

3 - لحسابِ أقصى تسارعٍ قبلَ أنْ ينقطعَ الحبلُ، نعوضُ أقصى قوةِ شدٍّ:

$$\boldsymbol{F}_T + \boldsymbol{F}_g = m\boldsymbol{a}_y$$

$$\boldsymbol{F}_{T,max} + \boldsymbol{F}_g = m\boldsymbol{a}_{y,max}$$

$$150 - 100 = 10 \times a_{y,max}$$

$$a_{y,max} = 5\ \mathrm{m/s^2}, +y$$

أُطبِّقُ

1 - يستخدمُ عبدُ اللهِ دلوَ ماءٍ مربوطةً بحبلٍ لرفعِ الماءِ منْ بئرٍ. إذا كانَتْ كتلةُ الدلوِ وهي مملوءة بالماءِ ($15\ \mathrm{kg}$)، ومقدارُ أكبرِ قوةِ شدٍّ يتحملُها الحبلُ قبلَ أنْ ينقطعَ ($180\ \mathrm{N}$)، والحبلُ مهمل الكتلةِ وغيرُ قابلٍ للاستطالةِ، فأحسبُ مقدارَ:

أ - قوةِ الشدِّ في الحبلِ إذا سَحَبَ عبدُ اللهِ الدلوَ إلى أعلى بتسارعٍ مقدارُهُ ($1.5\ \mathrm{m/s^2}$).

ب- أكبرِ تسارع يمكنُ أن تُسحَب بهِ الدلوُ قبلَ أن ينقطعَ الحبلُ.

2 - أَستفيدُ ممّا تعلمتُه اليومَ عن قوةِ الشدِّ في استنتاجِ الطريقةِ التي تمَّ فيها إنقاذُ القطةِ من البئرِ.

أُقيِّمُ تعلُّمي

أصحّحُ العباراتِ الآتيةَ:

1 - أرمزُ إلى قوةِ الشدِّ بالرمزِ (F_S):

....

2 - قوةُ الشدِّ التي تنتقلُ في الحبلِ أوِ السلكِ، تكونُ غيرَ متساويةٍ في أجزائِهِ جميعِها، إذا كانَ مُهمَلَ الكتلةِ وغيرَ قابلٍ للاستطالةِ.

....

3 - القوةُ المحصلةُ المؤثرةُ في الحبلِ مُهمَلِ الكتلةِ وغيرِ القابلِ للاستطالةِ لا تكونُ صفرًا.

....

4 - قوةُ الشدِّ تكونُ سحبًا أوْ دفعًا.

....

سأخترقُ بجسدي الحائطَ

- ماذا تفعلينَ يا سلمى؟ منظرُكِ مضحكٌ.
- أرجوكِ يا سالي، لا تستخفي بما أفعلُ.
- كيفَ لا أستخفُّ بما تقومينَ بهِ، وأنتِ تلتصقينَ بالحائطِ محاولةً الدخولَ فيهِ؟
- نعمْ، نعمْ سأخترقُ الحائطَ. لِمَ لا أستطيعُ؟
- سأذهبُ لتناولِ العشاءِ، واستمري أنتِ في أفكارِكِ المضحكةِ.

أتهيَّأُ

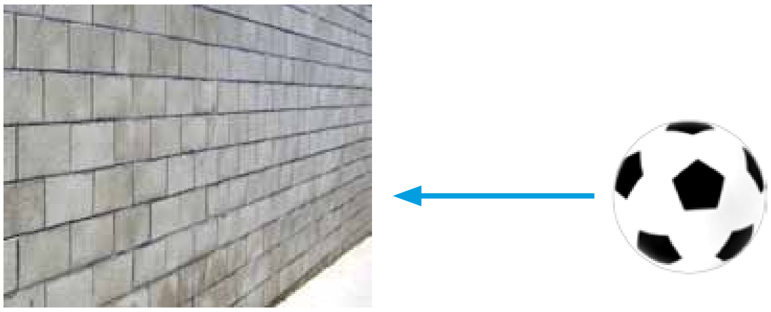
إذا أسقطْنا حقيبةً سقوطًا حرًّا، ستتسارعُ بمقدارِ $(9.8\,m/s^2)$ وتزيدُ سُرعتُها في أثناءِ سقوطِها، فإذا وضعْنا طاولةً في مسارِها، فأجيبُ ما يأتي:

- ماذا سيحصلُ للحقيبةِ؟
- هلْ تغيرَتْ سرعتُها؟
- ماذا نسمي المؤثرَ الذي يغيرُ سرعةَ الأجسامِ أوْ اتجاهَ حركتِها؟
- ما سببُ توقفِ الحقيبةِ عنِ الحركةِ؟

أكتشفُ

استنتجْتُ من النشاطِ السابقِ أنَّ هناكَ قوةً مساويةً لوزنِ الحقيبةِ ومعاكسةً لها، أثرَتْ فيها عندَما استقرَّتْ على سطحِ الطاولةِ.

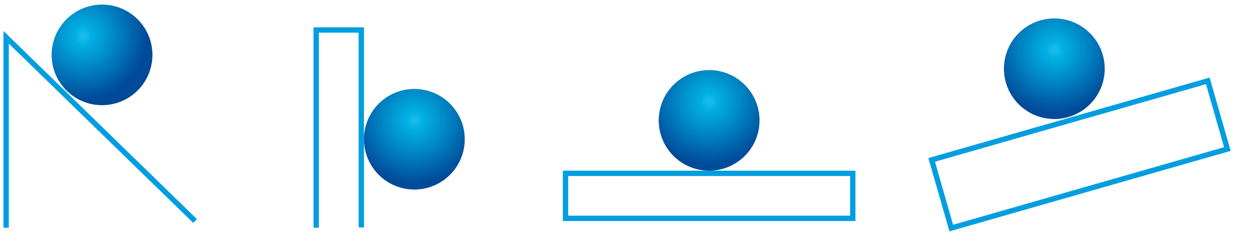
- ما سببُ هذِهِ القوةِ وما اتجاهُها؟



لو دفعْنا كرةً تجاهَ حائطٍ بقوةٍ كما في الشكلِ، ماذا سيحدثُ للكرةِ عندَ اصطدامِها بالحائطِ؟

- ما القوةُ التي غيرَتِ اتجاهَ حركةِ الكرةِ؟ وما اتجاهُها؟

أحاولُ أنْ أحددَ اتجاهَ هذِهِ القوةِ في الأشكالِ الآتيةِ:



أُفسِّرُ

- القوة العمودية (F_N) هي القوة التي تمنعُ الأجسامَ الصلبةَ منِ اختراقِ بعضِها، وتكونُ دائمًا عموديةً على مستوى التلامسِ بين الجسمينِ المتلامسينِ.
- عندَما يوضعُ جسمٌ على سطحٍ أفقيٍّ، فإنَّ مقدار القوة العمودية يكونُ مساويًا لمقدارِ وزنِ الجسمِ.
- إذا كانَ الجسمُ موضوعًا على سطحٍ مائلٍ، فإنَّ مقدارَ القوة العمودية لا يساوي مقدارَ وزنِ الجسمِ. وكذلك إذا تأثرَ الجسمُ بقوى دفعٍ أوْ سحبٍ رأسيةٍ.

