الجمهورية العربية السورية
وزارة التربية والتّعليم

الفيزياء

الصف العاشر العلمي

2025 – 2026 م

طبع أول مرة للعام الدراسي 2018 – 2019 م

الفهرس

الوحدة الأولى: الحركة والتحريك

الوحدة الثانية: المادة والحرارة

الوحدة الثالثة: الكهرباء

الوحدة الرّابعة: الضّوءُ

الوحدة الأولى الحركةُ والتحريّك

1-1 الحركة

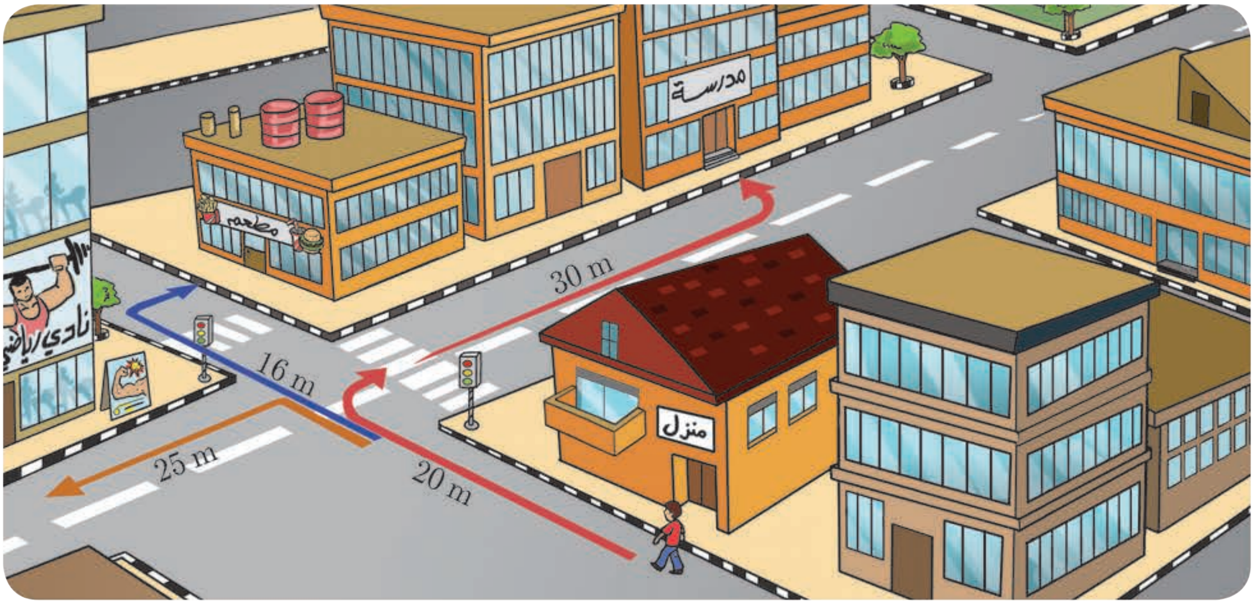
الأهداف:

* يتعرَّف الجملَ المرجعيّة وجمل المُقارَنة.
* يتعرَّف المسافةَ والفاصِلة والإزاحة.
* يتعرَّف شعاعَ السُّرعة.
* يوازن بينَ السُّرعة الوسطى والسُّرعة اللحظية.
* يميّز بينَ السُّرعة الثابتة والسُّرعة المُتغيِّرة.
* يرسم الخطّ البياني لتغيرات المسافة بدلالة الزّمن.
* يفسّر الخطّ البياني لتغيرات المسافة بدلالة الزّمن.
* يتعرَّف شعاع التسارع.
* يميز بين التسارع الوسطي والتسارع اللحظي.
* يرسم الخطّ البياني لتغيُّرات السُّرعة بدلالة الزّمن.
* يفسّر الخطّ البياني لتغيُّرات السُّرعة بدلالة الزّمن.

الكلمات المفتاحية:

* السُّرعة الوسطى Average Velocity
* السُّرعة الآنية Instantaneous Velocity
* التسارُع Acceleration

ألاحظُ وأجيبُ:

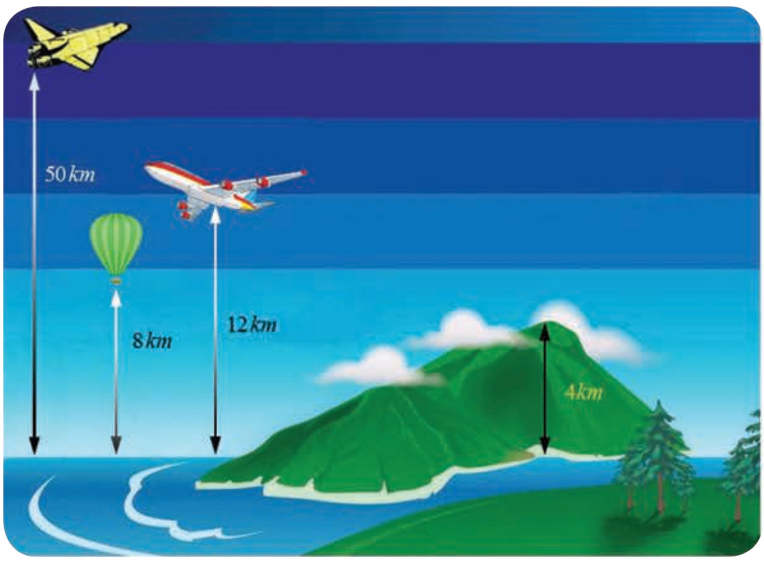


أُنعِمُ النّظر في الشّكل السّابق، وأجيبُ عن الأسئلة الآتية:

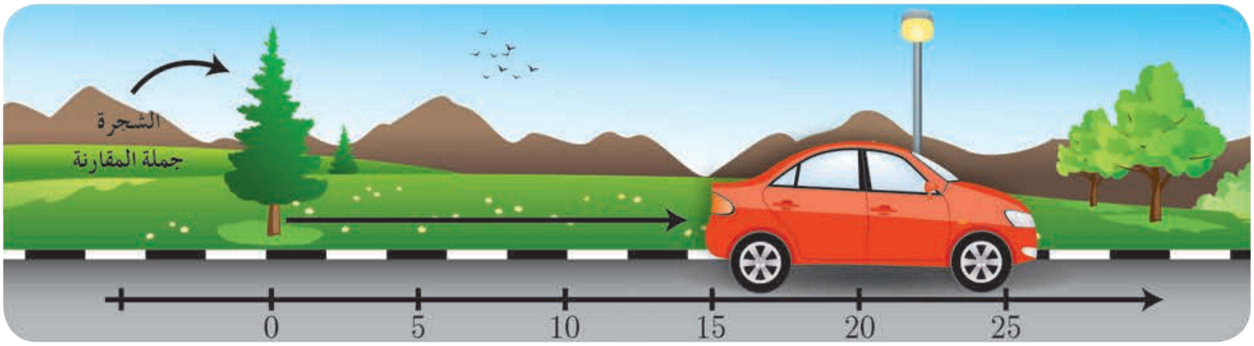
1. ما هي المسافةُ بين المنزل والمدرسة الثانويّة؟
2. هل المسافةُ بين المنزل والنادي الرياضيّ تساوي المسافة بينَ المنزل والمطعم؟
3. إذا انطلقتَ من المنزِل إلى المدرسة صباحاً، وبعد انتهاء الدوام عُدتَ إلى النادي، ثمَّ عدتَ إلى المنزل، ما هي المسافة التي قطعتَها؟
4. ما المكانُ المُشترَك في الأسئلة السّابقة؟ وما المقدارُ الفيزيائيّ المُتغيّر بالنسبة للمكان المُشترَك؟

- من خلال المُناقَشة السابقة ستلاحظُ أنَّ قياسَ المسافة بين جسمٍ مُعيَّن وجسمٍ آخر يحتّمُ علينا اختيارَ أحدهما كمرجعٍ ثابت، وهذا الجسم المرجِعي الذي لا يغيّر موضعَه بالنسبة للأرض يُسمَّى بالجملة المرجعيّة.

5. في الشَّكل الآتي: ما الجملةُ المرجعيّة برأيك؟



6. بهدفِ مراقبة جسمٍ ساكن أو مُتحرِّك بشكلٍ دقيق، يمكنُ أن ندعوَ الجملةَ المرجعيّة بجملة مقارنة. ومن جمل المُقارَنة:

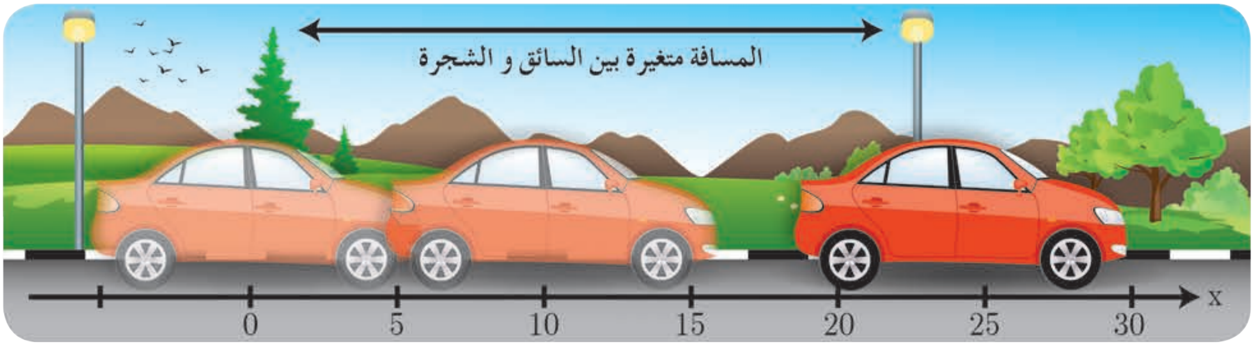


جملة المقارنة على مستقيم

جملة مقارنة في المستوي

جملة مقارنة في الفراغ

وقد يكونُ الجسمُ ساكِناً ومُتحرِّكاً في آنٍ واحدٍ، وذلك بالنّسبة لجملَتي مُقارَنة مُختلِفتَين. حيثُ يُلاحَظ أنّ السّائق ساكِن بالنّسبة للسيّارة، ومُتحرِّك بالنّسبة للشّجرة على طرفِ الطّريق كما في الشّكل الآتي.



أستنتجُ: نقولُ عن جسمٍ ما بأنَّه مُتحرِّك بالنّسبة لجملة مقارنة إذا تغيَّر موضعَه عنها بتغيُّر الزّمن.

وتُصنَّف جمل المُقارَنة بالنّسبة للمُراقِب إلى:

- جملة مُقارَنة خارجيّة: المُراقِب الذي يصفُ الحركة غيرُ مُرتبِط بالجسم المُتحرّك.
- جملة مُقارَنة داخليّة: المُراقِب الذي يصفُ الحركة مُرتبِط بالجسم المُتحرِّك.

- لدراسة حركة جسمٍ ما لا بدَّ من تحديد: جملة مُقارَنة، وحدة قياس مُناسِبة ومبدأ لقياس الزّمن.

1-2 المسافة والفاصِلة وشعاع الإزاحة

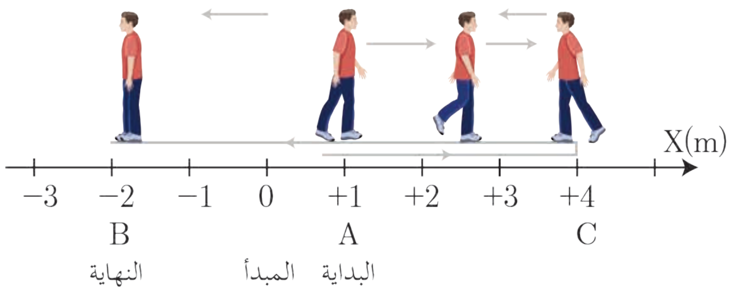
ألاحظُ وأجيبُ:

يتحرَّك باسلٌ على طريق أفقيَّة مُستقيمة.

أنعِم النّظر في الصّورة المُقابِلة وأجيبُ:

ما طولُ المَسار الذي سلكه باسلٌ:

- من A إلى C؟
- من C إلى B؟
- من A إلى B مروراً بالنقطة C؟



1-2-1 المسافة:

أستنتج:

المسافةُ: هي طولُ المسار الذي يسلكُه الجسمُ المُتحرِّك في أثناء حركته بغضّ النَّظر عن جهةِ الحركة، وهي مقدارٌ موجِبٌ دوماً، وحدتُه في الجملة الدوليّة هي المتر.

نشاط (1):

إذا أخذنا اتّجاه المحورَ بعين الاعتبار في الشّكل السّابق:

- ما بعد النقطة A مكانُ انطلاق باسل عن مبدأ الإحداثيّات O؟
- ما بعد النقطة B مكانُ وصول باسل عن مبدأ الإحداثيّات O؟

2-2-1 الفاصلة:

أستنتجُ:

الفاصلة: تعبيرٌ للدّلالة على البعد بين نقطة من المحوَر الموجَّه، ومبدأ الإحداثيات (O)، وتُقرَن الفاصلة بالإشارة $(+)$ للقياس بالاتّجاه الموجِب للمحوَر وبالإشارة $(-)$ للقياس بالاتّجاه السّالب للمحوَر.

ملاحظة:

يمكنُ حساب البعد بينَ النقطتين A و B من محوَر موجَّه بالعلاقة:

البُعدُ بين نقطتَين من محورَ موجَّه = الفاصِلة النهائيّة − الفاصِلة الابتدائية

كالآتي:

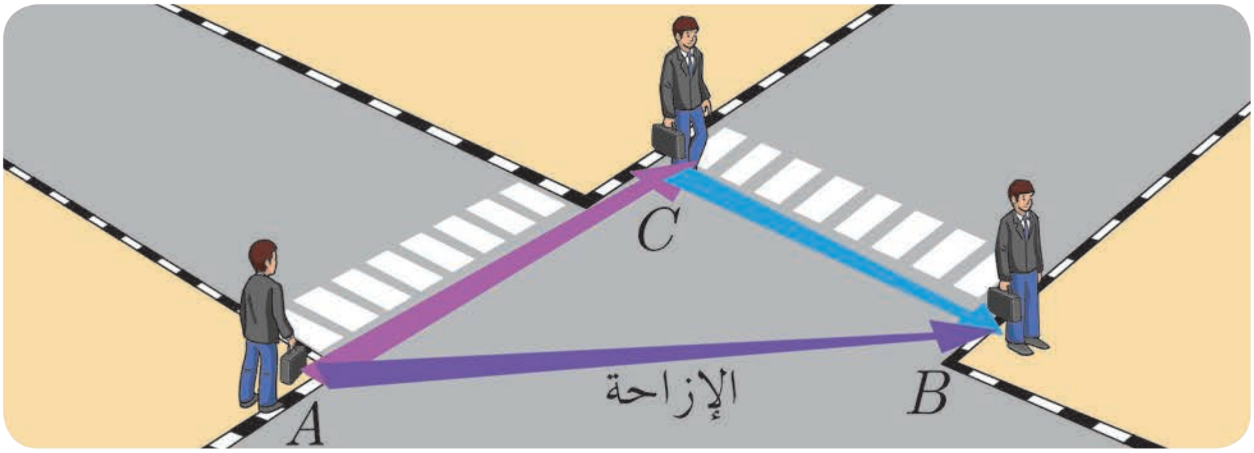
$$AB = X_B - X_A = (-2) - (+1) = -3\ \text{m}$$

تدلُّ الإشارةُ السّالبة على أنَّنا نسيرُ بالاتّجاه السّالب للمحوَر.

3-2-1 شعاع الإزاحة:

ألاحظُ وأستنتجُ:

أرادَ باسلٌ عبور الشّارع من الموضع A إلى الموضع C، قاطعاً مسافة $8\,m$، ثمَّ عبور الشارع الثاني من الموضع C إلى الموضع B، قاطعاً مسافة أخرى قدرُها $6\,m$ الموضَّح في الشَّكل:



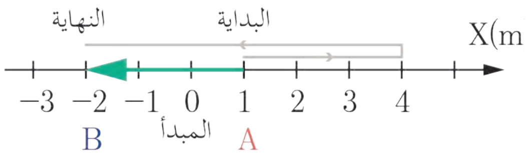
- ما المسافة الكلية التي قطعها باسل؟
- ما طول القطعة المستقيمة الموجّهة AB؟

نسمّي القطعة المُستقيمة الموجَّهة $\overrightarrow{AB}$ **بشعاعِ الإزاحة** $\overrightarrow{\mathbf{AB}}$.

وهو شعاعٌ يتَّجه من الموضِع الابتدائي إلى الموضِع النّهائي للمُتحرّك وطويلتُه تساوي البُعد بينَ الموضعَين.

تطبيق (1)

أنظرْ إلى الشَّكل المُجاورِ، وأجيبُ عن الآتي:



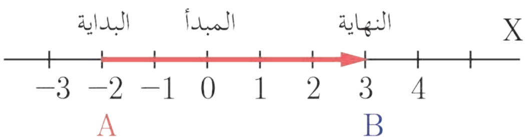
- ما مقدارُ الإزاحة من الموضع A إلى الموضع B؟
- ما طويلةُ شعاع الإزاحة $\overrightarrow{AB}$؟

بتطبيق علاقة البُعد بين نقطتَين، نجدُ مقدارَ الإزاحة: $AB = x_B - x_A = (-2) - (+1) = -3\,m$

طويلةُ شعاع الإزاحة $\overrightarrow{AB}$ تمثِّلُ الإزاحة من النّقطة A إلى النّقطة B وتساوي $3\,m$.

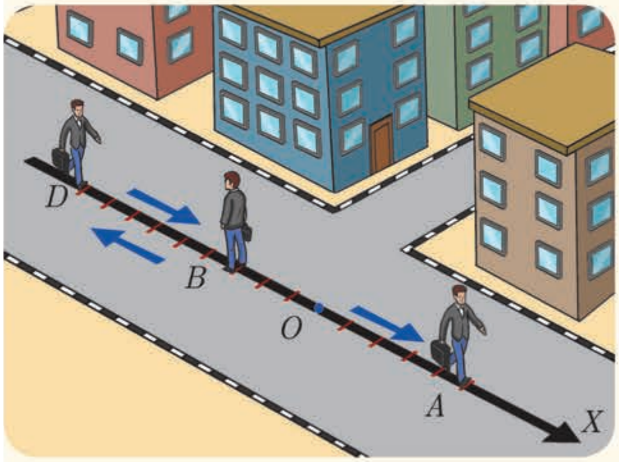
ملاحظة:

يمكنُ إيجاد طويلة شعاع الإزاحة من الرّسم مباشرةً.



أختبر نفسي

1. انظر إلى الشّكل المُجاور، وحدِّد طويلة شعاع الإزاحة $\overrightarrow{AB}$؟
2. انطلقَ شخصٌ من النقطة B فاصلتُها (-3) باتّجاه النقطة D فاصلتها (-9)، ثمَّ عادَ باتّجاه النقطة A فاصلتُها $(+5)$.



المطلوب:

- حسابُ المسافة التي قطعَها الشخصُ.
- ما هي جهةُ شعاع الإزاحة الحاصِل؟ حدِّد بدايتَه ونهايتَه وطويلتَه

1-3 مفهومُ السُّرعة:

1-3-1 السُّرعة الوسطى v_{avg}

نشاط (2):

انطلقَت سيّارتان في اللّحظة ذاتِها من مدينة دمشق، فقطعتا مسافةَ 160 km لتصلا إلى مدينة حمص خلال زمنٍ قدرُه ساعتان، السيّارة الأولى تابعَت الرّحلة من دونِ توقُّف. أمّا السيّارة الثانية، فتوقّفَت للتزوُّد بالوقود ثمَّ تابعَت طريقَها لتصلَ إلى حمصَ، ومع ذلك وصلتا في اللّحظة ذاتها، **فكِّر ثم أجِبْ**:

1. احسُب سرعةَ كلٍّ منهما؟
2. هل النتيجةُ مُقنِعةٌ ودقيقة؟
3. هل للسيّارتَين السُّرعةُ ذاتُها على طول المَسار، فسِّر ذلك؟

السُّرعة الوسطى عدديّاً: هي المسافةُ المقطوعة مقسومةً على الزّمن اللازم لقطعها:

$$v_{avg} = \frac{\overline{M_1M_2}}{\Delta t} = \frac{\Delta X}{\Delta t} = \frac{\text{المسافة المقطوعة}}{\text{الزمن}}$$

السُّرعة الوسطى لا تُعطي القيمة الدقيقة للسُّرعة.

2-3-1 السُّرعة الآنية v

ألاحظُ وأجيبُ:

هل السيَّارة مُتحرِّكة؟ وما قيمةُ سرعتها؟

إنَّ القراءةَ المُباشَرة للقيمة التي تظهر على عدَّاد السُّرعة في سيَّارة مُتحرِّكة يدلّنا عمليّاً على القيمةَ اللحظية للسُّرعة، وهي أكثرُ دقَّةً من السُّرعة الوسطى، فهي تصفُ التغيُّرات الصّغيرة في المسافة خلالَ فواصلَ زمنيّةٍ صغيرة جدّاً.

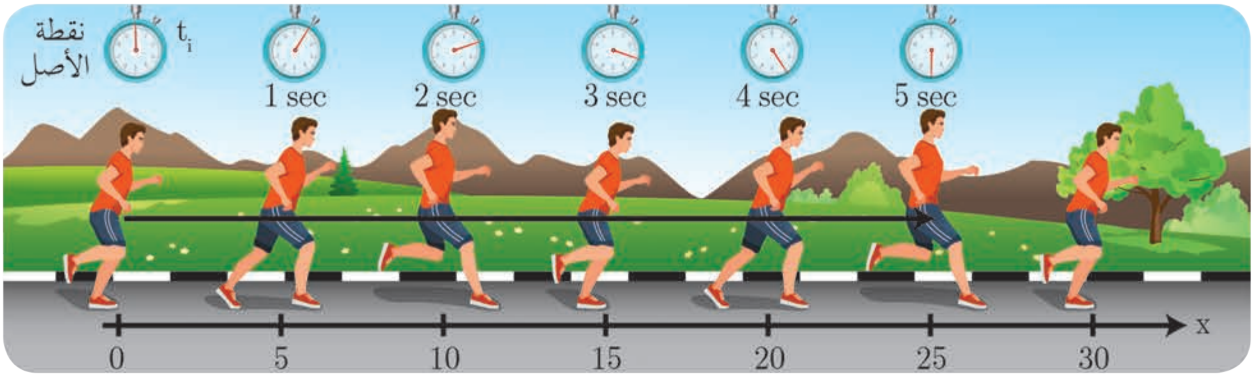
أي تؤول السُّرعة الوسطى إلى السُّرعة الآنية أو اللحظيّة عندَما يكونُ التغيُّرُ في المسافة صغيراً خلالَ فاصلٍ زمنيّ صغيرٍ جدّاً $v = \frac{dx}{dt}$

3-3-1 السُّرعة الثابِتة والسُّرعة المُتغيِّرة

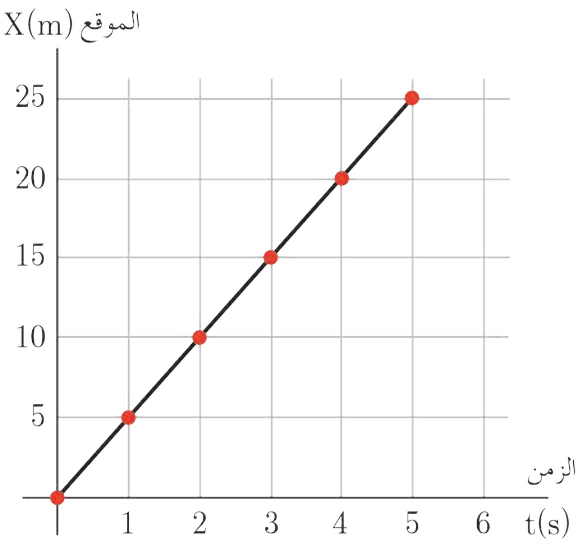
كيف نحكمُ على جسمٍ أنَّه يتحرَّك بسرعةٍ ثابتة؟

ألاحظُ وأستنتج:

يجري عدَّاء على طريقٍ مُستقيمٍ، حيث تتغيَّرُ فاصلتُه (موقعُه) بتغيُّر الزّمن وفقَ الجدول الآتي:



الزمن (s)	الموقع (m)
0	0
1	5
2	10
3	15
4	20
5	25



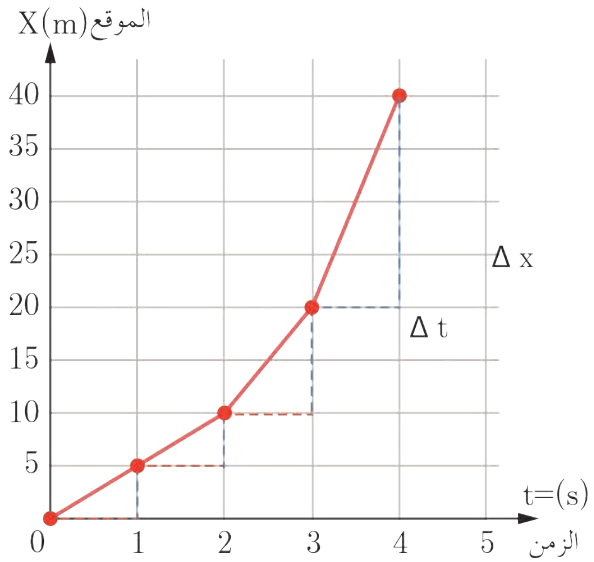
1. احسب النّسبة $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ في القياسات السّابقة. ماذا أستنتج؟
2. احسب ميلَ الخط البياني.
3. قارن بينَ النتائج التي حصلت عليها. ماذا أستنتج؟
4. توقّع ما هي فاصلةُ العدّاء في اللّحظات: $t = 6\,\text{s}$ ،$t = 7\,\text{s}$ ؟

أستنتجُ:

- تكونُ سرعةَ المُتحرّك ثابتةَ القيمة، إذا قطعَ المُتحرّك مسافاتٍ مُتساويةٍ خلال فواصلَ زمنيّة مُتساوية.
- ندعو ميل الخط البياني السّابق (المُستقيم) بالسُّرعة اللّحظية.
- $v = v_{avg} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = const$

ألاحظُ وأستنتج:

لدينا الخطّ البياني الآتي الذي يصفُ تغيُّر موضِع جسم خلال فواصلَ زمنيَّة مُتساوية، قيمةُ كلّ منها ثانيةٌ واحدة:



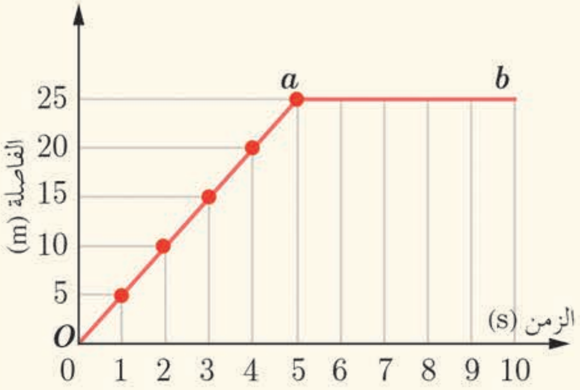
الموقع (m)	الزمن (s)
0	0
5	1
10	2
20	3
40	4
45	5

1. أحسبُ النّسبة $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ لكل موضعين متتاليين.
2. هل النّسب السّابقة مُتساوية؟
3. ماذا أستنتجُ؟

أستنتجُ: تكونُ سرعةُ المُتحرّك غيرَ ثابتة القيمة إذا قطعَ مسافاتٍ غيرَ مُتساوية خلالَ فواصلَ زمنيّة مُتساوية.

ويلاحَظُ أنَّ الخطَّ البياني لتغيُّرات المسافة بتغيُّر الزّمن في حالة السُّرعة غيرِ الثابتة ليسَ مُستقيماً.

أختبر نفسي



1. يصفُ الرّسم البياني الآتي تغيُّر فاصلة جسمٍ مُتحرّك بتغيُّر الزّمن. **المطلوب:** أجيبُ عن الأسئلة:

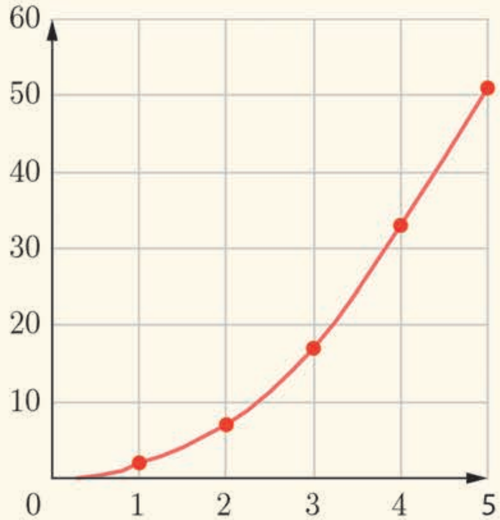
a. ما فاصلةُ الجسم في الثانية الثالثة من حركته؟

b. ما اللّحظة الزّمنية التي تكونُ فيها فاصلةُ الجسم $20\,\mathrm{m}$؟

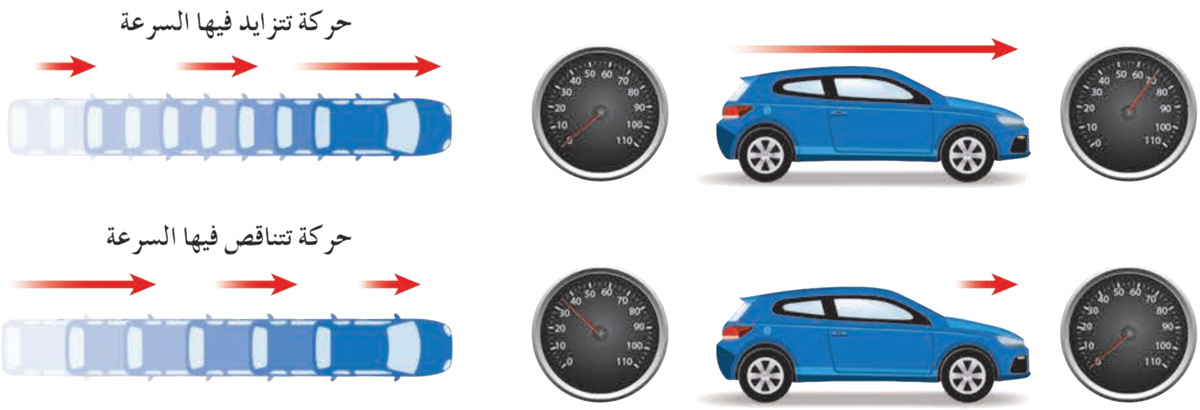
c. ما سرعةُ الجسم خلالَ المرحلة Oa؟ ولماذا؟

d. ما سرعةُ الجسم خلال المرحلة ab؟ ولماذا؟

2. يمثّل المنحني البياني الآتي تغيُّراتِ فاصلة، مُتحرّك مع الزّمن. هل سرعةُ الجسم ثابتةٌ أم مُتغيِّرة؟ ولماذا؟



4-1 التسارع (acceleration):

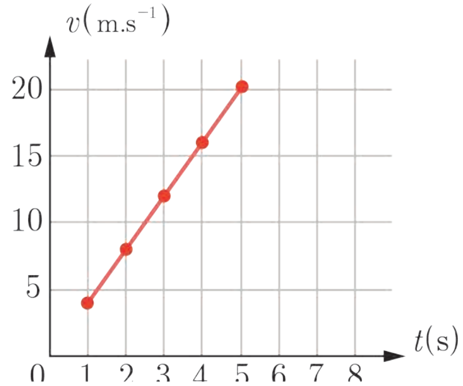


نشاط (3)

انطلقَت سيَّارة من السّكون، وسُجِّلَت قيمُ سرعتها في لحظاتٍ مُختلِفة، فكانَت كما في الجدول الآتي:

السُّرعة $(m.s^{-1})$	0	4	8	12	16	20
الزمن (s)	0	1	2	3	4	5

$\frac{\Delta v}{\Delta t}$	$\frac{4-0}{1-0}$	$\frac{8-4}{2-1}$	$\frac{12-8}{3-2}$	$\frac{16-12}{4-3}$	$\frac{20-16}{5-4}$

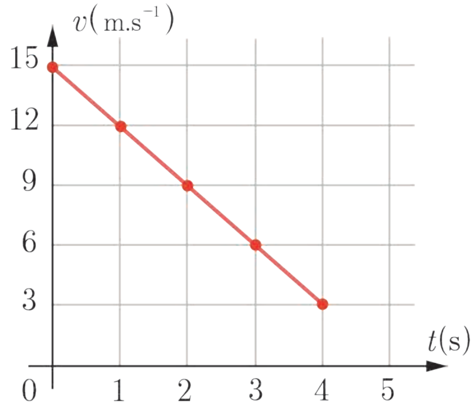


1. هل تتغيَّر قيمةُ السُّرعة؟ وما قيمةُ التغيُّر الحاصل؟
2. احسب قيمةَ النّسبة $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ ، ماذا أستنتج؟
3. احسب ميلَ الخطّ البياني (المُستقيم) المرسوم.
4. قارِن بينَ النتائج التي حصلت عليها. ماذا أستنتج؟

نشاط (4)

استخدمَ سائقٌ مكابحَ سيارته، فتغيَّرَت سرعةُ السيّارة وفقَ القيم كما في الجدول الآتي:

السُّرعة $(m.s^{-1})$	15	12	9	6	3
الزمن (s)	0	1	2	3	4



1. هل تزدادُ قيمةُ سرعة الجسم أم تنقصُ بمرور الزّمن؟
2. احسب قيمة النسبة $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ ، هل هي ثابته؟
3. احسب ميل الخط البياني (المستقيم) المرسوم.
4. قارن بين النتائج التي حصلت عليها. ماذا تستنتج؟
5. توقّع كم ستكونُ قيمةَ السُّرعة عندمَا $t = 5\,s$ ؟

1-4-1 التّسارُع الوسطي a_{avg}

نعرّف التسارُع الوسطي a_{avg} بين اللّحظتين t_1 و t_2 تكونُ فيهما سرعةُ المُتحرّك v_1 و v_2 على التّرتيب بالعلاقة:

$$a_{avg} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

ووحدته في الجملة الدولية هي $m.s^{-2}$

تمرين:

تنطلقُ سيّارة من السّكون (سرعتُها الابتدائيّة معدومة)، وبعدَ خمس ثوانٍ من بدء الزّمن بلغَت سرعتُها $20\ m.s^{-1}$. المطلوبُ: احسب تسارُعَها الوسطي.

2-4-1 التّسارُع الآني a

نعرّف التسارُع الآني a بأنَّه التسارُع الوسطي الذي نحصلُ عليه من تغيُّر قيمة السُّرعة بمقدارٍ صغيرٍ dv عندما يبلغُ الفاصلُ الزّمني قيمةً صغيرة جدّاً dt ، ويعبَّر عنه بالعلاقة:

$$a = \frac{dv}{dt}$$

إضاءة

نقولُ عن حركةٍ أنَّها مُتسارِعة، إذا ازدادَت سرعتُها بتغيُّر الزّمن

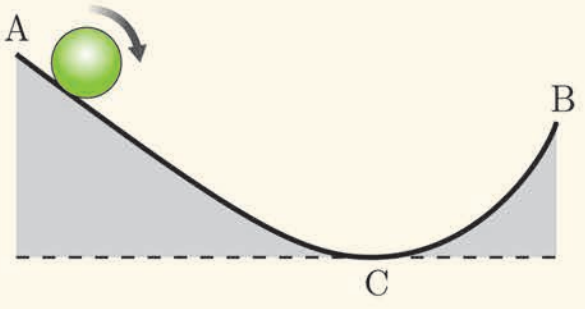
متسارعة

نقولُ عن حركةٍ أنَّها مُتباطِئة، إذا تناقصَت سرعتُها بتغيُّر الزّمن

متباطئة

أختبر نفسي

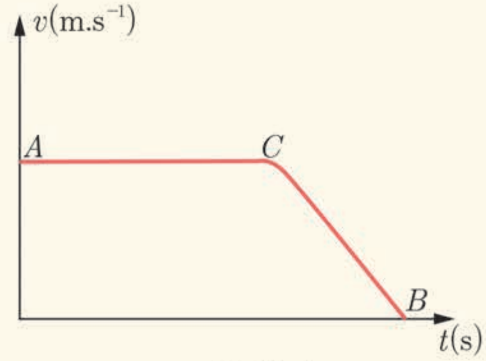
1. يبدأُ دولابٌ حركتَه من السّكون من النقطة A في قمّة مُنحدَرٍ أملسَ، كما في الشكل الآتي، ليصلَ إلى النّقطة C، ثمَّ يتابعُ حركتَه صعوداً نحوَ الأعلى ليصلَ إلى النّقطة B. **المطلوب**:



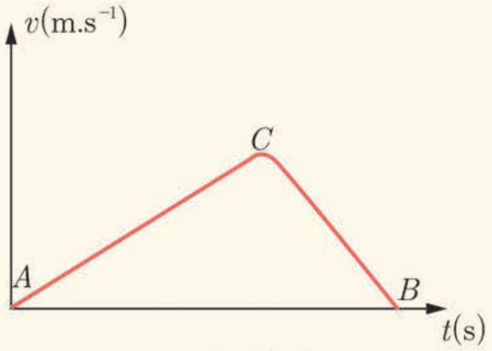
a. هل حركتُه من A إلى C مُتسارِعة أم مُتباطِئة؟

b. هل حركتُه من C إلى B مُتسارِعة أم مُتباطِئة؟

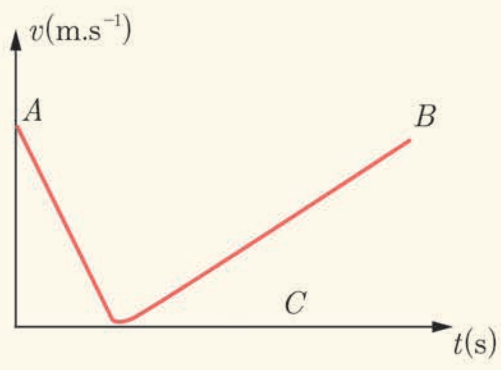
c. أيُّ شكلٍ من الأشكال الآتية يعبّر عن تغيُّر سرعة الدّولاب في أثناء حركته من إلى A إلى B:



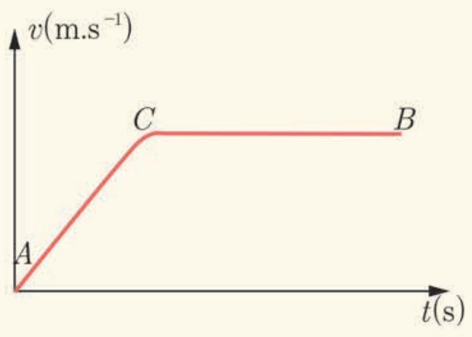
الشكل (1)



الشكل (2)

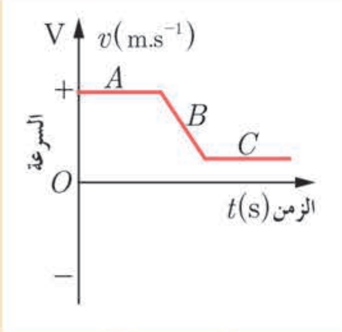
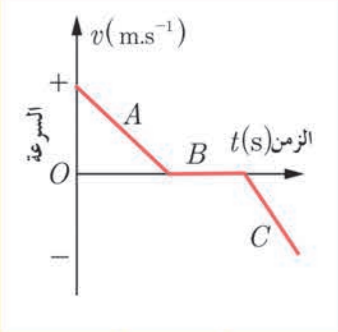
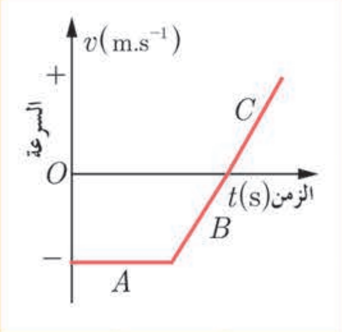


الشكل (3)



الشكل (4)

2. أمعِن النّظر في الرّسوم البيانيّة الآتية التي تبيّن الحالة الحركيّة لجسم مع مرور الزّمن، ثمّ أكمل الجدول الآتي:

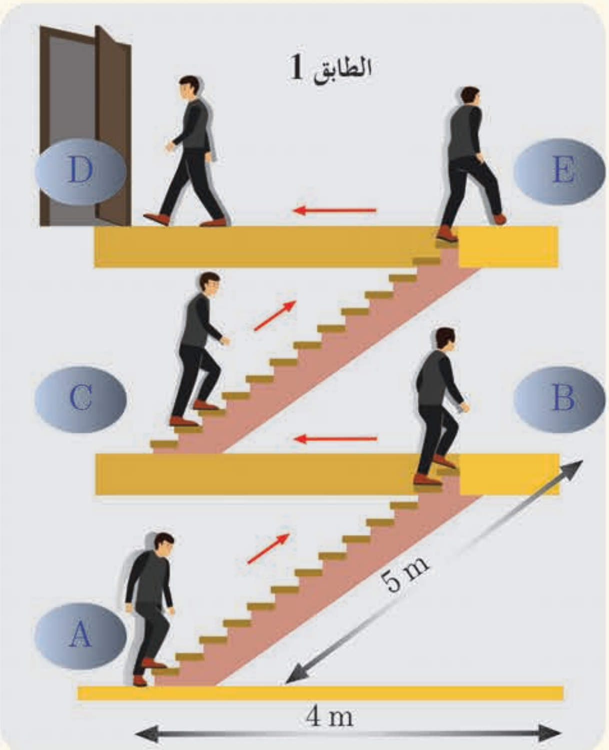
الشكل									
مراحلُ حركة الجسم	مرحلة A	مرحلة B	مرحلة C	مرحلة A	مرحلة B	مرحلة C	مرحلة A	مرحلة B	مرحلة C
هل الجسمُ ساكن أم مُتحرك بسرعةٍ ثابتةٍ أم مُتغيِّرةٍ									
هل حركةُ الجسم مُنتظَمةٌ أم مُتسارِعة أم مُتباطِئة									

3. يصعدُ طالبٌ من الصّف الأوّل الثانوي إلى غرفة الصّف وفقَ الشّكل المُبيَّن:

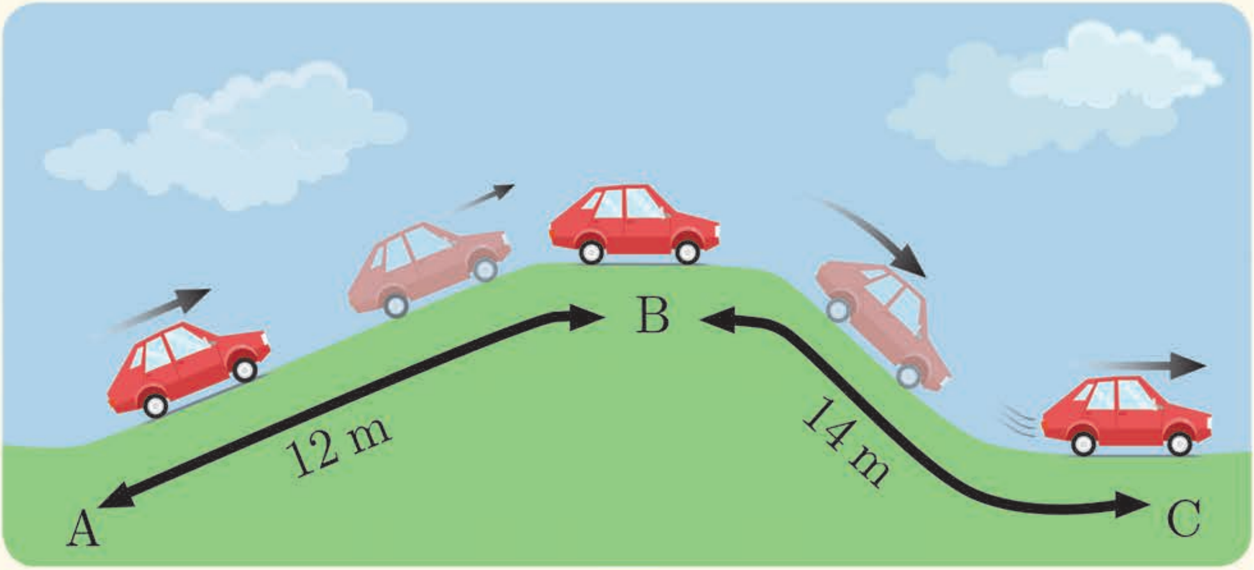
a. ماهي المسافةُ التي قطعَها ليصلَ إلى غرفةِ الصّف؟

b. ما هو شعاعُ الإزاحة الحاصل؟

c. احسب المسافة الشّاقوليّة AD .



4. تتحرَّك سيَّارة وفقَ الشّكل أدناه فإذا كانَت:



سرعتُها عند A : $v_A = 18\,\mathrm{m.s^{-1}}$

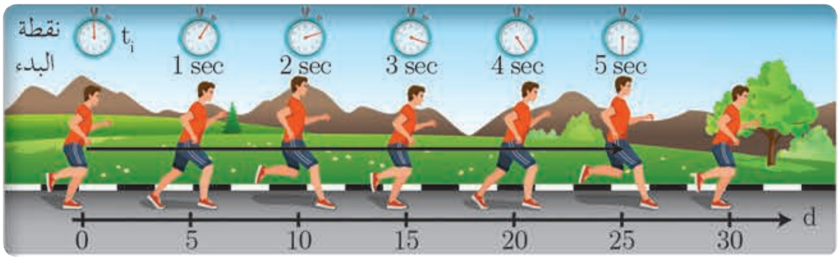
وسرعتُها عند B : $v_B = 2\,\mathrm{m.s^{-1}}$

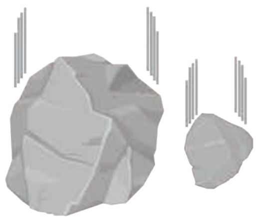
وبلغَت سرعتُها عندَ النقطة C $v_C = 10\,\mathrm{m.s^{-1}}$، كما أنَّها استغرقَت $8\,\mathrm{s}$ لقطع المسافة AB، و $5\,\mathrm{s}$ لقطع المسافة BC **المطلوب:**

a. قارِن بينَ سرعتِها الوسطى في مرحلة الصّعود، وسرعتِها الوسطى في مرحلة الهبوط.

b. ما قيمةُ التّسارع الوسطي في مرحلتَي الصّعود والهبوط؟ وما نوعُ الحركة في كلّ مرحلة؟

2-1 الحركةُ المُستقيمة



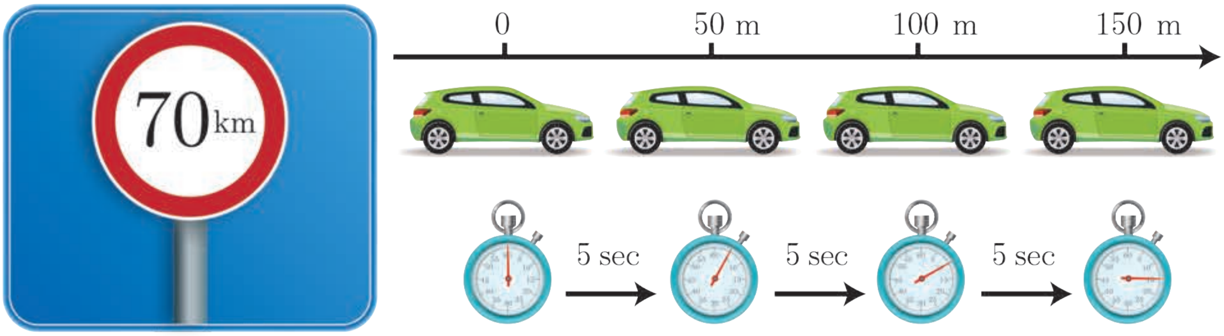


الأهداف:

* يتعرَّف الحركةَ المُستقيمة المُنتظِمة.
* يتعرَّف توابعَ الحركة المُستقيمة المُنتظَمة.
* يتعرَّف الحركةَ المُستقيمة المُتغيِّرة بانتظام.
* يتعرَّف توابعَ الحركة المُستقيمة المُتغيِّرة بانتظام.
* يستنتج حركةَ السّقوط الحرّ.
* يستنتج توابعَ حركة السّقوط الحرّ.
* يربط الحركةَ بمواقفَ حياتيّة.

ألاحظُ وأستنتج:

تُثبَّتُ على الطرقات العامّة كاميراتُ مُراقَبةٍ لحركة السيّارات، يتمُّ من خلالها رصدُ السُّرعة لتجنُّب حوادث المرور، وتُحدَّد السُّرعة بلوحةٍ مروريّة يُسجَّلُ عليها بشكلٍ واضحٍ حدودُ السُّرعة المسموح بها.
إحدى الكاميرات سجَّلت حركةَ سيّارة في الشّكل:



1. هل السيّارة الموضَّحة في الشَّكل تسيرُ ضمنَ حدود السُّرعة؟
2. هل تسيرُ السيّارة بسرعةٍ مُتزايدة أم مُتناقِصة أم ثابته؟

أستنتجُ: نقولُ عن حركةٍ إنّها مُستقِيمة مُنتظَمة إذا كانَ مسارُها مُستقيماً، وحافظَت سرعتُها على قيمةٍ ثابتة.

التابعُ الزّمنيّ في الحركةِ المُستقيمة المُنتظَمة (تابع الفاصلة): هو التّابع الذي يصفُ تغيُّرات الفاصلة بتغيُّر الزّمن.

ليكُن مبدأُ القياس (O) من محورٍ موجّه مُنطبِق على المَسار المُستقيم، ولتكن x_0 الفاصلة في اللّحظة $t = 0$ (الفاصلة الابتدائيّة)، x الفاصلة في اللحظة t

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$v = \frac{x - x_0}{t - t_0}$$

$$v = \frac{x - x_0}{t - 0}$$

بالحلّ نجدُ:

$$x = vt + x_0$$

وهو التّابع الزّمني للفاصلة في الحركة المُستقيمة المُنتظَمة، ويلاحَظ أنّه من الدرجة الأولى بالنّسبة للزمن.

تطبيق (1):

تتحرّك سيّارة على طريقٍ أفقيّة مُستقيمة بسرعةٍ ثابتة، حيث كانَت فاصلتُها $x_1 = 8\,\mathrm{m}$ في اللحظة $t_1 = 1\,\mathrm{s}$، وفي اللّحظة $t_2 = 3\,\mathrm{s}$ كانَت فاصلتُها $x_2 = -4\,\mathrm{m}$. **المطلوب:**

1. أوجِد التابع الزّمني للحركة بعد تعيّن قيم ثوابته.
2. هل جهةُ حركة السيّارة وفقَ جهة المحوَر أم عكس جهة المحوَر؟
3. ارسُم خطّاً بيانياً يبيّنُ تغيُّرات الفاصِلة بتغيُّر الزّمن.

الحلّ:

1. المَسار مُستقيمٌ والسُّرعة ثابِتة، فالحركةُ مُستقيمة مُنتظَمة. تابعُها الزّمني من الشّكل: $x = vt + x_0$

لنحدّد قيَم ثوابت التابع: x_0 و v

نعوِّض من أجل اللحظة الأولى: $8 = v(1) + x_0$ ....(1)

من أجل اللحظة الثانية: $(-4) = v(3) + x_0$ ....(2)

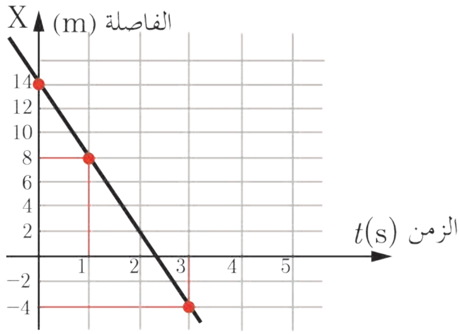
بالطرح نجدُ: $8 - (-4) = v - 3v$ ومنه $12 = -2v \Longleftarrow v = -6\ \mathrm{m.s^{-1}}$

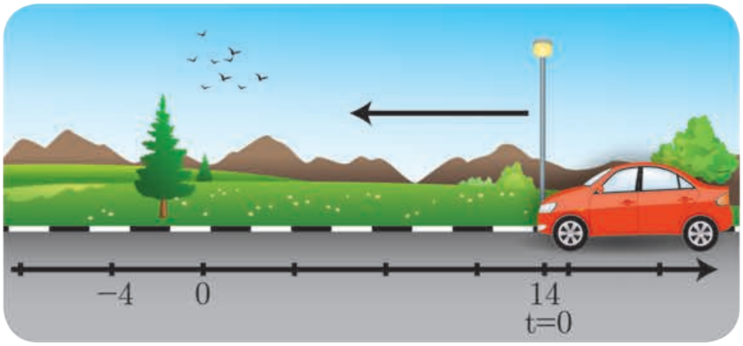
ومن أجل إيجاد الثابت الآخر نعوّض قيمةَ السُّرعة في إحدى المُعادَلتَين: مثلاً في (1):

$8 = (-6).(1) + x_0 \Longleftarrow x_0 = 14\ \mathrm{m}$ فالتابع الزّمني هو: $x = -6t + 14$

2. أستنتجُ من هذا التابع: أنّ الإشارة السالبة للسّرعة تدلّ على أن جهة حركة السيّارة بعكس جهة المحوَر.

3.





تطبيق (2)

تسيرُ درّاجتان على طريق أفقيّة مُستقيمة وفقَ التابِعين الزّمنيَين الآتيَين: الأول: $x + 2 = 4\,t$، والثاني: $3t = 1 - x$

المطلوب:

1. ما طبيعةُ حركة كلّ منهما، ولماذا؟

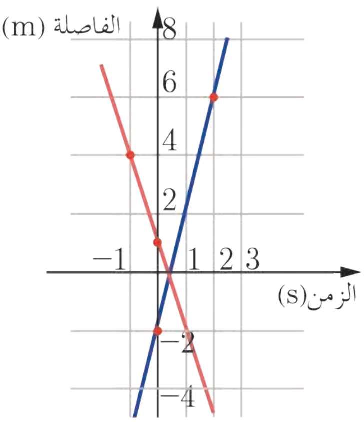
2. بيّن أيّ الدرّاجتَين أسرع؟

3. هل تسيرانِ بجهةٍ واحدة أم بجهتَين مُتعاكِستَين، ولماذا؟

4. مثّل بيانياً حركةَ كلّ منهما.

الحلّ:

1. بما أنَّ كلّاً من التابعَين من الدَّرجة الأولى، بالنّسبة للزّمن فالحركةُ مُنتظَمة، والمسارُ مُستقيم فالحركة مُستقيمة. أي أنَّ الحركة مُستقيمة مُنتظَمة.



2. بداية نقومُ بإصلاح التابعَين وفقَ الشّكل العام:

بإصلاح التابع الأوّل نجدُ أنّه يصبحُ بالشّكل: $x_1 = 4t - 2$

ويصبحُ التابع الثاني بالشّكل: $x_2 = -3\,t + 1$

بالمُقارَنة مع الشكل العام للتابع الزّمني في الحركة المُستقيمة المُنتظَمة نجدُ:

سرعة الدرّاجة الأولى $v_1 = 4\ \mathrm{m.s^{-1}}$

سرعة الدرّاجة الثانية $v_2 = -3\ \mathrm{m.s^{-1}}$

فالدرّاجة الأُولى أسرعُ من الثانية.

3. الدرّاجتـان تسـيران بجهتَيـن مُتعاكسَـتين. والسّـبب هـو أنَّ سـرعةَ الدرّاجـة الأولـى مُوجِبة، وهـي تتحـرَّك بجهـة المحـوَر، بينَمـا سـرعةُ الدرّاجـة الثانيـة سـالبة، وهـي تتحـرَّك بعكـس جهـة المحـوَر.

تطبيق (3)

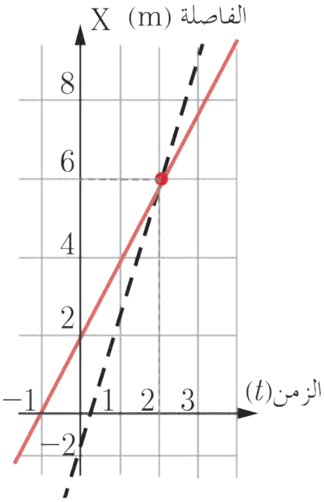
تسيرُ سيارَتان على الطّريق الأفقيّة المُستقيمة نفسها. التابع الزّمني لحركة السيّارة الأولى: $x_1 = 2t + 2$ والتّابع الزّمني لحركة السيّارة الثانية $x_2 = 4t - 2$. بيّن حسابيّاً وبيانيّاً أينَ ومتى تلتقي السيارتان؟

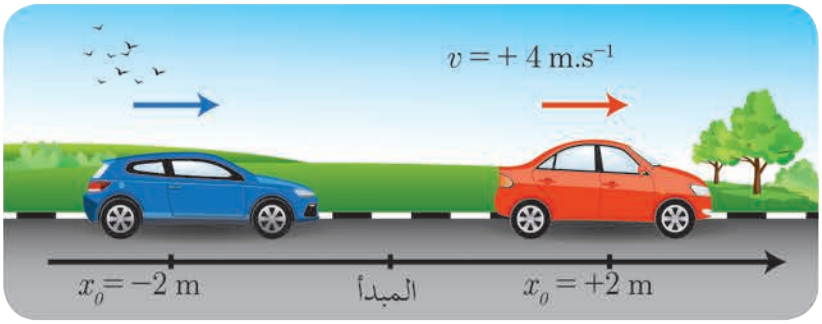
الحلّ:

عندما تلتقي السيَّارتان يكونُ لهما الفاصِلة نفسها. أي: $x_1 = x_2$

$4t - 2 = 2t + 2$ ومنه $2t = 4 \Longleftarrow t = 2\,s$

وعندَ هذه اللّحظة تكونُ الفاصلة لكلّ منهما $x = 6\ m$





2-2 الحركةُ المُستقيمة المُتغيِّرة بانتظام

تحتاج الطائرة عند إقلاعها أو هبوطها لمدرج طويل نسبياً.
هل سرعتها على المدرج في أثناء إقلاعها أو هبوطها ثابتة أم مُتغيِّرة؟

أجرب وأستنتج:

انطلقَـت سـيارةٌ مـن السّـكون علـى مسـارٍ مُسـتقيم، فكانـت فواصـلُ حركتهـا والأزمنـة المُقابلـة لهـا مُحـدَّدة فـي الجـدول:

الفاصلة (m)	7	8	11	16	23	32
الزمن (s)	0	1	2	3	4	5

لنحسب السُّرعة بين لحظتَين متتاليتين:

$v=\frac{\Delta x}{\Delta t}$	$\frac{8-7}{1-0}$	$\frac{11-8}{2-1}$	$\frac{16-11}{3-2}$	$\frac{23-16}{4-3}$	$\frac{32-23}{5-4}$
v	$v_1=?$	$v_2=?$	$v_3=?$	$v_4=?$	$v_5=?$

$\frac{\Delta v}{\Delta t}$	$\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}=?$	$\frac{v_3-v_2}{t_3-t_2}=?$	$\frac{v_4-v_3}{t_4-t_3}=?$	$\frac{v_5-v_4}{t_5-t_4}=?$

- هل المقدارُ Δx ثابِت؟
- هل المقدارُ Δt ثابت؟
- هل النّسبة $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ ثابته؟
- أرسمُ الخطّ البياني المُعبّر عن تغيُّرات السُّرعة مع الزّمن، وأحسبُ ميلَه.
- ماذا أستنتجُ ممّا سبقَ؟

أستنتج:

تكونُ حركةُ جسمٍ مُستقيمة مُتغيِّرة بانتظامٍ إذا كانَ مسارُها مُستقيماً، وقيمةُ سرعتُها تتغيّر بمعدلٍ ثابت بمرور الزّمن؛ أي أنّ تسارعها ثابِتاً.

$$\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{dv}{dt}=const$$

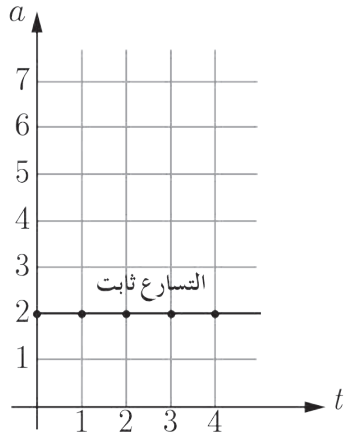
$$a_{avg}=a=const$$

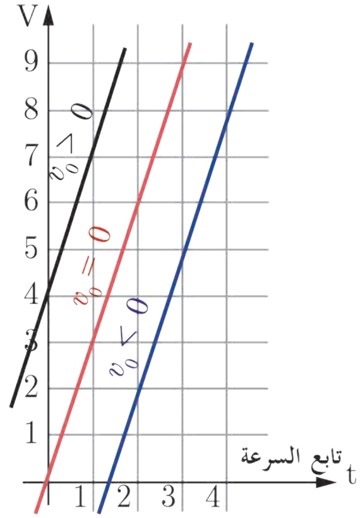
1-2-2 توابِع الحركة المُستقيمة المُتغيِّرة بانتظام:

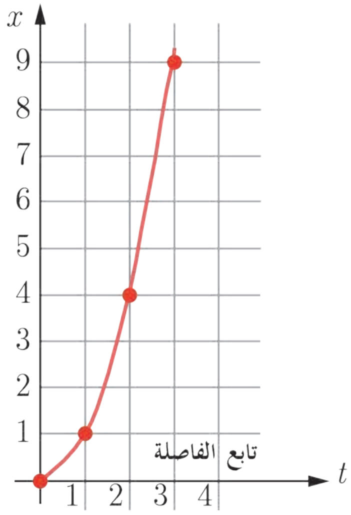
التابع الزّمني للفاصلة وهو تابعٌ من الدّرجة الثانية بالنّسبة للزّمن	$x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0$
التابع الزّمني للسّرعة اللّحظية	$v=at+v_0$
التسارُع ثابت	$a=const$
التابع اللا زمنيّ	$v^2-v_0^2=2a(x-x_0)$

تتناسبُ المسافات المقطوعة طرداً مع مُربّعات الأزمنة اللّازمة لقطعِها لمُتحرّك انطلقَ من السّكون:

$$\frac{x-x_0}{t^2}=\frac{1}{2}a$$







تطبيق (4)

تتحرَّك سيارةٌ في سباق للسّيارات على طريقٍ أفقية مُستقيمة يُكتبُ التابع الزّمني لحركتها على الشَّكل $x = 2t^2 + 4t + 10$ **المطلوب**:

1. استنتج ثوابتَ الحركة.
2. احسب سرعة السيّارة بعدَ مرور 3 ثوانٍ من بدء الحركة.
3. احسب المسافة المقطوعة عندَما تصبحُ سرعتُها $40\ \text{m.s}^{-1}$

الحلّ:

1. بما أنَّ تابعَ الفاصلة الزّمني من الدرجة الثانية بالنّسبة للزّمن والمسار مُستقيمٌ، فالحركةُ مُستقيمة مُتغيِّرة بانتظام.
تابع الفاصلة الزّمني من الشَّكل:

$$x = \frac{1}{2}a\,t^2 + v_0\,t + x_0$$

$$x = 2\,t^2 + 4\,t + 10$$

بالمُقارَنة نجدُ: $a = 4\ \text{m.s}^{-2}$ ، $v_0 = +4\ \text{m.s}^{-1}$ ، $x_0 = +10\ \text{m}$

2. تابع السُّرعة الزّمني من الشّكل: $v = at + v_0$
$v = 4t + 4$ نعوّض $t = 3\,\text{s}$
$v = 4 \times 3 + 4 = 16\ \text{m.s}^{-1}$

3. حساب المسافة المقطوعة من أجل $v = 40\ \text{m.s}^{-1}$
نعوّض في التابع المُستقلّ عن الزّمن: $v^2 - v_0^2 = 2a\,(x - x_0)$

$$(40)^2 - (4)^2 = 2 \times 4 \times \Delta x$$

$$1600 - 16 = 8 \times \Delta x$$

$$1584 = 8 \times \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{1584}{8} = 198\ \text{m}$$

تعلَّمتُ

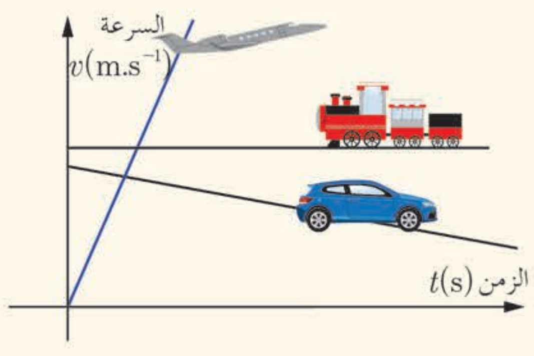
- **نقولُ عن جسمٍ بأنَّه مُتحرّك بالنسبة لجملة مُقارنة إذا تغيَّرَ بُعدَه عنها بتغيُّرِ الزّمن.**
- **المسافة:** هي طول المسار الذي يسلكُه الجسمُ المُتحرّك في أثناء حركته بغضّ النّظر عن جهة الحركة، وهي مقدارٌ موجِبٌ دوماً، وحدتُه في الجملة الدوليّة هي المتر (m)
- **الفاصلة:** تعبيرٌ للدَّلالة على البعد بين نقطة من المحوَر الموجَّه ومبدأ الإحداثيات (O)، وتُقرَن الفاصلة بالإشارة (+) للقياس بالاتّجاه الموجِب للمحوَر، وبالإشارة (−) للقياس بالاتجاه السالب للمحوَر.
- **شعاع الإزاحة** $\overrightarrow{AB}$ هو شعاعٌ يتَّجه من الموضع الابتدائي إلى الموضع النهائي للمُتحرِّك، وطويلته تساوي البُعد بين الموضعَين.
- **السّرعة الوسطى عدديّاً:** هي المسافة المقطوعة مقسومة على الزّمن اللازم لقطعها $v_{avg} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ وحدتُها في الجملة الدوليّة $m.s^{-1}$
- **السرعة الآنية:** تغير صغير في المسافة خلال فاصل زمني صغير جدا $v = \frac{dx}{dt}$ وحدتها في الجملة الدولية $m.s^{-1}$
- **التسارُع الوسطي** a_{avg}: $a_{avg} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ وحدتُه في الجملة الدوليّة $m.s^{-2}$
- **التسارُع الآني** a: $a = \frac{dv}{dt}$ وحدتُه في الجملة الدوليّة $m.s^{-2}$
-

الحركة المُستقيمة المُنتظَمة	الحركة المُستقيمة المُتغيِّرة بانتظام
$x = vt + x_0$	$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$
$v = const$	$v = at + v_0$
$a = 0$	$a = const$
	$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$

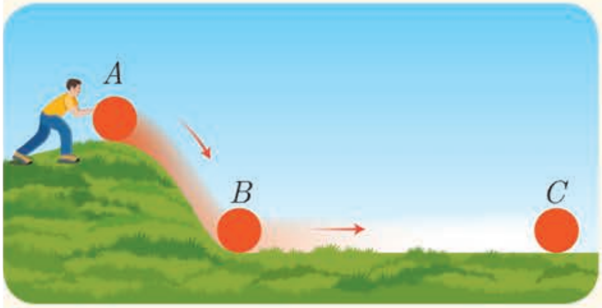
أختبر نفسي

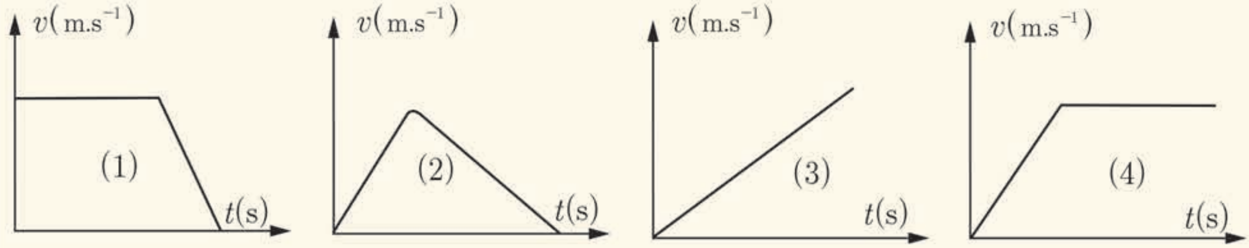
أولًا: أجب عن الأسئلة التالية:

1. بالاعتماد على الخطّ البياني الموضّح في الشّكل المُجاور، ما طبيعةُ حركة كل من الطائرة والقطار والسيّارة؟



2. يتركُ شخصٌ كرةً إسفنجيّة لتهبطَ من النقطة A لتصلَ للنقطة B، وتتابعُ حركتَها لتقفَ عند النقطة C كما في الشّكل المُجاور، أي رسم بياني من الرُّسوم البيانيّة الآتية يصفُ حركة الكرة:

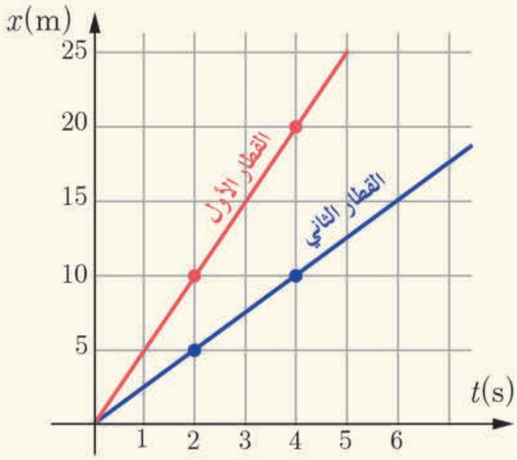




3. هبطت طائرةٌ مدنيّة على مُدرجِ مطارٍ، فاحتاجَت لقطع مسافة $1\,km$ من لحظة مُلامَستها أرضَ المُدرَج حتّى التوقُّف عن الحركة، فإذا كانَت سرعتُها لحظةَ مُلامَسة المُدرَج $180\,km/h$ فإنَّ تسارعَها:

a. $2.5\,m.s^{-2}$ **b.** $-1.25\,m.s^{-2}$ **c.** $+2.25\,m.s^{-2}$ **d.** $-2\,m.s^{-2}$

ثانياً:



يسير قطاران على سكتين مستقيمتين بسرعتين ثابتتين وفق الخط البياني الموضح لكل منهما المطلوب: استنتج التابع الزمني لكل منهما وبين أيهما أسرع.

ثالثاً: قام أحدُ الباحثين بدراسةِ حركةِ مَركبتَين على طريقٍ مُستقيمةٍ أفقيّة، وسجّلَ نتائجَ المسافات المقطوعة في جدولَين الأوّل لمركبة تسير بسرعة ثابتة، والثاني لمركبةٍ تسيرُ بسرعةٍ مُتغيِّرةٍ بانتظام انطلقَت من السّكون، ولكنّه بعدَ فترة فقدَ بعضَ المعلومات التي قامَ بتسجيلها. فهل تستطيعُ مساعدتَه في استردادِ ما فقدَه، وتحديدَ سرعةِ المركبة الأولى، وتسارُع المَركبة الثانية:

الفاصلة (m)	2	?	10	14	?	22	?
الزمن (s)	0	1	2	3	4	5	6

السُّرعة هي: $v = ...\ \mathrm{m.s^{-1}}$

الفاصلة (m)	1	3	9	19	?	51	?
الزمن (s)	0	1	2	3	4	5	6

التسارُع هو: $a = ...\ \mathrm{m.s^{-2}}$

رابعاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

يتحرَّك جسمٌ على طريقٍ مُستقيمةٍ أفقيَّةٍ، ويحدّدُ التّابعُ الزّمني لفاصلته بالعلاقة $x = 2t^2 - 3t + 4$ ، **المطلوبُ**، حساب:

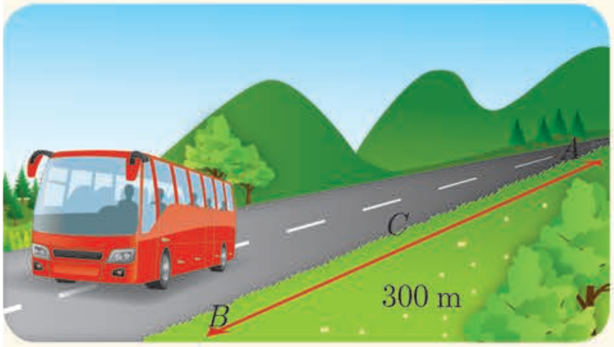
1. سرعته الابتدائيّة؟
2. سرعتُه بعد $4\ \mathrm{s}$ من بدء حركتِه؟
3. المسافةُ المقطوعة عندَما تصبح سرعتُه $15\ \mathrm{m.s^{-1}}$

المسألة الثانية:

تتحرَّك سيارةٌ وفقَ مسار مُستقيم بسرعة ابتدائيَّة $v_0 = 6\ \mathrm{m.s^{-1}}$ ، وبتسارع ثابت $a = 4\ \mathrm{m.s^{-2}}$ **المطلوب** حساب:

1. سرعة السيّارة في اللحظتين: $t_1 = 3\ \mathrm{s}$ ، $t_2 = 5\ \mathrm{s}$
2. المسافة المقطوعة في كلٍّ من اللّحظتَين السّابقتَين.
3. المسافة التي تقطعُها السيّارة عندما تصبحُ سرعتُها $30\ \mathrm{m.s^{-1}}$

المسألة الثالثة:



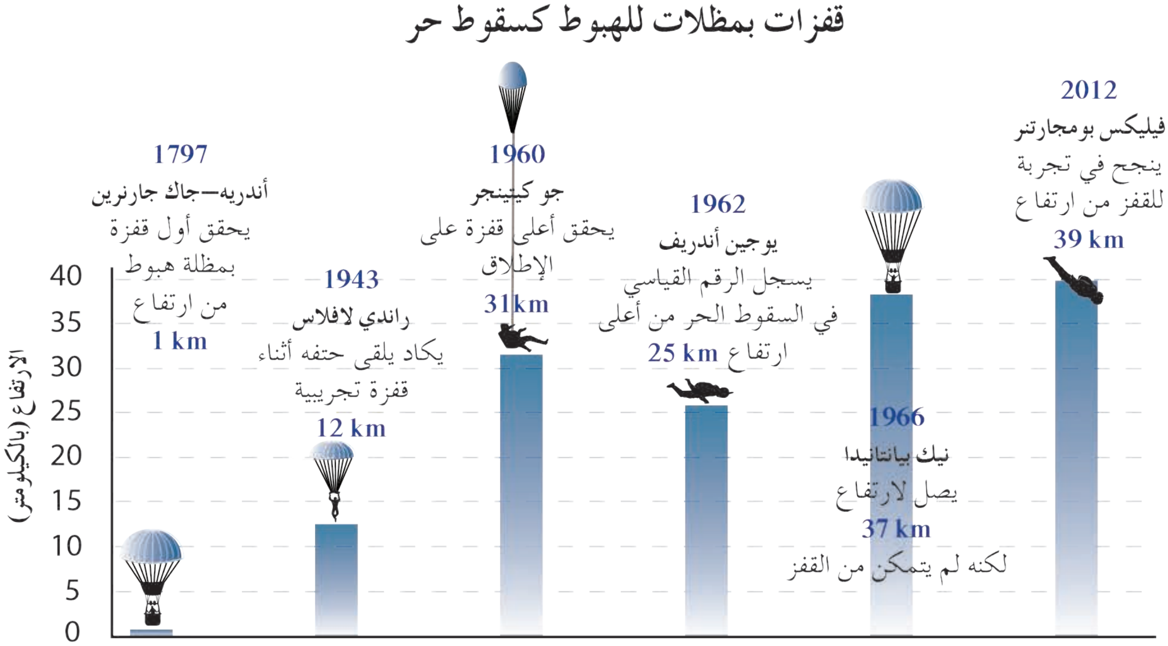
تتحرّك حافلةٌ لنقل الرّكاب لتقطعَ المسافة المُستقيمة $AB = 300\ \mathrm{m}$ ، تبدأ حركتُها من النّقطة A دون سرعةٍ ابتدائيّة وبتسارُع $+2\ \mathrm{m.s^{-2}}$ ، وعندما تصل إلى النقطة C الواقعة بينَ A و B تصبحُ حركتُها مُتباطِئة بانتظام تسارُعها $-1\ \mathrm{m.s^{-2}}$ ، وتنعدمُ سرعتُها عندَ وصولِها إلى B **المطلوب**:

1. حساب الزّمن اللازم لقطع المسافة AB .
2. تحديد موضع النقطة C .

المسألة الرابعة:

ينطلقُ قطارٌ من السّكون ليتحرَّكَ حركةً مُستقيمة أفقيّة بتسارعٍ ثابِت، فيقطع مسافةَ $AB = 120\ \mathrm{m}$ خلالَ زمناً قدْرُه $20\ \mathrm{s}$ ، والمطلوب حساب:

1. تسارعه.
2. سرعته في نهاية المسافة AB .
3. الزّمن اللازم ليقطعَ مسافة $30\ \mathrm{m}$ من بدء حركته.



تابعَت العديدُ من وكالاتِ الأنباء العالميَّة المُحاوَلة التي قامَ بها المُغامِر فيليكس بو غارتنر عام 2012م حينَ سقطَ من مِنطادٍ ساكِنٍ على ارتفاع 39 km عن سطح الأرض بنجاح، وهذه المُحاوَلة سبقتها العديدُ من المُحاوَلات من ارتفاعات مُختلِفةٍ نجحَ بعضُها، والآخر لم يُكتَب لها النّجاح.

ما السُّرعةُ الابتدائيّة التي كانَ يمتلكُها المُغامِر؟

ما القوى الخارجيّة المُؤثّرة فيه؟ (مع إهمال مُقاوَمة الهواء ودافعة أرخميدس على المُغامِر).

أستنتج

يحدثُ السّقوط الحرّ إذا تُرِكَ الجسمُ ليسقطَ بتأثير قوّة ثقله فقط.

نتناولُ في هذا الدَّرس السّقوط الحرّ في حالةٍ خاصَّة وهي السّقوط دونَ سرعةٍ ابتدائيّة.

إضاءة

استطاعَ نيوتُن أن يُهملَ تأثيرَ مُقاوَمة الهواء بإجراءِ تجاربه في أنابيب، تمَّ تفريغُها من الهواء بوساطة مخليّة هواء. ويمكنُ أن نخفّفَ من تأثير مُقاوَمة الهواء حتّى يمكنُ أن نهملَها بأن نأخذَ جسماً ذا كثافةٍ كبيرةٍ، ونجعل شكلَه انسيابيّاً.

كانَ الاعتقادُ السّائد سابقاً أنّ الأجسامَ الخفيفة تسقطُ في الخلاء بسرعةٍ أقلّ من الأجسام الثّقيلة، إلاّ أنّ غاليليو (1564 – 1642) أثبتَ أنّ الأجسامَ تسقطُ بالتّسارُع ذاته في منطقةٍ بجوارِ سطح الأرض.

1-3-2 قوانين السقوط الحر:

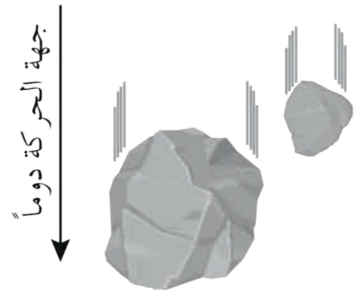
اترك قطعةَ نقودٍ وقطعةَ ورقٍ تسقطان من الارتفاع ذاته وفي المكان ذاته في اللحظة ذاتها.

- أيّ منهما ستصلُ إلى الأرض أولاً؟
- حدّد القوى الخارجيّة المُؤثّرة في مركزِ عطالة كلٍّ منهما؟

– تسقطُ الأجسامُ في الخلاء، وفي المنطقة ذاتها بحركاتٍ مُتطابِقة.

– حركةُ السّقوط الحرّ مُستقيمةٌ منحاها شاقولي.

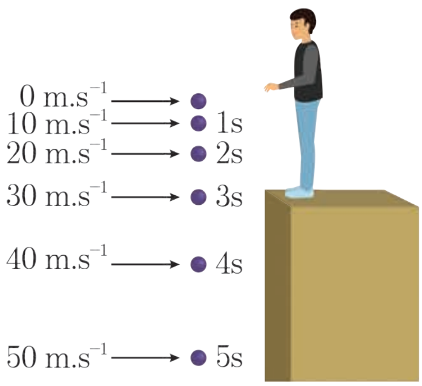
إنّ حركةَ السّقوط الحرّ هي حالةٌ خاصَّة من الحركة المُستقيمة المُتغيِّرة بانتظام **والفارق بينَهما هو:** في حالة السّقوط الحرّ يخضعُ الجسم لتسارع الجاذبيَّة الأرضيّة والذي نعتبره ثابتاً في منطقةٍ مُعيّنة كما أنَّ محورَ الحركة هو المستقيمُ الشّاقولي والموجَّه بجهة الحركة.



مُقارَنة بينَ الحركة المُستقيمة المُتغيِّرة بانتظامٍ وحركة السّقوط الحرّ

الوصف	الحركة المُستقيمة المُتغيِّرة بانتظام	حركة السُّقوط الحرّ
المسار	مُستقيم	مُستقيم
التسارُع	$a = const\,(m.s^{-2})$	$g = const = 9.8\,m.s^{-2}$
التابع الزّمني للسُّرعة	$v = at + v_0$	$v = gt$
التابع الزّمني للفاصلة	$x = \frac{1}{2}a\,t^2 + v_0\,t + x_0$	$y = \frac{1}{2}gt^2$
التابع المُستقلّ عن الزّمن	$v^2 - v_0^2 = 2a\,(x - x_0)$	$v^2 = 2gy$

ملاحظة: للسّهولة يمكن أن نعتبرَ أنَّ تسارُع الجاذبيّة الأرضيّة تقريباً $g \simeq 10\,m.s^{-2}$

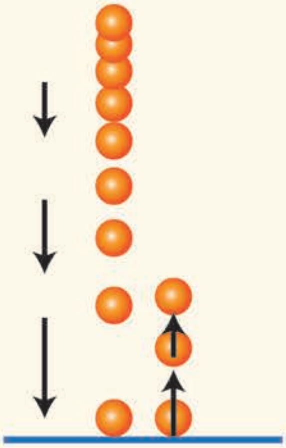


أختبر نفسي

1. تسقطُ كرةٌ مطاطيّة كتلتُها $m = 100\,g$ من ارتفاع y عن سطح الأرض في مكان تسارُع الجاذبيّة الأرضيّة $g \simeq 10\,m.s^{-2}$ سقوطاً حرّاً فتستغرقُ لتصلَ إلى سطح الأرض زمناً قدرُه $3\,s$، **والمطلوب**:

a. احسب الارتفاع الذي سقطَت منه الكرة.

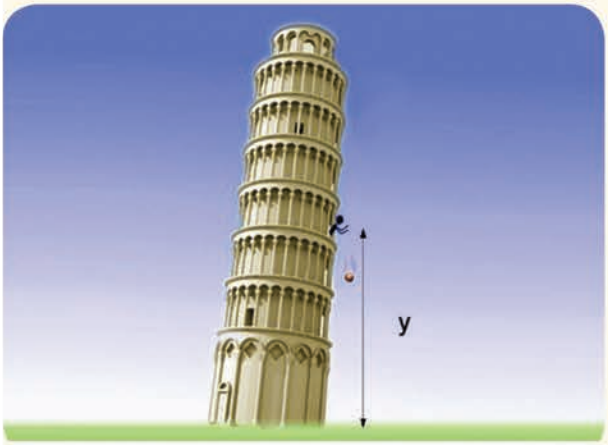
b. إذا فرضنا أنَّ الكرةَ فقدَت 85% من طاقتها الكلّية نتيجةَ اصطدامِها بالأرض. ما الارتفاع الذي سترتدُّ الكرة إليه عن سطح الأرض؟



2. يسقطُ جسمٌ من ارتفاع y عن سطح الأرض، فيقطع في الثانية الأخيرة من حركته 75% من الارتفاع الكلّي الذي سقطَ منه. **والمطلوب حساب:**

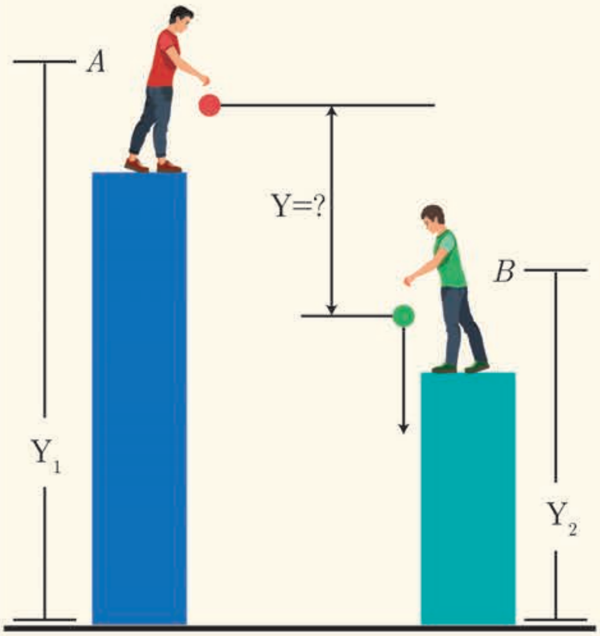
a. الارتفاع الذي سقطَ منه الجسم؟

b. سرعةُ الجسم لحظةَ مُلامَسته سطح الأرض؟

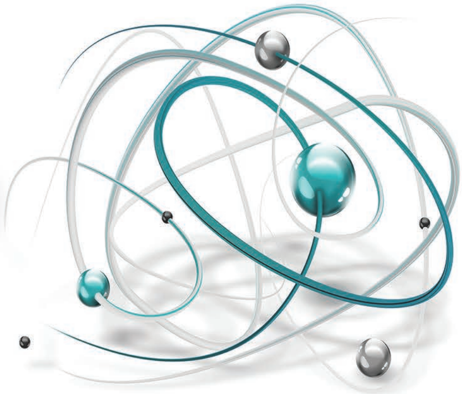


برج بيزا المائل في إيطاليا

3. يُلقي شخصٌ A كرةً بلاستيكية من ارتفاع y_1 عن سطح الأرض الأفقية، فاستغرقَت $2\,s$ لتصلَ إلى الأرض ويُلقي الشّخصُ B كرةً بلاستيكيّة مُماثِلة من ارتفاع y_2 عن سطح الأرض، فاستغرقَت $1.5\,s$ لتصلَ إلى الأرض. **المطلوب:** احسب المسافة y بين الشّخصَين.



