

الجمهورية العربية السورية
وزارة التربية
المراكز الوطني لتطوير المناهج التربوية

الفيزياء

الصف العاشر العلمي

2022-2021 م

تأليف
فئة من المختصين

حقوق الطباعة والتوزيع محفوظة للمؤسسة العامة للطباعة

حقوق التأليف والنشر محفوظة للمركز الوطني لتطوير المناهج التربوية

وزارة التربية - الجمهورية العربية السورية

طبع لأول مرة في العام الدراسي: 2017 – 2018 م

المقدمة

نقدم للمتعلّمين الأعزّاء كتاب الفيزياء المبنيّ وفق الإطار العام للمنهاج الوطني ووثيقة المعايير الوطنية المطورة، والتي تهدف إلى مواكبة التطورات الحالية، وتقديم منهاج قائم على البحث العلمي والتجريب يلبّي آمال المتعلّمين من جهةٍ، ومتطلبات سوق العمل والمجتمع المحلي من جهةٍ أخرى.

يشهد العالم ثورةً معرفيةً يرافقها تسارع في إنتاج المعرفة وانتشارها وتطور التقانات المستخدمة إضافةً إلى سرعة التغييرات في مجالات الحياة كلها.

لذلك وجب ربط المناهج بالحياة اليوميّة للمتعلّم وب بيته، ومواكبة المستجدّات العلميّة والتكنولوجيا التي سيكون لها الأثر الفعال في تنمية شخصية المتعلّم من الناحيّتين الفكرية والجسدية، وهذا ما يسمح له بالتكامل مع متطلبات الحياة المعاصرة، والمساهمة في التنمية الوطنية المستدامة.

يخاطب المحتوى العلمي المتعلّم بوصفه محور العملية التّربويّة، ويشجّعه على التّعلم الذّاتي، حيث صيغت موضوعات الكتاب بأسلوب علمي مبسط واضح لتناسب النّمو العقلي والعمري للمتعلّم وتشير دافعيته. كما يرتكز المحتوى على المعارف والمهارات بعيداً عن الحشو والتّكرار، ويمكّن المتعلّم من مواجهة المشكلات التي يتعرّض لها في حياته اليوميّة، وإيجاد الأساليب المناسبة لحلّها، وكذلك يحفز المتعلّم على اكتساب مهارات التّواصل والتّفكير والبحث والاستنتاج بدلاً من تلقّي المعلومات وحفظها واستظهارها، كما يؤكّد المحتوى على دور المعلّم بوصفه موجّهاً للمناقشة، وميسّراً للعلم والعمل.

وكلُّنا أملُّ وثقة أن يحقق زملاؤنا المتعلّمون ما نصبو إليه.

فريق التّأليف

الفهرس

الوحدة الأولى: الحركة والتحريك

6	الدرس الأول: الحركة
20	الدرس الثاني: الحركة المستقيمة
32	الدرس الثالث: الحركة النسبية
40	الدرس الرابع: قوانين نيوتن وتطبيقاتها
52	الدرس الخامس: العمل والاستطاعة

الوحدة الثانية: المادة والحرارة

66	الدرس الأول: التوتر السطحي
80	الدرس الثاني: الزوجة
86	الدرس الثالث: الحرارة والطاقة
100	الدرس الرابع: الحرارة الكتليلية

الوحدة الثالثة: الكهرباء

108	الدرس الأول: الكهرباء الساكنة
114	الدرس الثاني: حقل كهربائي
126	الدرس الثالث: الكمون
134	الدرس الرابع: فرق الكمون
134	الدرس الخامس: فرق الكمون

الوحدة الرابعة: الضوء

168	الدرس الأول: الضوء واللون
174	الدرس الثاني: انعكاسُ الضوء والمرايا
188	الدرس الثالث: انكسارُ الضوء
200	الدرس الرابع: العدسات
216	الدرس الخامس: الصفيحة مُتوازية الوجهين
218	الدرس السادس: المنشور

الوحدة الأولى

الحركة والتحريك

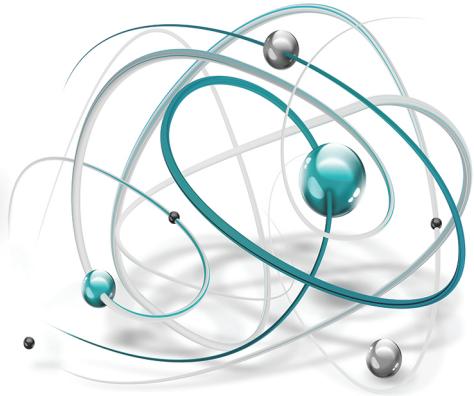
عندما تتحرك فأرة الكمبيوتر يتحرك المؤشر على شاشة الجهاز.
كيف تتเคลل الحركة من كرة فأرة الكمبيوتر إلى جهاز الكمبيوتر ليتحرك المؤشر في اتجاه
الحركة ذاته؟

تحتكر الكرة أثناء حركتها بأسطوانتين أو أكثر داخل الفأرة حيث تقيس حركات الكرة إلى الأمام
وإلى الخلف وإلى الأعلى وإلى الأسفل. وتكون حركة المؤشر على شاشة الكمبيوتر موضحة
لحركة هاتين الأسطوانتين.



١-١

الحركة



الأهداف:

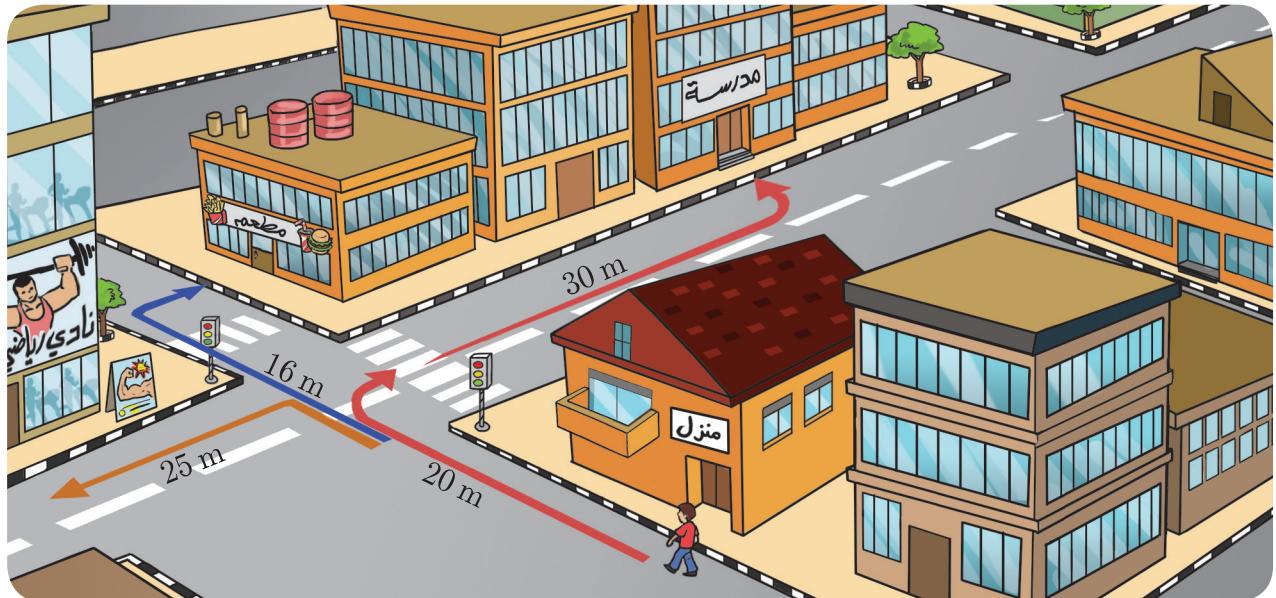
- * يتعرّف الجمل المرجعية وجمل المقارنة.
- * يتعرّف المسافة والفاصلـة والإزاحة.
- * يتعرّف شعاع السرعة.
- * يوازن بين السرعة الوسطى والسرعة اللحظـية.
- * يميّز بين السرعة الثابتـة والسرعة المُتغيّرة.
- * يرسم الخطـ البياني لغيرات المسافة بدلالة الزـمن.
- * يفسـر الخطـ البياني لغيرات المسافة بدلالة الزـمن.
- * يتعرّف شعاع التسارـع.
- * يميّز بين التسارـع الوسطى والتسارـع اللحظـي.
- * يرسم الخطـ البياني لغيرات السرعة بدلالة الزـمن.
- * يفسـر الخطـ البياني لغيرات السرعة بدلالة الزـمن.

الكلمات المفتاحـية:

- * السـرعة الوسطـى
Average Velocity
- * السـرعة الآتـية
Instantaneous Velocity
- * التـسارـع
Acceleration

الجمل المرجعية وجمل المقارنة 1-1

الاحظ وأجيب:



انعم النظر في الشكل السابق، وأجيب عن الأسئلة الآتية:

1. ما هي المسافة بين المنزل والمدرسة الثانوية؟

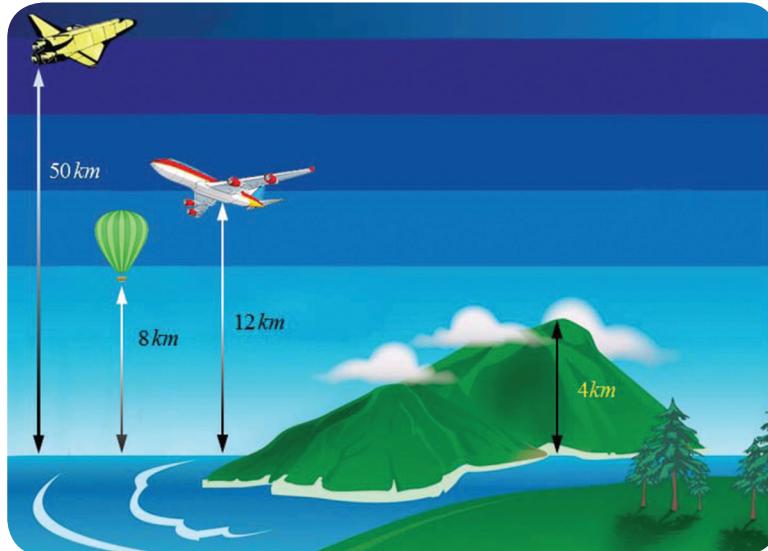
2. هل المسافة بين المنزل والنادي الرياضي تساوي المسافة بين المنزل والمطعم؟

3. إذا انطلقت من المنزل إلى المدرسة صباحاً، وبعد انتهاء الدوام عدت إلى النادي، ثم عدت إلى المنزل، ما هي المسافة التي قطعتها؟

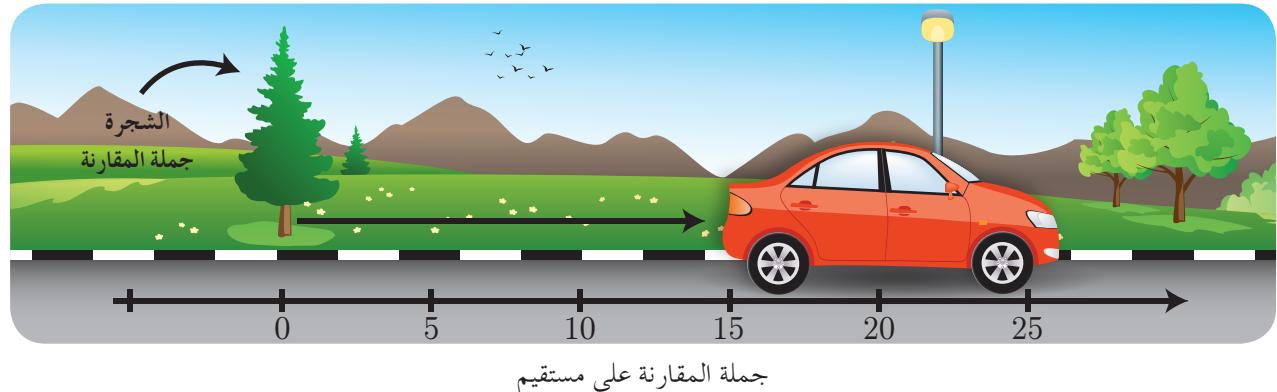
4. ما المكان المشترك في الأسئلة السابقة؟ وما المقدار الفيزيائي المُتغير بالنسبة للمكان المشترك؟

• من خلال المناقشة السابقة ستلاحظ أنَّ قياس المسافة بين جسمٍ معينٍ وجسمٍ آخر يحتم علينا اختيار أحد هما كمرجع ثابت، وهذا الجسم المرجعي الذي لا يغير موضعه بالنسبة للأرض يُسمى بالجملة المرجعية.