القوةُ العموديةُ تمنعُ الأجسامَ الصلبةَ منِ اختراقِ بعضِها، وتكونُ دائمًا عموديةً على مستوى تلامسِ الجسمينِ المتلامسينِ

مثـالُ

تســحبُ رافعةٌ ســيارةً كتلتُها (900 kg) منَ السكونِ على طريقٍ أفقيٍّ أملسَ بقوةِ شدٍّ مقدارُها (2000 N) بحبـلٍ يميـلُ علـى الأفقيِّ بزاويـةِ (37°)، إذا علمْـتُ أنَّ الحبلَ مُهمَـل الكتلة وغير قابل للاسـتطالة، وأنَّ

$g = 10\ m/s^2,\ \sin 37° = 0.6,\ \cos 37° = 0.8$

فأحسبُ مقدارَ:

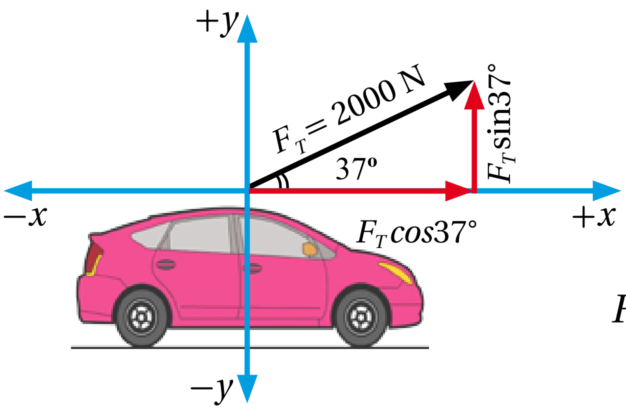
1 - المركبتينِ: الأفقيةِ والعموديةِ لقوةِ الشدِّ في الحبلِ.

2 - القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في السيارةِ.

3 - تسارعِ السيارةِ.

الحـلُّ

سنتبنى الاتجاهاتِ كما يأتي:

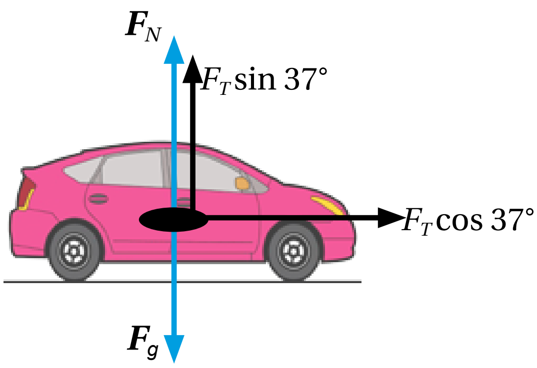


1 - المركبةُ العموديةُ لقوةِ الشدِّ:

$$F_T \sin 37° = 2000 \times 0.6 = 1200\ N, +y$$

- المركبةُ الأفقيةُ لقوةِ الشدِّ:

$$F_T \cos 37° = 2000 \times 0.8 = 1600\ N, +x$$



2 -

أستخدمُ القانونَ الثانيَ لنيوتن في الحركةِ:

$$\sum F = ma$$

محصلةُ القوى في الاتجاهِ الأفقيِّ:

$$\sum F_x = ma_x$$

محصلةُ القوى في الاتجاهِ الرأسيِّ:

$$\sum F_y = ma_y$$

حسبَ الاتجاهاتِ المتفق عليها، فإنَ اتجاهَ الحركةِ إلى أعلى (+) وإلى أسفلَ (−)

$$\sum F_y = F_N + F_T \sin 37° - F_g = m \times (0) = 0$$

التسارعُ الرأسيُّ يساوي صفرًا، لماذا؟

نعوضُ القيمَ

$$\sum F_y = F_N + 1200 - 900 \times 10 = F_N - 7800 = 0$$

ومنها:

$$\boldsymbol{F_N} = 7800\,\text{N}\,,\ +y$$

ألاحظُ أنَّ القوةَ العموديةَ أقلُّ منَ الوزنِ (قوةِ الجاذبيةِ)؛ لأنَّ مركبةَ الشدِّ العموديةَ أسهمَتْ في مساعدةِ سطحِ الأرضِ على مقاومةِ اختراقِ السيارةِ لها.

3 - لحسابِ التسارعِ، نستخدمُ محصلةَ القوى في الاتجاهِ الأفقيِّ:

$$\sum F_x = m a_x$$

$$\sum F_x = F_T \cos 37° = 1600\,\text{N} = 900 \times a_x$$

ومنها:

$$\boldsymbol{a_x} = \frac{1600}{900} = 1.78\ \text{m/s}^2,\ +x$$

مثالٌ

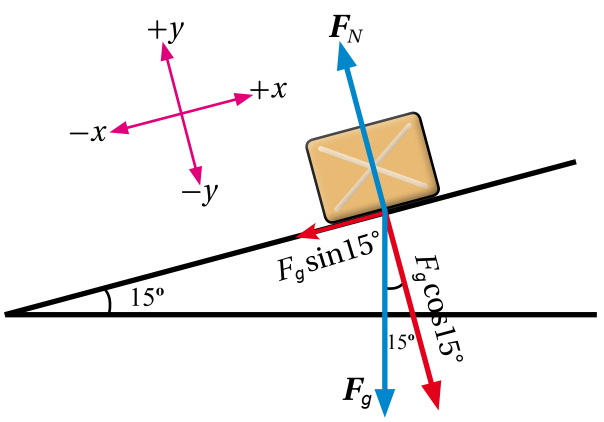
ينزلقُ صندوقٌ كتلتُهُ (4 kg) إلى أسفلِ مستوًى مائلٍ أملسَ يميلُ على الأفقيِّ بزاويةِ (15°)، إذا علمْتُ أنَّ:

$$g = 10\ \text{m/s}^2,\ \sin 15° = 0.26\ ,\cos 15° = 0.97$$

فأحسبُ:

1 - القوةَ العموديةَ المؤثرةَ في الصندوقِ.

2 - تسارعَ الصندوقِ.



الحلُّ

1 - أتبنى محاورَ إسنادٍ مناسبةً، ويفضلُ محاورُ إسنادٍ بميلانِ السطحِ نفسِهِ لتسهيلِ الحلِّ.

مُتذكِّرًا أنَّ اتجاهَ الوزنِ دائمًا باتجاهِ مركزِ الأرضِ، وأنَّ القوةَ العموديةَ دائمًا عموديةٌ على مستوى التلامسِ بين أي جسمين متلامسين.

سأحللُ قوةَ الوزنِ إلى مركّبتين، لماذا؟

لكي تساعدَني على الإجابةِ، وأتذكرُ الزاويةَ التي تصنعُها محاورُ الإسنادِ معَ الأفقيِّ.

- مركبة في اتجاه المحور $(-x)$ (معَ المستوى المائلِ إلى أسفلَ).

$$F_g \sin 15° = 4\times10\times0.26 = 10.4\text{ N}, -x$$

- مركبة في اتجاه المحور $(-y)$ (العموديةُ على المستوى المائلِ).

$$F_g \cos 15° = 4\times10\times0.97 = 38.8\text{ N}, -y$$

سأنشئُ جدولًا منْ عمودينِ: عمودٍ يحوي القوى على محورِ y وعمودٍ للقوى على محورِ x:

x	y
$-\boldsymbol{F}_g \sin 15° = -10.4\text{ N}$	$+\boldsymbol{F}_N$
	$-F_g \cos 15° = -38.8\text{ N}$

$$\sum F_y = ma_y$$

أتذكرُ أنه لا توجدُ حركةٌ في اتجاه المحور (y) $(a_y = 0)$

$$\sum F_y = F_N - F_g \cos 15° = F_N - 38.8 = 0$$

ومنها:

$$\boldsymbol{F}_N = 38.8\ \text{N},\ +\text{y}$$

2 -

لإيجادِ تسارعِ الصندوقِ، نطبق القانون الثاني لنيوتن في اتجاه المحور x:

$$\sum F_x = ma_x$$

$$\sum F_x = -10.4 = 4\times a_x$$

ومنها:

$$\boldsymbol{a}_x = 2.6\ \text{m/s}^2,\ -x$$

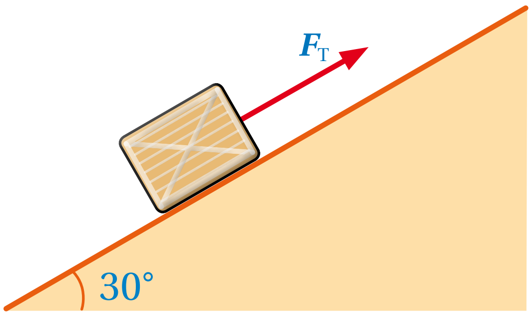
أُطبِّقُ

-1 صندوقٌ كتلتُهُ 20 kg، يُسحَبُ بحبلٍ غيرِ قابلٍ للاستطالةِ إلى أعلى مستوًى مائلٍ أملسَ بسرعةٍ ثابتةٍ، إذا كانَ الحبلُ موازيًا لسطحِ المستوى، وزاويةُ ميلانِ المستوى على الأفقيِّ (°30)، و $g = 10\ m/s$, $\sin 30° = 0.5$, $\cos 30° = 0.87$