3-1 الحركةُ النّسبيّة



الأهداف:

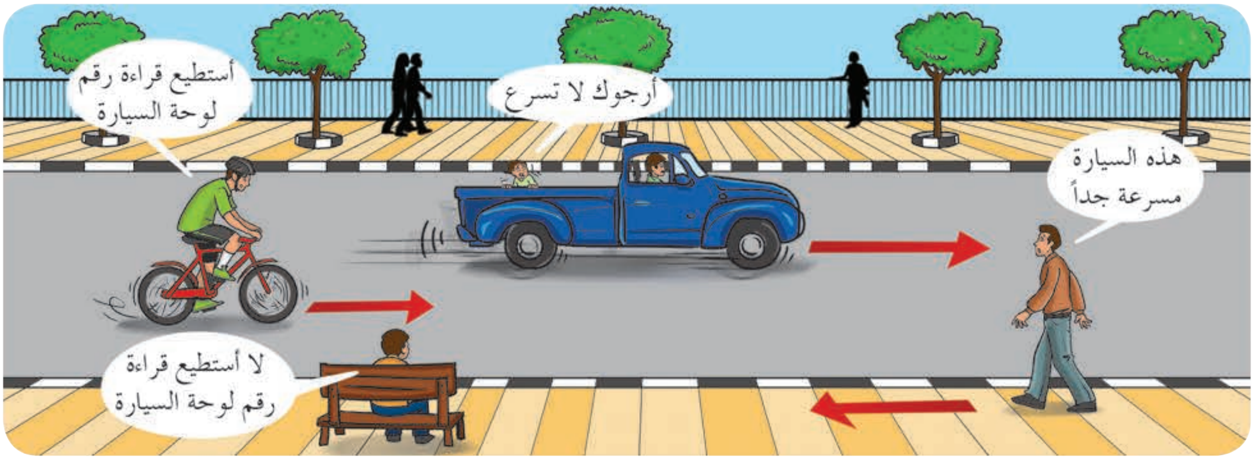
* يتعرَّف نسبيّة الحركة.
* يميِّز بينَ الجمل السّاكنة والجمل المُتحرّكة.
* يربط بينَ حركة الأجسام وجمل المُقارَنة.
* ينسب حركةَ جسمٍ لحركة جسمٍ آخرَ.

الكلمات المفتاحية:

* السُّرعة النسبيّة
Relative Velocity

1-3 نسبيّة الحركة

ألاحظُ وأستنتجُ



1. لماذا يستطيعُ راكبُ الدرَّاجة قراءةَ لوحة السيّارة؟
2. أيُّ الأشخاص برأيك يرى السيّارة مُتحرّكة بسرعة أكبر بالنّسبة له؟
3. أيُّ الأشخاص يرى السيّارة ساكِنة بالنّسبة له؟
4. ما هي جمل المُقارَنة المُمكنُ اعتبارها في الشّكل السابق؟

لمعرفة فيما إذا كانَ الجسم ساكناً أم مُتحرِّكاً، يجبُ تحديد جملة مُقارنة وذلك من خلال تغيُّر موضعه بالنّسبة لتلك الجملة. وعندما نقول إنَّ سرعة سيارة هي $70\,\text{km.h}^{-1}$، فهذا يعني أنَّها تتحرَّك بتلك السُّرعة بالنّسبة للأرض. (الأرض جملة المُقارَنة السّاكنة). وعندَ الطلب من شخصٍ يسيرُ بسرعةٍ مُعيّنة أن يصفَ حركةَ سيّارة تسيرُ على الطريق نلاحظُ أنَّ وصفَه يختلفُ عن وصفِ حركتها من قبلِ شخصٍ يقفُ على الرَّصيف، والسَّببُ أنَّ وصفَ الحركة (السُّرعة) أو تغيُّر الموضِع بتغيُّر الزّمن يختلفُ بين المُراقِبِ السّاكن والمُراقِب المُتحرِّك، وهو ما ندعوه نسبيّة الحركة، والسُّرعة في هذا الوصف تُدعى السُّرعة النّسبية لجسم مُتحرّك بالنّسبة لجسمٍ آخرَ (قد يكونُ ساكناً أو مُتحرّكاً).

2-3 السُّرعة النسبية

السُّرعة النسبية: هي السُّرعة التي يغيّرُ فيها الجسمُ موضعَه بالنسبة لجملة مُقارنة، ويعبَّرُ عنها بالعلاقة الشُّعاعية:

$$\overrightarrow{v_{ac}} = \overrightarrow{v_{ab}} + \overrightarrow{v_{bc}}$$

حيث: $\overrightarrow{v_{ac}}$ سرعة a بالنسبة لـ c

$\overrightarrow{v_{ab}}$ سرعة a بالنسبة لـ b

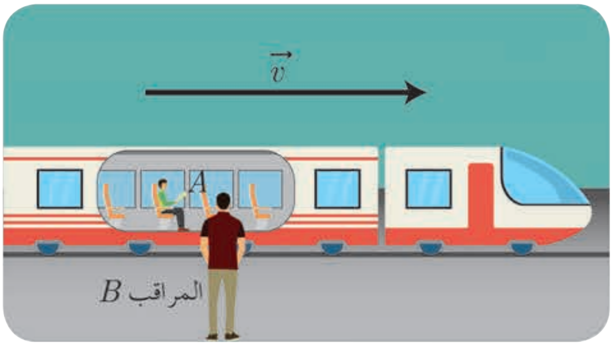
$\overrightarrow{v_{bc}}$ سرعة b بالنسبة لـ c

ويُلاحَظ من هذه العلاقة الشّعاعيّة أنَّ نهاية الشّعاع الأوّل هي بدايةٌ للشّعاع الثاني، والشّعاع $\vec{v}_{ac}$ هو شعاع: بدايتُه (a) هي بدايةُ الشّعاع الأوّل، ونهايته (c) هي نهاية الشّعاع الثاني وهي **(علاقة شال في جمع الأشعة المُتلاحِقة).**

1-2-3 السُّرعة النسبيّة بالنّسبة لجملة مُقارنة ساكنة (الجملة (B) ساكنة)

لنفرضَ أنَّ الشّخص (A) يجلِس على كرسيّ داخلَ قطار (T) يتحرَّك بسرعةٍ معيَّنة $2\ \mathrm{m.s^{-1}}$ في الاتجاه المُوجب لمحوَر موجَّه، وشخصُ (B) يقفُ على الرّصيف يراقبُ حركةَ القطار، ويرصدُ سرعَته ولنطرحَ التساؤلات:

- ما سرعة (A) بالنّسبة للقطار المُتحرّك ؟ $v_{AT} = ?$
- إنّ السُّرعة التي يرصدُها الشَّخص (B) للقطار هي $v_{TB} = 2\ \mathrm{m.s^{-1}}$ ما جملة المُقارَنة بالنسبة له؟

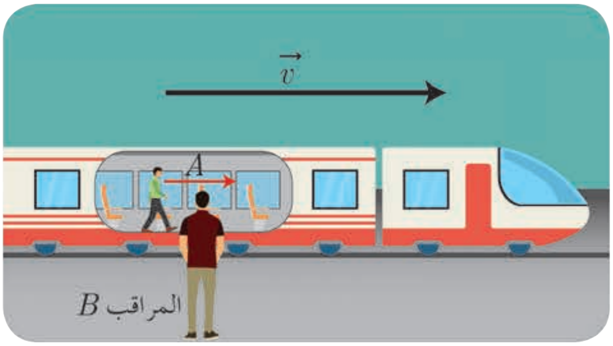


- لو فرضنا أنَّ (A) تحرَّك ضمنَ القطار وبجهة حركة القطار بسرعة $v_{AT} = 0.5\ \mathrm{m.s^{-1}}$؛ ما سرعة (A) بالنّسبة لـ (B)؟

سرعة (A) بالنّسبة لـ (B) هي:

$$v_{AB} = v_{AT} + v_{TB}$$

$$v_{AB} = 0.5 + 2 = 2.5\ \mathrm{m.s^{-1}}$$

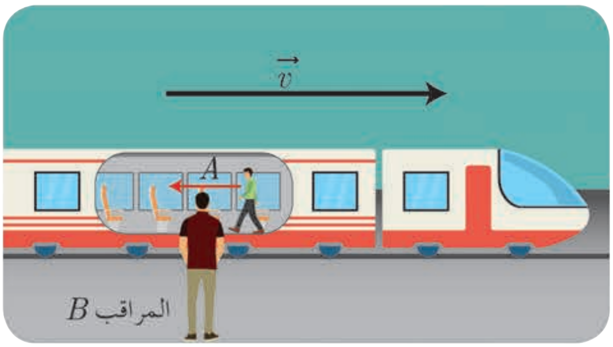


- لو فرضنا أنَّ (A) تحرَّكَ ضمنَ القطار بعكسِ جهة حركة القطار: ما سرعة (A) بالنسبة لـ (B) أي $v_{AB} = ?$

سرعة (A) بالنسبة لـ (B) هي:

$$v_{AB} = v_{AT} + v_{TB}$$

$$v_{AB} = -0.5 + 2 = 1.5\ \mathrm{m.s^{-1}}$$



لاحظ أنّنا عوّضنا سرعة (A) سالبة لأنّها تعاكِس حركة القطار

أستنتجُ:

- إذا تحرَّك جسمٌ (A) بجهة حركة جسمٍ آخرَ (T)، وكلاهما مُتحرّك بالنّسبة لجملة **مُقارَنة ساكِنة** (B) فإنَّ:

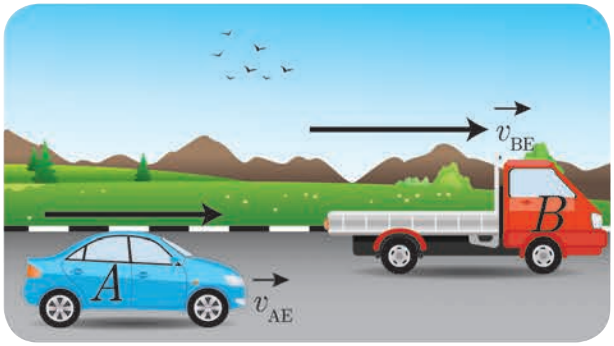
$$v_{AB} = v_{AT} + v_{TB}$$

- إذا تحرَّك جسمٌ (A) بعكس جهة حركة جسمٍ آخرَ (T)، وكلاهما مُتحرّك بالنّسبة لجملة **مُقارَنة ساكنة** (B) فإنَّ:

$$v_{AB} = -v_{AT} + v_{TB}$$

2-2-3 السُّرعة النسبيّة بالنّسبة لجملة مُقارَنة مُتحرّكة (الجملة (B) مُتحرّكة)

أولاً: الجسمان يتحرَّكان في اتّجاه واحد وبسرعتَين مُختلفتَين فالسُّرعة النسبيّة بينَهما تساوي الفرق بين سرعتَيهما



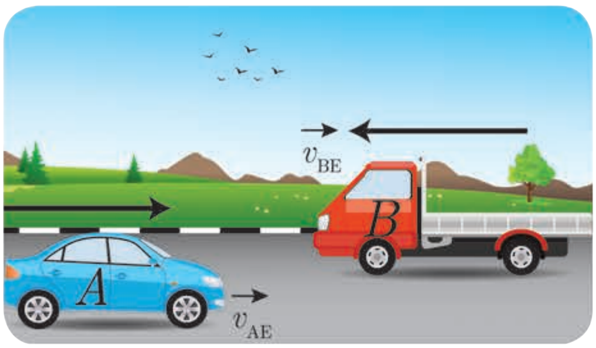
في الشّكل المُجاور:
السيّارة (A) تتحرَّك بسرعة v_{AE} والسيّارة (B) تتحرَّك بسرعة v_{BE} بجهة حركة السيّارة (A)
مع العلم أنّ $v_{AE} > v_{BE}$
حسب قانون السُّرعة النسبيّة فإنَّ سرعة السيّارة (A) بالنّسبة للسيّارة (B) هي:

$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_{AE} + \vec{v}_{EB} \Longrightarrow v_{AB} = v_{AE} - v_{EB}$$

الرمز E اختصار لكلمة Earth (الأرض)

وتجدرُ الإشارة إلى أنَّ السيَّارة (B) هي جملة المُقارَنة، فالأرضُ تسيرُ من تحتِها بعكس جهة حركتِها لذلك عوَّضنا سرعةُ الأرض بالنّسبة للسيّارة (B) سالبة.

ثانياً: الجسمان يتحرّكان في اتّجاهين مُتعاكسَين وبسرعتَين مُختلفتَين فالسُّرعةُ النّسبية بينَهما تساوي مَجموع سرعتَيهما.



في الشّكل المُجاور:
السيّارة (A) تتحرَّك بسرعة v_{AE} والسيّارة (B) تتحرَّك بسرعة v_{BE} بعكس جهة السيّارة (A)
حسب قانون السُّرعة النسبيّة فإنَّ سرعة النسبيَّة v_{AB} هي:

$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_{AE} + \vec{v}_{EB} \Longrightarrow v_{AB} = v_{AE} + v_{EB}$$

مُلاحظة: إنَّ سرعةَ الأرض بالنّسبة للسيّارة (B) موجبة، والسَّبب أنَّ المُراقِب في السيّارة (B) يقولُ أنا ساكِنٌ والأرضُ تسيرُ باتّجاه المحورَ المفروض.

ثالثاً: الجسمانِ يتحرَّكان في اتّجاه واحدٍ وبنفسِ السُّرعة فالسُّرعة النسبيّة بينَهما مَعدومة

في هذه الحالة يبدو أحدُ الجسمَين ساكناً بالنّسبة للآخر، كما هو الحالُ عندَ تزوُّد الطائِرات بالوقود جوّاً، ففي هذه الحالة تطيرُ الطائرتان بنفسِ السُّرعة وبنفسِ الاتّجاه فتبدو إحداهما ساكِنة بالنّسبة للأخرى.

تعلّمت

- **السُّرعة النسبيّة:** هي السُّرعة التي يغيّر فيها الجسمُ موضعَه بالنّسبة لجملة مُقارنة، ويُعبَّر عنها بالعلاقة الشّعاعية:

$$\vec{v}_{ac} = \vec{v}_{ab} + \vec{v}_{bc}$$

حيث: $\vec{v}_{ac}$ سرعة a بالنسبة لـ c، $\vec{v}_{ac}$ سرعة a بالنسبة لـ b، $\vec{v}_{ac}$ سرعة b بالنسبة لـ c

- **السُّرعة النسبيّة بالنسبة لجملة مُقارَنة ساكِنة (الجملة (B) ساكنة)**

1. إذا تحرَّك جسمٌ (A) بجهة حركةِ جسمٍ آخَر (T)، وكلاهما مُتحرّك بالنّسبة لجملة **مُقارَنة ساكِنة** (B) فإنّ:

$$v_{AB} = v_{AT} + v_{TB}$$

2. إذا تحرَّكَ جسم (A) بعكسِ جهة حركة جسمٍ آخرَ (T)، وكلاهما مُتحرّك بالنّسبة لجملة **مُقارَنة ساكنة** (B) فإنّ:

$$v_{AB} = -v_{AT} + v_{TB}$$

- **السُّرعة النسبيّة بالنّسبة لجملة مُقارنة مُتحركة (الجملة (B) مُتحرّكة)**

1. الجسمان يتحرَّكان في اتّجاهٍ واحدٍ وبسرعتَين مُختلفتَين، فالسُّرعةُ النّسبية بينهما تُساوي الفرق بينَ سرعتَيهما.

$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_{AE} + \vec{v}_{EB} \Longrightarrow v_{AB} = v_{AE} - v_{EB}$$

2. الجسمان يتحرَّكان في اتّجاهَين مُتعاكسَين وبسرعتَين مُختلفتَين، فالسُّرعة النسبيّة بينَهما تساوي مجموع سرعتَيهما.

$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_{AE} + \vec{v}_{EB} \Longrightarrow v_{AB} = v_{AE} + v_{EB}$$

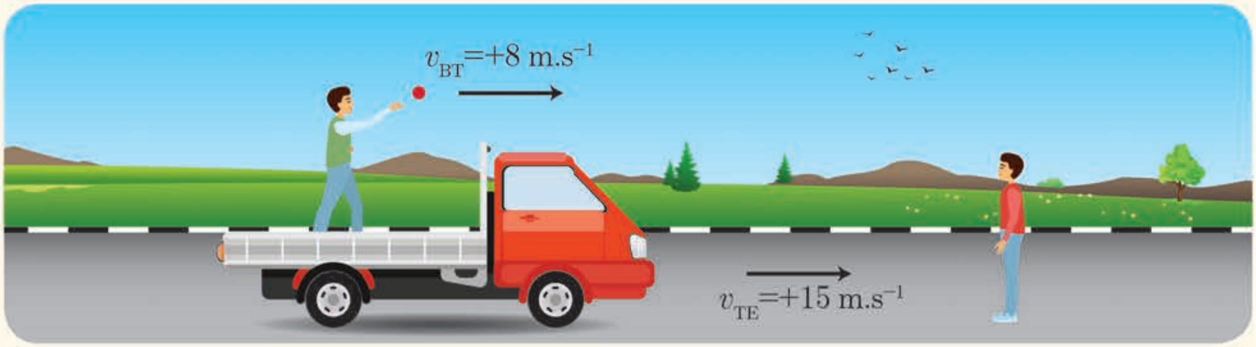
3. الجسمان يتحرّكان في اتّجاهٍ واحد وبنفس السُّرعة، فالسُّرعة النّسبيّة بينَهما مَعدومة.

أختبر نفسي

احسب السُّرعة النسبية لكلٍّ من الحالات الآتية:

1. شخصٌ يركبُ قطاراً، نرمزُ له بالرَّمز (p)، سرعتُه بالنّسبة للقطارِ هي: $v_{PT} = +2\,m.s^{-1}$، والقطارُ يتحرَّكُ بسرعةٍ v_{TE} بالنّسبة للأرضِ، فكانَت سرعةُ الشّخص (p) بالنّسبة للأرض هي $v_{PE} = +11\,m.s^{-1}$. فما سرعةُ القطار؟

2. يُلقي شخصٌ موجودٌ في شاحنةٍ كرةً لصديقه الذي يقفُ على الأرض بسرعةٍ $v_{BT} = +8\,m.s^{-1}$ والشّاحنة تسيرُ بسرعةٍ قدرُها $v_{TG} = +15\,m.s^{-1}$. احسب سرعةُ الكرة عندَما يلتقطُها صديقُه؟

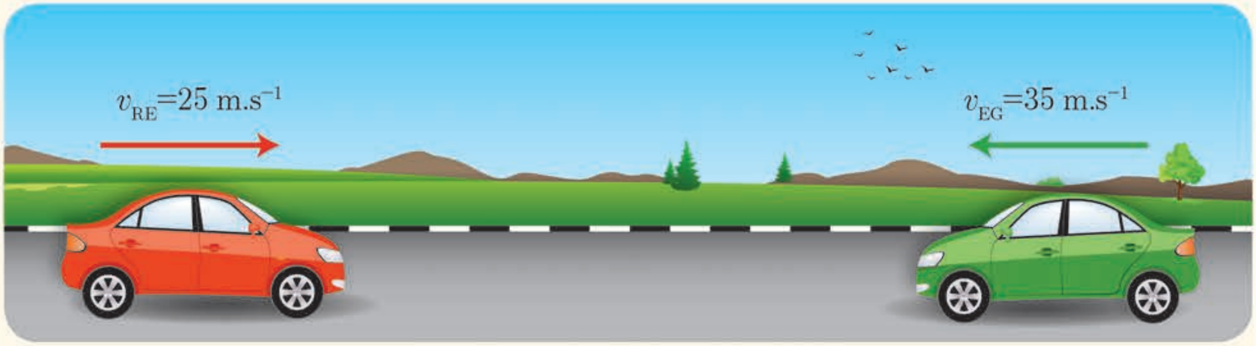


3. ما سرعةُ السيّارة الحمراء بالنّسبة للسيّارة الخضراء؟

حيث: R سيّارة حمراء

G سيّارة خضراء

E الأرض.



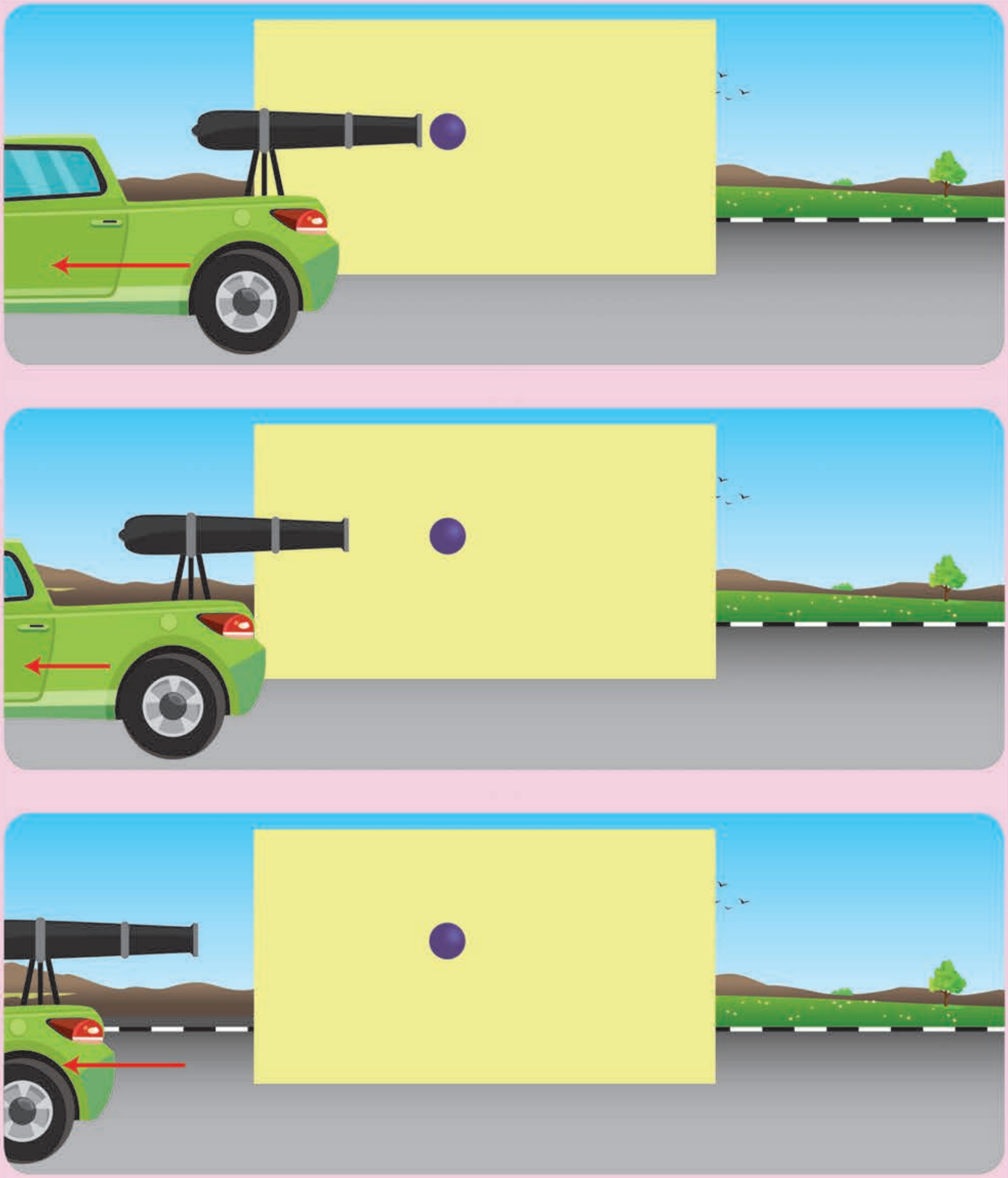
أتفكر

1. يحاولُ بعضُ الأشخاص النزولَ من الحافلة العامّة قبلَ توقُّفها حيثُ لا تزالُ الحافلة تتحرَّك ببطء ولكن ذلك الفعل ينطوي على مخاطرَ في أثناء النزول.

a. ما هي النصائحُ التي تقدِّمُها الحركةُ النسبيّة في الفيزياء لتفادي ذلك الخطر في أثناء النزول من الحافلة؟

b. وما هي الحالة غير الصحيحة والحالة الصَّحيحة والحالة الأكثر صحّةً للنزولِ من الحافلة بسلام؟

2. في إحدى التجارب المخبرية ,قام الباحثون بتثبيت مدفع مخصص لأغراض البحث العلمي على شاحنة تتحرك بسرعة $108\,km.h^{-1}$ بالنسبة للأرض وتم إطلاق كرة من المدفع والتقاط عدة صور لها بهدف مراقبة حركتها فحصلوا على الصور كما هو موضح:

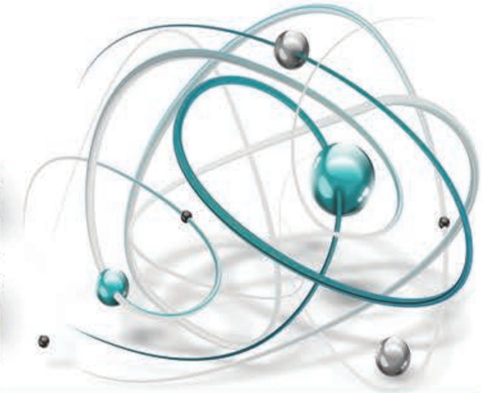


a. ما تفسير بقاء الكرة أمام الكاميرا المستخدمة بالتصوير والمثبتة على الأرض؟

b. ماذا تتوقع أن تكون حركة الكرة بعد قذفها من المدفع؟

4-1

قوانينُ نيوتن وتطبيقاتُها



الأهداف:

* يقوم بإجراءِ تجاربَ حولَ القوّة والحركة.
* يتعرّف قوانينَ نيوتن.
* يستنتج العلاقةَ بينَ القوّة والتسارع.
* يربط قوانينَ نيوتن بمواقفَ حياتيّة.

الكلمات المفتاحية:

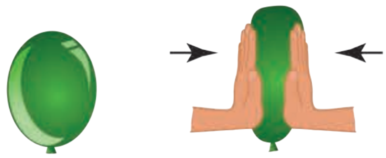
* القوّة Force
* التسارُع Acceleration
* الحركة Motion
* الكتلة Mass
* العطّالة Inertia
* قوى الاحتكاك Frictional Force

نتعرّض للكثير من قوى الدّفع والشدّ في حياتنا اليوميّة. وندرك أنّ الأرض تجذبُ الأجسام الواقعة في محيطِها بقوّة، ولرفع جسم عن سطح الأرض إلى مستوٍ معيّن، نحتاجُ إلى تطبيق قوّة للتغلّب على قوّة الجاذبيّة الأرضيّة وفق اتّجاه مُحدَّد. أي أنّنا إذا أردْنا تحريك جسم يجب أن نطبّق عليه قوّة...

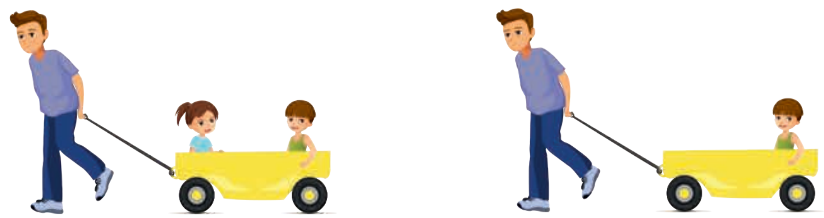
وقوانين نيوتن هي صيغٌ رياضيّة في غاية البساطة، تساعدُ في دراسة مُسبِّبات الحركة، وتنطبقُ على جميع الحالات الخاصّة بالأجسام المُتحرّكة (ماعدا حالةَ الحركات بسرعاتٍ كبيرة جدّاً).

ألاحظُ وأستنتجُ:

- خذْ بالوناً منفوخاً وحاولِ أن تغيّرَ شكلَه. كيفَ يمكنُك ذلك؟



- إذا تحرَّكَت العربتان في الصورتين أدناه بالسُّرعة ذاتها، وعلى المَسار ذاته، فأيُّهما يسهلُ إيقافُها؟



- أيُّهما يسهلُ تحريكُه أكثر، عربة فارِغة أم مَليئة؟ ولماذا؟

- هل هناكَ علاقةٌ بينَ القوّة والحركة؟

من خلال ما سبقَ نلاحظُ الآتي:

- **القوّة كلُّ ما يسبّبُ تغيّر في شكل الجسم أو في حالته الحركيّة.**
- من السّهل تغيير حركة بعض الأجسام، بينَما يصعبُ ذلك على بعضها الآخر، ويعودُ ذلك إلى اختلاف الكتلة، وتزدادُ صعوبةُ هذا التغيير كلّما كانَت كتلةُ الجسم أكبر.
- كتلة الجسم مقدارٌ عدديّ موجبٌ وثابتٌ يعبّر عمّا يحويه من مادّةٍ، نرمزُ له بالرَّمز m، ويقدَّر بالجملة الدّولية بوحدة الكيلوغرام kg، ويُعبّر عن عطالة الجسم الصّلب.
- **عطالة الجسم تعبّر عن مُمانَعة الجسم لتغيّير شعاع سرعته.**

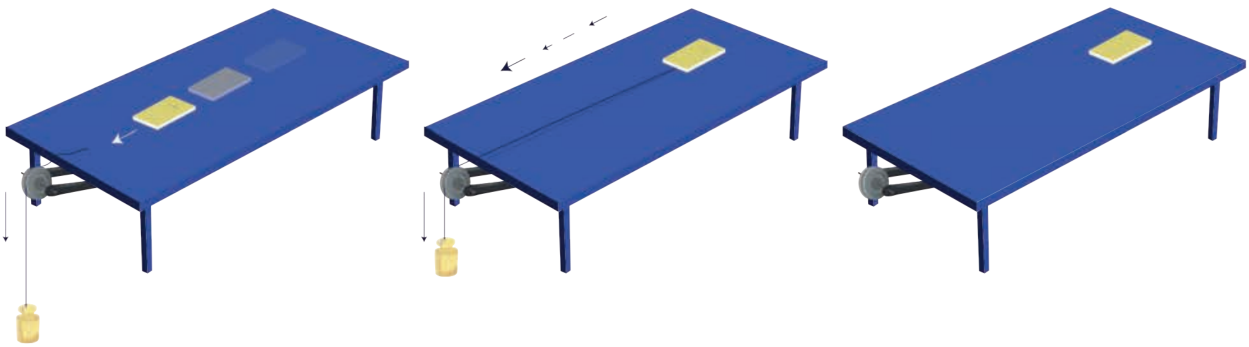
1-4 قوانينُ نيوتن

1-1-4 القانون الأول: قانونُ العطالة (القصور الذّاتي)

أجرِّب وأستنتجُ:

أدواتُ التجربة: كتاب مدرسي، خيط متين عديم الامتطاط، بكرة، مِقصّ، ثقل مُناسِب.

أضعُ كتاباً أملسَ على سطح مِنضَدة أفقيَّة ملساء.



الشكل (2) الشكل (1)

- ما القوى الخارجيّة المؤثِّرة في مركز عطالة الكتاب، وهو ساكن على سطح المِنضدة (الشكل 1)؟ هل تُغيِّرُ هذه القوى من حالتِه الحركيّة؟
- أربط الكتاب بطرفِ خيطٍ يمرّ على مِحزّ بَكرة مُثبَّتة بحافّةِ المِنضدة، وأعلّق بطرفِه الآخر ثقلاً مُناسِباً يجعلُ الكتابَ يتحرّكُ أفقيّاً (الشكل 2). ما القوى الخارجيّة المؤثِّرة في مركز عطالة الكتاب؟
- أقطعُ الخيطَ في أثناءِ حركة الكتاب (الشكل 3)، ما القوى الخارجيّة المؤثِّرة في مركز عطالة الكتاب عندئذٍ؟ هل يستمرُّ الكتاب في حركته على سطح المِنضدة؟

صاغَ نيوتن قانونَه الأوّل في الحركة الذي يختصُّ بالمواقف التي تكونُ فيها مُحصِّلةُ القوى الخارجيّة المؤثِّرة في مركز عطالة جسمٍ ما معدومة، عُرِف باسم **قانون العطالة أو قانون القصور الذّاتي**:

إذا انعدمَت مُحصِّلة القوى الخارجيَّة المُؤثِّرة في مركز عطالة جسمٍ صلب، فإنَّ مركزَ عطالة الجسم يبقى ساكناً إذا كانَ بالأصل ساكِناً، وإذا كانَ مُتحرِّكاً تصبحُ حركتُه مُستقيمةً مُنتظَمة، وسرعةُ مركزِ عطالته هي سرعتُه لحظةَ انعدام محصلة القوى.

إضاءة

مركز عطالة الجسم: هو مركزُ كتلة الجسم، وينطبقُ على مركز ثقل الجسم.

فكّر:

في الشّكل المجاورِ قامَ رياضي بشدِّ زلّاجةِ طفلته على سطح أرضٍ جليديّة أفقيّة ملساءَ مسافةً مُعيَّنة ثمَّ تركَها. ما طبيعةُ حركتِها بعد أن تركَها برأيك؟ ولماذا؟

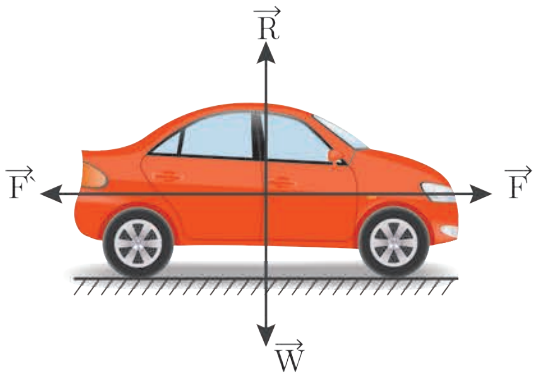
تطبيق (1)

تتحرّك سيارةٌ كتلتُها m على طريقٍ مستقيمةٍ أفقيّةٍ خاضعةٍ لقوّةِ جرٍّ، محرّكُها شدّتُه $F = 100\ \text{N}$، كما تخضعُ لقوى احتكاكٍ نعدُّها ثابتةً شدّتُها $F' = 100\ \text{N}$ **والمطلوبُ**:

1. ارسم مخطّط القوى التي تخضع لها السيّارة في أثناء حركتها السّابقة.

2. ما طبيعةُ حركةِ مركزِ عطالة السيّارة؟

3. ما هو القانون الذي اعتمدت عليه في إجابتك؟



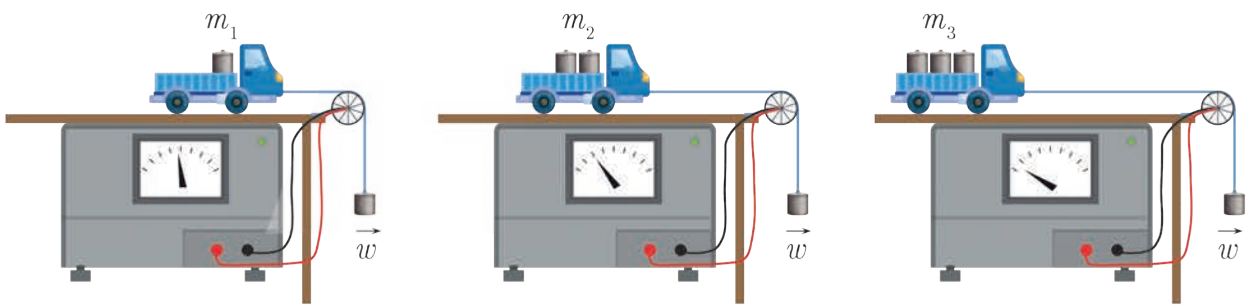
الحل:

تتحرَّكُ السّيّارة حركةً مُستقيمةً مُنتظَمة، لأنّ مركزَ عطالتِها يخضعُ لمُحصّلة قوىً معدومةٍ (قوّة ثقل السيّارة وقوّة ردِّ فعلِ الطّريق قوّتان مُتعاكِستان مُباشَرة، كذلك قوّة جرِّ مُحرِّك السيّارة وقوّة الاحتكاك قوّتان مُتعاكِستان مُباشَرة). وذلك اعتماداً على قانون نيوتن الأوَّل.

2-1-4 القانون الثاني لنيوتن

أجرِّب وأستنتجُ:

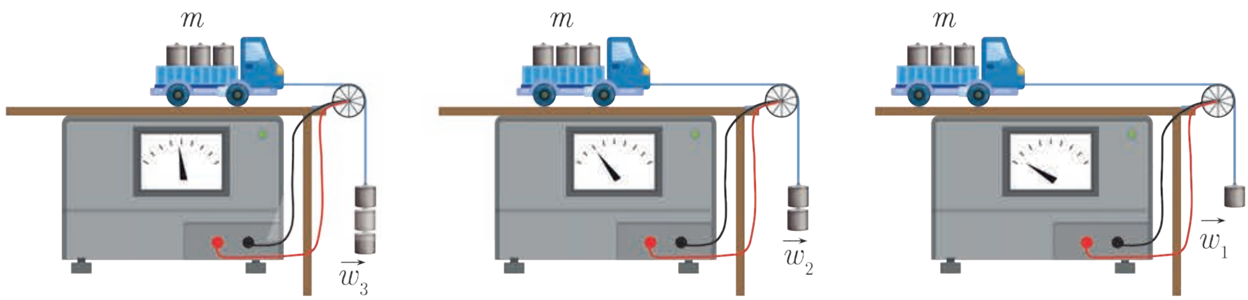
أثبّتُ على حافةِ الطاولة بَكرةً، زوّد محوَرُ دورانها بمولدٍ (كهربائيّ) مُتَّصِل بمقياس التّسارُع، ثمَّ أضعُ السيّارة على الطاولة الملساء، وأربطُ بها خيطاً يمرُّ على محزِّ البكرة وقد ربط بنهايته الأخرى ثِقلٌ يسبِّبُ الحركة **كما هو موضَّح في الشَّكل الآتي:**



- أثبّتُ الثقل الذي يشدّ السيّارة، وأغيِّرُ من كتلة السيَّارة بإضافة كتل إليها، ثمَّ أقرأُ دلالةَ مقياس التّسارُع، وأسجّلُ النتائجَ في الجدول:

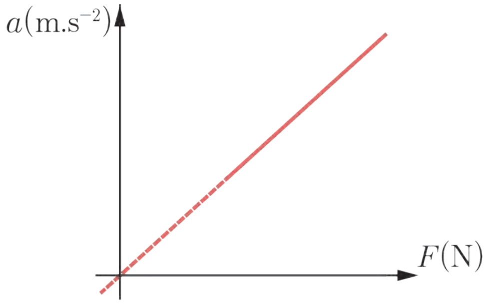
$m\,(\mathrm{kg})$			
$a\,(\mathrm{m.s^{-2}})$			

- أثبّتُ كتلةَ السيّارة، وأغيِّرُ من قوّة الشّد (قوّة الثقل)، ثمَّ أقرأُ دلالةَ مقياس التّسارع، وأسجّل النتائج في الجدول:



$w = F\,(\mathrm{N})$			
$a\,(\mathrm{m.s^{-2}})$			

لو مثَّلنا النتائجَ التي حصلْنا عليها بيانيّاً، لحصلْنا على الخطّ البيانيّ الآتي:



النتائج:

- تنقُص قيمةَ التّسارُ ع بازدياد كتلةِ الجسمِ المُتحرِّك معَ ثباتِ القوَّة المُسبِّبة للحركة.
- تزدادُ قيمةُ التّسارُ ع باطّراد بازديادِ شدّة القوَّة المُسبِّبة للحركة عندَ ثباتِ كتلة الجسم المُتحرّك.

النتائج التي حصلْنا عليها قد توصَّل إليها نيوتن وصاغَها في قانونِه الثاني الذي ينصُّ على أنَّه:

إذا خضعَ مركزُ عطالة جسمٍ صلبٍ لمُحصِّلة قوىً خارجيَّة ثابتةً منحىً وجهةً وشدةً، اكتسبَ تسارُعاً ثابتاً يتناسبُ طرداً مع شدَّةِ مُحصِّلة القوى الخارجيّة المؤثِّرة، وله المنحى ذاته والجهة ذاتها.

نعبّر رياضيّاً عن هذا القانون:

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

حيث: تقدَّر شدة القوَّة بوحدة N، الكتلةُ بوحدة kg، التّسارُ ع بوحدة m.s^{-2}

- يُبيّنُ هذا القانون علاقةَ مُحصِّلة القوى الخارجيّة بالتّسارُ ع الذّي يكتسبُه مركز عطالة الجسم المُتأثِر بها.
- يفسِّرُ اختلافَ شدَّةِ التّسارُ ع المُكتسَب باختلافِ كتلةِ الجسم المُتحرِّك.
- يوضِّحُ تأثيرُ القوى في حركة الأجسام.

النيوتن: شدّةُ قوّةٍ إذا أثَّرت في جسمٍ كتلتُه $(1\,\text{kg})$ اكتسبَ تسارُعاً قدرُه $(1\,\text{m.s}^{-2})$.

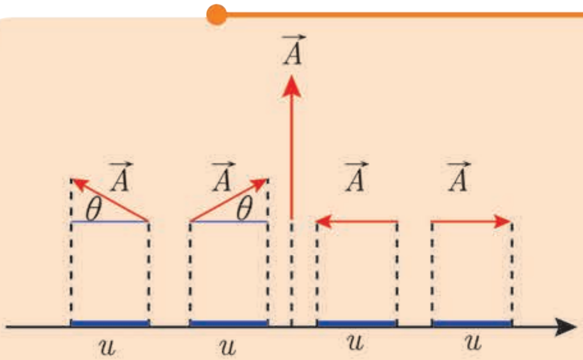
إثراء:

ربطُ الرّياضيّات بالفيزياء

مَساقِط الأشعة:

مَسقَط شعاع $\vec{A}$ على المُحوَر المُبيَّن هو

$u = A\cos\theta$



أستنتج

إذا كانَ الشعاعُ يوازي محوَر الإسقاط وبجهته

$u = A\cos 0 = A$

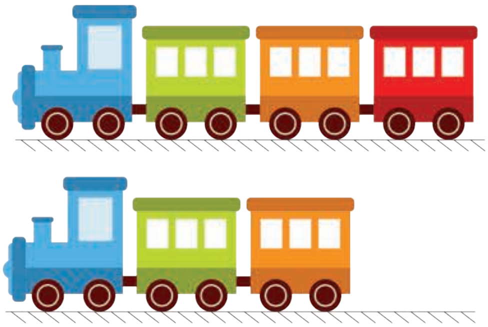
إذا كان الشعاع يوازي محوَر الإسقاط وبعكس جهته $u = A\cos\pi = -A$

إذا كان الشعاع عموديّاً على محوَر الإسقاط $u = A\cos\frac{\pi}{2} = 0$

تطبيق (2)

تجرُّ قاطرةٌ مقطوراتٍ، كتلتُها $50000\,kg$ على خطٍّ حديديّ أفقيّ بتسارُع ثابت $1.2\,m.s^{-2}$. ما تسارُعُ مركز عطالة الجملة عندَما تكونُ كتلةُ المقطورات $20000\,kg$ معَ بقاءِ قوّةِ الجرِّ ثابتة؟ ماذا تستنتج؟

الحلّ:



$$F = ma$$

$$F' = m'a'$$

$$F = F'$$

$$50000 \times 1.2 = 20000 \times a'$$

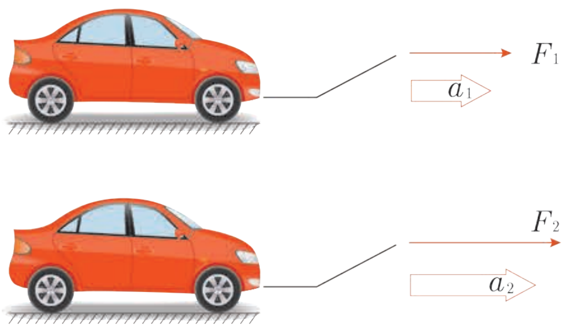
$$a' = 3\,m.s^{-2}$$

أستنتجُ أنَّ التّسارع يزدادُ بتناقصِ كتلةِ الجسم عندَ ثباتِ القوّة.

تطبيق (3)

تتحرَّكُ سيّارةٌ كتلتُها $m = 500\,kg$، بتسارعٍ ثابتٍ a، بتأثيرِ مُحصّلة قوىً خارجيّة تبلغُ شدَّتُها $F_1 = 1000\,N$ ما قيمةُ هذا التَّسارع؟ وما قيمتُه إذا أصبحَتْ شدّةُ مُحصِّلة القوى المُؤثِّرة $F = 2000\,N$؟ ماذا أستنتج؟

الحلّ:



$$F = ma$$

$$a_1 = \frac{F_1}{m}$$

$$a_1 = \frac{1000}{500} = 2\,m.s^{-2}$$

$$a_2 = \frac{F_2}{m}$$

$$a_2 = \frac{2000}{500} = 4\,m.s^{-2}$$

أستنتجُ أنَّ قيمةَ التَّسارُع تزدادُ بازدياد شدة محصلة القوى المؤثِّرة عندَ ثباتِ كتلة الجسم.

تطبيق (4)

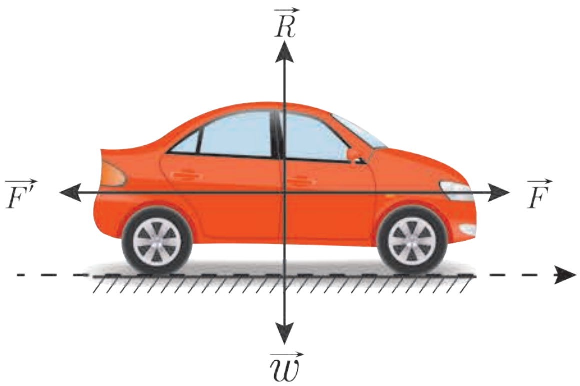
تنطلقُ سيّارةٌ، كتلتُها $m = 500\,kg$ من السّكون على طريقٍ مُستقيمة أُفقيَّة، فتخضعُ لقوى احتكاكٍ نعدّها ثابتة، شدّتها $F' = 80\,N$، بالإضافة إلى قوّة جرّ المُحرِّك التي تحافظُ على شدّة $F = 180\,N$، فتزدادُ سرعةُ السيّارة بمُعدَّلٍ ثابتٍ فتقطع مسافةَ $1\,km$.

1. ارسم مخطّطَ القوى الخارجيّة المؤثِّرة في مركز عطالة السيّارة.

2. احسب تسارُعَ السيّارة وحدِّد طبيعةَ حركتِها.
3. احسب سرعةَ السيّارة بعدَ قطعها المسافةَ السّابقة.

الحلّ:

1. رسمُ مخطّطٍ للقوى الخارجيّة المؤثِّرة:



2. بتطبيق قانون نيوتن الثاني

$$\sum \vec{F} = m.\vec{a}$$
$$\vec{w}+\vec{R}+\vec{F}+\vec{F'} = m.\vec{a}$$

بإسقاط القوى على محوَرٍ أفقيّ يوازي الطريق وله جهةُ حركة السيّارة:

$$0+0+F-F' = m.a$$
$$180-80 = 500\,a$$
$$a = \frac{100}{500} = 0.2\,\mathrm{m.s^{-2}}$$

بما أنَّ السيارّة تخضعُ لمُحصِّلة قوىً ثابتةٍ (قوّة جرّ المُحرِّك وقوّة الاحتكاك، وهما قوّتان ثابتتان) تكتسبُ السيّارة تسارُعاً ثابِتاً، فالحركةُ مُستقيمة مُتغيِّرة بانتظام.

3. باستخدام العلاقة المُستقِلّة عن الزَّمن

$$v^2 - v_0^2 = 2\,a.\,\triangle x$$
$$v^2 - 0 = 2\,(0.2)\,(1000)$$
$$v = \sqrt{400} = 20\,\mathrm{m.s^{-1}}$$

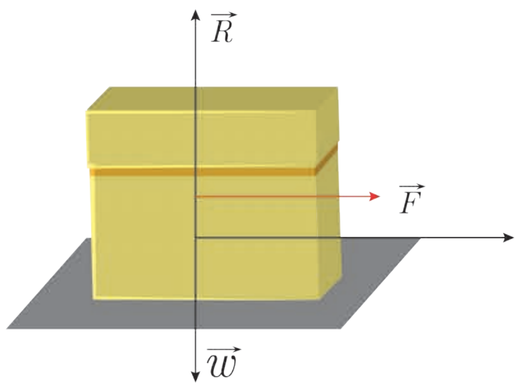
تطبيق (5)

قامَ أحدُ طلاب الصّف الأوّل الثانوي بجرِّ صندوقٍ أملسَ، كتلتُه $25\,\mathrm{kg}$ على سطحٍ أفقيّ أملسَ (من دون احتكاك)، وذلك بتطبيق قوّة جر أفقية شدّتها $50\,\mathrm{N}$، **المطلوب**:

1. ارسم مُخطَّط القوى الخارجيّة المؤثّرة في مركز عطالة الصندوق.
2. احسب التَّسارع الذي يكتسبُه الصُّندوق.
3. احسب المَسافة التي يقطعُها مركزُ عطالة الصّندوق بعد $10\,\mathrm{s}$ من بدءِ حركتِه إذا علمت أنه بدأ حركته من السكون.

الحلّ:

1. رسمُ مُخطَّط القوى الخارجيّة المؤثِّرة:



2. بتطبيق قانون نيوتن الثّاني (العلاقة الأساسيّة في التّحريك)

$$\sum \vec{F} = m.\vec{a}$$
$$\vec{w}+\vec{R}+\vec{F} = m.\vec{a}$$

بالإسقاط على محوَر بجهةِ قوّة الجرّ $\vec{F}$

$$0+0+F = m.a$$
$$a = \frac{F}{m}$$
$$a = \frac{50}{25} = 2\,\mathrm{m.s^{-2}}$$

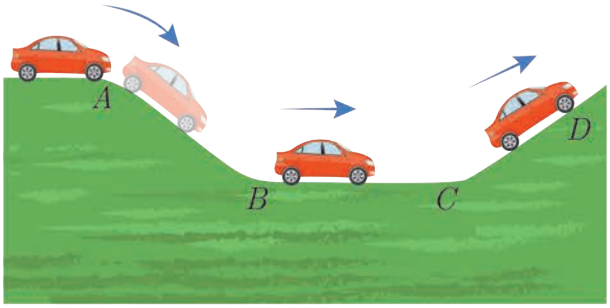
3. المَسار مُستقيم والتّسارُع ثابتٌ فالحركةُ مُستقيمةٌ مُتسارِعة بانتظام

$$x - x_0 = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t$$

$$x - x_0 = \frac{1}{2}(2)(10)^2 + (0)(2)$$

$$x - x_0 = 100\ \text{m}$$

تمرين (1)

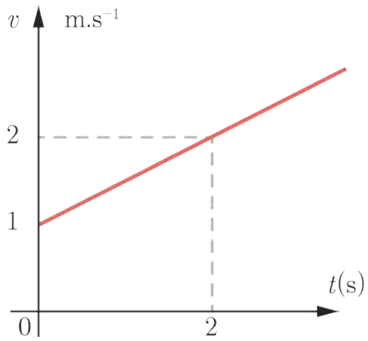


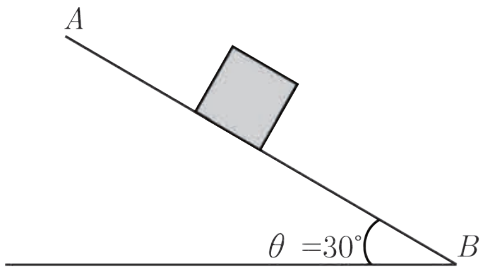
تتحرَّك عربةٌ من السّكون من دون قوّة جرّ على طريقٍ أملسَ فتقطعُ المسار بدءاً من A ثمَّ تتوقَّف في D.

1. ارسم مخطط القوى الخارجيّة التي يخضعُ لها مركز عطالة العربة في كلّ مرحلة.
2. ما طبيعةُ حركةِ العربةِ في كلِّ مرحلة.

تمرين (2)

نُعطي لجسم كتلتُه $m = 100\ \text{g}$ سرعةً ابتدائيّةً v_0 مُوازية للمستوي AB الذي يميلُ عن الأفق بزاوية $\theta = 30°$ فيخضعُ لقوّة احتكاكٍ نعدُّها ثابتة، إذا بدأ حركتَه من A إلى B.





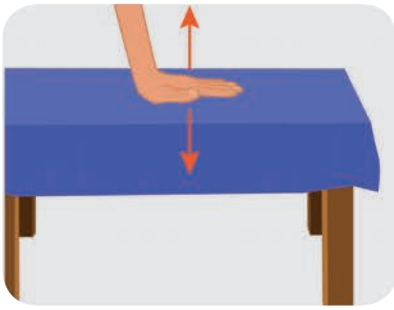
1. استنتج من الخطّ البياني السّرعة الابتدائيّة للجسم وتسارُعه.
2. ما طبيعةُ حركة الجسم في أثناء حركته من A إلى B؟
3. احسب شدّةَ قوّة الاحتكاك التي يخضعُ لها الجسمُ في أثناء حركته.

تمرين (3)

سيارةٌ تسحبُ سيارةً أخرى مُعطَّلة، كتلتُها $2000\ \text{kg}$ على طريقٍ مُستقيمةٍ أفقيَّة، فإذا أردْنا أن تتسارعَ السيّارة بانتظامٍ من السّكون إلى سرعة $2.5\ \text{m.s}^{-1}$ (نهملُ قوى الاحتكاك) خلال $50\ \text{s}$، ما مقدارُ القوَّة التي يجبُ أن يؤثِّرَ بها حبلُ السّحب على تلكَ السيّارة.

3-1-4 القانون الثالث لنيوتن. مبدأُ الفعل وردُّ الفعل

ألاحظُ وأستنتجُ:



- لماذا بقيَت الإشارةُ في مكانها على الرَّغم من قوّة شدّ كلٍّ من المُتسابقين للحبل؟
- ماهو سببُ شعورِك بالألم عندَما تؤثّر على الطّاولة الأفقيّة بقوّة كبيرة شاقوليّة نحوَ الأسفل؟
- لماذا يتحرَّكُ القاربُ بعكس جهة حركة الشَّخص الذي يغادرُه؟

من خلال ما سبق نستطيع أن نعمم:
إذا أثّرَ جسم A بقوّة $\vec{F}$ في جسم آخر B، فإنَّ الجسمَ B يؤثّرُ في الجسم A بقوّة $\vec{F'}$ تساوي $\vec{F}$ بالقيمة وتعاكسها بالاتّجاه. تسمَّى إحدى هاتَين القوّتَين قوّة الفعل بينَما تسمّى الأخرى قوّةَ ردِّ الفعل.

ينصُّ قانونُ نيوتن الثّالث على أنّ:

لكلّ فعلٍ ردُّ فعلٍ يساويه بالمِقدار ويعاكسُه بالجهة.

تمرين (4)

احسب شدَّةَ القوّة التي تؤثِّر بها أرضيّةُ مصعَدٍ ساكِن على رَجلٍ كتلتُه 75 kg يقفُ داخلَ المِصعَد.
(باعتبار $g = 10\,\text{m.s}^{-2}$)

إثراء:

نبذةٌ عن العالم إسحاق نيوتن

عالمٌ إنجليزيّ يعدّ من أبرز العلماء مُساهَمةً في الفيزياء والرّياضيّات عبر العصور. صاغَ نيوتن قوانينَ الحركة وقانون الجذب العام. كما أثبتَ أنَّ حركةَ الأجسام على الأرض والأجسام السّماويّة يمكن وصفها وفقَ مبادئ الحركة والجاذبيّة ذاتها. يرجعُ له الفضلُ بوضعِ القوانين الرّياضيّة التي أثبتَت قوانين كبلر المُتعلّقَة بحركةِ الكواكب حول الشّمس. أزالَ نيوتن آخرَ الشّكوك حولَ صلاحيّة نظريّة مركزية الشَّمس كنموذج للكون.

تعلّمْتُ

- **القوّة:** كلُّ ما يسبّب تغيّر في شكل الجسم أو في حالته الحركيّة.
- **عطالة الجسم:** تعبّر عن مُمانَعة الجسمِ لتغيير حالته الحركيّة.
- **قوانين نيوتن:**

1. **القانون الأول:** إذا انعدَمت مُحصّلة القوى الخارجيّة المؤثّرة في مركز عطالة جسم صُلب، فإنَّ مركزَ عطالة الجسم يبقى ساكناً إذا كانَ بالأصل ساكناً، وإذا كانَ مُتحرّكاً تصبحُ حركتُه مستقيمةً منتظمةً، وسرعةُ مركزِ عطالته هي سرعتُه لحظةَ انعدام مُحصّلة القوى.

2. **القانون الثاني:** إذا خضعَ مركزُ عطالة جسمٍ صلبٍ لمُحصّلة قوىً خارجيّة ثابتة منحىً وجهةً وشدةً، اكتسبَ تسارُعاً ثابتاً يتناسبُ طرداً مع شدّة مُحصّلة القوى الخارجيَّة المؤثِّرة، وله المنحى ذاته والجهةُ ذاتها.
ترتبطُ مُحصِّلة القوى الخارجيّة المُؤثِّرة $\vec{F}$ في مركز عطالة جسمٍ، كتلتُه m، وتسارعه $\vec{a}$، بالعلاقة:

$$\Sigma\vec{F} = m.\vec{a}$$

3. **القانون الثّالث:** لكلّ فعلٍ ردُّ فعلٍ يساويه بالقيمة ويعاكسُه بالجّهة.

أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابة الصَّحيحة لكلٍّ ممَّا يأتي:

1. سيّارة كتلتها m عندما تكونُ مُتوقّفة فإنّ:
   a. مُحصّلة القوى المؤثّرة في مركز عطالتها معدومة.
   b. تؤثّر فيها قوّة وحيدة.
   c. تسارُعها ثابتٌ غيرُ معدوم.
   d. مُحصّلة القوى المؤثّرة في مركز عطالتها ثابتة غيرُ معدومة.
2. سيّارة كتلتُها m عندَما تسيرُ على طريقٍ مُستقيمٍ بسرعةٍ ثابتةٍ، فإنَّ:
   a. مُحصّلة القوى المؤثّرة في مركز عطالتها معدومة.
   b. تؤثّر فيها قوّة وحيدة.
   c. تسارعها ثابت غير معدوم.
   d. محصلّة القوى المؤثّرة في مركز عطالتها ثابتة غير معدومة.

3. سيّارة كتلتُها m عندَما تتسارعُ حركتُها بانتظامٍ فإنّ:

a. سرعتَها ثابتة.

b. تسارعَها معدوم.

c. مُحصّلة القوى المُؤثِّرة في مركز عطالتها ثابتة غير معدومة.

d. مُحصّلة القوى المُؤثِّرة في مركز عطالتها معدومة.

4. عندَما ندفعُ بالقوّة ذاتها كتلتَين $m_1 = 5m_2$ فإنَّ:

a. $a_1 = a_2$

b. $a_1 = 2a_2$

c. $a_1 = 5a_2$

d. $a_2 = 5a_1$

5. إذا زادَت سرعةُ سيارة كتلتُها $800\,\text{Kg}$ من $10\,\text{m.s}^{-1}$ إلى $30\,\text{m.s}^{-1}$ خلالَ $5\,\text{s}$، فإنَّ مُحصّلة القوّة المؤثِّرة على السّيارة تساوي:

a. $1600\,\text{N}$

b. $4800\,\text{N}$

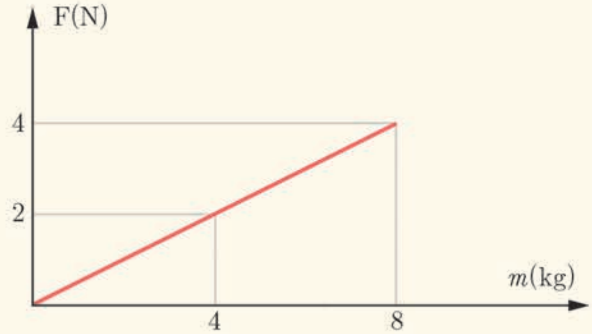
c. $3200\,\text{N}$

d. $200\,\text{N}$

ثانياً: أجِبْ عن الأسئلة الآتية:

1. يقفُ رجلٌ كتلتُه $50\,\text{kg}$ على أرضٍ مستويةٍ أفقيّةٍ، ما قيمةُ القوّة التي يؤثِّرُ بها سطحُ الأرض على الرّجل، وما اتّجاهُها؟ (باعتبار $g = 10\,\text{m.s}^{-2}$).

2. الخطّ البياني المُقابِل يمثِّلُ العلاقةَ بينَ الكتلةِ والقوّة المؤثّرة في مركزِ العطالة، ما هو تسارُع مركزِ العطالة؟



3. احسب شدّة ثقلِ رائد فضاءٍ على سطح الأرض، ثمَّ على سطحِ القمر، إذا كانَت كتلتُه على سطحِ الأرض $90\,\text{kg}$، حيثُ تسارُعُ الجاذبيّة على سطحِ القمر $1.67\,\text{m.s}^{-2}$، و تسارُعُ الجاذبيّة على سطحِ الأرض $9.8\,\text{m.s}^{-2}$.

ثالثاً: حلِّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

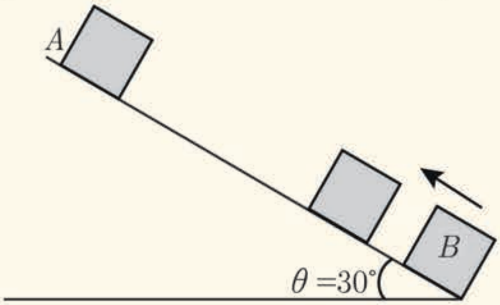
تجرُّ عربة كتلتُها $24\,kg$ بدءاً من السكون على طريق مستقيمةٍ أفقيَّةٍ، فلزمَ لذلك تطبيقُ قوَّة أفقيّة شدّتُها $75\,N$ فبلغَت سرعتُها $5\,m.s^{-1}$ بعد قطعِها مسافةَ $10\,m$ **المطلوب حساب:**

a. شدّة قوّة الاحتكاك بينَ الأرض والعربة.

b. الزَّمن اللاّزم لقطع تلك المسافة.

المسألة الثانية:

نقذفُ جسماً كتلتُه $1\,kg$ من B أسفلِ مستوٍ يميلُ عن الأفقِ بزاوية $\theta = 30°$، بسرعةٍ ابتدائيّة توازي المستوي، فيتوقفُ الجسمُ في النقطة A، ويكونُ التّابعُ الزّمني لسرعة الجسم $v = -6t + 3$، علماً أنَّ الجسمَ يخضعُ في أثناء حركته إلى قوّة احتكاكٍ ثابتةِ الشّدة.



a. استنتجْ تسارُعَ الجّسم وسرعتَه الابتدائيّة.

b. احسبِ المسافةَ التي قطعَها الجسمُ حتّى توقّف.

c. احسب شدّةَ قوة الاحتكاك.

المسألة الثالثة:

تنطلقُ سيّارةٌ كتلتُها $1350\,kg$ من السكون على طريق مستقيمةٍ أفقيّةٍ بتسارع ثابت، فتبلغُ سرعتها $20\,m.s^{-1}$ خلالَ زمن $4\,s$. (بإهمال قوى الاحتكاك ومُقاوَمة الهواء)، **المطلوب** حساب:

a. تسارُع حركة مركز عطالة السيارة.

b. شدّة قوّة جرّ مُحرِّك السيَّارة في أثناء الحركة السابقة.

المسألة الرابعة:

بينَما كانَ سائقٌ يقودُ سيّارتَه على طريقٍ مُستقيمةٍ أفقيةٍ بسرعة $20\,m.s^{-1}$، تفاجأ بإشارةِ المرور الحمراء، فاستخدمَ المكابحَ لتصبحَ حركةُ سيّارته مُتباطِئةً بانتظام فتوقّفت خلال زمن $4\,s$، **المطلوب** حسابُ:

a. تسارُع السيّارة خلالَ مرحلة التباطؤ.

b. بعد السيَّارة عن إشارة المرورِ لحظةَ استخدام المكابح.

المسألة الخامسة:

1. تسيرُ سيّارةٌ على طريقٍ مُستقيمٍ أفقيّ بسرعةٍ ثابتة $20\,m.s^{-1}$، بتأثير قوّة جرِّ محرّكها الثّابتة والتي تبلغ قيمتها $7500\,N$. احسبْ شدَّة مُحصّلة القوى المُعيقة المُؤثّرة في مركز عطالة السيّارة.
2. تصلُ السيّارة بعدئذٍ بسرعتِها السّابقة $20\,m.s^{-1}$ إلى طريقٍ صاعِدةٍ تميلُ على الأفق بزاوية $30°$، احسب المسافةَ التي يقطعُها مركزُ عطالة السيّارة حتّى تقفَ مع بقاء قوى الاحتكاك ثابتةً.

المسألة السادسة:

تتحرَّكُ سيارةٌ، شدّة ثقلُها $3000\,N$، على طريقٍ مُستقيمةٍ أفقيّةٍ بسرعةٍ ثابتةٍ، قيمتُها $50\,m.s^{-1}$، و في لحظةٍ ما ضغطَ السّائقُ على المكابح فتباطأت السّيارة بانتظام حتّى توقّفت، إذا علِمتَ أنَّ السّيارة تعرَّضَت لقوى احتكاكٍ شدتُها 50% من شدّة ثقل السَّيارة، ما المسافةُ التي تقطعُها السَّيارة حتّى تقفَ تماماً.

5-1 العملُ والاستطاعة

الأهداف:

* يتعرَّف العمل الفيزيائيّ.
* يستنتج علاقةَ عمل قوّة.
* يميِّز بينَ العمل المُحرِّك والعمل المُقاوِم.
* يتعرَّف الاستطاعة.
* يربُط بينَ تغيُّر الطّاقة الحركيَّة والعمل (نظريّة الطّاقة الحركيّة).
* يربُط بينَ تغيُّر الطّاقة الكامِنة والعمل (نظريّة الطّاقة الكامِنة).

الكلمات المفتاحية:

* القوّة
Force
* المسافة
Distance
* العمل
Work
* الاستطاعة (القدرة)
Power
* الزَّمن
Time
* الطاقة الكامِنة
Potential energy
* الطاقة الحركيَّة
Kinetic energy
* الطاقة الميكانيكيّة
Mechanical energy
* الانتقال
Displacement

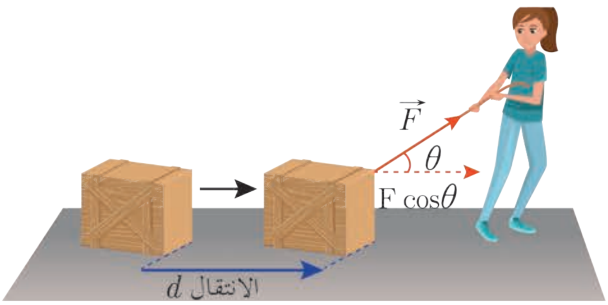
1-5 مفهومُ العمل

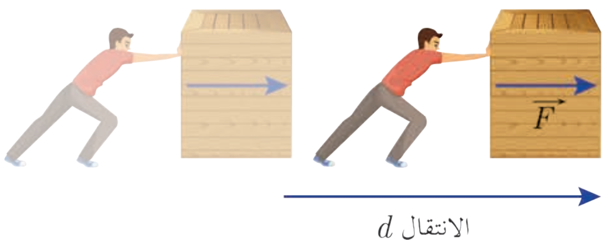
ألاحظُ وأستنتجُ:

- عندَما يدفعُ الطفلُ السّيارة بقوّة ولا يستطيعُ تحريكَها، هل لهذه القوّة التي يبذلُها عملٌ؟

- يدفعُ الطّفل سيارته ليحرّكَها من مكانٍ لآخر، فهل القوّة التي يطبّقُها تقومُ بعملٍ؟

- هل أنجزَ الرّجلُ أو المرأة عملاً عندَما نقلَ الصندوقَ من مكانه؟ ما وضعُ حامل القوّة بالنّسبة للانتقال في الحالتَين؟





أستنتج

إذا أثّرتَ **قوّة** في نقطةٍ من جسمٍ صلبٍ ونقلتَه على حاملِها أو حامل إحدى مركبتَيها، فإنَّ القوَّة أنجزَت **عملاً** فيزيائيّاً.

1-1-5 عملُ قوّةٍ ثابتة الشّدة:

إذا انتقلَت نقطةُ تأثير قوّة ثابتة الشدّة F، مسافة d، انتقالاً مُستقيماً يصنعُ حاملُها زاويةَ θ، فإنَّ عملَ هذه القوّة $\overline{W}$ يُعطى بالعلاقة:

$$\overline{W} = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

$$\overline{W} = F\, d \cos\theta$$

وحدةُ قياس العمل في الجملة الدّولية الجول J.

ويُعرَّف الجول بأنَّه:

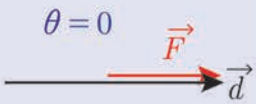
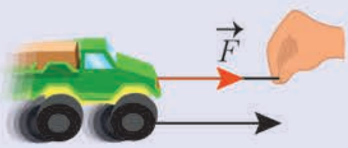
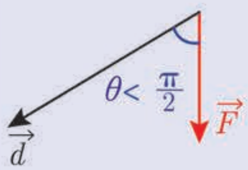
عملُ قوّةٍ، مقدارُها نيوتن واحد، تنتقلُ نقطةُ تأثيرها على حاملها وبجهتها مسافة مترٍ واحدٍ.

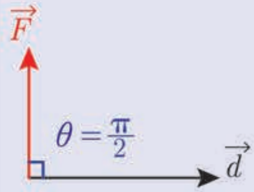
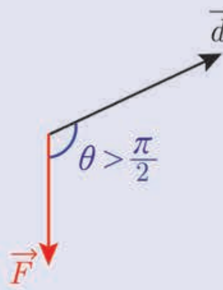
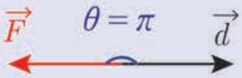
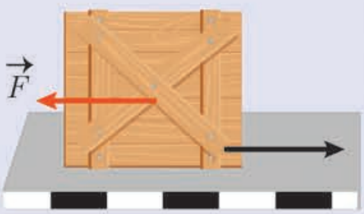
$$1\,(\mathrm{J}) = 1\,(\mathrm{N}) \times 1\,(\mathrm{m})$$

من هذا التعريف أستنتجُ أنّه:

- لينتجَ لدينا عمل يجبُ تطبيق قوّةٍ يحدثُ على أثرها انتقالٌ لمركز عطالة الجسم.
- العملُ مقدارٌ جبريّ موجبٌ أو سالبٌ لأنَّه ينتجُ من الجداء السلميّ لشعاع القوّة في شعاع الانتقال.
- إنَّ وجودَ $\cos\theta$ في علاقةِ العمل يساعدُ في تحديد حالات العمل المُمكِنة (موجِب، سالِب، مَعدوم)

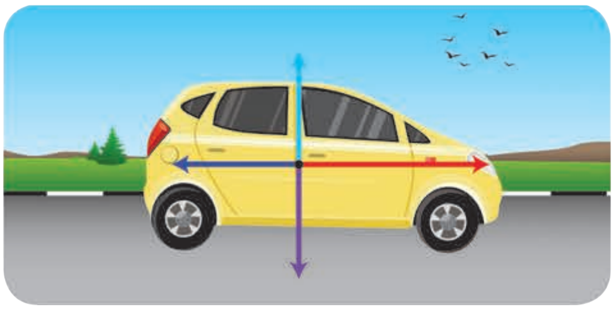
حيثُ θ هي الزّاوية بينَ شعاع القوّة وشعاع الانتقال، ويمكنُ أن نميِّزَ الحالات الآتية بحسب هذه الزَّاوية:

الزاوية بينَ القوّة والانتقال	علاقة العمل	نوع العمل	مُخطَّط القوّة والانتقال	مثال
شعاع القوّة وشعاع الانتقال على حامل واحد وبجهة واحدة	$W = Fd\cos 0$ $\cos 0 = +1$ $W = +F\,d$	العمل موجِب مُحرِّك		قوّة الشد قوة تساعدُ على الحركة 
شعاع القوّة يصنعُ زاوية حادّة مع شعاع الانتقال	$W = Fd\cos\theta$ $\cos\theta > 0$ $W > 0$	العمل موجِب مُحرِّك		قوّة الثّقل في أثناء الهبوط تساعدُ على الحركة 

شعاعُ القوّة عمودي على شعاع الانتقال	$W = Fd\cos\frac{\pi}{2}$ $\cos\frac{\pi}{2} = 0$ $W = 0$	العمل معدوم		قوّة الشدّ الشاقوليّة مع انتقالٍ أفقيّ لا تسبّب عملاً 
شعاع القوّة يصنعُ زاوية مُنفرجة مع شعاع الانتقال	$W = F\,d\cos\theta$ $\cos\theta < 0$ $W < 0$	العمل سالِب مُقاوِم		قوّة الثّقل في أثناء الصّعود تُعيقُ الحركة 
شعاع القوة وشعاع الانتقال على حامل واحد وبجهتَين مُتعاكِستَين	$W = F\,d\cos\pi$ $\cos\pi = -1$ $W = -F\,d$	العمل سالِب مُقاوِم		قوّة الاحتكاك قوّة مُعيقة للحركة 

تطبيق 1

تتحرّك سيّارة بتأثير قوّة جرّ مُحرّك ثابتة الشدّة على طّريقٍ مُستقيمة أفقيّة علماً أنَّها تخضعُ لقوى احتكاكٍ ومُقاومةِ هواءٍ، مُحصلتُها ثابتةُ الشدّة. حدّد على الشّكل المُجاوِر مُخطّط القوى الخارجيّة المُؤثّرة، ثمَّ اكتب العلاقةَ المُعبّرة عن عمل كلِّ قوّة.



الحلّ:

عمل قوّة الثّقل: قوّة الثقل عمودية على الانتقال الأفقي

$$W_{\vec{w}} = mg\,d\cos\frac{\pi}{2} = 0$$

عمل قوّة جر المحرّك: قوّة جر المحرّك قوّة لها حامل الانتقال وجهته.

$$W_{\vec{F}} = Fd\cos\theta = +Fd$$

عمل قوّة الاحتكاك: قوّة الاحتكاك قوّة لها حامل الانتقال وتعاكسه بالجّهة.

$$W_{\vec{F'}} = F' d \cos\theta = -F' d$$

عمل قوّة رد الفعل: قوّة ردّ الفعل قوّة عموديّة على الانتقال.

$$W_{\vec{R}} = R\, d \cos\frac{\pi}{2} = 0$$

تطبيق 2

يشدُّ شخصٌ جسماً، كتلتُه $m = 30\,\text{kg}$ ، على أرض أفقيّة وفقَ مسارٍ مُستقيم بسرعةٍ ثابتة بتطبيق قوّةٍ شدّتُها F ، يصنعُ حاملُها مع الانتقال زاوية $\theta = 60°$ ، ويخضعُ الجّسم لقوّة احتكاك ثابتةِ الشدّة $F' = 20\,\text{N}$ تعاكسُ الحركة **والمطلوب**:

1. ارسم مُخطّطاً للقوى الخارجيّة المؤثِّرة في مركز عطالة الجسم.

2. احسب F شدّة القوّة المُطبّقة.

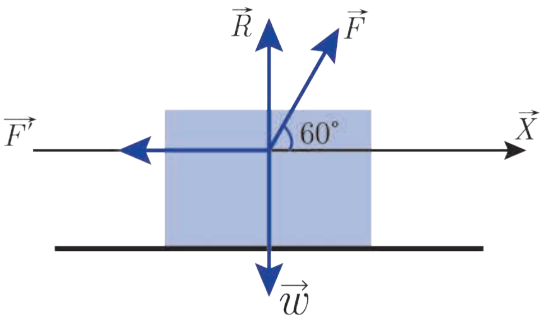
3. احسب العمل الذي تبذلُه كلّ قوّة من القوى المؤثِّرة في مركز عطالة الجّسم عندما ينتقلُ مسافة $5\,\text{m}$.

الحلّ:

1. بما أنَّ سرعة الجّسم ثابتة فهو يخضعُ لمُحصّلة قوىً معدومةٍ، وذلك بحسب قانون العطالة

$$\Sigma\vec{F} = \vec{0}$$

$$\vec{F} + \vec{F'} + \vec{w} + \vec{R} = \vec{0}$$



بالإسقاط على محوَر أفقيّ كما في الشّكل:

$$+F\cos\frac{\pi}{3} - F' + 0 + 0 = 0$$

$$F = \frac{20}{\frac{1}{2}} = 40\,\text{N}$$

2. حساب عمل كلّ من القوى المؤثِّرة:

عملُ قوّة الشدّ موجِب (مُحرِّك)؛ لأنَّ الزّاوية بينَ شعاعَي القوّة والانتقال حادّة:

$$W_{\vec{F}} = F\,d\cos\frac{\pi}{3} = 40 \times 5 \times \frac{1}{2} = 200\,\text{J}$$

عمل قوّة الاحتكاك سالب (مُقاوم)؛ لأنّ الزّاوية بينَ شعاعَي القوّة والانتقال مُستقيمة:

$$W_{\vec{F'}} = -F' d = 20 \times 5 = -100\,\text{J}$$

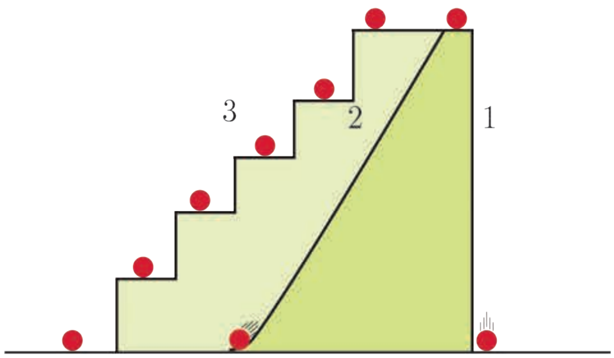
عملُ قوّتَي ردّ الفعل والثّقل معدوم؛ لأنَّ الزّاوية بين شعاعَي القوّة والانتقال قائمة:

$$W_{\vec{R}} = 0 \qquad W_{\vec{W}} = 0$$

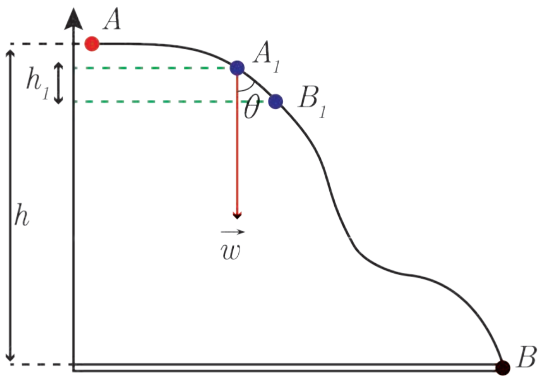
2-1-5 عمل قوّة الثّقل في أثناء انتقال ما:

نشاط:

اترك كرةً تسقطُ بتأثير قوّةٍ ثقلُها من الأعلى إلى الأسفل عبر مَسارات مُختلِفة 1، 2، 3 والّتي لها ارتفاعٌ واحدٌ h عن سطح الأرض. ما هو عملُ قوّة ثقل الكرة في كلِّ حالةٍ عندئذٍ؟



إذا انتقلَ جسمٌ من النقطة A إلى النقطة B عبر طريق مُنحني (كما في الشّكل المُجاوِر) فما هو عمل قوّة الثّقل عندئذٍ:



نجزّئ الانتقال الكلّي إلى انتقالات صغيرة A_1B_1 ونحسب عمل قوّة الثّقل في أثناء هذا الانتقال

$$W_1 = wA_1B_1\cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{h_1}{A_1B_1}$$

$$W_1 = wA_1B_1\frac{h_1}{A_1B_1}$$

$$W_1 = w\,h_1$$

ويكون عمل قوّة الثّقل في أثناء الانتقال الكلّي، هو المجموع الجبريّ للأعمال العنصريّة لقوّة الثّقل في أثناء الانتقالات الصّغيرة:

$$W_{\vec{w}} = W_1 + W_2 + W_3 + \ldots$$

$$W_{\vec{w}} = wh_1 + wh_2 + wh_3 + \ldots$$

$$W_{\vec{w}} = w(h_1 + h_2 + h_3 + \ldots)$$

$$W_{\vec{w}} = m\,g\,h$$

$$W_{\vec{w}} = w\,h$$

أي أنَّ عمل قوّة الثّقل لا يتعلَّق بالطريق المسلوك، وإنَّما بالوضعَين البدائيّ والنهائي.

2-5 الاستطاعة

إذا قامَ عدّة أشخاص بالعمل ذاته فربّما ستجدُ أنَّ كلّ واحدٍ منهم ينجزُه في وقتٍ مُختلِف عن الآخر. عند استخدامِك مضخَّتَي ماء لملء خزانَين لهما الحجم ذاته إلى سطح البناء نفسه، نجدُ أنَّ إحدى المضختين تملأ الخزان قبل الأخرى.

- أيُّ المَضختَين الأفضل برأيك، ولماذا؟

لمُقارَنة القدرات بينَ الأشخاص أو الآلات، علينا **حسابُ العمل الذي ينجزُه أحدهم خلال وحدة الزّمن**. ونسمّي هذا المفهوم فيزيائيّاً **بالاستطاعة الميكانيكية**.

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

يُقدَّر العمل بالجول J

ويُقدَّر الزمن بالثانية s

عندئذٍ تقدَّرُ الاستطاعة بالواط Watt ، ويُرمَز لها بـ W

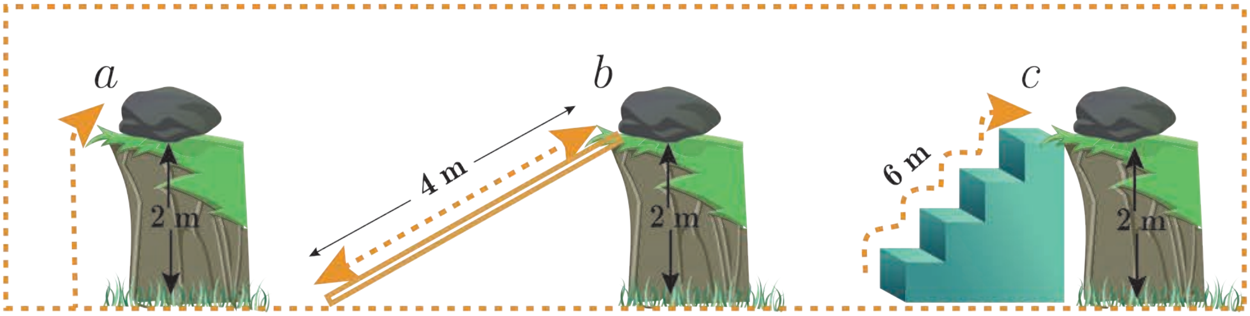
الاستطاعة: هي العملُ المُنجَز خلالَ واحدة الزَّمن.

الواط: هو استطاعةُ عاملٍ أو آلةٍ تُنجِز عملاً، قدرُه جولٌ واحدٌ خلالَ ثانية واحدة.

هناك وحدة أخرى للاستطاعة: الحصان البُخاري (hp) حيث $1\,hp = 735W$

فكِّر وأجِب:

نرفعُ حجراً، كتلتُه m من سطح الأرض إلى أعلى المستوي عبرَ المَسارات a, b, c بالسّرعة ذاتها، بحيث تكونُ حركةُ الصّخرة ثابتةً على مَسارها، أي الحالات الثّلاثة يُنجَز العمل بأقلِّ استطاعة؟ ولماذا؟



تطبيق(3)

مُحرِّك يرفعُ جسماً، كتلته $m = 200\,kg$، بسرعة ثابتة $v = 3\,cm.s^{-1}$، احسبِ استطاعتَه مقدّرة بالواط، ثمَّ بالحصان البخاري.

الحلّ:

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

$$P = \frac{F\,d}{t}$$

$$P = \frac{m\,g\,d}{t}$$

$$P = F.v$$

$$P = 200 \times 10 \times 3 \times 10^{-2}$$

$$P = 60\,W$$

$$P = \frac{60}{735} = 0.078\,hp$$

تمرين:

تجرُّ قاطرةٌ عدّةَ عرباتٍ بقوّة شدّتُها $48 \times 10^{3}\,N$ على مَسارٍ مُستقيم، طولُه $100\,km$، خلال $1\,h, 20\,min$.