5. في الشكل الآتي: ما الجملة المرجعية برأيك؟



6. بهدف مراقبة جسمٍ ساكنٍ أو مُتحركٍ بشكلٍ دقيق، يمكن أن ندعوا الجملة المرجعية بجملة مقارنة. ومن جمل المقارنة:



جملة مقارنة في الفراغ



جملة مقارنة في المستوى

وقد يكون الجسم ساكنًا ومتحركًا في آنٍ واحدٍ، وذلك بالنسبة لجملاتي مقارنة مختلفةين. حيث يلاحظ أنَّ السائق ساكن بالنسبة للسيارة، ومتحرك بالنسبة للشجرة على طرف الطريق كما في الشكل الآتي.



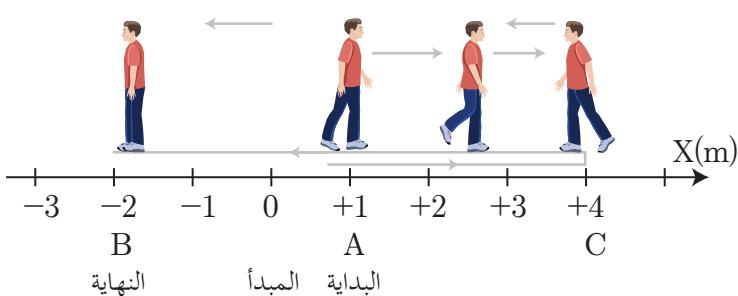
أستنتج: نقولُ عن جسمٍ ما بأنه مُتحركٌ بالنسبة لجملة مقارنة إذا تغيرَ موضعه عنها بتغيير الزَّمن.
وتصنَّف جمل المقارنة بالنسبة للمُراقب إلى:

— جملة مقارنة خارجية: المُراقب الذي يصفُ الحركة غير مُرتبط بالجسم المُتحرك.

— جملة مقارنة داخلية: المُراقب الذي يصفُ الحركة مُرتبط بالجسم المُتحرك.

لدراسة حركة جسمٍ ما لا بدَّ من تحديد: جملة مقارنة، وحدة قياس مُناسبة ومبادأ لقياس الزَّمن.

2-1 المسافة والفاصلـة وشعاع الإزاحة



الأحـظ وأجيـب:
يتحـرك باسـل على طـريق أـفقـيـة مـعـتـقـيمـة.

أـنـعـم النـظـر في الصـورـة المـعـاـلـة وأـجيـب:
ما طـول المـسـار الـذـي سـلـكـه باـسـل:

- من A إلى C ?
- من C إلى B ?
- من A إلى C مروراً بالـنـقطـة B ?

1-2-1 المسـافـة :

أـسـتـنـتـج:

الـمـسـافـة: هي طـول المـسـار الـذـي يـسـلـكـه الجـسـم المـتـحـرـك في أـثـاء حـرـكـتـه بـغـصـنـ النـظـر عـن جـهـةـ الـحـرـكـة، وـهـي مـقـدـارـ مـوـجـبـ دـوـمـاـ، وـحدـتـه في الـجـمـلـة الدـوـلـيـة هي المـتر.

نـشـاط (1):

إـذـا أـخـذـنـ اـتـجـاهـ الـمـحـوـرـ بـعـينـ الـاعـتـبـارـ فـي الشـكـلـ السـابـقـ:

- ما بعد النـقطـة A مـكانـ انـطـلـاقـ باـسـلـ عن مـبـدـأـ الإـحـادـيـات O ؟
- ما بعد النـقطـة B مـكانـ وصـولـ باـسـلـ عن مـبـدـأـ الإـحـادـيـات O ؟

2-2-1 الفـاـصـلـة :

أـسـتـنـتـج:

الـفـاـصـلـة: تـعـيـزـ لـلـدـلـالـة عـلـى الـبـعـد بـيـنـ نـقـطـةـ مـنـ الـمـحـوـرـ الـمـوـجـبـ، وـمـبـدـأـ الإـحـادـيـات (O)، وـتـقـرـنـ الـفـاـصـلـةـ بـالـإـشـارـةـ (+) لـلـقـيـاسـ بـالـاتـجـاهـ الـمـوـجـبـ لـلـمـحـوـرـ وـبـالـإـشـارـةـ (-) لـلـقـيـاسـ بـالـاتـجـاهـ السـالـبـ لـلـمـحـوـرـ.

مـلـاحـظـة:

يمـكـنـ حـسـابـ الـبـعـد بـيـنـ النـقـطـتين A و B مـنـ مـحـوـرـ موـجـبـ بـالـعـلـاقـةـ:
الـبـعـدـ بـيـنـ نـقـطـتينـ مـنـ مـحـوـرـ موـجـبـ = الـفـاـصـلـةـ الـنـهـائـيـةـ - الـفـاـصـلـةـ الـابـتـدـائـيـةـ
كـالـآـتـيـ:

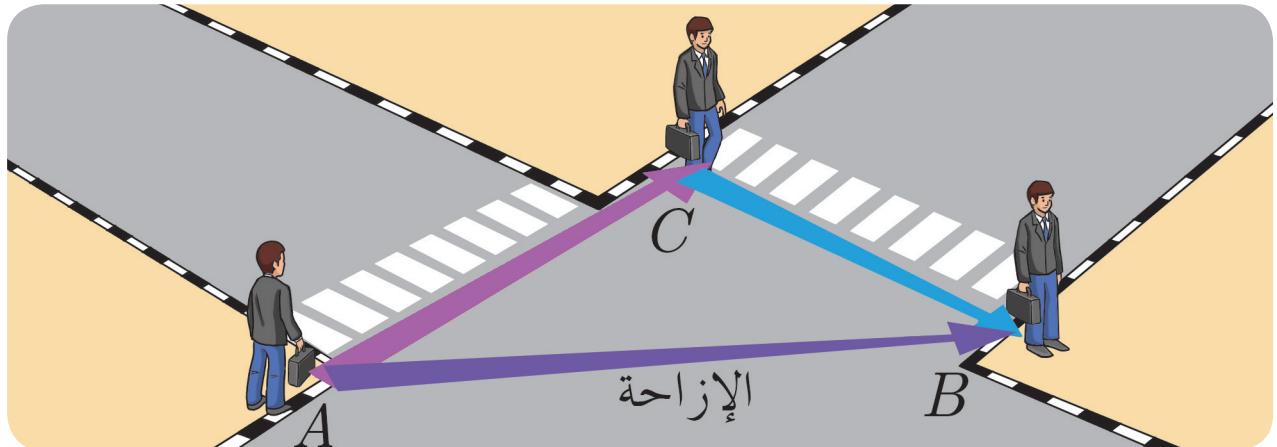
$$AB = X_B - X_A = (-2) - (+1) = -3 \text{ m}$$

تـدـلـ إـشـارـةـ السـالـبـةـ عـلـى أـنـنـا نـسـيـرـ بـالـاتـجـاهـ السـالـبـ لـلـمـحـوـرـ.

3-2-1 شعاع الإزاحة:

الاحظ وأستنتج:

أراد باسل عبور الشّارع من الموضع A إلى الموضع C ، قاطعاً مسافة 8 m ، ثمَّ عبور الشّارع الثاني من الموضع C إلى الموضع B ، قاطعاً مسافة أخرى قدرُها 6 m الموضّح في الشّكل:

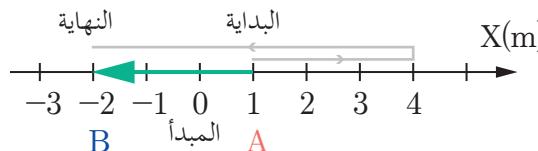


- ما المسافة الكلية التي قطعها باسل؟
 - ما طول القطعة المستقيمة الموجّهة AB ؟
- نسمّي القطعة المستقيمة الموجّهة \overrightarrow{AB} بشعاع الإزاحة.

وهو شعاعٌ يتّجّه من الموضع الابتدائي إلى الموضع النهائي للّمتحرك وطويّلته تساوي البُعد بين الموضعين.

تطبيق (1)

انظر إلى الشّكل المجاور، وأجيب عن الآتي:

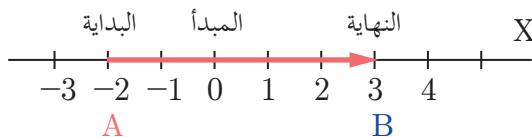


- ما مقدار الإزاحة من الموضع A إلى الموضع B ؟
- ما طويّل شعاع الإزاحة \overrightarrow{AB} ؟

بتطبيق علاقـة البُعد بين نقطـتين، نجد مقدار الإزاحة: $AB = x_B - x_A = (-2) - (+1) = -3\text{ m}$.
طويّلـة شعـاع الإزـاحة \overrightarrow{AB} تمـثـلـ الإزـاحة من النـقطـة A إـلـى النـقطـة B وتسـاوـي 3 m .

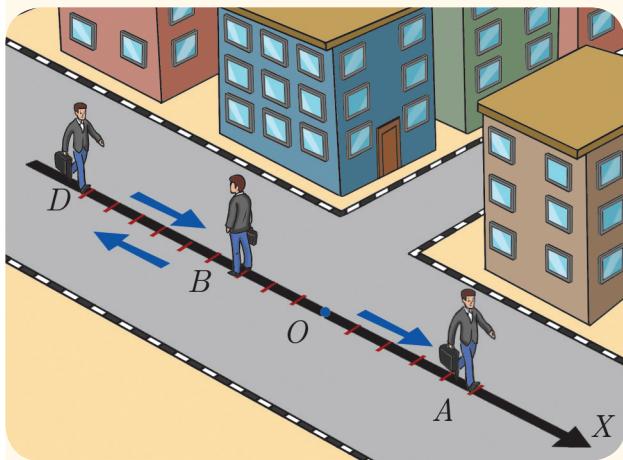
ملاحظة:

يمكـن إيجـاد طـويـلـة شـعـاع الإـزـاحة من الرـسـم مـباـشـةً.





أختبر نفسك



1. انظر إلى الشكل المجاور، وحدد طولية شاع الإزاحة \vec{AB} ؟

2. انطلق شخص من النقطة B فاصلتها (3-) باتجاه النقطة D فاصلتها (9-)، ثم عاد باتجاه النقطة A فاصلتها (5+).

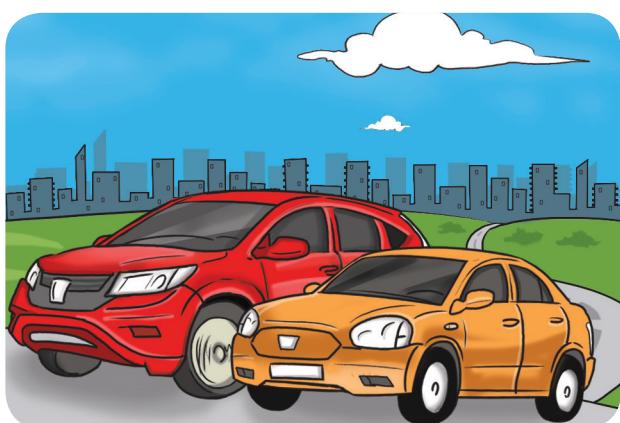
المطلوب:

- حساب المسافة التي قطعها الشخص.
- ما هي جهة شاع الإزاحة الحالى؟
- حدد بدايته ونهايته وطوليته

3-1 مفهوم السرعة:

1-3-1 السرعة الوسطى v_{avg}

نشاط (2):



انطلقت سيارتان في اللحظة ذاتها من مدينة دمشق، فقطعا مسافة 160 km لتصلا إلى مدينة حمص خلال زمن قدره ساعتان، السيارة الأولى تابعت الرحلة دون توقف. أمّا السيارة الثانية، فتوقفت للتزوّد بالوقود ثم تابعت طريقها لتصل إلى حمص، ومع ذلك وصلتا في اللحظة ذاتها، فكّر ثم أجب.

- احسب سرعة كلّ منهما؟
- هل النتيجة مقنعة ودقيقة؟
- هل للسيارتين السرعة ذاتها على طول المسار، فسر ذلك؟

السرعة الوسطى عددياً: هي المسافة المقطوعة مقسومة على الزمن اللازم لقطعها:



$$v_{avg} = \frac{\overline{M_1 M_2}}{\Delta t} = \frac{\Delta \bar{X}}{\Delta t} = \frac{\text{المسافة المقطوعة}}{\text{الزمن}}$$

السرعة الوسطى لا تعطي القيمة الدقيقة للسرعة.

٢-٣-١ السرعة الآنية v

الاحظ وأجيب:

هل السيارة متحركة؟ وما قيمة سرعتها؟



إن القراءة المباشرة للقيمة التي تظهر على عدد السرعة في سيارة متحركة يدلنا عملياً على القيمة الحالية للسرعة، وهي أكثر دقة من السرعة الوسطى، فهي تصف التغيرات الصغيرة في المسافة خلال فاصل زمني صغير جداً.