فأحسبُ مقدارَ:

أ - القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في الصندوقِ.

ب - قوةِ الشدِّ المؤثرةِ في الصندوقِ.



-2 لوْ كنْتُ مكانَ سالي، ماذا سأردُّ على سلمى؟

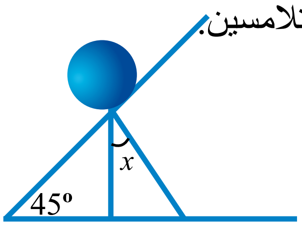
أُقيِّمُ تعلُّمي

أصحّحُ العباراتِ الآتيةَ:

1 - يُرمَزُ إلى القوةِ العموديةِ بالرمزِ (F_T):

....

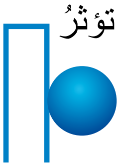
2 - القوةُ العموديةُ ليسَتْ دائمًا عموديةً على مستوى التلامس بين الجسمين المتلامسين.



....

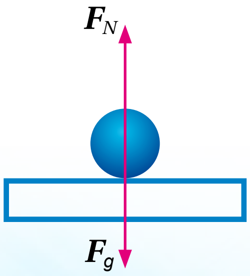
3 - مقدارُ الزاويةِ (x) في الشكلِ المجاورِ هيَ 60^o.

....



4 - إذا كانَتِ القوةُ العموديةُ التي يؤثرُ فيها الحائطُ في الكرةِ (40 N)، فإنَّ القوةَ العموديةَ التي تؤثرُ فيها الكرةُ في الحائطِ هيَ (20 N).

....



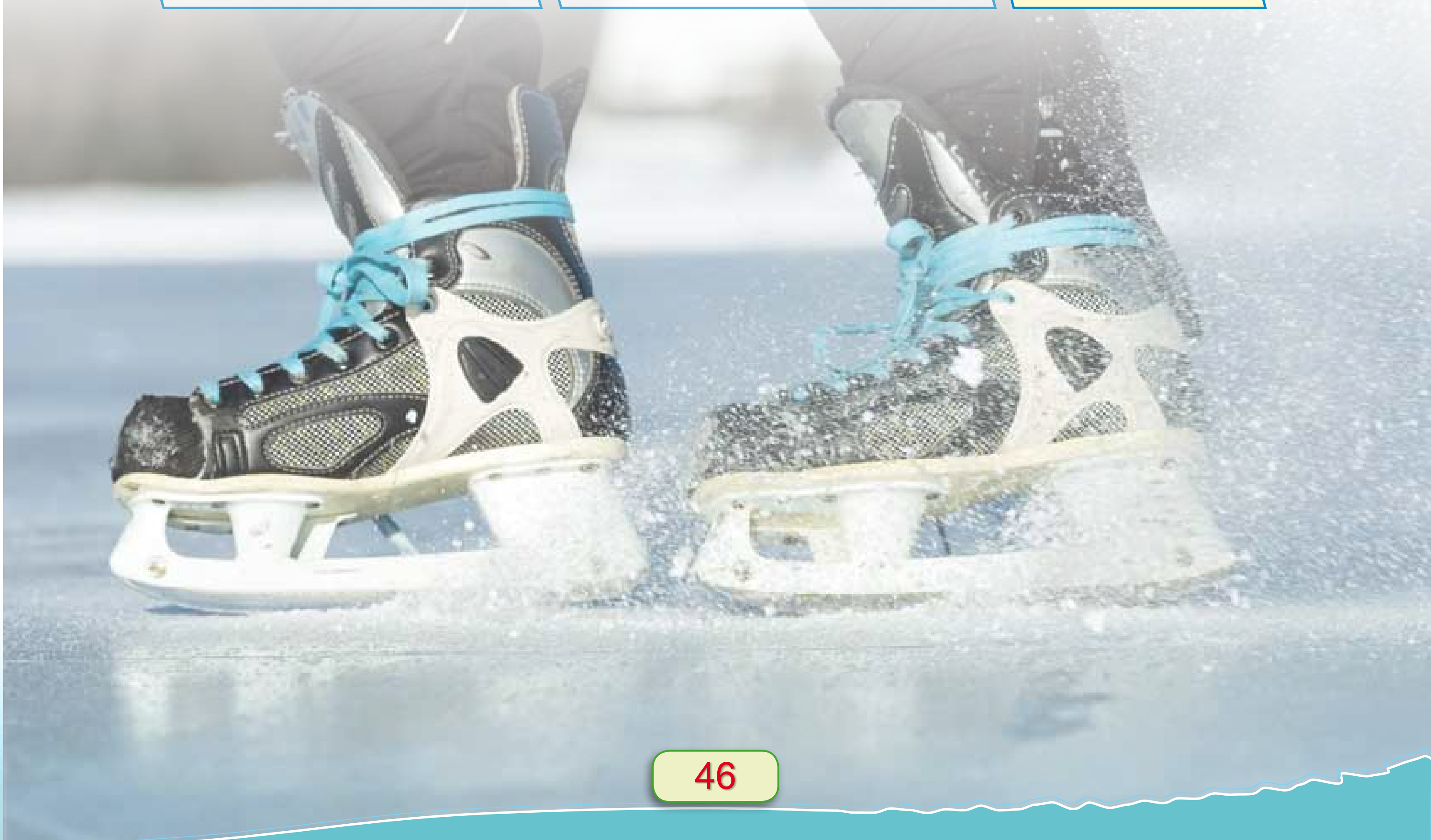
5 - القوةُ العموديةُ المؤثرةُ في الكرةِ منَ السطحِ وقوةُ الجاذبيةِ المؤثرة في الكرةِ هما قوتا فعلٍ وردِّ فعلٍ.

....