احسب عملَ هذه القوّة واستطاعتَها خلالَ المَسار السّابق.

3-5 نظريّة الطّاقة الحركيّة ونظريّة الطاقة الكامنة:

يُعتبَر مفهومُ الطاقة وأشكالُها من المفاهيم الفيزيائيّة التي لها تطبيقاتٌ كثيرة في مجالات الحياة عامّة، وللطاقة أشكالٌ عديدة تتحوَّل من شكلٍ إلى آخرَ حسب الظروف المُتوفِّرة والأداة المُستخدَمة لاستهلاكها أو توليدها.

العملُ شكلٌ من أشكال الطاقة، ويمتلكُ الجسم طاقة إذا كانَ قادراً على القيام بعمل، ومن أشكال الطّاقة: الطّاقة الحركيَّة والطاقة الكامِنة.

الطاقة الحركيّة: هي الطاقة التي يمتلكُها الجسمُ المُتحرِّك، وتتعلَّقُ بكتلة الجسم وسرعته، وتُعطى بالعلاقة:

$$E_K = \frac{1}{2} m v^2$$

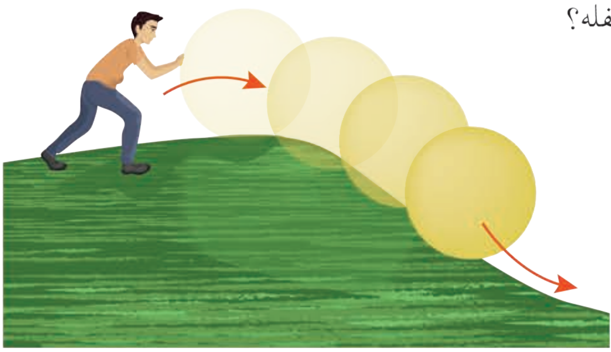
الطاقة الكامنة الثقاليّة: هي الطاقة التي يمتلكُها الجسم عندما يكونُ على ارتفاع مُعيَّن عن مستوٍ مرجعي، وتتعلّق بثقل الجسم وارتفاعه عن المستوي المرجعي، تعطى بالعلاقة:

$$E_p = w\,h$$

ألاحظُ وأجيبُ:

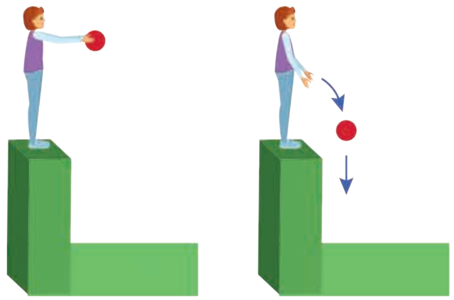
ما نوعُ الطاقة التي تمتلكُها الكرة السّاكنة في أعلى ارتفاع على قمّة المُنحدَرِ المائل؟

ما نوعُ طاقة الكرة في أثناءِ انتقالها من قمّة المُنحدَر نحوَ أسفله؟



4-5 استنتاجُ نظريّة الطاقة الحركيّة و نظريّة الطاقة الكامنة

نتركُ حجراً كتلتُه m، يسقطُ سقوطاً حرّاً من ارتفاع h عن سطح الأرض الذي نعتبرُه المستوي المرجعي.



- استنتج علاقةَ سرعة الحجر لحظةَ وصوله سطح الأرض.

بما أنّ الحجر يسقطُ سقوطاً حرّاً فإنَّ:

$$v = gt$$
$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

بالتعويض ينتج: $v = \sqrt{2\,g\,h}$

- ما العلاقة بين تغيُّر الطاقة الحركيّة للحجر ومجموع أعمال القوى الخارجيّة المؤثّرة في مركز عطالته؟

إنّ تغير الطاقة الحركيَّة للحجر بدءاً من لحظة سقوطِه وحتّى وصوله سطح الأرض:

$$\Delta E_K = E_{K_2} - E_{K_1}$$
$$\Delta E_K = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$
$$\Delta E_K = \frac{1}{2}m(2\,g\,h)$$
$$\Delta E_K = m\,g\,h$$

وبما أنَّ عمل قوّة ثقل الحجر $W = m\,g\,h$

أستنتج: $\Delta E_K = W$

نعمِّمُ هذه النتيجة على شكل نظريةٍ، تعرَفُ باسم **نظرية الطاقة الحركيّة** لجسم صلبٍ، والتي تنصّ على:

إنَّ تغير الطاقة الحركيّة لجسم صلب خلال فاصلٍ زمني مُعيَّن يساوي العمل الذي تقومُ به مُحصّلة القوى المُؤثّرة في الجسم خلال الفاصل الزمني نفسه.

- ما العلاقة بينَ تغيُّر الطاقة الكامنة للحجر وعمل مُحصّلة القوى المؤثِّرة في مركز عطالته؟

إنَّ تغيُّر الطاقة الكامنة للحجر بدءاً من سقوطه وحتَّى وصوله سطح الأرض:

$$\Delta E_P = E_{P_2} - E_{P_1}$$
$$\Delta E_P = 0 - w\,h$$
$$\Delta E_P = -m\,g\,h$$

وبما أنَّ عملَ قوّة ثقل الحجر $W = m\,g\,h$

أستنتج: $\Delta E_P = -W$

نعمِّم هذه النّتيجة على شكلِ نظريَّة، تُعرَف باسم **نظرية الطاقة الكامنة الثقاليّة**، والتي تنصُّ على:

إنَّ تغيُّرَ الطاقة الكامنة الثقاليّة في جملة (جسم – أرض) خلالَ فاصل زمنيّ مُعيَّن، يساوي قيمةَ عمل قوّة الثقل، ويعاكسُه إشارةً عند انتقال نقطة تأثيره بين الوضعَين المُعتبرَين خلال الفاصل الزّمني ذاته.

- ما العلاقةُ بينَ تغيُّر الطاقة الحركيَّة وتغيُّر الطاقة الكامنة الثقاليّة لجسم صلب؟

لدينا:

$$\Delta E_K = W$$
$$\Delta E_P = -W$$

بجمع العلاقتَين نجد: $\Delta E_K + \Delta E_P = 0$

$$\Delta(E_K + E_P) = 0$$

أي أنَّ مجموع الطاقتَين الحركيّة والكامنة مقدارٌ مصونٌ لا يتغيَّر، نسمِّي مجموع هاتَين الطاقتَين بالطاقة الميكانيكيَّة للجسم، ونرمزُ لها E ، وهي مقدارٌ مصونٌ في حالة خضوع الجسم لقوَّة الثقالة.

نعمّم هذه النتيجة بشرط أن تكونَ جميعُ القوى المُؤثِّرة على الجسم **قوى مُحافِظة**.

$$\Delta E = 0$$
$$E_2 - E_1 = 0$$
$$E_2 = E_1 = const$$

وهذا يحقِّقُ مبدأ مصونيّة الطاقة.

تطبيق (4)

يُوضع جسمٌ كتلتُه $m = 5\,\text{kg}$ على مستوٍ أفقي، نعطي للجسم سرعة ابتدائيَّة $v_0 = 2\,\text{m.s}^{-1}$ ، فيخضعُ الجسم في أثناء حركته لقوّة احتكاكٍ ثابتة، شدتها تساوي $F' = 10\,\text{N}$:

1. احسب تسارُعَ الجسم.
2. احسب المسافةَ التي يقطعُها الجسم قبلَ أن يقفَ.
3. احسب العمل الذي قامَت به قوّة الاحتكاك.
4. احسب تغيُّر الطاقة الحركيّة للجسم.
5. احسب تغيُّر الطاقة الكامنة للجسم.
6. هل الطاقة الميكانيكيَّة محفوظة؟ علّل ذلك.

الحلّ:

1. القوى المؤثِّرة في الجّسم هي قوّة الاحتكاك $\vec{F'}$ وقوّة الثّقل $\vec{W}$ وقوّة ردّ الفعل النّاظمي $\vec{R}$ بتطبيق المبدأ الأساسيّ في التّحريك

$$\vec{F} = m\vec{a}$$
$$\vec{F'} + \vec{W} + \vec{R} = m\vec{a}$$

بالإسقاط على محوَر أفقي موجَّه بجهة الحركة

$$-F' + 0 + 0 = ma$$
$$a = \frac{F'}{m}$$
$$a = -\frac{10}{5} = -2\,\text{m.s}^{-2}$$

الحركة مُتباطِئة بانتظام.

2. من قوانين الحركة:

$$v = at + v_0$$
$$0 = -2t + 2$$
$$t = 1\,\text{s}$$

نعوّض في مُعادَلة المسافة المقطوعة

$$\Delta x = \frac{1}{2}at^2 + v_0$$
$$\Delta x = -t^2 + 2$$
$$\Delta x = 1\,\text{m}$$

3. عمل قوّة الاحتكاك:
$$W = F'x$$
$$= -10 \times 1$$
$$W = -10\,\text{J}$$

4. تغيّر الطاقة الحركيّة $\triangle E_K = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -\frac{1}{2}5\,(2)^2 = -10\,\text{J}$

5. يبقى الجسم في المستوي الأفقي نفسه، إذن لا تتغيَّر طاقته الكامنة أي: $\triangle E_P = 0$

6. بمُقارَنة نتيجة السّؤال (3) ونتيجة السّؤال (5) أستنتج أنَّ الطاقة الميكانيكيّة غير محفوظة. نعلّل ذلك بأنَّ قوى الاحتكاك غير مُحافِظة (مُبدّدة للطاقة).

تعلَّمتُ

- إذا انتقلَت نقطةُ تأثير القوى $\vec{F}$ بشعاع إزاحة $\vec{d}$، فإنَّ عملَ هذه القوّة W يساوي:

$$W = \vec{F}.\vec{d} = Fd\cos\theta$$

حيث F: شدّة القوّة. d: طويلة شعاع الإزاحة. θ: الزّاوية بين $\vec{F}$ و $\vec{d}$.

- وحدة العمل في الجملة الدوليّة هي الجول، ورمزُه J.
- إذا كانَ عملُ قوّةٍ خلال زمن t يساوي W، فإنَّ الاستطاعة تساوي: $P = \frac{W}{t}$
- إذا أثَّرَت قوّة $\vec{F}$ في جسمٍ مُتحرّك بسرعةٍ v، فإنَّ استطاعة هذه القوّة تساوي: $P = \vec{F}.\vec{v}$
- **نظريّة الطاقة الحركيَّة:** إنَّ عملَ مُحصِّلة القوى المُؤثِّرة في جسمٍ، يساوي تغيُّر الطّاقة الحركيّة للجسم (بشرط أن تكون القوى مُحافِظةً).
- **نظريّة الطاقة الكامنة:** إنَّ عملَ مُحصّلة القوى المُؤثِّرة في جسمٍ، يساوي بالقيمة المُطلَقة ويعاكس بالإشارة تغيُّر الطاقة الكامنة للجسم (بشرط أن تكونَ القوى محافظة).
- الطاقة الميكانيكيَّة تساوي مجموع الطاقة الحركيَّة والطاقة الكامنة، وتغيُّر الطاقة الميكانيكيَّة يساوي عمل القوى غير المُحافِظة (المُبدِّدة للطاقة).

أختبر نفسي

أولاً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1. هل قوى الثّقالة هي قوى مُحافظة؟ علل إجابتك.
2. هل القوى المُعيقة للحركة تسبّبُ زيادةَ السرعة أو نقصانَها دوماً؟ أعطِ أمثلة.
3. عند تحرُّك سيارة بسرعةٍ مُستقيمةٍ مُنتظِمةٍ على طريق أفقيّ، تكون مُحصّلة القوى المُؤثّرة في مركز عطالة السّيارة مَعدومة، ومع ذلك تستهلكُ السّيارة الوقود أي تصرُف عملاً، كيفَ تشرحُ ذلك؟

ثالثاً: حلَّ المسائل الآتية: (نعتبرُ في أثناء حلّ المسائل $g = 10\ m.s^{-2}$):

المسألة الأولى:

يجرُ عاملٌ كتلتُه $80\ kg$ عربةً كتلتُها $40\ kg$ على طريق مائل بزاوية $30°$ على الأفق، بسرعة ثابتة، ما قيمةُ العمل الذي يقدِّمه العامل لجرِّ العربة مسافة $20\ m$ ؟ ما الطاقةُ التي يوفِّرُها العامل فيما لو قامَ بسحب العربة باستخدام حبلٍ طويلٍ مربوطٍ بالعربة، وبقيَ الرَّجل مكانَه في أعلى الطريق؟

المسألة الثانية:

تجرُ قاطرة عربات، بقوّة $400\ N$ على سكةٍ مُستقيمةٍ أفقيَّة بسرعةٍ ثابتةٍ $36\ m.s^{-1}$ لمدَّة ساعة، المطلوب حساب:

1. العمل التي تنجزُه القوّة المُطبّقة من القاطرة.
2. استطاعة محرّك القاطرة.

المسألة الثالثة:

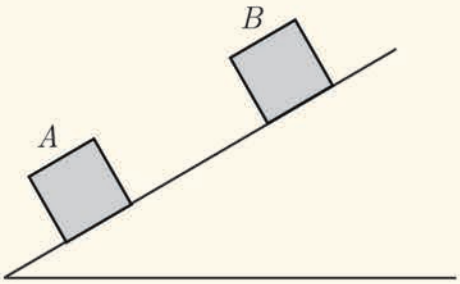
سيارةٌ كتلتُها $m = 800\ kg$ ، تنطلقُ من السّكون على طريقٍ مُستقيمةٍ أفقيَّة، بتأثير قوة جر $F_1 = 2500\ N$ ، وتخضعُ لقوى مُقاومة مُحصّلتها F_2 ، لها حامل F_1 ، وتعاكسُها بالجهة شدّتها $F_2 = 900\ N$ **المطلوب** حساب:

1. تسارع مركز عطالة السّيارة.
2. الزّمن t اللازم ليقطعَ مركز العطالة مسافةً قدرُها $400\ m$.
3. العمل الميكانيكيّ لكلٍّ من القوتين $\overrightarrow{F_1}$ ، $\overrightarrow{F_2}$ خلال قطع المسافة السّابقة.
4. الاستطاعة المتوسطة التي بذلها محرك السيارة خلال الزّمن t .

المسألة الرابعة:

تدفع أمٌ عربةَ طفلتها بسرعةٍ ثابتةٍ على طريقٍ مُستقيمة أفقيّة بقوّة شدٍّ تصنع مع الأفقِ زاوية $60°$ ، باعتبار العربة تخضعُ لقوّة احتكاكٍ شدَّتها $20\ N$ ، احسب العملُ الذي تبذلُه قوّة الدَّفع عندما تتحرَّك العربةُ مسافةَ $5\ m$.

المسألة الخامسة:



نطلقُ جسماً، كتلتُه $100\ g$ من نقطةِ A على مستوٍ يميلُ عن الأفق بزاوية $\theta = 30°$ ، فيصلُ الجسمُ إلى النقطة B بسرعة $v_B = \frac{1}{2} v_A$ ، إذا علمتَ أنَّ الجسم يخضعُ في أثناء حركته لقوّة احتكاكٍ ثابتة، شدَّتُها $1\ N$ وأن المسافة $AB = 2\ m$ ، **فالمطلوبُ حساب:**

1. تغيُّر الطاقة الحركيَّة للجسم خلال المَسافة السَّابقة.
2. سرعةَ الجسمِ عندَ A .

المسألة السادسة:

تتحرَّك سيارةٌ كتلتُها $m = 900\ kg$ بسرعة $72\ Km.h^{-1}$ ، على طريقٍ مُستقيمةٍ أفقيّة، يرى السائق على بُعدٍ مُناسِب أنَّ إشارةَ المرور أصبحَت حمراءَ، فيضغط على المكابح، فتتوقَّف السّيارة خلالَ دقيقة من الزّمن بعد أن تقطعَ مسافة $100\ m$ ، **المطلوب:**

احسب الاستطاعة التي بذلتْها قوّة المكابح على السَّيارة لتقف.

مشروع دراسة حركة خط إنتاج مخبز آلي

مقدمة:

الهدف العام:

الاستفادة من الحركات الفيزيائية في الصناعة (المخبز الآلي).

أهداف المشروع:

1. دراسة تطبيقات الحركة المستقيمة المنتظمة والحركة المستقيمة المتغيرة بانتظام.
2. دراسة الجدوى الاقتصادية لأتمته بعض الصناعات.
3. تحسين الإنتاج واختصار زمن الإنتاج.
4. اقتراح تطبيقات أخرى.

مراحل المشروع:

أولاً– التخطيط:

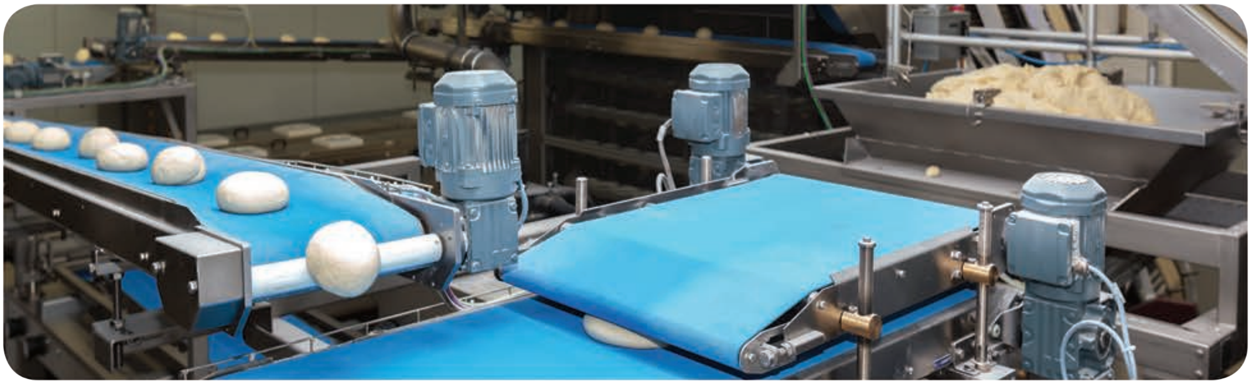
- تحديد طبيعة حركة خط الإنتاج من خلال زيارة ميدانية.
- دراسة ومقارنة بين الإنتاج اليدوي التقليدي والإنتاج الآلي.
- الإجراءات الصحية المتبعة في كلّ منهما.

ثانياً– التنفيذ:

- يتم توزيع الطلاب إلى أربع مجموعات:
- المجموعة الأولى: مهمتها زيارة مخبز يعمل وفق الطرق التقليدية وإجراء دراسة حول كمية الإنتاج وعدد ساعات العمل وعدد العمال ومدى تحقيق الشروط الصحية المناسبة
- المجموعة الثانية: مهمتها زيارة مخبز يعمل وفق خط إنتاج آلي وإجراء دراسة حول كمية الإنتاج وعدد ساعات العمل وعدد العمال ومدى تحقيق الشروط الصحية المناسبة
- المجموعة الثالثة: البحث عبر الشابكة عن تطبيقات حديثة تعتمدها دول أخرى لإنتاج الخبز.
- المجموعة الرابعة: مقارنة النتائج لكل مجموعة من حيث كمية الإنتاج وجودته.

ثالثاً– التقويم:

مناقشة النتائج وإعداد تقرير كامل حول الآثار الإيجابية والسلبية لأتمته بعض الصناعات في الجمهورية العربية السورية واقتراح طرائق للمعالجة.



1-2 التوتُّر السَّطحيّ

- هل تأمَّلتَ يوماً قطراتِ المطر الكرويَّة المُتساقِطة، ورأيتَ إبرةَ الخياطة تعومُ فوقَ سطحِ الماء إذا وضعت بحذر على الرغم من أنَّ كثافتَها أكبرُ بثماني مرَّاتٍ من كثافة الماء، وتساءلت كيفَ تسيرُ الحشراتِ على سطحِ الماء في بركةٍ أو ساقيةٍ؟
- كيفَ تحدثُ هذه الظَّواهر؟

الأهداف:

* يتعرّف التوتُّر السّطحيّ من خلال ظواهرٍ طبيعيَّة وتجارب.
* يفسّر ظاهرة التوتُّر السّطحيّ.
* يقوم بتجاربَ تبيّن قوى التلاصُق وقوى التماسُك.
* يفسّر بعض الظّواهر اعتماداً على قوى التلاصُق وقوى التماسُك.
* يتعرّف زاوية التلامُس.
* يتعرّف تجريبيّاً الخاصيّة الشعريّة.
* يفسّر بعضَ الظواهر اعتماداً على الخاصيّة الشعريّة.

الكلمات المفتاحية:

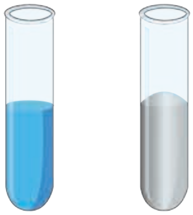
* التوتُّر السطحيّ Surface tension
* قوى التلاصُق Adhesive Forces
* قوى التماسُك Contact Forces
* الخاصيّة الشعريّة Capillary
* زاوية التلامُس Contact Angle
* التبلُّل Wetting

1-1 قوى الالتصاق وقوى التماسُك
(Adhesive Forces and Contact Forces)

أجرب واستنتج:

أدواتُ التّجربة:

1. أنبوبان زجاجيّان.
2. صفيحتان زجاجيّتان.
3. ماء، زئبق.



a. املأ أنبوبَين زجاجيَّين، أحدُهما بالماءِ والآخر بالزِّئبق.
كيفَ ترى سطحَ الماءِ وسطحَ الزّئبق في كلّ أنبوبٍ؟

b. اسكب قليلاً من الماءِ فوق لوحاً زجاجيّاً نظيفاً.
هل ينتشرُ الماءُ فوقَ اللّوح الزّجاجي؟

c. اسكب قليلاً من الزّئبق على لوحاً زجاجيّاً.
هل ينتشرُ الزّئبقُ فوقَ اللوح الزّجاجيّ؟

- إنَّ تقعُّر الماء في الأنبوب وانتشاره على سطح الزّجاج يدلُّ على جذبِ الزّجاج لجزيئات الماء بقوى تُدعى **قوى التلاصُقُ**، وهي قوى الجذبِ بينَ جزيئاتِ السّائل والسّطح المُلامِس له.
- إنَّ تحدُّبَ سطحِ الزّئبق في الأنبوب وتكوُّرَه على سطحِ الزّجاج يدلُّ على قوى جذبٍ، تتّجه نحوَ داخلِ جزيئاتِ السّائل تُدعى **قوى التّماسُك**؛ وهي قوى التّجاذُب بينَ جزيئات السّائل نفسه، وينجمُ هذا التّجاذُب عن قوى التأثير المُتبادَل بينَ الجزيئات المُكوِّنة للسائل.

أستنتجُ

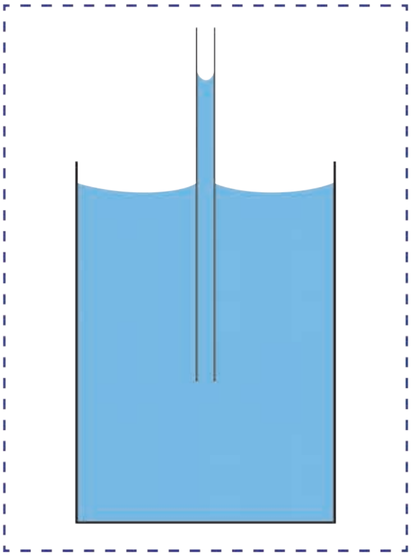
- **إذا كانَت قوى التلاصُق بينَ جزيئات السَّائل والسّطح أكبرَ من قوى التماسُك بينَ جزيئاتِ السَّائل؛ فإنّ السّائلَ يتقعَّرُ، أو ينتشرُ على السّطح.**
- **إذا كانَت قوى التلاصُق بينَ جزيئات السَّائل والسّطح أصغرَ من قوى التماسُك بينَ جزيئاتِ السّائل؛ فإنَّ السَّائلَ يتحدَّبُ، أو يتكوَّرُ على السَّطح.**
- **يتغيَّرَ شكلُ تقوُّس السَّائل عندَ حوافِ الوعاء باختلافِ طبيعة السَّائل.**

إضاءة

إنّ كلَّ جزيءٍ من جزيئات السّائل بالقربِ من جدارِ الأنبوبِ يخضعُ لتأثيرِ ثلاث قوىً:
قوى جذبٍ للأسفل بسببِ ثقل الجزيئات.
قوى التّجاذبِ بينَ جزيئات السّائل الناتِجة عن الشُّحنات الكهربائيَّة التي تحملُها هذه الجزيئات وتتَّجه نحوَ مركز السّائل.
قوىً أفقيَّة ناتِجة عن جذبِ جدار الإناء لجزيئات السّائل.

- **في أنبوب الماء تتَّجهُ مُحصِّلة القوى نحو جدار الأنبوب مما يجعلُ سطحَ الماءِ مُقعَّراً.**
- **في أنبوب الزئبق تتَّجهُ مُحصِّلة القوى نحوَ مركزِ السَّائل ممَّا يجعلُ سطحَ الزئبق مُحدَّباً.**

2-1 التوتُّر السَّطحيّ (Surface Tension):



أجرّبُ وأستنتجُ

لإجراءِ التَّجربة أحتاجُ إلى:

1. وعاء.
2. ماء.
3. أنبوب شعري مفتوح من طرفَيه.

- أُدخل بشكلٍ شاقوليّ الأنبوب الشَّعريّ في وعاء يحوي ماءً.
- ماذا تُلاحِظ؟ ما تفسيرُ ذلك برأيك؟

أجرّبُ وأستنتجُ

لإجراءِ التَّجربة أحتاجُ إلى:

1. محلولِ الماءِ والصَّابون.
2. ساقٍ مثبَّتٍ عليها حلقة.

خطواتُ التَّجربة:

1. أُدخلُ الحلقةَ في محلولِ الماءِ والصَّابون.
2. أُخرجُ الحلقةَ من المحلولِ، وأنفخُ بلطفٍ مُوجِّهاً الهواءَ على الغشاء المُتكوّن على الحلقة لتتشكَّلَ فُقاعاتُ الصّابون.

- ما شكلُ هذه الفُقاعات.
- أيُّهما أكبرُ، الضَّغطُ داخلَ الفقاعة أم الضَّغط خارجَها في أثناء تكوُّنها؟
- كيفَ تتكوَّنُ هذه الفُقاعات؟

أجرِّبُ وأستنتجُ

لإجراءِ التَّجربة أحتاجُ إلى:

أدواتُ التَّجربة:

1. قطّارة.
2. لوح زجاجيّ.
3. ماء.
4. زيت.

خطواتُ التَّجربة:

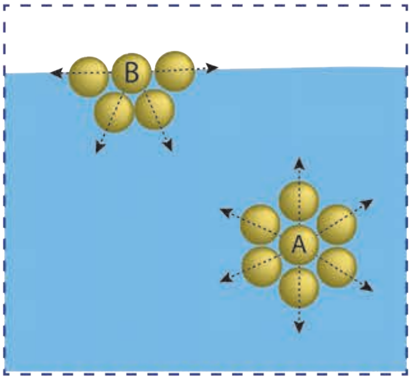
1. أضعُ اللَّوحَ الزّجاجيّ أفقيّاً.
2. أدهنُ اللّوح الزّجاجي بالزَّيت.
3. أضعُ بضعَ قطراتٍ من الماء مُستخدِماً القطّارة على اللّوح الزجاجيّ.

- لماذا تأخذُ قَطراتُ الماء الشّكلَ الكرويّ؟

أستنتجُ: يتصرَّفُ السَّطحُ الحرُّ للسائل وكأنَّه غشاءٌ مرنٌ، ويُعزى ذلك إلى خاصيّة التوتُّر السّطحيّ.

1-2-1 ما أسبابُ التوتُّرِ السّطحيّ؟

إنَّ جزيئاتِ السَّائل تحملُ شُحناتٍ كهربائيَّةً، ينتجُ عنها قوى تأثيرٍ مُتبادَل فيما بينَها، بحيثُ يتأثَّرُ جُزيءٍ ما بالجزيئات المُجاوِرة له، ويُهمَلُ التّأثيرُ الناجِم عن بقيَّة الجزيئات، ويتضاءَلُ تأثيرُ هذه القوى كلَّما ازدادَت المسافةُ بينَ الجزيئات.



تسبِّبُ قوى التأثيرِ المُتبادَل قوى تجاذُبٍ بينَ الجزيئات ينجمُ عنها التوتُّر السَّطحيّ.

لنقارنَ بينَ جزيئَين، أحدُهما (A) داخلَ السّائل، والآخرُ (B) على سطح السّائل. **(كما في الشّكل المُجاوِر)** نجدُ:

- يخضعُ الجُزيء (A) داخلَ السَّائل لقوى جذبٍ من جميع جُزيئات السَّائلِ القريبة والمُحيطة به بشكلٍ مُتناظِر؛ أي قوى الجذبِ هي نفسُها من جميع الجهات، وتكونُ مُحصِّلةُ القوى المؤثِّرة عليه معدومةً.
- أمّا الجزيء (B) الّذي يقعُ على سطح السّائل المُعرَّض للهواء، فيخضعُ لتأثير قوى الجذبِ من جزيئات السَّائل المُحيطة به على شكلِ نصف كرةٍ، وتكونُ محصِّلةُ هذه القوى نحوَ داخل السائل.
- وتتعرَّضُ جميعُ الجزيئات على سطح السّائل إلى قوى جذبٍ تتَّجهُ إلى داخل السّائل، فتكتسب جزيئاتُ سطح السّائل طاقةً كامِنةً تجعلُها مُتماسِكةً ومُتقارِبةً مُكوِّنةً غشاءً رقيقاً مرناً عندَ سطحِه.

أستنتجُ:

ينشأُ التوتُّر السّطحيّ في سائلٍ عن قوى التّجاذُب بين جزيئات السّائل، حيث تتأثَّرُ الجزيئاتُ المُتواجِدة على السّطح بجذبُ الجزيئاتُ المُجاوِرة على السّطح أو داخلَ السّائل، وهذا يجعلُ مُحصِّلة القوى المُؤثِّرة في جُزيء من سطح السّائل تتَّجه إلى داخل السّائل.

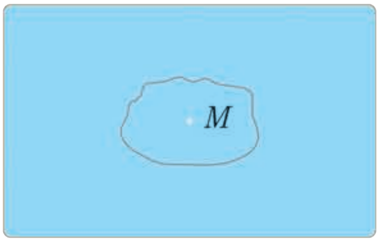
وجدنا من التجارب السّابقة:

- **في التّجربة (1):** إنّ السّائل المُرتَفع في الأنبوب لا يهبطُ، وكأنَّ سطحَه مُكوَّن من غشاءٍ رقيق يغطّي السّائل، فتلتصقُ حوافُ هذا الغشاء بالسّطح الدّاخليِ للأنبوب، ممَّا يمنعُ الماءَ من الهبوط، ولكنَّ مرونةَ الغشاءِ تسمحُ له بالتقعُّر بتأثيرِ ثقلِ الماء الذي يشدُّه نحوَ الأسفل.
- **في التَّجربة (2):** إنَّ فُقاعات الصَّابون المُتكوِّنة، تبقى في الهواءِ لفترةٍ من الزَّمن وتشبهُ بالوناً مَطاطيّاً صغيراً، ممَّا يدلُّ على أنَّ جزيئاتِ الماء والصَّابون مترابطة فيما بينها ولكن قوى الترابط هذه هي أضعف من تلك الموجودة في المطاط.
- **في التَّجربة (3):** إنَّ قَطرةَ الماء لم تنتشر على اللّوح الزّجاجي، فأخذَّت شكلَ قبَّةٍ بدلاً من أن تأخذَ شكلَ بقعةٍ، ما يدلُّ على وجود قوى التجاذُب بينَ جزيئات الماء (قوى التماسُك)، فتبدو القطرةَ وكأنَّها مُحاطَة بغشاءٍ رقيقٍ ناجمٍ عن التوتُّر السّطحيّ.

إضاءة

- تتشكَّلُ فقاعةُ الصّابون عندَ نفخ الهواء على الغشاء المُتكوِّن على الحلقة، فيصبح في هذه اللَّحظة الضّغطُ داخلَ الفُقاعة أكبرَ من الضّغط خارجَها، ويسبِّبُ الضّغطُ الزّائد داخلَ الفقاعة نشوءَ قوّةٍ تتوازَنُ معَ القوّة الّتي تشدُّ السّطح الدّاخليّ للفقاعةِ نحوَ مركزِها.
- إنَّ قوى الترابُط في فقاعةِ الصّابون تسمحُ لها بالبقاءِ فترةً من الزّمن، ولكنَّ الاضطراباتِ التي تتعرَّضُ لها الفقاعةُ بعدَ هذه الفترةِ مثلَ عدم تجانُس السّطح، أو تياراتِ الهواء، أو الشّحنات الكهربائيّة السّاكِنة تؤدّي إلى غيابِ توازُن القوى في إحدى نقاطِ الفقاعة ممَّا يسبِّبُ انفجارَها.

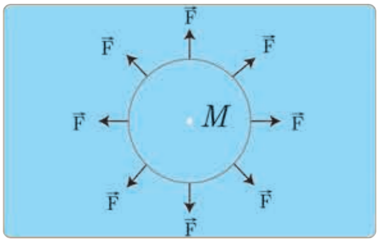
2-2-1 معامل التّوتّر السّطحيّ:



أجرّبُ وأستنتجُ:

لإجراءِ التّجربة أحتاجُ:

1. حوض.
2. محلول الماء والصّابون.
3. إطار مُستطيل من سلكٍ معدنيّ خفيف.
4. خيط خفيف مُبلَّل بالماء.
5. ساق خشبيّة خفيفة.

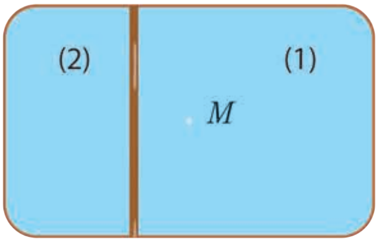


خطواتُ التّجربة:

1. اغمرِ الإطارَ المُستطيلَ بشكلٍ أفقيّ في حوضِ الماء والصَّابون.
2. ارفعِ الإطارَ بحذرٍ لتحصلَ على غشاءٍ رقيقٍ جدّاً من السائل.
3. ضَعْ على الغشاء، بعنايةٍ، الخيطَ الخفيفَ المُبلَّل بالماء بشكلٍ عشوائي **(كما في الشّكل المجاور).**
4. اثقبِ الغشاءَ في نقطةٍ واقعةٍ داخلَ الخيط.

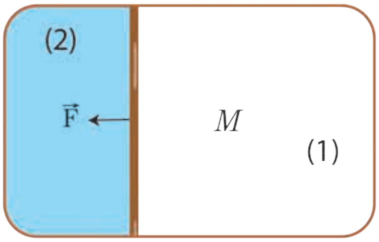
- هل بقيَ شكلَ الخيط عشوائيّاً. وما الشَّكلُ الذي يأخذُه؟
- هل يمكنُك تفسيرُ ذلك؟

لقد اختفى غشاءُ السّائل داخلَ الخيط، وبقيَ غشاءُ السّائل خارجَه، فيأخذُ الخيطُ شكلاً دائريّاً مركزُه نقطةُ الثقب.



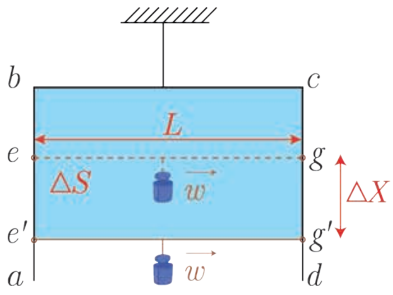
أستنتجُ: أنَّ غشاءَ السّائل قد شدَّ الخيطَ بقوى عموديّة على كلّ جزءٍ صغيرٍ منه.

- أعِدِ التجربةَ السابقة، واستبدِلِ بالخيط ساقاً خشبيَّةً خفيفةً عموديّة على الإطار الأفقي، ثمَّ اثقبِ الغشاءَ في نقطةِ M باستخدامِ إبرةٍ رفيعة. ماذا تُلاحِظ؟ وماذا تستنتجُ؟
- لقد تجمَّعَ السائلُ في الجزء (1) إلى السّاق المُستنِدة على الإطار.
- أمَّا غشاءُ السائل في الجزء (2) بقيَ مشدوداً حيثُ قامَ بجذبِ السَّاق الخشبية قليلاً لكي تصغرَ مساحةُ الغشاء.



أستنتجُ: إنَّ الغشاء يؤثِّرُ بقوّة عموديَّة على السّاق، وينطبقُ شعاعُ القوّة على الغشاء (أي على سطح السّائل)، وهذه القوّة هي التوتُّر السّطحي المؤثّر في السّاق الخشبيّة.

أجرب وأستنتج:



1. اثنِ سلكاً رفيعاً من النّحاس على شكلِ ثلاثِ أضلاعٍ من مُستطيل $abcd$ **(كما في الشّكل المجاور)**.

أجعل سلكاً eg يرتكز على الضلعين ab، cd بطريقة مناسبة بحيث يكون قابلاً للانزلاق عليهما.

2. اغمر الإطار المُستطيل في محلولِ الماء والصّابون، ثمّ ارفع الإطار بحذرٍ لتحصل على غشاءٍ رقيقٍ من المحلول.

لاحظ أنَّ السّلك eg يتحرَّكُ نحو الضّلع bc بتأثير قوى التوتُّر السَّطحي التي تعملُ على انقاصِ مساحة سطح الغشاء.

3. حاولْ زيادةَ مساحة سطح الغشاء بتعليق ثقلٍ مُناسِب بالسّلك eg.

- إنَّ العملَ المبذولَ لزيادةِ مساحة سطح السائلِ بمقدار وحدة المساحات يسمَّى معامل التوتُّر السّطحي، يُرمَز له بالرّمز γ، وتُحسَب من العلاقة: $\gamma = \frac{W}{\Delta S}$

W: العمل المبذول (جول) J.

ΔS: الزّيادة في السطح m^2.

نعلم أن: $W = mg \Delta X = F \Delta X$

بما أنَّ غشاء الصابون له وجهان، فإنَّ الزّيادة في مساحة وجهَي الغشاء:

$$\Delta S = 2L \Delta X$$

$$\gamma = \frac{F \Delta X}{2L \Delta X} = \frac{F}{2L}$$

أستنتج: معامل التوتُّر السطحي هو:

قوّة التوتُّر السطحيّ المؤثِّرة عموديّاً في وحدةِ الطول لخطٍّ ينتمي إلى سطح السائل. يُرمَز لمعامل التوتُّر السطحي بالرّمز γ، ويُحسَب من العلاقة:

$$\gamma = \frac{F}{2L}$$

توضح العلاقة السّابقة أنَّ وحدةَ قياس معامل التوتُّر السّطحي (γ) $N.m^{-1}$.

3-2-1 العوامل المؤثِّرة على التوتُّر السّطحي:

1. إنَّ التوتُّر السّطحي يتغيَّر من مادّة إلى أخرى وذلك تبعاً لتغيُّر كثافتها، حيثُ يزدادُ بزيادة كثافة المادّة، يبيّن الجدول الآتي قيمَ معامل التوتُّر السّطحي لبعض الموادّ عندَ الدّرجة $(20°C)$.

المادّة	معامل التوتُّر السّطحي $N.m^{-1}$
ماء	72.8×10^{-3}
زئبق	472×10^{-3}
بنزن	28.9×10^{-3}

2. ينقص التوتُّر السّطحي للسّائل بارتفاع درجة الحرارة:

المادّة	معامل التوتُّر السّطحي $N.m^{-1}$
ماء نقيّ $(20°C)$	72.8×10^{-3}
ماء نقيّ $(40°C)$	69.5×10^{-3}

3-1 التبلُّل وزاوية التلامُس (Wetting and Contact Angle):

أجرِّبُ وأستنتجُ

لإجراءِ التّجربة أحتاجُ إلى:

1. صفيحتان زجاجيتان نظيفتان.
2. قطَّارة.
3. فازلين.
4. ماء.

أدهنُ إحدى الصفيحتَين بطبقةٍ من الفازلين، أستخدم قطَّارة لوضع قطرةِ ماءٍ على كلِّ صفيحة.

1. هل ينتشرُ الماء على الصفيحة النّظيفة أم لا؟
2. هل ينتشرُ الماءُ على الصفيحة التي دُهِنَت بالفازلين أم لا؟
3. كيف تعلِّلُ ذلك في كلٍّ من الحالتَين السَّابقتَين؟

ظاهرةُ التبلُّل:

هي التلاصُق بين سائل وسطح عند مُلامَسة السّائل لهذا السطح.

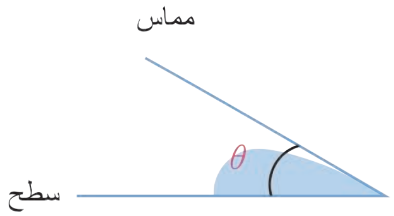
وجدنا في التجربتَين السّابقتين:

- تنتشرُ قطرة الماء على سطح الصفيحة النّظيفة لتبلِّلها، بينَما تبقى قطرة الماء مُتماسِكة على سطح الصفيحة الثانية دونَ تبلُّلها.

كيفَ تفسِّرُ ذلك اعتماداً على قوى التلاصُق والتماسُك؟

يبلِّل الماءُ سطح الزجاج النظيف، حيثُ تعمل قوى التلاصُق على جعل الماءِ ينتشرُ على سطح الزجاج.
أمَّا في حالة الصّفيحة الثانية؛ فإنَّ طبقة الفازلين تحولُ دون تبلُّل السطح حيثُ إنَّ قوى التلاصُق بينَ الماء والفازلين أضعفُ من قوى التماسُك بينَ جزيئات الماء، فتبقى قطرةُ الماء مُتماسِكةً فوق سطح الصفيحة ولا تبلِّلُها.

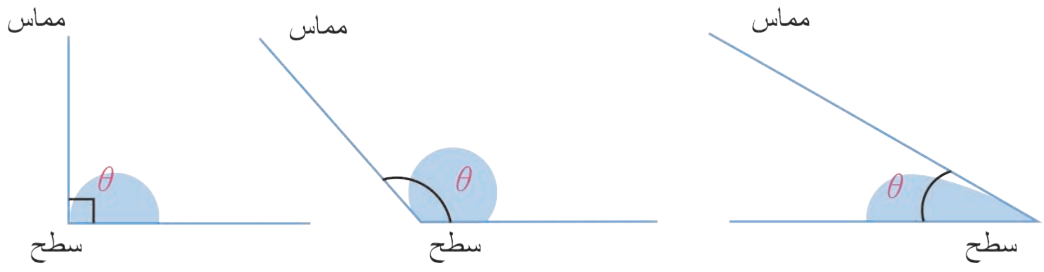
1-3-1 ارتباط التبلُّل بزاوية التلامُس:



زاوية التلامُس: هي الزاوية بين السّطح الصُّلب والمُستوي المماسّ لسطح السّائل في نقطة تلاقي السّطح الصُّلب مع سطح السّائل، ويقعُ السائل داخل هذه الزاوية.
لقياس مدى تبلُّل سطحٍ بسائلٍ ما، نلجأ إلى قياس زاوية التلامُس، وهنا نميِّزُ حالتَين:

الحالة الأولى: زاوية التلامُس أصغرُ من $90°$، السطحُ يتبلَّلُ بالسائل، ويزدادُ تبلُّلُ السطح بالسّائل بنقصانِ θ هذه الزاوية، فتبتعدُ قطرة السّائل عن شكل الكرة، وتسمَّى عندئذٍ **بقعة**.
وتكونُ قوى التلاصُق بين جزيئات السّائل والسطح أكبرَ بكثيرٍ من قوى التماسُك بين جزيئات السّائل.

الحالة الثانية: زاويةُ التلامُس أكبر أو تساوي $90°$، السطحُ لا يتبلَّل بالسائل، وتكون قوى التماسُك بين جزيئات السّائل أكبرَ بكثيرٍ من قوى التلاصُق بين جزيئات السّائل والسّطح، فتتكوَّرُ جزيئات السّائل على السّطح ولا يمكن وصفها بالبقعة.



4-1 الخاصيّة الشعريّة (Capillary)

لشرح الخاصيّة الشعريّة لا بدَّ من تعريف الأنبوب الشعري:

الأنبوب الشّعري:

هو أنبوبٌ، قطرُه من أبعاد قطر الشّعرة من رتبة $0.01\,cm$ ، مفتوح من طرفيه.

تجارب:

أدواتُ التجارب:

1. أنابيب شعرية مختلفة الأقطار.
2. إناء.
3. زئبق.
4. ماء.

a. أدخِل أنابيبَ شَعريةً مُختلِفةَ الأقطار في إناءٍ يحوي ماء.

b. أعِد التّجربة باستخدام إناءٍ يحوي زئبقاً.

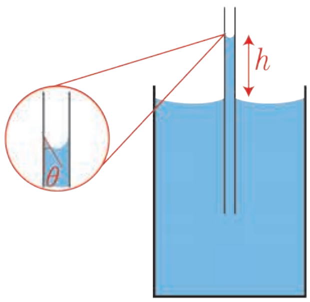
ماذا تلاحِظُ في كلٍّ من التَّجربتين السَّابقتَين؟ هل يمكنُك تفسيرُ ذلك؟

- **في التجارب السَّابقة:**

1. يرتفعُ الماء في الأنابيب المختلفة الأقطار إلى سويّات مُختلِفة، حيثُ تعملُ قوى التلاصُق على جذب جزيئات السّائل إلى الأعلى، ويتوقَّف الارتفاع عندما تتوازَنُ قوى الجذب إلى الأعلى مع قوّة ثقل السائل.
2. مستوى الزّئبق في الأنابيب المُختلِفة الأقطار أخفضُ من مستوى الزّئبق في الوعاء، حيثُ تعملُ قوى التوتُّر السّطحي على تقليص سطح السّائل الذي أصبحَ مُشوَّهاً بسبب إدخال الأنبوب (وسطح السائل يشملُ هنا السّطح الحرّ المُلامِس للهواء والسطح المُلامِس للأنبوب لغياب التبلُّل).
إنَّ تقليص مساحة هذا السّطح يقتضي انخفاض مستوى الزّئبق، ويحصلُ التوازُن عند تساوي قوى التوتُّر السّطحي مع القوى الناجمة عن ضغط الزّئبق التي تمنعُ استمرارَ التقلُّص.

- **يُعطى ارتفاع السّائل (h) في أنبوب شعريّ بقانون جوران:**

$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho g r}$$



θ: زاوية التلامس

γ: معامل التوتُّر السّطحيّ للسائل ووحدة قياسه $(N.m^{-1})$.

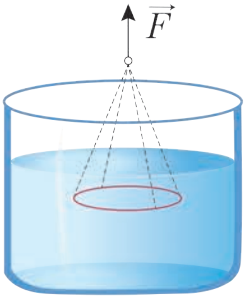
g: تسارع الجاذبية الأرضية $(N.kg^{-1})$.

r: نصف قطر الأنبوب الشعريّ (m).

ρ: الكتلة الحجميّة للسّائل $(kg.m^{-1})$.

- نلاحظُ من خلال قانون جوران أنَّ ارتفاعَ السّائل يتناسبُ عكساً مع نصفِ قطر الأنبوب الشّعري لذلك سيكون ارتفاع السّائل مُختلِفاً في الأنابيب المُختلِفة الأقطار.

تطبيق(1)



حلقةٌ معدنيّة من الألمنيوم، ثخنُها $h = 10\,mm$ ، ونصفُ قطرها الدّاخلي $r_1 = 25\,mm$ ، ونصفُ قطرها الخارجي $r_2 = 26\,mm$:
احسب شدَّة القوّة الواجب تطبيقُها لرفع الحلقة من الماء، علماً أنَّ الكتلةَ الحجميَّة للألمنيوم $\rho_{Al} = 2.7 \times 10^3 kg.m^{-3}$ ومعامل التوتُّر السّطحي للماء $\gamma = 72.8 \times 10^{-3} N.m^{-1}$

الحلّ:

القوّة الواجبُ تطبيقُها على الحلقة المعدنيّة لرفعها من الماء يجبُ أن تكونَ أكبرَ من مجموع شدَّتي القوتَين:

1. شدَّة قوّة ثقل الحلقة w.
2. شدَّة قوَّة التوتُّر السّطحيّ للماء F_γ.

$$F > F\gamma + w$$

حساب w: $w = mg = \rho V g$

كما نعلمُ: $V = \pi\,(r_2^2 - r_1^2)\,h$ (حجم الحلقة)

$$w = \rho g \pi\,(r_2^2 - r_1^2)\,h$$
$$= 2.7 \times 10^3 \times 10\pi\,((0.026)^2 - (0.025)^2) \times 0.01$$
$$= 43.32 \times 10^{-3} N$$

حساب F_γ:

$$F_\gamma = \gamma . L_1 + \gamma . L_2$$

حيثُ: L_1 طول الوجه الدّاخلي للحلقة: $L_1 = 2\pi r_1$

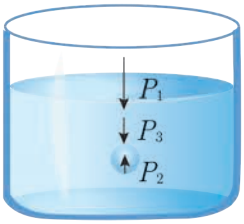
L_2 طول الوجه الخارجي للحلقة: $L_2 = 2\pi r_2$

$$F_1 = 2\pi r_1 \gamma + 2\pi r_2 \gamma$$
$$= 2\pi\,(r_1 + r_2)\,\gamma$$
$$= 2\pi\,(0.025 + 0.026) \times 72.8 \times 10^{-3}$$
$$= 23.3 \times 10^{-3} N$$
$$F' = 43.32 \times 10^{-3} + 23.3 \times 10^{-3}$$
$$= 66.62 \times 10^{-3} N$$

بالتالي يجب أن يكون:

$$F > F'$$
$$F > 66.62 \times 10^{-3} N$$

تطبيق(2)



احسب ضغط الهواء داخل فقاعة من الهواء، نصفُ قطرها $r = 0.1\,cm$ ، تقعُ على عمق $h = 20\,cm$
تحتَ سطح الماء علماً أنَّ الضَّغط الجوي الخارجي $P_1 = 1.013 \times 10^5 Pa$
ومعامل التوتُّر السّطحي للماء $\gamma = 72.8 \times 10^{-3} N.m^{-1}$ و $g = 10\,N.kg^{-1}$
و $\rho_{(H_2O)} = 1000\,kg.m^{-3}$

الحلّ: إنَّ ضغطَ الهواء داخلَ الفقاعة عبارة عن ثلاثة ضغوط:

1. الضّغط الجويّ الخارجيّ: $P_1 = 101.3 \times 10^3 \text{Pa}$

2. الضّغط الناتج عن ثقل الماء:

$$P_2 = \rho g h$$
$$= 10^3 \times 10 \times 0.2$$
$$= 2 \times 10^3 \text{Pa}$$

3. الضَّغط الناتج عن التوتُّر السّطحي:

$$P_3 = \frac{F}{S}$$
$$= \frac{2\pi r \gamma}{\pi r^2} = \frac{2\gamma}{r}$$
$$= \frac{2 \times 72.8 \times 10^{-3}}{0.1 \times 10^{-2}}$$
$$= 0.1456 \times 10^3 \text{Pa}$$

فيكونُ الضَّغط الكلّيّ:

$$P = P_1 + P_2 + P_3$$
$$= 101.3 \times 10^3 + 2 \times 10^3 + 0.1456 \times 10^3$$
$$= 103.4456 \times 10^3 \text{Pa}$$

إثراء:

الفيزياءُ في حياتِنا اليوميَّة:

1. يلجأُ الصّناعيُّون إلى وضع موادّ في مَسحوقِ الغسيل تُخفِّفُ من التوتُّر السّطحي للماء، وهذا يساعدُ على تغلغُلِ الماء، وبالتّالي يَسمحُ بتنظيفٍ أسرعَ وأسهلَ.
2. تساعدُ الخاصيّة الشعريّة على صعود الماء في أنسجة النبات نحوَ الأعلى.
3. الإسفنجُ والمناشفُ الورقيّة تمتصُّ الماءَ اعتماداً على الخاصيّة الشعريّة.
4. مصباحُ الزّيت يتبلّلُ من الأسفل إلى الأعلى اعتماداً على الخاصيّة الشعريّة.

5. يتمُّ سحبُ الدَّم من الأوردة والشرايين اعتماداً على الخاصيّة الشعريّة.

6. حشرة تقفُ فوقَ سطح الماء الرّاكد في بداية الدّرس:

نلاحظُ أنَّ أرجل الحشرة تزيدُ من مساحة سطح الماء، ولمّا كانت قوى التوتُّر السّطحي تسعى إلى تقليص مساحة السَّطح فإنَّها تُنتجُ قوىً موجَّهةً نحو الأعلى، بينَما قوّة ثقلِ الحشرة تعملُ على زيادةِ السَّطح، فيحدثُ التّوازن عندَما تنعدمُ مُحصِّلة هذه القوى.

7. إبرة تعومُ على سطح ماءٍ على الرَّغم من أنَّ كثافتَها أكبرُ بثمانِ مرَّاتٍ من الماء:

إنَّ سطحَ السَّائل يعملُ كغشاءٍ مَرنٍ مشدودٍ، ينتجُ عن ثقل الإبرة إنخماصاً في سطحِ السّائل ممّا يزيدُ من مساحة سطح السّائل، ينشأُ في جميع جُزيئات السّائل على طولَ الإنخماص قوىً جزيئيّةٌ مُحاولِة الحفاظ على وضعيّة سطح السّائل الأفقيّة فتتوازَنُ مع قوّة ثقل الإبرة.

تعلّمت

- التوتُّر السّطحي خاصّية للسّوائل تجعلُ السّطحَ الحرَّ للسّائل يتصرَّفُ وكأنَّه غشاءٌ مرنٌ.
- تنشأُ قوى التماسُك في سائلٍ من قوى التجاذُب بينَ جزيئات السَّائل.
- معامل التوتُّر السَّطحي هو قوّةُ التوتُّر السَّطحي المُؤثِّرة عموديّاً في واحدة الطول لخطٍّ ينتمي إلى سطح السّائل، ويُرمَز لمعامل التوتُّر السّطحي بالرّمز γ، ويُحسَب من العلاقة:

$$\gamma = \frac{F}{2L}$$

- وحدةُ قياس التوتُّر السّطحي $N.m^{-1}$.
- التبلُّل هو التلاصُق بينَ سائلٍ وسطحٍ عندَ مُلامَسة السّائل للسّطح.
- زاويـة التّلامُس: هي الزّاوية بينَ السّطح الصُّلب والمُستوي المماسّ لسطح السّائل في نقطةِ تَلاقي السَّطح معَ سطح السّائل، يقعُ السّائل داخلَ هذه الزاوية.
  1. إذا كانَت زاويةُ التلامُس أصغرَ من $90°$، فإنَّ السَّائلَ يُبلِّلُ السَّطح.
  2. إذا كانت زاوية التلامس أكبر من $90°$، فإن السائل لا يُبلِّلُ السطح.
- إذا غُمِسَ أنبوبٌ شعريّ شاقولياً في سائلٍ، فإنَّ ارتفاعَ السَّائل h في الأنبوب الشَّعري يُعطَى بقانون جوران: $h = \frac{2\gamma\cos\theta}{\rho g r}$

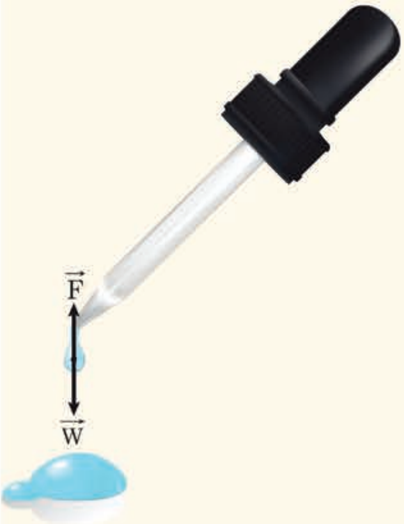
أختبر نفسي

أولًا: أعطِ تفسيراً علميَّاً لكلٍّ ممَّا يأتي:

1. يأخذُ مصهور الزّجاج شكلاً كرويّاً، وتختفي الأجزاء الحادَّة للأجزاء المكسورة.

2. تُرَشُّ بركُ الماءِ والمُستنقَعات بالكيروسين.

3. ارتفاعُ مستوي الماء في التّربة الطينيَّة أكبرُ من ارتفاع الماء في التّربة الرّملية.



ثانياً:

تأخذُ فُتحةُ قطَّارة شكلَ أنبوبٍ أسطوانيّ، نصفُ قطره r، نفترضُ أنَّ صنبورَ القطَّارة قد فُتِحَ قليلاً بحيثُ تتكوَّنُ القطرةُ تدريجيّاً آخِذةً شكلَ كرةٍ، نصف قطرها R أكبرُ من نصف قطر الأنبوب، وتنفصلُ القطرةُ هابِطةً عندما تبلغُ شدَّةُ ثقلها قيمةً أكبرَ من شدَّة قوّة التوتُّر السّطحي التي تربطُها بالأنبوب، بافتراضِ γ هي التوتُّر السّطحي للسّائل، ρ الكتلة الحجميَّة للسّائل. استنتجْ بالرّموز العلاقة المُحدَّدة لنصفِ قطر القطرة لحظةَ انفصالِها.

ثالثاً: حلَّ المسألتين الآتيتين:

المَسألة الأولى: ما مقدارُ ارتفاع الزّئبق في أنبوبٍ زجاجيّ، نصف قطره $r = 20\,\text{mm}$، علماً أنَّ التوتُّر السّطحيّ للزّئبق $\gamma = 0.5\,\text{N.m}^{-1}$، وزاوية التلامُس بينَ الزّئبق والزّجاج $135°$
$g = 10\,\text{N.kg}^{-1}$ ، $\rho_{Hg} = 13600\,\text{kg.m}^{-3}$

المسألة الثانية: نتأمَّلُ فُقاعةَ صابونٍ نصفَ قطرِها $R = 1\,\text{cm}$، الضّغط الخارجيّ يساوي P_0، التوتُّر السّطحيّ لماء الصّابون المُستخدَم يساوي. $\gamma = 2.5 \times 10^{-2}\,\text{N.m}^{-1}$ **المطلوب:**

1. برهِنْ أنَّ فرقَ الضَّغط بينَ داخلِ الفقاعة وخارجِها يُعطى بالعلاقة: $P - P_0 = \dfrac{4\gamma}{R}$

2. احسب عدديّاً هذا الفرق.

3. استنتجُ الفرقَ بينَ الضَّغط داخلَ وخارجَ قطرةٍ كرويّة من ماءِ الصّابون المُستخدَم في صنعِ الفُقاعة السّابقة بأخذِ نصف قطر القطرة R.

2-2 اللُّزوجة

الأهداف:

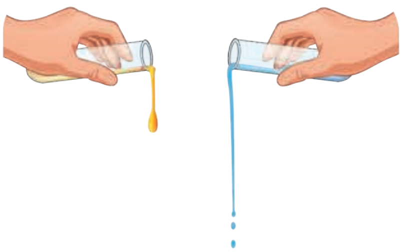
* يشرحُ ظاهرةَ اللُّزوجة.
* يفسِّرُ ظاهرة اللُّزوجة اعتماداً على قوى التّلاصُق والتّماسُك.

الكلمات المفتاحية:

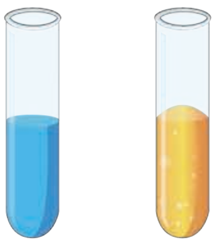
* اللّزوجة Viscosity
* معامِل اللّزوجة Coefficient of Viscosit

- تنسابُ السوائلُ بسرعاتٍ مُختلِفةٍ، فما هو السّببُ في ذلك؟.

أجرِّبُ وأستنتجُ:



بعد السكب



قبل السكب

- خُذ إناءَين مُتماثِلين واملأْ أحدَهما بالماءِ والآخرَ بالعسلِ.
- اسكبِ الماءَ والعسلَ في آنٍ واحدٍ.
  أيُّهما يفرغُ أولاً؟
  ما السَّببُ برأيك؟

أجَرّب وأستنتجُ:

- خذْ إناءَين مُتماثِلَين، واملأْ أحدَهما بالماءِ، والآخر بزيتِ مُحرِّك.
- اترُك كرتَين مُتماثِلتَين من الحديدِ لتسقطا دونَ سرعةٍ ابتدائيَّة من فوَّهةِ كلِّ إناءٍ.
  أيُّ الكرتَين تصلُ أوّلاً إلى القاع؟
  ما السَّببُ برأيك؟

فقد وجدنا من خلال التجربتين السابقتين أن:

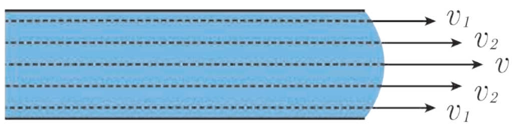
1. مقاومة الماء للجريان ضعيفة مقارنة بمقاومة العسل للجريان؛ حيث أنّ العسل ينساب ببطء مقارنة بالماء.
2. مقاومة الماء لحركة الكرة أصغر من مقاومة الزيت لحركة الكرة؛ حيث أنّ سرعة الكرة في الماء أكبر من سرعتها في الزيت.

أستنتج:

ظاهرةُ اللّزوجة: خاصّيةٌ تعبِّرُ عن مُقاوَمة السّائل للجريان، أو مُقاوَمته لحركةِ الأجسامِ داخلَه، أو لتُغيِّرَ شكلَه بتأثيرِ قوىً خارجيّة.

1-2 أسبابُ اللّزوجة:

تنتجُ اللّزوجة عن قِوى التّأثير المُتبادَل بينَ جزيئات السّائل،وهذه القوى تعملُ على تكوّن روابطَ فيما بينَ هذه الجزيئات، ممَّا يسبّبُ التَّماسُكَ بينَ أجزاء السّائل.



يمكن تشبيه أجزاء السائل في أثناء حركتها بالطبقات، وعند جريان السائل تتباعد هذه الطبقات بعضها عن بعض ممّا يغيّر من شكل السائل فتعمل قوى التماسك على إعاقة حركة جسيمات السائل بالنسبة لبعضها بعضاً ممّا يعيق تغيّر شكله.

2-2 قِياسُ اللّزوجة:

- توجدُ طرائقُ عدَّة لقياسِ اللُزوجة، إحداها تعتمدُ على قياسِ سرعة سقوط كرةٍ ضمنَ سائلٍ.
- كلَّما ازدادَت لزوجةُ السّائل، ازدادَت مقاومتُه لحركةِ الكرةِ، وكانَت سرعتُها ضمنَ السَّائلِ أصغرَ.

لتكُن كرةٌ، نصفُ قطرِها r ، كتلتُها m ، تتحرَّكُ بسرعةِ v في سائلٍ معاملُ لزوجتِه η .
ما هي القوى الخارجيَّة الّتي تخضعُ لها الكرةُ؟
تخضعُ الكرةُ عندَ سقوطها في السّائل للقوى الآتية:

- قوةٌ ثقلُها $\vec{w}$:
$$\vec{w} = m\vec{g} = \rho V\vec{g}$$
حيثُ ρ: الكتلةُ الحجميّة للكرة، و V: حجمُ الكرة $(V = \frac{4}{3}\pi r^3)$

- قوّةُ دافعةِ أرخميدس $\vec{B}$:
$$\vec{B} = \rho' V\vec{g}$$
حيثُ ρ': الكتلةُ الحجميّة للسّائل، و V: حجمُ السّائل المُزاح المُساوي لحجم الكرة.

– قوّةُ مُقاومةِ السّائل لحركةِ الكرة $\vec{F}_r$:

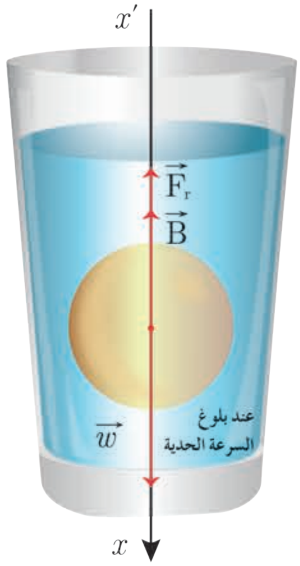
التي تُعطى بعلاقةِ ستوكس:

$$\vec{F}_r = -6\pi\eta r\vec{v}$$

- في لحظةِ بدءِ السّقوط تكونُ سرعةُ الكرة معدومةً، فتكونُ قوّةُ المُقاوَمة مَعدومة.
- تزدادُ سرعةُ الكرة في أثناءِ سقوطِها في السّائل، فتزدادُ قوّةُ مُقاوَمة السّائل لحركة الكرة حتّى تصبحَ مُحصِّلةُ القوى المُؤثّرة على الكرة مَعدومة، وبحسبِ مبدأ العطالة تصبحُ حركةُ الكرة داخلَ السّائل مُستقيمةً، مُنتظِمةً، سرعتُها ثابتة نسميها السرعة الحدية v_t:

$$\Sigma\vec{F} = \vec{O}$$

$$\vec{w} + \vec{B} + \vec{F}_r = \vec{O}$$



بالإسقاط على مُحوَر شاقولي $x'x$ موجَّه نحو الأسفل

$$w - B - F_r = 0$$

$$\rho.V.g - \rho'.V.g - 6\pi\eta.r.v_t = 0$$

$$V(\rho - \rho')g - 6\pi\eta.rv_t = 0$$

$$V(\rho - \rho')g = 6\pi\eta.rv_t$$

$$\frac{4}{3}\pi r^2(\rho - \rho')g = 6\pi\eta.rv_t$$

$$\frac{2}{3}r^2(\rho - \rho')g = 3\eta.v_t$$

$$v_t = \frac{2r^2(\rho - \rho')g}{9\eta}$$

وهي العلاقة التي تحدِّد السّرعة الحدية للكرة في السّائل.

نحسبُ من هذه العلاقة معامل لزوجة السّائل η.

وحدةُ قياس معامل اللّزوجة في الجملة الدوليّة بـ (باسكال. ثانية) ويرمَزُ له بالرمز (Pa.s).

تطبيق (1)

تتركُ كرةً دون سرعةٍ ابتدائيّة عند سطح سائل، ونقيسُ الزّمن اللّازم لوصول هذه الكرة إلى أسفل الوعاء وليكن t، ونقيسُ ارتفاعَ السّائل في الوعاء وليكن h. استنتج العلاقةَ التي تُعطي معامل لزوجةِ السّائل بفرض أنَّ لزوجة السّائل مُرتفعةٌ ما يكفي لبلوغ سرعة الكرة قيمة حدَية بعد قطعِها مسافةً صغيرةً مُقارَنة بعمق الإناء. ونفترضُ أنّ هذه الشّروط مُحقّقة في جميع المسائل المُتعلّقة بمعامل اللّزوجة.

الحلّ:

تُعطى سرعةُ الكرة بالعلاقة

$$v = \frac{h}{t} \text{ ---------- } (1)$$

وهذه السّرعة هي السرعة الحدّية ذاتها المُعطاة بالعلاقة:

$$v_t = \frac{2r^2(\rho - \rho')g}{9\eta} \text{ ---------- } (2)$$

نعوض (1) في (2):

$$\frac{h}{t}=\frac{2r^2(\rho-\rho')g}{9\eta}$$

$$\eta=\frac{2r^2(\rho-\rho')gt}{9h}$$

وهي العلاقة التي تُحدِّدُ معاملَ اللّزوجة للسّائل.

تطبيق (2)

كرة من الألمنيوم، نصفُ قطرِها $r = 6\,\text{mm}$ ، كتلتُها الحجمية $\rho_{Al} = 2700\,\text{kg.m}^{-3}$ ، تسقطُ في الماء الذي كتلتُه الحجميّة $\rho_{H_2O} = 1000\,\text{kg.m}^{-3}$ ، استنتج العلاقةَ المُحدِّدة لمعامل لزوجة الماء، ثمّ احسب قيمتَه إذا كانتِ السّرعة الحدية للكرة في أثناء حركتها في السائل $v_t = 136\,\text{m.s}^{-1}$ باعتبار أنَّ تسارعَ الجاذبيَّة الأرضيّة $g = 10\,\text{m.s}^{-1}$.

$\rho_{Al} = 2700\,\text{kg.m}^{-3}$ ، $\rho_{H_2O} = 1000\,\text{kg.m}^{-3}$ ، $v_t = 136\,\text{m.s}^{-1}$

$g = 10\,\text{m.s}^{-1}$ ، $r = 6\times10^{-3}\,\text{m}$ ، $\eta = ?$

القوى الخارجيّة المؤثِّرة:

$\vec{w}$: ثقلُ الكرة.

$\vec{F_r}$: قوّة مُقاومَة السّائل لحركة الكرة.

$\vec{B}$: دافعة أرخميدس.

عندَ وصولِ الكرة إلى سرعتِها الحدية:

$$\Sigma\vec{F}=\vec{O}$$

$$\vec{w}+\vec{B}+\vec{F_r}=\vec{O}$$

بالإسقاط على مُحوَّرٍ شاقوليّ $x'x$ مُوجَّه نحو الأسفل:

$$w-B-F_r=0$$

$$w-B=F_r$$

$$\frac{4}{3}\pi r^2(\rho-\rho')g=6\pi\eta.rv_t$$

$$\eta=\frac{2r^2(\rho-\rho')g}{9v_t}$$

$$\eta=\frac{2\times36\times10^{-6}\times1700\times10}{9\times136}=1\times10^{-3}\,\text{Pa.s}$$

3-2 العواملُ المُؤثّرة في عاملِ اللّزوجة:

1. كثافةُ السّائل: تزدادُ لزوجة سائل بزيادة كثافتِه والجدول الآتي يُعطي قيمَ معامل اللّزوجة لبعض السوائل عند الدّرجة $25°C$.

المادّة	العسل	زيت المحركات	الماء	الدم	الزئبق	زيت الخروع
معاملُ اللزوجة (Pa.s)	1×10^{-2}	1.6	1×10^{-3}	$(3-4)\times10^{-3}$	1.5×10^{-3}	2.42

إثراء:

تعتمدُ لزوجة الدّم على تركيز الكريات الحمراء فيه، ولذلك يمكننا استخدامَ اللّزوجة للكشف عن عوز الدّم للكريات الحمراء.

ملاحظة: إنَّ الكتلة الحجمية مُقدَّرةٌ بوحدة $g.cm^{-3}$ تساوي العدد الدّال على الكثافة.

2. درجةُ الحرارة: تتناقصُ لزوجة السّائل بازدياد درجة الحرارة، ويعودُ ذلك إلى ازدياد حركة جزيئات السّائل وتَحطُّم بعض الرّوابط بين الجزيئات المُكوِّنة للسّائل.

وبالتالي تزدادُ سرعةُ انسياب السّائل، وتقلُّ مقاومتُه لحركة الأجسام فيه.

يتضمَّنُ الجدولُ الآتي بعضاً من قيم مُعامَلات اللّزوجة لبعض السّوائل في درجات حرارةٍ مُختلِفة.

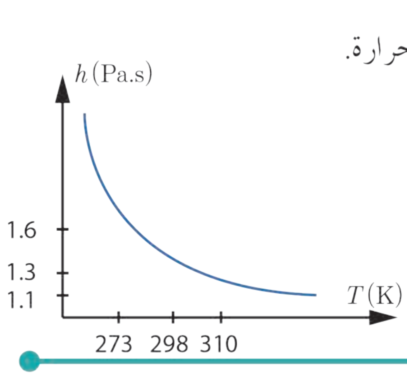
المادّة	معاملُ اللّزوجة (Pa.s)	درجةُ الحرارة (K)
الماءُ	1.8×10^{-3} 1×10^{-3} 0.7×10^{-3}	273 293 310
زيتُ المُحرّكات	5.3 0.99 0.23	273 293 313

إثراء:

في الألعاب الأولمبيّة في لوس أنجلوس 1984، وبشكلٍ مُثيرٍ للاهتمام، أُخِذَ بالحسبان تغيُّر لزوجة الماء عندَ تغيُّر درجة الحرارة، فقد جرت سباقاتُ السّباحة في مسابحَ مكشوفةٍ ممَّا استلزمَ تبريدُ الماء بإضافة قوالبِ الثّلج إليه لمنع الارتفاع الزّائد في درجة الحرارة، إذ أنَّ ذلك سيؤدّي إلى خفض لزوجةِ الماء، وبالتالي إعطاء الرّياضيّين ميزةً غير عاديّة مُقارَنة بالمرّات التي كانَت بها المسابحُ أكثرَ برودةً.

تمرين

• لديك المُنحني البياني الذي يعبِّر عن تغيُّرات معامل اللّزوجة بدلالة درجة الحرارة.



المطلوب:

1. ما قيمةُ معامل اللّزوجة عندَ درجة الحرارة 273 K
2. حدِّدْ قيمةَ درجة الحرارة عندَما تكونُ قيمةُ معامل اللّزوجة 1.1 Pa.s
3. ماذا تتوقّعُ أن تكونَ قيمة معامل اللّزوجة من أجل درجة حرارة 450 K خارجَ الخطّ البيانيّ؟

أختبر نفسي

أولا: أجبْ عن الأسئلةِ الآتية:

1. أيُّهما أسهلُ، سكبُ الزَّيتِ من عبوةٍ زجاجيّة في الصّيف أو في الشّتاء؟ علّل إجابتَك.
2. أيُّهما أكبرُ، قوى التَّماسُك في زيتِ المُحرِّكات أو في الماء؟
3. كيفَ يمكنُك بتجربةٍ بسيطةٍ مُقارَنة لُزوجة سائلَين؟
4. أعطِ تفسيراً علمياً لكلٍّ ممَّا يلي:

a. تزدادُ لزوجةُ السَّائل بازدياد كثافتِه النّسبية.

b. تستهلكُ السّياراتُ أثناء حركتِها في الشّتاء كميّة من الوقود أكبر من كمّية الوقود المُستهلَكة في الصَّيف.

c. يُستخدَمُ زيت عالي اللُّزوجة في تزييت أجزاءِ الآلاتِ الَّتي يحدثُ احتكاكٌ بينَها.

d. لا يصلحُ الماءُ لتزييتِ أجزاءِ الآلات التي يحدثُ احتكاك بينها.

ثانيا: حُلَّ المسألةَ التّالية:

كرةٌ من الحديد، نصفُ قطرها $r = 1\,\mathrm{cm}$، الكتلةُ الحجميّة للحديد $\rho_{Fe} = 7800\,\mathrm{kg.m^{-3}}$، تسقطُ في الماء حيثُ إنَّ كتلتَه الحجميّة $\rho_{H_2O} = 1000\,\mathrm{kg.m^{-3}}$، ومعامل لزوجة الماء $\eta = 1\times10^{-3}\,\mathrm{Pas}$ **والمطلوب:**

- استنتجِ العلاقةَ المُحدِّدة للسّرعة الحدية في الماء، ثمَّ احسب قيمتَها.
- احسب شدَّةَ قوّة مُقاوَمة الماء لحركة الكرة لحظةَ الوصول إلى السرعة الحدية.
- احسب شدَّةَ دافعةِ أرخميدس المُؤثِّرة على الكرة أثناءِ حركتِها داخلَ السَّائل.
- وازن بينَ ثقل الكرة ومجموع شدَّة دافعة أرخميدس وقوَة مقاومة الماء لحركة الكرة لحظةَ الوصول إلى السّرعة الحدية، وماذا تستنتجُ؟

3-2 الحرارةُ والطّاقة الدّاخليّة

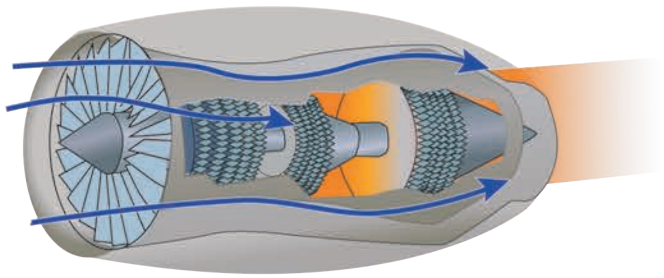
الأهداف:

* يتعرَّف الجملةَ الترموديناميكيّة.
* يشرح التّوازُن الحراريّ.
* يُعدِّد أنواعَ التّحوُّلات الّتي تطرأُ على جملةٍ ماديّة.
* يفسِّر الطّاقةَ الدَّاخليّة.
* يذكر وحداتِ الطّاقة الدّاخليّة والعلاقة بينها.
* يقوم بتجاربَ تبيِّنُ تبادُلَ الحرارة والعمل بينَ الجملة المُغلقة والوسط الخارجيّ.
* يذكر قوانينَ الترموديناميك.
* يصف العواملَ الّتي تتوقَّفُ عليها كمّيّةُ الطاقة الحراريّة المفقودة أو المُكتسَبة.
* يستنتج علاقةَ الطّاقة الحراريّة بالعوامل التي تتوقَّفُ عليها.

الكلمات المفتاحيّة:

* علم الترموديناميك
Thermodynamics
* الطّاقة الداخليّة
Internal Energy
* الجملة المفتوحة
Open System
* الجملة المُغلَقة
Closed System
* الجملة المعزولة
Isolated System
* ثابت بولتزمان.
Boltzmann Constant

ألاحظُ الصُّورة الآتية:



ما الذي تراهُ في هذه الصّورة؟
كيفَ يعملُ المُحرِّك النفّاث؟

في مُقدّمة المُحرِّك يوجدُ ضاغِطَ هواءٍ يسحبُ الهواء المُحيط ليُدخله إلى غرفةِ الاحتراق، حيث يتفاعلُ الوقودُ مع الأكسجين ويتسخَّنُ باقي الهواء ليخرجَ مع نواتجِ الاحتراق من مُؤخِّرة المُحرِّك، ممَّا يؤمِّنُ الدَّفع اللّازم للطّائرة النفّاثة.

ما الَّذي نكسبُه من تسخين الهواء؟ ولماذا يسعى الباحثونَ دوماً إلى رفع درجة حرارة الغازات التي يجري نفثها؟

للإجابة لابُدّ من التعرُّف على علم الترموديناميك.

3-1 علم الترموديناميك

نصادفُ في حياتنا اليوميَّة عدداً من الظواهر مثلَ:

- انصهارُ الجليدِ عندَ تعرُّضِه للحرارة.

- ارتفاعُ درجة حرارةِ كمّية من الماء لدى تسخينها فوقَ موقِد.

- ارتفاعُ درجة حرارة الهواء في مِنفاخ الكرة أو إطار الدرّاجة عند القيام بضغطِ الهواء.

ماذا يرافقُ التحوُّلين في المثالين الأوّل والثاني؟
ماذا يرافقُ التحوُّل في المثال الثّالث؟
ما الشيء المشترك بين هذه الظواهر؟

أستنتجُ:

- **يترافقُ التحوُّلان الأوّل والثاني بتبادلٍ حراريّ عن طريق التّسخين تحتَ ضغط جوي نظامي.**
- **يرافقُ التحوّل الثالث تغيُّر في درجة حرارة الهواء عن طريق تقديم عمل للهواء.**
- **تشترك هذه الظواهر بأنّها تعتمد التبادل الحراري.**

أستنتج:

علم الترموديناميك يدرس التحوّلات (التغيّرات) التي تطرأ على المادة ويرافقها تبادل حراري.

3-1-1 أنواع التحوُّلات الترموديناميكيَّة

تصنف التحوّلات التي تطرأ على جملة ترموديناميكية حسب خواصها.
نذكرُ منها:

1. التحوُّلات مُتساويةُ درجةِ الحرارة: وهي تجري بدرجة حرارةٍ ثابِتة.
مثال: يغلي الماءُ مُتحوِّلاً إلى بخارٍ بدرجة حرارةٍ ثابتة تساوي $100°C$، تحت ضغط جوي نظامي.
هل يغلي الماءُ في قمَّة جبل الشيخ في درجة الحرارة $100°C$؟

2. التحولات متساوية الضغط: وهي تجري بضغط ثابت.
مثال: عندما نقوم بطهي الطعام في إناء مفتوح فإنّ التحوّل يكون متساوي الضغط، حيث الضغط يساوي الضغط الجوي.
هل يُمكن إعطاء صفة أخرى لهذا التحوّل؟

3. التحوُّلات مُتساوية الحجم: وهي تجري بحيثُ يبقى حجمُ الجملة ثابتاً.
مثال: عند طبخ الطّعام في إناءٍ مُغلَق، تمدُّده مُهمَلٌ (طنجرة الضَّغط) يكونُ التحوّل مُتساويَ الحجم.
هل تبلغُ درجةُ حرارة الماء عند غليانه في طنجرة الضغط $100°C$؟

4. التحوُّلات الكظومة: وهي التي تجري دونَ تبادُلٍ حراريّ مع الوسط الخارجي.
مثال: إذا أدخلنا قطعةً من الجليد إلى داخل مسعر يحوي ماءً ساخناً، وانصهرَ الجليد، نقولُ عن انصهار الجليد إنّه تحوُّل كظوم إذا افترضنا أنّ الجملة الترموديناميكيّة هي كلُّ ما يحويه المسعر.
هل يبقى التحوُّل كظوماً لو كانَت الجملة الترموديناميكيَّة هي قطعةُ الجليد فقط؟

3-2 الجملةُ الترموديناميكيّة

3-2-1 تعريف الجملة الترموديناميكية

عند دراسة ظاهرة انصهار الجليد، يُوجّه الاهتمام إلى كمية من الجليد وتُجرى قياسات لعدد من المقادير التي قد تتعلق بالظاهرة مثل كتلة الجليد وحجمه ودرجة حرارته والضغط الذي يخضع له، ويتم تكرار هذه القياسات في أثناء عملية الانصهار وبعده، نتيجة التجارب والقياسات يُمكنُ التوصّل لعددٍ من الاستنتاجاتِ منها:

a. درجة حرارة انصهار الجليد تساوي $0°C$ تحتَ الضّغط الجويّ النظامي.

b. عندَ تحوّل الماء من الطَّور الصُّلب إلى الطَّور السائل في الدرجة السّابقة تتغيّر كتلتُه الحجميّة من $920\ kg/m^3$ إلى $1000\ kg/m^3$.

من المثالِ السّابق يتبيّنُ أنّه للقيام بدراسة التحوُّلات التي تحدثُ للمادة يجري تركيزُ الاهتمام على الجسم (قطعة الجليد مثلاً)، أو مجموعة الأجسام التي تجري عليها التحوُّلات (قطع الجليد والماء السائل)، ونطلقُ على الجسم(أو الأجسام المدروسة معاً) اسمَ الجملة الترموديناميكيَّة. **من هنا نعرّف الجملة الترموديناميكية على أنّها:**

«جزءٌ من الكون يخضعُ لتحوُّلات، هذا الجزءُ يحدُّه سطح مُغلَق (حقيقيّ أو وهميّ) نسمّيه سطحَ الجملة، ونسمِّي كلَّ ما يقعُ خارج سطح الجملة: الوسط الخارجي».

مثال:

- كمّية من سائلٍ ضمنَ إناء؛ حيثُ يمثِّل السّائل الجملة الترموديناميكيَّة، والسّطح المُشترَك بينَ السّائل والإناء حدود الجملة، كما يمكنُنا أن نختارَ السّائل والإناء كجملة ترموديناميكيّة، وسطح الإناء الخارجيّ يكون هو سطح الجملة.

2-2-3 تصنيفُ الجمل الترموديناميكيَّة

تُصنَّف الجملُ الترموديناميكية حسب طبيعة التبادُلات بينَ الجملة والوسط الخارجي إلى ثلاثة أصناف:

1. **الجملة المعزولة:** هي الجملة التي لا تتبادلُ الطاقة أو المادّة مع الوسط الخارجي.
   مثال: كمّيةٌ من الماء ضمنَ مِسعَر مُغلق.
2. **الجملة المفتوحة:** هي الجملة التي تتبادلُ الطاقة والمادّة مع الوسط الخارجيّ.
   مثال: إناءٌ مفتوحٌ يحوي ماءً، نلاحظُ أنَّ بخارَ الماء يُمكنُ أن يخرجَ من فتحة الإناء، ومن ثمّ تتبادلُ الجملة المادَةَ (بخار الماء) مع الوسط الخارجي. كما أنَّ الحرارة يُمكنُ أن تنتقلَ إلى الماء من الوسط الخارجيّ من خلال الفتحة أو عبر جدران الإناء.
3. **الجملة المُغلَقة:** هي الجملة التي لا تتبادلُ المادة مع الوسط الخارجي، لكنّها تتبادلُ الطّاقة على شكل حرارةٍ أو عملٍ أو إشعاع.

أمثلة:

- **كمّية من الماء ضمنَ وعاءٍ مُغلَقٍ وناقلٍ للحرارة**، في هذا المثال تتبادلُ الجملة الحرارة مع الوسط الخارجيّ.
- **المُحرّك البخاري:** يقدّمُ عملاً إلى الوسط الخارجيّ.
- **المصباح الكهربائيّ:** يقدّمُ الطاقة بالإشعاع إلى الوسط الخارجيّ.

3-3 التوازن الحراري والمبدأ صفر في الترمو ديناميك

- آخذ كرة من الحديد وأقيس درجة حرارتها، وأسجّل قرائتي.
- آخُذ وعاءً يحوي ماءً ساخناً، وأقس درجة حرارته، وأسجّل قرائتي.
- أضع كرة الحديد لخمس دقائق في الماء الساخن، وأقس درجة حرارة الماء، وأسجّل قراءتي.
- أُخرج كرة الحديد من الماء، وأقس درجة حرارة كل من كرة الحديد والماء، وأسجّل قراءتي.
- أُقارن النتائج التي حصلت عليها؟

إنّ لكل من كرة الحديد والماء بعد انتهاء التجربة مباشرة درجة الحرارة ذاتها. نقول إنّه قد حصل توازن حراريّ بين قطعة الحديد والماء الساخن.