أي تؤول السرعة الوسطى إلى السرعة الآنية أو الحالية عندما يكون التغير في المسافة صغيراً خلال فاصل زمني صغير جداً

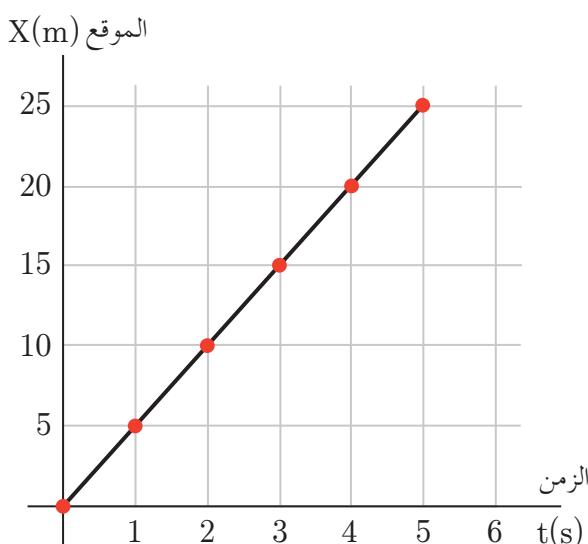
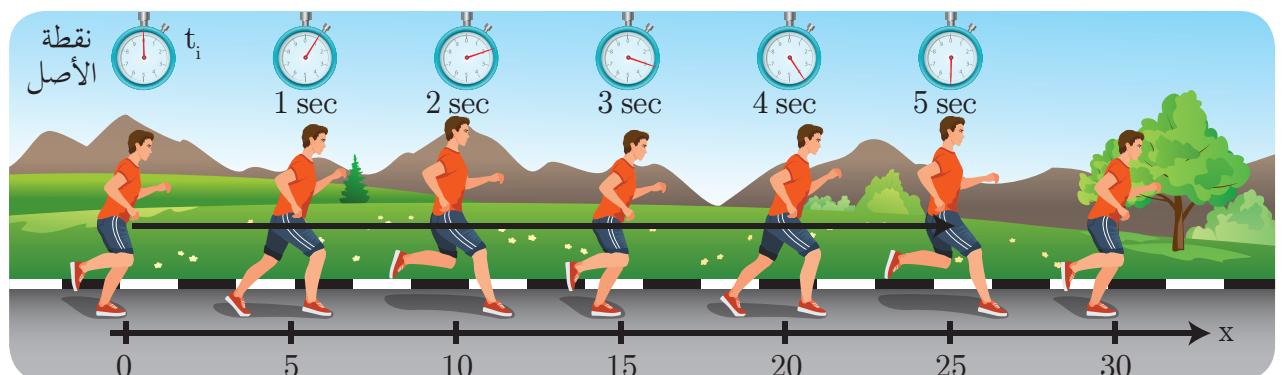
$$v = \frac{dx}{dt}$$

٣-٣-١ السرعة الثابتة والسرعة المُتغيرة

كيف نحكم على جسم أنه يتحرك بسرعة ثابتة؟

الاحظ وأستنتج:

يجري عدّاء على طريق مستقيم، حيث تتغير فاصلته (موقعه) بتغيير الزمن وفق الجدول الآتي:



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

- احسب النسبة $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ في القياسات السابقة. ماذا أستنتج؟
- احسب ميل الخط البياني.
- قارن بين النتائج التي حصلت عليها. ماذا أستنتج؟
- توقع ما هي فاصلة العداء في اللحظات: $t = 7 \text{ s}$, $t = 6 \text{ s}$

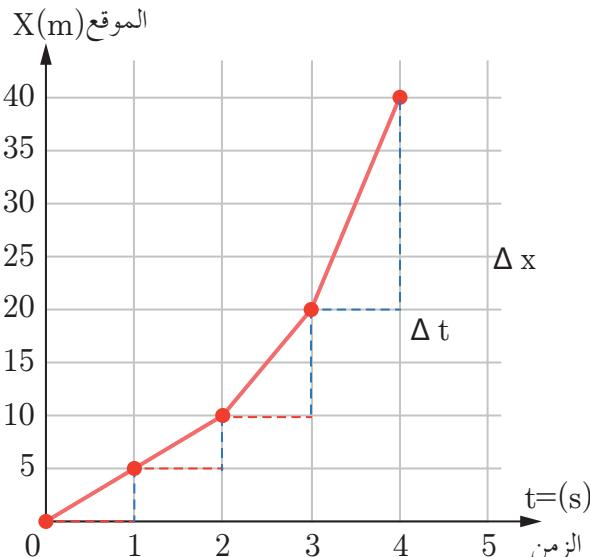
أستنتج:

- تكون سرعة المتحرّك ثابتة القيمة، إذا قطع المتحرّك مسافاتٍ متساويةٍ خلال فواصل زمنية متساوية.
- ندعو ميل الخط البياني السابق (المُستقيم) بالسرعة اللحظية.

$$v = v_{avg} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt} = const$$

الاحظ وأستنتج:

لدينا الخط البياني الآتي الذي يصف تغيير موضع جسم خلال فواصل زمنية متساوية، قيمة كل منها ثانية واحدة:



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

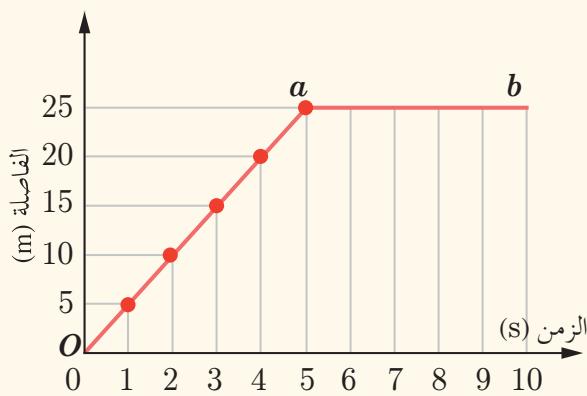
- احسب النسبة $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ لكل موضعين متتاليين.
- هل النسب السابقة متساوية؟
- ماذا أستنتج؟

أستنتج: تكون سرعة المتحرّك غير ثابتة القيمة إذا قطع مسافاتٍ غير متساويةٍ خلال فواصل زمنية متساوية.

ويلاحظ أنَّ الخطَّ البياني لتغييرات المسافة بتغير الزَّمن في حالة السُّرعة غير الثابتة ليس مُستقيماً.



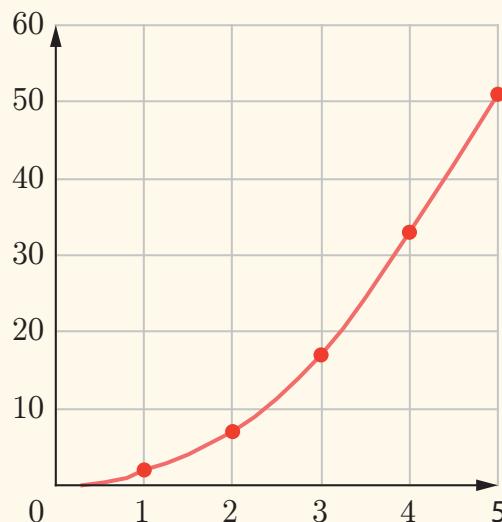
أختبر نفسك



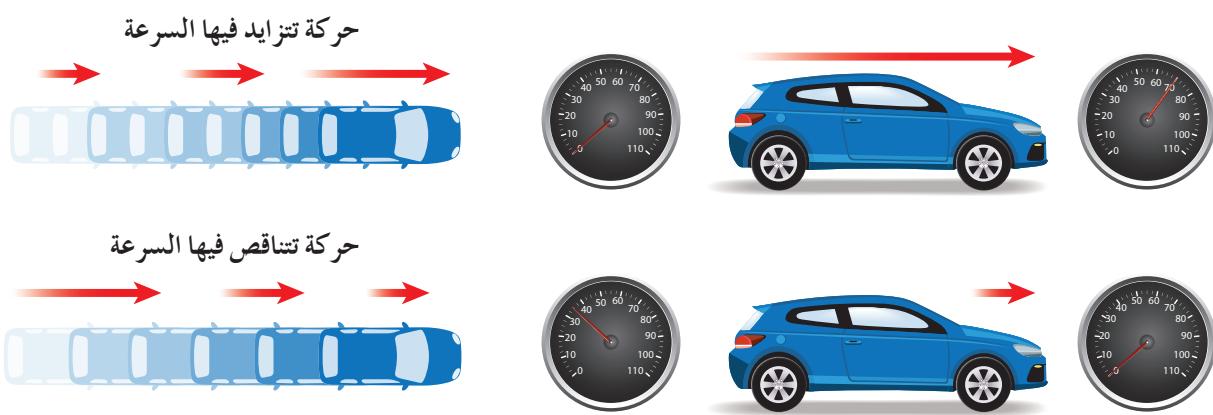
1. يصف الرسم البياني الآتي تغير فاصلة جسم متحرك بتغيير الزمن. المطلوب: أجب عن الأسئلة:

- ما فاصلة الجسم في الثانية الثالثة من حركته؟
- ما اللحظة الزمنية التي تكون فيها فاصلة الجسم 20 m ؟
- ما سرعة الجسم خلال المرحلة Oa ؟ ولماذا؟
- ما سرعة الجسم خلال المرحلة ab ؟ ولماذا؟

2. يمثل المنحني البياني الآتي تغيرات فاصلة، متحرك مع الزمن. هل سرعة الجسم ثابتة أم متغيرة؟ ولماذا؟



4-1 التسارع : (acceleration)

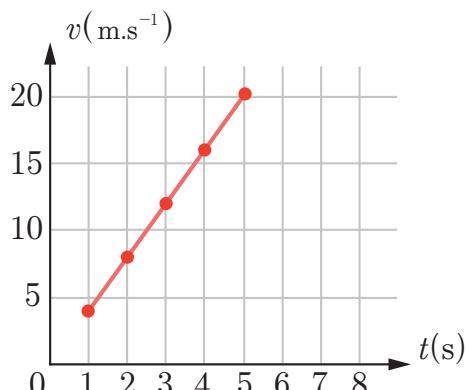


نشاط (3)

انطلقت سيارة من السكون، وسُجّلت قيم سرعتها في لحظاتٍ مختلفة، فكانت كما في الجدول الآتي:

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

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

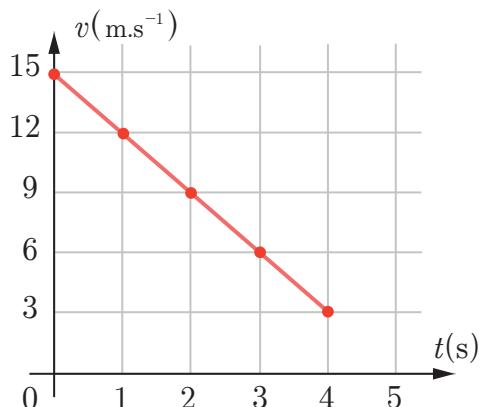


1. هل تغير قيمة السرعة؟ وما قيمة التغيير الحاصل؟
2. احسب قيمة النسبة $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ ، ماذا تستنتج؟
3. احسب ميل الخط البياني (المستقيم) المرسوم.
4. قارن بين النتائج التي حصلت عليها. ماذا تستنتج؟

نشاط (4)

استخدم سائق مكابح سيارته، فتغيرت سرعة السيارة وفق القيم كما في الجدول الآتي:

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



1. هل تزداد قيمة سرعة الجسم أم تنقص بمرور الزمن؟
2. احسب قيمة النسبة $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ ، هل هي ثابتة؟
3. احسب ميل الخط البياني (المستقيم) المرسوم.
4. قارن بين النتائج التي حصلت عليها. ماذا تستنتج؟
5. توقع كم ستكون قيمة السرعة عندما $t = 5 \text{ s}$ ؟

1-4-1 التسارع الوسطي a_{avg}

نعرف التسارع الوسطي a_{avg} بين اللحظتين t_1 و t_2 تكون فيهما سرعة المُتحرك v_1 و v_2 على الترتيب 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:

تنطلق سيارة من السكون (سرعتها الابتدائية معدومة)، وبعد خمس ثوانٍ من بدء الزّمن بلغت سرعتها 20 m.s^{-1} . المطلوب: احسب تسارعها الوسطي.