المحورُ

الميكانيكا

المفهومُ	النتاجُ المرتبطُ بالمفهومِ	السؤالُ الرئيسُ
قوةُ الاحتكاكِ	• يفسِّرُ سببَ قوةِ الاحتكاكِ.	- ما سببُ قوةِ الاحتكاكِ؟
قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ	• يصفُ قوةَ الاحتكاكِ السكونيِّ.	- متى تنشأُ قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ؟
قوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ	• يصفُ قوةَ الاحتكاكِ الحركيِّ.	- متى تنشأُ قوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ؟



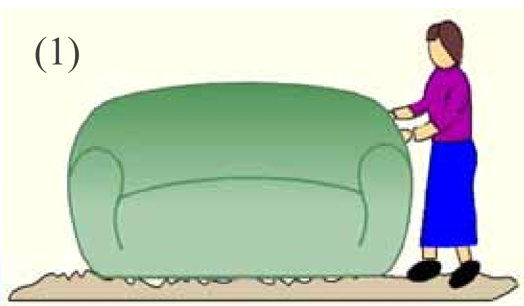
قوةُ أختي الصغيرةِ خارقةٌ

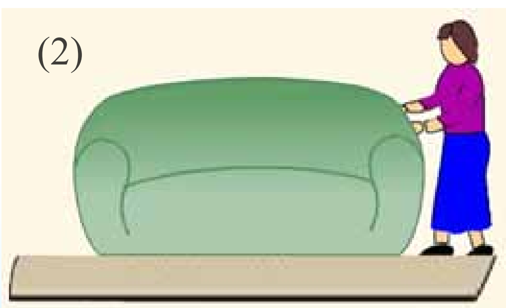
- لِمَ تبكي يا أدهمُ؟
- أرجوكَ يا فارسُ، اتركْني وحدي، فأنا لسْتُ قويًّا.
- وكيفَ استنتجْتَ ذلكَ؟
- لقدْ طلبَتْ أمي إليَّ أنْ أدفعَ الخزانةَ قليلًا تجاهَ الحائطِ، وبذلْتُ أقصى طاقتي، لكنني لمْ أفلحْ.
- هذا طبيعيٌّ يا أدهمُ، فالخزانةُ قدْ تكونُ ثقيلةً.
- نعمْ نعمْ، أعلمُ ذلكَ، إلا أنّ ما ضايقَني أنني عندَما استعنْتُ بأختي الصغيرةِ أريجَ تحركَّتِ الخزانةُ.
- فارسٌ (ضاحكًا): أنتَ قويٌّ يا أدهمُ، لكنكَ لمْ تنتبهْ لأمرٍ مهمٍّ .....

أتهيَّأُ

◄ أيهما أسهلُ حركةً، الأريكةُ في الحالةِ (1) أمِ الأريكةُ في الحالةِ (2)؟

◄ لماذا؟





أكتشفُ

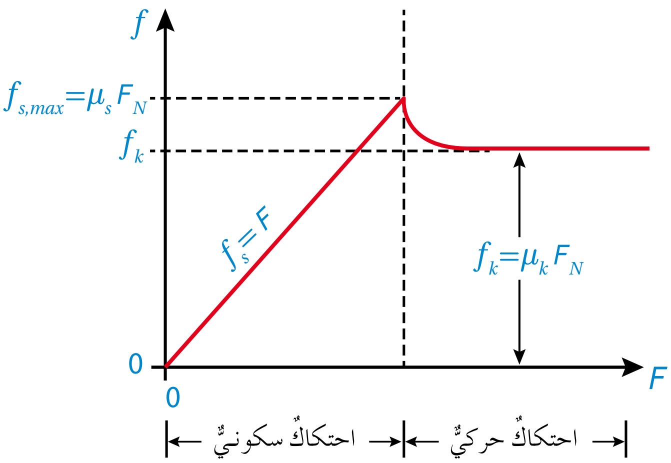
عندَ ركلِ كرةٍ بقوةٍ ما على أرضيةِ ملعبٍ عشبيٍّ، فإنها ستتوقفُ بعدَ مدةٍ، أيْ أنَّ سرعتَها تغيرَتْ، وتغيُّرُ السرعةِ - حسبَ القانونِ الثاني لنيوتن - لا بدَّ أنهُ ناتجٌ منْ قوةٍ.

- ما القوةُ التي أثرَتْ في الكرةِ؟

لوْ ركلْتُ الكرةَ بالقوةِ نفسِها داخلَ ملعبٍ صابونيٍّ، هلْ ستتوقفُ بعدَ المدةِ التي توقفَتْ عندَها الكرةُ التي ركلْتُها داخلَ الملعبِ العشبيِّ؟ لماذا؟

أفسِّرُ

تؤثرُ في الأجسامِ المتلامسةِ قوةُ احتكاكٍ (f)، تعيقُ حركتَها وتؤثرُ فيها موازيةً سطحَي التلامسِ بينَ الجسمينِ. وهذِهِ القوةُ تنشأُ منْ تداخلِ نتوءاتِ سطوحِ الأجسامِ.



أنظرُ إلى الشكلِ المجاورِ، عندَ التأثيرِ في جسمٍ بقوةٍ ضعيفةٍ، فإنهُ يبقى ساكنًا بسببِ قوةِ احتكاكٍ تسمى قوةَ الاحتكاكِ السكونيِّ Static Frictional Force ويُرمَزُ إليها بالرمزِ (f_s)، وبزيادة القوة المؤثرة تزداد قوة الاحتكاك السكوني، فيبقى الجسم ساكنًا حتى تصلَ قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ إلى أقصى قيمةٍ، عندئذٍ يكون الجسم على وشك أن يتحرك، وتسمى عندئذٍ قوةَ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى ويُرمَزُ إليها بالرمزِ ($f_{s,max}$).

تعتمدُ قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى على طبيعةِ الأسطحِ المتلامسةِ، وعلى القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في الجسمِ. وتُعطى قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى بالعلاقةِ:

$$f_{s,max} = \mu_s F_N$$

حيثُ (μ_s): معاملُ الاحتكاكِ السكونيِّ.

وبزيادةِ القوةِ المؤثرةِ، فإنَّ الجسمَ يبدأُ بالحركةِ، فتؤثرُ في الجسمِ قوةُ احتكاكٍ حركيٍّ Kinetic Frictional Force عوضًا عنْ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ ويُرمَزُ إليها بالرمزِ (f_k).

تعتمدُ قوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ على طبيعةِ الأسطحِ المتلامسةِ، وعلى القوةِ العموديةِ المؤثرةِ في الجسمِ.

ويُعبَّر عن قوة الاحتكاكِ الحركيِّ بالعلاقةِ: $f_k = \mu_k F_N$

حيثُ (μ_k) : معاملُ الاحتكاكِ الحركيِّ.

ألاحظُ منَ الشكلِ السابقِ أنَّ قوةَ الاحتكاكِ الحركيِّ أقلُّ منْ قوةِ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى، ومنها فإنَّ $(\mu_s > \mu_k)$.

قوةُ الاحتكاكِ
(تعيقُ حركةَ الأجسامِ المتلامسةِ بعضها فوقَ بعضٍ، وتمنعُ حركتَها، وتؤثرُ فيها موازيةً سطحَي التلامسِ بينَ الجسمينِ).

- **قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ**
  - تنشأُ بينَ سطحَي الجسمينِ المتلامسينِ عندَ محاولةِ تحريكِ بعضِهما فوقَ بعضٍ
  - قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى تُعطى بالعلاقةِ: $f_{s,max} = \mu_s F_N$
- **قوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ**
  - تنشأُ بينَ سطحَي الجسمينِ المتلامسينِ عندَ تحريكِ بعضِهما فوقَ بعضٍ
  - قوةُ الاحتكاكِ الحركيِّ تُعطى بالعلاقةِ: $f_k = \mu_k F_N$

أُطبِّقُ

بالعودةِ إلى مقدمةِ الدرسِ، أفسّرُ ما حدثَ معَ أدهمَ وأريجَ؟

أُقيِّمُ تعلُّمي

أصحّحُ العباراتِ الآتيةَ:

1 - كلما زادَ تداخلُ نتوءاتِ الأسطحِ المتلامسةِ، قلَّتْ قوةُ الاحتكاكِ.

2 - قوةُ الاحتكاكِ السكونيِّ العظمى أقلُّ منْ قوةِ الاحتكاكِ الحركيِّ.

3 - قوةُ الاحتكاكِ تزيدُ سرعةَ الأجسامِ المتحركةِ.

4 - معاملُ الاحتكاكِ السكونيِّ أصغرُ منْ معاملِ الاحتكاكِ الحركيِّ.