أستنتج:

يحصلُ التوازُن الحراريّ بينَ جسمين مُتلامِسَين عندما يُصبح لهما درجةُ الحرارة ذاتها.

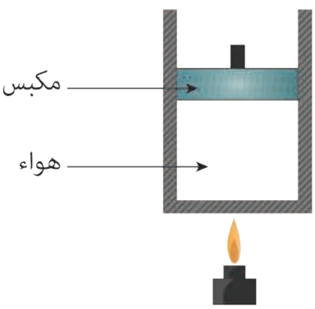
المبدأ صفر: لنفرض جسماً يلامس في أحد أطرافه جسماً ثانياً، وفي الطرف الآخر جسماً ثالثاً، فإذا كان الجسم الأوّل في توازن حراريَ مع الجسم الثاني يكون له درجة حرارة هذا الجسم، وأن كان في توازن حراري مع الجسم الثالث يكون للجسم الثالث درجة حرارة الجسم الأول، إذاً للجسم الثاني وللجسم الثالث درجة الحرارة نفسها إن تلامسا فلن يتبادلا الحرارة وهذا يعني أنهما متوازنان حرارياً، **نعبّر عن هذه النتيجة بالمبدأ صفر في الترموديناميك:**

جسمان في توازن حراريَ مع جسم ثالث يكونان متوازنين حرارياً فيما بينهما.

4-3 دراسةُ الجملة الترموديناميكيّة المُغلَقة

يُمكنُ للجملة المُغلَقة أن تتبادلَ الحرارة مع الوسط الخارجي، كما يُمكنُ أن نقدّمَ لها عملاً أو أن تُقدّمَ هذه الجملة العمل إلى الوسط الخارجي، وسنوضّحُ ذلك من خلال الأمثلة الآتية:

أولاً: تسخينُ أسطوانة تحتوي هواءً ومُغلَقة بمكبس



أسطوانةٌ شاقوليَّة معدنيَّة مُغلَقة بمكبس، كتلتُه m يُمكنُه الحركة بحرّية، تحتوي الأسطوانةُ على هواءٍ درجةُ حرارته تساوي درجةَ حرارة الوسط الخارجي، نُعرِّض الأسطوانة إلى منبع حراريّ، فيتمدَّد الغازُ ويقومُ بدوره بدفع المكبس إلى الأعلى بمقدارِ h، نستنتجُ أنّ الغازَ قد قدّمَ عملاً W موجباً إلى المكبسِ يساوي:

$$W = mgh > 0$$

ولم يكن بإمكانِ الغاز تقديم هذا العمل لولا تسخينُه.

أستنتجُ أنَّ الغاز قد اكتسبَ الطاقةَ نتيجةَ التسخين، ثُمّ قدّمَ جزءاً منها إلى المكبس على شكل عملٍ، والطاقة التي اكتسبَها الغازُ نتيجةَ التّسخين ندعوها كمّية الحرارة.

كمّية الحرارة: هي الطاقة التي تكتسبُها أو تخسرُها الجملة نتيجةَ تلامسُها مع جملة أخرى تختلفُ عنها بدرجةِ الحرارة.

ثانياً: تسخين كمية من الماء على موقد

عند وضع إناء يحوي كمية من الماء كتلتها m على موقد، ترتفع درجة حرارة الماء، ونقولُ إنَّ الماءَ قد اكتسبَ كمّية من الحرارة Q تُحسَب من العلاقة:

$$Q = mC_o(t_2 - t_1)$$

حيثُ:

C_o: الحرارة الكتلية للماء.

t_2: درجة حرارة الماء النهائية.

t_1: درجة حرارة الماء البدائية.

تطبيق (1)

يستهلكُ شخصٌ من أجل الاستحمام $40\,\mathrm{L}$ من الماء السّاخن بدرجة $45°\mathrm{C}$، ويستخدمُ لذلك سخّاناً كهربائيّاً لتسخين الماء الذي درجةُ حرارته الابتدائية تساوي $15°\mathrm{C}$. احسب الطّاقة الكهربائيَّة التي يستهلكُها السخَّان، ثمَّ احسب كلفةَ التّسخين علماً أنّ كلفةَ الكيلوواط الساعي 5 ليراتٍ سورية.

علماً أنّ الحرارة الكتليَّة للماء $C_o = 4186\,\mathrm{J.kg^{-1}.°C^{-1}}$، $\rho = 1000\,\mathrm{kg/m^3}$

الحلّ:

نحسبُ أولاً كتلة $40\,\mathrm{L}$ من الماء في الدرجة $15°\mathrm{C}$ من العلاقة:

$$\rho = \frac{m}{V} \Longrightarrow m = \rho V$$

$$m = 1000 \times 40 \times 10^{-3} = 40\,\mathrm{kg}$$

نحسبُ كمّية الحرارة من العلاقة:

$$Q = mC_o(t_2 - t_1) = 40 \times 4186 \times (45 - 15) = 5.023 \times 10^6\,\mathrm{J}$$

وهي ذاتها الطاقة التي يستهلكها السخان الكهربائي

الكيلو واط السّاعي يساوي:

$$1kWh = 10^3 \times 3600 = 3.6 \times 10^6\,\mathrm{J}$$

فتكونُ كمّية الحرارة مُقدَّرة بالكيلوواط ساعي:

$$\frac{5.023 \times 10^6}{3.6 \times 10^6} = 1.4\,kWh$$

الكلفةُ بالليرة السّورية: $1.4 \times 5 = 7$

تجدرُ المُلاحَظة هنا أنّ هذا الحساب:

- يفترضُ أنّ الخزّان الذي يجري فيه تسخين الماء معزول حرارياً.
- يفترض إهمال كمية الحرارة اللازمة لتسخين جدران الخزان (لا يوجد ضياع في الطاقة).
-

ثالثاً: ضغط غاز داخل أسطوانة

هل قمت سابقاً بنفخ دولاب دراجةٍ هوائية أو كرة باستخدام مِنفاخ يدويّ؟ إذا حدثَ ذلك فلا بدّ أنّك لاحظتَ أنّ درجةَ حرارة المِنفاخ قد ارتفعَت، وأصبحَ جدارُه الخارجيّ ساخناً (خصوصاً إذا كانَ المِنفاخُ معدنيّاً)، فكيفَ تُفسّر ارتفاعَ درجة حرارة المِنفاخ؟

هل احتكاكُ مِكبسِ المِنفاخ مع الجدار الدّاخلي للمِنفاخ هو السّببُ في ارتفاع درجة حرارة المِنفاخ؟

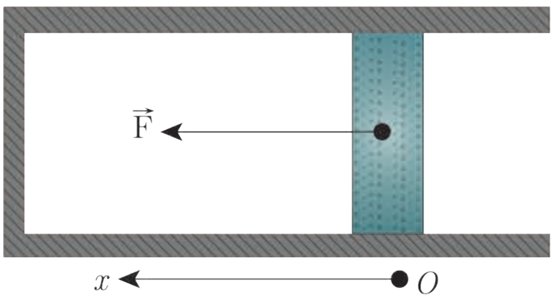
هل تلاحظُ ارتفاعاً في درجة حرارة المِنفاخ، إذا أعدتَ تجربةَ استخدام المِنفاخ مع طرحِ الهواء إلى الوسط الخارجيّ بدلًا من الدولاب؟

لا ترتفعُ درجةُ الحرارة بشكلٍ ملموسٍ في حال أعدْنا التَّجربة مع طرح الهواء خارجاً، إذن لا يُمكنُ أن يكونَ الاحتكاك هو السبب الرئيسُ في ارتفاع درجة حرارة المنفاخ.

إذاً هناك تفسيرٌ آخرُ هو أنّ عملية ضغطِ الهواء أدّت إلى ارتفاع درجة حرارة المِنفاخ، فكيف تمَّ ذلك؟

عندَما نطبّق على المِكبس قوّة F لضغط الهواء ينتقلُ المكبس مسافة d، يكونُ عملُ هذه القوّة في أثناء الانتقال مُساوياً:

$$W = Fd$$



يتمُّ تقديمُ هذا العمل إلى هواء المِنفاخ، ولما كانت درجة حرارة الهواء قد ارتفعت فهذا يقتضي أن يكونَ هذا العمل هو الّذي أدَّى إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء.

أستنتج:

يُمكنُ رفع درجة حرارة جملة ترموديناميكيَّة بطريقتَين:

- **الأولى:** بتسخينها بوساطة موقِد، أي بإعطائِها كمّية من الحرارة.
- **الثانية:** بضغطها، أي بتقديم عملٍ إلى هذه الجملة.

5-3 الطاقة الداخليّة لجملة ترموديناميكيّة

1-5-3 تعريف الطاقة الداخليّة

وجدنا ممّا سبق أن الجملة الترموديناميكية تلعب دور خزان للطاقة حيث يُمكن لهذا الخزان أن يستوعب كمية إضافية من الطاقة، وأن يفقد جزءاً من طاقته بأشكالٍ مختلفةٍ.

و بالتالي:

الطاقة الداخليّة لجملة ترموديناميكيّة: هي مقدارٌ فيزيائي يميّز الجملة الترموديناميكيّة، ويعبّر عن مجموع أشكال الطاقة داخلَ الجملة، وتغيّر هذا المقدار يساوي الطاقة التي تتبادلُها الجملة مع الوسط الخارجي، فيزدادُ هذا المقدار عندما تكتسبُ الجملة طاقةً من الوسط الخارجي، وينقصُ عندما تعطي الجملة طاقةً إلى الوسط الخارجي.

2-5-3 تفسيرُ الطاقة الداخليّة

نعلم أنّ الغازَ ضمن أسطوانةٍ مُغلَقة مُكوَّنٌ من جزيئات مُنفصِلة، وهي تتحرَّكُ حركةً عشوائيّة، وتتصادمُ فيما بينَها، كما أنّه توجدُ قوى تجاذُبٍ وتنافُر بين هذه الجزيئات نظراً لأنَّها تحملُ شحناتٍ كهربائيّة.

فإذا كانَ الغازُ مُمدَّداً بشكلٍ كافٍ يُمكن إهمال قوى التجاذُب والتنافُر بين الجزيئات، في هذه الحالة يُمكن حساب الطاقةَ الحركيّة لكلّ جزيء ومجموعُ الطاقات الحركيّة لهذه الجزيئات يعبّر عن الطاقة الداخليّة للغاز.

وإذا قمنا بتسخين الغاز فإنَّنا نعطيه طاقةً إضافيّة، هذه الطاقة تُضاف إلى الطاقة الداخلية للغاز، بعبارةٍ أخرى تزدادُ الطاقةُ الحركيّة المُتوسِّطة لجزيئات الغاز، ولما كانَ التسخين يرفعُ درجة حرارة الغاز، أستنتجُ أنّ درجة الحرارة ترتبطُ بشكلٍ مُباشر بالطاقة الحركيّة المُتوسِّطة للجزيئات.

يعبّر عن هذا الارتباط بالعلاقة:

$$\varepsilon = \frac{3}{2}kT$$

حيثُ:

ε: الطاقة الحركيّة الانسحابيّة المُتوسِّطة للجزيئات، و وحدتها J

k: ثابت بولتزمان $k = 1.38 \times 10^{-23}\,\mathrm{J/K}$

T: درجة الحرارة المُطلَقة، وهي ترتبطُ بدرجة الحرارة المئوية t بالعلاقة $T = 273.15 + t$ وتقدَّر بالكالفن.

تجدرُ الإشارة إلى أنّ هذا النموذج هو الأبسط بين الغازات كغاز الهليوم المُنخفِض الضّغط (أقلّ من الضّغط الجوي)، وبشكلٍ عام يجبُ الأخذ بعين الاعتبار مُساهَمات أخرى في الطاقة الداخليّة.

إضاءة

أشكال أخرى للطاقة الداخليّة

إذا كان الجزيء مكوّناً من أكثر من ذرّة فيُمكنُه القيام بحركةٍ دورانيّة، أي يكتسبُ طاقةً حركيَّة دورانيّة، وهذا يساهمُ في الطاقة الداخلية للغاز، كما يُمكنُه القيام بحركةٍ اهتزازيّة، فتساهمُ الطاقة الاهتزازية أيضاً في الطاقة الداخليّة للغاز.

في حالة الغاز المُمدَّد يُمكنُ إهمال قوى التجاذُب والتنافُر بين الجزيئات، إنّ هذا الأمر غيرُ ممكن عندما يكونُ لدينا غازٌ مضغوط، حيثُ يُضاف إلى الطاقة الحركيّة للجزيئات الطاقة الكامنة للتأثيرات المُتبادَلة بين الجزيئات.

في حالة الأجسام الصّلبة يؤخَذ بعين الاعتبار طاقة الارتباط بين الذرّات المُكوّنة للجسم الصُّلب.

3-5-3 حسابُ تغيّر الطاقة الداخليّة لجملة

أولاً: اصطلاح:

نُعطي لكلِّ ما تكتسبه الجملة إشارةً موجِبة، وكلّ ما تفقده الجملةُ إلى الوسط الخارجي إشارةً سالبة.

مثال: إذا كانَت كمّية الحرارة المُتبادَلة بين الجملة المدروسة والوسط الخارجي تساوي $Q = -45\,\mathrm{J}$ نستنتجُ أنَّ الجملة قد فقدت $45\,\mathrm{J}$، وإذا كانَ العملُ الذي تلقَّته الجملة $W = -45\,\mathrm{J}$ نستنتجُ أنّ الجملة قد قدَّمت إلى الوسط الخارجي 45 جُولاً.

يُمكنُ للجملة المُغلَقة أن تتبادلَ الطاقة مع الوسط الخارجي بطرائقَ مُختلِفة منها التسخينُ والعمل والإشعاع، الذي نذكرُ مثالاً عليه الشّمس التي تفقدُ طاقتَها باستمرار عن طريق الإشعاعات.

ثانياً: المبدأ الأوّل في الترمودیناميك

نهتمُّ في دراستنا الراهنة بالجمل المُغلَقة التي تتبادلُ الطاقة من خلال العمل أو كمّية الحرارة، فإذا كانَت كمّية الحرارة Q، والعمل الذي تكسبه الجملة W، والطاقة الداخلية للجملة U، فإنّ تغيّر الطاقة الداخلية للجملة، يُعبّر عنه المبدأ الأوّل في الترموديناميك.

المبدأ الأول في الترموديناميك: لكلِّ جملة طاقةٌ داخليّة، نرمزُ لها بـ U، تغيُّر هذه الطاقة ΔU يساوي مجموع الطاقة بأشكالها المُختلِفة التي تتلقاها الجملة من الوسط الخارجي.

في حال اقتصرَ تبادُل الطاقة على تلقّي كمّيةٍ من الحرارة Q، وتلقي عملاً W، نكتب المبدأ الأول:

$$\Delta U = Q + W$$

نلاحظ أنَّ هذا المبدأ يعبِّرُ عن انحفاظ الطاقة.

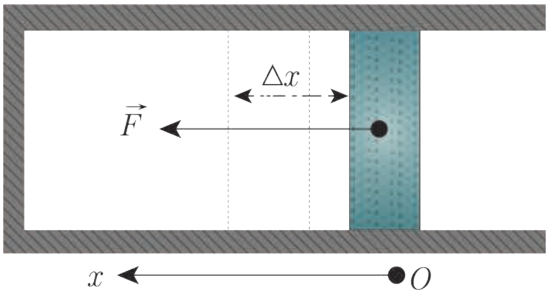
ثالثاً: حسابُ العمل الناجم عن الضَّغط

1. حالةُ غاز ضمنَ أسطوانة مُغلقَة بمكبس

لتكن $\vec{F}$ القوّة الخارجيّة المؤثِّرة في الجملةِ الناتِجة عن الضَّغط الخارجيّ P_{ext}، لنفترضْ أنّ مساحةَ سطح المكبس تساوي s، إنَّ شدّة القوّة الخارجيّة المؤثِّرة في المكبس تساوي $F = P_{ext}\, s$ وهي متّجهة **كما في الشكل**، ومن ثمّ يكونُ عملُ هذه القوّة عند انتقال Δx (بافتراض Ox محورَ موجَّه من اليمين إلى اليسار):

$$W = F \times \Delta x = P_{ext}\, s\, \Delta\, x$$

إذا تحرّك المكبس إلى اليسار، أي بجهةِ القوّة، فيكون عملَ القوّة يكونُ موجِباً، وفي هذه الحالة نلاحظُ أنّ

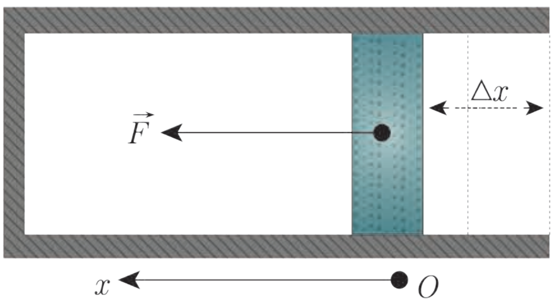


الغازَ قد تقلّصَ وبالتالي نقصَ حجمَه، أي تغيُّرُ حجمَه ΔV يكونُ سالباً، ولمّا كانَ Δx مِقداراً موجِباً فإنّ $\Delta V = -s \times \Delta x$ ومن ثمَّ:

$$W = -P_{ext} \times \Delta V$$

إذا تحرّك المكبس إلى اليمين، أي بعكس جهة القوّة $\vec{F}$،
فإنَّ عملَ القوّة يكونُ سالباً، وفي هذه الحالة نلاحظُ أنَّ الغازَ قد تمدَّد، وبالتالي ازدادَ حجمُه، أي تغيُّرُ حجمه ΔV يكونُ موجباً، ويكونُ Δx مِقداراً سالباً، وبالتاليّ: $\Delta V = s\, \Delta\, x$ ومن ثمّ:

$$W = -P_{ext} \times \Delta V$$



2. تعميم

نعمّم النتيجةَ السّابقة على جميع الحالات التي يتغيّرُ فيها حجمُ الغاز بتأثير الضّغط الخارجي.

عندما يتغيَّرُ حجمُ غازٍ بمقدار ΔV نتيجةَ القوى الناجمة عن ضغطٍ خارجي P_{ext} فإنَّ العملَ الذي يتلقّاه الغازُ يساوي:

$$W = -P_{ext} \times \Delta V$$

تطبيق (2)

أسطوانةٌ معزولة حرارياً مُغلَقة بمكبس مُهمل الكتلة قابل للحركة دونَ احتكاك، كانَ المكبسُ مُثبَّتاً في البداية. تحتوي الأسطوانة على غازٍ مضغوطٍ بضغطٍ أعلى من الضَّغط الجويّ وحجمُه الابتدائيّ $V_i = 0.1\,\text{m}^3$، نتركُ المكبسَ ليتحرَّك نتيجةَ تمدُّد الغاز، فيصبح حجمُ الغاز داخل الأسطوانة $V_f = 0.5\,\text{m}^3$، إذا علمت أنّ الضّغط الخارجيّ يساوي الضغط الجوي النظامي $P_0 = 1\,\text{atm}$، احسب تغيُّرَ الطاقة الداخليّة للغاز.

الحلّ:

نذكّر أنّ: $1\,\text{atm} = 1.013 \times 10^5\,\text{Pa}$

العمل الذي اكتسبه الغاز:

$$W = -P_{ext} \times \Delta V$$

$$W = P_0(V_f - Vi) = 1.013 \times 10^5(0.5 - 0.1) = 40520\,\text{J}$$

تغيّر الطاقة الداخليّة للغاز:

$$\Delta U = Q + W$$

ولكن $Q = 0$ لأن الجملة معزولةً حرارياً، نستنتجُ:

$$\Delta U = 40520\,\text{J}$$

أي الطاقة الداخلية للغاز تناقصت.

رابعاً: المبدأ الثاني في الترموديناميك

وجدنا سابقاً أنّ درجة حرارة كمّية من الماء البارد ترتفع لدى تسخينه فوق موقد حراري أي أن الحرارة تنتقل من الموقد إلى الماء البارد

يُمكن تعميم ذلك من خلالِ أحد نصوص المبدأ الثاني في الترموديناميك:

تنتقلُ الحرارةُ بشكلٍ تلقائيّ من الجسم السّاخن إلى الجسم البارد.

معَ الإشارة هنا أنَّه يُمكنُ نقل الحرارة من جسمٍ باردٍ إلى آخرَ ساخنٍ، ولكن ذلك لا يحدثُ بشكلٍ تلقائيّ، ففي البراد مثلاً تُنقَلُ الحرارة من داخل البراد إلى خارجه (ذي درجة حرارة أعلى) ولا يُمكنُ ذلك دونَ تقديم طاقة.

تعلّمت

- **الجملـة الترموديناميكيـة:** جـزء مـن الكـون يخضـع لتحـوّلات، هـذا الجـزء يحـدّه سـطح مغلـق (حقيقـي أو وهمـي) نسـميه سـطح الجملـة، ونسـمي كل مـا يقـع خـارج سـطح الجملـة: الوسـط الخارجـي.
- **أصناف الجمل الترموديناميكية:**
  - الجملة المعزولة: لا تتبادل الطاقة أو المادة مع الوسط الخارجي.
  - الجملة المفتوحة: تتبادل الطاقة والمادة مع الوسط الخارجي.
  - الجملة المغلقة: لا تتبادل المادة مع الوسط الخارجي، لكن تتبادل الطاقة
- **المبـدأ صفـر فـي الترموديناميـك:** جسـمان فـي تـوازن حـراريّ مـع جسـم ثالـث يكونـان متوازنيـن حراريـاً فيمـا بينهمـا.
- **المبـدأ الأول فـي الترموديناميـك:** إذا تبادلـت الجملـة العمـل والحـرارة مـع الوسـط الخارجـي فـإن طاقتهـا الداخليـة تتغيّـر بمقـدار: $\Delta U = Q + W$.
  - Q : كمية الحرارة التي تتلقاها الجملة وتحسب من العلاقة $Q = mc_0 \Delta t$
  - W : العمل الذي تتلقاه الجملة ويحسب من العلاقة $W = -P_{ext} \Delta V$
  - ΔV : تغير حجم الجملة (في حالة الزيادة موجبة، في حالة النقصان سالبة)
- **الطاقة الحركية المتوسطة لجزيء في غاز:** $\varepsilon = \frac{3}{2} k T$

حيث:

- ε : الطاقة الحركية الانسحابية المتوسطة للجزيئات و وحدتها J.
- k : ثابت بولتزمان $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$
- T : درجـة الحـرارة المطلقـة، وهـي ترتبـط بدرجـة الحـرارة المئويـة t بالعلاقـة $T = 273.15 + t$ وتقـدّر بالكالفـن.

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصّحيحة لكلّ ممّا يأتي:

1. إذا سخَّنا مزيجاً من الماء السّائل والجليد فوقَ موقدٍ فإنَّ درجة حرارة المزيج:
   a. ترتفعُ. b. تنخفضُ. c. تبقى على حالها.
2. عندما يأخذُ الماءُ بالغليان فإنَّ درجةَ حرارته:
   a. تبقى ثابتة. b. تزدادُ معَ زيادة الغليان. c. تزدادُ بزيادة التبخُّر.
3. الطاقة الداخليّة لمول من الماء في الطّور السّائل هي:
   a. أكبرُ من الطّاقة الداخليّة لمول من الماء في الطَّور الغازي، وبدرجة الحرارة ذاتها.
   b. أصغرُ من الطاقة الداخليّة لمول من الماء في الطّور الغازيّ، وبدرجة الحرارة ذاتها.
   c. تَساوي الطّاقة الداخليّة لمول من الماء في الطّور الغازي وبدرجة الحرارة ذاتها.
4. عندَ تجمُّد الماء بدرجةِ الحرارة $0°C$ فإنَّ طاقتَه الداخليّة:
   a. تزداد. b. تنقص. c. تبقى على حالها.
5. عندَ إدخال قطعةٍ من الحديدِ السّاخن إلى حجرةٍ مُغلَقة معزولةً حراريّاً تحتوي الماء البارد، فإنَّ الطّاقة الكليّة لجملة الحديد والماء:
   a. تزداد. b. تنقص. c. تبقى على حالها.
6. الطاقة الداخليَّة لجملةٍ معزولةٍ تحصلُ فيها تفاعُلاتٌ كيماويّة:
   a. ثابِتة. b. مُتزايِدة دوماً. c. مُتناقِصة دوماً.
7. في الجسم الصُّلب تكونُ مُساهَمة الطاقة الكامِنة للرّوابط بينَ الذرّات في الطاقة الداخليّة للجسم الصُّلب:
   a. موجِبة. b. سالِبة. c. معدومة.

ثانياً: أعط تفسيراً لكلّ ممّا يأتي:

1. عندَ طَرق ساقٍ من الحديد بمِطرَقة نجدُ أنَّ درجةَ حرارة الجزء المطروق قد ارتفعت.
2. بعدَ تشغيل المِصباح الكهربائيّ يحافظُ السّلك المُتوهِّج على درجة حرارته بالرغم من تلقّيه المُستمِرّ للطاقة الكهربائيّة.
3. عندَ احتراقِ الوقود في محرّك السيّارة فإنّ 20% تقريباً من الطاقة الحرارية تتحوّل إلى طاقةٍ حراريّة، ومع ذلك لا ترتفعُ درجةُ حرارة المُحرِّك إلى قيمٍ خطرة.

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

نسخّن الماءَ فوقَ موقدٍ، فترتفعُ درجةُ حرارته من الدّرجة $t_1 = 20°C$ إلى الدّرجة $t_2 = 50°C$، أوجد تغيُّرَ الطاقة الداخليّة للماء.

المسألة الثانية:

لدينا $20\,g$ من غاز الأرغون في أسطوانةٍ مُغلَقة، نفترضُ أنَّ الضَّغطَ صغيرٌ ضمنَ الأسطوانة (الغاز مُمدَّد) بشكلٍ يسمحُ بإهمال قوى التأثير المُتبادَل بينَ جزيئات الغاز. نقومُ بتسخين هذا الغاز، فيكتسبُ طاقةً حراريّة تساوي $Q = 20\,J$ **المطلوب** حساب:

a. مقدارُ تغيُّر الطاقة الداخليّة للغاز؟

b. مقدارَ تغيُّر الطاقة الحركيّة المُتوسّطة لكلِّ جُزيء في الغاز.

المسألة الثالثة:

لدينا غازٌ ضمنَ أسطوانةٍ مُغلَقة معزولة حراريّاً، ومُغلَقة بمكبسٍ معزول حراريّاً نُطبق قوّة ثابتة على المكبس F ممَّا يؤدِّي إلى ضغط الغاز وانتقالِ المكبس بمقدار d، أوجِد تغيّرَ الطاقة الداخليّة للغاز.

المسألة الرّابعة:

لدينا غازٌ ضمنَ أسطوانةٍ معزولةٍ حراريّاً، مُغلَقة بمكبسٍ مُهمَلِ الكتلة، مساحةُ سطحه $40\,cm^2$. نأخذُ $g = 10\,m.s^{-2}$، والضّغط الخارجي $P_0 = 10^5 Pa$. نضعُ فوقَ المكبس كتلةً مقدارُها $m = 8\,kg$ فينضغطُ المكبس بمقدار $20\,cm$.

المطلوب:

1. احسب تغيُّرَ الطاقة الداخليَة للغاز.
2. نفترضُ أنَّ الغازَ الموجود داخل الأسطوانة هو غازُ الهليوم ويبلغُ عددُ مولات الغاز $3\,mol$. احسب مقدارَ ارتفاع درجة حرارة الغاز. (ثابت الغازات العام يساوي $R = 8.314 \times 10^{-23} J.mol.k^{-1}$).

4-2 الحرارةُ الكتليّة

الأهداف:

* التعرّف إلى مفهوم الحرارة الكتلية وأهميته بتوصيف المادة.
* التعرّف على حرارة الانصهار وثبات درجة حرارة الجسم النقي عند انصهاره أو تجمده.
* التعرّف على مفهوم الناقليّة الحراريّة وأهميته.

الكلمات المفتاحية:

* الحرارة الكتليّة Mass Heat
* السّعة الحراريّة Heat Capacity
* المُكافِئ المائيّ للمسعّر Water Equivalent Calorimeter

يستخدمُ الإنسانُ حواسَّه للتمييز بينَ الأجسام الباردة والأجسام السّاخنة، ولكنَّ هذا غيرُ كافٍ لإعطائِنا وصفاً دقيقاً عن حالة الجسم الحراريّة.

ففي يومٍ صيفيّ مُشمِسٍ على الرَّغم من :

– تعرُّض الرَّمل عندَ شاطئ البحرِ وكذلك ماء البحر للطّاقة الحراريّة ذاتِها من المنبعِ الحراريّ ذاتِه (الشّمس)، وخلالَ الفترة الزمنيّة ذاتِها، نلاحظُ أنّ الرملَ يصبحُ أكثرَ سخونةً من ماءِ البحر

– تعرُّض زجاجِ النّوافذ وإطار الألمنيوم الخارجيّ للطّاقة الحراريّة ذاتِها من المنبعِ الحراريّ ذاته (الشّمس)، وخلالَ الفترةِ الزمنيّة ذاتِها نلاحظُ أنّ زجاجَ النوافذ أقلّ سخونةً من إطارِ الألمنيوم

فهل تساءلتَ: ما السَّببُ في ذلك؟

أجرِّبُ وأستنتجُ:

لإجراءِ التّجربة أحتاجُ إلى:

1. أنابيب اختبارٍ مُتماثِلة.
2. حمّام مائيّ ساخن.
3. ميزان حرارة.
4. ماء مُقطّر.
5. زيت.

خطواتُ التَّجربة:

- أضعُ في أنبوبٍ ماءً مُقطَّراً وفي أنبوبٍ آخرَ زيتاً، بحيث تكونُ الكتلتان في الأنبوبَين مُتساويتَين.
- أقيسُ درجةَ الحرارةِ في كلِّ أنبوب.
- أضعُ الأنبوبيَن في حمامٍ مائيّ ساخن فترةً لا تزيدُ عن خمسِ دقائقَ.
- أقيسُ درجةَ الحرارة في كلِّ أنبوبٍ. ماذا ألاحظُ؟

كيفَ يمكنُني أن أجعلَ درجةَ الحرارةِ مُتساويةً في الأنبوبَين؟

ألاحظُ أنَّ كمّيةَ الحرارة التي يمتصُّها الجسمُ لترتفعَ درجةُ حرارته تختلفُ باختلافِ نوعِ المادّة.

أستنتجُ: الحرارةُ الكتليّة لمادّة هي كمّية الحرارة التي يجب إعطاؤها لوحدة الكتل من هذه المادّة لكي ترتفعَ درجة حرارتها درجةً مئويّةً واحدة.

يُرمَزُ للحرارة الكتليّة بالرّمز C_o، ووحدة قياسها في الجملة الدولية هي $J.kg^{-1}.°C^{-1}$، وتُستنتَجُ العلاقةُ المُعبّرة عنها كما يلي: كمّية الحرارة التي تكسبُها المادّة:

$$Q = m.C_o.\Delta t$$

$$C_o = \frac{Q}{m.\Delta t}$$

C_o: الحرارةُ الكتليّة للمادّة.

Q: كمّية الحرارة التي تكسبُها المادّة أو تفقدُها، وحدة قياسها J.

m: كتلةُ المادّة، وحدة قياسها kg.

Δt: مقدارُ التغيُّرات في درجة الحرارة، وحدة قياسها $°C^{-1}$.

يبيّنُ الجدولُ التالي القيمَ الوسطية للحرارة الكتلية لبعض الموادّ عند درجة حرارة 20°C:

المادّة	الماء	الإيثانول	زيت البرافين	الهدروجين	الهواء	الأوكسجين	النّحاس	الرّصاص	الألمنيوم
الحرارة الكتلية $J\,kg^{-1}.°C^{-1}$	4180	2500	2130	14300	993	913	383	126	900

نلاحظُ من الجدول السّابق:

- إنَّ لكلِّ مادّةٍ حرارةً كتليةً مُختلِفةً عن الأخرى، يعودُ السّببُ إلى:
الطاقة التي تمتصُّها المادّة تؤثِّرُ بطرائقٍ مُختلِفةٍ على جزيئات المادّة.

a. إنَّ جزءَ الطاقة الذي يسبّبُ زيادةَ حركة الذرّات هو الذي يسبِّبُ ارتفاعاً في درجة حرارة المادّة.

b. إنَّ جزءَ الطاقة الذي يزيدُ من الحركة الدورانيّة والاهتزازيّة للذرّات المكوّنة للجزيء وَ الذي يسبّبُ استطالةَ الرّوابط (إضعاف الرّوابط) بين الجزيئات يختزنُ على شكل طاقةٍ كامِنة.

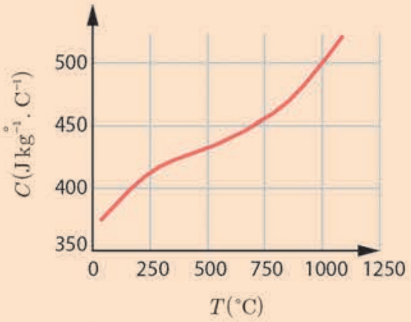
- إنَّ الحرارةَ الكتلية للماء هي الأكبر بين السّوائل؛ لأنَّ للماء قدرةً عاليةً على اختزان الحرارة، فكمّيةٌ صغيرة منه تستطيعُ أن تختزنَ كمّيةً كبيرةً من الحرارة، ولهذا السّبب يصلحُ الماءُ كسائلٍ للتبريد يُستعمَلُ في مُحرِّكات السّيارات والمُحرِّكات الأخرى.

إضاءة

كانَ أجدادُنا يستخدمونَ زجاجاتِ الماء لِتدفئة أقدامِهم في ليالي الشّتاء البارد، لأنَّ الماءَ يسخنُ ببطءٍ، و يبردُ ببطء.

إثراء:

الحرارة الكتليّة ليست مقداراً ثابتاً للمادّة الواحدة، بل يمكنُ أن تتغيّرَ بتغير درجة الحرارة. لكن هذا التغيُّر قد يكونُ كبيراً بدلالة درجة الحرارة، بحيث إنّه لا يمكنُنا اعتبارُها كقيمةٍ ثابتةٍ، وقد يكونُ طفيفاً بحيث يمكنُ اعتبارُها ثابتةً في مجال مُحدَّد من الحرارة. يبيّنُ الشّكل الآتي تغيُّر الحرارة الكتلية للنحاس بدلالة درجة الحرارة، لاحظ أنَّ التغيُّر يمكنُ أن يكونَ كبيراً في حالِ كانَ فرقُ درجاتِ الحرارة كبيراً.



الشكل (1): تغيُّرات الحرارة الكتليّة للنّحاس بدلالة درجة الحرارة

تطبيق (1)

نسخّنُ كرةً من الحديد، كتلتُها $60\,g$، حرارتُها الكتلية $105\,J.kg^{-1}.°C^{-1}$ من الدرجة $20°C$ إلى الدرجة $90°C$،

والمطلوب:

1. احسب كمّية الحرارة التي اكتسبَتها كرةُ الحديد.

2. نلقي قطعةَ الحديد، وهي في الدرجة $90°C$، في مِسعَر يحوي $0.5\,kg$ من الماء درجة حرارته $20°C$. احسب درجة حرارة التوازن باعتبارِ أنَّ الحرارة الكتليّة للماء $4200\,J.kg^{-1}.°C^{-1}$ وبإهمال كمية الحرارة التي يمتصُّها المِسعَر.

الحلّ:

$C_{Fe} = 105\,J.kg^{-1}.°C^{-1}$
$m_1 = 60\,g = 60 \times 10^{-3}\,kg$
$t_1 = 20°C, \quad t_2 = 90°C$
$\Delta t = t_2 - t_1 = 70°C$

1. $Q = m_1 C_o \triangle t = 60 \times 10^{-3} \times 105 \times 70 = 441\,\text{J}$

2.

الماء	$t_2 = 20°\text{C}$	$C_{H_2O} = 4200\,\text{J.kg}^{-1}.°\text{C}^{-1}$	$m_2 = 0.5\,\text{kg}$
كرة الحديد	$t_1 = 90°\text{C}$	$C_{Fe} = 105\,\text{J.kg}^{-1}.°\text{C}^{-1}$	$m_1 = 60 \times 10^{-3}\text{kg}$

حسب مبدأ التوازُن الحراري:

كمّيةُ الحرارة التي يكتسبُها الماء تساوي كمّية الحرارة التي تخسرُها كرةُ الحديد:

$$m_1 C_{Fe}(t_1 - t) = m_2 C_{H_2O}(t - t_2)$$
$$60 \times 10^{-3} \times 105\,(90 - t) = 0.5 \times 4200\,(t - 20)$$
$$63\,(90 - t) = 5 \times 4200\,(t - 20)$$
$$5670 - 63\,t = 21000\,(t - 20)$$
$$5720 + 420000 = 21063\,t$$
$$t = 20.22°\text{C}$$

أتفكَّر

الماءُ شفّاف، وله حرارة كتلية كبيرة، لذلك يمتصُّ كمية من الحرارة أكبر من التي تمتصُّها اليابسة لترتفع إلى الدرجة نفسها، هل يمكنُك تفسيرُ علاقة الشفافيّة بالحرارة الكتلية الكبيرة للماء.

1-4 السّعة الحرارة لجسم:

عندما نسخّنُ جسماً على موقدٍ، فإنَّ الجسمَ يتلقى كمّية من الحرارة من الموقد، ممّا يسبّبُ زيادةَ طاقتِه الدّاخليّة، فترتفعُ درجةُ حرارة الجسم إذا لم يرافق التّسخينَ تغيُّرٌ في الحالة الفيزيائيّة للجسم (مثل انصهاره أو تبخُّره).

نعتبرُ أنَّ درجةَ حرارةِ الجسم قد ارتفعَت من الدرجة t_1 إلى الدّرجة t_2، وأنَّ الجسمَ يتلقّى في أثناءِ ذلك كمّية من الحرارة Q.

نعرفُ السّعة الحراريّة لجسم C تحتَ ضغطٍ ثابت من خلال العلاقة:

$$Q = C(t_2 - t_1) = C \triangle t$$
$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

وبالتالي:

السّعة الحراريّة: هي كمّيةُ الحرارة اللّازمة لرفع درجة حرارة الجسم درجةً مئويّةً واحدة.

نلاحِظُ من خلال العلاقة السّابقة أنَّ السّعةَ الحراريّة تقدَّرُ في الجملة الدّوليّة بوحدةِ القياس $\text{J.}°\text{C}^{-1}$.

تطبيق (2)

تبلغُ السّعة الحراريّة لجسمٍ صلبٍ $C = 2000\,\text{J.}°\text{C}^{-1}$، احسب كمّية الحرارة اللّازمة لرفعِ درجةِ حرارة هذا الجسم من الدّرجة $20°\text{C}$ الى الدّرجة $200°\text{C}$.

الحلّ:

$C = 2000\,J.°C^{-1}$

$t_1 = 20°C$

$t_2 = 200°C$

$\Delta t = t_2 - t_1 = 200 - 20 = 180°C$

$Q = C(t_2 - t_1) = C.\Delta t$

$Q = 2000 \times 180 = 36 \times 10^4\,J$

1-1-4 العلاقة بينَ الحرارة الكتليّة والسّعة الحراريّة:

إنَّ كميّة الحرارة التي يفقدُها جسمٌ ما أو يكتسبها تُعطَى بالعلاقة:

$Q = mC_o \Delta t$

$Q = C \Delta t$

بمُساواة العلاقتين نجدُ أنَّ:

$Q = mC_o$

أي

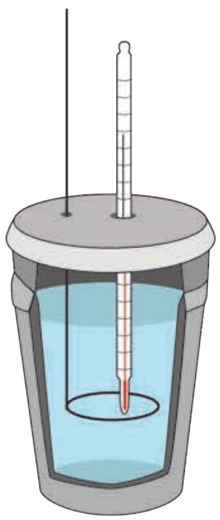
$C_o = \dfrac{C}{m}$

السّعة الحراريَّة لجسمٍ تساوي الحرارة الكتليَّة مقسومةً على كتلة الجسم.

أتفكَّر

إذا استخدمْتَ مِلعقةً بلاستيكيَّةً لشربِ الشَّاي الحارّ، فلن تحرقَ لسانَك على الرَّغم من إنَّك قد تحرقُ لسانَك لو وضعْتَ الشّاي في فمِك مُباشرةً، لماذا؟

2-1-4 المكافئ المائي لمسعر:



المِسعَر: وعاء مغلق معزول حرارياً يحتوي إناءً داخلياً معزولاً مَصنوعٌ من الألمنيوم، كتلتُه $0.5\,kg$، يحيطُ به غلافٌ بلاستيكيّ ممّا يسمحُ بإهمالِ الحرارة المُتبادَلة بينَ الإناء الداخليّ والغلاف الخارجيّ. يستخدم لخزن السوائل مع الحفاظ على درجة حرارتها لفترة من الزمن وكذلك يستخدم في اجراء القياسات الحرارية.

باعتبار أنَّ $C_{Al} = 9000\,J.kg^{-1}.°C^{-1}$

والحرارةُ الكتليّة للماء $C_{H_2O} = 4186\,J.kg^{-1}.°C^{-1}$

كيفَ نحسبُ المكافئ المائيّ للمِسعَر μ ؟

السّعة الحرارية للمِسعَر تمثِّلُ كميّة الحرارة اللّازمة لرفعِ درجة حرارة المِسعَر درجةً مئويّةً واحدةً.

$C = mC_{Al} = 0.5 \times 900 = 540\,J.°C^{-1}$

يُعرَّف المكافئ المائي للمِسعَر μ : كتلة الماء التي ترتفع درجة حرارتها بالمقدار نفسه الذي ترتفعُ فيه درجة حرارة المِسعَر فيما لو أعطى كمّية الحرارة نفسها.
وبالتالي:

$$\mu C_o = C$$

$$4186\,\mu = 450 \longrightarrow \mu = \frac{450}{4186} = 0.108\,\mathrm{kg}$$

2-4 استنتاجُ المُكافِئ المائي لمِسعَر:

أجرِّبُ وأستنتجُ:

لإجراءِ التّجربة أحتاجُ إلى:

1. مِسعَر. **2.** ماء. **3.** ميزان حرارة. **4.** موقد.

خطواتُ التجربة:

- أقيسُ درجةَ حرارة المِسعَر ولتكن t_0.
- أضعُ في المِسعَر كمّية من الماء السّاخن، كتلتُها m مَعلومة، ودرجةُ حرارتها t_1، وأنتظرُ عدَّةَ دقائق ليتحقّقَ التوازُن الحراري.
- أقيسُ درجةَ الحرارة داخلَ المِسعَر ولتكن t_2

أحسبُ كميةَ الحرارة التي خسرَها الماءُ السّاخن من العلاقة:

$$Q_2 = mC_0(t_1 - t_2)$$

– ما هي كمّية الحرارة التي يكتسبُها المِسعَر؟

أستنتجُ: أنَّ الجملة مُغلَقة ومَعزولة وحسب مبدأ مصونيّة الطاقة؛ فكمّيةُ الحرارة التي يفقدُها الماءُ السّاخِن تساوي كمّية الحرارة التي يكتسبُها المِسعَر.

$$Q_1 = Q_2$$

$$\mu C_o(t_2 - t_0) = mC_o(t_1 - t_2)$$

$$\mu = \frac{mC_o(t_1 - t_2)}{C_o(t_2 - t_0)}$$

$$\mu = \frac{m(t_1 - t_2)}{t_2 - t_0}$$

m: كتلة الماء.
t_2: درجة حرارة الماء السّاخن.
t_0: درجة حرارة المِسعَر.
t: درجة حرارة التوازُن.

أختبر نفسي

أولا: اختر الإجابة الصَّحيحة لكلٍّ ممَّا يأتي:

1. نسخِّنُ 1 kg من الماء من الدرجة 20°C إلى الدّرجة 40°C حيث $C_{H_2O} = 4200\ J.kg^{-1}.°C^{-1}$ **إنَّ كمّية الطاقة الحرارية التي يكتسبُها الماءُ قدرُها:**

a. 0.21 KJ   b. 1584 J   c. 84 KJ   d. 84000 KJ

2. نضعُ مكعبَ جليدٍ في إناء يحوي ماءً سائلاً، **إنَّ درجةَ حرارة المزيج بجوار سطح المكعَّب:**

a. 25°C   b. 100°C   c. 0°C   d. 273°C

3. إنَّ الحرارةَ الكتليّة لمادّة تتعلَّقُ:

a. بالكتلة فقط.   b. بتغير درجة الحرارة فقط.   c. بكمية الحرارة التي تكتسبها المادة أو تفقدها.   d. بجميع ما سبق.

ثانيا: أعطِ تفسيراً علميَّاً لكلٍّ ممّا يأتي:

a. يُستخدَم الماءُ كسائلٍ لتبريدِ المُحرّكات.

b. لا يُستخدَم سوائلُ أخرى في عمليّات تبريد المُحرّكات.

c. يبرَّدُ الماءُ السّاخن في إبريقٍ معدنيّ بسرعةٍ أكبرَ من الماءِ الموضوع في إبريقٍ في البورسلان

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

مِلعقة من الحديد، كتلتُها 75 g ، سُخِّنَت للدّرجة 100°C ثم تُركَت لتبرُد لدرجة حرارة الغرفة 20°C. فإذا علمْت أنَّ الحرارةَ الكتلية للحديد هي $C_{Fe} = 444\ J/kg°C$:

a. احسب كمّية الحرارة التي تخسرُها المِلعقَة عندَما تبرد.

b. نفترضُ أنَّ العمليّة كُرِّرَت مرَّتين في اليوم ولمدَّة ثلاثين يوماً. احسب كمّية الحرارة التي تفقدُها مِلعقة الحديد.

المسألة الثانية:

ليكن لدينا كمّية من الماء، كتلتُها 200 g بدرجة حرارة 90°C. رمينا فيها قطعةً نحاسيّةً كتلتها 40 g ودرجة حرارتها 20°C. ننتظرُ حتّى تتوازَن كلٌّ من درجةِ حرارة الماء وقطعة النّحاس. احسب درجة حرارة التوازُن، علماً أنَّ الحرارة الكتليّة للنّحاس هي $C = 383\ J/kg°C$.

المسألة الثالثة:

نسخّنُ وعاءً من الألمنيوم الصّلب، كتلتُه 0.5 kg ، يحتوي 0.5 kg من الماء على موقد، فترتفعُ درجةُ حرارة الجملة من الدّرجة 20°C إلى الدّرجة 80°C.

1. احسُب مقدارَ كمّية الحرارة التي اكتسبَها الألمنيوم ($C_{Al} = 900\ J.kg^{-1}.°C^{-1}$).
2. احسُب مقدارَ كمّية الحرارة التي اكتسبها الماءُ ($C_{H_2O} = 4180\ J.kg^{-1}.°C^{-1}$).
3. أيُّهما اكتسبَ كميّةَ حرارةٍ أكبر، ما سببُ ذلك برأيك؟
4. احسب كتلة الماء التي تمتصُّ كميّة حرارةٍ مُساويةٍ لكمّية الحرارةِ التي امتصَّها الألمنيوم.

الوحدة الثالثة الكهرباء

1-3 الكهرباءُ السّاكِنة

يتنـاولُ موضـوعُ الكهربـاء السّـاكنة دراسـة الشّـحنات الكهربائيّـة والتأثيـر المُتبادَل فيما بينَها وهـي في حالـة التـوازُن، بينَمـا يتنـاولُ موضـوعُ الكهربـاء المُتحرِّكـة حركـة الشّـحنات فـي الـدّارات الكهربائيّـة.

البـرقُ والصّواعـقُ مـن الظواهـر التـي تحـدثُ فـي الطبيعـة، ويرجـعُ ذلـك إلـى الشّـحنات الكهربائيّة المُتشـكّلة علـى سـطح الغيـوم.

ألاحظُ وأفكّر

- عندَمـا أسـرّحُ شـعري الجـاف بمشـطٍ مصنـوع مـن البلاسـتيك ألاحـظُ انجـذابَ الشّـعر نحـوَ المِشـط.
- عندَما أخلعُ ملابسي الصّوفية في الظّلام ألاحظُ أحياناً شرارة كهربائيّة.
- كيفَ يكتسبُ الجسم المُعتدِل شُحنة كهربائيّة؟
- هل الأجسام في الظواهر السابقة مشحونة أو مُعتدِلة؟
  - إنّ انتقـالَ الشّـحنات الكهربائيّـة مـن جسـمٍ إلـى آخـرَ يفسِّـرُ لنـا هـذه الظواهـر.
  - الجسمُ الذي يفقدُ الإلكترونات يصبحُ موجِبَ الشّحنة.
  - الجسمُ الذي يكتسبُ الإلكترونات يصبحُ سالبَ الشّحنة.
  - شـحنة الإلكتـرون e، هـي أصغـرُ مقـدارٍ للشـحنة تـمَّ تحديـده (حتـى الآن)، وتُسـمّى الشّـحنة الأساسـيّة.

الأهداف:

* يتعرَّف إلى الشّحنة الكهربائيّة الأساسيّة.
* يميّز بينَ الكهرباء الساكِنة والمُتحرّكة.
* يسمّي التأثيرَ المُتبادَل بينَ شحنتَين نقطيّتَين.

الكلمات المفتاحية:

* التّفريغ الكهربائيّ
* القوّة الكهربائيّة
* قانون كولوم
* الكهرباء Electricity
* الكهرباء الساكِنة Static Electricity
* الشّحنة الكهربائية Electric Charge
* شُحنة موجِبة Positive Charge
* شُحنة سالبة Negative Charge
* قانون كولوم Coulomb's Law
* كاشِف كهربائيّ Electroscope
* إلكترون Electron
* مصونية الشُّحنة الكهربائية Law of conservation of Electric Charge

إثراء:

- اكتشِفت الكهرباءُ الساكنة منذ 600 سنة قبل الميلاد، عندَما لاحظ عالمٌ يونانيّ انجذاب قصاصاتٍ من الورق إلى ساقٍ دُلِكت بالصّوف. بل يُرجع بعظهم اكتشافها وملاحظتَها إلى آلاف السنين، حيثُ يوجَد بعضُ الكتابات على جدران بعض المعابد التي شيَّدها المصريّون القدماء.
- **التكهرُب:** هو شحنُ الجسم بشحنةٍ كهربائيّة عن طريقِ فقده أو اكتسابه للإلكترونات.

1-1 التفريغُ الكهربائي (Electric Discharge):

أتساءل:

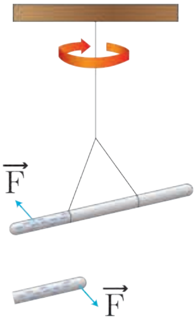
هل شعرتَ يوماً بوخزة في يدكِ عندَ مُصافَحة صديقك، بعدَ أن تنهضَ عن كرسيّ من البلاستيك كنتَ تجلسُ عليه؟

- تفسيرُ ذلك أنَّه عندَ جلوسك على الكرسيّ يكتسبُ جسمك شحنة كهربائيّة خفيفة، وعند المُصافَحة تنتقلُ الإلكترونات من يدِ صديقك إلى يدِك أو بالعكس، ممَّا يعيدُك إلى الحالة المُعتدِلة ثانية، وهذا ما نسمّيه التفريغ الكهربائيّ.
- إنّ كلًّا من الشّرارة الكهربائية الصّغيرة التي تشعرُ بها، وكذلك البرق، هما مثالانِ عن تفريغ الكهرباء الساكنة. وتختلفُ حالة الشّحن والتفريغ في المثالَين السابقَين كثيراً من حيث المقدار، إلا أنَّهما مُتماثلتان في طبيعتهما.

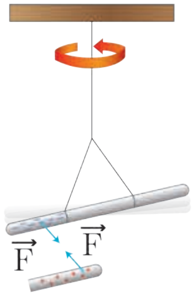
2-1 القوّة الكهربائيّة المُتبادَلة بينَ شُحنتَين نقطيّتين في الخلاء (قانون كولوم):

نعلمُ أنَّ الشّحنات الكهربائيّة المُتماثِلة تتدافعُ فيما بينَها، والشّحنات الكهربائيّة المُتعاكسة تتجاذَب فيما بينها بقوى كهربائيّة.

فما العواملُ التي تؤثّر على القوّة الكهربائيّة؟



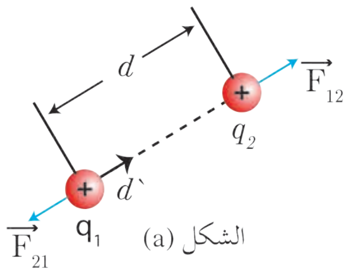
الشكل (a)



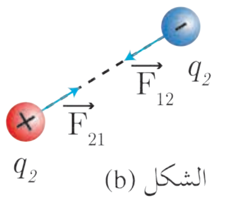
الشكل (b)

أثبتَ كولوم من خلال تجاربه الآتي:

- إنَّ الشُّحنتَين النقطيّتَين السّاكنتَين $(q_2 . q_1)$، اللتَين تبعدان عن بعضهما مسافة d تتبادَلان التأثير فيما بينَهما بقوّتَين مُتعاكِستَين بالجهةِ دوماً، ومتساويتان بالشدّة حيثُ: $F = F_{12} = F_{21}$
  $\overrightarrow{F_{12}}$: القوّة التي تؤثِّر بها الشُّحنة q_1 على الشُّحنة q_2.
  $\overrightarrow{F_{21}}$: القوّة التي تؤثِّر بها الشُّحنة q_2 على الشُّحنة q_1.



الشكل (a)



الشكل (b)

- إنَّ شدّة القوّة تتناسبُ طرداً مع جداء الشُّحنتَين q_2 و q_1.
فإذا استبدلنا q_1 مثلاً بشحنة أخرى q'_1 حيث $q'_1 = 2q_1$ مع بقاء (d, q_2) ثابتتَين، نجدُ أنَّ شدّة القوّة تصبحُ مثلي ما كانت عليه في الحالة الأولى أي: $F' = 2F$

- إنَّ شدّة القوّة تتناسبُ عكساً مع مُربَّع البُعد الفاصِل بينهما d.
فإذا جعلنا البُعد بين الشُّحنتَين مثلي ما كانَ عليه $d' = 2d$، مع ثباتِ قيمة الشُّحنتين، نجدُ أنَّ شدّة القوّة تصبح ربعَ ما كانَت عليه؛ أي: $F' = \frac{1}{4}F$.

1-2-1 قانون كولوم:


شارل أوغستان دي كولوم
$1736 - 1806$
فيزيائي فرنسي اكتشف القانون الذي يحمل اسمه (قانون كولوم)

تؤثِّر شحنتان نقطيّتان ساكنتان q_2، q_1 ببعضهما في الخلاء بقوتين $\overrightarrow{F_{12}}$، $\overrightarrow{F_{21}}$ مُتعاكِستَين بالجهة دوماً، محمولتَين على المُستقيم المارّ منهما، شدّتهما المُشترَكة $F = F_{12} = F_{21}$ تتناسبُ طرداً مع جداء قيمتَي الشّحنتَين، وعكساً مع مُربَّع البُعد الفاصل بينَهما d. وتُعطَى هذه الشدّة بالعلاقة: $F = k\frac{q_1 . q_2}{d^2}$ حيث F: شدة القوة وحدتها نيوتن N

q_2, q_1: القيمة الجبريّة للشُّحنة وحدتُها الكولوم C.

d: البُعد الفاصل بينَ الشّحنتَين وحدته المتر m.

k: ثابت التناسُب (ثابت كولوم) تتعلّق قيمتُه بالوحدات المُستخدَمة وبالوسط العازِل الفاصل بينَ الشحنتين قيمتُه $k = 9 \times 10^9 \mathrm{N.m^2.C^{-2}}$ في الجملة الدّولية وفي الخلاء.

فإذا كانَت $(q_2 . q_1)$ مُتماثِلتَين بالشُّحنة، فإنَّ F تنافُريّة.
وإذا كانَت $(q_2 . q_1)$ مُختلفتَين بالشُّحنة، فإنَّ F تجاذبيّة.

تطبيق (1)

شُحنتان نقطيتان $q_1 = 5\mu C$، $q_2 = 20\mu C$ تبعدان عن بعضهما في الخلاء $d = 0.5\ \mathrm{m}$. **المطلوب**:

1. احسب شدَّة القوّة الكهربائيّة المُتبادَلة بينَهما.

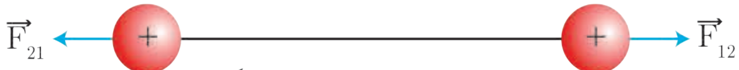
2. مثِّل القوّتَين المُتبادِلتَين بالرّسم.

الحلّ:

1.
$$F = k\frac{q_1 . q_2}{d^2}$$
$$F = 9 \times 10^9 \frac{5 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{-6}}{(0.5)^2} = 3.6\ \mathrm{N}$$

F تنافريّه لأنَّ الشُّحنتَين مُتماثلتَين.

.2



بما أن القوة مقدار شعاعي، فإن عناصر شعاع القوة الكهربائية (قوة كولوم) هي:

- نقطة التأثير: الشُّحنة المُتأثِّرة.
- الحامل: المُستقيم المارّ من الشُّحنتَين.
- الجهة: تتوقَّف على نوع الشُّحنتَين، حيثُ تكون تجاذبية إذا كانَت الشُّحنتان مُختلفَتين نوعاً، وتنافرية إذا كانت الشّحنتان مُتماثلتَين نوعاً.
- الشدّة: تُعطى بالعلاقة: $F = k\dfrac{q_1 . q_2}{d^2}$

تعميم: في حال وجود عدّة شحناتٍ نقطيّة تؤثّر في شحنة نقطيّة واحدة، فإنَّ القوّة الكلّية المؤثّرة عليها تُجمَع جمعاً شُعاعياً.

تطبيق (2)

ثلاث شحنات كهربائيّة نقطيّة ساكنة $q_1 = +2\mu C$، $q_2 = -6\mu C$، $q_3 = +8\mu C$ تقع على استقامةٍ واحدة، بحيثُ تقع q_2 بين q_1 و q_3. فإذا علمتَ أنَّ q_1 تبعد عن q_2 مسافة $3\,cm$، وأنَّ q_3 تبعد عن q_2 مسافة $6\,cm$

المطلوب. حساب:

1. شدّة القوّة المُتبادَلة بينَ q_1 و q_2 وما نوعُها؟
2. شدّة القوّة المُتبادَلة بينَ q_3 و q_2 وما نوعُها؟
3. شدَّة مُحصِّلة القوى المُؤثّرة في q_2.

الحلّ:

.1

$$F_{12} = 9\times10^9\,\frac{q_1 . q_2}{d_1^2}$$

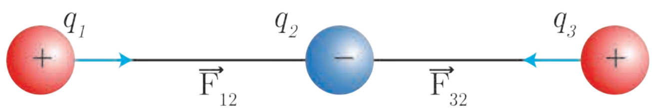
$$F_{12} = 9\times10^9\,\frac{2\times10^{-6}\times6\times10^{-6}}{(3\times10^{-2})^2} = 120\,N$$ فالقوة تجاذبيّة

.2

$$F_{32} = 9\times10^9\,\frac{q_3 . q_2}{d_2^2}$$

$$F_{32} = 9\times10^9\,\frac{8\times10^{-6}\times6\times10^{-6}}{(6\times10^{-2})^2} = 120\,N$$ فالقوة تجاذبيّة

.3 $F = F_{12} - F_{32} = 120 - 120 = 0\,N$



تطبيق (3)

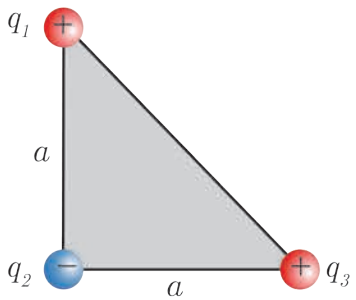
وُضِعت ثلاثُ شحنات نقطيّة على رؤوسِ مُثلَّث قائم مُتساوي السّاقين، كما في الشَّكل $q_1 = q_3 = 5\mu C$، $q_2 = -3\mu C$، $a = 5\times10^{-2}m$. **المطلوب:** احسب شدّة القوّة المُحصِّلة المُؤثِّرة في الشّحنة q_3.

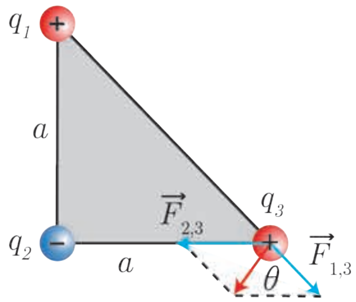
الحلّ:

نرسمُ مُخطّطاً للقوى الكهربائيّة المؤثّرة في الشُّحنة، آخذينَ بعين الاعتبار. ما إذا كانَت هذه القوى تنافُريّة أو تجاذبيَة، ثمَّ نمثِّل المحصّلة $\vec{F}$.

- نستخدمُ قانون كولوم لإيجاد شدّة القوة $\vec{F}_{13}$ (القوة التي تؤثّر بها q_1 في q_3)

$$F_{13} = 9\times10^9\,\frac{q_1 . q_3}{(d_{13})^2}$$





- نحسبُ البُعد d_{13} بحسب فيثاغورث:

$$d_{13} = \sqrt{a^2 + a^2} = a\sqrt{2} = 5 \times 10^{-2}\sqrt{2}\,\text{m}$$

بالتعويض نجدُ:

$$F_{1,3} = 9 \times 10^9 \frac{5 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{(5 \times 10^{-2}\sqrt{2})^2} = 45\,\text{N}$$

وهي قوّة تنافَريّة (الشحنتان من نفس النوع).

- نحسبُ شدّة القوّة $\overrightarrow{F_{2,3}}$ بالطريقة ذاتها:

$F_{2,3} = 9 \times 10^9 \dfrac{3 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{(5 \times 10^{-2})^2} = 54\,\text{N}$ وهي تجاذبيّة (الشّحنتان مُختلفتان بالنّوع).

- إيجاد المُحصّلة: $\overrightarrow{F} = \overrightarrow{F_{1,3}} + \overrightarrow{F_{2,3}}$

- بالتربيع: $F^2 = F_{1,3}^2 + F_{2,3}^2 + 2F_{1,3}F_{2,3}\cos\theta$ حيث: $(\theta = \widehat{\overrightarrow{F_{1,3}}\,,\,\overrightarrow{F_{2,3}}})$ بالتّعويض نجدُ:

$F^2 = (45)^2 + (54)^2 + 2 \times 45 \times 54 \times (-\dfrac{1}{\sqrt{2}}) = 1504.5$ ومنه: $F = 38,78\,\text{N}$

تعلّمْتُ

- أنواع الكهرباء: الكهرباء السّاكنة – الكهرباء المُتحرّكة.
- الكهرباء الساكنة: تَجمّع الشّحنات الكهربائيّة على سطوح الأجسام.
- التكهرب: هو شحن الجسم بشحنةٍ كهربائيّة عن طريق فقدانه أو اكتسابه للإلكترونات.
- التفريغ: هو انتقالُ الشّحنات الكهربائيّة من جسمٍ إلى آخر.
- قانون كولوم: تؤثّر شحنتان نقطيّتان ساكِنتان q_1 ، q_2 ببعضهما في الخلاء بقوّتَين مُتعاكِستَين مَحمولتَين على الخطّ الواصِل بينَهما، شدّتُهما المُشترَكة تتناسبُ طرداً مع كلّ من القيمتَين المُطلقتَين للشّحنتَين، وعكساً مع مُربّع البُعد الفاصل بينَهما وتُحسب بالعلاقة: $F = k\dfrac{q_1 q_2}{d^2}$

أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصّحيحة لكلّ ممّا يأتي:

1. القوى الكهربائيّة المُتبادَلة بين الشّحنات الكهربائيّة النقطية المُتماثِلة، تكونُ قوىً:

a. تجاذبيّة فقط. b. تنافريّة فقط. c. تجاذبيّة وتنافريّة. d. تجاذبية أو تنافريّة.

2. شُحنتان نقطيّتان (q_2, q_1) ساكِنتان، البُعد بينهما d ، نزيدُ البُعد بينَهما ليصبحَ ثلاثة أمثال ما كانَ عليه فيصبحُ:

a. $F' = 3F$ b. $F' = \dfrac{F}{3}$ c. $F' = \dfrac{1}{9}F$ d. $F' = 9F$

3. شحنتان نقطيّتان ساكِنتان (q_2, q_1)، نضاعفُ شحنة كلٍّ منهما، ونزيدُ البُعد بينَ الشّحنتَين إلى الضّعف فيصبحُ:

a. $F' = 4F$ b. $F' = F$ c. $F' = \frac{F}{4}$ d. $F' = \frac{F}{2}$

4. كرتـان معدنيتـان متماثلتـان ومعزولتـان، تحمـل إحداهمـا الشـحنة $q_1 = 10\mu C$، وتحمـل الأخـرى الشـحنة $q_2 = -2\mu C$، فـإذا تلامسـت الكرتـان، وفصلتـا عـن بعضهمـا فـإنَّ كلاً مـن الكرتيـن:

a. تحتفظ بشحنتها كما هي.
b. تحمل شحنة قدرها $6\mu C$.
c. تحمل شحنة قدرها $4\mu C$.
d. تصبح معتدلة.

5. شـحنتان نقطيتـان سـاكنتان، تبعـدان عـن بعضهمـا فـي الخـلاء مسـافة d، وشـدة القـوة الكهربائيـة المتبادلـة بينهمـا F، فـإذا زدنـا كلاً مـن الشـحنتين إلـى ثلاثـة أمثـال مـا كانـت عليـه، تصبـح شـدة القـوة F' تسـاوي:

a. $F' = 3F$ b. $F' = 9F$ c. $F' = 6F$ d. $F' = \frac{1}{9}F$

ثانيا:

مـا أوجُـه الشَّـبه بيـنَ ظواهـر التجـاذب والتنـا فُـر بيـنَ الشّـحنات الكهربائيّـة وظواهـر التجـاذب والتنافُـر بيـنَ الأقطـاب المغناطيسـيّة، ومـا الاختـلافُ بيـن الشّـحنات الكهربائيّـة والمغانـط؟

ثالثاً: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

شحنتان نقطيّتان ساكنتان $q_1 = 6\mu C$، $q_2 = -12\mu C$، البُعد بينَهما $d = 2\,cm$. **المطلوب:**
احسـب شـدّة القـوّة الكهربائيّـة المُتبادَلـة بيـن الشّـحنتَين النقطيّتَيـن، مـع رسـمٍ يوضّـح جهـة القـوّة التي تؤثّـر بهـا q_2 علـى q_1.

المسألة الثانية:

تتألَّـف ذرَّة الهيدروجيـن $_1H$ مـن بروتـون يقـعُ فـي نواتهـا، ومـن إلكتـرون يـدورُ حـولَ النـواة علـى مَسـار نصـف قطـره $0.53 \times 10^{-10} m$، فـإذا علمـتَ أنَّ شـحنة الإلكتـرون: $q_e = -1.6 \times 10^{-19} C$، وشـحنة البروتـون: $q_p = 1.6 \times 10^{-19} C$
فاحسـب شـدَّة القـوة الكهربائيّـة المُتبادَلـة بينهمـا مـع رسـمٍ هندسـيّ يوضّـح هـذه القـوّة.

المسألة الثالثة:

مثلـث مُتسـاوي الأضـلاع، طـولُ ضلعـه $6\,cm$، نضـعُ فـي رؤوسـه الثلاثـة (A, B, C) ثـلاث شـحنات نقطيّـة علـى الترتيـب: $q_3 = 6\mu C$، $q_2 = 4\mu C$، $q_1 = 0.2\mu C$. احسُـب شـدَّة مُحصّلـة القـوى المؤثّـرة فـي q_1.

المسألة الرابعة:

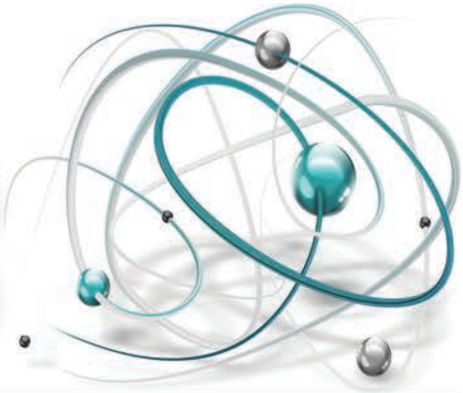
مثلـث ABC قائـم الزّاويـة فـي B، طـول ضلعـه $AB = 40\,cm$، وطـول ضلعـه $BC = 30\,cm$، نضـعُ فـي رؤوس المثلَّـث (A, B, C) ثـلاث شـحنات نقطيّـة علـى الترتيـب: $q_C = 3\mu C$، $q_B = 4\mu C$، $q_A = 4\mu C$. احسـب شـدَّة القـوّة الكهربائيّـة المؤثّـرة فـي الشّـحنة q_B الموضوعـة فـي الـرأس B.

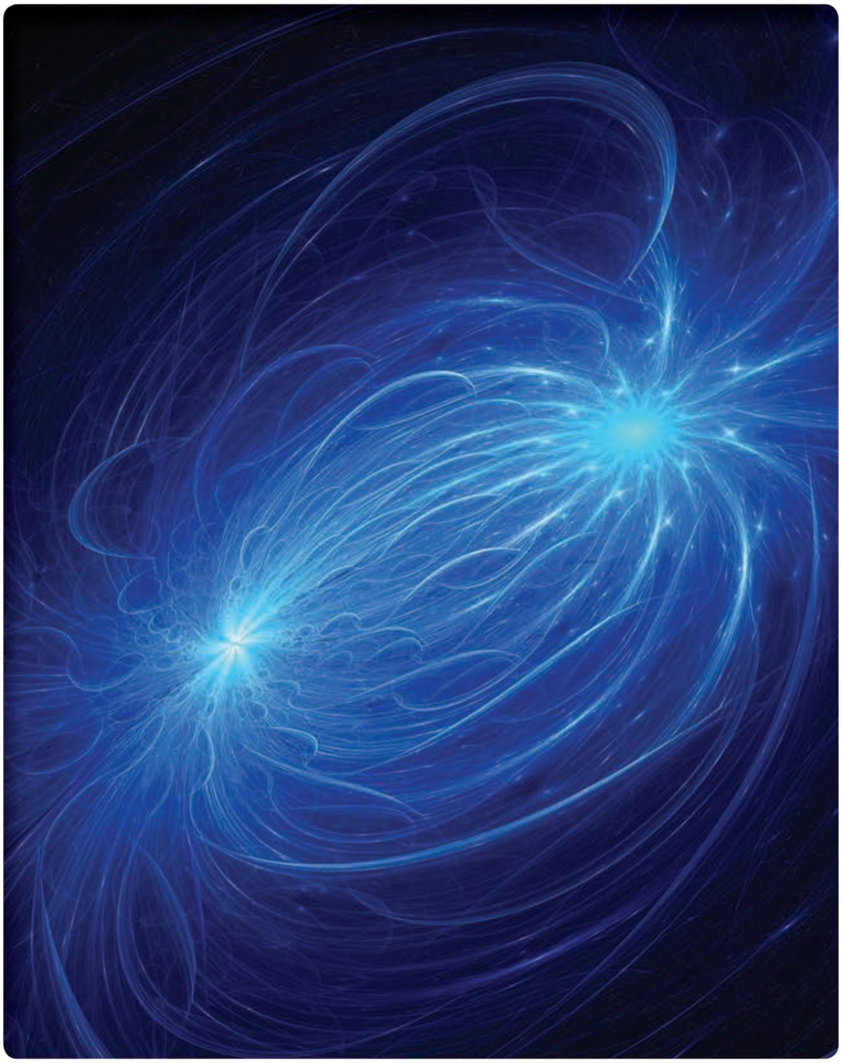
المسألة الخامسة:

ثـلاث شـحنات نقطيّـة سـاكنة $q_1 = -8\mu C$، $q_2 = 3\mu C$، $q_3 = -4\mu C$ متوضّعـة عنـد النقـاط (C, B, A) علـى الترتيـب، وهـي رؤوس مثلـث مُتسـاوي السّـاقين $AB = BC = 18\,cm$، وقائـم الزاويـة فـي B. المطلـوب: احسـب شـدّة القـوّة الكهربائيّـة المؤثّـرة فـي الشـحنة q_2، الموضوعـة فـي B.

2-3

الحقلُ الكهربائيّ السّاكِن





الأهداف:

* يتعرّف تجريبيّاً على الحقل الكهربائيّ الساكن.
* يستنتج العواملَ التي تتوقّف عليها شدّة الحقل الكهربائيّ.
* يرسمُ خطوطَ الحقل الكهربائي المُنتظِم.
* يستنتجُ العلاقةَ بين شدّة الحقل وشدّة القوّة.

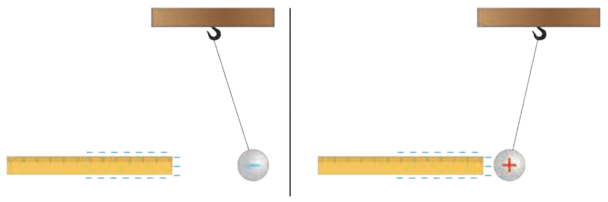
الكلمات المفتاحية:

* الحقل الكهربائيّ.
Electric Field
* خطوط الحقل الكهربائيّ.
Electric Field Lines

1-2 التعرُّف على الحقل الكهربائيّ الساكن

1-1-2 مفهومُ الحقل الكهربائيّ

أجرّب وأستنتج:



لإجراء التّجربة أحتاجُ إلى:

1. نوّاساً كهربائي (كرة من البيلسان).
2. مِسطرة بلاستيكيّة.

- قرّب كرةَ نواس كهربائيّ من طرف مِسطرةٍ بلاستيكيّة. ماذا تستنتجُ في الحالات الآتية:

1. كرة النواس الكهربائيّ غير مشحونة والمِسطرة البلاستيكيّة غير مشحونة أيضاً.
2. كرة النواس الكهربائيّ غير مشحونة والمِسطرة البلاستيكيّة مشحونة.
3. كرة النواس الكهربائيّ مشحونة والمِسطرة البلاستيكيّة مشحونة.

- هل تتغيّر النتيجة إذا غيّرت مكانَ الكرة والمِسطرة وهما مشحونتان، بحيث يبقيان على بُعدٍ مُناسِب من بعضِهما؟

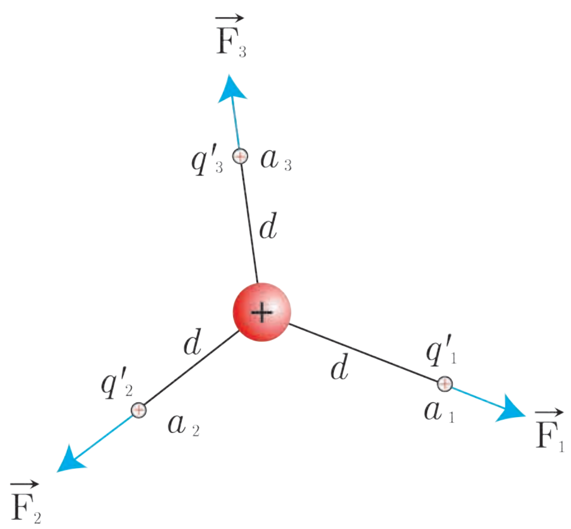
أستنتجُ

- **تتحرّك الكرة (تقترب أو تبتعد)، فينحرفُ خيطُ النواس عن وضع توازُنه الشّاقولي بسببِ تأثُّر كرته بقوّةٍ كهربائيّةٍ نتيجة وجود حقلٍ كهربائي ساكنٍ تولَّد عن الشّحنات الكهربائيّة.**
- **نقولُ عن منطقةٍ من الفراغ أنّه يسودُها حقلٌ كهربائيّ ساكِن إذا تعرّضَت كلُّ شحنةٍ كهربائيّة توضع فيها لقوَّةٍ كهربائيّة تجاذُبيّة أو تنافُريّة.**

2-1-2 شدّة الحقل الكهربائيّ الساكن المُتولِّد عن شحنةٍ نقطيّة ساكِنة

ألاحظُ وأستنتجُ:

- نضعُ شحنةً نقطيّة q في نقطةٍ ما بحيث يتولّدُ عنها حقلٌ كهربائيّ $\vec{E}$.
- نضعُ شحنةً نقطية موجبة q' في النّقاط a_3, a_2, a_1 المُتساوية البُعد عن q من المنطقة التي يسودُها الحقل الكهربائيّ السابق $\vec{E}$ على الترتيب.



أُكمِلُ الجدول الآتي، وأستنتجُ فيما لو كانَت الشحنة q' تخضعُ لشدّة القوّة الكهربائيّة ذاتها:

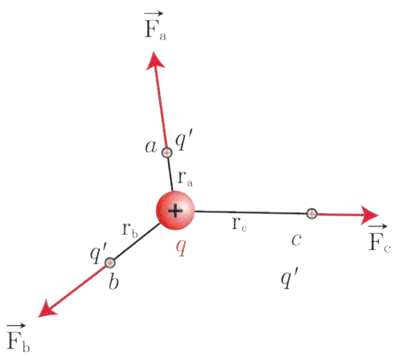
قيمة الشّحنة المولِّدة للحقل	قيمة الشحنة المُتأثّرة q' على بُعد $d = 10\,cm$	شدّة القوة (N)	$\frac{F}{q'}$
$q = 8 \times 10^{-6} C$	$q' = 2 \times 10^{-6} C$	$F_1 =$	
$q = 8 \times 10^{-6} C$	$q' = 4 \times 10^{-6} C$	$F_2 =$	
$q = 8 \times 10^{-6} C$	$q' = 8 \times 10^{-6} C$	$F_3 =$	

أرسمُ الخطّ البياني المُعبِّر عن تغيُّر شدّة القوّة بتغيُّر قيمة الشّحنة المُتأثّرة، ماذا ألاحظ؟

أستنتج

- نسمّي النسبة $\frac{F}{q'}$ **الثابتة بشدّةِ الحقل الكهربائيّ المُتولّد عن الشّحنة** q **، وتُعطى بالعلاقة:** $E = \frac{F}{q'}$
- **تقدَّر شدّة الحقل الكهربائي الساكِن في الجملة الدوليّة بوحدة** $N.C^{-1}$ **أو** $V.m^{-1}$.
- **شدّة الحقل الكهربائيّ الساكن المُتولِّد عن الشحنة** q **مُتساويةٌ في جميع نقاط الوسط العازل المُتجانِس المُحيط بها، والتي تبعد عنها البُعد ذاته.**
- **بما أنَّ القوّة مقدار شعاعيّ فالحقل الكهربائيّ مقدار شُعاعي أيضاً، ويرتبطان بالعلاقة:** $\vec{F} = q'\vec{E}$

ألاحظ وأستنتجُ



- نضعُ شحنات نقطيّة مُتماثِلة الشّحنة في النّقاط a, b, c المُختلِفة البُعد عن q من المنطقة التي يسودُها الحقل الكهربائيّ السابق $\vec{E}$ كما في الشّكل:
- هل تخضعُ الشّحنة q' للقوّة الكهربائيّة نفسها؟
- هل شدّة الحقل الكهربائيّ المُتولِّد عن q ثابِتة القيمة عندَ هذه النقاط؟

أجيبُ حسابيّاً على كلٍّ من الأسئلة السّابقة من خلال قراءة الجدول الآتي:

قيمة الشحنة المولِّدة للحقل q	قيمة الشحنة المُتأثّرة q'	بُعد q' عن q	شدّة القوّة (N)	شدّة الحقل الكهربائيّ الساكن المتولِّد عند النقاط السابقة
$q = 8 \times 10^{-6} C$	$q' = 2 \times 10^{-6} C$	$d_1 = 10\,cm$	$F_1 =$	$E_1 =$
$q = 8 \times 10^{-6} C$	$q' = 2 \times 10^{-6} C$	$d_2 = 20\,cm$	$F_2 =$	$E_2 =$
$q = 8 \times 10^{-6} C$	$q' = 2 \times 10^{-6} C$	$d_3 = 30\,cm$	$F_3 =$	$E_3 =$

أستنتجُ

- **تخضعُ الشّحنة q' لقوىً كهربائيّة $\vec{F_3}, \vec{F_2}, \vec{F_1}$ على الترتيب تختلفُ في الشّدة والاتّجاه، وذلك نتيجة تغيّر شدّة الحقل الكهربائيّ بتغيّر بُعد النقطة عن الشّحنة المُولِّدة للحقل، وتنقصُ شدّة الحقل الكهربائيّ كلّما ابتعدْنا عن هذه الشّحنة.**

2-2 عناصرُ شُعاع الحقل الكهربائيّ الساكن في نقطة

من العلاقة الشُّعاعية $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'}$، ما عناصر شعاع الحقل الكهربائي المتولِّد عن شحنةٍ كهربائيَّة ساكنة في نقطةٍ منه؟

- **المبدأ:** النقطة المُعتبرة (المدروسة)
- **الحامل:** المُستقيم المارّ من النقطة المُعتبرة والشّحنة النقطيّة المولِّدة للحقل.
- **الجهة:**
  - الشّحنة q المولّدة للحقل موجبة: تكونُ الجهة من الشّحنة إلى النقطة.
  - الشّحنة q المولّدة للحقل سالبة: تكونُ الجهة من النقطة إلى الشّحنة.
- **الشدّة:** تُعطى بالعلاقة:

$$E = \frac{F}{q'} \Longleftrightarrow E = k\frac{q}{d^2}$$

حيث:

q الشّحنة المولِّدة للحقل، وتقدَّر بالكولوم C.

q' الشّحنة المُتأثِّرة بالحقل، وتقدَّر بالكولوم C.

d بُعد النقطة المُعتبرة عن q المولِّدة للحقل، وتقدَّر بالمتر m.

k ثابت كولوم $k = 9 \times 10^9 \mathrm{N.m^2.C^{-2}}$.

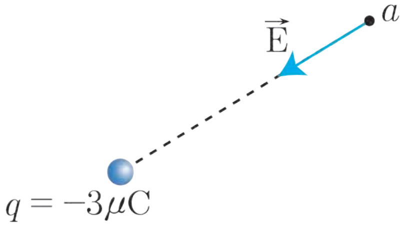
F شدّة القوّة الكهربائيّة المؤثِّرة في الشّحنة q'، وتقدّر بالنيوتن N.

E شدّة الحقل الكهربائيّ في نقطةٍ d تبعد عن الشّحنة q المولِّدة للحقل، وتقدَّر بوحدة $\mathrm{N.C^{-1}}$ أو $\mathrm{V.m^{-1}}$.

أختبر نفسي

- نضعُ شحنةً نقطية q' موجبة في نقطة a من منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيّ ساكن متولّد عن شحنةٍ موجبة q.
  ارسم شُعاع القوّة المؤثّرة في الشّحنة q'.
  ارسم شُعاع الحقل الكهربائيّ المؤثّر في الشّحنة q'.
  ماذا تلاحظ؟
- نضعُ شحنةً نقطية q' موجبة في نقطة a من منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيّ ساكن متولّد عن شحنة سالبة q.
  ارسم شُعاع القوة المؤثّرة في الشّحنة q'.
  ارسم شُعاع الحقل الكهربائيّ المؤثّر في الشّحنة q'.
  ماذا تلاحظ؟
- أعِد الرّسم السابق في حال كانَت الشّحنة المُتأثّرة سالبة.

تطبيق (1)



أحدّد بالكتابة والرّسم عناصرَ شُعاع الحقل الكهربائيّ المتولّد عن شحنةٍ نقطيّة $q = -3\mu C$ في نقطةٍ a، تبعدُ عنها في الخلاء مسافة $d = 2\,cm$.

الحلّ:

عناصره:

- **المبدأ:** النقطة المُعتبرة a.
- **الحامل:** المُستقيم الواصل بينَ الشّحنة المولّدة للحقل والنقطة المُعتبرة.
- **الجهة:** من a إلى q
- **الشدّة:**

$$E = 9 \times 10^9 \frac{q}{d^2}$$
$$E = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-6}}{(2 \times 10^{-2})^2}$$
$$E = 6.75 \times 10^7\ N.C^{-1}$$

تعميم

الحقل الكهربائيّ الساكِن المُتولّد عن عدّة شحناتٍ نقطيّة:

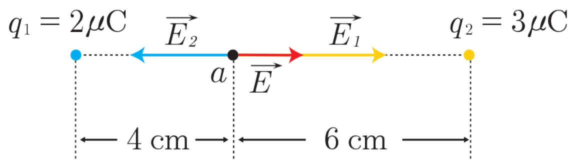
- في حال وجود عدّة شُحنات نقطيّة ساكنة، تولّدُ كلٌّ منها حقلاً كهربائياً في نقطة واحدة a، يُحسب الحقل الناتج عن كلّ شحنة عند a على حدة، ثمّ تُجمَع الحقول جمعاً شُعاعياً للحصول على الحقلِ الكهربائيّ الكلّي المؤثّر في a؛ أي $\vec{E} = \vec{E_1} + \vec{E_2} + \vec{E_3} + ...$.
- إذا كانَت مُحصّلة الحقول الكهربائيّة في نقطةٍ ما معدومة، فإنَّ هذه النقطة تسمَّى نقطة **التعادُل الكهربائي**.