2-4-1 التسارع الآني a

نعرف التسارع الآني a بأنه التسارع الوسطي الذي نحصل عليه من تغيير قيمة السرعة بمقدار صغير dv عندما يلغي الفاصل الزمني قيمة صغيرة جداً dt ، ويعبر عنه بالعلاقة:

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



نقول عن حركة أنها متسارعة، إذا ازدادت سرعتها بتغيير الزّمن



متسارعة

نقول عن حركة أنها مُباطئة، إذا تناقصت سرعتها بتغيير الزّمن

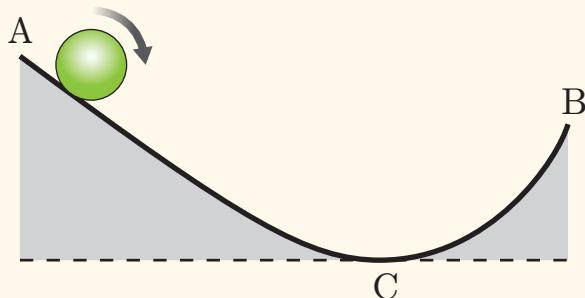


مباطئة

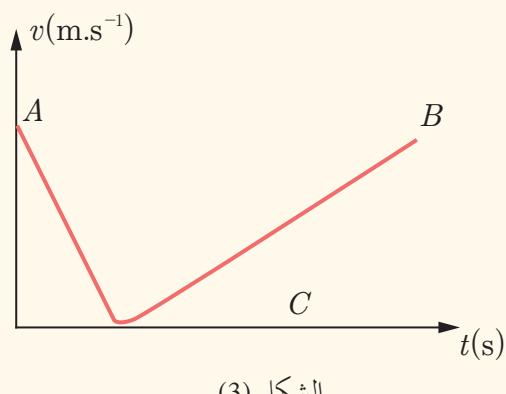
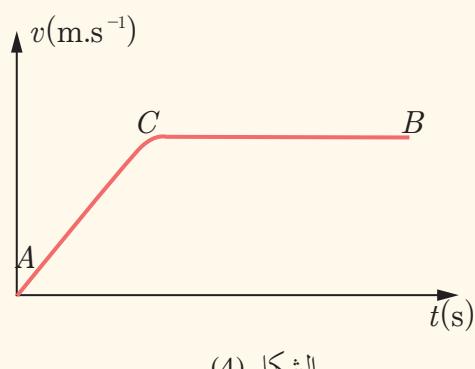
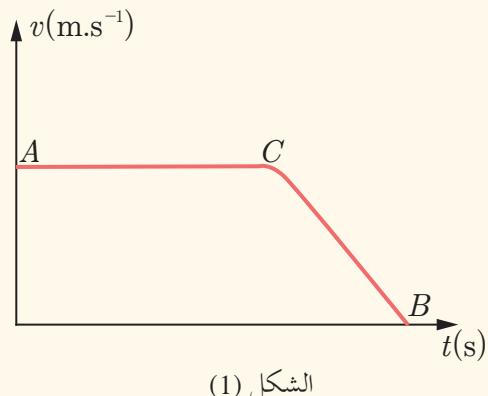
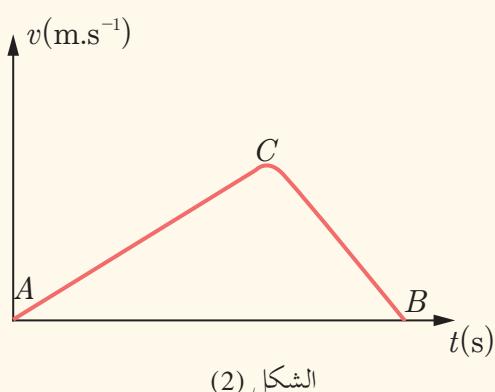
أختبر نفسك



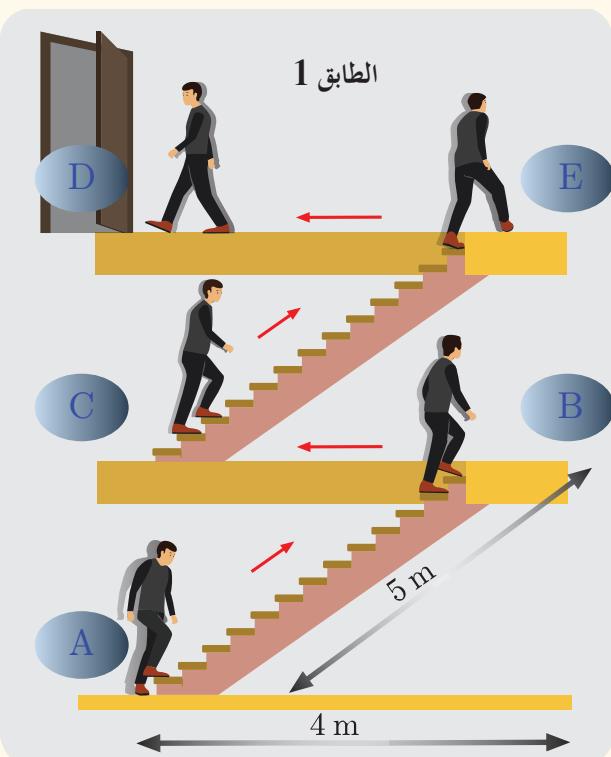
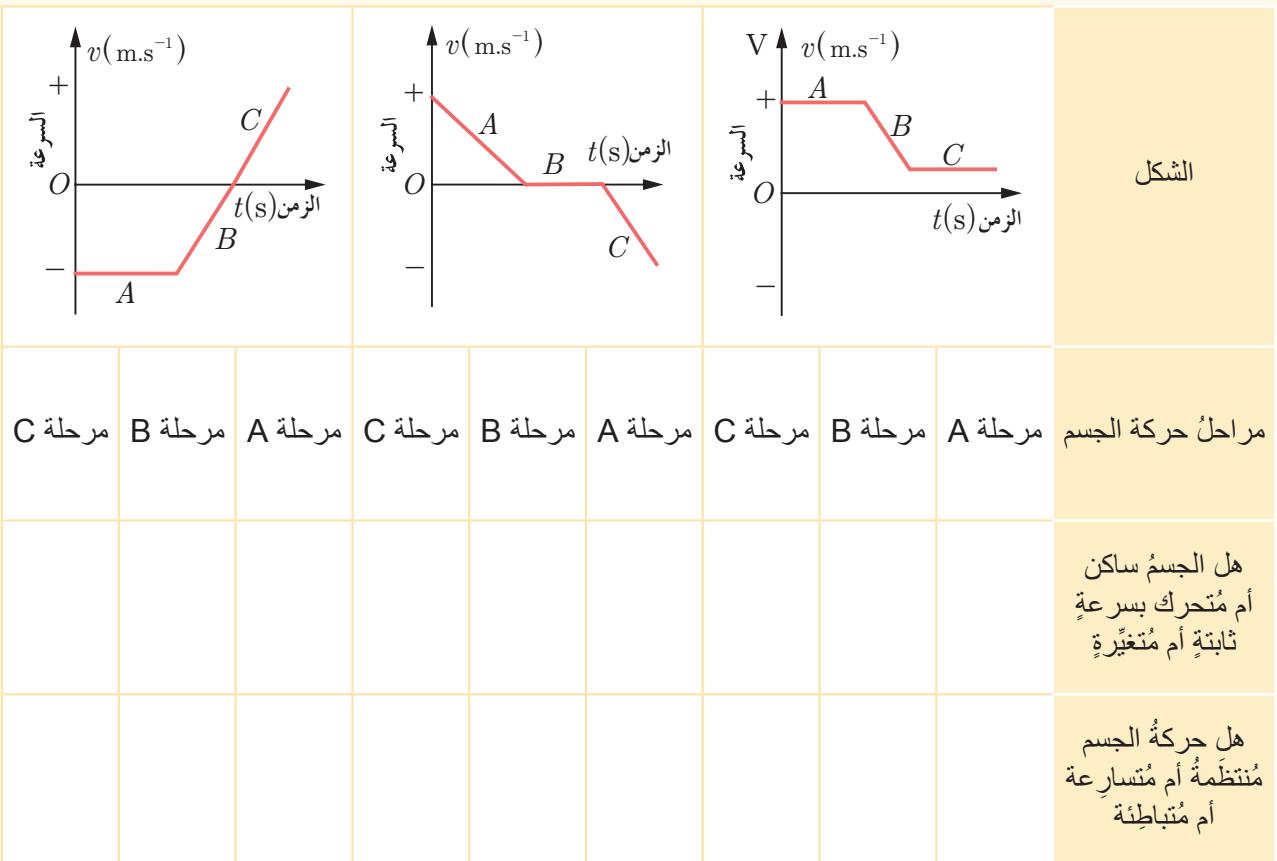
1. يبدأ دوّلابٌ حركته من السكون من النقطة A في قمة مُنحدرٍ أملس، كما في الشكل الآتي، ليصل إلى النقطة C ، ثمَّ يتبع حركته صعوداً نحو الأعلى ليصل إلى النقطة B . **المطلوب:**



- هل حركة من A إلى C متسارعة أم مُتباطة؟
- هل حركة من C إلى B متسارعة أم مُتباطة؟
- أيُّ شكلٍ من الأشكال الآتية يعبر عن تغير سرعة الدوّلاب في أثناء حركة من A إلى B :



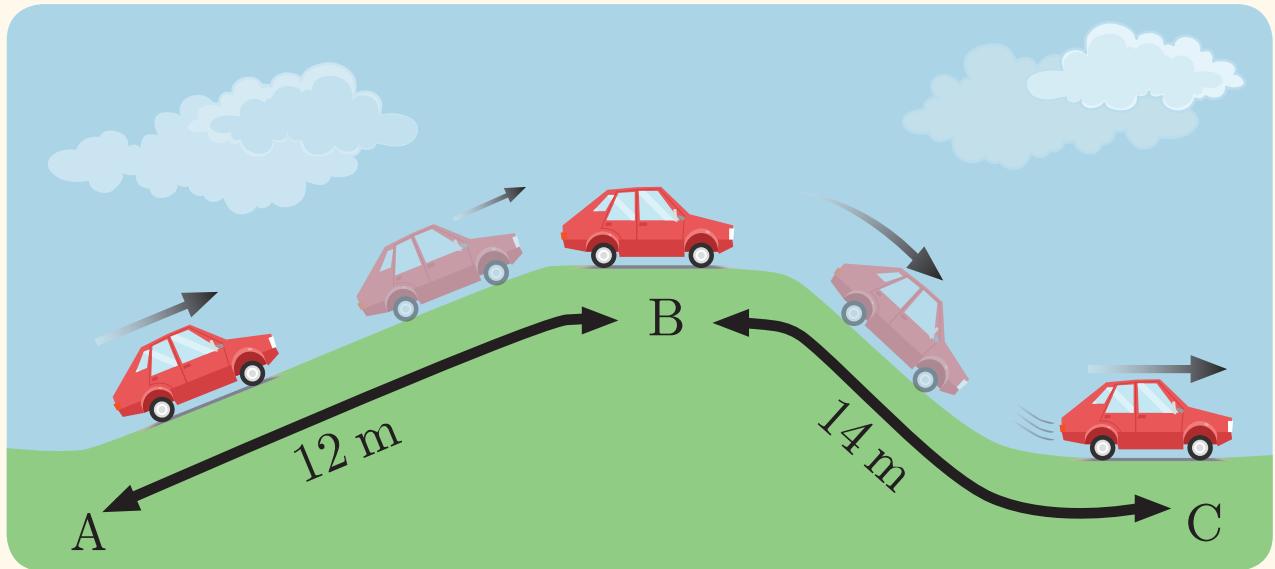
2. أمعن النظر في الرسم البياني الآتية التي تبيّن الحالة الحركيّة لجسم مع مرور الزّمن، ثمّ أكمل الجدول الآتي:



3. يصعد طالبٌ من الصف الأول الثانوي إلى غرفة الطّابق وفق الشّكل المُبيّن:

- ما هي المسافةُ التي قطعها ليصلَ إلى غرفةِ الصّف؟
- ما هو شاعُ الإزاحةِ الحاصل؟
- احسب المسافة الشّاقوليّة AD .