5 - وحدةُ قياسِ معاملِ الاحتكاكِ السكونيِّ أوْ معاملِ الاحتكاكِ الحركيِّ هيَ نيوتن.

الميكانيكا

المفهومُ	النتاجُ المرتبطُ بالمفهومِ	السؤالُ الرئيسُ
المائعُ المثاليُّ	• يصفُ المائعَ المثاليَّ.	- ما خصائصُ المائعِ المثاليِّ؟
المائعُ اللزجُ	• يصفُ المائعَ اللزجَ.	- ما المائعُ اللزجُ؟
المائعُ غيرُ الدوّاميِّ	• يصفُ المائعَ غيرَ الدوّاميِّ.	- ما المائعُ غيرُ الدوّاميِّ؟
الجريانُ المنتظمُ	• يقارنُ الجريانَ المنتظمَ بغيرِ المنتظمِ.	- بمَ يختلفُ الجريانُ المنتظمُ عنِ الجريانِ غيرِ المنتظمِ؟
المائعُ غيرُ القابلِ للانضغاطِ	• يصفُ المائعَ غيرَ القابلِ للانضغاطِ.	- ما المائعُ غيرُ القابلِ للانضغاطِ؟
معادلةُ الاستمراريةِ	• يصفُ معادلةَ الاستمراريةِ.	- ما معادلةُ الاستمراريةِ؟

بشرى سارّةٌ

- الوالدُ: أحضرْ لي يا مؤمنُ الهاتفَ لأتّصلَ بأبي أحمدَ؛ لكيْ يحضرَ لنا صهريجَ الماءِ؛ فالمياهُ مقطوعةٌ منذُ أسبوعٍ.

- مؤمنٌ: حبًّا وكرامةً يا أبي.
- آياتُ: يا أبي، أسمعُ صوتَ اندفاعِ الماءِ منْ صنبورِ دورةِ المياهِ.
- الوالدُ: أنتِ تتوهمينَ يا ابنتي.
- آياتُ: لا يا أبي، فصوتُ اندفاعِ الماءِ بعدَ انقطاعِهِ هادرٌ.
- (يأتي مؤمن مُسرِعًا): نعمْ، نعم، آياتُ على حقٍّ.
- الوالدُ: يا لها منْ بشرى سارّةٍ!
- مؤمنٌ: لماذا يكونُ صوتُ الماءِ مُرتفِعًا هكذا يا أبي؟

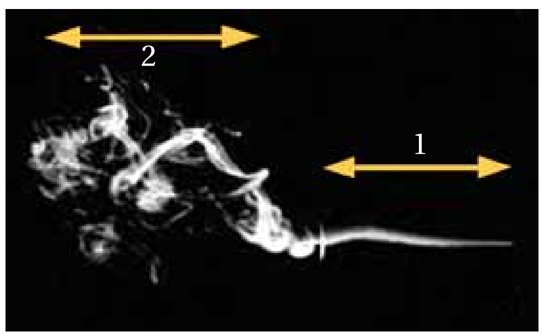
أتهيَّأُ

◀ كيفَ عرفَتْ آياتُ أنَّ المياهَ غيرُ مقطوعةٍ؟

◀ لماذا كانَ صوتُ اندفاعِ الماءِ لحظةَ مجيئِهِ بعدَ انقطاعِهِ هادرًا؟

◀ إذا فتحْنا صنبورَ الماءِ وكانَ اندفاعُهُ قويًّا، لماذا يكونُ جريانُ الماءِ مُضطرِبًا؟

أكتشفُ



أصفُ انسيابَ جُزَيئاتِ الدخانِ في المنطقتينِ: (1 ، 2)؟

أرتِّبُ مساحةَ مقطعِ المائعِ تصاعديًّا في الشكلِ.

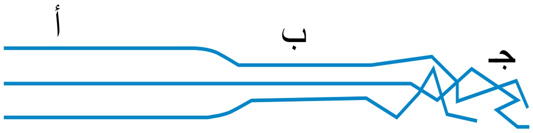
أفسِّرُ

تُعَدُّ السوائلُ والغازاتُ منَ الموائعِ؛ لأنها قابلةٌ للجريانِ (الانسيابِ).

يتصفُ المائعُ المثاليُّ بالخصائصِ الآتيةِ: جريانُهُ منتظمٌ، غيرُ قابلٍ للانضغاطِ، غيرُ لزجٍ، غيرُ دوّاميٍّ.

نُعبِّرُ عنْ جريانِ الموائعِ بخطوطِ جريانٍ تمثلُ مسارَ جُزَيْئاتِ المائعِ في أثناءِ جريانِهِ.

مُستفيدًا منَ المخططِ المفاهيميِّ الذي يصفُ المائعَ المثاليَّ، أختارُ الخاصيةَ التي يمتلكُها المائعُ المتحركُ في الحالاتِ الآتيةِ:



- انسيابُ العسلِ انسيابًا بطيئًا (لزجٌ، غيرُ لزجٍ).
- جريانُ المائعِ في المنطقةِ جـ (منتظمٌ، غيرُ منتظمٍ).
- حركةُ جُزَيْئاتِ الهواءِ التي ينتجُ منها أعاصيرُ، كما في الشكلِ (دواميٌّ، غيرُ دواميٍّ).
- مائعٌ كثافتُهُ ثابتةٌ لا تتغيرُ في أثناءِ جريانِهِ (غيرُ قابلٍ للانضغاطِ، قابلٌ للانضغاطِ).

المائعُ المثاليُّ

- **جريانُهُ منتظمٌ**: سرعةُ المائعِ عندَ أيِّ نقطةٍ متساويـةٌ مع مرورَ الزمنِ، خطوطُ الانسيابِ لا تتقاطعُ.
- **غيرُ قابلٍ للانضغاطِ**: كثافةُ المائعِ ثابتةٌ؛ لا تتغير في أثناء جريانه مع مرور الزمن.
- **غيرُ لزجٍ**: لا يوجدُ احتكاكٌ بينَ طبقاتِهِ، لا يعاني أيَّ مقاومةٍ في أثناءِ جريانِهِ.
- **غيرُ دواميٍّ**: لا تدورُ جُزَيْئاتُهُ حولَ مركزِ دورانٍ.

لا يوجدُ في الواقعِ مائعٌ مثاليٌّ، فقدْ يتصفُ المائعُ الحقيقيُّ بخصيصةٍ أوْ أكثرَ منْ خصائصِ المائعِ المثاليِّ، فعندَ تدفقِ الماءِ منَ الصنبورِ بعدَ انقطاعِهِ، يكونُ جريانُهُ غيرَ منتظمٍ (مُضطربًا) ثمّ يصبحُ جريانُهُ منتظمًا، وإذا تجاوزَتْ سرعةُ الماءِ قيمةً معينةً، تسمى السرعةَ الحدّيةَ، يضطربُ الجريانُ مرةً أخرى.

هلْ توجدُ علاقةٌ بينَ سرعةِ المائعِ ومساحةِ مقطعِ الجريانِ للمائعِ في أثناءِ جريانِهِ؟

لإجابةِ هذا السؤالِ، فلنتعرفْ معادلةَ الاستمراريةِ التي تصفُ العلاقةَ بينَ مساحةِ مقطعِ الجريانِ

للمائعِ وسرعةِ جريانِهِ في ذلكَ المقطعِ.

- لوْ قلْنا: إنَّ حاصلَ ضربِ كميتينِ يساوي مقدارًا ثابتًا، فهذا يعني أنهُ إذا زادَ مقدارٌ، فسينقصُ المقدارُ الآخرُ والعكسُ صحيحٌ.