تطبيق (2)

شحنتان كهربائيّتان نقطيّتان؛ الأولى $q_1 = 2\mu C$ موضوعة في نقطة a_1، والثانية $q_2 = 3\mu C$ موضوعة في نقطة a_2 تبعدُ عن a_1 مسافة $a_1a_2 = 10\,cm$. **المطلوب:**

حدِّد عناصرَ شُعاع الحقل الكهربائيّ الساكن، المتولِّد عن الشحنتَين في نقطة a تقعُ على الخطّ الواصل بين النقطتَين a_1, a_2 وعلى بُعد $4\,cm$ عن a_1 في الخلاء.

الحلّ:



- **المبدأ:** النقطة a.
- **الحامل:** المُستقيم المارّ من النقطتَين a_1, a_2.
- **الجهة:**
  - بجهة E_1 إذا كانَ $E_1 > E_2$.
  - بجهة E_2 إذا كانَ $E_2 > E_1$.
- **الشدّة:** لحساب شدّة الحقل المُحصّل نحسبُ، أولاً، شدّة الحقل المتولِّد عن كلٍّ من q_1، q_2 عند النقطة a حيثُ:

$$E_1 = 9\times10^9\frac{q_1}{d^2}$$

$$E_1 = 9\times10^9\frac{2\times10^{-6}}{(4\times10^{-2})^2} = 1.125\times10^7\,N.C^{-1}$$

$$E_2 = 9\times10^9\frac{3\times10^{-6}}{(6\times10^{-2})^2} = 0.75\times10^7\,N.C^{-1}$$

$$\vec{E} = \vec{E_1} + \vec{E_2}$$

E_1 ,E_2 شعاعان على حاملٍ وبجهتَين مُتعاكستَين، فالشدّة حاصلُ طرح الشدّتَين وبجهةِ الأكبر.

$$E = E_1 - E_2$$

$$E = 1.125\times10^7 - 0.75\times10^7 = 3.75\times10^6\,NC^{-1}$$

تطبيق (3)

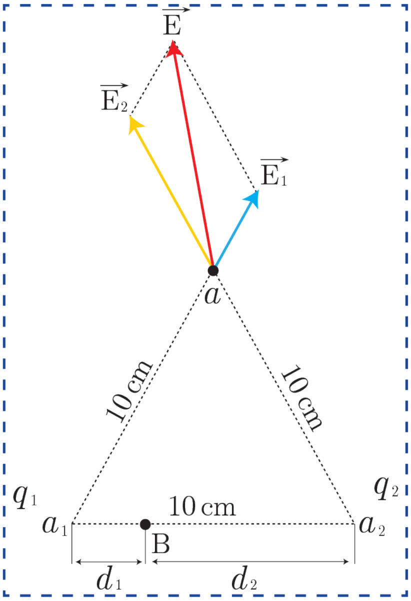
شحنتان كهربائيّتان نقطيّتان $q_1 = \frac{2}{9}\mu C$ في النقطة a_1، و $q_1 = \frac{8}{9}\mu C$ في النقطة a_2، البعد بينهما $a_1a_2 = 10\,cm$

المطلوب:

1. احسب شدّةَ الحقل الكهربائيّ المتولِّد عن هاتَين الشحنتَين عندَ النقطة a، الواقعة في الخلاء على بُعد $10\,cm$ عن كلّ من الشحنتَين.
2. حدد موضعَ النقطة b، الواقعة على القطعة المستقيمة a_1a_2 التي تنعدمُ فيها شدّة الحقل الكهربائيّ.

الحلّ:

.1



$$E_1 = 9\times10^9\,\frac{q_1}{d_1^2}$$

$$E_1 = 9\times10^9\,\frac{\frac{2}{9}\times10^{-6}}{(10\times10^{-2})^2} = 2\times10^5\,\mathrm{N.C^{-1}}$$

$$E_2 = 9\times10^9\,\frac{q_2}{d_2^2}$$

$$E_2 = 9\times10^9\,\frac{\frac{8}{9}\times10^{-6}}{(10\times10^{-2})^2} = 8\times10^5\,\mathrm{N.C^{-1}}$$

$$\vec{E} = \vec{E_1} + \vec{E_2}$$

نتخلَّص من الأشعة بالتربيع والجذر فنجدُ:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\theta}$$

$$E = \sqrt{(2\times10^5)^2 + (8\times10^5)^2 + 2\times2\times10^5\times8\times10^5\cos\frac{\pi}{3}} = 9.16\times10^5\,\mathrm{N.C^{-1}}$$

.2

$$E_1 = E_2$$

$$k\frac{q_1}{d_1^2} = k\frac{q_2}{d_2^2}$$

$$\frac{\frac{2}{9}\times10^{-6}}{d_1^2} = \frac{\frac{8}{9}\times10^{-6}}{d_2^2}$$

$$\frac{1}{d_1^2} = \frac{4}{d_2^2}\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 1$$

بالحلّ المُشترَك للمعادلتَين 1,2 نجدُ:

$$d_1 + d_2 = 0.1\ \ldots\ldots\ldots\ 2$$

$$d_1 = 0.0333\,\mathrm{m} \Longleftrightarrow d_1 = 3.3\,\mathrm{cm}$$

$$d_2 = 10 - 3.3 = 6.7\,\mathrm{m}$$

ملاحظة: نقطة التعادُل الكهربائي هي نقطةٌ تنعدم عندها شدّةُ مُحصّلة الحقول الكهربائية المُتولّدة عن شحنات كهربائيّة نقطيّة.

3-2 خطوط قوة الحقل الكهربائي الساكن :

أجرّبُ وأستنتجُ:

لإجراء التجربة أحتاجُ إلى:

1. حوض زجاجيّ مُناسِب.
2. زيت خروع.

3. سلكَين معدنيَّين.
4. صفيحتَين معدنيّتَين مستويّتَين.
5. دقائق خفيفة عازلة (سميد، أو وبر).
6. آلة ويمشورت.

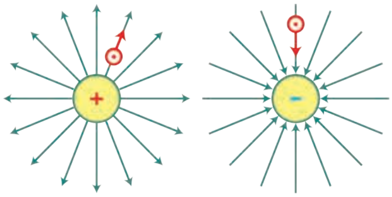
- أصبُّ قليلاً من زيت الخروع في الحوض بحيث تكونُ لدينا طبقةٌ زيتيّة بسِمك $1\,\mathrm{cm}$ تقريباً.
- أغمسُ في الزّيت السلكَين المعدنيّين، وأصلُهما بمولّد للكهرباء الساكنة،
- أنثرُ بينَ السلكَين قليلاً من دقائق السميد أو الوبر.
- أكرِّرُ التّجربة باستخدام صفيحتَين مَعدنيّتَين مُتوازيتَين مُتماثِلتَين بدلاً من السلكَين المعدنيَين.
- أكرّرُ التجربتَين السابقتَين بزيادة شدّة الحقل الكهربائيّ.

– ما الشكلُ الذي ترسمُه دقائق السميد أو الوبر على سطح الزّيت في كلّ من التجربتَين الأولى والثانية؟ وما دلالة ذلك
– ما أثرُ زيادة شدّة الحقل على توزُّع دقائق السميد أو الوبر على سطح الزّيت؟

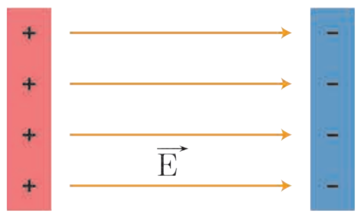
أستنتج:

- **تدلُّ الخطوط المُنحنية على أنَّ الحقلَ الكهربائيّ مُتغيّرٌ، أمَّا الخطوط المُتوازية فتدلُّ على أنَّ الحقلَ الكهربائيّ مُنتظَم.**
- **زيادة شدّة الحقل الكهربائيّ تجعلُ خطوطَ الحقل مُتراصَّة على بعضها أكثر.**

- **خطّ قوّة الحقل الكهربائيّ هو خطٌّ وهميّ، يُرسَم بحيثُ يكونُ شعاع الحقل الكهربائيّ مُماسّاً له في كلِّ نقطة من نقاطِه، وجهته دوماً من جهة شُعاع الحقل.**



- **خطوط قوّة الحقل الناتِجة عن الشّحنات الموجبة مُتّجهةٌ للخارج بعيداً عنها، والناتِجة عن الشّحنات السّالبة مُتّجِهة نحوَها(تتّجه خطوط القوّة من الشّحنات الموجِبة إلى الشّحنات السالِبة).**

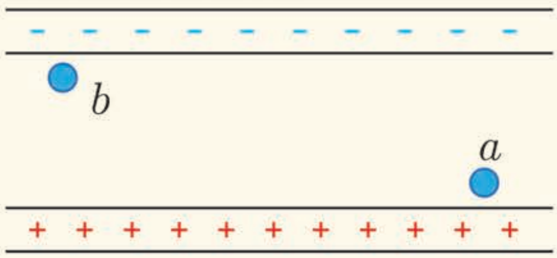


- **في كلّ نقطةٍ من المنطقة التي يسودُها حقلٌ كهربائيّ لا يمرُّ سوى خطّاً واحداً، وبالتالي خطوط القوّة لا تتقاطعُ؛ أي لا يمكنُ أن يكونَ للحقل إلّا اتّجاهٌ واحدٌ وشدّة واحدة فقط.**
- **من تجربة الصفيحتَين المتوازيتَين نقولُ عن الحقل الكهربائيّ الساكن: إنَّه مُنتظَم إذا تساوَت أشعةُ الحقل في كلّ نقطة من نقاط تواجُد الحقل حاملاً وجهةً وشدّةً؛ أي $\vec{E} = \overrightarrow{const}$.**
وتكونُ خطوط قوّته مُتوازية فيما بينَها وبالجهة ذاتها، وإذا وُضِعَت فيه شحنةٌ نقطية q' فإنّها تخضعُ للقوّة ذاتها $\vec{F} = q'\vec{E} = \overrightarrow{const}$ في أيّ نقطةٍ من نقاطِه.

أختبر نفسي

يبيّن الشّكل صفيحتَين متوازيتَين ومشحونتَين بشحنتَين مُختلِفتَين بالنّوع.

المطلوب:



1. ارسم خطوط الحقل الكهربائيّ في الحيّز بين الصفيحتَين.
2. صِف الحقلَ الكهربائيّ بين الصفيحتَين.
3. إذا وُضِع إلكترون عندَ النقطة a، ما اتّجاه القوّة المؤثّرة فيه؟
4. إذا وُضِع بروتون عندَ النقطة b، ما اتّجاه القوّة المؤثّرة فيه؟

تعلّمت

- تولّد الشّحنة النقطيّة q في المنطقة المُحيطة بها حقلاً كهربائيّاً $\vec{E}$، تُعطى شدّته بالعلاقة:

$$E = k\frac{q}{d^2}$$

- الحقل الناتج عن عدّة شحنات في نقطةٍ يساوي التركيب الشُّعاعي للحقول المتولّدة عن كلّ شحنةٍ مُنفرِدة:

$$\vec{E} = \vec{E_1} + \vec{E_2} + \vec{E_3} + ...$$

- **جهة شُعاع الحقل باتّجاه الشحنة إذا كانت سالبة، وبالاتّجاه المُعاكِس إذا كانَت موجِبة.**
- خطّ الحقل (أو خطّ القوّة) خطٌّ وهميّ، يمسُّ في كلّ نقطة من نقاطه شُعاعَ الحقل في تلك النقطة.
- نقول عن الحقل الكهربائيّ الساكِن إنّه مُنتظَم إذا تساوَت أشعةُ الحقل في كلّ نقطةٍ من المنطقة التي يسودها الحقل حاملاً وجهةً وشدّةً؛ أي $\vec{E} = \overrightarrow{const}$.

أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابة الصّحيحة لكلّ ممّا يأتي:

1. وحدة قياس شدّة الحقل الكهربائيّ:

a. $N.m^{-2}$ b. $N.C^{-2}$ c. $N.C^{-1}$ d. $N.C^{-2}.m^{-2}$

2. إذا وضعت شحنةٌ كهربائيَّة نقطيّة سالبة حرّة الحركة في منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيّ مُنتظَم فإنَّها:

a. تبقى ساكنة في موضعها.
b. تتحرَّك باتّجاه الحقل الكهربائيّ.
c. تتحرَّك في مسارٍ دائريّ.
d. تتحرَّك باتّجاهٍ مُعاكِس لجهة الحقل الكهربائيّ.

3. في نقطةٍ من منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيّ ساكن تكونُ شدّته تتناسبُ طرداً مع:

a. قيمة الشّحنة المُتأثِّرة الموضوعة في تلك النقطة.
b. قيمة الشّحنة المولِّدة للحقل.
c. بُعد الشّحنة المتأثِّرة عن الشّحنة المولِّدة للحقل.
d. مُربَّع بُعد الشّحنة المولِّدة للحقل عن الشّحنة المتأثِّرة.

4. منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيّ ساكن مُنتظم، شدّته $E = 600\ N.C^{-1}$ ، إذا وضعت فيه شحنةٌ نقطيّة $q = 2\mu C$ فإنّها تتأثّر بقوّة كهربائيّة $\vec{F}$ ، شدّتها تساوي:

a. $8\times10^{-4}N$ b. $4\times10^{-4}N$ c. $3\times10^{-4}N$ d. $12\times10^{-4}N$

5. إذا وضعتَ شحنتَين نقطيّتَين ساكنتَين q_2, q_1 ، على طرفَي وتر مُثلّث قائِم الزاوية، فيتولَّد في الرأس الثالث للمثلَّث حقلٌ كلّي كهربائيّ ساكن $\vec{E}$ ، تُعطى شدّته بالعلاقة: (حيث E_1 شدّة الحقل المُتولِّد من q_1 و E_2 شدة الحقل المُتولِّد من q_2)

a. $E = \sqrt{E_1^2 - E_2^2}$ b. $E = E_1 + E_2$ c. $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$ d. $E = E_1 - E_2$

6. منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيّ مُنتظَم، شدته E ، إذا وضعت شحنة نقطية q فإنّها تتأثَّر بقوّة كهربائيّة شدتُها F ، إذا جعلنا مقدارَ الشّحنة $q' = 4q$ فتصبحُ F' تساوي:

a. $F' = \frac{1}{4}F$ b. $F' = 16F$ c. $F' = 4F$ d. $F' = \frac{1}{8}F$

7. تشكّل الصفيحتان المتوازيتان **لبوسي** مكثّف، إذا وصلتا إلى منبع كهربائيّ مُتواصِل، لتشحنا بشحنتَين كهربائيتَين مُتماثلتَين بالمقدار ومختلفتَين نوعاً، فالمنطقة المُحدَّدة بينَهما يسودُها حقلٌ كهربائيّ ساكن مُنتظَم، خطوطه مُستقيمة مُتوازية فيما بينَها:

a. وتوازي سطحَي الصفيحتَين أفقيّاً.
b. وتوازي سطحَي الصفيحتَين شاقوليّاً.
c. وعموديّة على سطحَي الصفيحتَين.
d. ومائلة على سطحَي الصفيحتَين.

ثانيا: ضع إشارة ✓ إلى جانب العبارة الصّحيحة، وإشارة ✗ إلى جانب العبارة غير الصحيحة، ثمّ صحّحها في كلٍّ ممّا يأتي:

1. الحقل الكهربائيّ الساكن في نقطة من منطقة يسودُها، يتعلّق بالشّحنة الموضوعة في تلك النقطة.
2. الحقل الكهربائي الساكن مقدارٌ سلميّ.
3. يتولّد حقلٌ كهربائيّ ساكن مُنتظَم عن شحنة نقطيّة ساكنة في المنطقة المُحيطة بها.
4. إذا وضعت شحنة كهربائية نقطيّة في نقطةٍ من منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيّ ساكن، تبقى ساكنةً في النقطة التي توضَع فيها.
5. أشعة الحقل الكهربائيّ الساكن مماسية لخطوط الحقل في كلّ نقطةٍ من المنطقة التي يسودُها.
6. تتقارَب خطوطُ الحقل الكهربائيّ الساكن في منطقةٍ يسودُها حقلٌ ضعيف.
7. يمكنُ استعمال برادة الحديد وزيت الخروع، لتشكّل خطوطَ حقل كهربائيّ ساكن في منطقة يسودُها هذا الحقل.

ثالثا: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

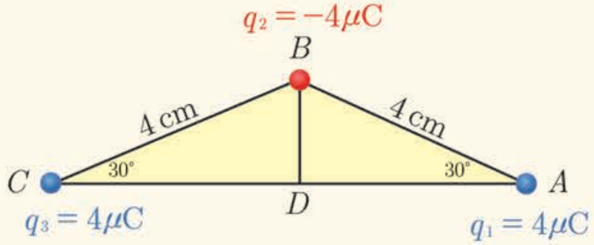
وضعت شحنة كهربائيّة نقطيّة $q = -2\mu C$ في نقطةٍ من منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيّ مُنتظَم فتأثّرت بقوّة شدّتُها $F = 0.08\,N$. **والمطلوب:**

1. احسب شدّة الحقل الكهربائيّ المُنتظَم المؤثّر على q.
2. ارسم شكلاً يوضّح:
   a. خطوط قوّة الحقل الكهربائيّ.
   b. شعاع القوّة الكهربائيّة وشعاع الحقل الكهربائيّ المؤثّرين في q.

المسألة الثانية:

من خلال قراءتك للشكل المجاور. **المطلوب:**

1. احسب شدّة الحقل الكهربائي الكلّي في النقطة D.
2. احسب شدّة القوّة الكهربائيّة المؤثّرة في الشحنة q_2 المتوضّعة في النقطة B.



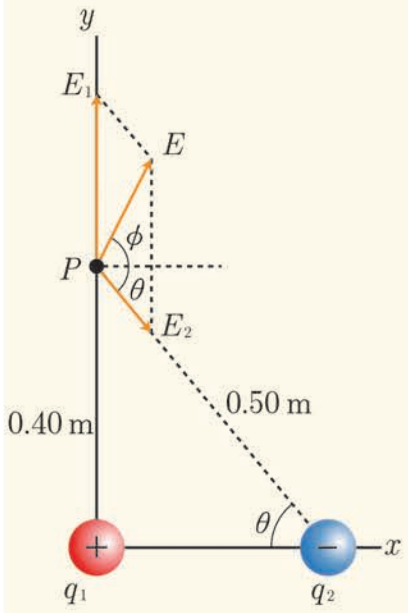
المسألة الثالثة:

وُضِعت أربعَ شحناتٍ نقطية $q_1 = 2\mu C$ ، $q_2 = 4\mu C$ ، $q_3 = 6\mu C$ ، $q_4 = 8\mu C$ على زوايا مُربّع طول ضلعه $a = 0.1\,m$ مرتّبة على التوالي باتّجاه دوران عقارب السّاعة.

المطلوب:

1. احسب شدّة الحقل الكهربائيّ الكلّي الساكن عندَ مركز المُربّع.
2. حدّد عناصر القوّة الكهربائيّة المؤثّرة في إلكترون موضوع في مركز المربّع

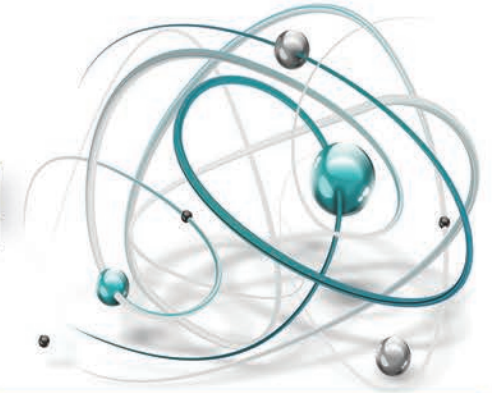
شحنة الإلكترون: $e = 1.6 \times 10^{-19} C$



المسألة الرّابعة:

شحنتان مُتوضّعتان على رأسَي مُثلَّث قائم $q_1 = +16\mu C$ ، $q_2 = -12.5\mu C$ كما في الشّكل المُجاوِر. **المطلوب:**

— احسب شدّة الحقل الكهربائيّ الكلّي الناجِم في الرّأس الثّالث P للمُثلَّث.



3-3 الكمونُ الكهربائيّ

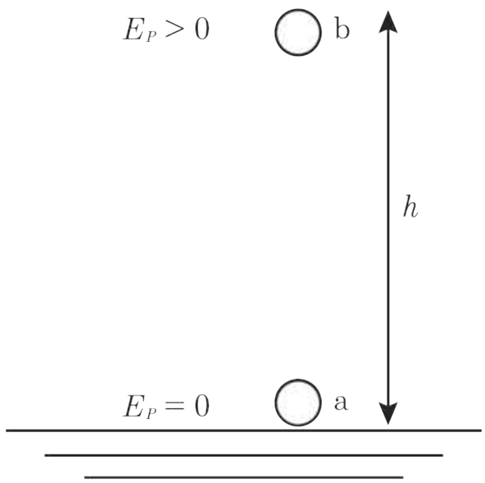
الأهداف:

* يتعرَّف الكمونَ الكهربائي في نقطة من منطقة يسودُها الحقلُ الكهربائي.
* يستنتج العلاقة بينَ الكمون الكهربائي وشدّة الحقل الكهربائيّ في نقطة.
* يستنتج علاقة الكمون الكهربائيّ في نقطةٍ من منطقةٍ يسودُها الحقل الكهربائي.
* يستنتجِ الكمونَ الكهربائيّ المُتولّد عن شحنةٍ نقطية.
* يستنتج علاقة الكمون الكهربائي لناقل كرويّ مَعزول ومَشحون.
* يتعرَّف الوحدةَ الدوليّة للكمون الكهربائي.

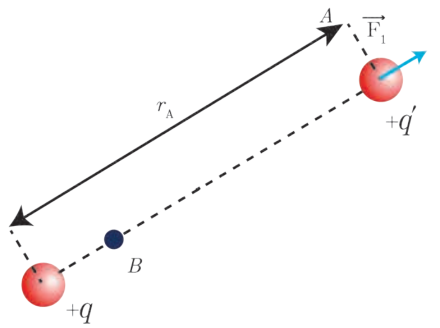
الكلمات المفتاحية:

* الكمون الكهربائيّ.
Electric Potential
* ناقل كرويّ.
Spherical Conductor

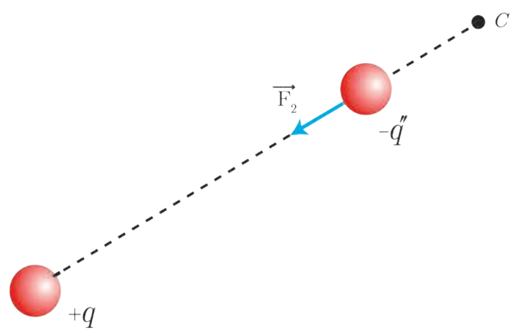
تخضعُ الأجسامُ الموجودة بالقرب من سطح الأرض لتأثير حقل الجاذبيَّة الأرضيّة، وبنقلِها نحوَ الأعلى نقومُ بعملٍ يعاكِس عملَ قوّة جذب الأرض ممَّا يُكسبُها طاقةً كامِنة ثقالية $(E_P = mgh)$، هذا ما يحدثُ للشّحنات الكهربائيّة الساكنة عندَ وضعها ونقلِها في منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيّ ساكِن.



1-3 الكمونُ الكهربائيّ في نقطةٍ من منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيّ:



- أضعُ شحنةً كهربائيّة موجبة q' في نقطة A مِن منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيّ مُتولّد عن شحنةٍ موجبة q.
- أُحدّدُ بالرَّسم جهةَ القوّة الكهربائيّة التي تؤثّرُ بالشّحنة q'.
- كيفَ تتحرَّك الشُّحنة q' طوعيّاً ضمنَ الحقل.
- أطبّقُ قوّةً مُناسِبة تنقلُ الشّحنة q إلى النقطة B الواقعة على المُستقيم الواصل بينَ الشّحنتَين (q',q)، والأقرب إلى q.
- هل تزدادُ الطاقة الكامِنة الكهربائيَّة للشّحنة q' أو تنقص؟ علّل إجابتِك.



- أستبدلُ الشّحنة q' بشحنةٍ q'' سالبة.
  - أحدّدُ بالرَّسم جهةَ القوَّة الكهربائيّة التي تؤثِّرُ بالشُّحنة q''.
  - كيفَ تتحرَّك الشُّحنة q'' طوعيّاً ضمنَ الحقل؟
  - أطبّق قوّةً مناسِبةً تنقلُ الشّحنة q'' إلى النّقطة C الواقِعة على امتداد المُستقيم الواصِل بينَ الشُّحنتَين (q'',q) من جهة q''.
  - هل تزدادُ الطاقة الكامِنة الكهربائيّة للشّحنة q'' أو تنقصُ؟ علّل إجابتَك.

أستنتج:

- الحركةُ الطوعيّة للشّحنات الكهربائيّة تكونُ حيثُ تنقصُ طاقتُها الكامنة الكهربائيّة.
- تزدادُ الطّاقة الكامنة الكهربائيّة للشّحنة المُتأثِرة سواء كانَت هذه الشّحنة موجِبة أم سالبة، والسّبب اكتسابُها عملاً اختزنَته على شكلِ طاقة كامنة كهربائيّة.
- نسمِّي نسبةَ الطاقة الكامنة الكهربائيّة E_P التي تختزنُها الشّحنة الكهربائيّة في نقطةٍ إلى قيمة الشّحنة q' الموضوعة فيها بالكمون الكهربائي V، ويُعرَف بالعلاقة: $V = \frac{E_P}{q'}$

E_P: الطاقةُ الكامِنة الكهربائيّة للشُّحنة المُتأثِّرة، وتقدَّر بالجول J.

q': قيمةُ الشّحنة الكهربائيّة المُتأثِّرة، وتقدّر بالكولوم C.

V: الكمون الكهربائيّ ويقدَّر بالفولت V (Volt).

- بالاستفادة من العلاقة $V = \frac{\text{J}}{\text{C}}$ عرّف وحدةَ الفولط.

الفولت قيمةُ الكمون الكهربائي عند نقطةٍ، إذا وُضِعت عندها وحدة الشّحنات الموجِبة فإنّها تكتسبُ طاقةً كامِنة كهربائيّة مقدارُها واحد جول.

تطبيق (1)

تبلغُ الطاقة الكامنة الكهربائية لبروتون 3.2×10^{-14} J في نقطةٍ من منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيّ. المطلوب، احسب الكمون الكهربائي عند هذه النقطة علماً أنَّ: $e = 1.6\times10^{-19}$ C.

الحلّ:

نحن نعلمُ أنَّ شحنة البروتون= شحنة الإلكترون = $1.6\times10^{-19}C$ بالقيمة المُطلَقة:

$$V=\frac{E_P}{q'}=\frac{3.2\times10^{-14}}{1.6\times10^{-19}}=2\times10^{5}V$$

إضاءة

إنّ وحدة الكمون هي جول/الكولوم وسميت هذه الوحدة بالفولت تخليداً لذكرى العالم الإيطالي فولت (1827\1754) Volta الذي اخترع عمود فولطا وهو منبع للتيار الكهربائي.

2-3 الكمون الكهربائيّ الناجم عن شحنة نقطيّة :

من خلال الدّراسة التجريبيّة في إحدى المَخابر تمَّ التوصُّل إلى النتائج الآتية:

- التجربة الأولى:

الشّحنة المولّدة للحقل (q)	بُعد النقطة عن الشحنة q (d)	الكمون الكهربائيّ (V)	$\frac{V}{q}$
$2\times10^{-6}C$	$10\times10^{-2}m$	$18\times10^{4}V$	
$4\times10^{-6}C$	$10\times10^{-2}m$	$36\times10^{4}V$	
$8\times10^{-6}C$	$10\times10^{-2}m$	$72\times10^{4}V$	

من خلال قراءتك للجدول السابق، احسب النسبة $\frac{V}{q}$ ، ماذا أستنتج؟

- التجربة الثانية:

الشّحنة المولّدة للحقل (q)	بُعد النقطة عن الشحنة q (d)	الكمون الكهربائيّ (V)	$V\times d$
$2\times10^{-6}C$	$10\times10^{-2}m$	$18\times10^{4}V$	
$2\times10^{-6}C$	$20\times10^{-2}m$	$9\times10^{4}V$	
$2\times10^{-6}C$	$30\times10^{-2}m$	$6\times10^{4}V$	

من خلال قراءتك للجدول السابق، احسب المقدار $V\times d$ ، ماذا أستنتج؟

أستنتجُ

إنَّ الكمون الكهربائيّ في نقطةٍ من حقل كهربائيّ يتناسبُ:

1. طرداً مع الشّحنة النقطيّة المولِّدة للحقل.
2. عكساً مع بُعد هذه النقطة عن الشّحنة المولِّدة للحقل الكهربائي.

تُعطى عبارةُ الكمون الكهربائي في نقطةٍ من حقل كهربائي بالعلاقة: $V = k\dfrac{q}{d}$

حيث: $k = 9\times10^{9}\,\mathrm{N.m^{2}.C^{-2}}$ ثابت التناسُب (ثابت كولوم).

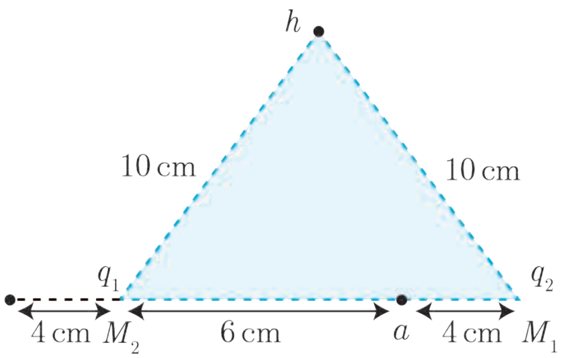
من العلاقة الأخيرة نلاحِظ أنّ الكمونَ الكهربائيّ المُتولّد عن شحنة كهربائيّة نقطيّة هو مقدارٌ فيزيائيّ سلّمي يتبعُ الشُّحنة المولِّدة له ويكون موجِباً إن كانَت الشّحنة المولِّدة للحقل موجِبة، وسالباً إن كانَت سالبة.

تعميم

الكمون الكهربائي عند أيّة نقطة واقعة في منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيّ تابع لعدَّة شحنات نقطية يساوي المجموع الجبري للكمونات الناشئة عن الشّحنات، كلّ على حدة في النقطة المعتبرة.

أي: $V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots\ldots$

تطبيق (2)



في الشّكلّ المُجاور شُحنتان نقطيّتان قيمتاهُما $q_1 = 6\times10^{-9}\,\mathrm{C}$ ، $q_1 = -6\times10^{-9}\,\mathrm{C}$ وضعتا في النقطتين M_2, M_1 ، بحيث تبعدان عن بعضهما مسافة $10\,\mathrm{cm}$ في الخلاء. **المطلوب**:

احسب الكمون الكهربائيّ في النقاط h, b, a.

الحلّ:

بما أن الكمون مقدار جبري فالكمون الكلّي الناتج يجمع جمعاً جبرياً:

$$V = V_1 + V_2$$

الكمون في النقطة a:

$$V_a = V_1 + V_2$$

$$V_a = 9\times10^{9}\frac{q_1}{d_1} - 9\times10^{9}\frac{q_2}{d_2}$$

$$V_a = 9\times10^{9}\frac{6\times10^{-9}}{6\times10^{-2}} - 9\times10^{9}\frac{6\times10^{-9}}{4\times10^{-2}}$$

$$V_a = 900 - 1350 = -450\,\mathrm{V}$$

الكمون في النقطة b:

$$V_b = V_1 + V_2$$

$$V_b = 9\times10^{9}\frac{q_1}{d_1} - 9\times10^{9}\frac{q_2}{d_2}$$

$$V_b = 9\times10^{9}\frac{6\times10^{-9}}{4\times10^{-2}} - 9\times10^{9}\frac{6\times10^{-9}}{14\times10^{-2}}$$

$$V_b = 1350 - 395.7 = 964.3\,\mathrm{V}$$

الكمون في النقطة h:

$$V_h = V_1 + V_2$$

$$V_h = 9\times10^9\,\frac{q_1}{d_1} - 9\times10^9\,\frac{q_2}{d_2}$$

$$V_h = 9\times10^9\,\frac{6\times10^{-9}}{10\times10^{-2}} - 9\times10^9\,\frac{6\times10^{-9}}{10\times10^{-2}}$$

$$V_h = 540 - 540 = 0\ \mathrm{V}$$

لاحظ أنَّ الكمون الكهربائيّ في النقطة h معدوم، في حين أنَّ الحقل الكهربائي غير معدوم.

3-3 العلاقة بينَ الكمون الكهربائيّ، وشدّة الحقل الكهربائيّ المُتولّد عن شحنة نقطيَّة في نقطة :

يتولَّد حقلٌ كهربائيّ عن شحنة نقطية q، ولتكُن a نقطة من هذا الحقل تبعد عن q مسافة d في الخلاء:

1. اكتبِ العلاقة التي تُعطي الكمون الكهربائيّ في النقطة a.
2. اكتبِ العلاقة التي تُعطي شدّة الحقل الكهربائيّ في النقطة a.
3. استنتجِ العلاقة التي تربطُ بين الكمون الكهربائي وشدّة الحقل الكهربائي في نقطة منه.

أستنتجُ: يرتبطُ الكمون الكهربائيّ الناجم عن شحنة نقطيّة مع شدّة الحقل الكهربائي في نقطة منه بالعلاقة:

$$E = \frac{V}{d}$$

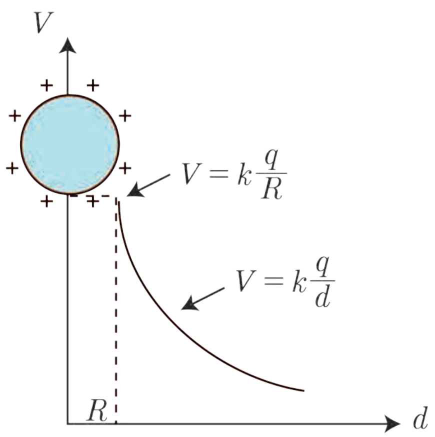
أتفكر

هل تبقى العلاقة بين شدّة الحقل والكمون ذاتها في حال كانَ الحقل الكهربائي متولِّداً عن عدّة شحناتٍ نقطية؟

4-3 الكمون الكهربائيّ لناقل كروي معزول ومشحون :

إنَّ الشُّحنة الكهربائيّة التي يحملُها ناقلٌ كروي معزول ومشحون تكافئ شحنة q نقطية موضوعة في مركز الناقل، والكمون الكهربائيّ هو ذاته لجميع نقاط هذا الناقل، ويُعطى بالعلاقة: $V = k\frac{q}{R}$

حيثُ R: نصف قطر الناقل الكرويّ.



لاحظ أنّ:

- الكمون الكهربائي في النقاط الواقعة خارج الناقل الكروي وعلى بُعد من مركزه يُعطى بالعلاقة: $V = k\frac{q}{d}$
- تتناقصُ قيمة الكمون الكهربائي كلّما ابتعدنا عن سطح الناقل حتى تصبحَ مُساوية الصّفر عندَ نقطة في اللانهاية $V_\infty = 0$
- شدّة الحقل الكهربائيّ داخل الناقل معدومة. لأنَّ الشُّحنات تتوزَّع على السّطح الخارجيّ للناقل.

تطبيق (3)

ناقلٌ كرويّ معزول، قطره $6\,\mathrm{cm}$، موضوع في الخلاء كمونه يساوي $-900\,\mathrm{V}$ ، **المطلوب:** حساب:

1. قيمة الشُّحنةَ الكهربائيّة للناقل.
2. قيمة الكمون الكهربائيّ عندَ نقطة تبعد $3\,\mathrm{cm}$ عن سطحه (نحو الخارج).

المُعطيات:

$$2R = 6\,\mathrm{cm} \Leftrightarrow R = 3\,\mathrm{cm} = 3\times10^{-2}\,\mathrm{m}$$

$$V = -900\,\mathrm{V}$$

الحل:

1.

$$V = 9\times10^{9}\,\frac{q}{R}$$

$$q = \frac{V\,R}{9\times10^{9}}$$

$$q = \frac{-900\times3\times10^{-2}}{9\times10^{9}} = -3\times10^{-9}\,\mathrm{C}$$

2.

$$V = 9\times10^{9}\,\frac{q}{d}$$

$$d = 3+3 = 6\,\mathrm{cm} = 6\times10^{-2}\,\mathrm{m}$$

$$V = 9\times10^{9}\,\frac{-3\times10^{9}}{6\times10^{9}} = -450\,\mathrm{V}$$

تعلّمْتُ

- يرتبطُ الكمون الكهربائيّ الناجم عن شحنة نقطية مع شدَّة الحقل الكهربائيّ في نقطةٍ منه بالعلاقة: $E = \frac{V}{d}$
- الكمون الكهربائي الناجم عن شحنة نقطيّة q في نقطةٍ تبعد عن q مسافة d يُعطى بالعلاقة: $V = k\frac{q}{d}$
- الكمون الكهربائي الناجم عن عدّة شحناتٍ نقطيّة يساوي المجموع الجبري للكمونات الناجِمة عن كلّ شحنة مُنفرِدة.

أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابةَ الصحيحة لكلّ ممّا يأتي:

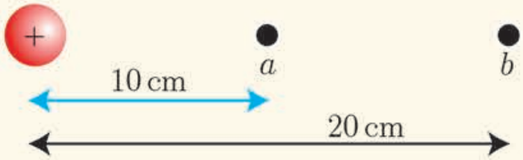
1. ناقل كرويّ مُعتدِل ومعزول، قطرُه 2 m، إذا اكتسبَ شحنة مقدارُها 2c فإنَّ كمونه الذي يقدَّر بالفولت بدلالة ثابت كولوم يساوي:

a. $2k$ b. k c. $\frac{k}{2}$ d. $\frac{k}{4}$

2. في السّؤال السابق يكونُ الكمون الكهربائي عند نقطة على بُعد 50 cm من مركز الناقل بدلالة ثابت كولوم مُساوياً:

a. $2k$ b. k c. $\frac{k}{2}$ d. $\frac{k}{4}$

3. في الشَّكل المُجاوِر، إذا علمت أنَّ الكمونَ الكهربائيّ عند النقطة a يساوي 2V، فإنَّ الكمونَ الكهربائيّ عند النقطة b يساوي:



a. 4V b. 3V c. 2V d. 1V

4. في السّؤال السَّابق تكون شحنة الناقل بالكولوم بدلالة ثابت كولوم مُساوية:

a. $\frac{0.2}{k}$ b. $\frac{k}{2}$ c. $\frac{20}{k}$ d. $20k$

ثانياً: حلَّ المسائل الآتية:

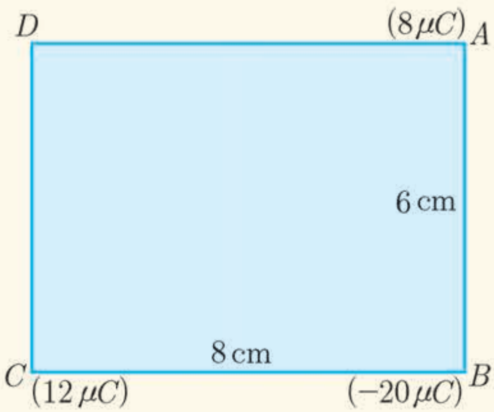
المسألة الأولى:

احسب الطاقة الكامنة الكهربائية التي يكتسبها جسيم شحنته $q' = 2\mu C$ إذا وضع عند نقطة تقع على بعد 3 cm من شحنة نقطية مقدارها $q = 3\times10^{-8}$C.

المسألة الثانية:

في الشَّكل المُجاوِر ثلاث شحنات نقطيّة موضوعة عند الرؤوس C, B, A للمُستطيل. **المطلوب:**

1. احسبِ الكمون الكهربائيّ عندَ النقطة D.
2. احسبِ الكمون الكهربائيّ عندَ نقطة تَلاقي قطرَي المُستطيل.
3. نضعُ شحنةً نقطيّة رابعة عند الرأس D، قيمتها -20μC، احسب شدَّة الحقل الكهربائيّ المُتولِّد عن الشُّحنات الأربع عند نقطة تلاقي قطرَي المُستطيل.



المسألة الثالثة:

ناقل كروي معزول ومشحون، نصف قطره $2\,\text{cm}$، فإذا علمتَ أنَّ الكمون الكهربائيّ على سطحه يساوي $4.5\times10^{3}\,\text{V}$، **المطلوب**:

1. احسبِ شحنة الناقل الكروي.
2. احسبِ الكمونَ الكهربائي عند النقاط الآتية:
   - a. نقطة تقعُ على بُعد $1\,\text{cm}$ من المركز.
   - b. نقطة تقعُ على بُعد $10\,\text{cm}$ من المركز.
   - c. نقطة تقعُ على بُعد $16\,\text{cm}$ من سطح الناقل.

المسألة الرابعة:

مربعٌ $ABCD$ طول ضلعه $5\,\text{cm}$، وُضِعَت عندَ الرَّأس A الشحنة $20\mu\text{C}$، وعندَ الرأس B الشحنة $10\sqrt{2}\,\mu\text{C}$

المطلوب:

احسب الشّحنة اللازم وضعها عندَ الرأس C ليكون الكمون الكهربائي عند الرأس D مُساوياً الصفرَ.

المسألة الخامسة:

$\sqrt{2}\,\text{m}$

نضعُ في الرّؤوس الأربعة لمربع طول ضلعه $\sqrt{2}\,\text{m}$ الشّحنات النقطيّة الآتية: $q_1=2\times10^{-8}\,\text{C}$، $q_2=3\times10^{-8}\,\text{C}$، $q_3=2\times10^{-8}\,\text{C}$، $q_4=1\times10^{-8}\,\text{C}$

المطلوب:

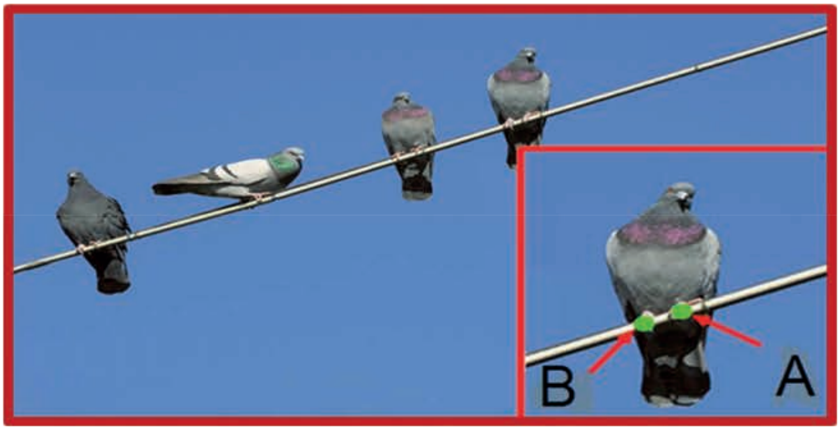
احسب قيمةَ الكمون الكهربائي المُتولِّد في نقطة تَلاقي قطرَي المربّع.

المسألة السادسة:

ثلاثُ شحنات كهربائية $q_1=2\times10^{-6}\,\text{C}$، $q_2=2\times10^{-6}\,\text{C}$، $q_3=2\times10^{-6}\,\text{C}$ تتوزَّع على رؤوس مُثلَّث مُتساوي الأضلاع طول ضلعه $3\,\text{cm}$، **المطلوب**:

1. احسب قيمةَ الكمون الكهربائيّ في نقطة تَلاقي مُتوسِّطات المُثلَّث.
2. نضعُ في نقطةِ تَلاقي مُتوسِّطات المُثلَّث شحنة كهربائية $-1\times10^{-6}\,\text{C}$. احسب الطاقة الكامنة الكهربائيَّة لهذه الشّحنة.
3. بفرض أنَّنا وضعنا في نقطة تَلاقي مُتوسِّطات المُثلَّث شحُنة كهربائيّة $+1\times10^{-6}\,\text{C}$، وتركناها حرَّة. ماذا يحدُث لهذه الشُّحنة؟ وما الطاقة الحركيَّة العُظمَى التي تبلغُها؟

4-3 فرق الكمون الكهربائي



- في هذه الصّورة نشاهدُ أنَّ طائرَ الحمام يقفُ على سلك ناقلٍ يجتازُه تيارٌ كهربائيّ.

ألاحظُ وأجيب:

- هل يحدثُ تكهرُب للحمام الذي يقفُ على سلك الناقل؟ ولماذا برأيك؟
- ما العلاقةُ بينَ كمون النقطة A وكمون النقطة B الموضَّحتَين في الصّورة؟

للإجابة على هذه التّساؤلات، لابدَّ من توضيح مفهوم فرق الكمون الكهربائيّ بينَ نقطتَين.

الأهداف:

* يتعرَّف فرقَ الكمون الكهربائيّ بينَ نقطتَين من منطقةٍ يسودُها حقلاً كهربائياً.
* يستنتج العلاقةَ بينَ فرق الكمون وعمل القوّة الكهربائيّة.
* يتعرَّف الوحدةَ الدوليّة لفرق الكمون اعتماداً على العلاقة بينَ فرق الكمون وعمل القوّة الكهربائيّة.
* يستنتج العلاقةَ بين شدَّة الحقل الكهربائيّ المُنتظم وفرق الكمون. (علاقة فرق الكمون مع عمل القوى الكهربائيّة).

الكلمات المفتاحية:

* فرق الكمون الكهربائي
Difference Electric Potential

1-4 فرقُ الكمون الكهربائيّ بينَ نقطتَين:

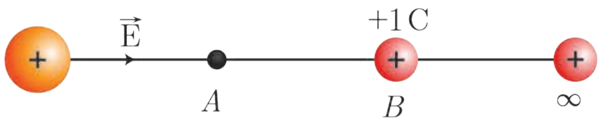
لنتأمَّل فُقاعة صغيرة من الهواء في أنبوبٍ زجاجيّ مُغلَق، يحوي ماءً موضوعاً على سطح مِنضَدة أفقيَّة.

- أضعُ الأنبوبَ بشكل شاقولي. هل تتحرّك فقاعة الهواء؟
- أضعُ الأنبوبَ بشكل مائِل من أحد طرفَيه. بأيّ اتّجاه تتحرّك فقاعة الهواء؟

هل يُمكن للشُّحنة الكهربائيّة الموضوعة في منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيّ أن تسلكَ سلوكَ فُقاعة الهواء في حركتها؟

2-4 العلاقةُ بينَ فرقِ الكمون وعمل القوّة الكهربائيّة

- أضعُ شحنةً نقطيّة موجبة q' في نقطة A من منطقةٍ يسودُها حقل كهربائي.
- تتأثّر الشُّحنة q' بالقوّة الكهربائيّة $\vec{F}$، فتنتقل من النقطة A إلى نقطة B.



- اكتب عبارةَ الطاقة الكامنة الكهربائيّة للشُّحنة q' في كلٍّ من النقطتَين (B, A)
- اكتب العلاقةَ بينَ عمل القوة الكهربائية وتغيُّر الطاقة الكامِنة الكهربائيّة.
- استنتج علاقة فرق الكمون الكهربائي بين النقطتين (B, A) بدلالة عمل القوّة الكهربائيّة.
- استنتج تعريف فرق الكمون الكهربائي بين نقطتين من خلال ما سبق.

$$E_{PB} = q' V_B \qquad E_{PA} = q' V_A$$

$W_{A\to B} = -\Delta E_P$ حسب نظريّة الطاقة الكامنة.

$$W_{A\to B} = -(E_{PB} - E_{PA})$$
$$W_{A\to B} = (E_{PA} - E_{PB})$$
$$W_{A\to B} = (q' V_A - q' V_B)$$
$$W_{A\to B} = q' (V_A - V_B)$$
$$V_A - V_B = \frac{W_{A\to B}}{q'}$$

$$U_{AB} = V_A - V_B$$
$$U_{AB} = \frac{W_{A\to B}}{q'}$$

- **أستنتج أن فرق الكمون الكهربائي بين نقطتين هو مقدار العمل المبذول لنقل وحدة الشحنات الموجبة بين النقطتين بعكس اتجاه الحقل الكهربائي، أي هو مقدار الطاقة الكامنة الكهربائية التي تكتسبها وحدة الشحنات الموجبة عند نقلها بين النقطتين بعكس اتجاه الحقل الكهربائي.**

أفكر وأجيب:

اعتماداً على العلاقة $U_{AB} = \dfrac{W_{A\to B}}{q'}$

- ما وحدةُ فرق الكمون في الجملة الدوليّة؟
- بفرض أنّ الشُّحنة المُنتقِلة بينَ النقطتَين (B, A) هي إلكترون، وعلى فرض أنّ فرقَ الكمون بينَ النقطتَين يساوي (1) فولت. استنتج قيمةَ العمل المبذول.

– إنّ وحدة قياس فرق الكمون في الجملة الدولية هي الفولت $1\,(\text{Volt}) = \dfrac{1\,(\text{J})}{1\,(\text{C})}$

ويُعرَّف الفولت بأنّه: فرق الكمون بين نقطتَين من منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيّ، إذا انتقلت بينَهما شحنة نقطيّة مقدارها 1C، كانَ عمل القوّة الكهربائيّة في أثناء انتقالها مُساوياً 1J.

– إذا كانَت الشّحنة المُنتقِلة بينَ النّقطتَين في منطقة الحقل إلكتروناً، نجدُ أنّ العمل المبذول:

$$W_{A\to B} = e\,(V_A - V_B)$$

$$W_{A\to B} = e\,(1\text{V}) = 1.6\times 10^{-19}\,(\text{C})\times 1\,(\text{V}) = 1.6\times 10^{-19}\,\text{J}$$

$$1e\text{V} = 1.6\times 10^{-19}\,\text{J}$$

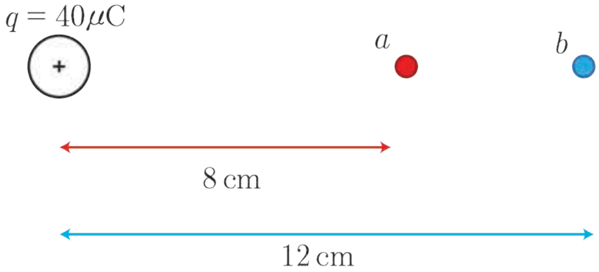
وبالتالي يعرّف الإلكترون فولت بأنَّه العمل المصروف على نقل إلكترون بينَ نقطتَين من منطقة يسودُها حقل كهربائيّ، فرق الكمون بينَهما فولت واحد.

أو الطّاقة الحركيّة التي يكتسبُها الإلكترون عندَما ينتقلُ بينَ نقطتَين في منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيّ فرق الكمون الكهربائي بينَهما يساوي فولتاً واحداً.

أستنتج:

إنَّ فرقَ الكمون بينَ نقطتَين من منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيٌّ ساكن:

- يحدِّد التغيّر الطارئ على الطاقة الكامِنة للشُّحنة عندَما تنتقلُ بين هاتَين النقطتَين.
- يحدِّد الحركة التلقائيّة للشُّحنات الكهربائيّة، فتنتقلُ الشُّحنات الموجِبة من الكمون المُرتِفع إلى الكمون المُنخفِض، والشُّحنات السالبة تنتقلُ من الكمون المُنخفِض إلى الكمون المُرتفِع.
- $U_{BA} = V_B - V_A$
  $U_{BA} = -(V_A - V_B)$
- لا يتعلّق بالطّريق المسلوك.



تطبيق (1)

من الشّكل المجاور أحسبُ:

1. فرقَ الكمون بين النقطتين a و b.
2. العملَ المبذول لنقل إلكترون من a إلى b.

علماً أنّ: $e = 1.6 \times 10^{-19} C$

الحلّ:

.1

$$V_a = 9 \times 10^9 \frac{q}{d_a}$$

$$V_a = 9 \times 10^9 \times \frac{40 \times 10^{-6}}{8 \times 10^{-2}} = 4.5 \times 10^6 \text{volts}$$

$$V_b = 9 \times 10^9 \frac{q}{d_b}$$

$$V_b = 9 \times 10^9 \times \frac{40 \times 10^{-6}}{12 \times 10^{-2}} = 3 \times 10^6 \text{volts}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b$$

$$U_{ab} = (4.5 - 3) \times 10^6 = 1.5 \times 10^6 \text{volts}$$

.2

$$W_{a \to b} = qU_{ab}$$

$$W_{a \to b} = -1.6 \times 10^{-19} (1.5 \times 10^6) = -2.4 \times 10^{-13} J$$

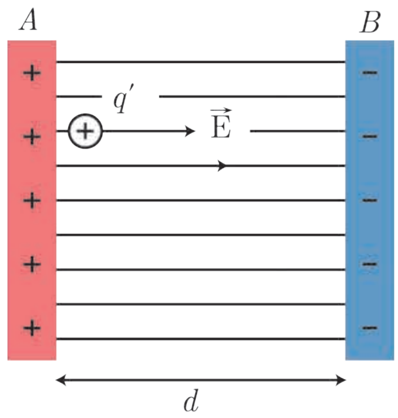
3-4 العلاقةُ بين شدَة الحقل الكهربائيّ المنتظم وفرق الكمون :

ألاحظُ وأجيبُ:

في الشكل المجاور:

- ماذا أسمّي الحقل الكهربائيّ المُتولِّد بين الصفيحتَين، وما جهته؟
- ما العملُ الناتج من الانتقال التلقائيّ للشحنة الموجِبة q' من الصفيحة المُستوية A إلى الصفيحة المُستوية B ؟

نعلم أنَّ:



$$W_{A\to B} = Fd = q'Ed$$

وكذلك:

$$W_{A\to B} = q'U_{AB}$$

بالمساواة بين العلاقتين

$$W_{A\to B} = q'Ed = q'U_{AB}$$

$$U_{AB} = Ed \Longrightarrow E = \frac{U_{AB}}{d} = \frac{V_A - V_B}{d}$$

ومن العلاقة الأخيرة نستدل على وحدة جديدة لقياس شدة الحقل الكهربائي هي فولت / متر $(\frac{V}{m})$ وهي تكافئ الوحدة نيوتن / كولوم $(\frac{N}{C})$.

تطبيق (2)

إذا كانَ فرقَ الكمون الكهربائيّ بينَ صفيحتَين مُستويتَين مُتوازيتَين مَشحونتَين بشحنتَين مُختلِفَتين يساوي $240\ V$، والمسافة بينَهما $0.8\ cm$، فأحسبُ شدَّة الحقل الكهربائيّ المُنتظم بين الصفيحتَين.

الحلّ:

$$E = \frac{U_{AB}}{d} = \frac{240}{0.008} = 30000\ V.m^{-1}$$

تعلّمت

- العلاقة بين فرق الكمون وعمل القوّة الكهربائيّة $U_{AB} = \frac{W_{A\to B}}{q'}$.
- **الإلكترون فولت:** هو العملُ المصروف على نقل إلكترون بين نقطتَين من منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيّ فرق الكمون بينَهما فولت واحد. $1eV = 1.6\times10^{-19}\,J$
- فرق الكمون بين نقطتَين من منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيّ ساكن:
  - يحدِّد التغيُّر الطارئ على الطاقة الكامِنة للشُّحنة عندَما تنتقلُ بين هاتَين النقطتَين.
  - يحدِّد الحركة التلقائيّة للشّحنات الكهربائيّة، فتنتقلُ الشُّحنات الموجبة من الكمون المُرتفِع إلى الكمون المُنخفِض، والشُّحنات السالِبة تنتقلُ من الكمون المُنخفِض إلى الكمون المُرتفِع.
  - $U_{BA} = V_B - V_A$ ، $U_{BA} = -(V_A - V_B)$
  - لا يتعلّق بالطريق المسلوك.
- العلاقة بينَ شدّة الحقل الكهربائيّ وفرق الكمون $U_{AB} = Ed \Longrightarrow E = \frac{U_{AB}}{d} = \frac{V_A - V_B}{d}$

أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابة الصّحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1. إذا كانَ العمل المبذول لنقل شحنةٍ مقدارُها $10\mu C$ بينَ نقطتَين من منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيّ ساكن يساوي $0.01\,J$ ، فإنَّ فرقَ الكمون بين هاتَين النقطتَين يُساوي:

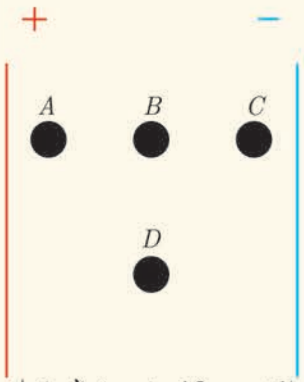
a. $10^3\,V$ **b.** $10^{-3}\,V$ **c.** $10^2\,V$ **d.** $10^{-2}\,V$

2. إذا كانَ فرقُ الكمون بين نقطتَين $U_{AB} = 10^3\,V$ ، وهما ضمن منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيّ مُنتظَم شدّتُه $10^4\,N/C$ ، فإنّ البُعد بينَ النقطتَين:

a. $1\,m$ **b.** $1\,cm$ **c.** $0.1\,m$ **d.** $0.1\,cm$

3. في الشّكل المُجاورِ ينعدمُ فرقُ الكمون الكهربائيّ بينَ النقطتَين:

a. (A,B) **b.** (A,C) **c.** (B,D) **d.** (D,A)



4. إذا أثَّرت قوّة كهربائيّة شدّتها $2\times10^{-2}\,N$ على شحنة كهربائيّة، فانتقلَت مسافة $10\,cm$ ضمنَ الحقل الكهربائي المُنتظم، فيكون عمل هذه القوة مساوياً لـ:

a. $10\,J$ **b.** $1000\,J$ **c.** $1/1000\,J$ **d.** $1/500\,J$

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1. هل يتطلب تحريك شحنة على سطح ناقل مشحون ومعزول إنجاز عمل؟وضّح السبب.

2. ناقلان كرويان متساويان قطراً أحدهما مجوّف والآخر مصمت. أيّ منهما يستوعب شحنة أكثر؟ وضّح السبب.

3. إذا كانت شدة الحقل الكهربائي عند نقطة من ناقل تساوي الصفر. فهل يجب أن يكون الكمون مساوياً الصفر؟ وضّح إجابتك.

ثالثاً: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

بين نقطتين (b,a) فرق كمون كهربائي قدره $6\ \mathrm{V}$ احسب قيمة العمل الذي تقوم به القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة كهربائية قيمتها $300\mu\mathrm{C}$ عندما تنتقل بين النقطتين السابقتين.

المسألة الثانية:

نضع جسيماً كتلته $m = 10^{-3}\mathrm{g}$ مشحوناً بشحنة $q = 1\mu\mathrm{C}$ في منطقة يسودها حقل كهربائي منتظم شدّته $E = 10^{4}\mathrm{V/m}$ ونتركه دون سرعة ابتدائية. **المطلوب:**

1. برهن أن حركة الجسيم في المنطقة هي حركة مستقيمة متسارعة بانتظام، وذلك بإهمال ثقله.

2. حساب تغيّر الطاقة الكامنة للجسيم عندما يقطع مسافة $10\ \mathrm{m}$.

3. حساب سرعة الجسيم بعد أن يقطع المسافة السابقة $10\ \mathrm{m}$.

المسألة الثالثة:

AB قطر أفقي لنصف دائرة طوله $5\ \mathrm{cm}$، نضع في النقطة A شحنة نقطية $q_1 = 10 \times 10^{-9}\mathrm{C}$، وفي النقطة B شحنة نقطية $q_2 = -30 \times 10^{-9}\mathrm{C}$ **المطلوب.** حساب:

1. قيمة الكمون الكهربائي في كل من النقطتين (N, M) الواقعتين على محيط نصف الدائرة حيث: $AN = 4\mathrm{cm}$ ، $AM = 3\ \mathrm{cm}$

2. قيمة فرق الكمون الكهربائي $V_N - V_M$

3. قيمة العمل الكهربائي اللازم لانتقال الشحنة $q' = \frac{10}{3} \times 10^{-9}\mathrm{C}$ من النقطة N إلى النقطة M.

مشروع دراسة آلية عمل ماكينة تصوير المستندات

مقدمة:

تستخدم ماكينة تصوير المستندات مبدأ جذب الشحنات المتعاكسة.

الهدف العام:

الاستفادة من أساسيات الكهرباء الساكنة في الحياة اليومية وسوق العمل.

أهداف المشروع:

1. دراسة أجزاء ماكينة تصوير المستندات.
2. دراسة آلية عمل ماكينة تصوير المستندات.

مراحل المشروع:

أولاً – التخطيط:

- البحث في مراحل تطور عمل ماكينة تصوير المستندات.
- البحث في مبدأ جذب الشحنات الكهربائية المتعاكسة.

ثانياً – التنفيذ:

- يتم توزيع الطلاب إلى مجموعتين:
  - المجموعة الأولى: مهمتها دراسة أجزاء ماكينة تصوير المستندات.
  - المجموعة الثانية: مهمتها دراسة آلية عمل ماكينة تصوير المستندات.
  - المجموعة الثالثة: البحث عبر الشابكة عن أنواع مختلفة لماكينات تصوير المستندات وقدرتها الإنتاجية والجدوى الاقتصادية لكل منها.

ثالثاً – التقويم:

مناقشة النتائج ومقارنتها وإعداد تقرير كامل حول عمل كل جزء من ماكينة تصوير المستندات ودور أساسيات الكهرباء الساكنة فيها.

5-3

التيارُ الكهربائيُّ المُستمِرّ

الأهداف:

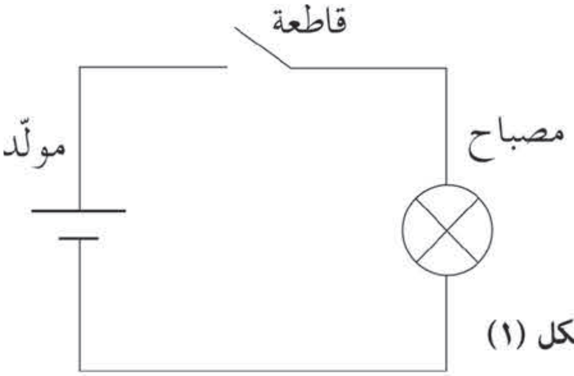
* يتعرّف التيار الكهربائيّ المُستمِرّ ويعدِّد منابعه.
* يتعرَّف العقدة الكهربائيّة.
* يستنتج تجريبيّاً خاصّيات التيار.
* يطبّق قانونَ كيرشوف في العقدة الكهربائيّة.
* يستنتج تجريبيّاً خاصّيات فرق الكمون الكهربائيّ.
* يطبق علاقة شال على فرق الكمون الكهربائيّ في الدارة الكهربائيّة.
* يتعرَّف القوّةَ المُحرّكة الكهربائيّة لمولِّد.
* يتعرّف قانونَ جمع المولِّدات على التسلسُل.
* يتعرّف قانونَ جمع المولّدات على التفرُّع.
* يطبق قانونَ كيرشوف في الحلقة (العروة).

الكلمات المفتاحية:

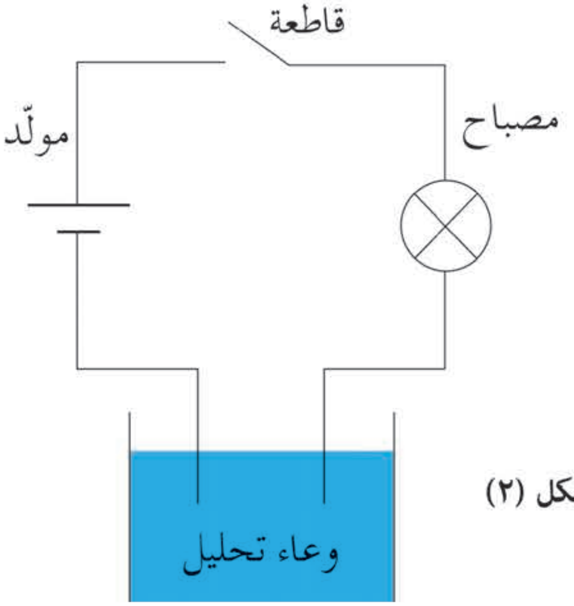
* التيار الكهربائيّ المُستمِرّ.
* أيُون موجِب.
* أيُون سالِب.
* ثُنائي قطب.
* العقدة الكهربائيّة.
* القوّة المُحرِّكة الكهربائية لمولّد.
* مُقاومة أوميّة.

- يعمـلُ المولِّـد الكهربائـي كمـا تعمـلُ المضخَّـة المربوطـة علـى طرفَـي حـوض مـاء، تُحـدِث المضخَّـة فرقـاً فـي الضّغـط بيـن طرفَـي الأنبـوب، فيتحـرَّك المـاء من الضَّغط المُرتفِع إلى الضّغط المُنخفِض عبر الأنبوب، وإذا عـاد المـاء إلـى الحـوض ثانيـةً فـإنَّ كميّتـه تبقـى ثابتـة.
- وتُعـدُّ البطاريـات والمُدَّخـرات (المولّـد الكهربائـي) مـن مصـادر التيـار الكهربائـي المُسـتمِرّ التـي تقـدّم الطاقـة الكهربائيّـة اللازمـة لعمـل بعـض الأجهـزة الكهربائيّـة.

1-4 التيّار الكهربائيّ المُستمِرّ (المَتواصِل DC)



شكل (١)



شكل (٢)

أُجَرّب وأستنتجُ:

لإجراء التّجربة أحتاج إلى:

- مولِّد.
- مِصباح.
- وعاء تحليل كهربائيّ.
- قاطعة.
- أسلاك توصيل.

خطوات التجّربة:

1. أركّبُ الدارة الموضَّحة في الشّكل (١): أُغلِق القاطِعة، ماذا أُلاحظ؟
2. أركِّب الدارة الموضَّحة في الشكل (٢).
3. أغمسُ المَسريَين في ماءٍ مُقطَّر وأُغلِق القاطعة.
   - هل يضيءُ المِصباح؟ ماذا أستنتجُ؟
4. أضيفُ بلوراتٍ من ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) إلى الماء تدريجيّاً، ماذا ألاحظ؟
5. أحرّك المحلول الملحيّ، هل تزدادُ إضاءَة المِصباح؟ ماذا أستنتج؟

إذا طُبق فرق كمون كهربائيّ بين طرفَي دارة كهربائيّة مُغلَقة تولَّد حقل كهربائيّ يجعل حاملات الشّحنة تتحرَّك حركةً مُنتظَمة، تسمّى الحركة المُنتظَمة للشّحنات بالتّيار الكهربائيّ.

- ينشأ التيار الكهربائي في النواقل المعدنيّة عن حركة الإلكترونات الحرّة من الكمون المنخفض إلى الكمون المرتفع، بينما ينشأ التيار الكهربائيّ في المحاليل المائيّة القابلة للتأيّن عن حركة الأيونات الموجبة والأيونات السالبة.
- ندعو كلاً من الإلكترونات الحرّة والأيونات الموجِبة والأيونات السالِبة، حاملات الشّحنة.

وجدنا من التجربة السّابقة أنَّ:

- الماء المقطَّر رديء النقل للتيار الكهربائي.
- عند إضافة ملح كلوريد الصوديوم أضاءَ المِصباح، لأنَّ إذابةَ ملح كلوريد الصوديوم يحرِّر أيُونات الكلور Cl^- السالِبة وأيُونات الصوديوم Na^+ الموجِبة التي تحقّق مرور التيار.
- عند تحريك المحلول الملحيّ تزدادُ عدد الأيونات المُتحرّرة، ممَّا يزيدُ من إضاءة المصباح.

أستنتجُ:

- شدّة التيّار الكهربائيّ تتوقّف على عدد حاملات الشّحنات الكهربائيّة القابلة للحركة، وتزدادُ شدّة التيار بازدياد عدد حاملات الشّحنة المتحركة.
- شدّة التيار الكهربائي مقدار فيزيائيّ يعبِّر عن عدد حاملات الشّحنات الكهربائية التي تجتازُ مقطع من ناقلٍ خلال وحدة الزمن، عندما تنتقلُ بجهة واحدة.
- فإذا كانَ عدد حاملات الشّحنات التي تجتاز مقطع الناقل ثابتاً مع مرور الزمن وتنتقل بجهة ثابتة، قلنا إنّ التيّار **مُستمِرٌّ (مُتواصِل).**
- تُعطَى شدّة التيّار الكهربائيّ في المعدن بالعلاقة: $I = \frac{q}{\Delta t}$

q : القيمة المُطلَقة لكمّية الكهرباء وحدة قياسُها كولوم (C)، وتُعطَى بالعلاقة: $q = ne$.

حيث n : عددُ الإلكترونات الحرّة. e : القيمة المُطلَقة لشحنة الإلكترون وتساوي $e = 1.6 \times 10^{-19} \mathrm{C}$.

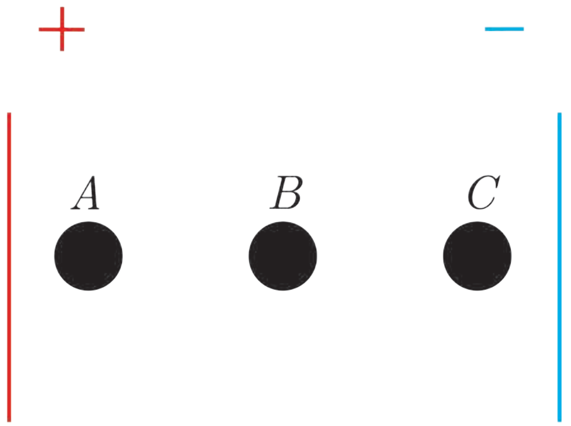
Δt : زمن مرور التيّار، وحدةُ قياسها ثانية s.

I : شدّة التيار وحدةُ قياسها أمبير A.

إضاءة

- يتمُّ مرور التّيار الكهربائيّ في ناقل معدني نتيجة انتقال مستمر لمجموعة الإلكترونات الحرّة بحركة إجماليّة من رتبة الميليمتر في الثانية.
- ندعو كلّ من المولّد والمصباح الكهربائي ووعاء التحليل بثُنائيّ قطب؛ لأنَّ له قطبَين، أحدُهما لدخول التيار، والآخر لخروجه.

2-4 قانونا كيرشوف



أُجَرِب وأستنتجُ:

لإجراء التّجربة أحتاج إلى:

- مُقاومات مُختلِفة.
- عدّة مقاييس أمبير.
- مولِّد كهربائيّ يُعطي قيماً مُختلِفة للتوتّر الكهربائي.

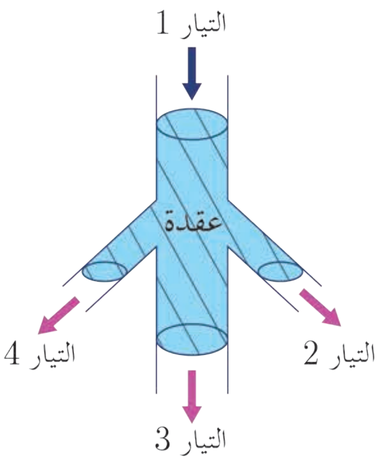
خطوات التّجربة:

1. أركّبُ الدّارة الموضّحة **بالشكل المُجاورِ:** أغلقُ القاطِعة.
2. أقيسُ I_1 قيمةَ شدّة التيّار المارّة في المُقاومة R_1.
3. أقيسُ I_2 قيمةَ شدّة التيّار المارّة في المُقاومة R_2.

4. أقيسُ I قيمةَ شدّة التيّار المارّة في المُقاومة R.
5. أعيدُ كلّاً ممّا سبقَ من أجل قيمٍ مُختلِفة للتوتّر الكهربائيّ بينَ طرفي المولّد.

أسجِّل النتائج في الجدول الآتي:

رقم التجربة	I_1	I_2	I	I_1+I_2



- ما طريقةُ وصل R_1 مع R_2؟
- ما العلاقةُ بين شدّة التيّار I وشدتي التيارين (I_1+I_2)؟
- ما هي عددُ النواقل المُلتقية عند النقطة a، وعند النقطة b؟

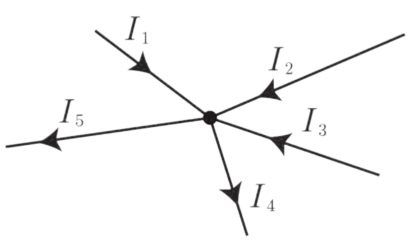
أستنتج:

- **العقدة** نقطة التقاء ثلاثةِ نواقلَ على الأقلّ.
- في الدّارة السابقة توجَد عقدتان: العقدة a، والعقدة b.

3-4 قانون كيرشوف الأول (قانون العقد) (قانون مصونيّة الشّحنة الكهربائيّة)

ينصّ:

«مجموع شِدّات التيّارات الكهربائيّة الدّاخلة إلى عقدة يساوي مجموع شِدّات التيّارات الكهربائيّة الخارِجة منها».



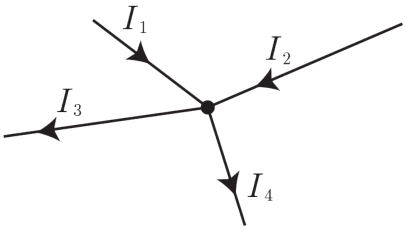
من الشكل المُجاور نجدُ:

$$I_1+I_2+I_3=I_4+I_5$$
$$I_1+I_2+I_3-I_4-I_5=0$$

أستنتجُ:

المجموع الجبريّ لشدّات التيّارات عند عقدةٍ في دارة كهربائيّة مُغلَقة يساوي الصّفر ويُكتَب: $\Sigma I=0$

تطبيق (1)



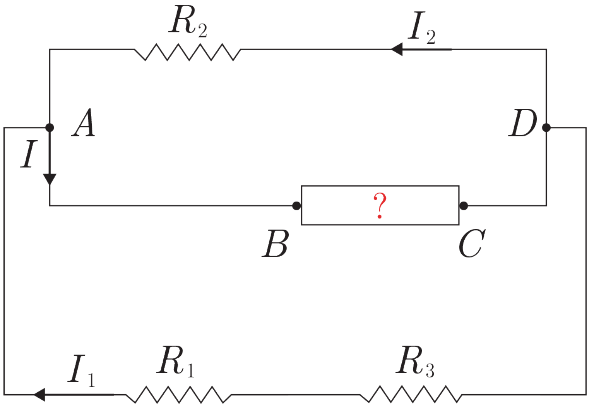
احسب شدّة التيّار I_4 الموضَّحة في الشكل عِلماً أنَّ:

$$I_1 = 3A \qquad I_2 = 10A \qquad I_3 = 5A$$

حسب قانون كيرشوف الأول:
مجموع شِدَّات التيّارات الداخلة في العقدة = مجموع شِدَّات التيَّارات الخارجة منها.

$$I_4 + I_3 = I_1 + I_2$$
$$I_4 + 5 = 3 + 10$$
$$I_4 = 8A$$

تطبيق (2)



حُدِّدت جهة وشدّة التيّار في فرعَين من الدّارة المُمثَّلة **في الشّكل المُجاوِر:** $I_1 = 2A \quad I_2 = 5A$

المطلوب:

1. استنتِج شدّة التيّار المارّة في المُقاوَمة R_3.

2. عيّن جهة وشدّة التيّار المارّ في ثُنائيِ القطب BC (وتعني إشارةَ الاستفهام أنَّ طبيعة ثُنائيّ القطب مجهولة).

3. إذا علِمت أنَّ ثُنائي القطب BC عبارة عن مولّد. حدّد القطب الموجِب والقطب السالب للمولّد.

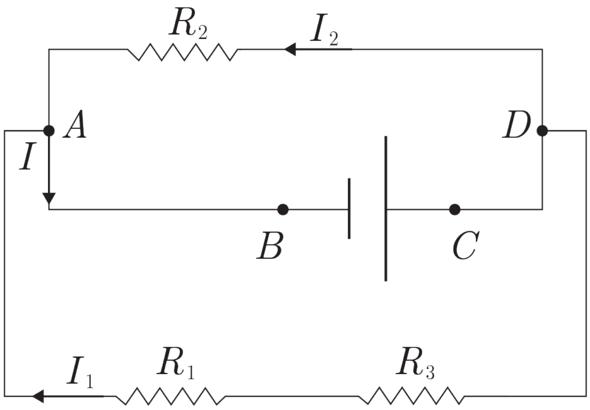
الحلّ:

1. تكونُ شدّة التيّار ذاتها وتساوي 2A في المقاومتين (R_3,R_1) الموصولتين على التسلسُل.

2. النقطة A تمثِّل نقطة التقاء ثلاثة نواقل فهي عقدة.

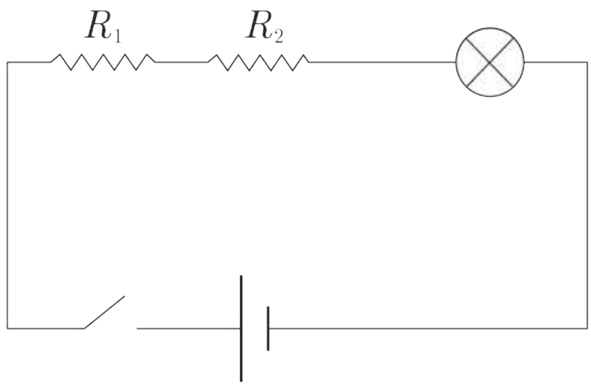
حسب قانون كيرشوف الأول:
مجموع شِدّات التيّارات الداخلة في عقدة تساوي مجموع شِدَّات التيّارات الخارجة منها.

$$I_1 + I_2 = I$$
$$5 + 2 = I$$
$$I = 7A$$



3. جهة التيّار من القطب الموجِب إلى القطب السّالب حسب اصطلاح أمبير.
نلاحظ أنَّ التيّار I يدخل إلى النقطة B، وبالتالي تشكّل النقطة B القطب السّالب، بينَما تشكِّل النقطة C القطب الموجب لأنَّ التيار يخرج منها.

4-4 خاصيّات فرق الكمون الكهربائي



أجرب وأستنتج

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

- مُقاوَمات مُختلِفة.
- مقياس فولط.
- مولّد كهربائي.
- أسلاك توصيل.
- مصباح.

تجربة (1):

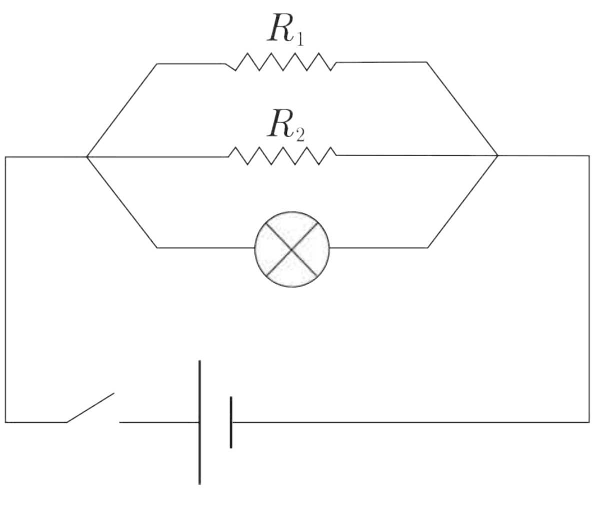
خطوات التجربة:

1. أركّب الدّارة الموضّحة **في الشكل المُجاور**.
2. أقيسُ فرق الكمون الكهربائي بينَ طرفَي كلّاً من: المولّد والمُقاومة R_1 والمُقاومة R_2 والمصباح $U\ U_1\ U_2\ U_3$ على الترتيب عندَما تكونُ القاطعة مفتوحة.
3. أُغلِقُ القاطِعة، ثمَّ أقيسُ فرق الكمون الكهربائي بينَ طرفَي كلّاً من: المولّد و المُقاومتَين والمصباح.
4. أسجّل النتائج في الجدول الآتي:

التجربة	U	U_1	U_2	U_3	$U_1+U_2+U_3$
1					
2					

- قارِن بينَ فرق الكمون الكهربائي بينَ طرفَي المولّد ومجموع التوتُّرات بين طرفَي كلٍّ من المقاومتَين والمصباح عندما تكونُ القاطِعة مُغلَقة، ماذا تستنتجُ؟

تجربة (2):



- أعيدُ وصلَ كلّاً من R_1 و R_2 والمِصباح على التفرُّع كما **في الشّكل المُجاور**:
- أعيدُ الخطوات السّابقة في التجربة (1).

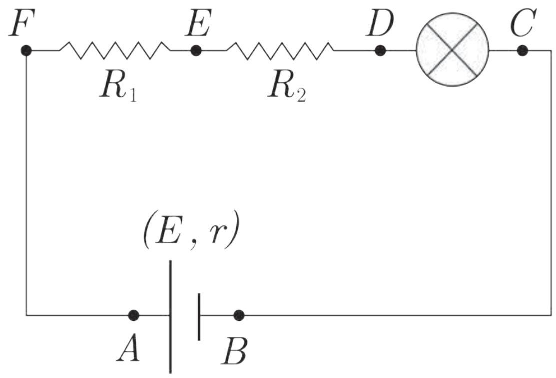
5. أُسجّل النتائج في الجدول الآتي:

التجربة	U	U_1	U_2	U_3
1				
2				

• ماذا أستنتج ممّا حصلتُ عليه؟

أستنتجُ من التجربتيَن السابقتيَن أنَّ:

– فرق الكمون الكهربائيّ الكلّي بين طرفَي المولِّد، يساوي مجموع التوتُّرات الجزئية بين طرفَي ثُنائيات الأقطاب في الدّارة التسلسلية.



– في الدّارة الموضَّحة في الشكل:
حسب خاصّيات التوتّر:

– $U_{AB} = U_{AF} + U_{FE} + U_{ED} + U_{DC} + U_{CB}$

(علاقة شال)

وبما أنَّ مقاومة أسلاك التوصيل مهملة فإنّ فرق الكمون الكهربائي التوتّر بين طرفي كلّ سلك معدومٌ عمليّاً نكتبُ:

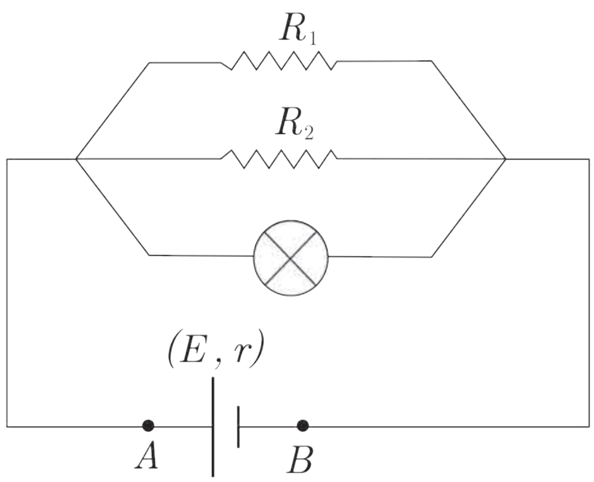
$$U_{AF} = U_{CB} = 0$$

فتصبح علاقة شال:

$$U_{AB} = U_{FE} + U_{ED} + U_{DC}$$

ملاحظة:

$$U_{AB} = -U_{BA}$$

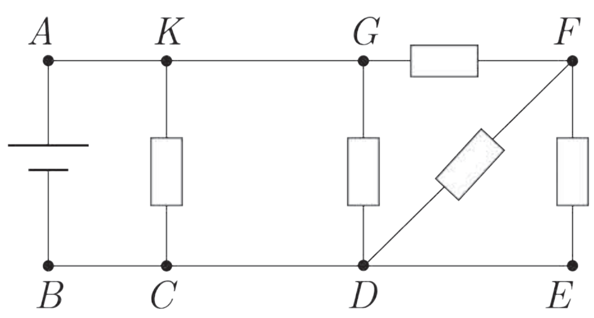


– فرق الكمون كهربائيّ الكلّي بين طرفي المولِّد، هو ذاته بين طرفَي كلّ فرعٍ من فروع الدّارة التفرُّعية.

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

تطبيق (3):

لاحظ الدّارة الآتية:



حيثُ الرمز ▭ يدلُّ على ثُنائي قطب.

احسب: U_{FE} , U_{DF} , U_{GD}

إذا علِمت أنَّ $U_{GF} = 4V$, $U_{KC} = 10V$

بفرض أنَّ فرق الكمون الكهربائيّ بين طرفَي أسلاك التوصيل مُهمَل.

الحلّ: حسب علاقة شال:

$$U_{GD} = U_{GK} + U_{KC} + U_{CD}$$
$$= 0 + 10 + 0$$
$$= 10V$$

حيثُ: $U_{CD} = U_{KG} = 0$ ؛ لأنَّ مقاومات أسلاك التوصيل مهملة.