4. تحرّك سيّارة وفق الشّكل أدناه فإذا كانت:



سرعتها عند $A: v_A = 18 \text{ m.s}^{-1}$

وسرعتها عند $B: v_B = 2 \text{ m.s}^{-1}$

وبلغت سرعتها عند النقطة $C: v_C = 10 \text{ m.s}^{-1}$ ، كما أنها استغرقت 8 s لقطع المسافة AB ، و 5 s لقطع

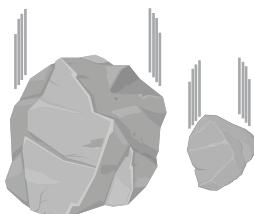
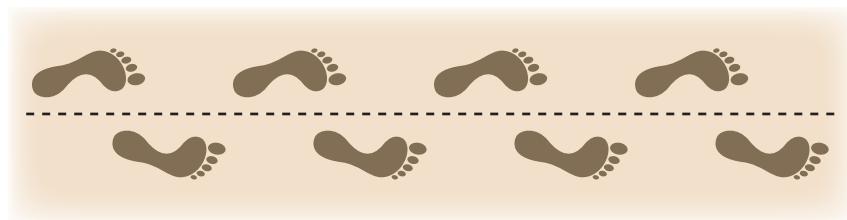
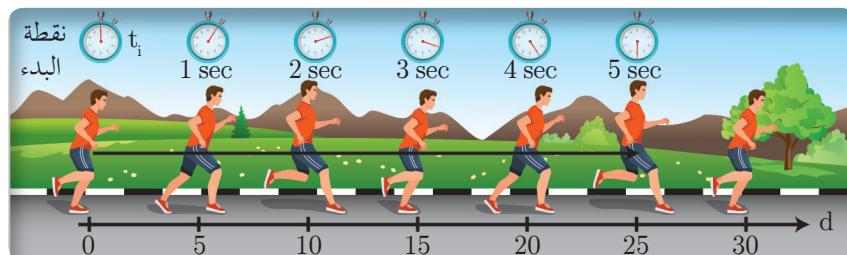
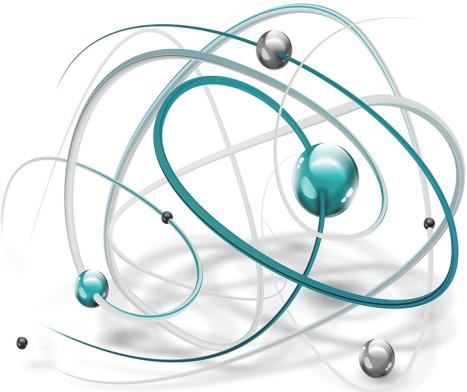
المسافة BC المطلوب:

a. قارن بين سرعتها الوسطى في مرحلة الصعود، وسرعتها الوسطى في مرحلة الهبوط.

b. ما قيمة التسارع الوسطى في مرحلتي الصعود والهبوط؟ وما نوع الحركة في كل مرحلة؟

2-1

الحركة المستقيمة

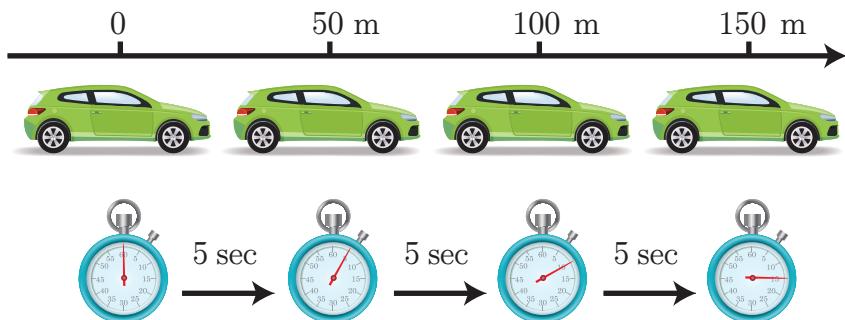


الأهداف:

- * يُتَعَرَّفُ بِالْحَرْكَةِ الْمُسْتَقِيمَةِ.
- * يُتَعَرَّفُ بِتَوَابِعِ الْحَرْكَةِ الْمُسْتَقِيمَةِ الْمُنْتَظَمَةِ.
- * يُتَعَرَّفُ بِالْحَرْكَةِ الْمُسْتَقِيمَةِ الْمُتَغَيِّرَةِ بِاِنْتِظَامٍ.
- * يُتَعَرَّفُ بِتَوَابِعِ الْحَرْكَةِ الْمُسْتَقِيمَةِ الْمُتَغَيِّرَةِ بِاِنْتِظَامٍ.
- * يَسْتَتَّجُ حَرْكَةَ السَّقْوَطِ الْحَرِّ.
- * يَسْتَتَّجُ تَوَابِعَ حَرْكَةِ السَّقْوَطِ الْحَرِّ.
- * يَرْبِطُ الْحَرْكَةَ بِمَوَاقِفِ حَيَاتِيَّةٍ.

الأدلة وأستنتاج:

تثبت على الطرق العامة كاميرات مراقبة لحركة السيارات، يتم من خلالها رصد السرعة لتجنب حوادث المرور، وتحدد السرعة بلوحة مرورية يسجل عليها بشكل واضح حدود السرعة المسموح بها. إحدى الكاميرات سجلت حركة سيارة في الشكل:



1. هل السيارة الموضحة في الشكل تسير ضمن حدود السرعة؟
2. هل تسير السيارة بسرعة متزايدة أم متناظرة أم ثابتة؟

أستنتاج: نقول عن حركة إنها مستقيمة مُنتظمة إذا كان مسارها مستقيماً، وحافظت سرعتها على قيمة ثابتة.

التابع الزمني في الحركة المستقيمة المُنتظمة (تابع الفاصله): هو التابع الذي يصف تغيرات الفاصله بتغير الزمان.

ليكن مبدأ القياس (O) من محور موجه مُنطبق على المسار المستقيم، ولتكن x_0 الفاصلة في اللحظة $t = 0$ (الفاصلة الابتدائية)، x الفاصلة في اللحظة t

$$\begin{aligned} v &= \frac{\Delta x}{\Delta t} \\ v &= \frac{x - x_0}{t - t_0} \\ v &= \frac{x - x_0}{t - 0} \end{aligned}$$

بالحل نجد:

$$x = vt + x_0$$

وهو التابع الزمني للفاصله في الحركة المستقيمة المُنتظمة، ويلاحظ أنه من الدرجة الأولى بالنسبة للزمن.
تطبيق (1):

تحرك سيارة على طريق أفقية مستقيمة بسرعة ثابتة، حيث كانت فاصلتها $x_1 = 8 \text{ m}$ في اللحظة $s = t_1 = 1 \text{ s}$ ، وفي اللحظة $s = t_2 = 3 \text{ s}$ كانت فاصلتها $x_2 = -4 \text{ m}$. **المطلوب:**

1. أوجد التابع الزمني للحركة بعد تعين قيم ثوابته.
2. هل جهة حركة السيارة وفق جهة المحور أم عكss جهة المحور؟
3. ارسم خطأً بيانيًّاً يبيّن تغيرات الفاصله بتغير الزمان.

الحل:

1. المسار مستقيم والسرعة ثابتة، فالحركة مستقيمة منتظمة. تابعها الزمني من الشكل:

لتحدد قيم ثوابت التابع: x_0 و v

$$8 = v(1) + x_0 \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$(-4) = v(3) + x_0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

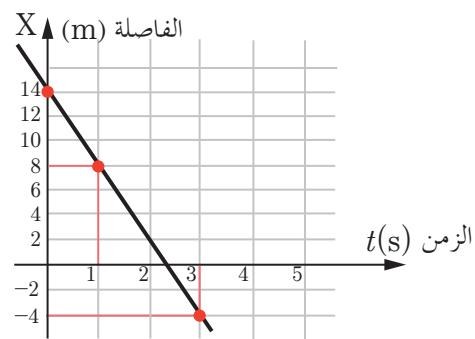
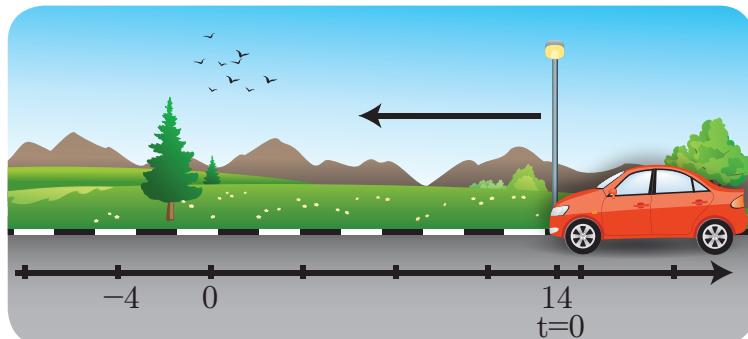
$$v = -6 \text{ m.s}^{-1} \iff 12 = -2v \quad \text{ومنه} \quad (-4) = v - 8$$

ومن أجل إيجاد الثابت الآخر نعوض قيمة السرعة في إحدى المعادلتين: مثلاً في (1):

$$x = -6t + 14 \quad \text{فالتابع الزمني هو: } x_0 = 14 \text{ m} \iff 8 = (-6) \cdot 1 + x_0$$

2. أستنتج من هذا التابع: أن الإشارة السالبة للسرعة تدل على أن جهة حركة السيارة بعكس جهة المحور.

3



تطبيق (2)

تسير دراجتان على طريق أفقية مستقيمة وفق التابعين الزمنيين الآتيين: الأول: $x + 2 = 4t$ ، الثاني: $3t = 1 - x$ المطلوب:

1. ما طبيعة حركة كلّ منها، ولماذا؟

2. يبيّن أيّ الدراجتين أسرع؟

3. هل تسيران بجهة واحدة أم بجهاتين متعاكستان، ولماذا؟

4. مثلّ بيانياً حركة كلّ منها.

الحل:

1. بما أنّ كلاً من التابعين من الدرجة الأولى، بالنسبة للزمن فالحركة منتظمة، والمسار مستقيم فالحركة مستقيمة. أي أنّ الحركة مستقيمة منتظمة.

2. بداية نقوم بإصلاح التابعين وفق الشكل العام:

$$x_1 = 4t - 2 \quad \text{بإصلاح التابع الأول نجد أنه يصبح بالشكل:}$$

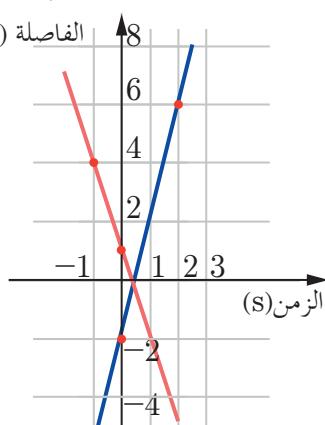
$$x_2 = -3t + 1 \quad \text{ويصبح التابع الثاني بالشكل:}$$

بالمقارنة مع الشكل العام للتابع الزمني في الحركة المستقيمة المنتظمة نجد:

$$v_1 = 4 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v_2 = -3 \text{ m.s}^{-1}$$

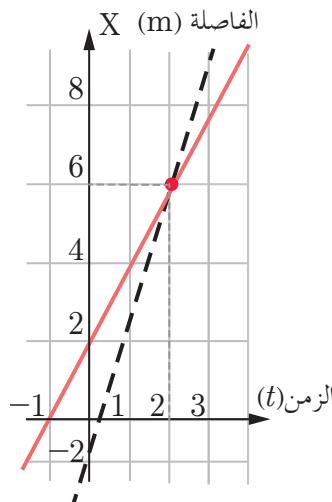
فالدراجة الأولى أسرع من الثانية.



3. الدراجتان تسيران بجهتين متعاكستين. والسبب هو أن سرعة الدراجة الأولى موجبة، وهي تتحرّك بجهة المحور، بينما سرعة الدراجة الثانية سالبة، وهي تتحرّك بعكس جهة المحور.

تطبيق (3)

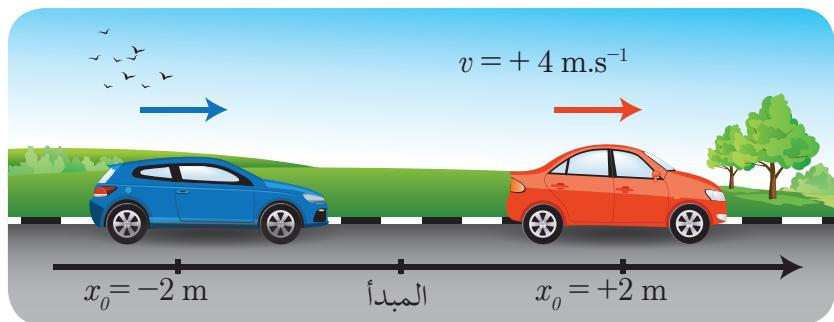
تسير سيارتان على الطريق الأفقي المستقيم نفسها. التابع الزمني لحركة السيارة الأولى: $x_1 = 2t + 2$ والتابع الزمني لحركة السيارة الثانية $x_2 = 4t - 2$. بين حسابياً وبيانياً أين ومتى تلتقي السيارتان؟
الحل:



عندما تلتقي السيارتان يكون لهما الفاصلة نفسها. أي:

$$t = 2 \text{ s} \iff 2t = 4 \text{ s}$$

ومنذ هذه اللحظة تكون الفاصلة لكل منهما



2-2 الحركة المستقيمة المتغيرة بالنظام



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

أجب وأستنتج:



انطلقت سيارة من السكون على مسار مستقيم، وكانت فوائل حركتها والأزمنة المُقابلة لها مُحددة في الجدول:

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

لحسب السرعة بين لحظتين متاليتين:

$v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$	$\frac{8-7}{1-0}$	$\frac{11-8}{2-1}$	$\frac{16-11}{3-2}$	$\frac{23-16}{4-3}$	$\frac{32-23}{5-4}$
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 المقدار Δx ثابت؟
- هل المقدار Δt ثابت؟
- هل النسبة $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ ثابتة؟
- أرسم الخط البياني المُعبر عن تغيرات السرعة مع الزمن، وأحسب ميله.
- ماذا أستنتج مما سبق؟

أستنتج:

تكون حركة جسم مستقيمة متغيرة بانتظام إذا كان مسارها مستقيماً، وقيمة سرعتها تتغير بمعدل ثابت بمرور الزمن؛ أي أن تسارعها ثابتًا.