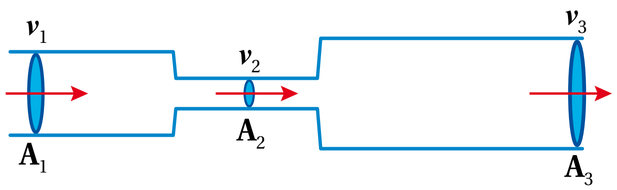
معادلةُ الاستمراريةِ

$$Av = constant$$

(A): مساحةُ مقطعِ الجريانِ للمائعِ بوحدةِ (m^2).

(v): سرعةُ جريانِ المائعِ بوحدةِ (m/s).

أفهمُ منْ معادلةِ الاستمراريةِ أنَّ حاصلَ ضربِ مساحةِ مقطعِ الجريانِ للمائعِ في سرعةِ جريانِهِ تساوي مقدارًا ثابتًا على طولِ مجرى المائعِ.



في الشكلِ المجاورِ، نجدُ في معادلةِ الاستمراريةِ أنَّ:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_3 v_3$$

وعليهِ،

كلما زادَتْ مساحةُ مقطعِ الجريانِ للمائعِ، قلّتْ سرعتُهُ والعكسُ صحيحٌ.

وهذا يفسرُ عديدًا منَ الظواهرِ، مثلِ:

- زيادةِ سرعةِ الماءِ لحظةَ ضغطِ فوهةِ خرطومِ المياهِ.
- زيادةِ مساحةِ مقطعِ الجريانِ بالقرب من فوهة الخرطوم عندَ توجيهِ خرطومِ الماءِ إلى أعلى.

إنَّ المقدارَ (Av) يمثّلُ معدلَ التدفقِ الحجميِّ للمائعِ ($V/\Delta t$)، وهوَ حجمُ المائعِ الذي يَعبُرُ مقطعًا معينًا في وحدةِ الزمنِ، وهوَ ثابتٌ على طولِ مجرى المائعِ المثاليِّ.

$$\frac{V}{\Delta t} = Av = constant$$

ما وحدةُ قياسِ معدلِ التدفقِ الحجميِّ في النظامِ الدوليّ للوحداتِ؟

مثالٌ

يضخُّ قلبُ الإنسانِ الدمَ إلى الشرايينِ التي تتفرعُ منها شُعَيْراتٌ، فإذا علمْتُ أنّ الدمَ يتدفقُ بسرعةِ $(5\times10^{-2}\ m/s)$ في شريانٍ مساحةُ مقطعِهِ $(6\,mm^2)$، تتفرعُ منهُ شُعَيْراتٌ متماثلةٌ مساحةً، ومقطعُ كلِّ شُعَيْرةٍ منها $(0.3\,mm^2)$، وسرعةُ تدفقِ الدمِ في كلٍّ منها $(2\times10^{-3}\ m/s)$، فأجدُ:

1 - معدلَ التدفقِ الحجميِّ للدمِ في الشريانِ.

2 - عددَ الشُّعَيْراتِ المتفرعةَ منَ الشريانِ.

الحلُّ

1 - التدفقُ الحجميُّ هوَ حاصلُ ضربِ مساحةِ مقطعِ الشريانِ في سرعةِ الدمِ فيهِ، يجبُ إيجادُ هذِهِ الكمياتِ بوحداتِ القياسِ العالميةِ كما يأتي:

$$6\,mm^2 = 6\times10^{-6}\ m^2$$

وعليهِ، فإنَّ التدفقَ الحجميَّ يساوي:

$$\frac{V}{\Delta t} = A_{\text{الشريان}} \times v_{\text{الدم في الشريان}} = 6\times10^{-6}\times5\times10^{-2} = 30\times10^{-8}\ m^3/s$$

2 - حيثُ إنَّ التدفقَ الحجميَّ في الشريانِ يساوي التدفقَ الحجميَّ في الشُّعَيْراتِ الدمويةِ المتفرعةِ منهُ جميعِها، فإنَّ:

$$A_{\text{الشريانِ}} \times v_{\text{الدمَ في الشريانِ}} = NA_{\text{الشُّعيرةِ الدمويةِ}} \times v_{\text{الدمَ في الشعيرةِ الدمويةِ}}$$

حيثُ N هوَ عددُ الشُّعَيْراتِ الدمويةِ المتفرعةِ منَ الشريانِ

$$30\times10^{-8} = N\times0.3\times10^{-6}\times2\times10^{-3}$$

ومنها نجدُ عددَ الشُّعَيْراتِ:

$$N = 500$$

أُطبِّقُ

1 - أنبوبُ ماءٍ نصفُ قطْرِهِ $(0.02\ m)$ يتدفقُ فيهِ الماءُ بمعدلِ $(1.25\times10^{-3}\ m^3/s)$، يضيقُ ليصبحَ نصفُ قطْرِهِ $(0.01\ m)$، أحسبُ:

أ - سرعةَ تدفقِ الماءِ في الجزءِ الواسعِ منَ الأنبوبِ.

ب- سرعةَ تدفقِ الماءِ في الجزءِ الضيقِ منَ الأنبوبِ.

جـ- حجمَ الماءِ المتدفقِ منَ الجزءِ الضيقِ في $(20\,s)$.

2 - توجدُ في رأسِ الطبّاخِ ثقوبٌ ضيقةٌ، ما تفسيرُ ذلكَ؟

أُقيِّمُ تعلُّمي

أصحّحُ العباراتِ الآتيةَ:

1 - خطوطُ جريانِ المائعِ المثاليِّ تتقاطعُ.

....

2 - تتغيرُ سرعةُ المائعِ المثاليِّ عندَ نقطةٍ في مجرى المائعِ وليسَ في المائعِ نفسهِ معَ مرورِ الزمنِ.

....

3 - يمكنُ أنْ تتكونَ تياراتٌ دواميةٌ في المائعِ المثاليِّ.

....

4 - يوصفُ المائعُ الذي تتغيرُ كثافتُهُ تحتَ تأثيرِ قوةٍ بالمائعِ اللزجِ.

....

5 - تأثيرُ اللزوجةِ في جريانِ المائعِ تقابلُهُ قوةُ الاحتكاكِ في انزلاقِ جسمٍ على سطحٍ أملسَ.

....