حساب U_{DF}:

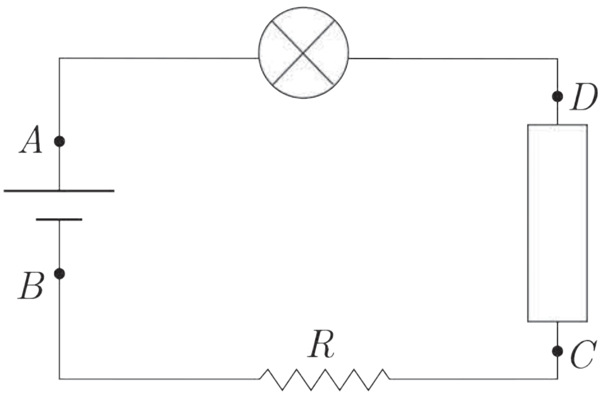
$$U_{DF} = U_{DG} + U_{GF}$$
$$= -10 + 4 \qquad \text{حيث } U_{DG} = -U_{GD} = -10V$$
$$= -6V$$

حساب U_{FE}:

طريقة أولى: $U_{FE} = U_{FG} + U_{GD} + U_{DE} = -4 + 10 + 0 = 6V$

طريقة ثانية: $U_{FE} = U_{FD} + U_{DE} = 6 + 0 = +6V$

تطبيق (4):



لتكن الدّارة الموضَّحة في الشكل المُجاور:

فإذا علِمتَ أنَّ:

$U_{AB} = 12V \quad U_{DC} = 4V \quad U_{BC} = -3V$

المطلوب:

1. احسب: U_{AD} , U_{CA} , U_{BD}

– حساب U_{AD}:

حسب علاقة شال:

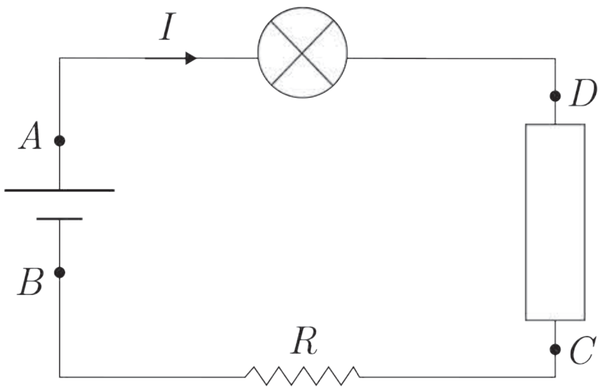
$$U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$$
$$= 12 - 3 - 4 = 5V$$

– حساب U_{CA}: $U_{CA} = U_{CD} + U_{DA} = -4 - 5 = -9V$

– حساب U_{BD}: $U_{BD} = U_{BC} + U_{CD} = -3 - 4 = -7V$

2. إذا كانَت شدّة التيّار المارّ في الدارة $0.6A$. حدِّد جهة التيّار، ثمَّ احسب قيمةَ المُقاومة الأوميّة.

إنَّ جهة التيّار حسب اصطلاح أمبير بعكس جهة حركة الإلكترونات الحرة؛ أي يخرجُ من القطب الموجِب ويدخلُ في القطب السالب فتصبح الدارة:



– حساب R: $U = RI$

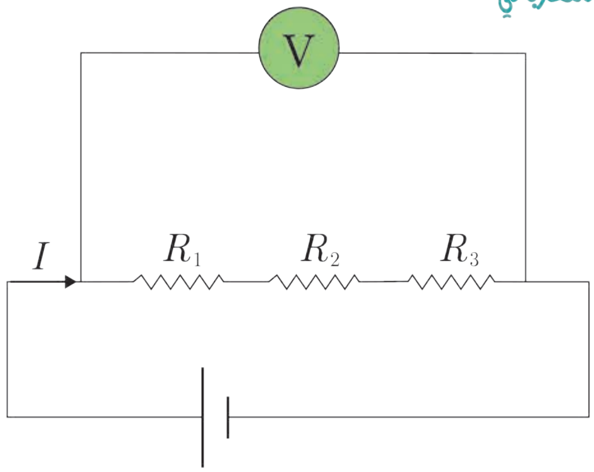
حسب قانون أوم: $R = \dfrac{U}{I} = \dfrac{3}{0.6} = 5\Omega$

3. أحسبُ كمّية الكهرباء المارّة في الدّارة خلال دقيقة واحدة.

$q = ? \qquad \Delta t = 60\,s$

$q = I \Delta t = 0.6 \times 60 = 36\,C$

5-4 تطبيقات خاصّيات التيّار وخاصّيات فرق الكمون الكهربائيّ



1-5-4 توصيل المُقاوَمات على التسلسُل:

نصلُ على التَّسلسل ثلاثة نواقل أوميّة مُقاوَمتها (R_1,R_2,R_3)

كما في الشّكل المجاور:

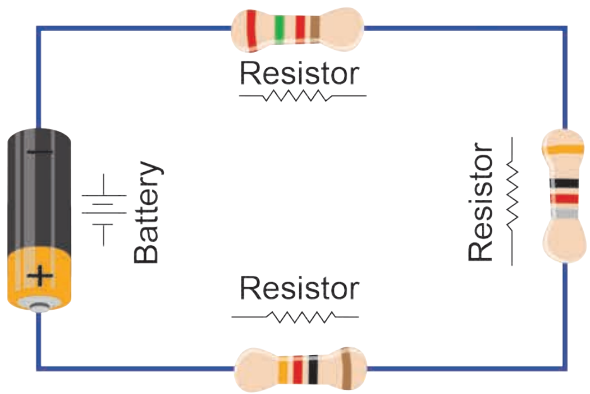
يجتازُ جميع المُقاومات التيّار I ذاته.

نطبّق علاقة شال:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

حسب قانون أوم:

$$U_{eq} = RI_{eq} \qquad U_1 = R_1I \qquad U_2 = R_2I \qquad U_3 = R_3I$$



نعوّض:

$$R_{eq} = R_1I + R_2I + R_3I$$
$$R_{eq} = (R_1 + R_2 + R_3)I$$

(قانون جمع المُقاومات على التّسلسُل):

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

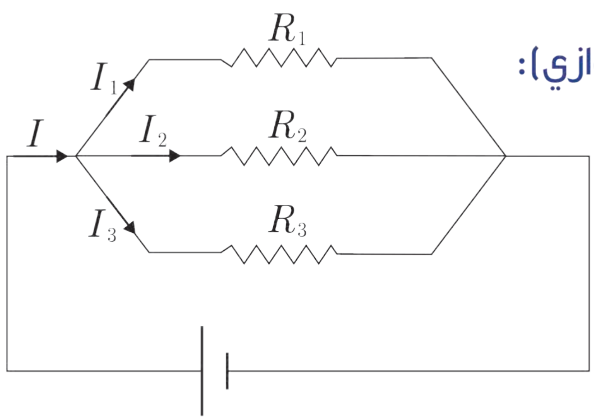
R: المُقاوَمة المُكافِئة.

- إذا عمّمنا على أكثرَ من ناقلٍ أومي موصول على التّسلسُل فإنَّ:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 .... + R_n$$

- إذا كانت المقاومات الأومية متماثلة وعددها n: $R_{eq} = nR_1$

يهدف وصل المقاومات على التسلسل للحصول على مُقاومة أومية كبيرة عند تطبيق توترات كبيرة.



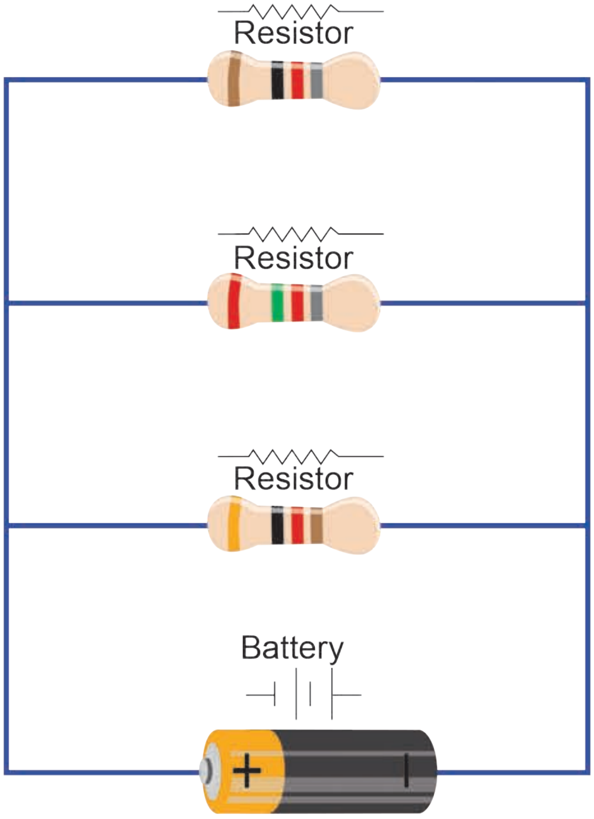
2-5-4 توصيل المُقاوَمات على التفرُّع (التوازي):

نصلُ على التفرُّع ثلاث مقاومات أوميّة (R_1,R_2,R_3).

- فرق الكمون ذاته في فروع الدّارة التفرُّعية كافةً.

وحسب قانون كيرشوف الأول (قانون العقد) نجدُ:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$



حسب قانون أوم:

$$I = \frac{U}{R_{eq}} \quad , \quad I_1 = \frac{U}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \quad , \quad I_3 = \frac{U}{R_3}$$

$$\frac{U}{R_{eq}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

(قانون جمع المُقاوَمات على التفرُّع):

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

R: المُقاومة المُكافِئة

- إذا كانت المُقاوَمات مُتماثِلة وموصولة على التفرُّع، وعددُها n:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots\dots\dots + \frac{1}{R_n} = \frac{n}{R_1}$$

$$R_{eq} = \frac{R_1}{n}$$

يهدفُ وصل المُقاوَمات على التفرُّع للحصول على مُقاوَمة صغيرة لزيادة شدّة التيّار.

تطبيق (5):

إذا كانت المُقاوَمة المُكافِئة لمُقاومتَين موصولتَين على التسلسُل 9Ω، والمُقاومة المُكافِئة لهما عند وصلِهما على التفرُّع 2Ω. أوجد قيمةَ كلٍّ منهما.

الحلّ:

نفرضُ أنَّ مُقاوَمة الناقلَين: R_1 و R_2

– عندَ وصل المُقاومتَين على التسلسُل:

$$R = R_1 + R_2$$

$$9 = R_1 + R_2 \qquad (1)$$

– عند وصل المُقاومتَين على التفرُّع:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \qquad (2)$$

من (1):

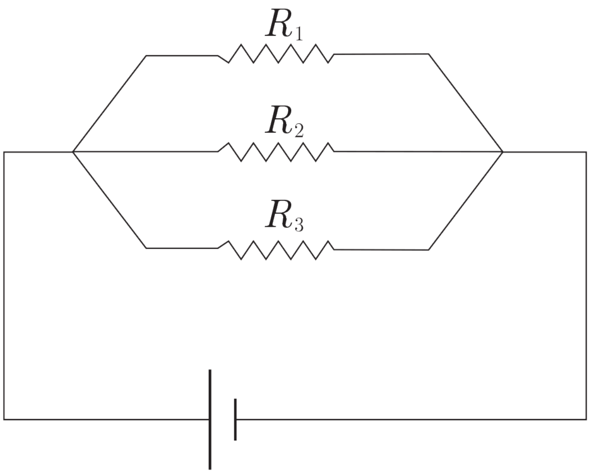
$$R_1 = 9 - R_2$$

نعوض في (2):

$$\frac{1}{2}=\frac{1}{9-R_2}+\frac{1}{R_2}$$
$$\frac{1}{2}=\frac{R_2+9-R_2}{(9-R_2)R_2}$$
$$\frac{1}{2}=\frac{9}{(9-R_2)R_2}$$
$$R_2(9-R_2)=18$$
$$R_2^2-9R_2+18=0$$
$$(R_2-3)(R_2-6)=0$$

$R_1=3\,\Omega$ ومنه $R_2=6\,\Omega$ أو $R_1=6\,\Omega$ ومنه $R_2=3\,\Omega$

تطبيق (6):



ثلاث مُقاوَمات موصولة على التفرُّع كما في الشكل المجاور.

حيث: $R_3=30\,\Omega$ ، $R_2=10\,\Omega$ ، $R_1=5\,\Omega$.

المطلوب حساب:

1. قيمة المُقاومة المُكافِئة R_{eq}.
2. فرق الكمون الكهربائي بين طرفَي المولد إذا كانَت شدّة التيّار المارّ في الدّارة 6A.
3. قيمة شدّة التيّار المارّ في كلّ فرعٍ من الدّارة.
4. كمّية الكهرباء المارّة في المُقاومة R_3 خلال دقيقة واحدة.

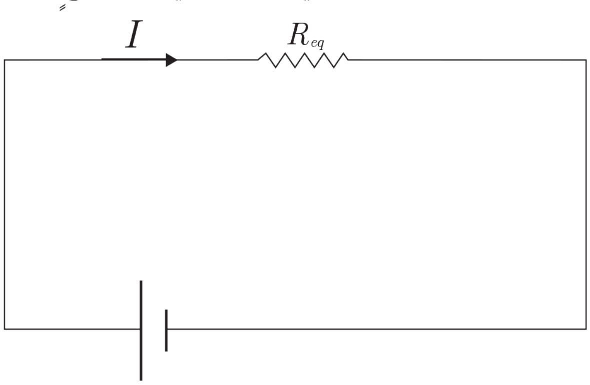
الحلّ:

.1
$$\frac{1}{R_{eq}}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$$
$$=\frac{1}{5}+\frac{1}{10}+\frac{1}{30}$$

وبالتالي
$$R_{eq}=3\,\Omega$$

.2
$$U_{eq}=R_{eq}I=3\times 6$$
$$U_{eq}=18\text{V}$$

.3 إنَّ فرق الكمون الكهربائيّ بين طرفَي المولد، يساوي فرق الكمون الكهربائيّ بين طرفَي كلّ فرعٍ؛ لأنَّ الدّارة موصولة على التفرُّع:



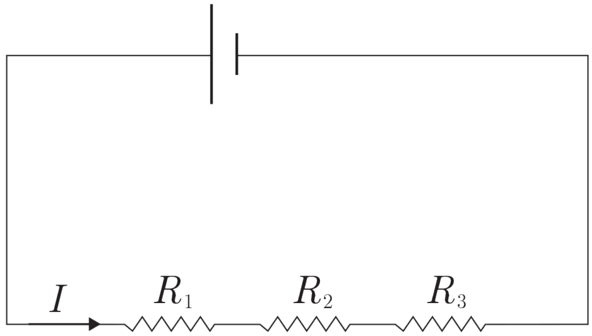
$$I_1=\frac{U}{R_1}=\frac{18}{5}=3.6\text{ A}$$
$$I_2=\frac{U}{R_2}=\frac{18}{10}=1.8\text{ A}$$
$$I_3=\frac{U}{R_3}=\frac{18}{30}=0.6\text{ A}$$

.4
$$q=I_3\,\Delta t=0.6\times 60=36\,\text{C}$$

تطبيق (7):

ثلاثة نواقل أوميّة مجهولة القيمة موصولة على التسلسُل **كما في الشكل المُجاوِر.**

ويمرُّ فيها تيارٌ شدّته $I = 5A$، وصلت هذه الدارة مع مُقاوَمة $R' = 2\,\Omega$ على التسلسُل، فانخفضَت شدّة التيّار المارّة في الدّارة إلى $I' = 4A$. أحسب المُقاوَمة الكليّة للدّارة قبلَ وصل المُقاومة R'.

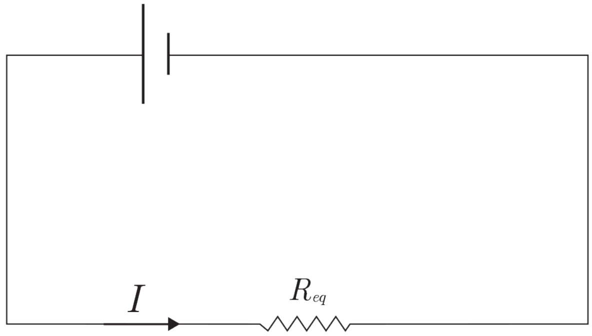


الحلّ:

نستبدل المُقاوَمات الثلاثة بمُقاومةٍ مُكافِئة R_{eq}.

نطبّق قانون أوم على هذه الدّارة $U = RI$

$$U = 5R \qquad (1)$$



تصبحُ المُقاوَمة الكلّية بعد وصل المُقاوَمة R' على التسلسُل $(R+2)\,\Omega$

نطبق قانون أوم:

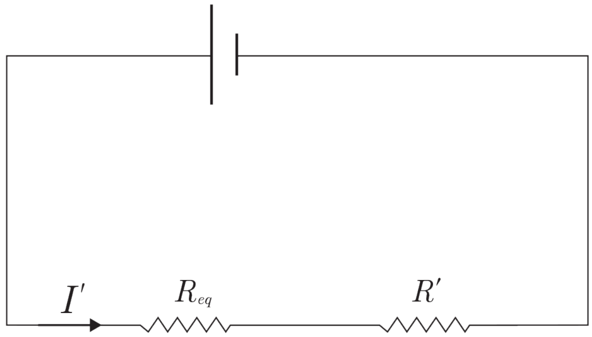
$$U = (R_{eq}+2)I'$$

$$U = 4(R+2) \qquad (2)$$

بما أنَّ فرق الكمون الكهربائيّ هو ذاته، بالمُساواة بين العلاقتَين السابقتَين نجدُ:

$$5R_{eq} = 4(R_{eq}+2)$$

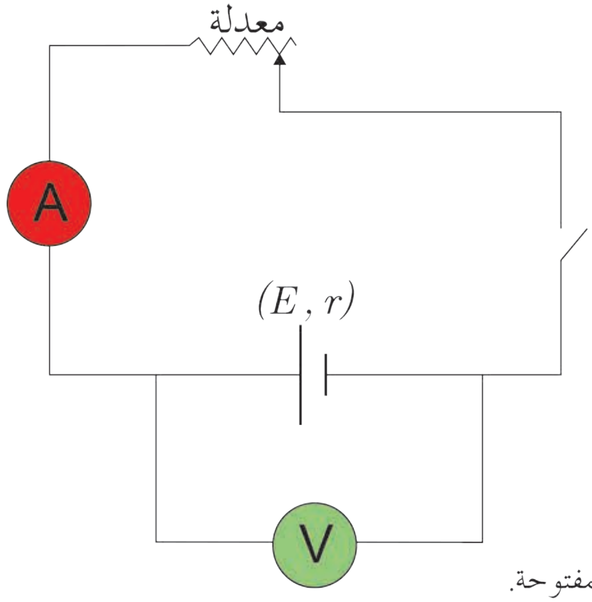
$$R_{eq} = 8\Omega$$



4-6 منابعُ التيّار الكهربائيّ المُستمِرّ والقوّة المُحرِّكة الكهربائيّة

من منابع التيّار الكهربائيّ المُستمِرّ (المُتواصِل):

- الخليّة الكهربائيّة البسيطة.
- مولّد لوكلانشيه.
- المدخرات (بطاريات السيّارات).
- الخليّة الضوئيّة.



أجرّبُ وأستنتج:

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

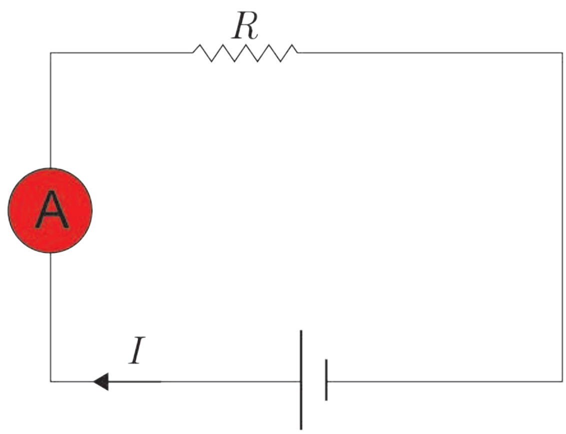
- مولّد.
- مقياس فولط.
- مقياس أمبير.
- أسلاك توصيل.
- مُعدَّلة (مقاومة مُتغيّرة).

خطواتُ التّجربة:

1. أركّب الدّارة الموضّحة في الشكل المجاور:
2. أقيسُ فرق الكمون الكهربائيّ بين طرفَي المولّد والدّارة المفتوحة.
3. أضبطُ المُعدّلة على قيمتها العظمى.
4. أُغلِق القاطِعة.
5. أنقصُ مُقاومة المُعدّلة شيئاً فشيئاً، وأسجّل في كلّ مرّة أزواج القياسات $(I \ , \ U)$ كما في الجدول الآتي:

التجربة	1	2	3	4	5	6	7
I(A)							
U(V)							

تنبيه: احرص على ألّا تصبحَ مُقاومة المعدّلة صغيرة جدّاً كيلا تزدادَ شدّة التيّار كثيراً، ممّا يعرّضُ المولّد للتلَف.



أجِب عن كلٍّ ممّا يأتي:

1. ارسم الخطَّ البياني لـ U بدلالة I.
2. ما شكلُ الخطّ البياني؟
3. احسب ميلَه، ماذا تستنتج؟

- يتميّز كلُّ مولّد بمُقاوَمة داخليّة r وقوّة مُحرّكة كهربائيّة E.

عند وصل مولّد معَ مُقاوَمة أومية R، يمرُّ تيار شدّته I، وتكونُ المُقاومة الكليّة في الدّارة $r+R$.

تُعطى الاستطاعة الكهربائية الكليّة للمولّد: $P = EI$

كما أنّ الاستطاعة الكهربائية الكليّة في الدّارة: $P = (r+R)I^2$

بالمُساواة بينَ العلاقتَين: $EI = (r+R)I^2$

$E = (r+R)I$

$E = rI + RI$

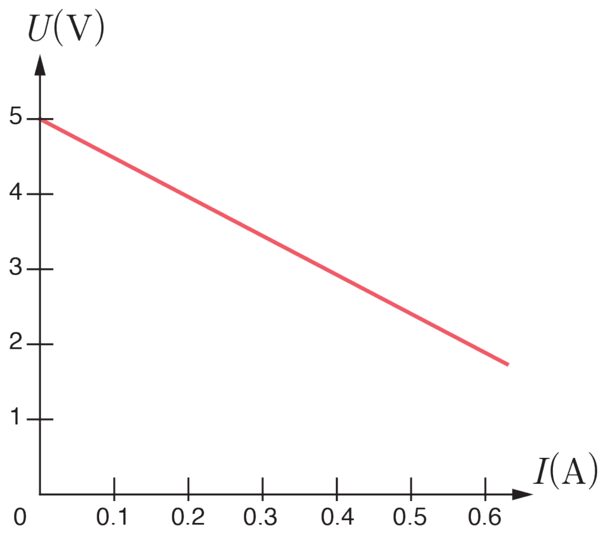
$E - rI = RI$

المقدار RI : يمثّل فرق الكمون الكهربائيّ بين طرفَي المُقاومة، أمّا المقدار rI، فيمثّل هبوط التوتّر بين قطبَي المولّد.

سببه المُقاوَمة الدّاخلية للمولّد r، ويسمّى بالهبوط الأومي.

فيصبح فرق الكمون الكهربائي بين طرفَي المولّد:

$U = E - rI$ التابع المميّز للتوتر بدلالة شدة التيار



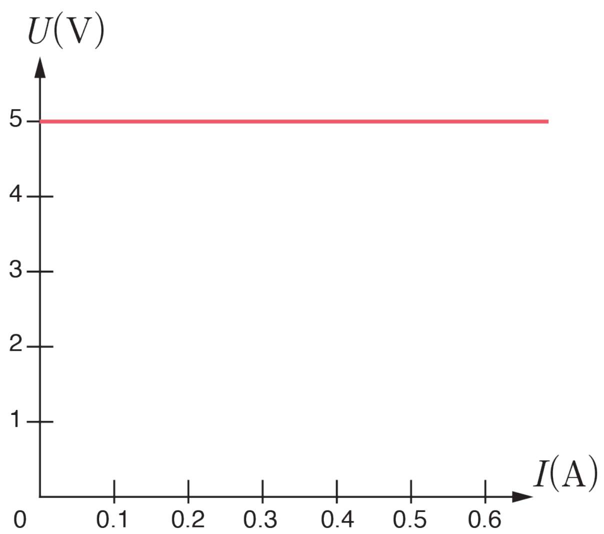
عند رسم الخطّ البياني لـ U بدلالة I نحصل على مُستقيم ميلُه سالبٌ.

- في المدّخرات والمولدات التي تحوّل الطاقة الكيميائيّة إلى طاقةٍ كهربائيّة تُهمَل المُقاومة الدّاخلية.

$r = o$

بالتالي: $U = E$

فيصبح الخطّ البياني لـ U بدلالة I مستقيماً يوازي محور الشدّة.



ملاحظة: نسمّي جميع مولِّدات التيار المُستمِرّ **بالمولِّدات الخطيّة.**

القوّة المُحرِّكة الكهربائية للمولّد

هي فرق الكمون الكهربائيّ بين قطبَي مولّد عندما تكونُ الدّارة الكهربائيَّة مفتوحة، و يمكنُ القول بأنّه: العمل الكلّي المبذول خارج وداخل المولّد واللازم لنقل كمّية من الكهرباء قدرُها كولوم واحد في الدّارة الكهربائيَّة.

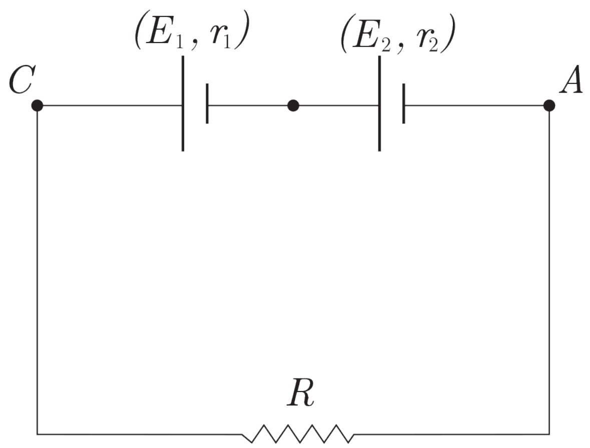
8-4 ضمّ المولّدات

يمكن ضمّ المولِّدات مع بعضها بعضاً حسب الهدف من هذا الضمّ بثلاث طرائق:

1. ضمّ المولّدات على التَّسلسُل.
2. ضمّ المولِّدات على التّضاد.
3. ضمّ المولِّدات على التفرُّع.

1-8-4 ضم المولّدات على التَّسلسُل

لضـمّ مولّدَيـن خطيّيـن $(E_1.r_1)$، $(E_2.r_2)$ علـى التّسلسُـل، نصـلُ القطـب الموجِـب لأحدهمـا بالقطـب السـالِب للآخـر، ونسـمّي هـذا الضـمّ **بالضـمّ علـى التوافُـق**، **كمـا في الشكل المجاور.**



يرسل المولِّـدان تيّـاراً كهربائيّـاً مُتواصِـلاً I، لـه الجهـة والشـدّة ذاتها.

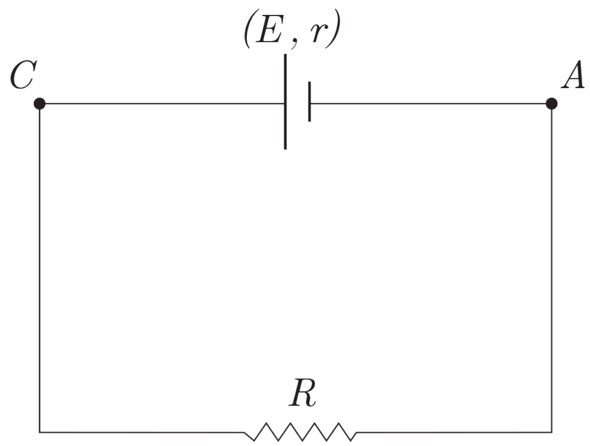
حسب خاصّيات فرق الكمون الكهربائيّ:

$$U = U_1 + U_2$$

لكن: $U_1 = E_1 - r_1 I \quad U_2 = E_2 - r_2 I$

نعوّض: $U = E_1 - r_1 I + E_2 - r_2 I$

$$U = E_1 + E_2 - (r_1 + r_2) I$$



نتيجة: ثُنائي القطـب الناتـج عـن ضـمّ مولِّديـن خطيّيـن علـى التّسلسُـل (التوافُق)، هـو مولّـد خطيّ، قوتُـه المُحرِّكـة الكهربائيّـة: $E = E_1 + E_2$

ومقاومتُه الداخليّة: $r = r_1 + r_2$

يمكـن أن تعمِّـمَ هـذه النتيجـة عنـد وصـل عـدَّة مولِّـدات علـى التسلسُـل، فتكـونُ القـوّة المُحرِّكـة الكهربائيّـة للمولِّـد الناتـج: $E = E_1 + E_2 + E_3 + ...E_n$

وتكونُ المُقاومة الدّاخلية للمولّد الناتج:

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + ...r_n$$

إذا كانت المولِّدات مُتماثِلة وعددُها n:

$$E = nE_1 \quad , r = nr_1$$

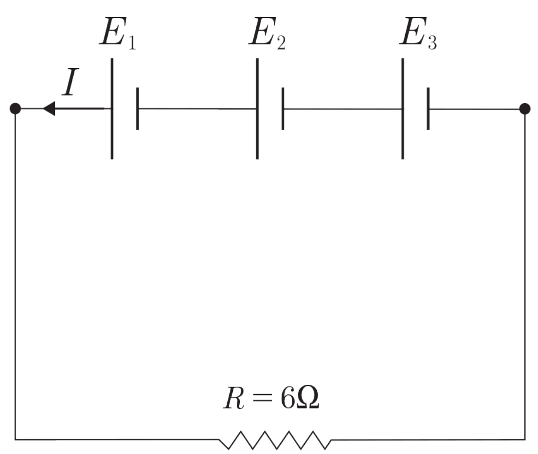
يهـدفُ ضـمّ المولِّـدات علـى التّسلسُـل في الحصـول علـى مولِّـد، قوتُـه المُحرِّكـة الكهربائيّـة أكبـر فيمـا لـو كان لدينـا مولِّـد واحـد.

يمكنُ حساب شدّة التيّار الكهربائيّ عند ضمّ n مولّد مُتماثِل على التّسلسُل من العلاقة:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{nE_1}{R + nr_1}$$

تطبيق (8):

ثـلاث مولِّـدات، القـوّة المُحرِّكـة الكهربائيّـة لـكلٍّ منهـا $10V$، ومقاومتُـه الداخليّـة $3\,\Omega$، موصولـة علـى التسلسُـل إلـى طرفـي مقاومـة أوميـة $R = 6\Omega$ **كمـا فـي الشّـكل المُجـاور**، **المطلـوب حسـاب:**



1. شدّة التيّار المارّة في الدّارة.
2. فرق الكمون الكهربائيّ بين طرفَي كلّ مولِّد.
3. فرق الكمون بينَ طرفَي المُقاوَمة الأوميّة R.

الحلّ:

1.
$$I=\frac{E}{R+r}=\frac{nE_1}{R+nr_1}$$
$$I=\frac{3\times10}{6+3\times3}=2A$$

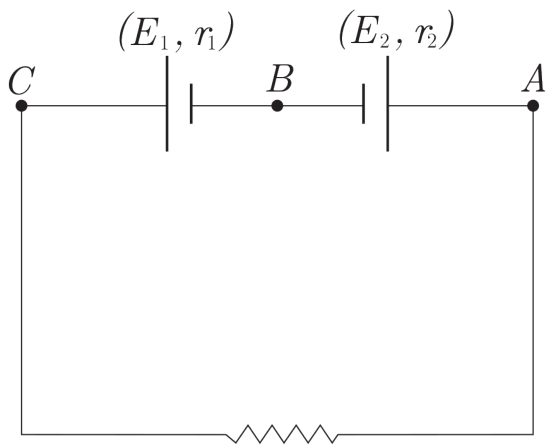
2.
$$U_1=E_1-r_1I$$
$$U_1=10-3\times2=4V$$

وبما أنَّ المولّدات مُتماثِلة فإنَّ:
$$U_1=U_2=U_3=4V$$

3. طريقة أولى:
$$U=RI$$
$$U=6\times2=12V$$

طريقة ثانية:
$$U=U_1+U_2+U_3$$
$$U=4+4+4=12V$$

2-8-4 ضمّ المولِّدات على التّضاد



لضمّ مولّدَين خطيّين $(E_1.r_1)$ ،$(E_2.r_2)$، حيث $E_1>E_2$ على التّضاد نصلُ القطب الموجِب لأحدِهما بالقطب الموجِب للأخر والسّالب بالسّالب، **كما في الشكل المجاور.**

يرسل المولّدان تياراً كهربائياً مُتواصِلاً، مُحصّلتُه I.

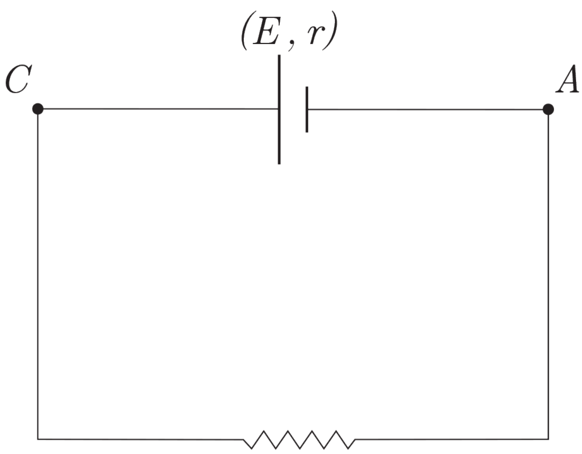
حسب خاصّيات فرق الكمون الكهربائيّ:

$$U=U_1+U_2$$

لكنّ:
$$U_1=E_1-r_1I\ ,\quad U_2=-E_2-r_2I$$

$$U=E_1-r_1I-E_2-r_2I$$

نعوّض:
$$U=E_1-E_2-(r_1+r_2)I$$



نتيجة: ثُنائي القطبِ الناتج عن ضمّ مولِّدَين خطيَّين على التّضاد هو مولِّد خطيّ:

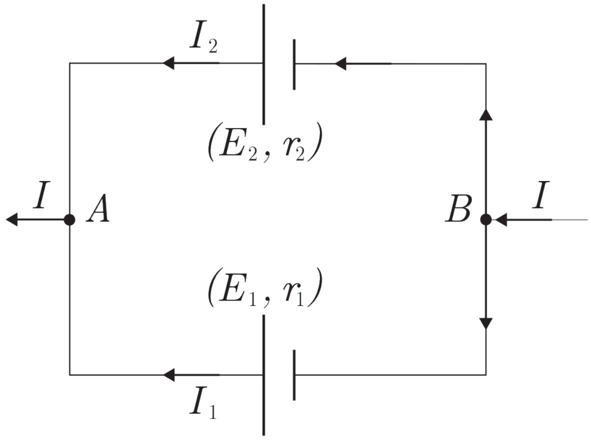
قوتُه المُحرِّكة الكهربائيّة:
$$E=E_1-E_2$$

ومقاومتُه الداخليّة: $r=r_1+r_2$

حالة خاصّة: المولِّدان مُتماثِلان $E=0$ ، $I=0$

3-8-4 ضمّ المولّدات على التفرّع

لضمّ مولّدين خطيّين مُتماثِلَين على التفرّع (التوازي)، نصلُ القطبَين الموجبَين للمولّدَين إلى النقطة A، والقطبَين السالبَين إلى نقطةٍ أخرى B، **كما في الشّكل المجاور.**



إنّ كلّاً من B , A عقدة، فحسب قانون كيرشوف الأول:

$$I = I_1 + I_2$$

بما أنَّ المولّدين مُتماثِلَين: $I_1 = I_2$

نعوّض في قانون كيرشوف الأول: $I_1 = I_2 = \frac{I}{2}$

أمّا التوتّر بينَ طرفَي كلّ مولّد فهو نفسُه لأنَّ كلّاً من المولّدَين موصولَين إلى العقدتَين B , A.

وبالتالي: $U_1 = U_2 = U$

فنستطيعُ أن نكتبَ من أجلِ كلّ مولّد:

$$U_1 = E_1 - r_1 \frac{I}{2} \quad , \quad U_2 = E_2 - r_2 \frac{I}{2}$$

حيثُ: $r_1 = r_2$, $E_1 = E_2 = E$ لأنَّ المولّدَين مُتماثِلَين.

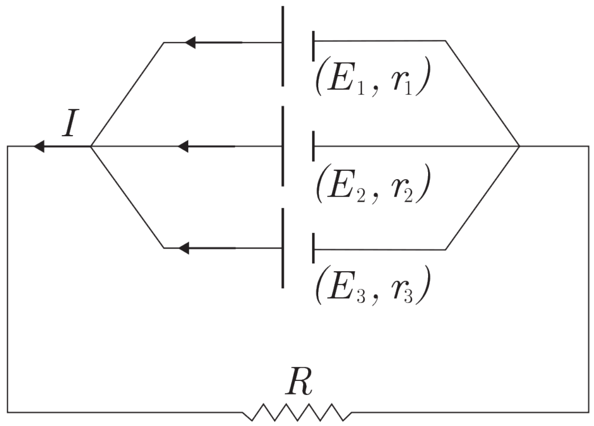
نتيجة: المولّد المُكافِئ لمولّدَين خطيّين مُتماثِلَين موصولَين على التفرّع هو مولّد خطّي، قوتُه المُحرّكة الكهربائيّة E، وهي القوّة المُحرّكة الكهربائيّة لكلٍّ منهما، أمّا مقاومتُه الدّاخلية $r = \frac{r_1}{2}$.

تعميم: إذا كانَ لدينا n مولّدٌ خطيّ مُتماثِل موصول على التفرُّع، نحصل على مولّد مُكافِئ، قوّتُه المُحرّكة الكهربائيّة هي القوّة المُحرّكة الكهربائيّة لأحد المولّدات $E_1 = E_2 = ... = E$، ومقاومتُه الداخليّة $r = \frac{r_1}{n}$

يهدفُ ضمّ المولّدات على التفرُّع في الحصول على تيّارٍ شدته I كبيرة في الدّارة الخارجيّة. بينما لا يجتازُ كلَّ مولّد مُتماثِل إلّا تيارٌ شدته $\frac{I}{n}$.

تطبيق (9):

ثلاث مولّدات مُتماثِلة موصولة على التفرُّع، **كما في الشكل المجاور:**



القوّة المُحرّكة الكهربائيّة لكلّ مولّد 6V، ومقاومتُه الداخليّة 2Ω،

فيمرُّ في المُقاومة R تيارٌ كهربائيّ شدتُه 3A.

المطلوب حساب:

1. قيمة شدّة التيار المارّة في كلّ فرع.
2. قيمة فرق الكمون الكهربائيّ بين طرفَي كلّ فرع.
3. قيمة المُقاوَمة الأوميّة.

الحلّ:

1. بما أنَّ المولّدات مُتماثِلة فإنَّ:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{I}{3}$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{3}{3} = 1\text{A}$$

.2

$$U_1 = E_1 - r_1 I_1$$

$$U_1 = 6 - 2 \times 1 = 4\text{V}$$

وبما أنَّ المولّدات مُتماثِلة فإنَّ:

$$U_1 = U_2 = U_3 = 4\text{V}$$

3. إنَّ فرق الكمون الكهربائيّ بين طرفَي المُقاوَمة الأوميّة يساوي فرق الكمون الكهربائيّ بين طرفَي كلّ فرع

$$U = RI$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{4}{6} = \frac{2}{3}\Omega$$

9-4 قانون كيرشوف الثاني (قانون الحلقات) (قانون حفظ الطاقة)

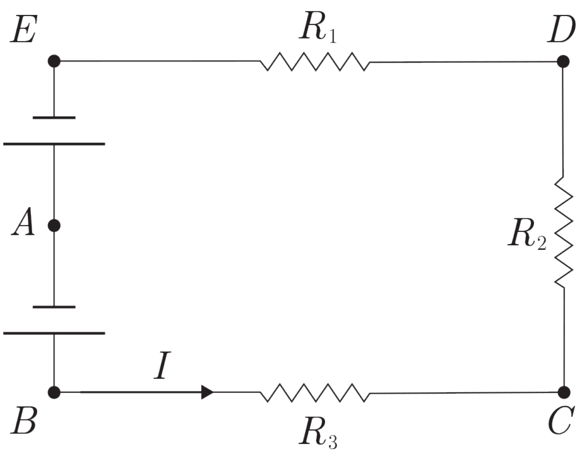
ينصُّ: المجموع الجبريّ للقوى المُحرِّكة الكهربائيّة في دارة كهربائية مُغلَقة، يساوي المجموع الجبري لجداء المُقاوَمة في شدّة التيّار الذي يجتازُها.

فتكونُ الصيغة الرياضيّة لقانون كيرشوف الثاني:

$$\Sigma E = RI$$

R : المُقاومة الكلّية في الدّارة.

لنضمّ على التسلسُل مولِّدَين كهربائيّين وثلاث مقاوَمات أوميّة، **كما في الشّكل المجاور.**



نسمّي الدّارة $ABCDEA$ بالحلقة أو العروة، والجهة الاصطلاحيّة الموجبة للتيّار في الدّارة من القطب الموجب للمولِّد إلى قطبه السّالب.

يكافئ المولّدان مولّداً واحداً قوته المُحرِّكة الكهربائيّة: $E = E_1 + E_2$، ومقاومتُه الداخليّة: $r = r_1 + r_2$.

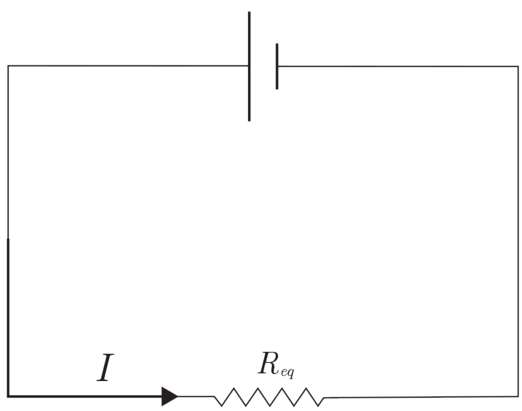
تكافِئ المُقاوَمات الثلاث مُقاومة أومية واحدة

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على الدّارة السّابقة:

$$E_1 + E_2 = (R_1 + R_2 + R_3)I + (r_1 + r_2)I$$

$$E = R_{eq}I + rI \Longrightarrow E = (R_{eq} + r)I \Longrightarrow I = \frac{E}{R_{eq} + r}$$



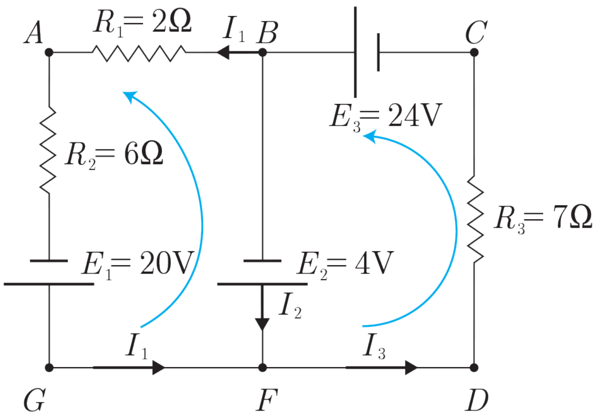
يمكن أن نعمّم القانون السّابق ليصبحَ:

$$I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R + \Sigma r}$$

1. نختارُ في كلّ فرع من فروع الدّارة المُغلَقة جهة للتيّار، وبعد الحلّ إذا كانت قيمة I موجِبةً يكونُ اختيار الاتّجاه صحيحاً، وإذا كانَت سالبةً يعكسُ اتّجاه التيّار بالفرع.

2. نعتبرُ القوّة المُحرِّكة الكهربائية موجِبة إذا خرجَ التيّار من القطب الموجِب لمولِّد، وسالبة في الاتّجاه المُعاكِس.

3. نعتبرُ فرق الكمون الكهربائيّ بين طرفَي المُقاومة موجِباً إذا كانت جهة التيار حسب الاصطلاح الموجب، وسالباً في الاتّجاه المُعاكِس.



تطبيق (10):

لتكن الدّارة الموضّحة **في الشكل المجاور.**

احسب شدّة كلّ من التيّارات I_1, I_2, I_3

الحلّ:

نختارُ في الدّارة السابِقة الحلقتَين $(GFBAG)$ $(FDCBF)$

النقطة F، هي نقطة التقاء ثلاثة نواقل، فهي عقدة.

نطبّق قانون كيرشوف الأول: $(1) \quad I_1 + I_2 = I_3$

نطبّق قانون كيرشوف الثاني على الحلقة: $(GFBAG)$

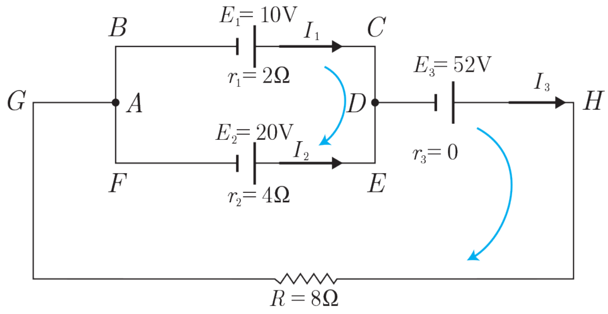
$$\Sigma E = RI$$
$$E_1 - E_2 = (R_1 + R_2) I_1$$
$$20 - 4 = 8 I_1$$
$$I_1 = \frac{16}{8} = 2A$$

نطبّق قانون كيرشوف الثاني على الحلقة $(FDCBF)$:

$$E_2 + E_3 = R_3 I_3$$
$$4 + 24 = 7 I_3$$
$$I_3 = \frac{28}{7} = 4A$$

لحساب I_2 نعوّض في (1):

$$2 + I_2 = 4$$
$$I_2 = 2A$$



تطبيق (11):

لتكن الدّارة الموضّحة **في الشكل المجاور**.

المطلوب حساب:

1. قيمة شدّة التيّار المارّ في كلّ مولِّد.

2. فرق الكمون الكهربائيّ بينَ طرفَي كلّ مولِّد.

3. فرق الكمون الكهربائيّ بينَ طرفَي المُقاوَمة R.

الحل:

1. نطبق قانون كيرشوف الأول على العقدة D:

$$I_1 + I_2 = I_3 \qquad (1)$$

نطبّق قانون كيرشوف الثاني على الحلقة $(ABCDEFA)$:

$$E_1 - E_2 = r_1 I_1 - r_2 I_2$$
$$-10 = 2I_1 - 4I_2$$
$$I_1 = 2I_2 - 5 \qquad (2)$$

نطبّق قانون كيرشوف الثاني على الحلقة $(AFEDHGA)$:

$$E_2 + E_3 = r_2 I_2 + R I_3$$
$$4I_2 + 8I_3 = 72$$
$$I_2 + 2I_3 = 18 \qquad (3)$$

نعوّض (2) في (1):

$$3I_2 - 5 = I_3 \qquad (4)$$

نعوّض (4) في (3):

$$7I_2 = 28$$
$$I_2 = 4\mathrm{A}$$

نعوّض (4):

$$I_3 = 3 \times 4 - 5 = 7\mathrm{A}$$

نعوّض في (1):

$$I_1 = I_3 = I_2 = 7 - 4 = 3\mathrm{A}$$

2. فرق الكمون الكهربائيّ بين طرفَي كلّ مولد:

$$U_1 = E_1 - r_1 I_1 = 10 - 2 \times 3 = 4\mathrm{V}$$
$$U_2 = E_2 - r_2 I_2 = 20 - 4 \times 4 = 4\mathrm{V}$$
$$U_1 = E_3 - r_3 I_3 = 52 - 0 = 52\mathrm{V}$$

3. فرق الكمون الكهربائيّ بينَ طرفَي المُقاوَمة R:

$$U = R I_3 = 8 \times 7 = 56\mathrm{V}$$

تعلّمتُ

1. **التيـار الكهربائـيّ:** إذا طُبِّـق توتّـرٌ كهربائـيٌّ بيـنَ طرفَـي دارّة كهربائيّـة مُغلَقـة تولّـد حقـلٌ كهربائـيّ يجعـلُ حامِـلات الشّـحنة تتحـرّك حركـةً مُنتظَمـة، تسـمّى الحركـة المُنتظَمـة للشّـحنات بالتيّـار الكهربائـيّ.

2. **تُعطى شدّة التيّار الكهربائيّ بالعلاقة:**

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

q: القيمة المُطلَقة لكمّية الكهرباء وحدة قياسها كولوم (C)، وتُعطى بالعلاقة: $q = ne$
حيثُ:
n: عددُ الإلكترونات الحرّة. e: القيمة المُطلَقة لشحنة الإلكترون ويساوي $e = 1.6\times10^{-19}\text{C}$.

3. **قانون كيرشوف الأول:** مجموع التيّارات الكهربائيّة الداخلة إلى عقدة يساوي مجموع التيّارات الكهربائيّة الخارجة منها $\Sigma I = 0$

4. **التوتّر الكهربائيّ الكلّي بينَ طرفَي المولّد يساوي مجموع التوتّرات الجزئيّة بينَ طرفَي ثنائيّات الأقطاب في الدّارة التسلسُليّة.**

5. **قانون جمع المُقاوَمات على التسلسُل:** $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

6. **قانون جمع المُقاوَمات على التفرُّع:** $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

7. **القوّة المُحرِّكة الكهربائية للمولّد:** هي فرق الكمون الكهربائيّ بينَ قطبَي مولّد عندَما تكونُ الدارة الكهربائيّة مفتوحة، و يمكنُ القول بأنَّه: العمل الكلّي المبذول خارجَ وداخلَ المولّد واللازم لنقل كمّية من الكهرباء قدرُها كولوم واحد في الدارة الكهربائيّة.

$$E = rI + RI$$

8. **تُحسَب شدّة التيّار الكهربائيّ عندَ ضمّ n مولّد مُتماثِل على التسلسُل من العلاقة الآتية:**

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{nE_1}{R+nr_1}$$

9. ثُنائي القطب الناتج عن ضمّ مولِّدَين خطّيَّين على التّضاد هو مولِّد خطّي، قوتُه المُحرِّكة الكهربائيّة: $E = E_1 - E_2$ حيث $E_1 > E_2$
ومقاومتُه الداخلية: $r = r_1 + r_2$

10. إذا كانَ لدينا n مولّد خطّي مُتماثِل موصول على التفرّع نحصلُ على مولِّد مكافِئ، قوتُه المُحرّكة الكهربائيّة هي القوّة المُحرِّكة الكهربائية لأحد المولّدات $E_1 = E_2 = ... = E$، ومقاومتُه الداخليّة $r = \frac{r_1}{n}$.

11. المجموع الجبري للقوى المُحرِّكة الكهربائية في دارة كهربائيّة مُغلَقة يساوي المجموع الجبري لجداء المُقاوَمة في شدّة التيّار الذي يجتازُها.
فتكونُ الصّيغة الرياضيّة لقانون كيرشوف الثاني: $\Sigma E = RI$

أختبر نفسي

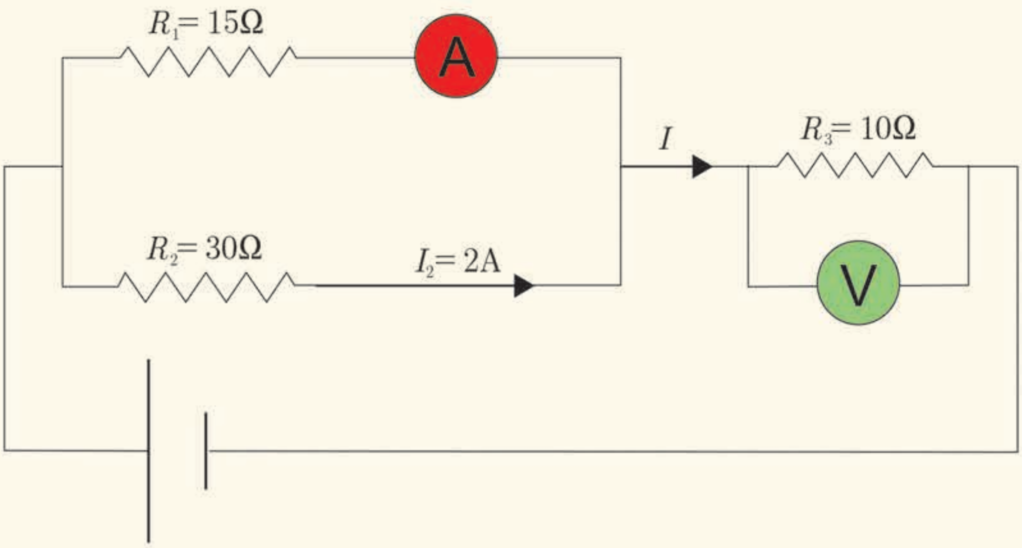
أولاً: املأ الفراغات الآتية:

1. يمرُّ تيار كهربائي شدّته $5A$ عبر نقطة من دارة كهربائيّة، فإنَّ كمّية الشّحنة الكهربائيّة المارّة في هذه النقطة خلال ست دقائق تساوي -----

2. مُقاوَمة أوميّة قيمتُها $5\,\Omega$ يجتازُها تيارٌ شدّته $2A$، عندَما نطبّق بين طرفَيها فرقاً في الكمون يُساوي -----

3. نصلُ مُقاومتَين على التسلسُل، قيمةُ كلٍّ منهما $R_1 = 3\,\Omega$, $R_2 = 6\,\Omega$ على التسلسُل، فإنَّ المُقاومة المُكافِئة لهما تساوي -----، إذا كانَ فرق الكمون الكهربائيّ بينَ R_1 مُساوياً $12V$، فإنَّ شدّة التيّار المارّة في كلّ منهما -----، وعند وصل المُقاوَمتين السّابقتين على التفرُّع فإنَّ المُقاومة المُكافِئة لهما تساوي -----.

4. لتكن الدّارة الموضّحة بالشكل المجاور:



a. قيمةُ المُقاومة المُكافِئة تساوي -----

b. دلالة مقياس آمبير تساوي -----

c. دلالة مقياس الفولط بين طرفَي المُقاوَمة R_3 تساوي -----

d. فرق الكمون الكهربائيّ بينَ طرفَي المولّد يساوي -----

ثانياً: اخترِ الإجابةَ الصّحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

وُصِلَت أَربعُ مُقاوَمات مُتماثِلة على التفرُّع، قيمةُ كلّ منها $4\,\Omega$، ثمَّ وُصِلَت المجموعةُ بمولِّد قوتُه المُحرِّكة الكهربائيّة $4V$، مقاومتُه الدّاخلية مُهمَلة.

1. شدّة التيّار المارّة في الدّارة:

a. $1A$

b. $4A$

c. $0.25A$

d. $16A$

2. شدّة التيار المارّة في كلّ مُقاوَمة:

a. $1A$

b. $4A$

c. $0.25A$

d. $16A$

3. كمّية الكهرباء التي يقدّمها المولّد للدّارة خلال $20\,s$ تساوي:

a. $1A$

b. $4A$

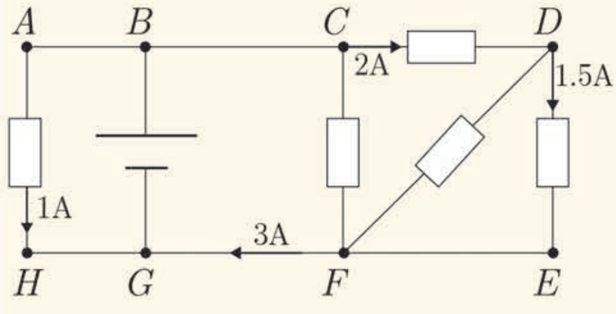
c. $0.25A$

d. $16A$

ثالثاً: حلَّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

لتكن الدّارة الموضّحة في الشكل المُجاوِر.



المطلوب حساب:

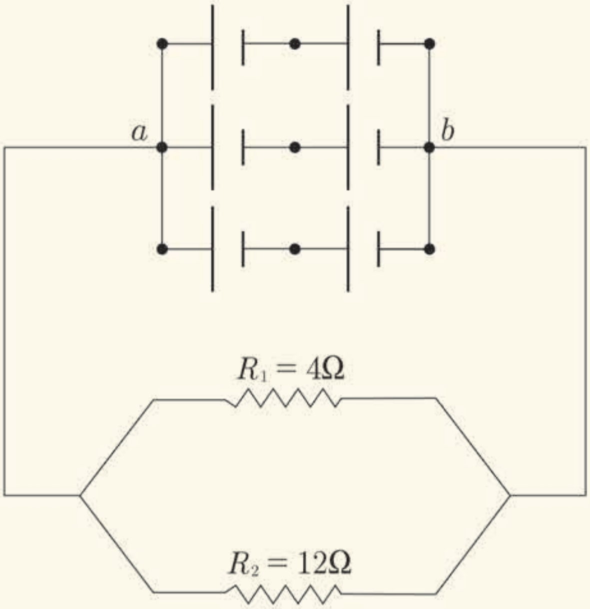
1. قيمة شدّة التيّار المارّة في كلٍّ من الفروع

CF ، DF ، GB ، BC

2. كمّية الكهرباء التي يعطيها المولّد خلال أربع دقائق، واحسب عدد الإلكترونات المارّة في الدّارة عندئذ، علماً أنَّ شحنة الإلكترون $e = -1.6 \times 10^{-19}\,C$.

المسألة الثانية:

لتكن الدّارة الموضّحة **في الشكل المجاور** المؤلّفة من جملةِ مولّدات خطية مُتماثِلة، القوّة المُحرِّكة الكهربائية لكلّ منها $1.5\mathrm{V}$، ومقاومته الداخليّة $0.6\,\Omega$.

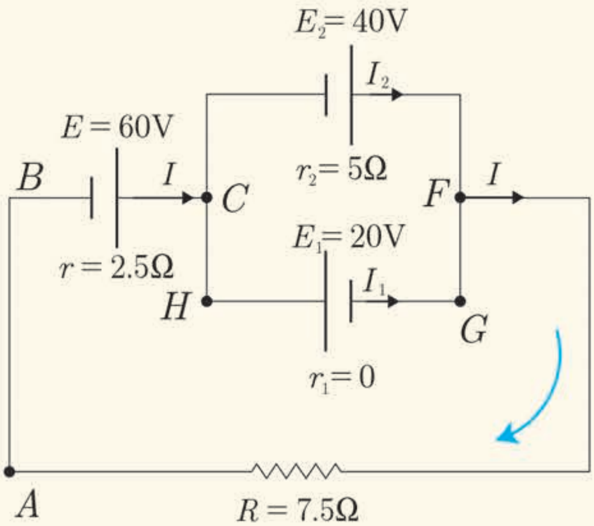


المطلوب حساب:

1. القوّة المُحرِّكة الكهربائيّة المُكافِئة للمولّدات.
2. شدّة التيّار في كلّ فرع.
3. شدّة التيّار المارّ في الدّارة الخارجيّة.
4. فرق الكمون الكهربائيّ بينَ طرفَي المُقاومتَين R_1، R_2.

المسألة الثالثة:

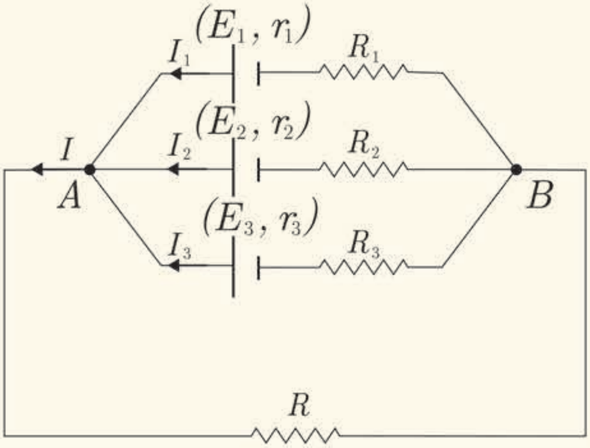
لتكن الدارة الموضحة **في الشكل المجاور**،



المطلوب حساب:

1. قيمة شدّة كلّ من التيّارات I_1, I_2, I.
2. فرق الكمون الكهربائي بين طرفَي كلّ مولد.
3. فرق الكمون الكهربائي بين طرفَي المُقاومة الأوميّة R.
4. كمّية الكهرباء المارّة في المُقاومة الأوميّة R خلال $50\,\mathrm{s}$.

المسألة الرّابعة:



لتكن الدّارة الموضّحة **في الشكل المُجاوِر**:

$R_2 = 2.5\,\Omega \quad R_3 = 5\,\Omega \quad R = 2\,\Omega$

$R_1 = 2\,\Omega$، وإنَّ المُقاوَمة الداخليّة لكلّ مولّد مهملة

$E_3 = E_1 \quad E_2 = 2E_1 \quad E_1 = 1.4\mathrm{V}$.

المطلوب حساب:

1. فرق الكمون الكهربائي U_{AB}.
2. قيمةَ شدّة التيّار I.
3. قيمةَ المُقاوَمة الأوميّة R.

المسألة الخامسة:

تبلُغ القوّة المُحرِّكة الكهربائيّة لمولّد $6V$، ومُقاومته الداخليّة $2\,\Omega$.

المطلوب:

1. اكتب التابع المُميّز للتوتّر بدلالة شدة التيار، ثمَّ ارسم المُنحني البياني لهذا التابع.
2. احسب شدة التيار الذي من أجله يقطع المنحني المحور الأفقي.
3. نربط على التسلسُل مع المولّد مُقاوَمة أومية $10\,\Omega$. احسب شدّة التيّار المارّة في الدّارة، واحسب فرق الكمون الكهربائي بينَ طرفي المُقاومة الأوميّة.

1-4 الضّوءُ واللّون

الأهداف:

* يتعرّف معنى الضّوء الهندسي.
* يتعرّف بعض الأجهزة الضّوئية.
* يُميّز بالتجربة الضّوءَ البسيط من الضّوء المُركَّب.
* يُميّز أنواعَ الحزم الضّوئية.
* يُميّز الجسمَ الحقيقي من الجسم الوهمي.
* يُميّز الخيالَ الحقيقي من الخيال الوهمي.
* يُحافظ على مصادر الطاقة المُستخدَمة في الحياة.

الكلمات المفتاحية:

* الضّوء البسيط.
Simple light.
* الضّوء المُركَّب.
Compound light.
* خيالٌ وهميّ.
Virtual Image.
* خيالٌ حقيقيّ.
Real Image.

يُعَدّ الضّوء وسيلةً للتواصُل مع بيئاتِنا والحصول على المعلومات، حيث تستطيعُ العينُ البشريّة تحسُّس التغيُّرات البسيطة جدّاً في حجم الجسم وموقعه وإضاءَته ولونه. كما تتمكَّن العينُ من التمييز بينَ الأجسام وظلالِها والتمييز بينَ انعكاساتِ الأجسامِ والأجسامِ ذاتها.

هل تساءَلتَ يوماً كيفَ نرى الأجسامَ من حولِنا؟

العلمُ الّذي يدرسُ ظواهرَ الضّوء من انتشارٍ وانعكاسٍ وانكسار وغيرها، هو علمُ الضّوء الهندسيّ.

1-1 علمُ الضّوء الهندسي

يهدفُ علمُ الضّوء الهندسيّ إلى تفسير بعض الظواهر الضّوئية، وإيجاد القوانين التي تحدِّدُ سلوكَ الضّوء معتمداً على المبدأين الآتيَين:

أولاً: مبدأ الانتشار المُستقيم:

عندما تدخلُ حزمةً ضوئيةً ضيقةً من ضوء الشّمس عبرَ النافذة فإنَّ دقائقَ الغبار المُنتشِرة في الهواء تجعلُ الضّوءَ مرئيّاً، وترى مسارَ الضّوء على شكل خطٍّ مُستقيمٍ.

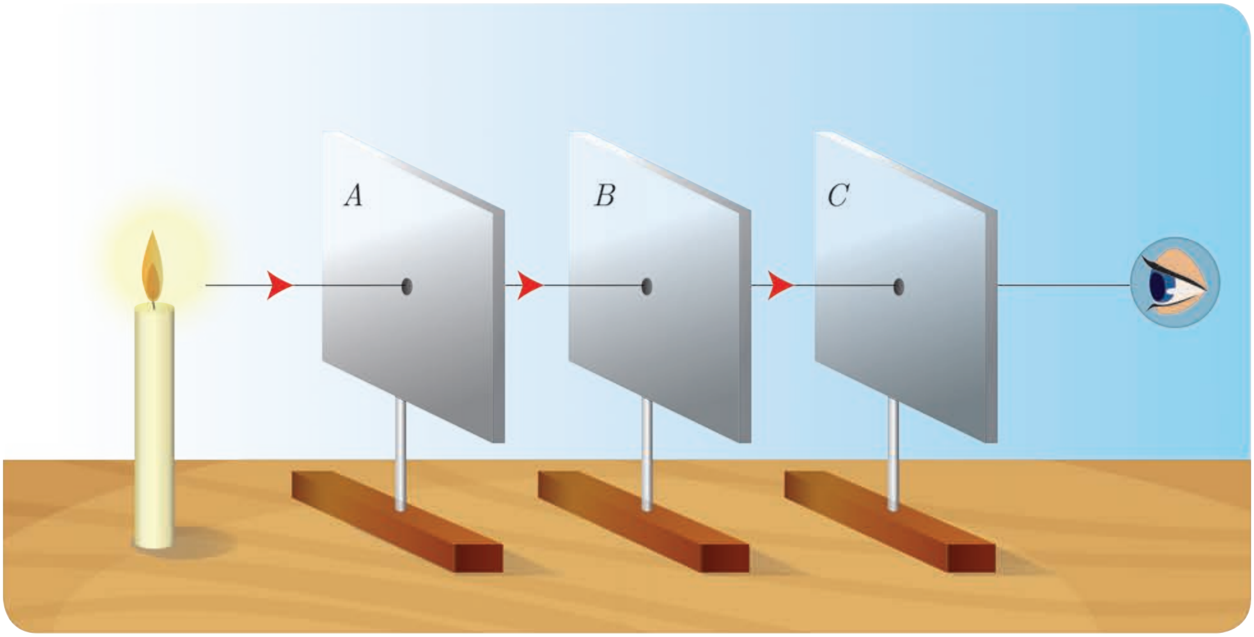
أجرّبُ وأستنتجُ:

لإجراء التّجربة أحتاجُ إلى:

- منبعٍ ضوئيّ (شمعة مضيئة).
- ألواحاً تحوي ثقوباً مُتماثِلة.

خطوات التجربة:

1. أضَع الألواحَ بحيث تكونُ الثقوب المُتماثِلة على استقامةٍ واحدةٍ مع عين المشاهد والمنبع الضّوئي كما في الشكل.
2. أجعلُ الضّوءَ الصادرَ عن المنبع ينفذُ عبر الثقوب. ماذا أستنتج؟

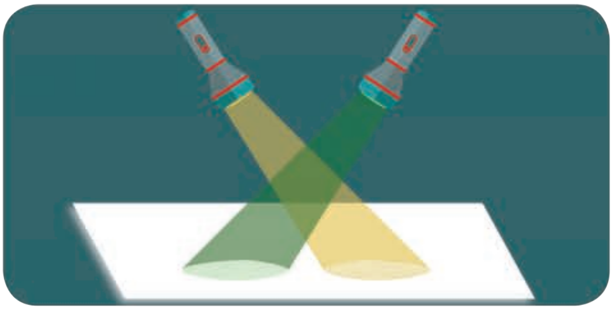


أستنتجُ: ينتشرُ الضّوءَ وفقَ مسارٍ مُستقيم في الوسط الشّفاف المُتجانِس، ويسمَّى بالشّعاع الضّوئي.

إضاءة

لا يمكنُ الحصول على الشّعاع الضّوئي عمليّاً، ولكن يمكنُ أن نعدَّ الحزمة الضّوئيّة المُتوازِية الضيّقة جداً شعاعاً ضوئيّاً بتقريبٍ مقبول.

ثانياً: مبدأ استقلال الأشعة الضّوئيّة:



لإجراء التجربة أحتاج إلى:

- منبعَين ضوئيّين
- ورقة بيضاء

خطوات التجربة:

1. آخذُ منبعاً ضوئيّاً وأطلبُ من زميلي أن يمسكَ المنبعَ الضّوئي الثاني.
2. أجعلُ الحزمَ الضّوئية الصادرة عن كلّ من المنبعَين تسقطُ بشكلٍ مُتقاطِعٍ على ورقةٍ بيضاء كما في الشّكل.

هل تأثّرت الحزمة الضّوئية الصادرة عن أحدِ المنبعَين بالحزمة الضّوئية الصادرة عن المنبع الآخر؟ ماذا أستنتجُ؟

أستنتج: كلُّ شعاعٍ ضوئيّ من الحزمة الضّوئية مُستقِلٌّ في سلوكه عن الأشعة الأخرى، أي أنَّ الشّعاع الضّوئي لا يتأثّر في انتشاره وانعكاسه وانكساره بما يحدثُ للأشعة الأخرى.

2-1 أنواع الحزم الضّوئية

ينتشر الضّوء على شكل حُزم تُدعى الحزم الضّوئية.

أجرّبُ وأستنتجُ:

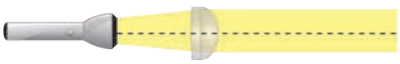
لإجراءِ التّجربة أحتاجُ إلى:

- منبع ضوئيّ وحاجز. (حقيبة الضّوء الهندسي).

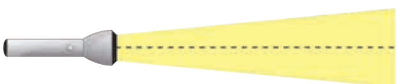
خطوات التجربة:

1. أُسقِطُ حزمةً ضوئيّةً على حاجز يبعدُ بُعداً مُناسِباً عن المنبع الضوئي.
2. ألاحظُ مساحةَ السّطح الذي تضيؤُه على الحاجز.
3. أنقلُ الحاجز عن المنبع أبعاداً مُناسِبة في اتّجاه انتشار الضّوء مُتّخِذا أوضاعاً مُتوازية

ماذا أستنتجُ؟


الحزمة المتوازية

- تكونُ الحزمة الضّوئية مُتوازِية إذا ثبتَت مَساحة السطح الذي تضيئُه على الحاجز.


الحزمة المتباعدة

- تكونُ الحزمة الضّوئيّة مُتباعِدة إذا ازدادَت مساحةُ السطح الذي تضيؤه على الحاجز.


الحزمة المتقاربة

- تكونُ الحزمة الضّوئية مُتقارِبة إذا تناقصَت مساحةُ السّطح الذي تضيؤه على الحاجز.

3-1 الأجهزة الضّوئية

يعتمدُ علم الضّوء الهندسي في تفسيره للظواهر الضّوئية على بعض الأجهزة الضّوئية أهمُّها: المرايا والعدسات والموشور والنظارات الفلكيّة والمجهر وآلات التّصوير وغيرها.

ويُطلَق على بعض الأجهزة الضّوئية العاكسة للضوء مثل المرايا، أو الكاسرة للضوء كالعدسات والموشور، **اسم الجملة الضّوئية**.

4-1 الضّوء المُركَّب والضّوء البسيط

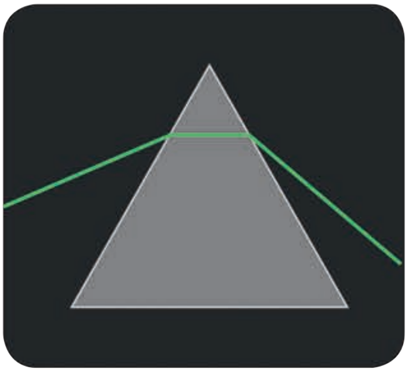
أجرِّب وأستنتجُ:

لإجراء التجربة أحتاجُ إلى:

- موشور.
- منبع ضوء أبيض.
- حاجز.

خطوات التجربة:

1. أسقطُ حزمةً ضيّقة من ضوء الشمس (ضوء أبيض) على أحد وجهَي الموشور.
2. أستقبلُ الأشعةَ البارزة على حاجز.
3. أكرّر التّجربة السّابقة بإسقاط حزمةٍ ضيّقة من الضوء الأخضر، ماذا ألاحظ؟



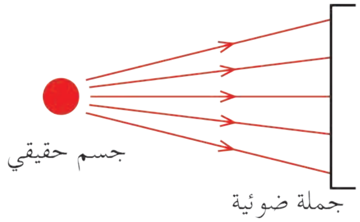
- الحزمة الضّوئية البيضاء تحلّلت إلى عدّة أضواءٍ ملوّنة، تبدأُ بالضّوء الأحمر من جهة رأس الموشور، وتنتهي بالضّوء البنفسجي من جهة قاعدة الموشور.
- الضّوء الأخضر وحيد اللون يظهرُ مُنحرِفاً على الحاجز دون أن يتحلّل.

أستنتجُ:

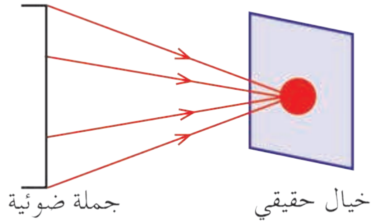
- **الضّوء المُركَّب:** يتحلَّلُ إلى عدَّة أضواء مُلوَّنة تؤلِّف ما يسمَّى الطّيف المرئيّ. كضوء الشّمس (الضّوء الأبيض).
- **الضّوء البسيط:** ضوءٌ وحيد اللّون لا يمكنُ تحليله كالضّوء الأخضر.

5-1 تعاريف أساسيّة

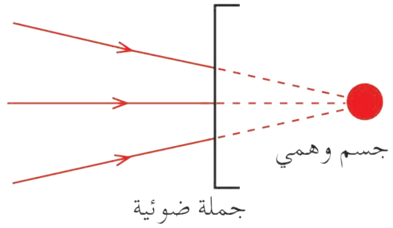
الجسم الحقيقي:
يتشكَّل من مجموعةِ النّقاط التي تنبعثُ منها أشعةُ الحزمة الضّوئيّة نحو الجملة الضّوئية.



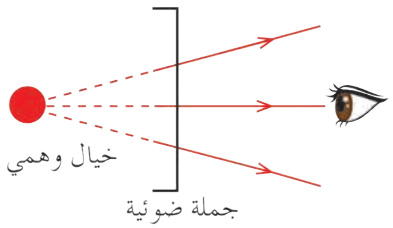
الخيال الحقيقي:
يتشكَّلُ من مجموعةِ النقاط التي تلتقي فيها أشعة الحزمة الضّوئية البارزة من الجملة الضّوئية على الحاجز بشكلِ حزمةٍ مُتقاربة.



الجسمُ الوهمي:
يعَدُّ الخيال الحقيقيّ جسماً وهميّاً بالنّسبة إلى جملةٍ ضوئيّة اعترضَت سيرَ الأشعة الضّوئية المُشكّلة له.



الخيال الوهميّ:
يتشكّل من مجموعة النقاط التي تلتقي فيها مُمدّدات أشعة الحزمة الضّوئية البارزة من الجملة الضّوئيّة بشكلِ حزمة مُتباعِدة تبدو كأنّها تنبعثُ من تلك النقاط.

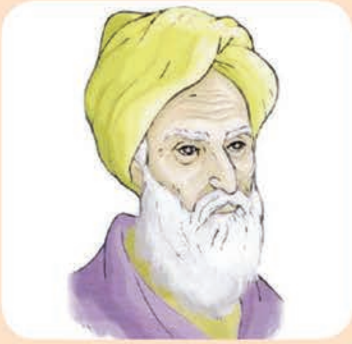


تعلَّمتُ

- ينتشرُ الضّوء وفقَ مسار مُستقيم في الوسط الشفّاف المُتجانِس.
- **الجملة الضّوئية:** مجموعة من السّطوح العاكسة أو الكاسرة للضوء.
- **الجسم الحقيقي:** يتشكَّلُ من مجموعة النقاط التي تنبعثُ منها أشعةُ الحزمة الضّوئية نحو الجملة الضّوئية.
- **الخيال الحقيقي:** يتشكّلُ من مجموعة من النقاط التي تلتقي فيها أشعةُ الحزمة الضّوئية البارزة من الجملة الضّوئية على الحاجز بشكل حزمة مُتقاربة.
- **الجسم الوهمي:** يُعدُّ الخيال الحقيقي جسماً وهميّاً بالنّسبة لجملة ضوئية اعترضت سيرَ الأشعة الضّوئية المُشكّلة له.
- **الخيال الوهمي:** يتكوَّن من مجموعة النقاط التي تلتقي فيها مُمدّدات أشعة الحزمة الضّوئية البارزة من الجملة الضّوئية بشكل حزمة مُتباعِدة، تبدو كأنَّها تنبعثُ من تلك النقاط.

إثراء:

اهتمَّ ابن الهيثم في الفلسفة والطبّ والفلك والبصريّات والرياضيّات، وبرهَن رياضياً وهندسيّاً على أنَّ العينَ تبصرُ وترى بوساطة انعكاس الإشعاعات من الأشياء المرئيّة باتّجاه العين، وليس بوساطة شعاع ينبثقُ من العين إلى الأشياء. بذلكَ أبطل ابنُ الهيثم النظرية اليونانيّة لكلٍّ من أقليدس وبطليموس، التي كانَت تقولُ بأنَّ الرؤية تحصلُ من انبعاث شعاع ضوئيّ من العين إلى الجسم المرئيّ. فأحدثَ بذلك انقلاباً في علم البصريّات، وجعلَ منه علماً مُستقِلاًّ، له أصولُه وأسسُه وقوانينُه.



العالم العربي الحسن ابن الهيثم
(965–1038)م
ولد في البصرة وتوفي في مصر

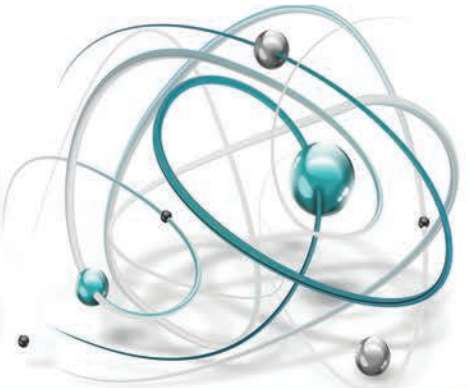
أختبر نفسي

اخترِ الإجابةَ الصّحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1. إنَّ الضّوءَ الصّادر عن مِصباح كهربائيّ يستخدمُ مُقاوَمة تنغستين هو ضوء:
   - a. بسيط.
   - b. مُركَّب.
   - c. يتغيَّر حسب شدّة التيار من مُركَّب إلى بسيط.
   - d. يعتمدُ على الشّركة التي صنعَت المِصباح.

2. إنَّ الخيال الوهميّ:
   - a. يمكنُ رؤيته بالعين المُجرَّدة.
   - b. يجبُ استخدام نظّارة خاصَّة لرؤيته.
   - c. لا يمكنُ رؤيته بالعين المُجرَّدة.
   - d. يجبُ استخدام مرآة مُستوية لرؤيته.

3. من الفروق بينَ الخيال الوهميّ والخيال الحقيقيّ:
   - a. لا يمكنُ تلقّي الخيال الوهميّ على شاشة، ويمكن تلقّي الخيال الحقيقيّ على شاشة.
   - b. لا يمكنُ رؤية الخيال الوهمي بالعين المُجرَّدة، ويمكنُ رؤية الخيال الحقيقيّ بالعين المُجرَّدة.
   - c. الخيالُ الحقيقيّ كبيرٌ بالنسبة للجسم، والخيالُ الوهميّ صغيرٌ بالنّسبة للجسم.
   - d. الخيالُ الحقيقيّ أصغرُ من الجسم، والخيالُ الوهميّ أكبرُ من الجسم.



2-4 انعكاسُ الضَّوء والمرايا

ما سببُ تشكُّل الخيال على سطح الماء في الصّورة السابقة؟

يرتدُّ الضَّوءُ الوارِدُ على سطحٍ صقيلٍ (عاكس) وفقَ اتّجاه مُعيَّن وهذا ما يسمّى بانعكاس الضوء.

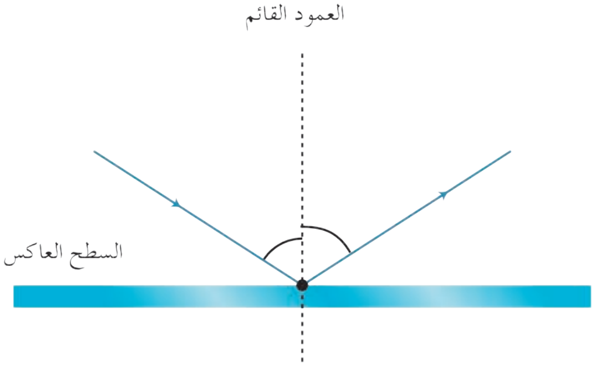
الأهداف:

* يتعرّف انعكاسَ الضَّوء.
* يتعرّف قانونَي الانعكاس.
* يتعرّف المرايا المُستوية.
* يتعرّف المرايا المُقعَّرة.
* يتعرّف المرايا المُحدَّبة.
* يتعرّف خاصيّات مسار الأشعة المُنعكِسة على سطوح المرايا.
* يُنشئ أخيلة تكوِّنُها المرايا الكرويّة للأجسام.
* يُحدِّد صفاتِ الأخيلة التي تُشكِّلها المرايا المُقعَّرة.
* يُحدِّد صفاتِ الأخيلة التي تُشكِّلها المرايا المُحدَّبة.
* يتعرّف قوانينَ المرايا الكرويّة.

الكلمات المفتاحية:

* انعكاس Reflection
* مِرآة كرويّة. Spherical Mirror.
* مِرآة مُحدَّبة. Canvex mirror.
* مِرآة مُقعَّرة. Concave mirror.
* بُعد الخيال. Image Distance.
* بُعد الجسم. Object Distance.
* محرَق Focal
* البُعد المحرَقي. Focal Length.

1-2 تعاريف أساسيّة



أقرأُ العباراتِ الآتيةَ، وأضعُ الرَّمز المُناسِب على الصّورة.

الشّعاع الوارد Si **:** هو الشّعاع الوارِد من المنبع الضّوئي إلى السّطح الصقيل.

نقطة الورود i **:** نقطةُ تلاقي الشّعاع الوارد مع السّطح الصّقيل.

الشعاع المنعكس iR **:** الشعاع المرتدُّ عن السّطح الصّقيل.

الناظم iN **:** هو العمود المُقام على السّطح العاكِس من نقطة الورود.

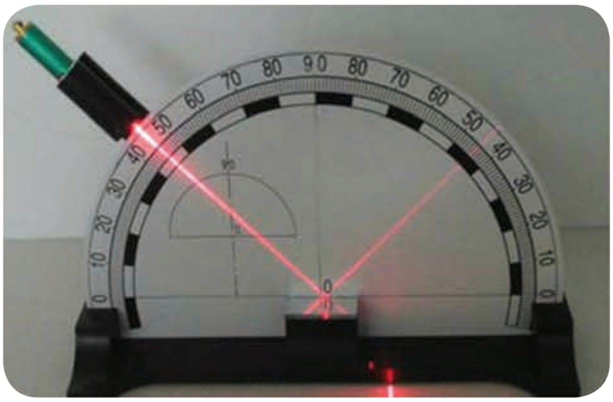
زاوية الورود θ_1 **:** هي الزاوية الكائنة بين الشّعاع الوارد والناظم $S\widehat{i}N$ على السّطح الصّقيل المُقام من نقطة الورود.

زاوية الانعكاس θ_2 **:** الزاوية الكائنة بين الشعاع المُنعكِس والناظم $R\widehat{i}N$ على السّطح الصّقيل المُقام من نقطة الورود.

مُستوي الورود: المُستوي المُعيَّن بالناظم والشّعاع الوارد.

مُستوي الانعكاس: المُستوي المُعيَّن بالناظم والشّعاع المُنعكِس.

2-2 قانونا الانعكاس



أجرِّب وأستنتج:

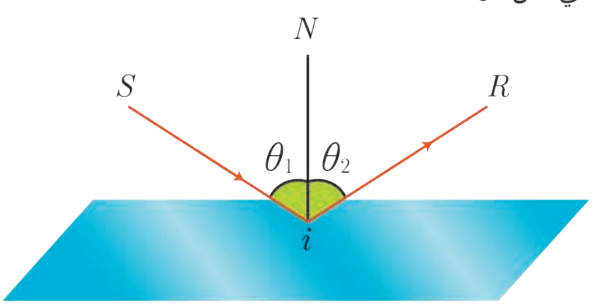
لإجراءِ التَّجربة أحتاجُ إلى:

حقيبةِ الضَّوء الهندسيّ.

خطوات التجربة:

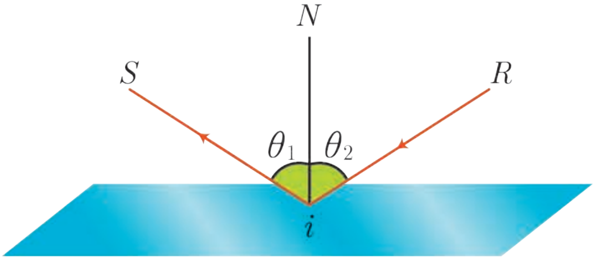
- أضعُ مِرآة مُستوية أفقيّة على سطح اللّوح المُمغنَط.
- أضعُ مِنقَلة بشكلٍ عموديّ على حافة المِرآة المُستوية.
- أوجهُ شُعاع ضوئيّ ليسقطَ على المِرآة ويلامسُ سطحَ المِنقلة عند زاوية $45°$ درجةً مثلا ماذا ألاحظ؟
- أكرِّرُ التّجربة بتغيير زاوية الورود، وأقيسُ زاويةَ الانعكاس في كلّ مرّة.

أستنتج:



- الشّعاع الضّوئي المُنعكِس يصنعُ زاوية $45°$ درجة مع الناظم على المِرآة الأفقية.
- قانونَي الانعكاس:
  - زاويتا الورود والانعكاس مُتساويتان $\theta_1 = \theta_2$.
  - مستويا الورود والانعكاس مُنطبقان (يقعُ الشّعاع المُنعكِس في مُستوي الورود).