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

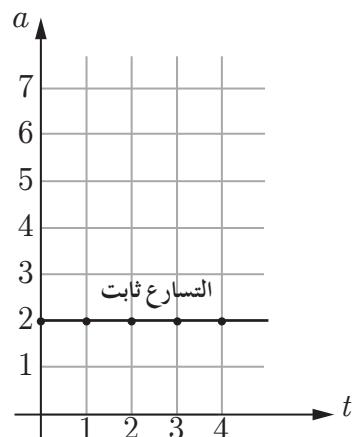
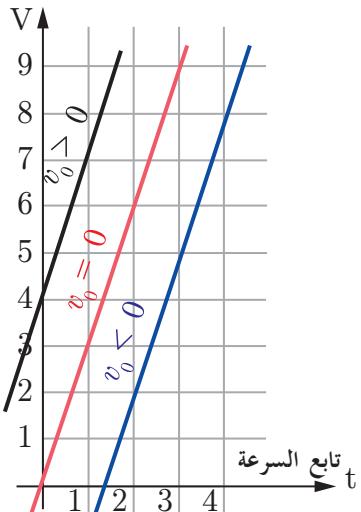
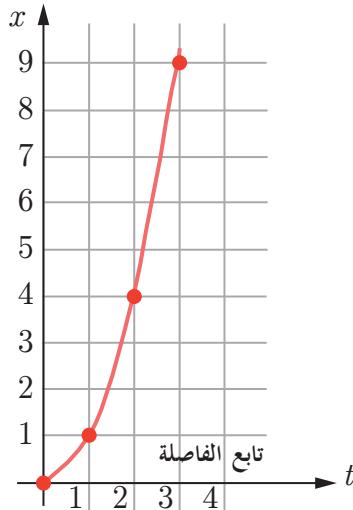
$$a_{avg} = a = const$$

1-2-2 توابع الحركة المستقيمة المتغيرة بانتظام:

$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$	تابع الزمني للفاصله وهوتابع من الدرجة الثانية بالنسبة للزمن
$v = at + v_0$	تابع الزمني للسرعة اللحظية
$a = const$	التسارع ثابت
$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$	تابع اللازمني

تناسب المسافات المقطوعة طرداً مع مربعات الأزمنة الازمة لقطيعها لمتحرك انطلق من السكون:

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



تطبيق (4)

تحرّك سيارة في سباق للسيارات على طريقٍ أفقيةً مُستقيمةً يُكتبُ التابع الزّمني لحركتها على الشّكل المطلوب:

1. استنبع ثوابت الحركة.
2. احسب سرعة السيارة بعد مرور 3 ثوانٍ من بدء الحركة.
3. احسب المسافة المقطوعة عندما تصبح سرعتها 40 m.s^{-1}

الحل:

1. بما أنَّ تابع الفاصللة الزّمني من الدرجة الثانية بالنسبة للزَّمن والمسار مُستقيم، فالحركة مُستقيمةٌ مُتغيّرة بانتظام. تابع الفاصللة الزّمني من الشّكل:

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

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

بالمقارنة نجد: $x_0 = +10 \text{ m}$, $v_0 = +4 \text{ m.s}^{-1}$, $a = 4 \text{ m.s}^{-2}$

2. تابع السرعة الزّمني من الشّكل: $v = at + v_0$

$$v = 4t + 4 \quad \text{نعرض}$$

$$v = 4 \times 3 + 4 = 16 \text{ m.s}^{-1}$$

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

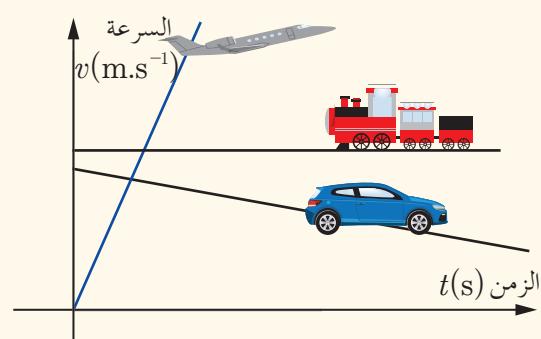
$$(40)^2 - (4)^2 = 2 \times 4 \times \Delta x$$

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

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

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

- نقولُ عن جسمٍ بأنه مُتحرك بالنسبة لجملة مُقارنة إذا تغيَّر بعده عنها بتغيير الزَّمن.
 - المسافة: هي طول المسار الذي يسلكه الجسم المُتحرك في أثناء حركته بغضّ النظر عن جهة الحركة، وهي مقدارٌ موجِّبٌ دوماً، وحدتها في الجملة الدوليَّة هي المتر (m).
 - الفاصلَة: تعبيرٌ للدلالة على البعد بين نقطة من المحور الموجَّه ومبدأ الإحداثيات (O)، وتُقَرَّن الفاصلَة بالإشارة (+) للقياس بالاتجاه الموجِّب للمحور، وبالإشارة (-) للقياس بالاتجاه السالب للمحور.
 - شعاع الإزاحة \overrightarrow{AB} هو شعاعٌ يتَّجه من الموضع الابتدائي إلى الموضع النهائي للمُتحرك، وطوليته تساوي البُعد بين الموضعين.
 - السرعة الوسطى عددِياً: هي المسافة المقطوعة مقسومة على الزَّمن اللازم لقطعها وحدتها في الجملة الدوليَّة $m.s^{-1}$.
 - السرعة الآنيَّة: تغير صغير في المسافة خلال فاصل زمانيٍّ صغيرٍ جداً $v = \frac{dx}{dt}$ وحدتها في الجملة الدوليَّة $m.s^{-1}$.
 - التسارُع الوسطى $a_{avg} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ وحدتها في الجملة الدوليَّة $m.s^{-2}$.
 - التسارُع الآنيَّ $a = \frac{dv}{dt}$ وحدتها في الجملة الدوليَّة $m.s^{-2}$.
- | الحركة المستقيمة المُتغيّرة بانتظام | الحركة المستقيمة المُنتظمة |
|--|--|
| $x = \frac{1}{2}at^2 + v_0t + x_0$
$v = at + v_0$
$a = const$
$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$ | $x = vt + x_0$
$v = const$
$a = 0$ |

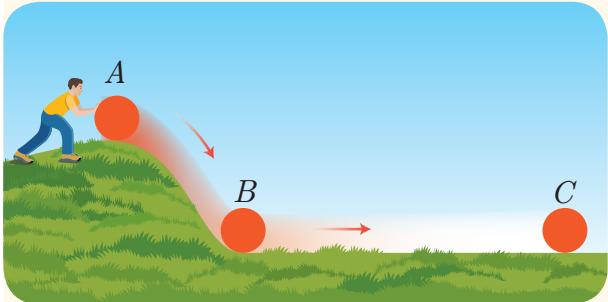


أختبر نفسِي

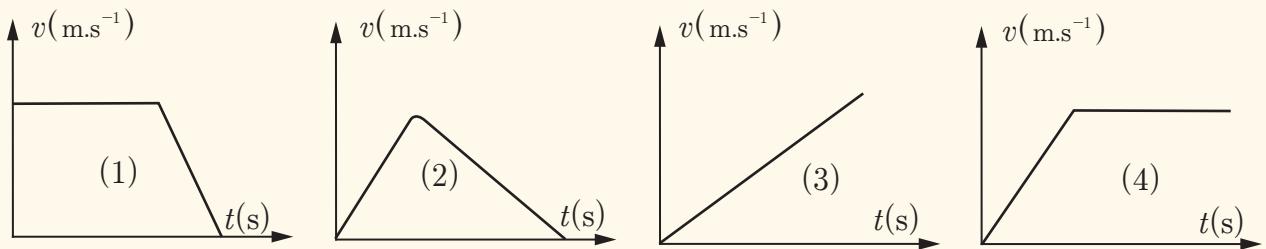


أولاً: أجب عن الأسئلة التالية:

- بالاعتماد على الخط البياني الموضح في الشكل المجاور، ما طبيعة حركة كل من الطائرة والقطار والسيارة؟



2. يترك شخص كرة إسفنجية لتهبط من النقطة A لتصل للنقطة B , وتابع حركتها لتوقف عند النقطة C كما في الشكل المجاور: أي رسم بياني من الرسم البياني الآتية يصف حركة الكرة:



3. هبطت طائرة مدنية على مدرج مطار، فاحتاجت لقطع مسافة 1 km من لحظة ملامستها أرض المدرج حتى التوقف عن الحركة، فإذا كانت سرعتها لحظة ملامسة المدرج 180 km/h فإن تسارعها:

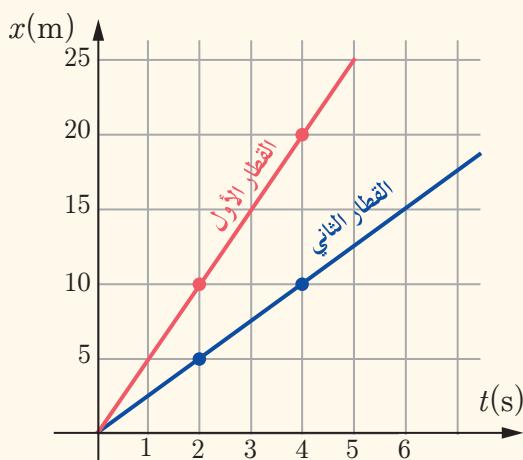
$$-2 \text{ m.s}^{-2} . \text{d}$$

$$+2.25 \text{ m.s}^{-2} . \text{c}$$

$$-1.25 \text{ m.s}^{-2} . \text{b}$$

$$2.5 \text{ m.s}^{-2} . \text{a}$$

ثانياً:



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

ثالثاً: قام أحد الباحثين بدراسة حركة مركبين على طريق مستقيم أفقية، وسجل نتائج المسافات المقطوعة في جدولين الأول لمركبة تسير بسرعة ثابتة، والثاني لمركبة تسير بسرعة متغيرة بانتظام انطلقت من السكون، ولكنه بعد فترة فقد بعض المعلومات التي قام بتسجيلها. فهل تستطيع مساعدته في استرداد ما فقده، وتحديد سرعة المركبة الأولى، وتسارع المركبة الثانية:

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

السرعة هي: $v = \dots \text{ m.s}^{-1}$

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

التسارع هو: $a = \dots \text{ m.s}^{-2}$

رابعاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

يتحرك جسم على طريق مستقيمةٍ أفقيةٍ، ويحدد التابع الزمني لفاصلته بالعلاقة $x = 2t^2 - 3t + 4$ ، المطلوب حساب:

1. سرعته الابتدائية؟

2. سرعته بعد 4 s من بدء حركته؟

3. المسافة المقطوعة عندما تصبح سرعته 15 m.s^{-1}

المسألة الثانية:

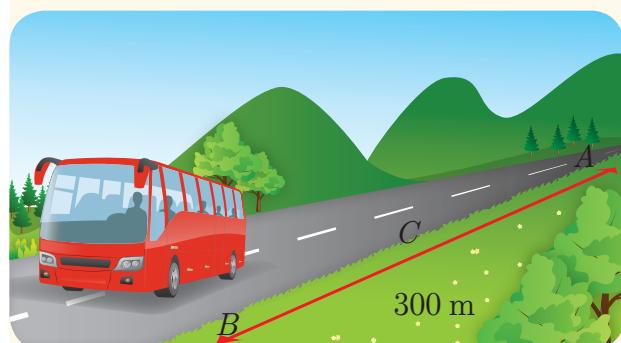
تحرّك سيارة وفق مسار مستقيم بسرعة ابتدائية $v_0 = 6 \text{ m.s}^{-1}$ ، وتسارع ثابت $a = 4 \text{ m.s}^{-2}$ المطلوب حساب:

1. سرعة السيارة في اللحظتين: $t_2 = 5 \text{ s}$ ، $t_1 = 3 \text{ s}$

2. المسافة المقطوعة في كلٍ من اللحظتين السابقتين.

3. المسافة التي تقطعها السيارة عندما تصبح سرعتها 30 m.s^{-1}

المسألة الثالثة:



تحرّك حافلة لنقل الركاب لتقطع المسافة المستقيمة $AB = 300 \text{ m}$ ، تبدأ حركتها من النقطة A دون سرعة ابتدائية وتسارع $+2 \text{ m.s}^{-2}$ ، وعندما تصل إلى النقطة C الواقعة بين A و B تصبح حركتها متباطئة بانتظامٍ تسارعها -1 m.s^{-2} ، وتعدُم سرعتها عند وصولها إلى B المطلوب:

1. حساب الزمان اللازم لقطع المسافة AB .

2. تحديد موضع النقطة C .