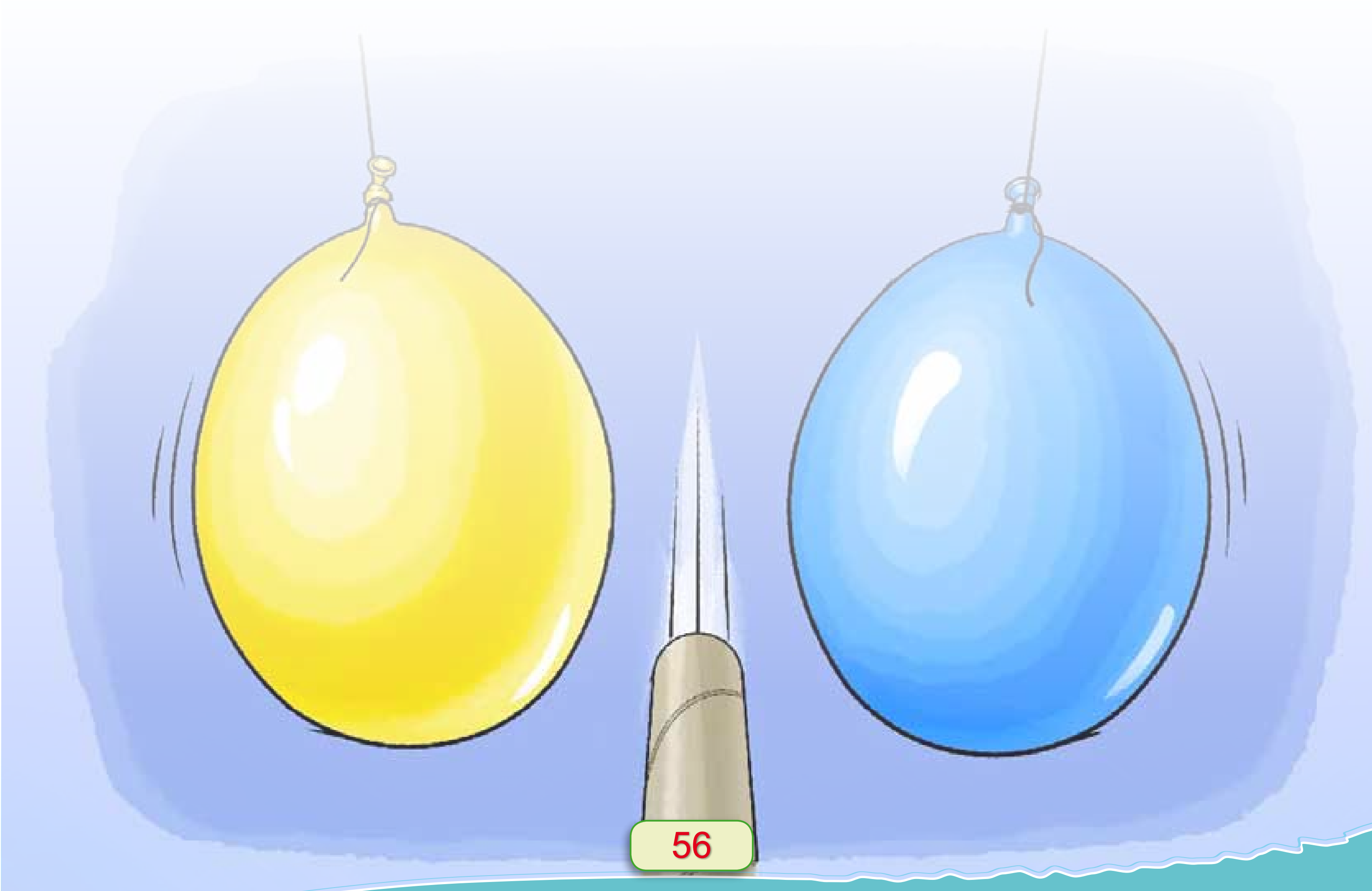
7 - يزدادُ معدلُ التدفقِ الحجميِّ لمائعٍ مثاليٍّ في أنبوبِ جريانٍ بزيادةِ سرعةِ المائعِ فيهِ.

....

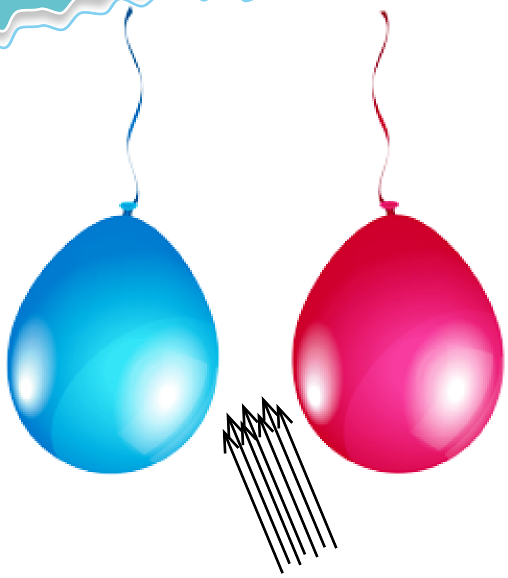
المحورُ

الميكانيكا

المفهومُ	النتاجُ المرتبطُ بالمفهومِ	السؤالُ الرئيسُ
معادلةُ برنولي	• يفسِّرُ بعضَ الظواهرِ مُستخدِمًا معادلةَ برنولي.	- ما معادلة برنولي بالرموزِ وبالكلماتِ؟



المبدعُ الصغيرُ



- ماذا تفعلُ يا فارسُ؟
- أودُّ لوْ أريكَ ما يبهرُكَ يا أبي.
- أنتظرُ إبداعَكَ بُنَيَّ.
- انظرْ يا أبي إلى هذينِ البالونينِ، ولاحظْ كيفَ أستطيعُ أنْ أقربَهما منْ بعضِهما دونَ لمسِهما، وذلكَ بالنفخِ بقوةٍ بينَهما فقطْ.

- رائعٌ يا بُنَيَّ.
- انظرْ يا أبي أيضًا كيفَ سأرفعُ هذِهِ الكرةَ الموجودةَ في هذِهِ الكأسِ.
- يا لَكَ منْ مبدعٍ يا صغيري، ولكنْ، كيفَ حدثَ ذلكَ؟

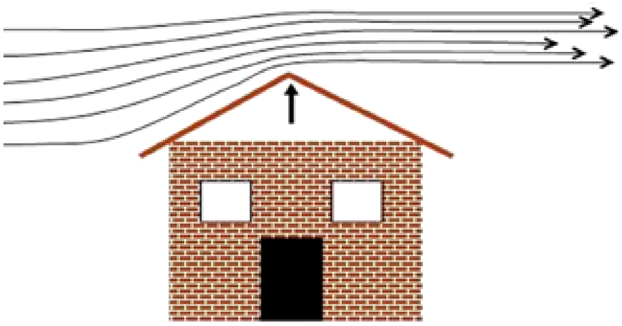
أتهيَّأُ

أحاول إجابةَ الأسئلةِ الآتيةِ:

- معظمُ البناياتِ تحتاجُ إلى مضخاتِ ماءٍ؛ لإيصالِ المياهِ إلى خزاناتِ الماءِ فوقَ الأسطحِ، فما قدرةُ المضخةِ المناسبةُ؟
- عندَما تمرُّ شاحنةٌ مسرعةٌ بجانبِ سيارتِنا في أثناءِ سيرِها، أشعرُ أنها تجذبُ سيارتَنا تجاهَها، لماذا؟
- كيفَ تطيرُ الطائرةُ؟ وما علاقةُ شكلِ الجناحِ بذلكَ؟
- كيفَ ينتشرُ العطرُ السائلُ عندَ الضغطِ على كبسةِ قارورةِ العطرِ في أرجاءِ الغرفةِ؟

أستطيعُ إجابةَ هذِهِ الأسئلةِ وغيرِها بعدَ دراسةِ معادلةِ برنولي، هيّا بنا.

أكتشفُ



1- تتطايرُ أسقفُ الزينكو غيرُ المثبتةِ جيدًا عندَ هبوبِ رياحٍ شديدةٍ.

2- كيف أفسرُ ذلكَ؟

3- أسمعُ فنيَّ التمديداتِ الصحيةِ يقولُ: "هذِهِ البنايةُ مرتفعةٌ، ونحتاجُ إلى مضخةِ ماءٍ قدرتُها كبيرةٌ؛ لكيْ ندفعَ الماءَ في الأنابيبِ إلى أعلى"، فما علاقةُ الارتفاعِ بضغطِ الماءِ؟

4- إنَّ العلاقةَ التي تربطُ ضغطَ المائعِ وسرعتَهُ بالارتفاعِ تسمى معادلةَ برنولي، فما هيَ معادلةُ برنولي؟

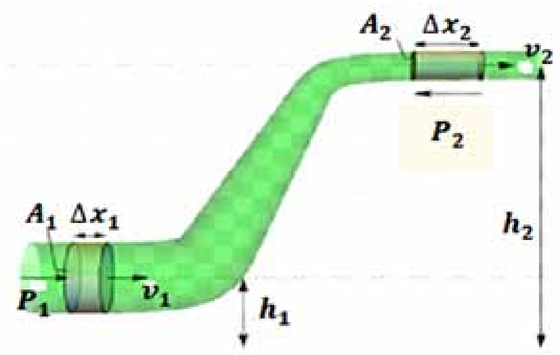
أُفسِّرُ

معادلةُ برنولي تعبِّرُ عنْ حفظِ الطاقةِ عندَ النقاطِ جميعِها على طول مجرى المائعِ المثاليِّ.