3-2 مبدأ رجوع الضَّوء

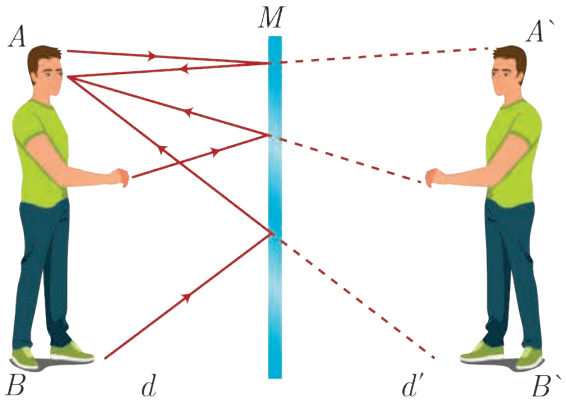


الطّريق الذي يسلكُه الضَّوءُ مُستقِلّاً عن جهةِ انتشارِه.

توضيح: لو وردَ الشّعاعُ الضّوئي من R إلى i فإنَّه ينعكسُ وفقَ الاستقامة iS.

4-2 تجاربُ انعكاس الضَّوء على المرايا

أولاً: انعكاسُ الضَّوء على مِرآة مستوية:

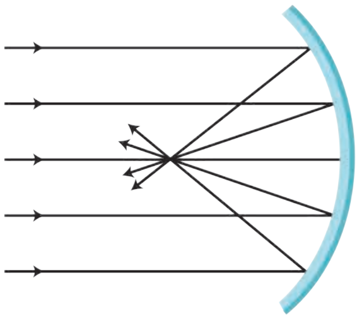


- نضعُ جسماً حقيقيّاً AB أمامَ مِرآة مُستوية M، فتُرسِل كلُّ نقطة منه حزمةً ضوئيّة تسقط على سطح المِرآة، وتنعكسُ عنها فتشكِّل مُمدّداتُ الأشعة الضوئيّة المُنعكِسة خيالاً وهميّاً لكلِّ نقطةٍ من الجسم.
- وبالتالي تشكِّل المِرآةُ المُستويّة للجسم الحقيقيّ AB خيالاً وهميّاً صحيحاً $A'B'$ مُناظِراً للجسم الحقيقي بالنّسبة لسطح المِرآة ومُساوياً له بالطول.
- $d = d'$، $A'B' = AB$

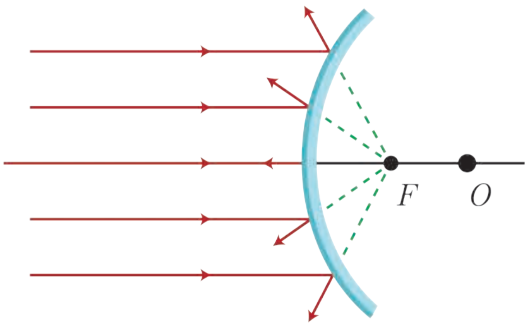
ثانياً: انعكاسُ الضَّوء على مِرآة كروية:

المِرآة الكروية: سطحٌ عاكِس على شكل قبَّةٍ كرويةٍ، اقتطِعَ من كرةٍ بمستوٍ. وهي نوعان:

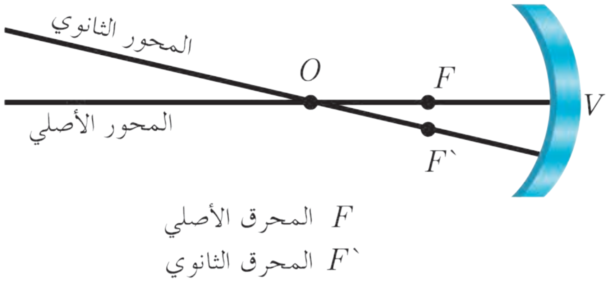
- **المِرآةُ مُقعَّرة:** إذا كانَ السطحُ العاكِس هو السّطح الدّاخلي للكرة التي قُطِعَت منها المِرآة.



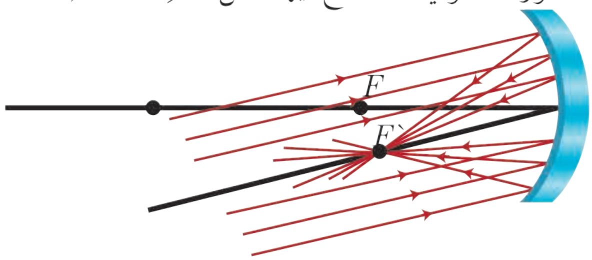
- **المِرآةُ مُحدَّبة:** إذا كانَ السطحُ العاكِس هو السطحُ الخارجيّ للكرة التي قُطِعَت منها المِرآة.



- **مركزُ المِرآة الكرويّة O :** مركزُ الكرة التي قُطِعَت منها المِرآة.
- **نصفُ قطر المِرآة الكروية $R = OV$:** نصفُ قطر الكرة التي قُطِعت منها المِرآة.
- **قاعدةُ المِرآة الكرويّة:** قاعدة القبّة الكرويّة.
- **المحورُ الأصليّ للمِرآة الكروية:** العمودُ المُقام على قاعدة المِرآة، والمارّ من مركزها، وهو محوَر تناظُر للمِرآة.
- **رأسُ المِرآة الكرويّة V :** نقطةُ تقاطع المحوَر الأصلي مع سطح المِرآة.

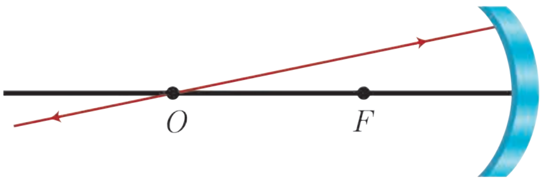


- **المحوَر الثانويّ للمِرآة الكرويّة:** كلُّ مُستقيم يمرُّ من مركز المِرآة ونقطة من المِرآة.
- **المحرَق الأصليّ للمِرآة الكروية F :** نقطةٌ تقعُ على المحوَر الأصليّ للمِرآة، تتقاطعُ فيها الأشعة المُنعكِسة (أو ممدّداتها) عن المِرآة، وذلك عند ورود حزمة ضوئيّة توازي المحوَر الأصلي للمِرآة.
- **المحرَق الثانوي للمِرآة الكرويّة:** نقطةٌ تقعُ على المحور الثانوي، تتجمَّع فيها كلُّ مُنعكِسات (الأشعة المُنعكِسة) أو مُمدِّدات مُنعكِسات أشعة الحزمة الضوئيّة التي تُوازي المحورِ الثانويّ.

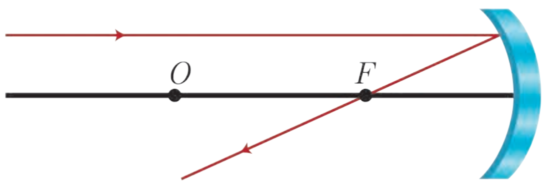


خاصيّات سير الأشعة المُنعكِسة على سطوح المرايا المُقعَّرة:

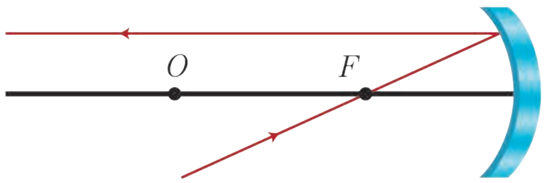
- **خاصّة المركز:** كلُّ شعاع ضوئيّ يرد مارّاً من مركز المِرآة المُقعَّرة O ينعكسُ مرتدّاً على نفسه.



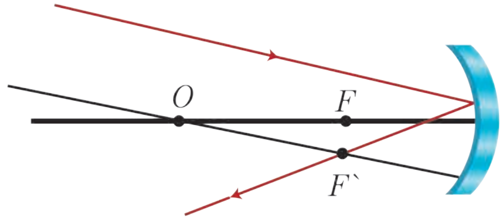
- **خاصّة المحرَق الأصلي:** كلُّ شعاع ضوئيّ يردُ موازِياً المحورَ الأصليّ لِمرآةٍ مُقعَّرة ينعكسُ مارّاً من محرقها الأصليّ F.



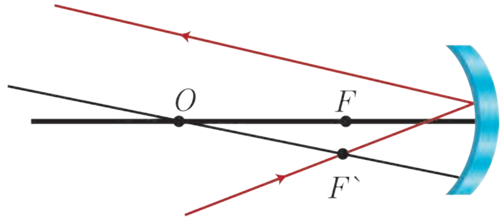
- **خاصّة عكس المحرَق الأصلي:** كلُّ شعاع ضوئي يرد مارّاً من المحرَق الأصلي F لِمرآة مُقعَّرة ينعكس موازياً لمحورها الأصلي.



- **خاصّة المحرَق الثانويّ:** كلُّ شعاع ضوئيّ يردُ موازياً المحـورَ الثانـوي لِمـرآةٍ مُقعَّـرة ينعكسُ مـارّاً مـن مِحرقها الثانويّ.



- **خاصّة عكس المحرَق الثانوي:** كلُّ شعاع ضوئي يردُ مارّاً من المحرَق الثانويّ لِمرآة مُقعَّرة ينعكسُ موازياً محورَها الثانوي.



الإنشاءُ الهندسيّ للأخيلة المتكوّنة في المرايا الكرويّة المُقعَّرة:

للحصول على خيالِ جسمٍ حقيقيّ نستفيدُ من خاصيّات سير الأشعة، ويكفي لتحديدِ خيال نقطةٍ من الجسم اعتمادَ خاصَّتَين لرسمِ شعاعَين ضوئيَّين صادرَين عن تلك النقطة وتحديد خيالها، وهي نقطة تلاقيهما أو نقطة تلاقي مُمدِّديهما.

ونفترضُ في دراستنا لرسم الأخيلة أنَّ شروطَ جودة الخيال (شروط غاوس) مُحقَّقة وهي:

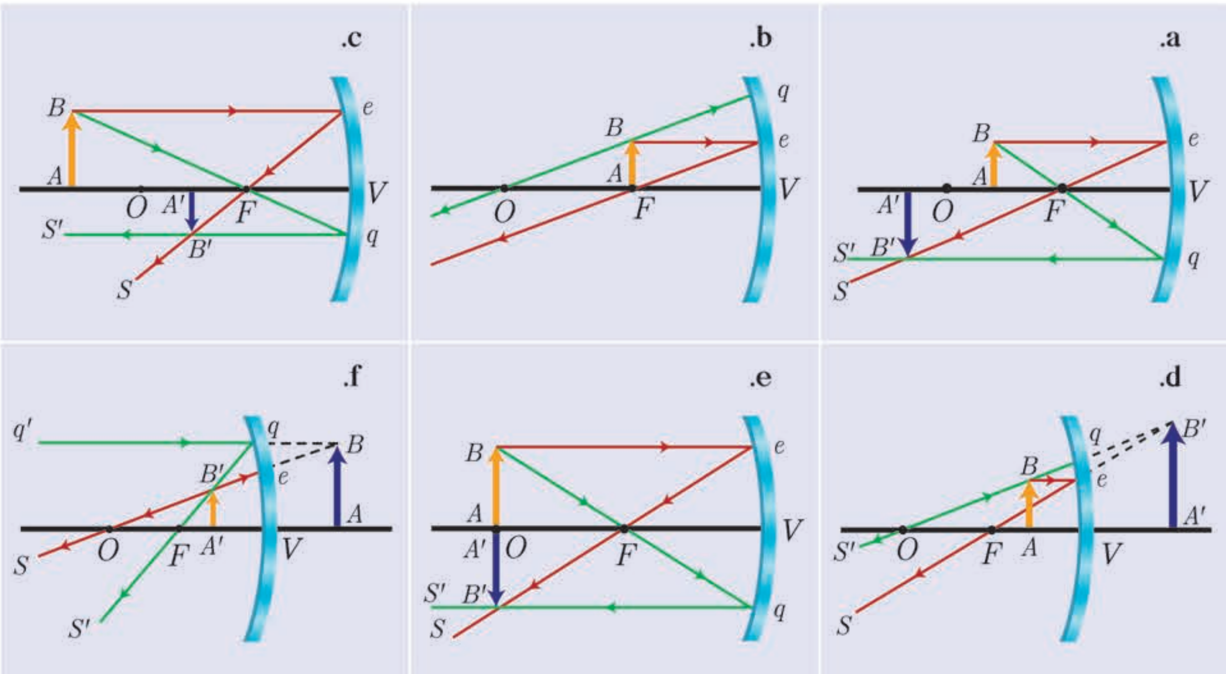
a. أن تكونَ زاويةُ فتحة المِرآة صغيرةً، لا تتجاوز (10°).

b. أن يكونَ الجسمُ صغيرَ الأبعادِ مُقارَنة بنصفِ قطر المِرآة.

c. أن يكونَ الجسمُ قريباً من المحوَر الأصليّ، وعموديّاً عليه.

أضعُ جسماً حقيقيّاً AB أمامَ مِرآة مُقعَّرة على أبعاد مختلفة عن رأسها، بحيثُ يكونُ عموديّاً على محورها الأصليّ، فتتشكَّلُ مجموعةٌ من الأخيلة.

ألاحظُ الصورَ الآتية، وأملأُ الجدولَ بالرَّقم الذي يعبرُ عن الشّكل المُناسِب لموقع وصفات الخيال.

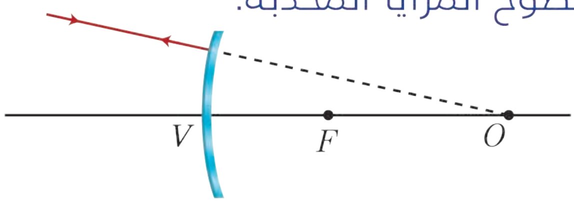


الشكل	موقع وصفات الخيال $A'B'$	موقع الجسم الحقيقي AB
	• حقيقيّ. • مقلوب. • يقـعُ بيـنَ المركـز O والمحـرَق الأصلـي F. • طولُه أصغرُ من طول الجسم.	جسمٌ حقيقيّ يقعُ أبعدَ من مركز المِرآة عن محرقها الأصليّ. $d > OV$
	• حقيقيّ. • مقلوب. • يقعُ في المركز. • طولُه يساوي طول الجسم.	جسمٌ حقيقيّ في مركز المِرآة $d = OV$
	• حقيقي. • مقلوب. • يقع أبعد من المركز. • طوله أكبر من طول الجسم.	جسمٌ حقيقيّ يقعُ بينَ المركز والمحرَق $d < OV$
	• المِـرآة المُقعَّـرة تشـكِّلُ لجسـم حقيقـيّ واقـع فـي محرقهـا الأصلـيّ خيـالاً واقعـاً فـي اللانهايـة.	جسمٌ حقيقيّ يقعُ في المستوي المحرَقي
	• وهميّ. • صحيح. • يقعُ خلفَ المِرآة. • طولُه أكبرُ من طول الجسم.	جسمٌ حقيقيّ يقعُ بينَ المحرَق ورأس المِرآة $d < OV$
	• حقيقيّ. • صحيح. • يقـعُ بيـنَ رأس المِـرآة ومحرقهـا الأصلـي. • طولُه أصغرُ من طول الجسم.	جسمٌ وهميّ يقعُ خلفَ المِرآة

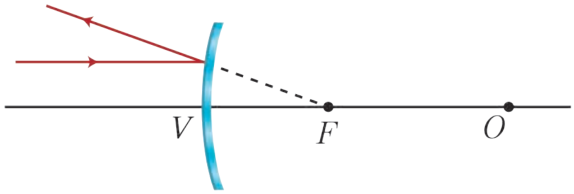
ثالثاً: الانعكاسُ على المرايا المُحدَّبة:

خاصيّات سير الأشعة المُنعكِسة على سطوح المرايا المُحدَّبة:

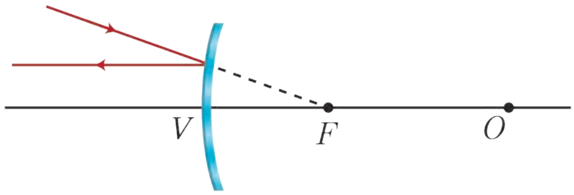
- **خاصّة المركز:** كلُّ شعاع ضوئيّ يردُ مُتّجِهاً نحو مركز المِرآة المُحدَّبة ينعكسُ مُرتدّاً على نفسه.



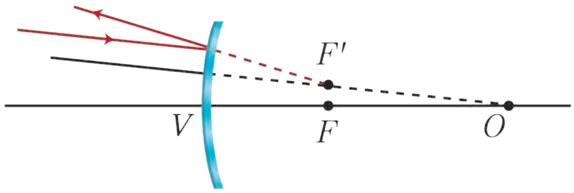
- **خاصّة المحرَق الأصلي:** كلُّ شعاع ضوئيّ يردُ موازياً المحورَ الأصلي لمِرآة مُحدَّبة ينعكسُ كأنّه صادرٌ عن محرقها الأصليّ (محرق وهمي).



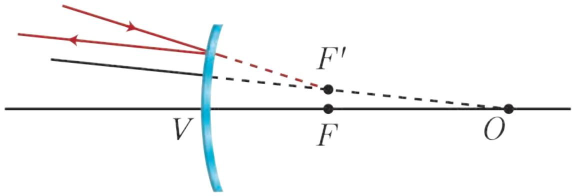
- **خاصّة عكس المحرَق الأصلي:** كلُّ شعاع ضوئي يمرُّ مُمدّده من المحرَق الأصلي لمِرآة مُحدَّبة ينعكسُ موازياً لمحورها الأصليّ.



- **خاصّة المحرَق الثانوي:** كلُّ شعاع ضوئيّ يردُ موازياً المحور الثانويّ لمِرآةٍ مُحدَّبة ينعكسُ كأنّه صادرٌ عن محرقها الثانويّ.

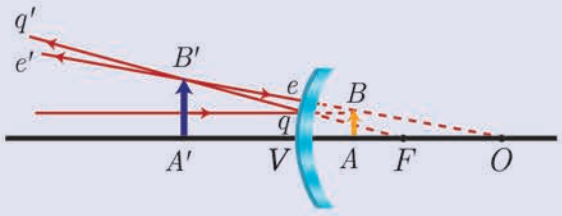


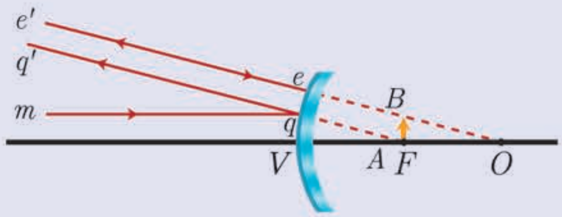
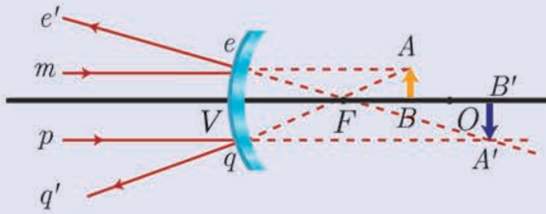
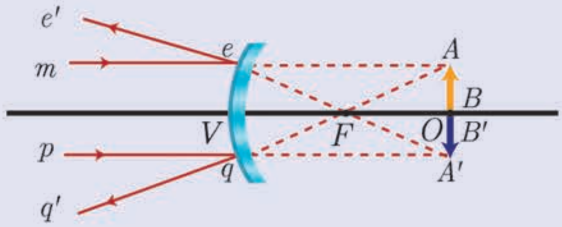
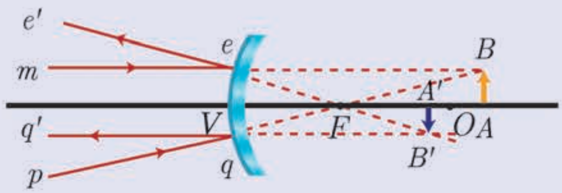
- **خاصّة عكس المحرَق الثانوي:** كلُّ شعاع ضوئيّ يمرُّ مُمدّده من المحرَق الثانويّ لمِرآةٍ مُحدَّبة ينعكسُ موازياً محورَها الثانوي.

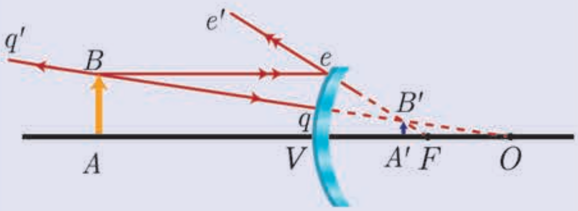


الإنشاءُ الهندسيّ لتكوُّن الأخيلة في المرايا الكرويّة المُحدَّبة:

1. خيالُ جسمٍ وهمي
2. خيالُ جسمٍ حقيقيّ

حالاتٌ مُختلِفة للجسم الوهميّ	صفاتُ الخيال	الشَّكل
الجسمُ يقع بينَ رأس المِرآة ومحرقها $d < VF$	• حقيقيّ. • صحيح. • أكبرُ من الجسمِ. • يقعُ خلفَ المِرآة.	

الجسمُ يقعُ في المُستوي المحرَقي	• حقيقيّ. • يقعُ في اللانهايّة.	
الجسمُ يقعُ بينَ المحرَق ومركز المِرآة $VF < d < OV$	• وهميّ. • مقلوب. • أكبرُ من الجسم. • يقعُ أبعد من مركز المِـرآة.	
الجسم يقع في مركز المِرآة $d = OV$	• وهميّ. • مقلوب. • طوله مساوٍ لطول الجسم. • يقع في مركز المِرآة.	
الجسمُ يقعُ بينَ مركز المِرآة واللانهايّة	• وهميّ. • مقلوب. • أصغرُ من الجسم. • يقعُ بينَ المركز ورأس المِـرآة.	

حالة جسم حقيقي	صفات الخيال	الشكل
الجسمُ يقعُ أمامَ رأس مِرآة مُحدَّبة	• وهميّ. • صحيح. • يقعُ بينَ رأس المِرآة ومحرقهـا . • طولُه أصغرُ من طول الجسـم.	

5-2 اصطلاح الإشارة

نعتبرُ أنَّ الأشعةَ الضوئيّة تردُ دوماً من اليسار إلى اليمين، وتقاس الأبعاد بدءاً من رأس المِرآة.
نعرّف التكبير الخطي M بأنه النسبة بين طول الخيال h' وطول الجسم h.

نوع المرآة	مقعرة		محدبة	
	حقيقي	وهمي	حقيقي	وهمي
بُعد الجسم	+	-	+	-
بُعد الخيال	+	-	+	-
طول الجسم	+ إذا وقع فوق المحور الأصلي		+ إذا وقع فوق المحور الأصلي	
طول الخيال	- إذا وقع تحت المحور الأصلي		- إذا وقع تحت المحور الأصلي	
نصف قطر الدائرة	+		-	
البُعد المحرقي	+		-	
التكبير الخطي M	$M < 0$ الخيال مقلوب $M > 0$ الخيال صحيح		$M > 1$ طول الخيال أكبر من طول الجسم. $M = 1$ طول الخيال يساوي طول الجسم. $M < 1$ طول الخيال أصغر من طول الجسم.	

6-2 دستورا المرايا الكرويّة (ضمن شرطَي غاوس)

أولاً: دستورُ ديكارت: $\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$ علماً أنَّ $F = R/2$ ، ويسمَّى F البُعد المحرَقي.

ثانياً: دستور التكبير الخطي: $M = \frac{h'}{h} = -\frac{d'}{d}$

مُلاحظة: تمَّت إضافةُ إشارة $(-)$ لينسجمَ القانونُ مع اصطلاح الإشارة.

تطبيقٌ (1)

مِرآةٌ كرويَّة مُقعَّرة، نصفُ قطرها 120 cm، نضعُ أمامَها جسماً حقيقيّاً طولُه $AB = 3\text{ cm}$ ، عموديّاً على محورها الأصلي وعلى بُعد 100 cm من رأس المِرآة، **المطلوب:**

1. احسبِ البُعد المحرَقي للمِرآة.
2. استنتجْ بالاعتماد على الرّسم الهندسيّ صفاتِ الخيال الذي تشكله المِرآة لهذا الجسم.
3. حدِّد بالحساب موضِع الخيال.
4. احسب التكبير الخطّي.
5. احسب طول الخيال.

الحل:

1. $F = \frac{R}{2} \Longrightarrow F = \frac{120}{2} = 60\,\text{cm}$
2. الجسم يقع بين مركز المرآة ومحرقها.

صفات الخيال:

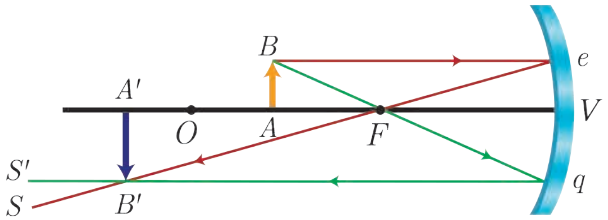
حقيقي – مقلوب – يقع أبعد من المركز – طوله أكبر من طول الجسم.

3. $\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$

$\frac{1}{100} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{60}$

$d' = 150\,\text{cm}$

فالخيال حقيقي.



4. $M = -\frac{d'}{d} = -\frac{150}{100}$

$M = -1.5$

فالخيال مقلوب.

5. $M = \frac{h'}{h} = \frac{A'B'}{AB}$

$-1.5 = \frac{A'B'}{3}$

$A'B' = -4.5\,\text{cm}$

إشارة (–) تدل على أن الخيال يقع تحت المحور الأصلي.

تطبيقٌ (2)

مِرآةٌ كرويَّة محدبة بُعدها المحرقي $10\,\text{cm}$ نضع أمامها جسم حقيقي طوله $AB = 2\,\text{cm}$ عمودي على محورها الأصلي وعلى بُعد $10\,\text{cm}$ من رأس المرآة.

1. استنتج بالاعتماد على الرسم الهندسي صفات الخيال الذي تشكله المرآة لهذا الجسم.
2. حدد بالحساب موضع الخيال.
3. احسب التكبير الخطي.
4. احسب طول الخيال.

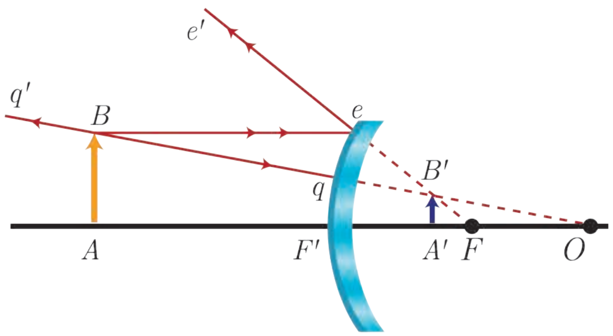
الحل:

1. **صفات الخيال:** وهمي – صحيح – يقع بين رأس المرآة ومحرقها – طوله أصغر من طول الجسم.
2. $\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$

$\frac{1}{10} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{-10}$

$d' = -5\,\text{cm}$

فالخيال وهمي.



3. $M = -\frac{d'}{d} = -\frac{-5}{10}$

$M = +\frac{1}{2}$

فالخيال حقيقي.

4. $M = \frac{h'}{h} = \frac{A'B'}{AB}$

$\frac{1}{2} = \frac{A'B'}{2}$

$A'B' = +1\,\text{cm}$

(+) الخيال يقع فوق المحور الأصلي.

تعلَّمتُ

- **قانونا الانعكاس:**
  1. مستويا الورود والانعكاس منطبقان.
  2. زاويتا الورود والانعكاس متساويتان.
- **مبدأ رجوع الضوء:** الطريق الذي يسلكه الضوء مستقل عن جهة انتشاره.
- **شروط غاوس:**
  1. زاوية فتحة المرآة صغيرة (لا تتجاوز $10°$).
  2. الجسم قريب من المحور الأصلي وعامودي عليه.
  3. أن يكون الجسم صغير الأبعاد مقارنة بنصف قطر الدائرة.
- **الانعكاس على المرايا المقعرة.** كلُّ شعاع ضوئيّ:
  1. يرد ماراً من مركز المِرآة المُقعَّرة O ينعكسُ مرتدّاً على نفسه.
  2. يردُ موازِياً المحورَ الأصليّ لِمرآةٍ مُقعَّرة ينعكسُ مارّا من محرقها الأصليّ F.
  3. يرد ماراً من المحرَق الأصلي F لِمرآة مُقعَّرة ينعكس موازياً لمحورها الأصلي.
  4. يردُ موازِياً المحورَ الثانوي لِمرآةٍ مُقعَّرة ينعكسُ ماراً من مِحرقها الثانويّ.
  5. يردُ مارّا من المحرَق الثانويّ لِمرآة مُقعَّرة ينعكسُ موازِياً محورَها الثانوي.
- **الانعكاس على المرايا المحدبة.** كلُّ شعاع ضوئيّ:
  1. يردُ مُتّجِهاً نحو مركز المِرآة المُحدَّبة ينعكسُ مُرتدّاً على نفسه.
  2. يردُ موازِياً المحورَ الأصلي لِمرآة مُحدَّبة ينعكسُ كأنّـه صادرٌ عن محرقها الأصليّ (محرق وهمي).
  3. يمرُّ مُمدّده من المحرَق الأصلي لِمرآة مُحدَّبة ينعكسُ موازِياً لمحورها الأصليّ.
  4. يردُ موازِياً المحور الثانويّ لِمرآةٍ مُحدَّبة ينعكسُ كأنَّه صادرٌ عن محرقها الثانويّ.
  5. يمرُّ مُمدّده من المحرَق الثانويّ لِمرآةٍ مُحدَّبة ينعكسُ موازِياً محورَها الثانوي.
- **دستورا المرايا الكروية:**
- $\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$ علماً أن $F = \frac{R}{2}$ هو البُعد المحرقي، و R نصف قطر الكرة التي قطعت منها المرآة، و d بُعد الجسم، و d' بُعد الخيال.
- التكبير الخطي $M = \frac{h'}{h} = -\frac{d'}{d}$ حيث h طول الجسم و h' طول الخيال.

أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابةَ الصّحيحة لكلٍّ ممَّا يأتي:

1. ارتدادُ الضَّوء عن سطح ماءٍ ساكن وفقَ اتّجاه مُعيَّن يُسمَّى:
   a. انكسار. b. انعكاس. c. انحراف. d. انتشار.

2. الزَّاوية بينَ الناظم على سطح المِرآة المُقام من نقطة الورود والشّعاع الضّوئي الوارد تسمَّى زاوية:
   a. الانكسار. b. الورود. c. الانعكاس. d. الانحراف.

3. المُستوي المُعيَّن بالناظم والشّعاع المُنعكِس يسمَّى مستوي:
   a. الورود. b. الانحراف. c. الانكسار. d. الانعكاس.

4. كلُّ شعاع ضوئيّ يردُ مارّاً من مركزِ المِرآة المُقعَّرة ينعكسُ:
   a. مُوازياً المحورَ الأصليّ للمِرآة. b. مُوازياً المحورَ الثانويّ للمِرآة.
   c. مارّاً من مركزِ المِرآة. d. مُرتدّاً على نفسه.

5. كلُّ شعاع ضوئيّ يمرُّ مُمدَّده من المحرَق الأصليّ لمِرآة مُحدَّبة ينعكسُ:
   a. مُوازياً المحورَ الأصليّ للمِرآة. b. مُوازياً المحورَ الثّانوي للمِرآة.
   c. مارّاً من المحرَق الأصلي. d. مُرتدّاً على نفسه.

6. المحوَر الأصليّ لمِرآةٍ كرويّة هو المُستقيمُ المارّ:
   a. بمحرق المِرآة وأيّ نقطةٍ على سطحها ما عدا رأس المِرآة.
   b. مماسّاً لسطحِ المِرآة.
   c. بمركز المِرآة وأيّ نقطة على سطحها.
   d. بمركز المِرآة ورأسها.

ثانياً: أجِبْ عن الأسئلة الآتية مع التّعليل:

1. يقترحُ أحدُهم أن نضعَ مِرآةً مُقعَّرة على جانبَي السّيّارة بدلاً من مِرآة مُحدَّبة، هل ترى اقتراحَه صحيحاً؟ علّل.
2. وقفَ طالب أمامَ مِرآةٍ مُستوية، مُرتدياً قميصاً رياضيّاً كُتِبَ عليه الرّقم 18، ما قراءتك لخيال الرقم 18 في المرآة المستوية صورة الرّقم السابق؟
3. إذا وضعْنا السّاعة المُجاورة أمامَ مِرآةٍ مُستوية، ما الوقتُ الذي تشيرُ إليه السّاعة؟

ثالثاً: حلّ المسائِلَ الآتية:

المسألة الأولى:

وضعنا جسماً مُضيئاً، طولُه 12 cm على بُعد مترٍ أمامَ مِرآةٍ مُقعَّرة، نصفُ قطرِها 120 cm، عمودياً على محورِها الأصلي.

المطلوب:

1. ارسم شكلاً يوضِّحُ خيالَ الجسم وصفاته.
2. احسب بُعدَ الخيال عن المِرآة.
3. احسب طولَ الخيال والتكبيرَ الخطيّ.

المسألة الثانية:

وضعنا جسماً مضيئاً طولُه 6 cm على بُعد 30 cm أمامَ مِرآة مُحدَّبة، نصف قطرها 40 cm، عموديّاً على محورها الأصلي. **المطلوب:**

1. ارسمْ شكلاً يوضح خيال الجسم وصفاتِه.
2. احسُبْ بُعد الخيال عن المِرآة.
3. احسبْ طولَ الخيالِ والتكبير الخطيّ.

المسألة الثالثة:

أينَ يجبُ وضعُ جسمٍ مُضيء أمامَ مِرآةٍ مُقعَّرة، نصفُ قطرها 180 cm، لكي تكوّنَ له خيالاً طوله يساوي نصفَ طول الجسم؟

المسألة الرابعة:

أينَ يقفُ رجلٌ أمامَ مِرآةٍ مُقعَّرة، نصفُ قطرها 120 cm، لكي يرى خياله صحيحاً ومُكبَّراً أربعَ مرّات؟

المسألة الخامسة:

مِرآتان مستويتان ومُتوازيتان، تبعدانِ عن بعضهما 20 cm، أوجِد موضعَ أقربِ ثلاثة أخيلة تشكِّلُها لنقطةٍ مُضيئة تقعُ بينَ المِرآتَين وعلى بُعد 5 cm من إحداهما.

المسألة السادسة:

أينَ يجبُ وضع جسمٍ مضيء أمامَ مِرآةٍ كرويَّة مُقعَّرة، نصف قطرها 36 cm، لكي يتكوَّنَ له خيالاً حقيقيّاً طولُه يساوي أربعةَ أمثالِ طول الجسم؟

3-4

انكسارُ الضَّوء

الأهداف:

* يتعرَّف انكسارَ الضَّوء.
* يتعرَّف قانونَي الانكسار.
* يفسّر حادثةَ الانكسار.
* يتعرَّف قرينةَ الانكسار المُطلَقة.
* يتعرَّف قرينةَ الانكسار النسبيّة.
* يتعرَّف الزاويةَ الحرجة.
* يتعرَّف الانعكاسَ الكلّي.
* يفسر بعضَ الظواهر اعتماداً على حادثة انكسار الضَّوء.

الكلمات المفتاحية:

* انكسار Refraction
* قرينة الانكسار Index of Refraction
* الزاوية الحرجة Critical angle
* الانعكاس الكلّي Full Reflection

ماذا نعني بانكسار الضَّوء؟

أجرّب وأستنتج

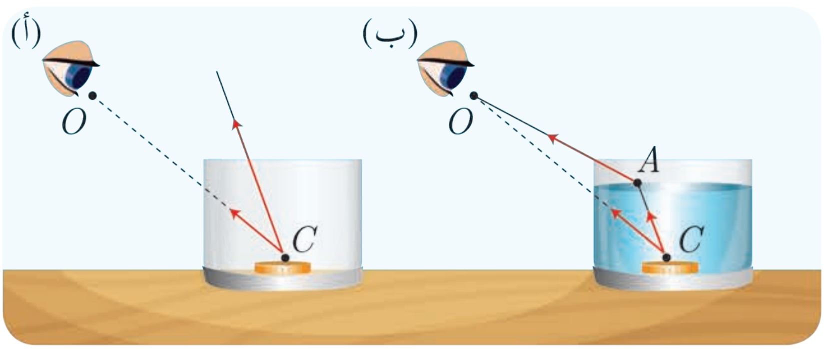
لإجراء التجربة أحتاجُ إلى:

- كأسَين فارغَين.
- قلمَي رصاص.
- ماء.
- زيت.

خطوات التجربة:

1. أملأُ أحدَ الكأسَين بالماء والآخر بمزيج من الماء والزيت.
2. أضَعُ قلماً بصورةٍ مائلة في كلّ كأس. ماذا ألاحظ؟
3. أضَعُ قلماً بشكل ناظمي. ماذا ألاحظ؟

4. أضَعُ قطعتَي نقود في كأسَين، أحدُهما يحوي الماء والآخر فارغ، أنظرُ إلى الكأسَين بشكل مائل. أي القطعتَين أرى ولماذا؟



• تبيّن التجربة أنّه عند ورود الشُّعاع الضّوئي بشكل مائل على السّطح الفاصل بينَ وسطَين شفافَين مُختلِفَين، فإنَّه ينكسرُ في الوسط الثاني وفقَ استقامة جديدة مُقترِباً من الناظم أو مُبتعِداً عنه حسب اختلاف طبيعة الوسط.

أستنتجُ:

انكسار الضَّوء، هو ظاهرة التغيّر المُفاجِئ، الذي يطرأ على منحى الأشعة الضّوئية عندَما تجتازُ بصورةٍ مائلة السطح الفاصل بين وسطَين شفافَين مُختلفَين.

ويعودُ سببُ حدوث انكسار الضَّوء لاختلاف سرعته باختلاف الوسط الشفّاف الذي ينتشر فيهِ، فكلما زادت كثافة الوسط نقصت سرعة الضَّوء، وبالتالي كانَ انكسارُ الضَّوء أكثرَ وضوحاً، علماً أنَّ سرعةَ انتشار الضَّوء تكون بقيمتها العُظمى في الخلاء $c = 3 \times 10^8 \mathrm{m.s^{-1}}$.

تعاريف

الشّعاع الوارد SI :

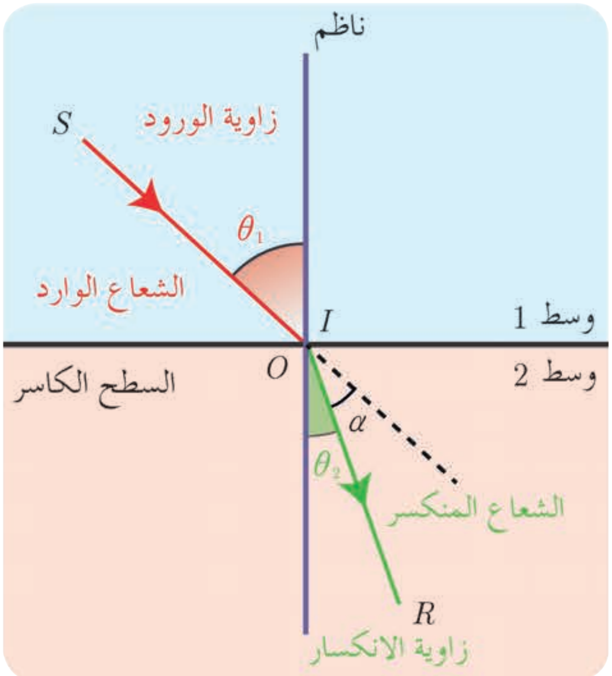
هو الشّعاع الضّوئي الذي ينتشرُ في الوسط الشفّاف الأول الذي يوجَد فيه المنبعُ الضوئي.

الشّعاع المنكسر IR :

هو الشّعاع الضّوئي الذي ينتشر في الوسط الشفّاف الثاني.

السطح الكاسر:

هو السطح الفاصل بينَ الوسطَين الشفّافَين المُختلِفَين.



نقطة الورود O:

هي النقطة التي يلاقي فيها الشّعاع الوارد السطح الكاسر.

زاوية الورود θ_1:

هي الزّاوية بين الشعاع الوارد والناظم على السطح الكاسر.

زاوية الانكسار θ_2:

هي الزاوية بين الشّعاع المُنكسِر والناظم على السطح الكاسر.

زاوية الانحراف α:

هي الزاوية بينَ مُمدّد الشّعاع الوارد والشّعاع المُنكسِر.

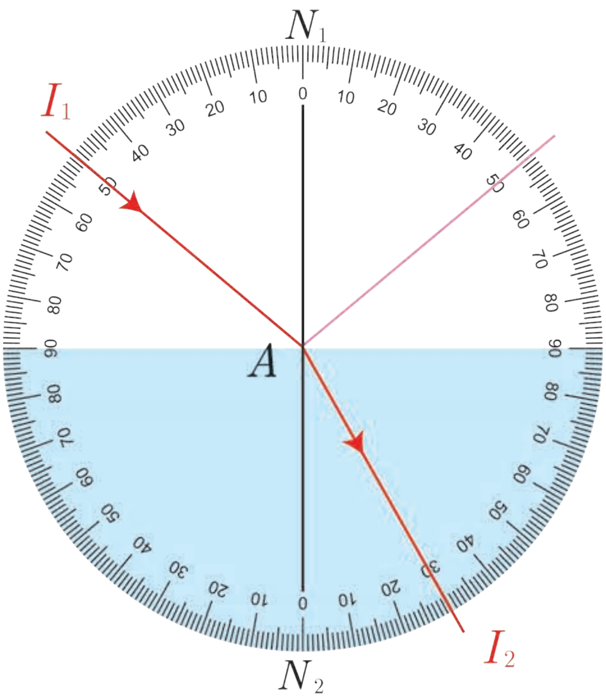
مُستوي الورود:

هو المُستوي المُعيَّن بالشّعاع الوارد والناظم على السطح الكاسر.

مستوي الانكسار:

هو المُستوي المُعيَّن بالشُّعاع المُنكسِر والناظم على السّطح الكاسر.

1-3 قانونا الانكسار



ألاحِظُ وأستنتجُ

أنظرُ إلى الصّورة الموجودة جانباً، يردُ شُعاع ضوئيَ على سطح فاصل بينَ وسطَين مُختلِفَين.

أين يقعُ شُعاعَ الورود وشعاع الانكسار؟

هل يقعان في مستو واحد؟

أستنتجُ قانونا الانكسار:

القانون الأوّل:

مُستويا الورود والانكسار مُنطبِقان، ويقعُ الشُّعاعان الوارد والمُنكسِر بجهتَين مُختلِفتَين بالنسبة للناظم على السطح الكاسر.

القانون الثاني:

نسبة جيب زاوية الورود إلى جيب زاوية الانكسار ثابِتة من أجل كاسِرٍ مُعيَّن (السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين معينين):

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = const$$

تُدعى النّسبة الثابتة **قرينة الانكسار النسبيّة**

يُرمَز لها بالرَّمز $n_{2,1}$ قرينة انكسار الوسط الثاني بالنّسبة إلى الوسط الأوّل.

وهي تساوي النّسبة بينَ سرعة انتشار الضَّوء في الوسط الأوّل، وسرعة انتشار الضَّوء في الوسط الثاني:

$$n_{2,1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

أتفكَّر

هل يمكنُ أن تكونَ قرينة الانكسار النسبية لوسطَين أقل من الواحد؟ فسِّر إجابتَك.

2-3 قرينة الانكسار المُطلَقة

عندما ينتقلُ الشُّعاع الضوئي من الخلاء إلى وسط مادي شفّاف، **تُدعى النّسبة بينَ سرعة انتشار الضَّوء في الخلاء وسرعة انتشاره في الوسط الشفّاف الثاني قرينة الانكسار المُطلَقة للوسط الثاني.**

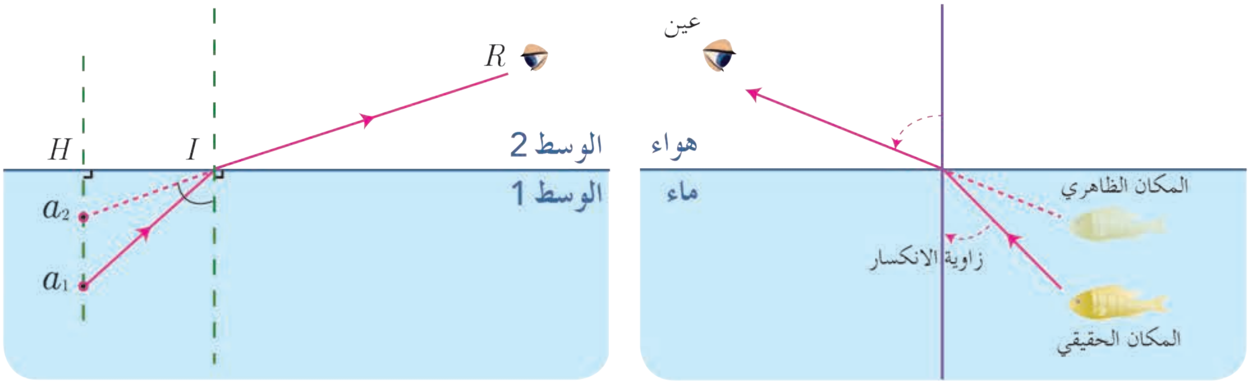
$$n = \frac{c}{v}$$

ومنه فإنَّ قرينةَ الانكسار المُطلَقة لوسط:

1. أكبرُ دائماً من الواحد.
2. ليسَ له واحدة.
3. يتناسبُ عكساً مع سرعة الضَّوء في الوسط الشفّاف الثاني.
4. قيمتُه في الخلاء تساوي الواحد.

تطبيق (1)

يرى الصيّاد السّمكة أقربَ إلى السّطح ممّا هي عليه في الحقيقة، علّل؟



لأن شعاعَ الضَّوء ينكسرُ مُبتعِداً عن الناظم عندَما ينتقلُ من السّمكة في الماء إلى الصياد في الهواء، وعينُ الصيّاد تنظرُ إلى امتداد هذه الأشعّة بموضعٍ ترى فيه السّمكة أقربَ إلى السّطح من الموضع الحقيقيَ.

3-3 العلاقة بينَ قرينة الانكسار النسبيّة وقرينتَي الانكسار المُطلقتَين

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \Longrightarrow v_1 = \frac{c}{n_1} \qquad , n_2 = \frac{c}{v_2} \Longrightarrow v_2 = \frac{c}{n_2}$$

$$n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} \Longrightarrow n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1}$$

قرينة الانكسار لوسطٍ ثاني بالنسبة إلى الوسط الأول هي: حاصل قسمة القرينة المُطلَقة للوسط الثاني على القرينة المُطلَقة للوسط الأول.

ومنه نجدُ أنَّ:

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

قانون سنيل:

عندما يعبرُ الضَّوء السّطح الفاصل بينَ وسطَين مُختلِفَين، فإنَّ حاصِل الجداء $n.\sin\theta$ يبقى ثابتاً

$$n_1\sin\theta_1 = n_2\sin\theta_2$$

عندما تكون:

$$\theta_1 = 0 \Longrightarrow \sin\theta_1 = 0 \Longrightarrow \theta = 0 \Longrightarrow \sin\theta_2 = 0$$

مُلاحَظة:

لا يغيّر الشُّعاع الضّوئي الوارد عموديّاً على السّطح الفاصِل بينَ وسطين مختلفين بالكثافة من اتجاهه عند دخوله الوسط الثاني.

أختبر نفسي

يردُ شُعاعٌ ضوئيّ من الهواء إلى الماء، بزاوية $60°$. احسب زاوية الانكسار، علماً أنَّ قرينة الانكسار للهواء (1) وللماء (1.33).

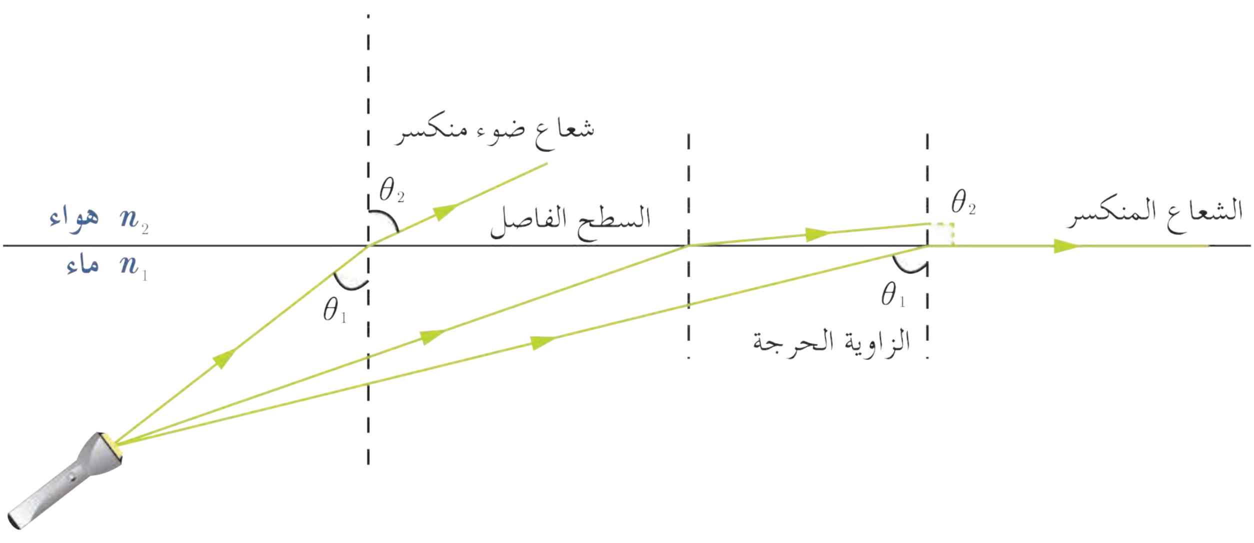
4-3 الانعكاس الكلّي والزّاوية الحرجة

أجرّبُ وأستنتج:

خطوات التجربة:

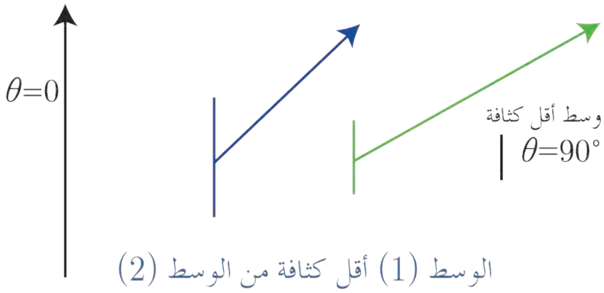
أُسقِطُ شعاعاً ضوئيّاً من وسطٍ أكثر كثافةً (قرينة انكساره أكبر) إلى وسطٍ أقلّ كثافةً. ماذا أُلاحِظ؟

- أقُومُ بزيادة زاوية الورود. ماذا أُلاحِظ؟
- أستمِرُّ بزيادة زاوية الورود إلى أن تصبحَ زاوية الانكسار $90°$. ماذا أُسمّي زاويةَ الورود في هذه الحالة؟

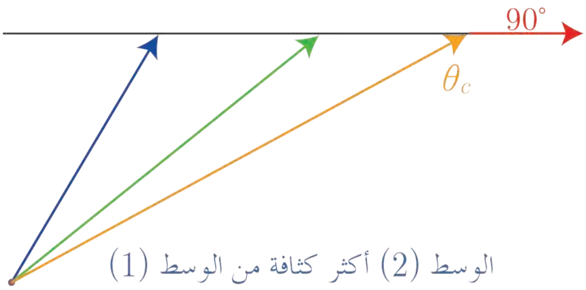


أستنتج:

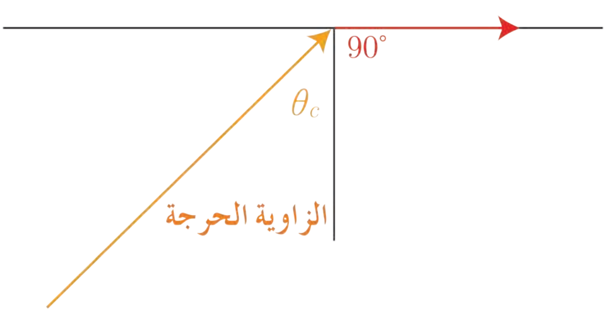
- أنَّه عندما يردُ شُعاعٌ من وسطٍ **أكثرَ كثافةً** (كالماء) إلى وسطٍ **أقلَّ كثافةً** (كالهواء)، فإنّه ينكسرُ **مُبتعِداً عن النّاظم** على السّطح الفاصل؛ أي أنَّ **زاويةَ الانكسار** تكونُ **أكبرَ** من **زاوية الورود**.



- وعندَما يردُ الضَّوء من وسطٍ **أقلَ كثافةً ضوئيّةً** إلى وسطٍ **أكثرَ كثافةً** ضوئيّة، فإنَّه **ينكسرُ مُقترِباً من النّاظِم ...**



- وبزيادةِ زاوية الورود تدريجيًّا، تزداد زاوية الانكسار، **كما في الشّكل** في الأسفل، حتّى نصلَ لزاويةِ انكسار مقدارُها 90°، **حيث يخرجُ الشُّعاع المُنكسِر مماساً (مُنطبِقاً) للسّطح الفاصل**، وزاوية انكساره قائمة، عندئذٍ تكونُ زاوية ورودِه في الوسط الأكثر كثافةً **هي الزاوية الحرجة** θ_c.

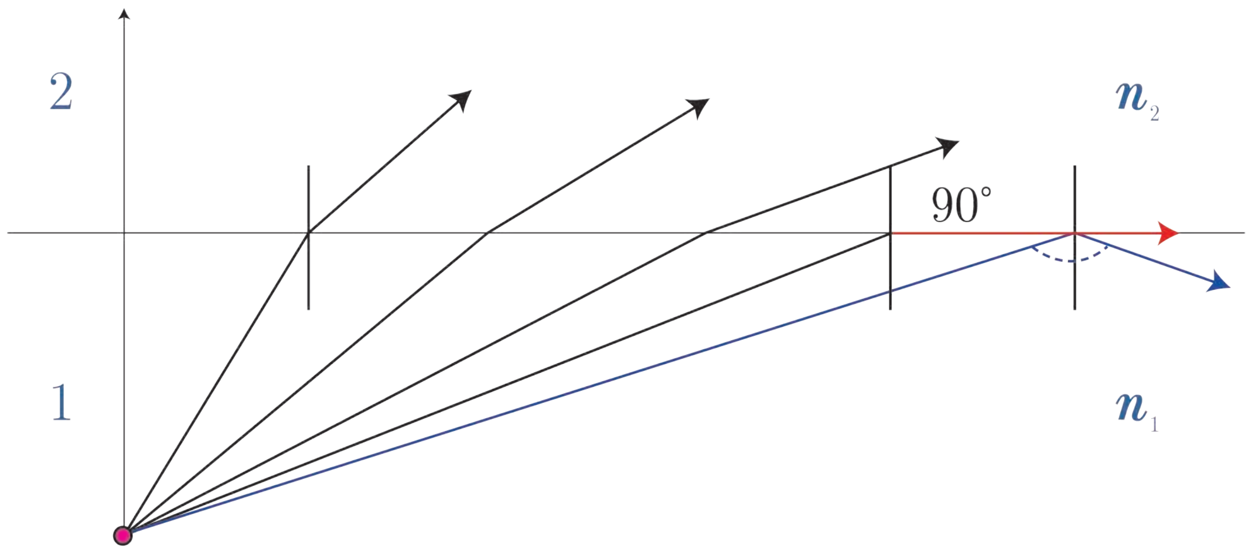


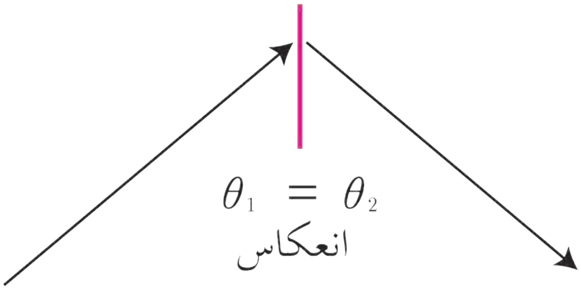
$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin\frac{\pi}{2}$$

$$= \frac{n_2}{n_1} \sin\theta_c$$

أعِد التّجربةَ السّابقة، واجعل زاويةَ الورود أكبرَ من الزّاوية الحرجة، ماذا تلاحظ؟

إذا زادَت زاويةُ الورود في الوسط الأكثر كثافة عن الزاوية الحرجة، فإنَّ الشّعاع لا ينفذُ إلى الوسط الأقل كثافةً، وإنّما ينعكسُ عند السطح الفاصل **انعكاساً كليّاً** في الوسط الأكثر كثافةً وفقاً لقانونَي الانعكاس. ويسمّى انعكاس الضّوء عندئذٍ **بالانعكاس الكلّي الداخليّ**.





- وعندَ ورودِ الشّعاع الضوئيّ في الوسط الأكبر كثافةً ضوئيّة بزاويةٍ أكبر من الزاوية الحرجة، فإنَّه ينعكسُ انعكاساً كلّياً في نفس الوسط، حيثُ نطبّق عليه قوانين الانعكاس.

الشروط الواجب توافُرها للحصول على الانعكاس الكلّي:

1. ورود شُعاع ضوئيّ من وسط أكثرَ كثافةً إلى وسط أقلَّ كثافة.
2. أن تكونَ زاوية الورود أكبرَ من الزاوية الحرجة.

تطبيق (2)

1. احسب قرينة الانكسار النسبيّة، إذا كانت زاوية الورود $60°$ في الوسط الأول، وزاوية الانكسار $30°$ في الوسط الثاني...؟

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sqrt{3}/2}{1/2} = \sqrt{3} = 1.73$$

2. إذا كانَت سرعة الضَّوء في الهواء $3 \times 10^8 \text{m.s}^{-1}$، وقرينة الانكسار المُطلَقة للماس 2.419. احسب سرعة الضَّوء في الماس ...؟

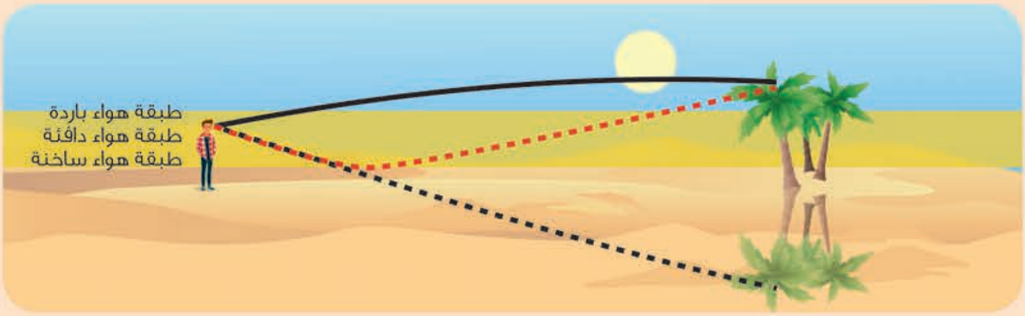
$$n = c/v \qquad 2.149 = 3 \times 10^8 / v$$

$$v = 1.24 \times 10^8 \text{m.s}^{-1}$$

إثراء:

الفيزياء وحياتنا اليوميّة

ظاهرة السراب وتفسيرها



السّراب: ظاهرة تحدثُ نهاراً في الأماكن شديدة الحرارة، حيثُ تتكوّن صورةٌ مقلوبة للأجسام البعيدة عن الناظر، فتبدو كما لو كانَت معكوسة عن سطح الماء.

تفسير ظاهرة السّراب: نظراً لارتفاع درجة حرارة طبقات الهواء القريبة من سطح الأرض، فإنَّ كثافتَها تقلُّ عن كثافة الطبقات التي تعلوها، ويترتَّب على ذلك أن تكون قرائن انكسار الضَّوء لطبقات الهواء العليا (الأبرد) أكبر من تلك التي تكون أسفلها؛ أي أنَّ هناك انحداراً تدريجيّاً لقرائن انكسارٍ من الطبقات العليا إلى الطبقات السفلى.

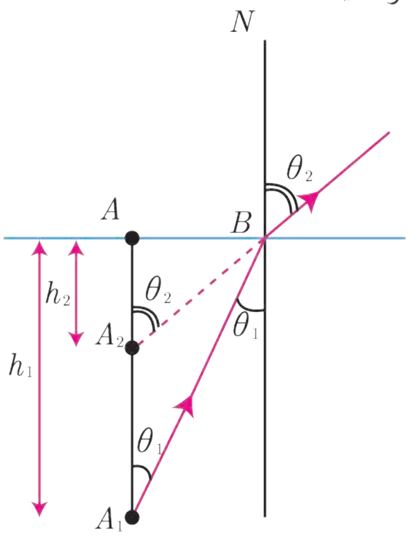
- وعند تتبُّع مسار شُعاع ضوئي صادر من قمّة جسم (كالنخلة)، فإنّه يعاني من عدّة انكسارات مُتتالية مُبتعِداً عن العمود، حيث تزدادُ زاوية وروده تدريجيّاً من طبقة لأخرى، وبالتالي تزدادُ زاوية انكساره تدريجيًّا كلما اقتربنا من سطح الأرض.
- وعندما تكونُ زاوية وروده على إحدى الطبقات أكبر من الزاوية الحرجة، فإنَّه ينعكسُ انعكاساً كلّياً مُتخِذاً مساراً مُنحنياً للأعلى. وحينَما تستقبلُه العين، فإنَّها ترى خيالاً لما ينقله الشّعاع على امتداده فترى خيالاً مقلوباً أسفل الجسم الصادر منه أشعة الضَّوء فتبدو كما لو كانت خيالاً معكوساً من سطح الماء.

ملحوظة:

- بارتفاع درجة حرارة الهواء تقلُّ كثافتُه وتقلُّ قرينة انكساره المُطلَقة والعكس صحيح.
- تحدثُ ظاهرة السراب المعكوس في المناطق القطبيّة للسبب ذاته.

5-3 خيال نقطة حقيقية في الكاسر المستوي

لتحديد خيال النقطة A_1 التي تبعد مسافة h_1 عن السّطح الكاسر، يكفي رسم الشّعاع الضّوئي A_1B الذي يردُ من النقطة A_1 إلى النقطة B من السطح الكاسر، فينكسرُ هذا الشّعاع مُبتعداً عن الناظم. نرسمُ مُمدّد الشّعاع المُنكسِر (كما في الشّكل المجاور)، فيقطع العمود AA_1 في النقطة A_2 التي تبعد مسافة h_2 عن السّطح الكاسر، والتي تمثّل خيالاً وهميّاً للنقطة A_1.



من الشّكل نجد:

$$\tan\theta_1 = \frac{AB}{A_1A}$$

$$\tan\theta_2 = \frac{AB}{A_2A}$$

$$\frac{\tan\theta_1}{\tan\theta_2} = \frac{A_2A}{A_1A}$$

وعندما تكون $\theta \leqslant 0.24\ \text{rad}$ فإن: $\tan\theta \approx \sin\theta \approx \theta$

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{A_2A}{A_1A} = \frac{h_2}{h_1}$$

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

من أجل الزوايا الصّغيرة:

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

بالمُساواة بين (1) و (2) نجدُ أنَّ:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{A_2A}{A_1A} = \frac{n_2}{n_1}$$

أستنتجُ:

يُشكّل الكاسر المُستوي لنقطة حقيقيَّة خيالاً وهميّاً يقعُ على العمود على السطح الكاسر والمارّ من تلك النقطة، ويحقّق العلاقة:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

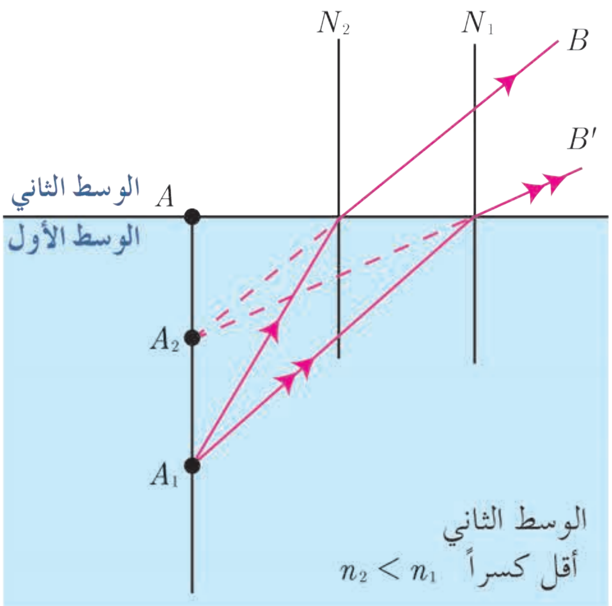
ونميّز حالتَين:

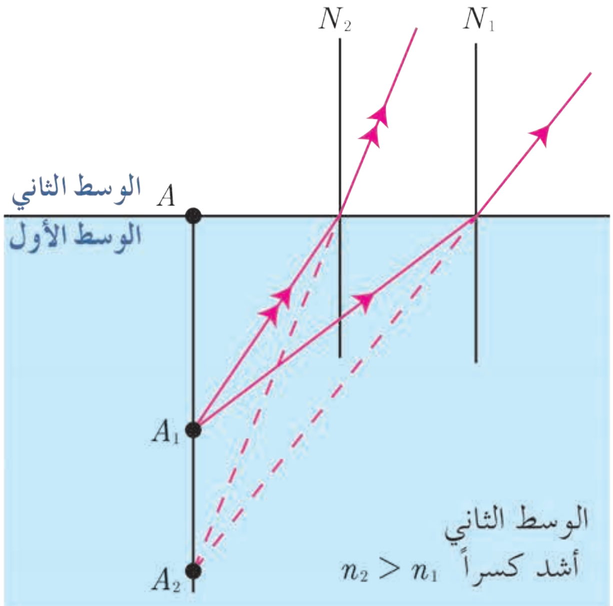
الحالة الأولى:

الوسط الثاني أقلُّ كسراً للضّوء $n_2 < n_1$، ويكون خيال النقطة الحقيقيّة أقربُ إلى السّطح الكاسر $h_2 < h_1$، لذلك يبدو بُعد السّمكة في بركةٍ عن سطح الماء $n_2 > n_1$ أقربَ من بُعدها الحقيقيّ $h_2 > h_1$، كذلك الأمر نفسه لقطعة نقود معدنيّة في حوض ماء.

الحالة الثانية:

الوسط الثاني أشدُّ كسراً للضوء: يكون خيال النقطة الحقيقية أبعدَ منها عن السّطح الكاسر.

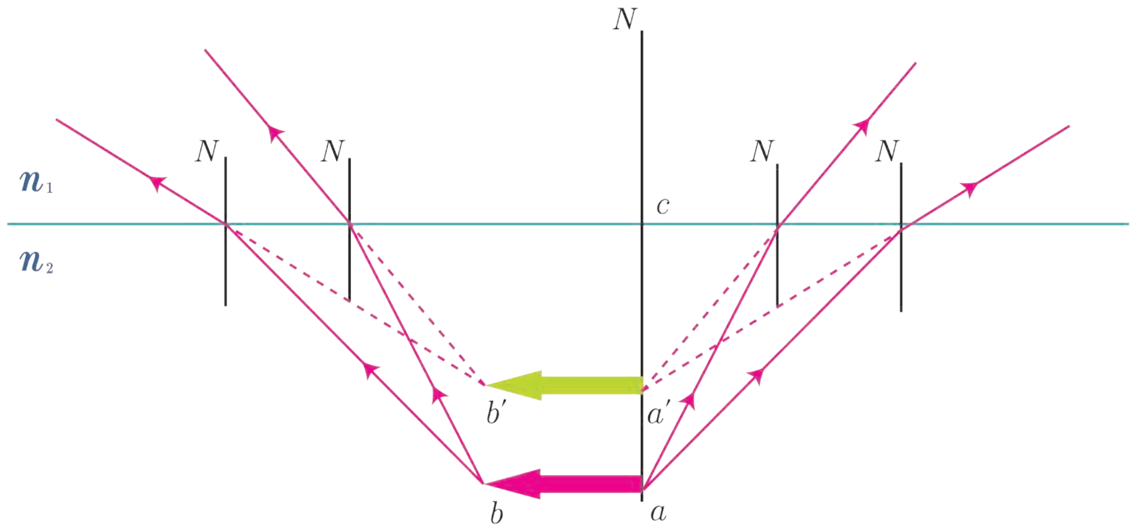




بتطبيق مبدأ رجوع الضَّوء يمكننا التعرُّف على خيال نقطةٍ وهميّة في الكاسر المُستوي:
يعطي الكاسر المُستوي لنقطةٍ وهميّة خيالاً حقيقيّاً يقعُ على الناظم على السطح الكاسر والمارّ من تلك النقطة، ويكون أبعد من النقطة الوهميّة عن السطح الكاسر إذا كانَ الوسط الثاني أقلّ كسراً، ويكونُ أقرب وأقرب من النقطة الوهميّة عن السطح الكاسر إذا كان الوسط الثاني أشدّ كسراً، وتتحقَّق العلاقة:

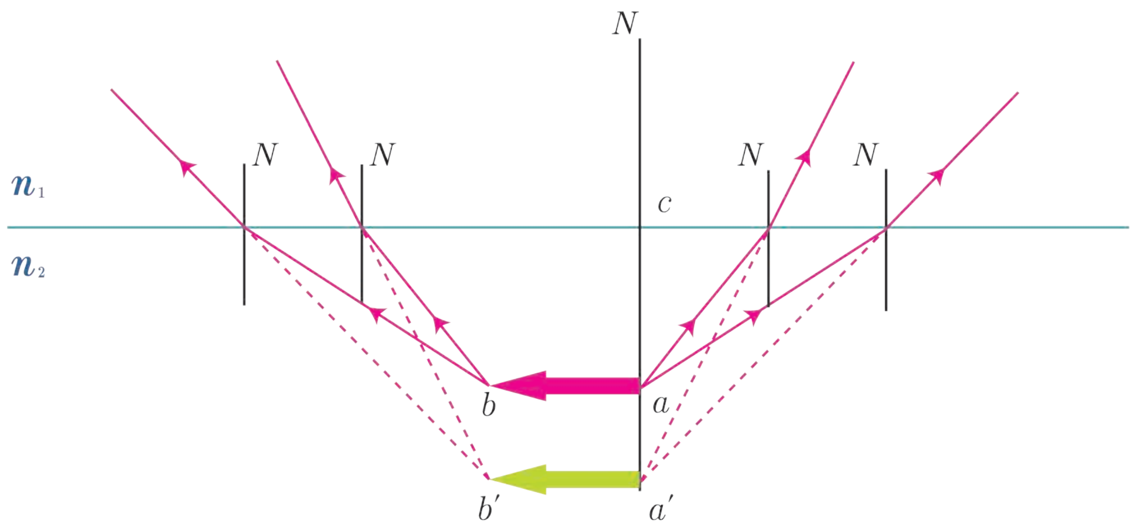
$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

ملاحظة:
يمكن أن نقبلَ النتائج السّابقة من أجل جسمٍ حقيقيّ أو جسمٍ وهميّ كونَ الجسم مؤلَّفاً من مجموعةٍ من النقاط.



$h_1 = ac$ $h_2 = a'c$ $n_2 < n_1$ $h_2 < h_1$

الوسط الثاني أقل كسراً



$h_1 = ac$ $h_2 = a'c$ $n_2 > n_1$ $h_2 > h_1$

الوسط الثاني أشد كسراً

أستنتج:

- يُحدّد الكاسر المستوي لجسم حقيقيّ خيالاً وهميّاً يساويه في الطول ويوازيه، ويرتبطُ بُعد كلّ نقطةٍ من الجسم الحقيقي عن السطح الكاسر ببُعد خيال تلك النقطة عن السطح الكاسر بالعلاقة:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

- بتطبيق مبدأ رجوع الضَّوء يمكنُنا التعرُّف على خيالِ جسمٍ وهميّ في الكاسر المُستوي.
- يُشكّل الكاسر المُستوي لجسمٍ وهميّ خيالاً حقيقياً يساويه في الطول ويوازيه.

تعلّمت

- **انكسار الضَّوء:**

هو التغيّر المُفاجِئ في مسار شعاع الضَّوء عندما يجتازُ بشكلٍ مائلٍ السطحَ الفاصل بين وسطَين شفّافَين مُختلفَين بالكثافة.

قانونا الانكسار:

– القانون الأول: مستويا الورود والانكسار مُنطبِقان، ويقعُ الشّعاعان الوارد والمنكسر بجهتَين مُختلِفتَين بالنسبة للناظم على السّطح الكاسر.

– القانون الثاني: نسبة جيب زاوية الورود إلى جيب زاوية الانكسار ثابتة من أجل كاسر مُعين (السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين معينين):

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = const.$$

- **قرينة الانكسار النسبيّة:**

$$n_{2,1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

- **قرينة الانكسار المُطلَقة:**

$$n = \frac{c}{v}$$

- **الزاوية الحرجة θ_c:**

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin\frac{\pi}{2}$$

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

- **الشروط الواجب توافُرها للحصول على الانعكاس الكلّي:**

1. ورود شعاع ضوئي من وسط أكثر كثافة إلى وسط أقل كثافة.
2. أن تكون زاوية الورود أكبر من الزاوية الحرجة.

أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابة الصّحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1. ظاهرة التغيّر المُفاجِئ الذي يطرأ على مَنحى الأشعّة الضّوئية، عندَما تجتازُ بصورة مائلة السّطح الفاصل بين وسطَين شفّافين مُختلِفين، تسمى:

a. انكسار الضَّوء. **b.** انعكاس الضَّوء. **c.** انحراف الضَّوء. **d.** انتشار الضَّوء.

2. الزاوية الحادثة بين الشّعاع الوارد والناظم على السطح الكاسر تسمَى زاوية:

a. الانكسار. **b.** الانعكاس. **c.** الورود. **d.** الانحراف.

3. المُستوي المُعيَّن بالشّعاع المُنكسِر والناظم على السطح الكاسر يسمّى مستوي:

a. الورود. **b.** الانحراف. **c.** الانعكاس. **d.** الانكسار.

ثانياً: حلّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

إذا كانَت قرينة الانكسار المُطلَقة للماء 1.33، وللزجاج 1.6. احسب الزَّاوية الحرجة بينهَما.

المسألة الثانية:

إذا كانَت قرينة الانكسار المُطلَقة للماء هو 1.33. احسب قيمةَ الزاوية الحرجة له مع الهواء.

المسألة الثالثة:

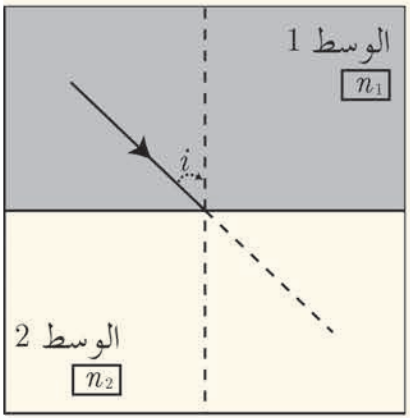
إذا كانَت سرعة الضَّوء في الهواء $3 \times 10^8 m/s$، وسرعتُه في الماس $1.33 \times 10^8 m/s$. احسب الزّاوية الحرجة بينَهما .

المسألة الرابعة:

نعتبرُ شعاعاً ضوئيّاً يخترقُ وسطَ 1 شفافاً قرينةُ انكساره n_1، وعند خروجه منه يخترقُ وسط 2 شفافاً قرينةُ انكساره n_2.

المطلوب:

1. اكتب نصّ قانونَي الانكسار.
2. بيّن بالرّسم مَسارَ الشّعاع الضّوئي داخلَ الوسط الثاني في الحالتَين $n_2 < n_1$ و $n_2 > n_1$.
3. نعتبرُ الوسط 1 عبارة عن زجاجٍ عادي قرينةُ انكساره $n_1 = 1.5$، والوسط 2 عبارة عن الهواء $n_2 = 1$.



المطلوب:

- أوجد زاوية الانكسار، إذا كانت زاوية الورود $20°$.
- احسب زاوية الانكسار عندَما تكونُ زاوية الورود $41.82°$، ماذا تستنتج؟
- ماذا يحدث لو كانَت زاوية الورود أكبر من $41.82°$. مثّل بالرَّسم سيرَ الشّعاع الضوئيّ عبر الوسطَين.

العدسات

4-4

الأهداف:

* يتعرّف العدسة.
* يتعرّف أنواعَ العدسات.
* يتعرّف خاصيّاتِ مَسار الأشعة الواردة على العدسات.
* يرسمُ أخيلة تُشكّلُها العدساتُ.
* يتعرّف قانونَي العدسات.
* يثمّن استخدامَ العدساتِ في الأجهزة البصريّة.

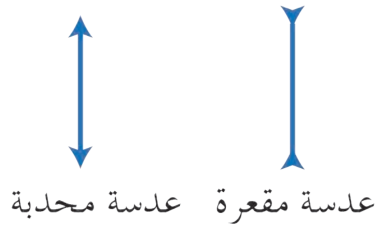
الكلمات المفتاحية:

* العدسة. Lens.
* عدسة مُقرِّبة. Converging Lens.
* عدسة مُبعّدة. Diverging Lens.

إنَّ معرفةَ قوانينِ علم الضّوء الهندسيّ مكَّنَت الإنسان من صنع أجهزةٍ بصريةٍ مُتنوّعة، كالمِجهر والنظارات الفلكية وآلة التصوير وجهاز الإسقاط وغيرها، حيثُ تدخلُ العدسات في تصنيعها. وللعدسات أهمّيةٌ كُبرى في تصنيع وعمل هذه الأجهزة البصريَّة، وتُستخدم في النظّارات الطبيّة لتصحيح عيوبِ النّظر.

1-4 العدسةُ

جسمٌ شفافٌ كاسِرٌ للضَّوء ومحصورٌ بينَ سطحَين أملسَين كرويَين، أو سطح كرويّ أملس وسطح مُستوٍ أملس. تُمثّل العدسة بقطعة مُستقيمة شاقوليّة، وتدلُّ جهةُ السهم في طرفَي القطعة على نوع العدسة كما في الشّكل:

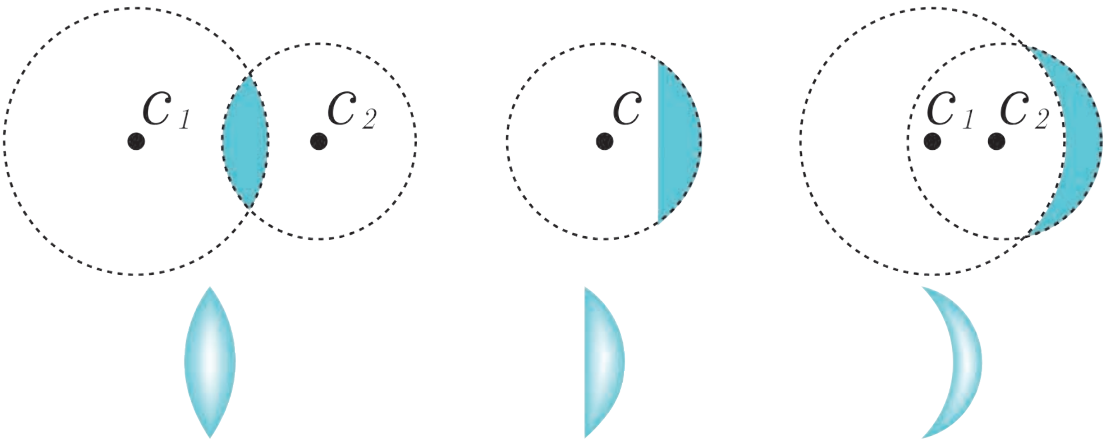


2-4 أنواع العدسات

تُصنَّف العدساتُ حسب شكلها الهندسيّ وعملِها فيزيائيّاً إلى نوعَين:

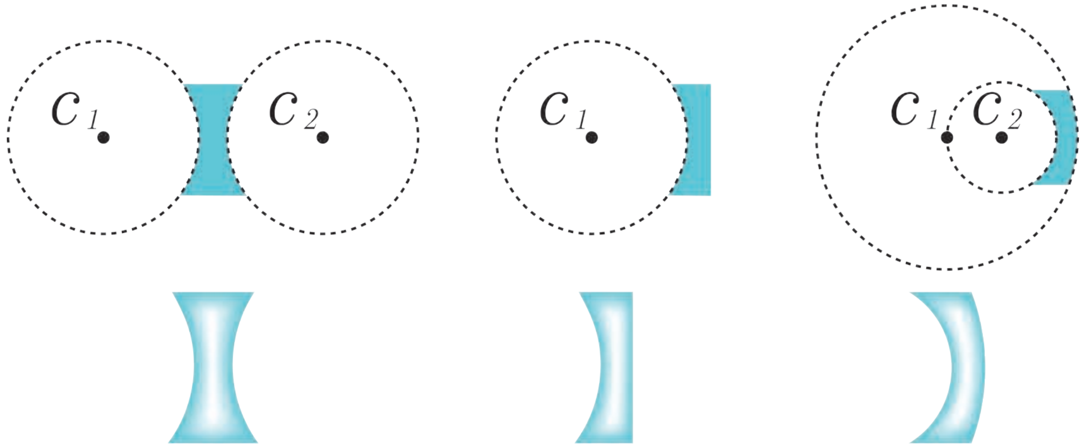
أولاً: العدسات المُقرِّبة (العدسات المُحدَّبة):

حوافُّها رقيقة ووسطُها ثخينٌ، وسُمِّيت بهذا الاسم لأنّها تحرفُ الأشعةَ البارزة وتجعلُها أكثرَ تقارُباً من بعضها، وتقرّبها من محورها الأصليّ.

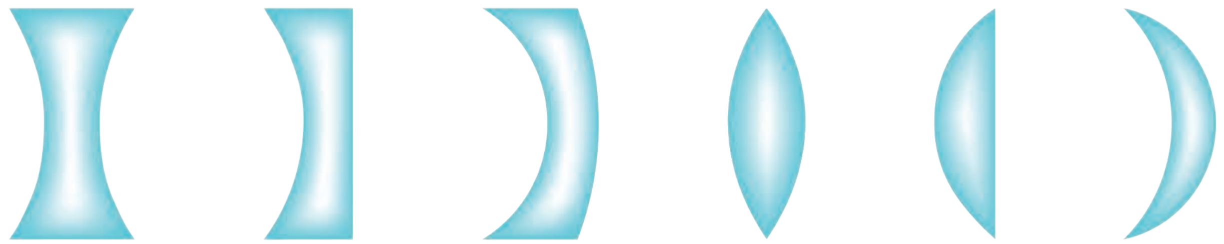


ثانياً: العدسات المُبعِّدة (العدسات المُقعَّرة):

حوافُّها ثخينة ووسطُها رقيق، وسمِّيَت بهذا الاسم لأنّها تحرفُ الأشعة البارزة وتجعلُها أكثرَ تباعُداً عن بعضها وتُبعدُها عن محورها الأصليّ.



أنواع العدسات:



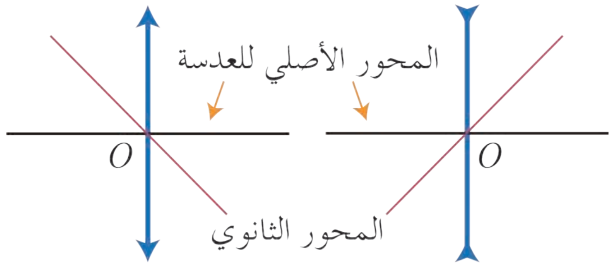
محدبة مقعرة | محدبة مستوية | محدبة الوجهين | مقعرة محدبة | مقعرة مستوية | مقعرة الوجهين

3-4 تعاريف

المحوَر الأصليّ للعدسة: المُستقيم المارّ بمركزَي السطحَين الكرويَين للعدسة، أو المُستقيم العمود على السّطح المُستوي للعدسة والمارّ بالمركز الكرويّ للسطح الآخر.

المركز البصريّ للعدسة (O): هو نقطة تقاطع العدسة مع محورها الأصلي (نفترض العدسة رقيقة بحيث نهمل ثخانتها).

المحوَر الثانويّ للعدسة: كلُّ مُستقيم يمرُّ من المركز البصريّ عدا العمود الأصلي للعدسة ونقطة على جسم العدسة.

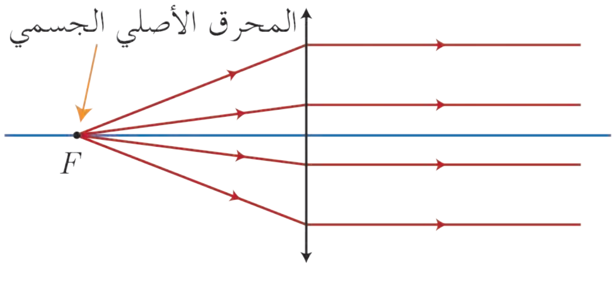


4-4 محرقا العدسة

أولاً: عدسة مُقرِّبة:

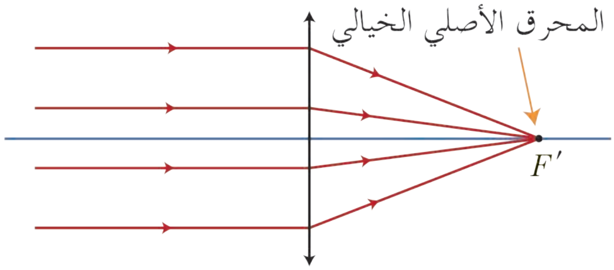
المحرَق الأصليّ الجسميّ F:

نقطةٌ من المحور الأصليّ كلّ الأشعة الضوئيّة الصادرة عنها تبرزُ من العدسة المُقرِّبة مُوازيةً المحورَ الأصلي. (يقع في الجهة التي تردُ منها الأشعة الضوئية).