المسألة الرابعة:



ينطلق قطار من السكون ليتحرّك حركةً مستقيمةً أفقيةً بتسارع ثابت، فيقطع مسافة $AB = 120 \text{ m}$ خلال زماناً قدره 20 s ، والمطلوب حساب:

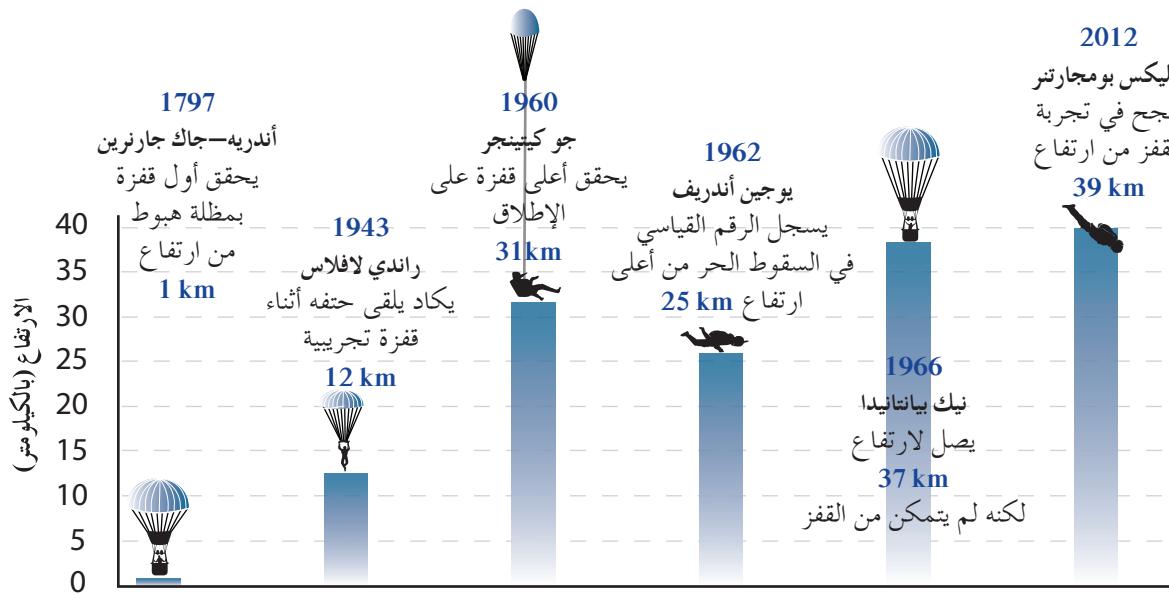
1. تسارعه.

2. سرعته في نهاية المسافة AB .

3. الزمان اللازم ليقطع مسافة 30 m من بدء حركته.

3-2 حركة السقوط الحر

قفزات بمظلات للهبوط كسقوط حر



تابعت العديد من وسائل الأنباء العالمية المحاولة التي قام بها المغامر فيليكس بومغارتنر عام 2012 م حين سقطَ من منطادِ ساكنٍ على ارتفاع 39 km عن سطح الأرض بنجاح، وهذه المحاولة سبقتها العديد من المحاولات من ارتفاعات مختلفة نجحَ بعضُها، والآخر لم يكتب لها النجاح.
ما السرعة الابتدائية التي كان يمتلكها المغامر؟
ما القوى الخارجية المؤثرة فيه؟ (مع إهمال مقاومة الهواء ودافعه أر خميدس على المغامر).

استنتاج

يحدث السقوط الحر إذا تركَ الجسم ليسقطَ بتأثير قوة ثقله فقط.

إضاءة

استطاع نيوثون أن يهمل تأثير مقاومة الهواء بإجراء تجربته في أنابيب، تم تفريغها من الهواء بواسطة مخلية هواء. ويمكن أن نخفّف من تأثير مقاومة الهواء حتى يمكن أن نهملها بأن نأخذ جسمًا ذا كثافة كبيرة، ونجعل شكله انسيابيًّا

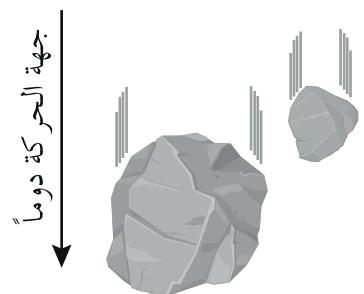
كان الاعتقاد السائد سابقاً أن الأجسام الخفيفة تسقطُ في الهواء بسرعة أقل من الأجسام الثقيلة، إلا أن غاليليو (1564 - 1642) أثبتَ أن الأجسام تسقطُ بالتسارع ذاته في منطقة بجوار سطح الأرض.

1-3-2 قوانين السقوط الحرّ:

اترك قطعةً نقودٍ وقطعةً ورقٍ تسقطان من الارتفاع ذاته وفي المكان ذاته في اللحظة ذاتها.

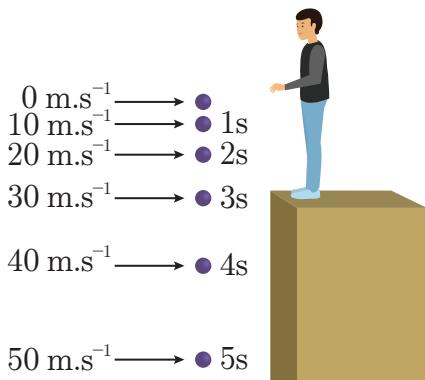
- أيٌّ منها ستصلُّ إلى الأرض أولاً؟
- حدد القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة كلٌّ منها؟
- **تسقطُ الأجسامُ في الخلاء، وفي المنطقة ذاتها بحركاتٍ مُتطابقة.**
- **حركة السقوط الحرّ مُستقيمةً منحاجها شاقولي.**

إنَّ حركة السقوط الحرّ هي حالةٌ خاصةٌ من الحركة المستقيمة المُتغيّرة بانتظامٍ والفارق بينهما هو: في حالة السقوط الحرّ يخضع الجسم لتسارع الجاذبية الأرضية والذي نعتبره ثابتاً في منطقةٍ معينةٍ كما أنَّ محور الحركة هو المستقيم الشاقولي والموجّه بجهة الحركة.



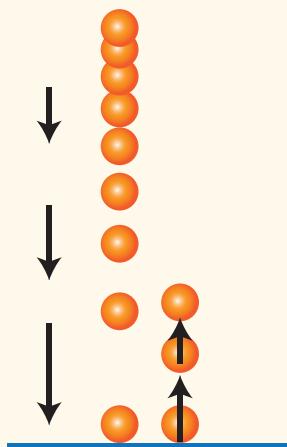
مُقارنة بين الحركة المستقيمة المُتغيّرة بانتظام وحركة السقوط الحرّ

حركة السقوط الحرّ	الحركة المستقيمة المُتغيّرة بانتظام	الوصف
مستقيم	مستقيم	المسار
$g = \text{const} = 9.8 \text{ m.s}^{-2}$	$a = \text{const} (\text{m.s}^{-2})$	التسارع
$v = gt$	$v = at + v_0$	تابع الزّمني للسرعة
$y = \frac{1}{2}gt^2$	$x = \frac{1}{2}a t^2 + v_0 t + x_0$	تابع الزّمني للفاصلة
$v^2 = 2gy$	$v^2 - v_0^2 = 2a(x - x_0)$	تابع المستقل عن الزّمن



ملاحظة: للسهولة يمكن أن نعتبر أنَّ تسارع الجاذبية الأرضية تقريباً $g \simeq 10 \text{ m.s}^{-2}$

أختبر نفسك



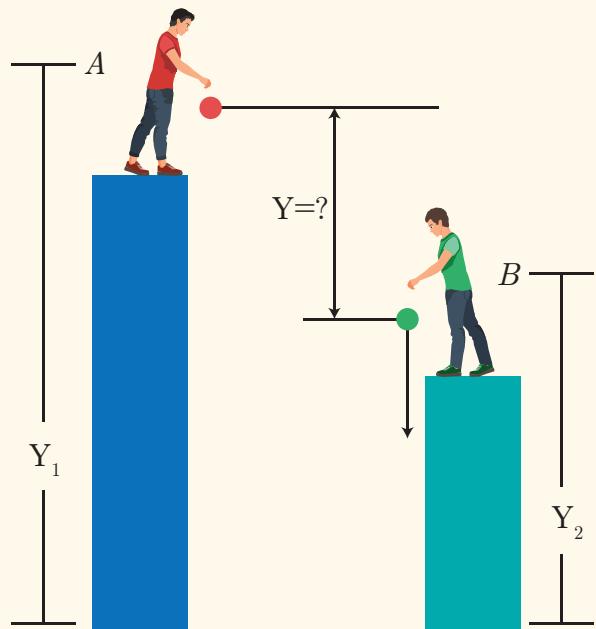
1. سقط كرّة مطاطيّة كتلتها $m = 100\text{ g}$ من ارتفاع y عن سطح الأرض في مكان تساُر الحاذبيّة الأرضيّة $\approx 10\text{ m.s}^{-2}$ سقوطاً حرّاً فستغرقُ لتصل إلى سطح الأرض زماناً قدره 3 s ، **المطلوب:**

a. احسب الارتفاع الذي سقط منه الكرّة.

b. إذا فرضنا أنَّ الكرّة فقدت 85% من طاقتها الكليّة نتيجة اصطدامها بالأرض. ما الارتفاع الذي سترتدُ الكرّة إليه عن سطح الأرض؟



برج بيزا المائل في إيطاليا



2. يسقط جسمٌ من ارتفاع y عن سطح الأرض، فيقطع في الثانية الأخيرة من حركته 75% من الارتفاع الكلي الذي سقط منه. **المطلوب حساب:**

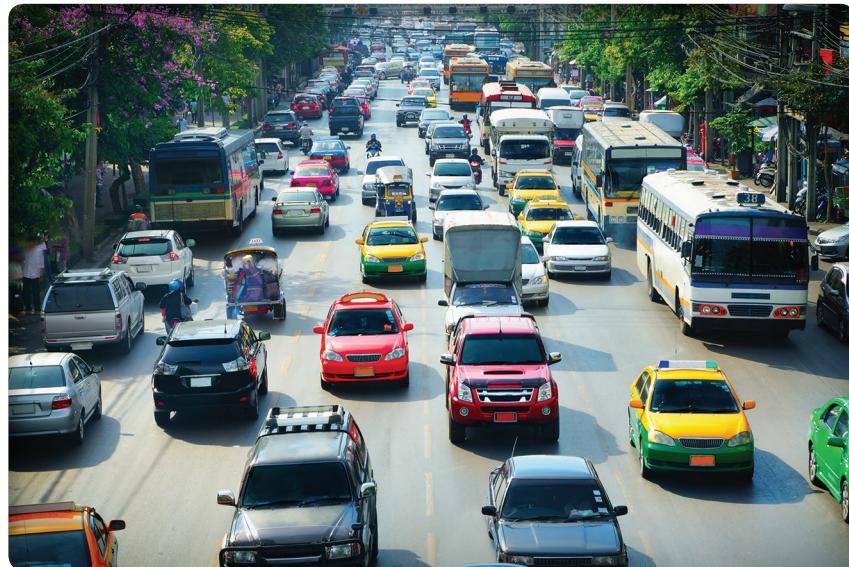
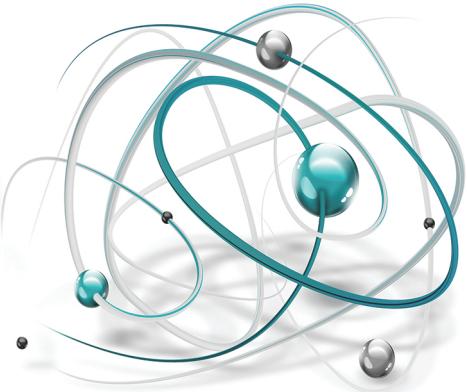
a. الارتفاع الذي سقط منه الجسم؟

b. سرعة الجسم لحظة ملامسته سطح الأرض؟

3. يُلقي شخص A كرّة بلاستيكية من ارتفاع y_1 عن سطح الأرض الأفقي، فاستغرقت 2 s لتصل إلى الأرض ويُلقي الشخص B كرّة بلاستيكية مماثلة من ارتفاع y_2 عن سطح الأرض، فاستغرقت 1.5 s لتصل إلى الأرض. **المطلوب:** احسب المسافة y بين الشخصين.