حفظُ الطاقةِ

الطاقةُ الحركيةُ	+	طاقةُ الوضعِ	=	شغلُ القوةِ
$\frac{1}{2}mv^2$	+	mgh	=	$F.\Delta x = PA\,\Delta x$

أستفيدُ منَ الشكلِ الآتي لأتعرّف هذِهِ الكمياتِ.



يُقصَدُ بحفظِ الطاقةِ أنَّ الشغلَ المبذولَ على المائعِ، جزءٌ منهُ يُكسِبُ المائعَ طاقةً حركيةً، والجزءُ الآخرُ تختزن فيهِ طاقة كامنة عَلى طول مجرى الجريانِ.

أيْ أنَّ:

$$mgh + \frac{1}{2}mv^2 + PA\Delta x = Constant$$

ولإيجادِ طاقةِ وحدةِ الحجومِ (الطاقةِ على الحجمِ)، نقسمُ حدودَ المعادلةِ السابقةِ جميعَها على الحجمِ $(V = A\Delta x)$.

$$\frac{mgh}{A\Delta x} + \frac{mv^2}{2A\Delta x} + \frac{PA\Delta x}{A\Delta x} = Constant$$

ولأنَّ كثافةَ المائعِ ($\rho_f = \frac{m}{A\Delta x}$) ثابتةٌ للمائعِ المثاليِّ، ستصبحُ المعادلةُ كما يأتي:

$$\rho_f gh + \frac{1}{2}\rho_f v^2 + P = Constant$$

معادلةُ برنولي تنصُّ على أنَّ:

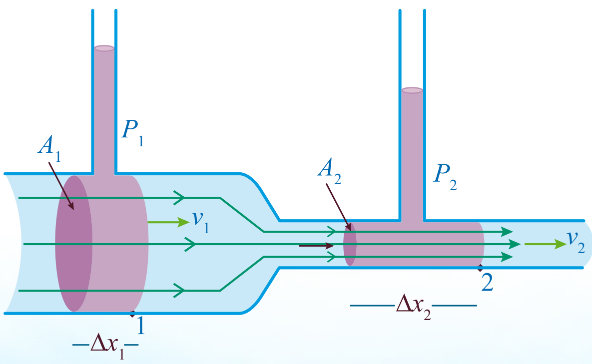
مجموعَ الضغطِ والطاقةِ الميكانيكيةِ (طاقةُ الوضعِ + طاقةِ الحركةِ) لوحدةِ الحجومِ، يساوي مقدارًا ثابتًا عَلى طولِ مجرى المائعِ المثاليِّ.

أفترضُ أنَّ مجرى المائعِ أفقيٌّ ($h_1 = h_2$)، فكيفَ ستصبحُ معادلةُ برنولي؟

الحدُّ منْ معادلةِ برنولي الذي يُعبِّرُ عنْ طاقةِ وضعِ وحدةِ الحجومِ سوفَ يُلغى، وعليه تصبح المعادلة:

$$\frac{1}{2}\rho_f v^2 + P = Constant$$

ولكنْ، أحبتي الطلبةَ، قبلَ أنْ نكملَ، هلْ تستطيعونَ معرفةَ الموضعِ الذي يكونُ فيهِ ضغطُ المائعِ أكبرَ؟ أنظرُ إلى الشكلِ المجاورِ.



- أجلْ، في الموضعِ (1)؛ بسببِ ارتفاعِ المائعِ في الأسطوانةِ.

لنعدْ إلى معادلةِ برنولي، ماذا ستصبحُ؟

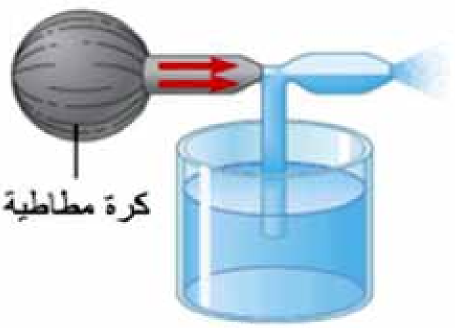
$$\frac{1}{2}\rho_f v_1^2 + P_1 = \frac{1}{2}\rho_f v_2^2 + P_2$$

منْ معادلةِ الاستمراريةِ، فإنَّ $(v_1 < v_2)$، لماذا؟ وعليهِ، فإنَّ $(P_1 > P_2)$، ماذا أستنتجُ؟

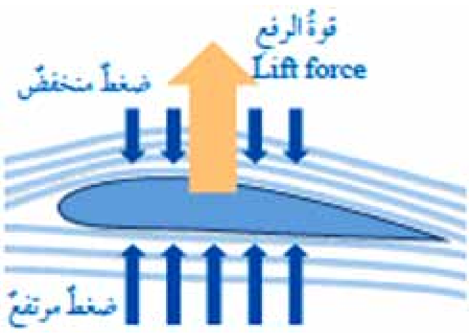
كلما زادَتْ سرعةُ المائعِ، قلَّ ضغطُهُ، والعكسُ صحيحٌ. عندَما يكونُ جريانُ المائعِ أفقيًّا.

وهذا يفسرُ بعضَ الظواهرِ، مثلِ:

- **تطايرِ أسقفِ الزينكو** غيرِ المثبتةِ جيدًا، فكلما زادَتْ سرعةُ الهواءِ، قلَّ ضغطُهُ، فيصبحُ الضغطُ أسفلَ الأسقفِ أكبرَ منْ أعلاها، فتُقتلَعُ من مكانِها طائرةً.
- **عملِ المرذاذِ:** عندَما تُضغَط الكرة المطاطية، يُدفَعُ الهواءُ باتجاهِ الأسهمِ، فيقلُّ الضغطُ في الأنبوبِ أعلى السائلِ، ما يؤدي إلى تدفقِهِ إلى الأعلى خارجًا منَ الفتحةِ الجانبيةِ رذاذًا.
- **تصميمِ أجنحةِ الطائراتِ:** حيثُ يكونُ الهواءُ أسرعَ فوقَ الجناحِ بسببِ تحدبِهِ؛ ما يقلِّلُ ضغطَهُ مقارنةً بضغطِ الهواءِ أسفلَ الجناحِ، وفرقُ الضغطِ يرفعُ الطائرةَ.



المرذاذ



أُطبِّقُ

علامَ يعتمدُ اختياري قدرةَ مضخةِ ماءٍ في بنايةٍ؟

أُقيِّمُ تعلُّمي

أصحّحُ العباراتِ الآتيةَ:

1 - معادلةُ برنولي تُعبِّرُ عنْ حفظِ طاقةِ المائعِ الميكانيكيةِ على طولِ مجراهُ.

....

2 - وحدةُ قياسِ الضغطِ تساوي وحدةَ قياسِ طاقةِ الوضعِ.

....

3 - عندَ جريانِ مائعٍ أُفقيًّا فإنهُ كلّما زادَتْ سرعتُهُ، زادَ ضغطُهُ، والعكسُ صحيحٌ.

....

4 - معادلةُ برنولي تنصُّ على أنّه كلما زادَتْ مساحةُ مقطعِ المائعِ، قلَّتْ سرعتُهُ، والعكسُ صحيحٌ.

....

5 - إذا كانَ المائعُ ساكنًا في موقعٍ ما، فإنَّ طاقةَ وضعِ وحدةِ الحجومِ عندَ ذلكَ الموقعِ تساوي صفرًا.

....

تمّ بحمدِ اللّهِ