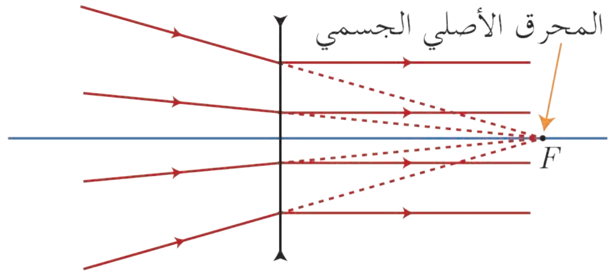
المحرَق الأصليّ الخياليّ F':

نقطة من المحور الأصلي تتلاقى فيها الأشعة الضّوئية المُتوازية بعد أن تبرزَ من العدسة المُقرِّبة. (يقع في الجهة التي تنفذُ منها الأشعةُ الضّوئية).



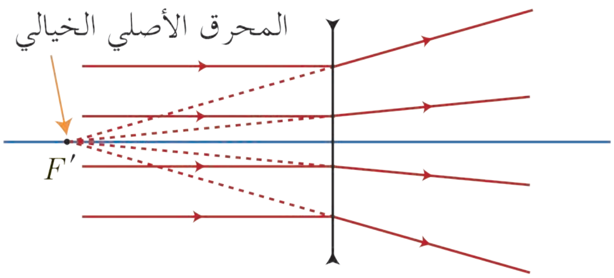
ثانياً: عدسة مُبعِّدة:

المحرَق الأصليّ الجسميّ F :



نقطة من المحور الأصليّ تلتقي فيها مُمدّدات كلّ الأشعة الضّوئية الواردة إلى العدسة، والتي تبرزُ موازيةً محورَها الأصلي. (يقعُ في الجهة التي تنفذ الأشعة الضّوئية إليها).

المحرَق الأصليّ الخياليّ F' :

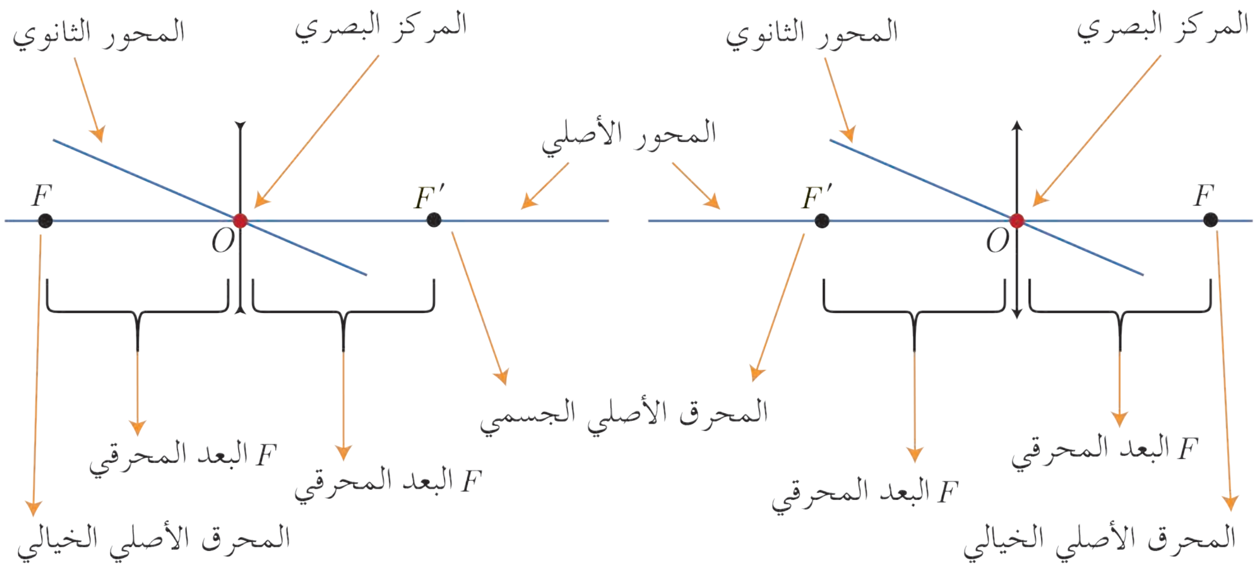


نقطة من المحور الأصلي تلتقي فيها ممددات الأشعة البارزة عندما ترد الأشعة الضوئية موازية للمحور الأصلي للعدسة المبُعدة. (يقع في الجهة التي ترد منها الأشعة الضوئية).

ملاحظة:

نسمي البُعد بين المركز البصري للعدسة ومحرقها الأصلي بالبُعد المحرَقي F.

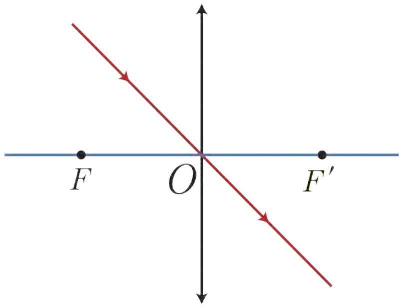
تعميم:



5-4 خاصيّات مسار الأشعة الضّوئيّة في العدسات المُقرّبة التي يُهمَلُ ثخنها بالنّسبة لأنصاف أقطارها

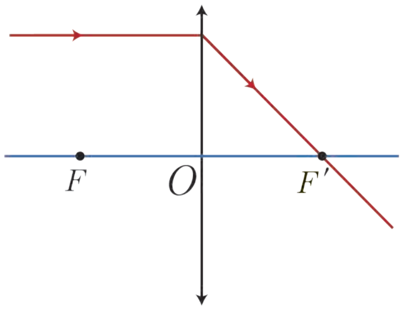
1-5-4 خاصّية المركز البصري:

كلُّ شعاع ضوئيّ يردُ مارّاً من المركز البصريّ لعدسة مُقرِّبة يجتازُها دونَ أن ينحَرفَ.



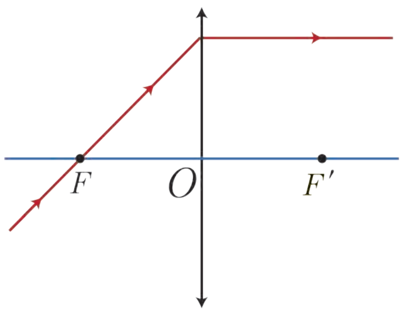
2-5-4 خاصّية المحرَق الأصليّ الخيالي:

كلّ شعاع ضوئيّ يرد إلى عدسة مُقرِّبة موازياً محورَها الأصلي يبرزُ منها مارّاً من محرقها الأصلي الخيالي.



3-5-4 خاصّية عكس المحرَق الأصلي (خاصّة المحرَق الأصليّ الجسميّ):

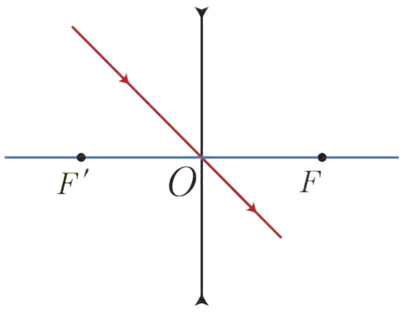
كلُّ شعاع ضوئي يردُ مارّاً من المحرَق الأصلي لعدسة مُقرّبة يبرز مُوازياً محورَها الأصلي.



6-4 خاصيّات مَسار الأشعة الضّوئية في العدسات المُبعِّدة التي يهمل ثخنها بالنّسبة لأنصاف أقطارها

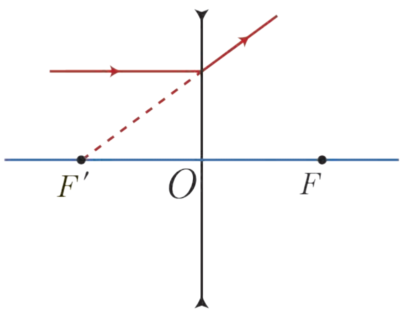
1-6-4 خاصّية المركز البصريّ:

كلُّ شعاع ضوئي يردُ مارّاً من المركز البصريّ لعدسةٍ مُبعِّدة يجتازُها دونَ أن ينحَرِف.

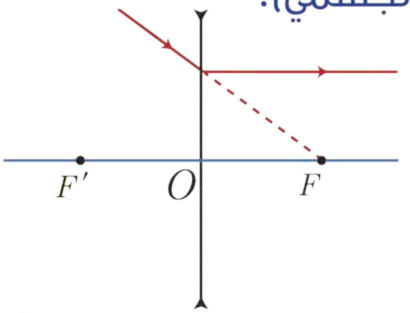


2-6-4 خاصّية المحرَق الأصليّ الخياليّ:

كلُّ شعاع ضوئي يردُ إلى عدسةٍ مُبعِّدة موازياً محورَها الأصليّ يبرزُ كأنّه صادرٌ عن محرقها الأصلي الخياليّ (محرَق وهمي).



4-6-3 خاصّية عكس المحرَق الأصلي (المحرَق الأصليّ الجسميّ):



كلُّ شعاع ضوئي يردُ إلى عدسةٍ مُبعّدة ويمرُّ مُمدّده من محرَقها الأصليّ الجسمي يَنفذُ موازياً محورَها الأصليّ.

4-7 إنشاء أخيلة تشكِّلها العدسات

للحصول على خيال جسم حقيقي نستفيدُ من خاصيّات مَسار الأشعة، ويكفي لتحديد خيال نقطة من الجسم اعتمادُ خاصيّتين لرسمِ شعاعَين ضوئيَّين صادرَين عن تلك النقطة وتحديد خيالها، وهي نقطة تلاقيهما أو نقطة تلاقي ممدّديهما.

يُرمَز لبُعد الجسم عن المركز البصريّ للعدسة بالرّمز d.

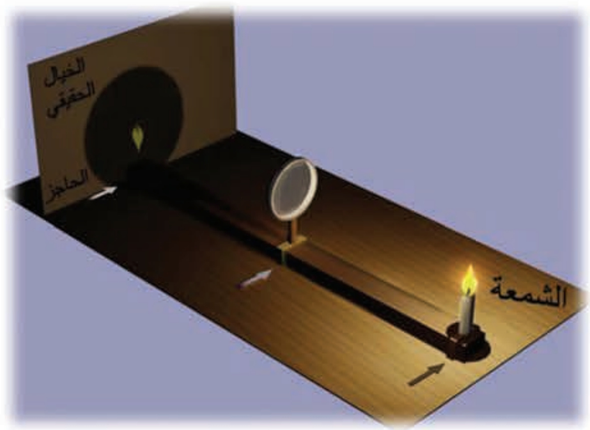
يُرمَز لبُعد الخيال عن المركز البصريّ للعدسة بالرّمز d'.

كيفَ يمكنُ لنا إيجاد البُعد المحرَقيّ لعدسة؟

أُجرِّب وأستنتجُ:

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

حقيبة الضوء الهندسيّ.



خطوات التجربة:

1. أضعُ مِسطَرةً مُدرّجة على طاولة المُختبَر.
2. أثبّتُ العدسةَ المُقرِّبة مع الحامل على المِسطرة المُدرّجة بينَ التدريجتَين $(10 - 40)\,\text{cm}$.
3. أضعُ شمعةً مُضيئةً بجانبِ طرف المِسطرَة عند التدريجة (0).
4. أحرّك الحاجزَ المحمول إلى الأمام أو إلى الخلف، لتظهرَ الصّورة مقلوبةً واضحةً ومساوية لطول الجسم.
5. أقيسُ بُعدَ الحاجز عن العدسة.
6. أقارنُ بينَ بُعد الشّمعة عن العدسة وبُعد الحاجز عن العدسة، ماذا ألاحظ؟

أستنتجُ:

- بُعد الشّمعة عن العدسة يساوي بُعد الحاجز عن العدسة.
- نسمّي نصف المسافة بينَ العدسة والخيال المقلوب المساوي لطول الجسم المُتشكّل على الحاجز في هذه الحالة **بالبُعد المحرَقي**.

أتفكر

يمكنُ لأشعّة الشّمس أن تحرقَ ورقةً رقيقة باستخدام عدسةٍ مُقرِّبة، كيفَ تفسِّر ذلك؟ وماذا نسمّي المسافةَ بين العدسة المُقرّبة ونقطة احتراق الورقة عندئذٍ؟

8-4 العدساتُ المُقرِّبة (المُحدَّبة)

1-8-4 مواضعَ الأخيلة وصفاتِها في العدسات المُقرِّبة:

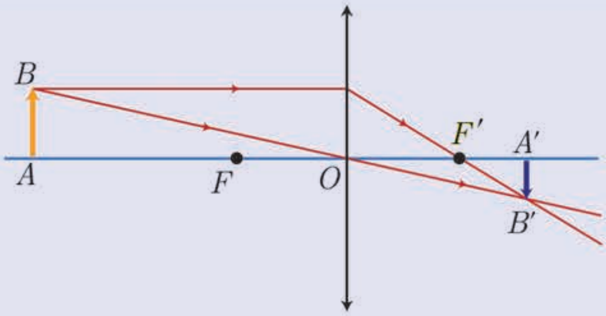
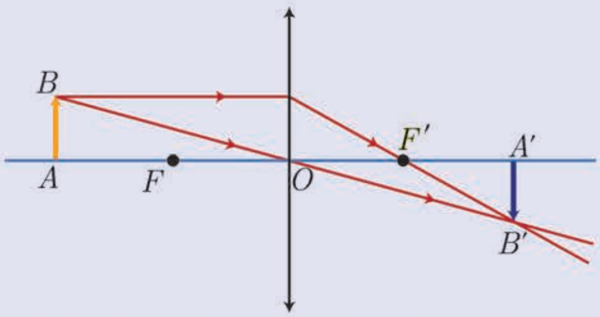
أولاً: الجسمُ الحقيقي واقعٌ أمامَ العدسة

أجرّبُ وأستنتج:

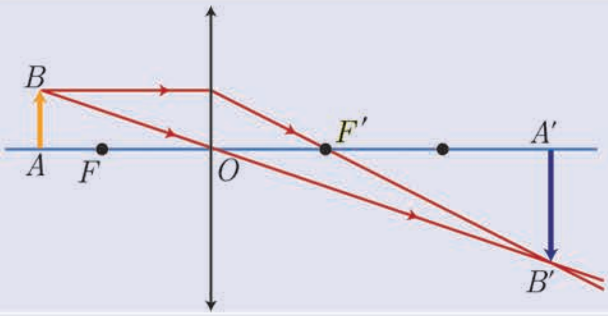
لإجراء التجربة أحتاج إلى:

حقيبة الضّوء الهندسيّ.

1. أضَعُ مِسطرةً مُدرجة على طاولة المختبر.
2. أضَعُ شمعةً مُضيئة بجانب طرف المِسطرة عند التدريجة (0).
3. أضَعُ العدسةَ السّابقة على أبعادٍ مُختلِفة عن الحاجز وفق الجدول:

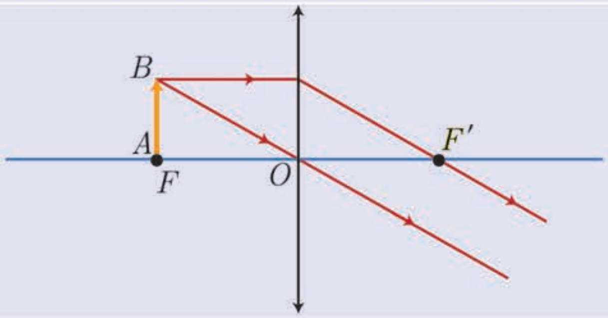
1. حالة $d > 2F$	 حقيقيّ، مقلوب، أصغرُ من الجسم، يقعُ بينَ محرَقها الخيالي F' ومثلي البُعد المحرَقي.
2. حالة $d = 2F$	 حقيقيّ، مقلوب، طولُه يساوي طول الجسم، يقعُ على بُعدٍ يساوي مثلَي البُعد المحرَقي.

3. حالة $2F > d > F$



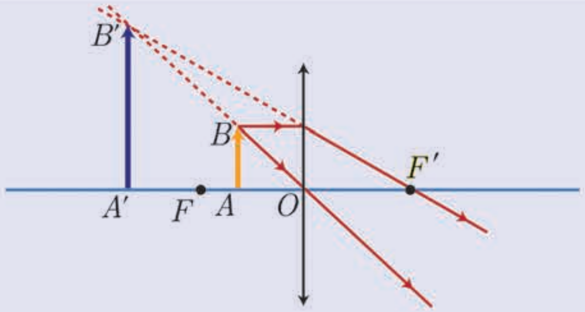
حقيقيّ، مقلوب، أكبرُ من الجسم، يقعُ بينَ مثلَي البُعد المحرَقي واللانهاية.

4. حالة $d = F$



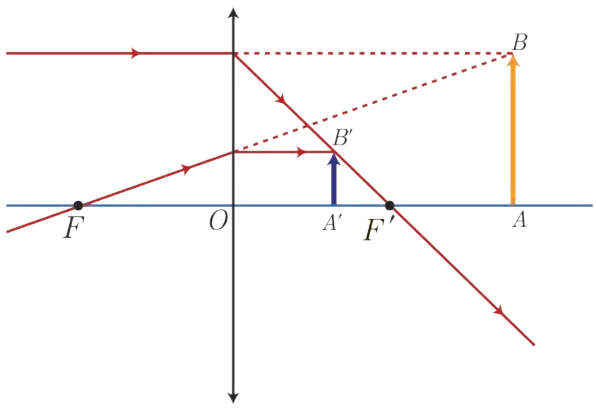
لا يتشكّلُ خيالٌ. (الخيال يقعُ في اللانهاية).

5. حالة $d < F$



وهميّ، صحيح، أكبرُ من الجسم، يقعُ بينَ محرقها الجسمي F واللانهاية.

ثانياً: الجسم وهميّ واقعٌ خلفَ العدسة حيثُ $d > F$:



كيفَ نحصلُ على جسمٍ وهميّ؟

للحصول على جسمٍ وهميّ نعترضُ مسيرَ الأشعّة المُتقاربة التي تشكّل خيالاً حقيقيّاً AB لجسمٍ مُضيء بعدسةٍ مقرّبة، فيصبحُ AB جسماً وهميّاً بالنّسبة إلى العدَسة.

تشكّل العدسة المُقرّبة لجسمٍ وهميّ واقعٍ خلفَها خيالاً $A'B'$، يتّصف بأنّه:

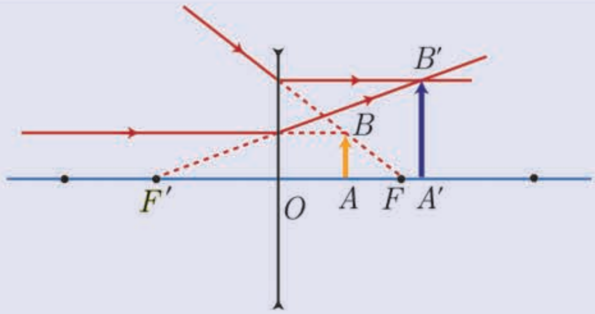
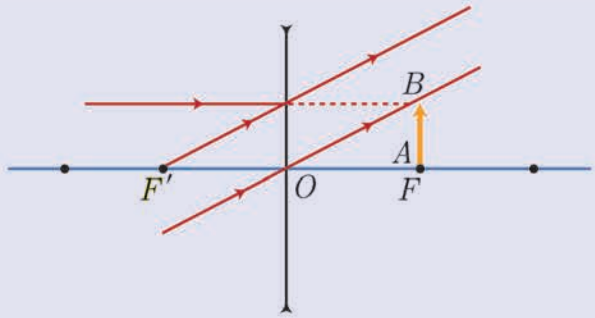
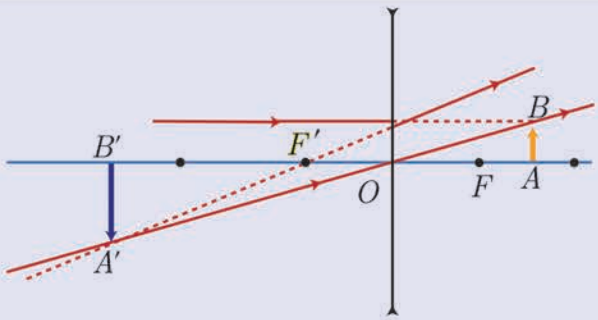
حقيقيّ، صحيح، أصغرُ من الجسم، يقعُ بينَ مركزها البصري ومحرقها الخيالي F'.

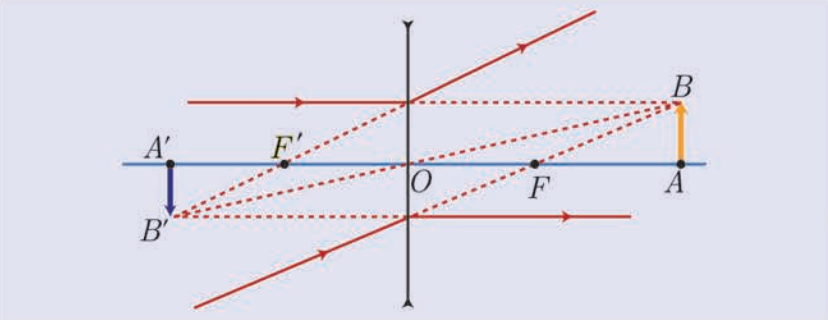
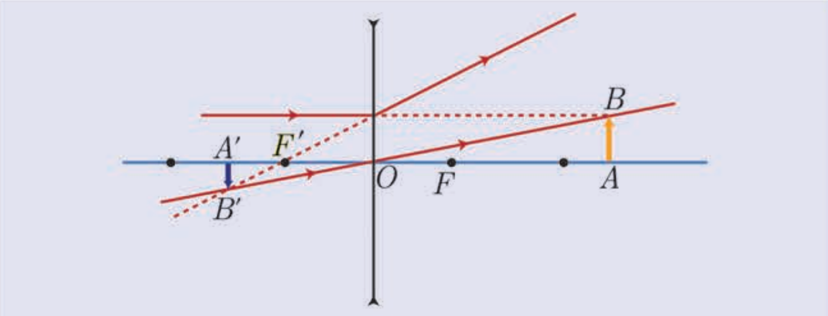
9-4 العدسات المُبعِّدة (المُقعَّرة)

1-9-4 مواضعُ الأخيلة وصفاتُها في العدسات المُبعِّدة:

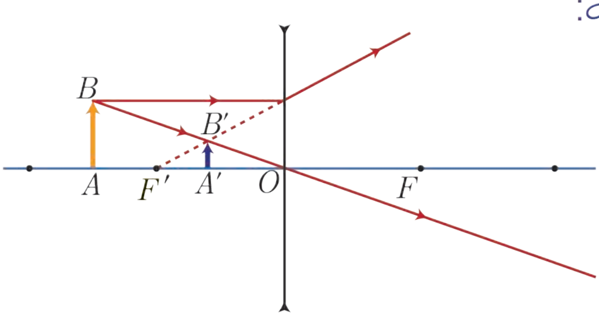
أولاً: الجسمُ الوهميّ:

نشكِّلُ لجسمٍ مُضيءٍ خيالاً حقيقيّاً AB ، ولنقطعَ الأشعةَ المُتقاربةَ بعدسةٍ مُبعِّدة، فيصبح AB جسماً وهميّاً بالنّسبة إلى العدسة المُبعِّدة واقعاً خلفَها، ونميّزُ الحالات الآتية:

يقعُ بينَ المركز البصريَ للعدسة ومحرقها الجسمي.	 حقيقيّ، صحيح، أكبرُ من الجسم، يقعُ بينَ محرقها الجسميّ F واللانهاية (من جهةِ الجسم).
يقعُ في المحرق الجسمي.	 لا يتشكَّلُ خيالٌ (الخيالُ يقعُ في اللانهاية).
يقعُ بينَ المحرق الجسمي ومثلَي البُعد المحرقيّ.	 وهميّ، مقلوب، أكبرُ من الجسم، يقعُ بينَ اللانهاية ومثلَي البُعد المحرَقيّ الخياليّ F'.

يقعُ على مسافة أبعدَ من مثلي البُعد المِحرقيّ.	 وهميّ، مقلوب، أصغرَ من الجسم، يقعُ بينَ المحرَق الخيالي F' ومثلي البُعد المحرَقي F.
يقعُ على بُعد من المركز البصري للعدسة المبعِّدة يساوي مثلَي البُعد المحرقي.	 وهميّ، مقلوب، طولُه يساوي طول الجسم، يقعُ على بُعدٍ يساوي مثلَي البُعد المحرَقيّ $d = 2F$.

ثانياً: الجسمُ الحقيقي يقعُ أمامَ العدسة:



صفاتُ الخيال:

وهميّ، صحيح، أصغرُ من الجسم، يقعُ بينَ محرقها الخيالي F' ومركزُها البصري.

اصطلاح الإشارة:

- نعتبرُ أنَّ الأشعة الضّوئية تردُ دوماً من اليسار إلى اليمين.
- تُقاسُ الأبعادُ بدءاً من المركز البصريّ للعدسة.

نوعُ العدسة	مُقرِّبة		مُبعِّدة	
بُعد الجسم d	حقيقيّ	وهميّ	حقيقيّ	وهميّ
	$+$	$-$	$+$	$-$
بُعد الخيال d'	$+$	$-$	$+$	$-$
طول الجسم h	+ إذا وقعَ فوقَ المحوَر الأصليّ.		+ إذا وقعَ فوقَ المحوَر الأصليّ.	
طول الخيال h'	− إذا وقعَ تحتَ المحوَر الأصليّ.		− إذا وقعَ تحتَ المحوَر الأصليّ.	
البُعد المحرَقي F	$+$		$-$	
التكبير الخطي M	$M < 0$ الخيال مقلوب. $M > 0$ الخيال صحيح.		$M > 1$ طول الخيال أكبر من طول الجسم. $M = 1$ طول الخيال يساوي طول الجسم. $M < 1$ طول الخيال أصغر من طول الجسم.	

10-4 دستورا العدسات

الدستورُ الأول (دستورُ ديكارت):

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$$

الدستورُ الثاني (دستورُ التكبير الخطي):

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{d'}{d}$$

ملاحظة: تمَّت إضافةُ إشارة $(-)$ لينسجمَ القانون مع اصطلاح الإشارة.

إثراء:

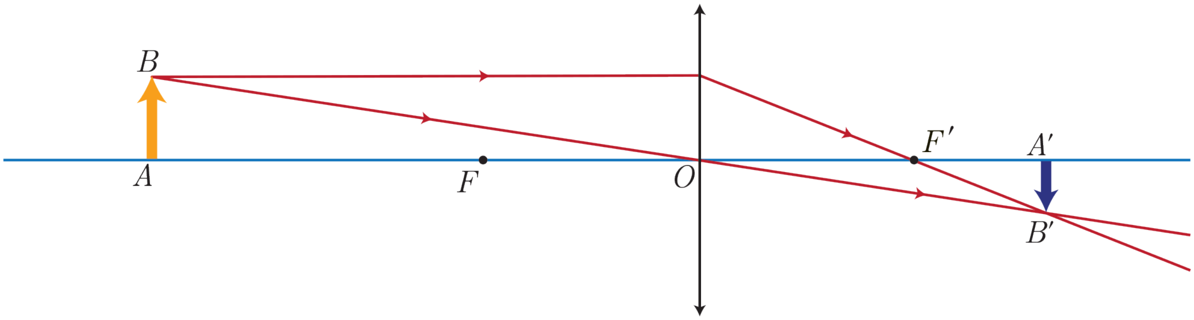
- تتميَّز العدسة باستطاعتها وليسَ ببُعدها المحرقيّ عند استخدامها في طبّ العيون.
- واستطاعة العدسة p هي مقلوبُ البُعد المحرقيّ، عندما يُقدَّر هذا البُعد بالمتر $p = \frac{1}{F}$، وواحدة الاستطاعة هي الكسيرة (Diopter)، ورمزها (D).

تطبيق (1):

وُضِعَ جسمٌ مُضيئ طوله 3 cm على بُعد 32 cm من عدسة مُقرِّبة، بُعدها المحرَقي 8 cm، عموديّاً على محورها الأصليّ، **المطلوب:**

احسب بُعد الخيالِ المُتشكِّل عن العدسة، ثمَّ حدِّد صفاتِه.

الحل:



نطبق قانون ديكارت:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{d'}=\frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{32}+\frac{1}{d'}=\frac{1}{8}$$

$$\frac{1}{d'}=\frac{1}{8}-\frac{1}{32}$$

وبالحساب نجد:

$$d' \simeq +11\,\text{cm}$$

إشارة (+) تدل على أن الخيال حقيقي.

نطبق قانون التكبير الخطي:

$$M=\frac{h'}{h}=-\frac{d'}{d}$$

$$\frac{h'}{3}=-\frac{11}{32}$$

$$h'=-\frac{11\times 3}{32}\simeq -1\text{cm}$$

إشارة (−) تدل على أن الخيال يقع تحت المحور الأصلي.

$$M=\frac{h'}{h}=-\frac{1}{3}$$

$M<0$ فالخيال حقيقي مقلوب أصغر من الجسم، يقع بين محرقها الخيالي F' ومثلي البُعد المحرَقي.

تطبيق (2):

وُضعت عدسة على بُعد 6 cm من نقطة A لتعترض مسار الأشعة المتجمعة فيها، فتشكّل خيال حقيقي للنقطة A على بُعد 12 cm من العدسة. **المطلوب:**

احسب البُعد المحرقي للعدسة ثمّ حدّد نوعها.

الحل:

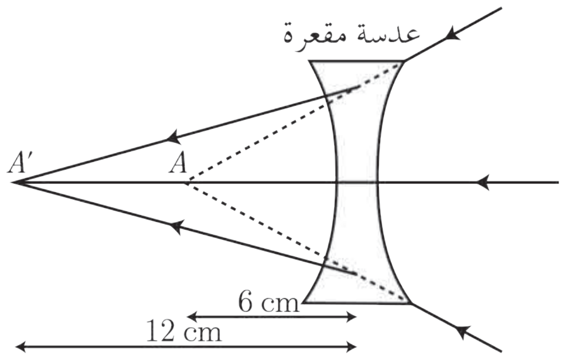
النقطةُ A تمثِّل جسماً ناتجاً من تلاقي الأشعة. فيعتبرُ هذا الجسم بالنّسبة إلى العدسة التي تعترضُ مسارَ هذه الأشعة جسماً وهميّاً، أي أنَّ إشارة d سالبة $d = -6\,\text{cm}$ بعدَ وضع العدسة، تجمَّعَت الأشعة وتلاقَت عند النقطة A'، التي تبعدُ عن العدسة $d' = +12\,\text{cm}$ (الإشارة مُوجبة لأنَّ الخيال حقيقي).

نطبّق قانونُ ديكارت:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{-6} + \frac{1}{12} = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{F} = -\frac{2}{12} + \frac{1}{12}$$



وبالحساب نجد:

$$F = -12\,\text{cm}$$

إشارة $(-)$ تدلُّ على أنَّ العدسة مُبعِّدة.

تعلّمت

- **في العدسة المُقرّبة:**
  - كلُّ شعاعٍ ضوئيّ يردُ على العدسة مارّاً من مركزها البصري يجتازها دون انحراف.
  - كلُّ شعاعٍ ضوئيّ يردُ على العدسة موازياً محورَها الأصلي يبرز منها مارّاً من محرقها الأصلي الخيالي F'.
  - كلُّ شعاعٍ ضوئيّ يردُ على العدسة مارّاً مِن محرقِها الأصليَ يبرز مُوازياً لمحورها الأصلي F.
- **في العدسة المبُعِدة:**
  - كلُّ شعاعٍ ضوئيّ يردُ على العدسة ماراً من مركزها البصريّ يجتازُها دون انحراف.
  - كلُّ شعاعٍ ضوئيّ يردُ على العدسة موازياً محورَها الأصلي يبرزُ كأنّه صادر عن محرقها الأصلي الخيالي F'.
  - كلُّ شعاعٍ ضوئي يردُ على العدسة بحيثُ يمرُّ مُمدّده من محرقها الأصلي الجسمي يبرزُ موازياً محورها الأصلي F.
- **دستورا العدسات:**

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$$

حيث: F البُعد المحرَقي. d بُعد الجسم. d' بُعد الخيال.

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{d'}{d}$$

حيث: h' طول الخيال. h طول الجسم.

أختبر نفسي

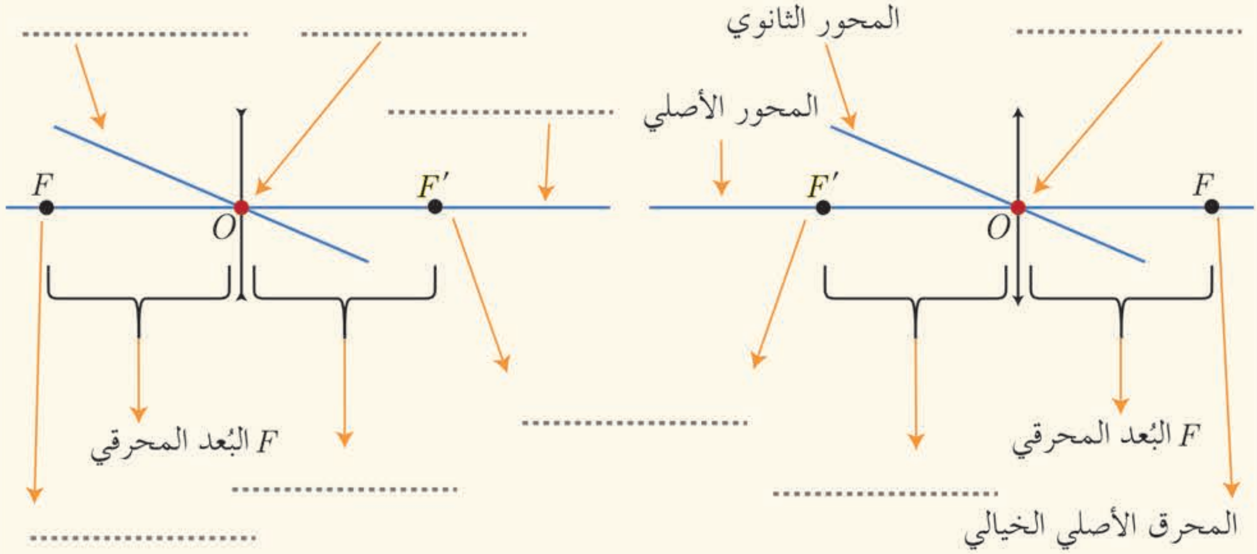
أولاً: اخترِ الإجابة الصَّحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1. جسمٌ شفاف كاسِر للضوء محصور بينَ سطحَين أملسَين كرويَّين مُحدّبَين يسمَّى:
   a. عدسة. b. عدسة مُبعِّدة. c. عدسة مُقرِّبة. d. مرآة كرويّة.
2. المُستقيمُ المارّ بمركزَي الانحناء الكرويّ لسطحَي العدسة، يسمَّى:
   a. المحور الأصلي للعدسة.
   b. المحور الثانوي للعدسة.
   c. المركز البصري للعدسة.
   d. المحرَق الأصلي للعدسة.
3. البُعد بينَ المركز البصريَ للعدسة ومحرقها الأصلي، يساوي:
   a. نصف قطر العدسة. b. قطر العدسة. c. ضعفَي قطر العدسة. d. البُعد المحرَقي للعدسة.
4. كلُّ شعاعٍ ضوئيّ يسقط على عدسة مُبعِّدة، ويكونُ مُمدّده مارّاً من محرقها الأصلي الجسمي للعدسة، فإنه يجتازها:
   a. موازياً محورَها الأصلي.
   b. موازياً محورَها الثانوي.
   c. وكأنَّه صادرٌ من محرقها الخيالي.
   d. دون أن ينحرفَ.
5. كلُّ حزمةٍ ضوئيّة تردُ إلى عدسةٍ مُقرّبة موازية محورَها الأصلي فإنّها تبرزُ منها وتتجمَّع في نقطة واحدة هي:
   a. محرقها الأصلي الخيالي.
   b. محرقها الأصلي الجسمي.
   c. مركزها البصري.
   d. محرقها الثانوي الخيالي.
6. وُضِعَ جسمٌ حقيقيّ AB أمامَ عدسة مُحدَّبة، عمودياً على محورها الأصلي على بُعد يساوي ضعفَ بُعدها المحرَقي $2F$، فيتشكَّلُ له خيالاً صفاتُه:
   a. حقيقيّ ومقلوبٌ وطولُه يساوي طول الجسم.
   b. وهميّ ومقلوب وطولُه يساوي طول الجسم.
   c. حقيقيّ ومقلوب وطولُه أصغرُ من طول الجسم.
   d. وهميّ وصحيح وطولُه يساوي طول الجسم.

7. وُضِع جسمٌ حقيقيٌ أمامَ عدسة مُبعِّدة عموديّاً على محورها الأصلي، ويقعُ أمامَها على مسافة أكبرَ من البُعد المحرَقي، فيتشكّل له خيال وهميّ، وعندما نقرّب الجسم من العدسة فإنَّ طولَ خياله:

a. يزدادُ. b. ينقصُ. c. لا يتغيرُ. d. ينقصُ أولاً ثم يزدادُ.

ثانياً: املأ الفراغاتِ الآتية بالكلمات المُناسبة:



ثالثاً: ارسم خيالَ جسمٍ حقيقيّ، يقعُ أمامَ عدسةٍ مُقرِّبة، واكتب صفاتِه في الحالتَين:

a. الجسم يقعُ بينَ اللانهاية ومحرقها الجسمي.

b. الجسم يقعُ بينَ المركز البصري ومحرقها الجسمي.

رابعاً: ارسم خيالَ جسم وهميّ، يقعُ أمام عدسةٍ مُبعِّدة، واكتب صفاتِه في الحالتين:

a. الجسم يقعُ بينَ المركز البصري ومحرقها الجسمي.

b. الجسم يقعُ بينَ المحرَق الجسمي ومثلي البُعد المحرَقي.

خامساً: حلّ المسائلَ الآتية:

المسألة الأولى:

وُضِع جسمٌ مضيءٌ طوله 5 cm، على بُعد مترين من عدسة مُقرِّبة، بُعدُها المحرَقي 20 cm، عموديّاً على محورها الأصلي، **المطلوب:**

1. احسب بُعد الخيال عن العدسة.
2. احسب طول الخيال والتكبير الخطي للعدسة.
3. ارسم الخيال المُتشكِّل، ثمَّ حدِّد صفاته.

المسألة الثانية:
وُضِع جسمٌ مضيءٌ على بُعد 5 cm من عدسة مقرِّبة، عموديّاً على محورها الأصلي، فتشكّلُ له خيالاً أكبرَ منه بأربع مرّات. احسب البُعد المحرَقي.

المسألة الثالثة:
جسمٌ مُضيء طوله 10 cm يقعُ على بُعد مترَين من عدسةٍ مُقرِّبة، فتشكّلُ له خيالاً حقيقيّاً طولُه 10 cm، عموديّاً على محورها الأصلي، فعلى أيّ بُعد من العدسة يجبُ وضع الجسم المُضيء حتّى يصبحُ طول خياله 100 cm؟

المسألة الرابعة:
احسب البُعد المحرَقي لعدسة مُبعّدة، علماً أنَّها تُشكّل لجسمٍ مُضيء عموديّاً على محورها الأصلي ويقعُ على بُعد 20 cm منها خيالاً وهميّاً أصغرَ منه بمرّتَين.

المسألة الخامسة:
نريدُ الحصولَ على خيالٍ حقيقي أكبرَ من الجسم بأربع مرَّات باستخدام عدسة مُقرِّبة بُعدها المحرَقي 20 cm على أي بُعد من الجسم يجب وضع العدسة والحاجز؟

المسألة السادسة:
وُضِعَ جسمٌ مُضيء، طوله 2 cm على بُعد 50 cm من عدسةٍ مبعِّدة، بُعدُها المحرَقي 10 cm، عموديّاً على محورها الأصلي، **المطلوب:**
1. احسب بُعدَ الخيال عن العدسة.
2. ارسم الخيالَ المُتشكِّل، ثمَّ حدِّد صفاته.

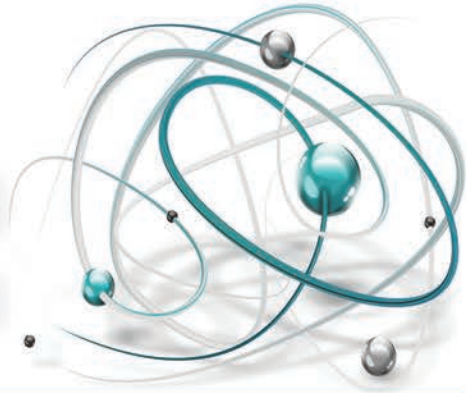
المسألة السابعة:
عدسةٌ مُقرِّبة، بُعدُها المحرَقي 3 cm، تشكّل لجسمٍ خيالاً وهميّاً على بُعد 24 cm من العدسة، احسب بُعد الجسم عن العدسة.

المسألة الثامنة:
جسمٌ مُضيء طوله 9 cm، يقعُ على بُعد 27 cm من عدسة مُبعِّدة، بُعدها المحرَقي 18 cm، عموديّاً على محورها الأصلي.
1. احسب بُعدَ الخيال عن العدسة.
2. احسب طولَ الخيال والتكبيرَ الخطّي للعدسة.
3. ارسم الخيالَ المُتشكِّل ثمَّ حدِّد صفاتِه.

أبحث أكثر

ابحث في الشّابكة عن المجهر وأنواع العدسات المُستخدَمة فيه، ثمّ استنتج علاقةَ التكبير الخطّي فيه.

5-4 الصّفيحة مُتوازِية الوجهَين



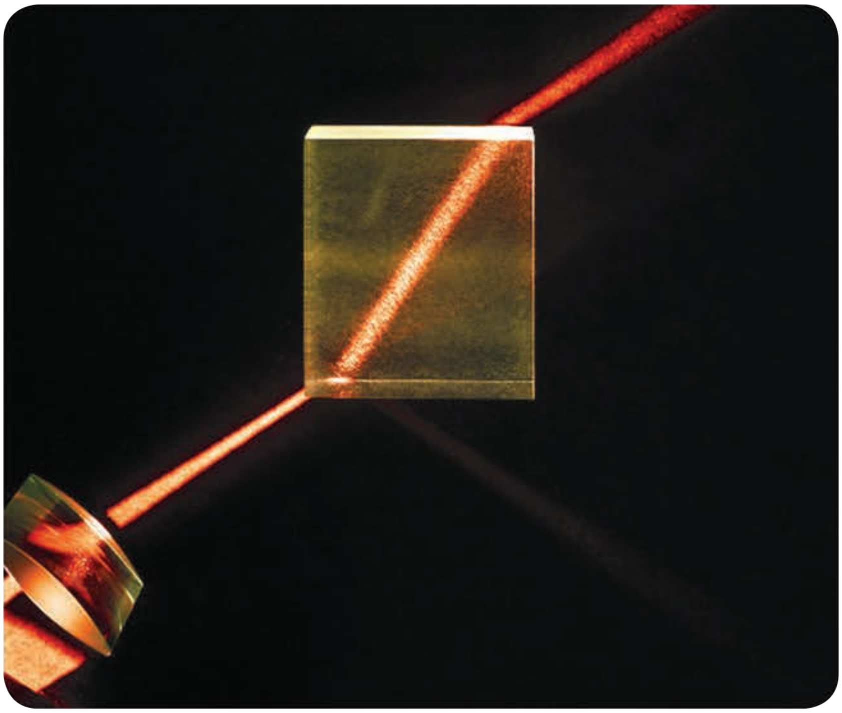
الأهداف:

* يقومُ بتجاربَ يوضّح فيها مَسار شعاع ضوئيّ وحيد اللّون في صَفيحةٍ مُتوازية الوجهَين.
* يفسّرُ الانزلاقَ الجانبي لشعاع يخترقُ صفيحة مُتوازيةَ الوجهين مع الرّسم.
* يفسّرُ بعضَ المُشاهَدات الحياتيّة باستخدام الصفيحة المُتوازية الوجهَين.

الكلمات المفتاحية:

* الصفيحة مُتوازية الوجهَين. Parallel Plate.
* طيف مرئيّ. Visible Spectrum.

- لِنتأمّل زجاجَ نوافذ المدرسة الشفّافة، والواجهات الزجاجيّة للمحلّات التجاريّة، نجدُ أنَّها على شكل صفائحَ شفافةٍ ثخينة مُتوازية الوجهَين.
- الصّفيحة متوازية الوجهَين: وسطٌ شفافٌ مُتجانِس محدودٌ بوجهَين مُستويَين مُتوازيَين أملسَين، قرينة انكسار مادّتها n ، وثخنها t الذي يُمثّل البُعد بينَ الوجهَين المُستويَين للصّفيحة.



مَسارُ شعاع ضوئيّ وحيد اللّون في صفيحةٍ مُتوازِية الوجهَين

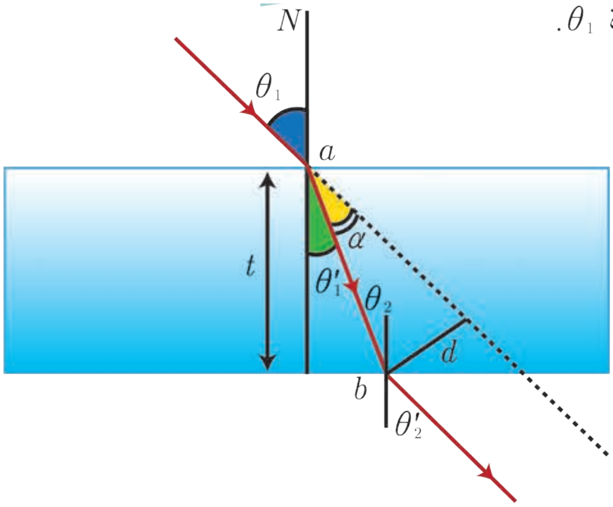
أجرّبُ وأستنتج:

لإجراء التجربة أحتاجُ إلى:

- حقيبة الضّوء الهندسيّ.
- لوح مُمغنَط.

خطواتُ التّجربة:

1. أثبّت المِنقلة على اللّوح المُمغنَط.
2. أضعُ الصفيحة مُتوازية الوجهَين ناظميّاً على أحد محورَي المِنقلة.



3. أُسقِط شعاعاً ضوئيّاً وحيدَ اللون على الصفيحة بزاويةٍ حادّة θ_1.
4. أقيسُ زاويةَ البروز θ'_2 (الكائنة بينَ الشّعاع الضوئيّ البارز والناظِم على السطح).
5. أرسمُ مُمدّد الشُّعاع الضّوئي الوارِد.

- ماذا أستنتجُ؟

أستنتجُ:

- **الصَّفيحة مُتوازية الوجهَين لا تغيّر مَنحَى الأشعة الضَّوئية التي تجتازُها، إلا أنَّها تُزلِقها جانبيّاً بمقدار d.**

- **تدلُّ الدّراسات على أنَّ مقدار الانزلاق الجانبيّ d يُحسَب بالعلاقة:**

$$d = \frac{t}{\cos\theta'_1}\sin(\theta_1 - \theta'_1)$$

حالات خاصّة:

1. إذا كانَ الشُّعاع الوارِد ناظميّاً على الوجه الأوّل للصفيحة $\theta_1 = 0°$، فإنَّه يبرزُ من الوجه الثاني دون انزلاقٍ جانبي $\theta' 0°$، $\theta_1 = \theta_2 = 0°$، وبالتالي $d = 0$.
2. إذا كانَ الشُّعاع الوارد على مستوي الوجه الأول للصَّفيحة يصنعُ زاوية قدرها $(\theta' = 90°)$، فإنَّ زاوية الانكسار هي الزّاوية الحرجة $(\theta_c = \theta'_1)$ و:

الانزلاقُ الجانبيّ يساوي ثخنَ الصفيحة $d = t$.

3. في حالِ زوايا الورود الصَّغيرة تصبحُ العلاقة السّابقة بالشكل:

$$d = t(\theta_1 - \theta'_1)$$

وبما أنَّ: $(\theta_1 - \theta'_1) << 1$

نستنتجُ أنَّ الانزلاقَ الجانبي d أصغرُ كثيراً من ثخن الصّفيحة t.

إضاءة

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta'_1\right) = \cos\theta'_1$$

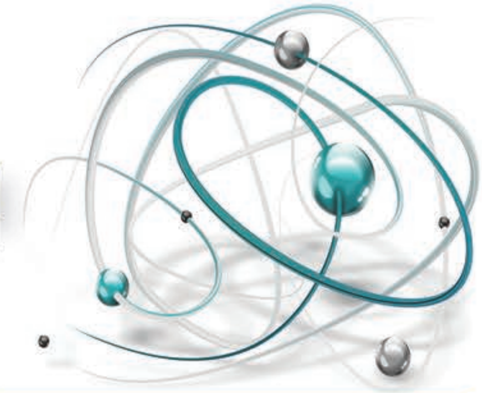
إذا كانَ $\theta \le 14°$ أو $\theta \le 0.24\,\text{rad}$ فإنّ:

$\sin\theta \approx \theta$ و $\cos\theta \approx 1$

أبحث أكثر

ابحث في الشّابكة عن الصّفيحة مُتوازِية الوجهَين ثمّ استنتج علاقة الانزلاق الجانبيّ.

6-4 الموشور



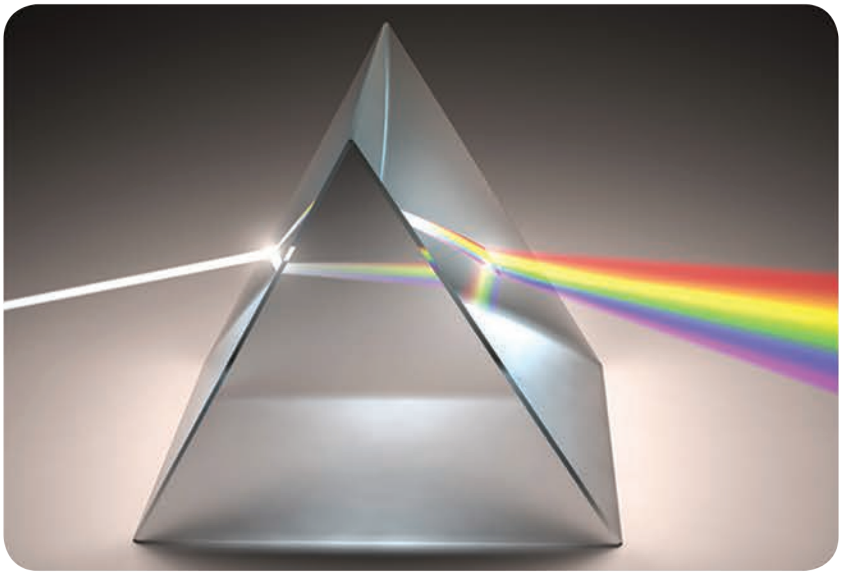
الأهداف:

* يوضّح بتجاربَ مَسارَ شعاعٍ ضوئيّ بسيط يجتازُ موشورًا.
* يَرسم مسارَ شعاعٍ ضوئي في موشور.
* يَستنتج قوانينَ الموشور.
* يُفسّر بعضَ المُشاهَدات الحياتيّة باستخدام الموشور.

الكلمات المفتاحية:

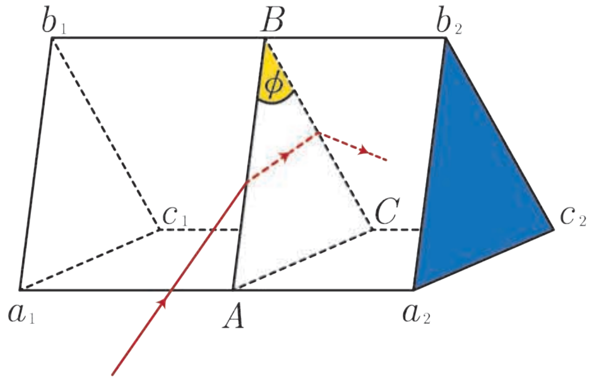
* موشور.
Prism.
* موشور عاكس.
Reflective Prism.
* زاوية الانحراف.
Deviation Angle.
* الانحراف الأصغري.
Minimum Deviation.

هل شاهدتَ قوس قزح؟



ماذا يحدثُ للشُّعاع الضوئيّ وحيدِ اللّون عندَما يردُ على أحد وجهَي الموشور بزاويةٍ مُعيَّنة؟ وماذا يحدثُ لهذا الشُّعاع الضّوئي إذا كانَ أبيضَ اللون؟

تعريف الموشور:
وسطٌ شفافٌ كاسرٌ للضّوء، محصورٌ بينَ كاسرَين مُستويَين أملسَين غير متوازيَين.



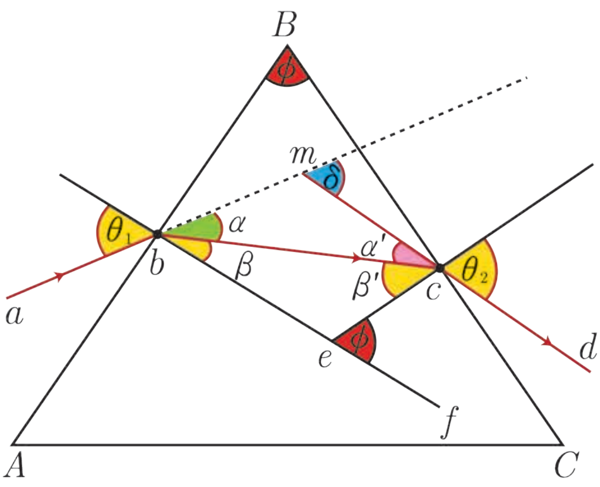
1-6 تعاريف ومُصطلَحات

- **حرف الموشور** b_1b_2**:** خطُّ تقاطعِ وجهَي الموشور.
- **زاوية الموشور** ϕ**:** الزاويةُ بينَ وجهَي الموشور.
- **زاوية الانحراف** δ**:** الزاويةُ الحادثة بينَ مُمدّد الشّعاع البارزِ على الوجه الثاني ومُمدّد الشُّعاع الواردِ على الوجه الأول.
- **المقطع الأصليّ للموشور:** كلُّ مُستوٍ عموديّ على حرف الموشور b_1b_2.
- **قاعدة الموشور:** وجهُ الموشور $a_1c_1c_2a_2$ المُقابِل للحرف b_1b_2.

ملاحظة: سنأخذُ بعين الاعتبار الأشعَّة الضّوئية التي تنتشرُ في مُستوي المقطع الأصليّ للموشور.

2-6 قوانين الموشور نظريًا

- ليكُن الشُّعاع الضوئي البسيط ab الوارد من الهواء على الوجه الأوّل $a_1b_1b_2a_2$ من الموشور بزاوية ورود θ_1، ويقعُ في المقطع الأصلي للموشور، فإنَّه ينكسرُ بزاوية انكسار β، مُقترباً من الناظِم على الوجه الأوّل عند نقطة الورود b ليصلَ الشعاع الضوئي bc إلى النقطة c على الوجه الثاني $c_1b_1b_2c_2$ من الموشور بزاوية ورود β'، ويبرز إلى الهواء مبتعداً عن الناظم على الوجه الثاني عند نقطة الورود c بزاوية انكسار θ_2.



- بتطبيق القانون الثاني في الانكسار على الوجه الأوّل: $\sin\theta_1 = n\sin\beta$
- بتطبيق القانون الثاني في الانكسار على الوجه الثاني: $n\sin\beta' = \sin\theta_2$
- الزاوية $\widehat{cef}$ تساوي زاوية الموشور ϕ بالتعامد، وهي زاوية خارجيّة في المثلث $\widehat{ceb}$ تساوي مجموع الزاويتَين الداخليتَين β' ،β:

$$\phi = \beta + \beta'$$

- نلاحِظ من الشّكل أنّ الشُّعاع الضوئي يعاني انحرافاً بعد اجتيازه الموشور، وتسمَّى الزاوية δ الحادثة بين مُمدّد الشعاع البارز ومُمدّد الشعاع الوارد بزاوية الانحراف، وهي زاوية خارجيّة في المُثلّث $\widehat{cmb}$ تساوي مجموع الزاويتَين a' ، a حيثُ:

$$a' = \theta_2 - \beta' \quad ، a = \theta_1 - \beta$$

$$\delta = a + a'$$
$$\delta = (\theta_1 - \beta) + (\theta_2 - \beta')$$
$$\delta = (\theta_1 + \theta_2) - (\beta + \beta')$$
$$\delta = (\theta_1 + \theta_2) - \phi$$

أستنتج:

للموشور أربعةُ قوانين:

$$\sin\theta_1 = n\sin\beta$$
$$n\sin\beta' = \sin\theta_2$$
$$\phi = \beta + \beta'$$
$$\delta = (\theta_1 + \theta_2) - \phi$$

قوانين الموشور في حالة الزوايا الصغيرة المقدّرة بالراديان حيث يمكنُ اعتبار:

$$\sin\theta_1 \simeq \theta_1$$
$$\sin\theta_2 \simeq \theta_2$$

1-2-6 قوانين الموشور في حالة الزوايا الصغيرة

$$\theta_1 = n\beta$$
$$\theta_2 = n\beta'$$
$$\phi = \beta + \beta'$$
$$\delta = \phi(n-1)$$

- **إنّ انحراف الشُّعاع الضّوئي وحيد اللّون في هذه الحالة (الزوايا صغيرة). لا يعتمدُ إلا على زاوية رأس الموشور ϕ ، وعلى قرينة انكساره n .**
- **أمّا في الحالة العامّة (الزوايا كبيرة) والتي تعبِّر عنها العلاقة:**

$$\delta = (\theta_1 + \theta_2) - \phi$$

- **فمن الواضِح أنَّ مقدار الانحراف يعتمدُ على زاوية الورود، بالإضافة إلى قرينة انكسار الموشور وزاوية رأسه.**

2-2-6 قوانين الموشور في حالة الانحراف الأصغري

تدلّ التجربة أنّه في حالة الانحراف الأصغري، زاويتا الورود والبروز متساويتان أي:

$(\theta_{min} = \theta_2 = \theta_1)$ وبالتالي فانَ $(\beta_{min} = \beta' = \beta)$

حيثُ: $(\beta_{min}, \theta_{min})$ هما زاويتا الورود والانكسار في حالة الانحراف الأصغر، ويصبح قانونا الموشور:

$$\phi = \beta + \beta'$$
$$\delta = (\theta_1 + \theta_2) - \phi$$

على الشكل:

$$\phi = 2\beta_{min}$$

$$\delta_{min} = 2\theta_{min} - \phi$$

حيثُ: δ_{min} هي زاوية الانحراف الأصغر، ومنها ينتجُ:

$$\theta_{min} = \frac{\delta_{min} + \phi}{2} \quad ، \beta_{min} = \frac{\phi}{2} \qquad (1)$$

ويصبحُ كلٌّ من قانونَي الموشور:

$$\sin\theta_1 = n\sin\beta$$
$$\sin\theta_2 = n\sin\beta'$$

على الشَّكل:

$$\sin\theta_{min} = n\sin\beta_{min}$$

$$n = \frac{\sin\theta_{min}}{\sin\beta_{min}} \qquad (2)$$

نعوِّض (1) في (2)، فنجدُ عندئذٍ:

$$n = \frac{\sin\dfrac{\delta_{min} + \phi}{2}}{\sin\dfrac{\phi}{2}} \qquad (*)$$

ولهذه العلاقة أهمّية كبيرة في تعيين قرينة انكسار مادّة مجهولة، حيث نصنعُ من المادة موشوراً بزاويةٍ رأسية معلومة ϕ، ثمَّ نسقطُ عليه شعاع ضوئي وحيد اللون، ونحدِّدُ زاوية الانحراف الأصغر δ_{min}، ثمَّ نحسبُ قرينة انكسار المادّة من العلاقة السّابقة.

ملاحظة: تؤول قرينة الانكسار في العلاقة السّابقة إلى قرينة الانكسار النسبية $n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1}$، إذا كان الوسط الأول الذي يحيطُ بالموشور، ويردُ منه الضّوء **في وسط شفّاف** غير الهواء.

الموشور الرّقيق:

هو كلُّ موشورٍ زاويةُ رأسِه صغيرة (لا تتجاوزُ عشر درجات $10°$)، فإذا كانَ الموشور **في وضعِ الانحراف الأصغريّ**، فيمكنُ كتابة العلاقة السابقة (*) بالشّكل:

$$n = \frac{\delta_{min} + \phi}{\phi}$$

تطبيق (1):

موشورٌ زجاجيّ موجود في الهواء، زاويةُ رأسه تساوي $(60°)$، والنهاية الصغرى لزاوية الانحراف تساوي $(40°)$. احسب قرينة انكسار مادة الموشور.

الحل:

نطبِّقُ العلاقة

$$n = \frac{\sin\frac{\delta_{min} + \phi}{2}}{\sin\frac{\phi}{2}}$$

$$n = \frac{\sin\frac{40° + 60°}{2}}{\sin\frac{60°}{2}}$$

$$n = \frac{\sin 50°}{\sin 30°} = \frac{0.766}{0.5}$$

$$n = 1.532$$

تطبيق (2):

موشور زجاجيّ زاوية رأسه $(6°)$ غُمِرَ في الماءِ، احسب مقدارَ زاوية الانحراف الأصغر للأشعَّة التي تسقط عليه من الماء وتنفذُ منه في الماء، علماً أنَّ قرينة الانكسار للماء (1.33)، وللزجاج (1.5).

الحلّ:

$$n = \frac{n_{\text{زجاج}}}{n_{\text{ماء}}} = \frac{1.5}{1.33} = 1.13$$

$$n = \frac{\delta_{min} + \phi}{\phi} \Longrightarrow \delta_{min} = \phi(n-1) = 6°(1.13-1)$$

$$\delta_{min} = 0.78°$$

تطبيق (3):

موشور زجاجي موجود في الهواء، زاويةُ رأسه تساوي $(60°)$، وقرينةُ انكساره (1.5). احسب مقدارَ زاوية الانحراف الأصغر للأشعّة التي تسقطُ عليه من الهواء.

الحلّ:
نطبّقُ العلاقة:

$$n = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{min} + \phi}{2}\right)}{\sin\frac{\phi}{2}}$$

$$1.5 = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{min} + 60^\circ}{2}\right)}{\sin\frac{60^\circ}{2}}$$

$$1.5 = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{min} + 60^\circ}{2}\right)}{\sin 30^\circ}$$

$$1.5 = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{min} + 60^\circ}{2}\right)}{0.5}$$

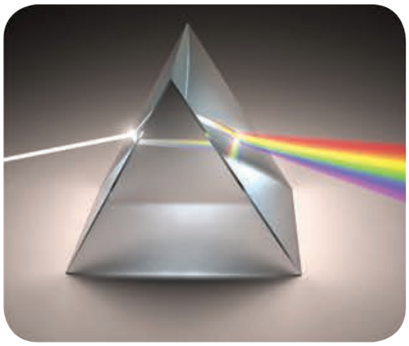
$$\sin\left(\frac{\delta_{min} + 60^\circ}{2}\right) = 0.75$$

$$\left(\frac{\delta_{min} + 60^\circ}{2}\right) = 48.6^\circ$$

$$\delta_{min} = 37.2^\circ$$

3-6 الموشور وتحليل الضّوء الأبيض

عندما يردُ شعاعٌ ضوئيّ أبيض اللّون على الموشور(في وضع الانحراف الأصغر)، فإنّ الشّعاع البارز من الموشور يتحلّل إلى عدّة ألوان، تبدأُ من جهة رأس الموشور بالأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيلي، وتنتهي بالبنفسجي من جهة القاعدة، وتسمّى هذه الألوان بألوان الطّيف المرئيّ، وتُعرَف هذه الظاهرة **بظاهرة تبدُّد الضّوء.**



النتيجة:

- **الضّوء الأبيض ضوء مركّب من سبعةِ ألوان مرئيّة، لكلٍّ منها زاويةُ انحرافٍ خاصّة به تتوقّف على الطول الموجيّ (أو التواتُر) لهذا اللّون من الأشعة.**
- **وكلّما ازدادَ الطول الموجيّ قلّ الانحراف، وبالتالي قلّت قرينةُ الانكسار، فالضوءُ الأحمر أقلُّ انحرافاً، وأقلُّ قرينة انكسار، على عكس الضّوء البنفسجي.**

وبتعيين زاوية الانحراف الأصغر في الموشور لكلّ شعاع ضوئيّ من ألوان الطّيف وزاوية رأس الموشور، نستطيعُ حساب قرينة انكساره للأشعة الضّوئية المُختلِفة، وذلك باستخدام العلاقة:

$$n = \frac{\sin\frac{\delta_{min} + \phi}{2}}{\sin\frac{\phi}{2}}$$

• يبيّنُ الجدول الآتي قرائنَ انكسار الزجاج التاجي (المُستخدم في صناعة العدسات) لبعض ألوان الطّيف المرئيّ:

الضّوء	البنفسجيّ	الأزرق	الأخضر	الأصفر	الأحمر
قرينةُ الانكسار	1.532	1.528	1.519	1.514	1.513

4-6 العواملُ التي تؤثِّر في زاوية الانحراف δ

1. **زاوية الموشور ϕ:** يزداد انحراف الأشعة الضوئية التي تجتاز الموشور بازدياد زاويته.
2. **قرينة انكسار مادة الموشور n:** يزدادُ انحراف الأشعة الضّوئية التي تجتازُ الموشور بازدياد قرينة انكسار مادّة الموشور. (لاحظ أنَّ تغيُّر θ_2 ينتجُ من تغيُّر كلٍّ من n، θ_1، ϕ).
3. **زاوية الورود θ_1:** تبيِّن التجربة أنَّه عندما تزدادُ زاوية الورود تتناقصُ زاوية الانحراف، وتمرُّ بقيمةٍ صُغرى (الانحراف الأصغر)، ثمَّ تتزايدُ قيمتها بعد ذلك.

شرطا البروز:

لكي يبرزَ شعاعٌ ضوئي واردٌ على أحد وجهَي موشور يجبُ أن يتحقَّق الشرطان:

$$\phi \leq 2\theta_c$$

$$\sin\theta_1 \geq n\sin(\phi - \theta_c)$$

حيثُ أنَّ الزاوية الحرجة تُعطى بالعلاقة:

$$\sin\theta_c = \frac{1}{n}$$

تطبيقٌ عدديّ: موشور زجاجي، قرينة انكساره $(n = 1.5)$، وزاوية رأسه $(\phi = 60°)$، موجود في الهواء، تبلغُ زاويته الحدية $(\theta_c = 42°)$. بفرض أنَّ شرطَ البروز مُحقَّق $(\phi \leq 2\theta_c)$، أوجد الزاوية (θ_0) التي تحقِّق شرط الورود؟

الحلّ:

بما أنَّ شرط البروز مُحقَّق أي $(\phi \leq 2\theta_c) \Longleftarrow (\phi \leq 84°)$، فإنَّ الأشعة التي تبرزُ من الموشور هي تلك الأشعة التي ترِد بزاويةٍ أكبر من الزاوية (θ_0) المعطاة بالعلاقة:

$$\sin\theta_0 = n\sin(\phi - \theta_c)$$
$$\sin\theta_0 = 1.5\sin(60° - 42°)$$
$$\theta_0 \cong 27°$$

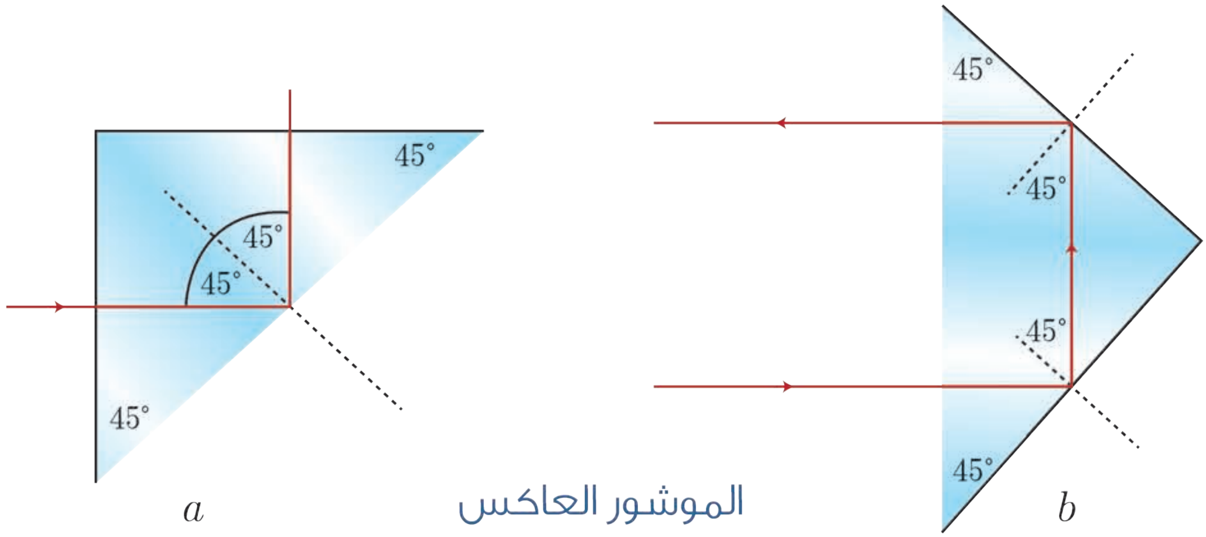
تطبيق (4):

أوجِد (θ_o) في الحالات الآتية: $(\phi = 2\theta_c)$، $(\phi = \theta_c)$، $(\phi = 15°)$، $(\phi = 45°)$.

5-6 الموشور العاكِس (الموشور الكلّي الانعكاس)

- هـو موشـور ثُلاثـي قائمُ الزاوية ومتسـاوي السـاقَين، قرينـةُ انكسـاره $(n = 1.5)$، وزاويتُـه الحـرجـة $(\theta_c = 42°)$ مَطليّ مـن الخـارج بطبقـةٍ رقيقـة مـن الكريوليـت تخفِّـف مـن الانعـكاس على سـطح الموشـور. ويغيّـر مَسـار الضّـوء بزاويـة $(90°)$ أو بزاويـة $(180°)$، ويدخـلُ فيـه الضّـوء ويخـرج منه دون أن يعانـي أيَّ انكسـارٍ، وتكـون:

زاوية الورود = زاوية البروز = $(0°)$



الموشور العاكس

- ويفضّل استخدام الموشور العاكس في الانعكاس بدلاً من المرآة أو السطح المعدني العاكِس لسببَين:

1. الموشور العاكس يعكسُ الضّوء بنسبة 100%، وهذا لا يحدثُ في المرآة أو السطح المعدنيّ.
2. الموشـور العاكـس لا يفقـدُ بريقَـه مـع الوقـت كمـا يحـدث فـي المـرآة والسـطح المعدنـي، حيـثُ تقـلُّ قدرتُهمـا علـى عكـس الضّـوء.

استعمالاته:

يُستعمَل في أجهزةِ التصوير، وفي الإنـارة، وفي بعض الأجهزة البصريّة مثل البيرسكوب (منظـار الغوّاصـة)، كمـا يستخدَم في المِنظـار الميداني لكشـف أكبـر مسـاحةٍ مُمكِنـة للرؤيـة.

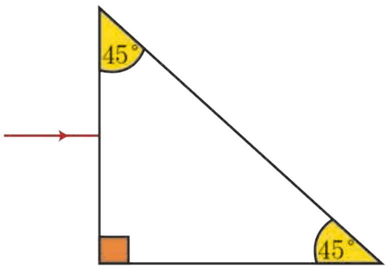
إضاءة

لمعرفةِ مَسار الشّعاع الضّوئي ورسمه بشكلٍ صحيح يجبُ اتّخاذ الخطوات الآتية:
معرفة قرينة انكسار كلّ وسط، وكذلك الزاويةِ الحرجة من القانون الآتي: $\sin\theta_c = \frac{1}{n}$.
نرسـمُ عمـوداً (الناظـم) علـى السّـطح الفاصـل عنـد كلّ نقطـةِ ورود، ونحـدِّد زاويـة الـورود وزاويـة الانكسـار باسـتخدام قانـون سـنل.

- **نطبّق قواعدَ الانكسار:**

1. إذا وردَ الشّعاع الضّوئي عمودياً على السّطح، فإنّه ينفذ منه دون أن ينحرفَ.
2. إذا وردَ الشّعاع الضّوئي على السّطح الفاصل بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، فإنّه ينعكسُ في الزاويةِ نفسِها.
3. إذا وردَ الشّعاع الضّوئي على السّطح بزاوية أصغر من الزاوية الحرجة، فإنَّه ينكسر. نحسبُ زاوية البروز (θ_2) حسب قانون سنل.
4. إذا وردَ الشّعاع الضّوئي على السّطح بزاوية تساوي الزاوية الحرجة، فإنّه ينكسرُ مماساً للسطح.

تطبيق (5):



تتبَّع مسارَ الشّعاع الضّوئي الوارد على الموشور الآتي، وعيّن زاوية البروز θ_2، حيثُ قرينة انكساره $n = \sqrt{2}$ ؟

5. الحلّ:

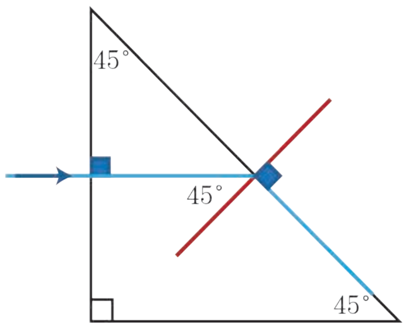
يردُ الشّعاع الضّوئي على الوجه الأول عموديّاً على السطح الفاصل، فينفذُ دون انحرافٍ داخلاً الموشور $i_1 = b = 0°$.

- نحسبُ الزاوية الحرجة باستخدام العلاقة:

$$\sin\theta_c = \frac{1}{n}$$

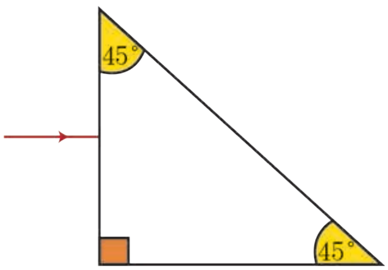
$$\sin\theta_c = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$(\theta_c = 45°)$$



يردُ الشّعاع الضّوئي على الوجه الثاني بزاوية $(\beta' = 45°)$ على السطح الفاصل، وهذه الزاوية تساوي الزاوية الحرجة، فينكسرُ مماساً للسطح، وتكون زاوية البروز $(\theta_2 = 90°)$.

تطبيق (6):



موشور زجاجيّ عاكِس، قرينةُ انكساره $(n = 1.5)$ مغمورة في حوضٍ من الماء قرينة انكساره $(n = 1.3)$.

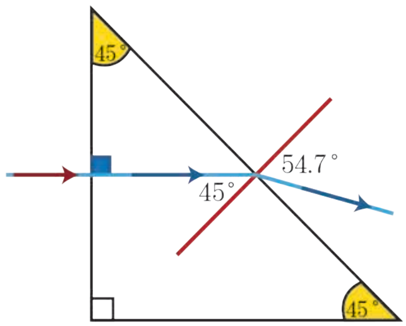
تتبَّع مسارَ الشّعاع الضّوئي الواردِ على هذا الموشور، وعيّن زاوية البروز θ_2 ؟

الحلّ:

بما أنَّ الموشور الزّجاجي هو موشور عاكس، فإن زواياه $(90°, 45°, 45°)$

يـردُ الشّـعاع الضّوئـي علـى الوجـه الأوّل عموديّـاً علـى السـطح الفاصـل، فينفـذُ دون انحـرافٍ داخـلَ الموشـور $\theta_1 = \beta = 0°$.

نحسبُ الزاوية الحرجة من القانون:



$$\sin\theta_c = \frac{n_{\text{ماء}}}{n_{\text{زجاج}}} = \frac{1.3}{1.5}$$

$$\sin\theta_c = 0.866$$

$$\theta_c = 61°$$

يـردُ الشّـعاع الضّوئـي علـى الوجـه الثانـي بزاويـة $(\beta' = 45°)$ علـى السـطح الفاصـل، وهـذه الزاويـة أصغـرُ مـن الزاويـة الحرجـة، فينكسـر مُبتعِـداً عـن النـاظـم، ولحسـاب زاويـة البـروز نطبّـق قانـون سـنل:

$$n_{\text{زجاج}} \sin\beta' = n_{\text{ماء}} \sin\theta_2$$

$$1.5 \sin 45° = 1.3 \sin\theta_2$$

$$\sin\theta_2 = 0.81$$

$$\theta_2 = 54.7°$$

تعلّمت

1. **الصّفيحـة مُتوازيـة الوجهَيـن:** وسـط شـفاف مُتجانِـس محـدود بوجهَيـن مُسـتويَين مُتوازيَيـن أملسَـين، قرينـة انكسـار مادتهـا n، وثخنهـا t الـذي يُمثّـل البُعـد بيـنَ الوجهَـين المُسـتويَين للصّفيحـة.
2. الصّفيحة مُتوازية الوجهَين لا تغيّر مَنحى الأشعّة الضّوئية التي تجتازُها، إلا أنّها تزلقُها جانبيّاً.
3. زاوية الورود تساوي زاوية البروز.
4. الشّعاع الوارد والشّعاع البارز **لا يلتقيان**؛ لأنّهما متوازيان.
5. تتعلّق إزاحةُ الشّعاع البارز بـ: زاوية الورود، وثخن الصّفيحة، ونوع مادّة الزجاج.
6. **وتُعطَى إزاحةُ الشّعاع البارز بالعلاقة:**

$$d = \frac{t}{\cos\theta'_1}\sin(\theta_1 - \theta'_1)$$

- **في حال زوايا الورود الصّغيرة، فإنّ:**

$$d = t(\theta_1 - \theta'_1)$$

- قوانين الموشور:

$$\sin\theta_1 = n\sin\beta$$
$$n\sin\beta' = \sin\theta_2$$
$$\phi = \beta + \beta'$$
$$\delta = (\theta_1 + \theta_2) - \phi$$

- في حال الزّوايا الصّغيرة، فإنَّ قوانين الموشور هي:

$$\theta_1 = n\beta$$
$$\theta_2 = n\beta'$$
$$\phi = \beta + \beta'$$
$$\delta = \phi(n-1)$$

- في الانحراف الأصغر:

$$n = \frac{\sin\dfrac{\delta_{min} + \phi}{2}}{\sin\dfrac{\phi}{2}}$$

- إذا كانَ الموشور رقيقاً (زاوية رأسه صغيرة):

$$n = \frac{\delta_{min} + \phi}{\phi}$$

- لكي يبرزَ شعاعٌ ضوئي وارد على موشور، يجب أن تكونَ زاوية الموشور أقل من مثلَي الزاوية الحرجة التي تعطى بالعلاقة:

$$\sin\theta_c = \frac{1}{n}$$

- شرطا بروز الشّعاع الضّوئي من الموشور:

$$\phi \leq 2\theta_c$$

$$\sin\theta_1 \geq n\sin(\phi - \theta_c)$$

أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابة الصّحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1. وسط شفاف كاسر للضّوء محصور بينَ كاسرَين مُستويَين غير مُتوازيَين. يُسمّى:

a. عدسة. **b.** عدسة مُبعِّدة. **c.** عدسة مُقرِّبة. **d.** موشور.

2. الزاوية الحادثة بينَ مُمدّد الشّعاع الضوئي البسيط الوارد على الوجه الأول للموشور والشّعاع البارز من الوجه الثاني بعد اجتيازه الموشور، تسمى زاوية:

a. الانحراف. **b.** الانكسار. **c.** الموشور. **d.** الانعكاس.

3. كلُّ شعاعٍ ضوئيّ يسقطُ عموديّاً على أحد الضّلعَين القائمَين لموشور قائم الزاوية ومُتساوي الساقَين، فإنّه يبرزُ:

a. منحرفاً نحوَ القاعدة بزاويةٍ حادّة.

b. عموديّاً على الضّلع القائمة الأخرى.

c. منحرفاً نحو القاعدة بزاوية منفرجة.

d. مائلاً على الضّلع القائمة الأخرى.

4. إذا وردَ الشّعاع الضوئيّ عموديّاً على الوجه الأول لصفيحة مُتوازية الوجهَين $(\theta_1 = 0°)$، فإنّه يخرجُ من الوجه الثاني بانزلاقٍ جانبي قدرُه:

a. $d = t$.

b. $d = 0$.

c. $d = t(\theta_1 - \theta'_1)$.

d. $d = \frac{t}{\cos\theta'_1}\sin(\theta_1 - \theta'_1)$.

5. إذا وردَ الشّعاع الضّوئي على الوجه الأوّل لصفيحة مُتوازِية الوجهَين بزاويةٍ قدرُها $(\theta_1 = 90°)$، فإنّه يخرجُ من الوجه الثاني بانزلاقٍ جانبيّ قدرُه:

a. $d = t$.

b. $d = 0$.

c. $d = t(\theta_1 - \theta'_1)$.

d. $d = \frac{t}{\cos\theta'_1}\sin(\theta_1 - \theta'_1)$.

6. إذا وردَ الشّعاع الضّوئي بزاوية ورود صغيرة على الوجه الأول لصفيحةٍ مُتوازية الوجهَين $\theta_1 = 0°$، فإنّه يخرجُ من الوجه الثاني بانزلاقٍ جانبيّ قدرُه:

a. $d = t$.

b. $d = 0$.

c. $d = t(\theta_1 - \theta'_1)$.

d. $d = \frac{t}{\cos\theta'_1}\sin(\theta_1 - \theta'_1)$.

ثانياً: حلَّ المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

ينظرُ رجلٌ عمودياً، خلال صفيحة مُتوازِية الوجهَين مَصنوعة من الزّجاج، إلى نقطةٍ كائنة على وجهها الأسفل، فترى على بُعد $7\,cm$ من الوجه العلوي، ثمَّ نغمسُ هذه الصفيحة في إناء يحوي ماءً فتظهرُ النقطة a على بُعد $20\,cm$ تحت سطح الماء. **المطلوب حساب:**

1. ثخنَ الصفيحة t.
2. ارتفاعَ الماء فوق الصفيحة.

(قرينة انكسار الزجاج $\frac{3}{2}$، قرينة انكسار الماء $\frac{4}{3}$).

المسألة الثانية:

يردُ شعاع ضوئيّ وحيدُ اللّون، بزاوية ورود تساوي $45°$، على صفيحةٍ شفافة مُتوازية الوجهَين، ثخنُها $4\,cm$ وقرينةُ انكسارها 1.5. **المطلوب:**

1. احسب انزياحَ الشّعاع البارز عن الشّعاع الوارد.
2. قارِن هذا الانزياح بالانزياح عندما تكونُ زاوية الورود صغيرة وتساوي $3°$.

المسألة الثالثة:

يسقطُ شعاعٌ ضوئيّ وحيدُ اللّون، بزاوية ورود $45°$ درجة، على وجه موشور قرينةُ انكسار مادته $\sqrt{2}$ وزاويته الرأسية $(60°)$ درجة موجود في الهواء. **المطلوب:**

1. احسب زاوية الورود على الوجه الثاني للموشور.
2. احسب زاوية الانحراف.
3. أوجِد شَرطَي البروز لهذا الموشور.

المسألة الرابعة:

موشور زجاجيّ، قرينةُ انكساره تساوي (1.523) بالنسبة للضّوء الأصفر من طيف الصّوديوم، وزاويةُ الرأس فيه تساوي $50°$. إذا وردَت حزمةٌ من الضّوء الأصفر السّابق على وجهه الأول بزاوية ورود قدرُها $45°$، أوجد:

1. زاوية الانكسار على الوجه الأول للموشور β.
2. زاوية الورود على الوجه الثاني β.
3. زاوية البروز على الوجه الثاني للموشور θ_2.
4. زاوية انحراف الموشور δ.

المسألة الخامسة:

موشور زجاجي موجود في الهواء، زاوية رأسه تساوي $(60°)$، فإذا وردَ عليه شعاعٌ ضوئيّ وحيد اللّون كانت زاوية انحرافه الأصغر $(48°)$. احسب قرينة انكسار الموشور.

المسألة السادسة:

موشور زجاجي، قرينة انكساره $\sqrt{2}$ وزاوية رأسه تساوي $(60°)$، موجود في الهواء. برهن أنّ زاوية الانحراف الأصغر هي $(30°)$.

المسألة السابعة:

موشور زجاجي، قرينة انكساره $n = 1.6$ وزاوية رأسه تساوي $(60°)$، موجود في الهواء. **المطلوب:**

1. أوجِد أصغر زاوية ورود يستطيع عندها الشّعاع، إذا وردَ على أحد أوجه الموشور، أن يبرزَ على الوجه الآخر.
2. أوجِد زاوية الورود في وضع الانحراف الأصغر، أي عندما تكون:
   زاوية الورود = زاوية البروز.
3. أوجِد زاوية الانحراف الأصغريّ في هذه الحالة.

المَسألة الثامنة:

تتبّع مسار الشّعاع الضّوئي الوارد على كلّ موشور في الشّكل في الأسفل، وعيّن زاوية البروز θ_2 في كلّ حالة موضّحاً السبب. حيثُ قرينة انكسار الزجاج $n = 1.5$، وزوايا الموشور $(90°,60°,30°)$.