3-1

الحركة النسبية



في حياتنا اليومية نلاحظ أجساماً متحركة وأخرى ساكنة، فكيف يمكن لنا معرفة الحالة الحركية لكل منها بالنسبة للأخر؟

الأهداف:

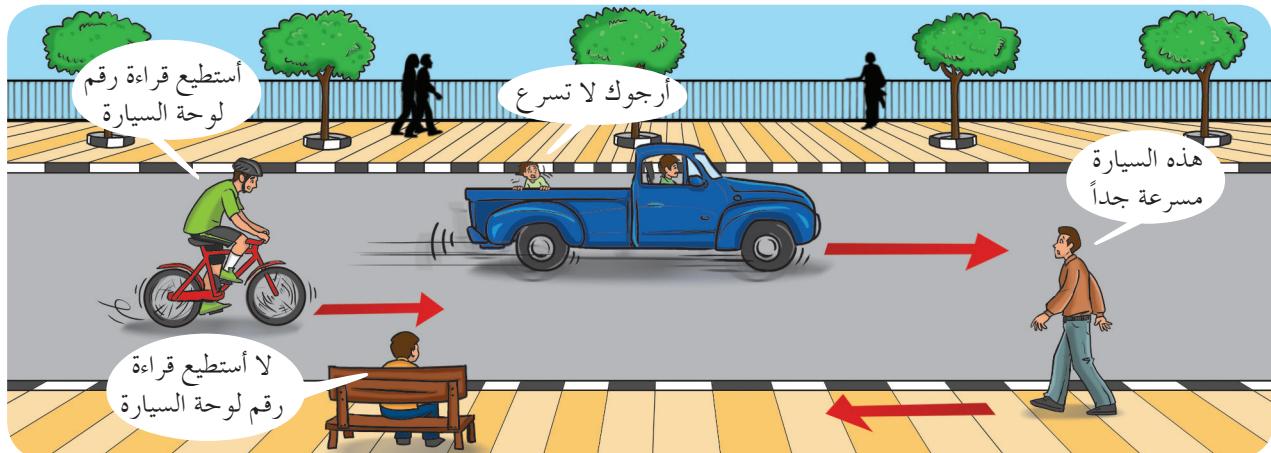
- * يتعرّف نسبيّة الحركة.
- * يميّز بين الجمل الساكنة والجمل المتحركة.
- * يربط بين حركة الأجسام وجمل المقارنة.
- * ينسب حركة جسمٍ لحركة جسمٍ آخر.

الكلمات المفتاحية:

* السرعة النسبية

Relative Velocity

الاحظ وأستنتج



1. لماذا يستطع راكب الدراجة قراءة لوحة السيارة؟
2. أيُّ الأشخاص برأيك يرى السيارة متحركة بسرعة أكبر بالنسبة له؟
3. أيُّ الأشخاص يرى السيارة ساكنة بالنسبة له؟
4. ما هي جمل المقارنة الممكن اعتبارها في الشكل السابق؟

لمعرفة فيما إذا كان الجسم ساكناً أم متحركاً، يجب تحديد جملة مقارنة وذلك من خلال تغيير موضعه بالنسبة لتلك الجملة. وعندما نقول إن سرعة سيارة هي 70 km.h^{-1} ، فهذا يعني أنها تتحرك بتلك السرعة بالنسبة للأرض. (الأرض جملة المقارنة الساكنة). وعند الطلب من شخص يسير بسرعة معينة أن يصف حركة سيارة تسير على الطريق نلاحظ أن وصفه يختلف عن وصف حركتها من قبل شخص يقف على الرصيف، والسبب أن وصف الحركة (السرعة) أو تغيير الموضع بتغيير الزمن يختلف بين المراقب الساكن والمراقب المتحرك، وهو ما ندعوه نسبية الحركة، والسرعة في هذا الوصف تدعى السرعة النسبية لجسم متحرك بالنسبة لجسم آخر (قد يكون ساكناً أو متحركاً).

2-3 السُّرعة النسبية

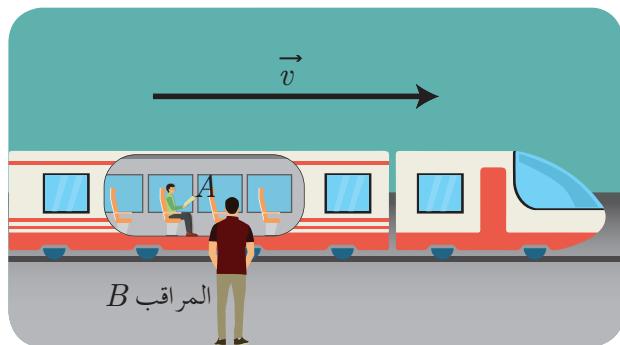
السرعة النسبية: هي السرعة التي يغير فيها الجسم موضعه بالنسبة لجملة مقارنة، ويعبر عنها بالعلاقة الشعاعية:

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

حيث: \vec{v}_{ac} سرعة a بالنسبة ل c
 \vec{v}_{ab} سرعة a بالنسبة ل b
 \vec{v}_{bc} سرعة b بالنسبة ل c

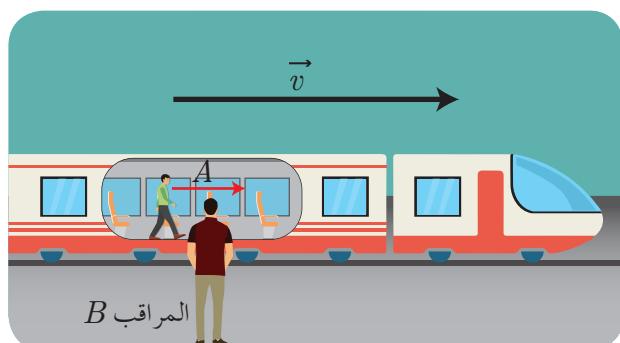
ويُلاحظ من هذه العلاقة الشعاعية أنّ نهاية الشّعاع الأوّل هي بداية للشّعاع الثاني، والشّعاع هو شعاع: بدائيته (a) هي بداية الشّعاع الأوّل، ونهايته (c) هي نهاية الشّعاع الثاني وهي (علاقة شال في جمع الأشعة المتلاحقة).

1-2-3 السُّرعة النَّسبيَّة بالنِّسبة لجملة مُقارنة سائِنة (B) الجملة (A)



لفرض أنَّ الشخص (A) يجلس على كرسيٍّ داخل قطار (T) يتحرَّك بسرعةٍ معيَّنة 2 m.s^{-1} في الاتجاه المُوجِّب لمَحْورِ موجَّه، وشخص (B) يقفُ على الرَّصيف يراقبُ حركة القطار، ويرصدُ سرعته ولنظرَ التساؤلات:

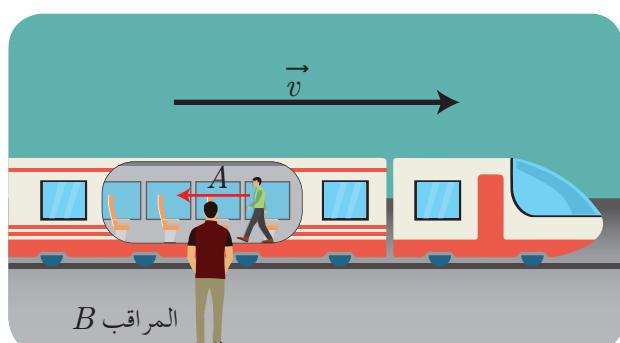
- ما سرعة (A) بالنسبة للقطار المُتحرَّك؟ $v_{AT} = ?$
- إنَّ السُّرعة التي يرصُدُها الشخص (B) للقطار هي $v_{TB} = 2 \text{ m.s}^{-1}$ ما جملة المُقارنة بالنسبة له؟



- لو فرضنا أنَّ (A) تحرَّك ضمنَ القطار وبجهة حركة القطار بسرعة 0.5 m.s^{-1} : ما سرعة (A) بالنسبة لـ (B)؟ سرعة (A) بالنسبة لـ (B) هي:

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

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



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

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

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

لَاحِظ أنَّا عَوَضَنا سرعة (A) سالبة لأنَّها تعاكس حركة القطار

أستنتجُ:

- إذا تحرّك جسم (A) بجهة حركة جسم آخر (T)، وكلاهما متحرّك بالنسبة لجملة مقارنة ساكنة (B) فإنَّ:

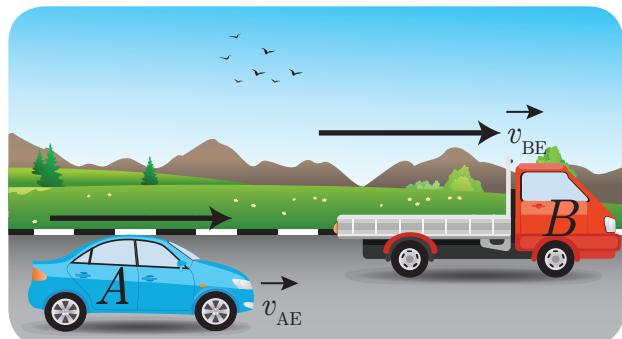
$$v_{AB} = v_{AT} + v_{TB}$$

- إذا تحرّك جسم (A) بعكس جهة حركة جسم آخر (T)، وكلاهما متحرّك بالنسبة لجملة مقارنة ساكنة (B) فإنَّ:

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

2-2-3 السُّرعة النُّسبيَّة بالنِّسْبَة لِجَمْلَة مُتَحَرِّكَة (B) مُتَحَرِّكَة

أولاً: الجسمان يتحرّكان في اتجاه واحد وبسرعتين مختلفتين فالسرعة النسبية بينهما تساوي الفرق بين سرعتهما



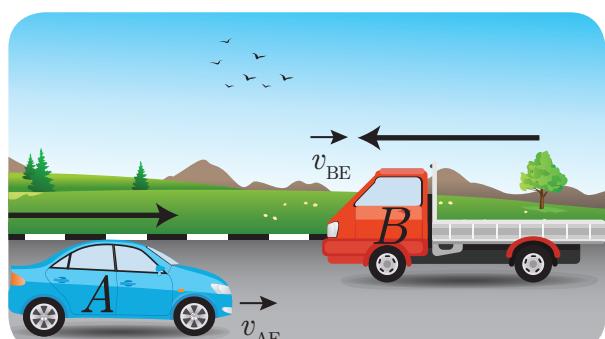
في الشكل المجاور:
السيارة (A) تتحرّك بسرعة v_{AE} والسيارة (B) تتحرّك بسرعة v_{BE} بجهة حركة السيارة (A) $v_{AE} > v_{BE}$ مع العلم أنَّ حسب قانون السُّرعة النُّسبيَّة فإنَّ سرعة السيارة (A) بالنسبة للسيارة (B) هي:

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

الرمز E اختصار لكلمة Earth (الأرض)

وتجدر الإشارة إلى أنَّ السيارة (B) هي جملة المقارنة، فالأرض تسير من تحتها بعكس جهة حركتها لذلك عوّضنا سرعة الأرض بالنسبة للسيارة (B) سالبة.

ثانياً: الجسمان يتحرّكان في اتجاهين مُتعاكَسين وبسرعتين مختلفتين فالسرعة النسبية بينهما تساوي مجموع سرعتهما.



في الشكل المجاور:
السيارة (A) تتحرّك بسرعة v_{AE} والسيارة (B) تتحرّك بسرعة v_{BE} بعكس جهة السيارة (A) v_{AB} حسب قانون السُّرعة النُّسبيَّة فإنَّ سرعة النسبية هي:

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

ملاحظة: إنَّ سرعة الأرض بالنسبة للسيارة (B) موجبة، والسبب أنَّ المُراقب في السيارة (B) يقول أنا ساكن والأرض تسير باتجاه المحور المفروض.

ثالثاً: الجسمان يتحرّكان في اتجاه واحدٍ وبنفس السُّرعة فالسُّرعة النسبية بينهما معدومة



في هذه الحالة يبدو أحد الجسمين ساكناً بالنسبة للأخر، كما هو الحال عند تزويد الطائرات بالوقود جوّاً، ففي هذه الحالة تطير الطائرتان بنفس السُّرعة وبنفس الاتجاه فتبدر إدراهما ساكنة بالنسبة للأخر.

تعلّمت

- السُّرعة النسبية: هي السُّرعة التي يغيّر فيها الجسم موضعه بالنسبة لجملة مقارنة، ويعبر 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 النسبية بالنسبة لجملة مقارنة ساكنة (الجملة (B) ساكنة)

1. إذا تحرّك جسم (A) بجهة حركة جسم آخر (T) ، وكلاهما متحرّك بالنسبة لجملة مقارنة ساكنة (B) فإنَّ:

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

2. إذا تحرّك جسم (A) بعكس جهة حركة جسم آخر (T) ، وكلاهما متحرّك بالنسبة لجملة مقارنة ساكنة (B) فإنَّ:

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

• السُّرعة النسبية بالنسبة لجملة مقارنة متحرّكة (الجملة (B) متحرّكة)

1. الجسمان يتحرّكان في اتجاه واحدٍ وبسرعتين مختلفتين، فالسُّرعة النسبية بينهما تُساوي الفرق بين سرعتيهما.

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

2. الجسمان يتحرّكان في اتجاهين مُتراكبين وبسرعتين مختلفتين، فالسُّرعة النسبية بينهما تُساوي مجموع سرعتيهما.

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

3. الجسمان يتحرّكان في اتجاه واحدٍ وبنفس السُّرعة، فالسُّرعة النسبية بينهما معدومة.



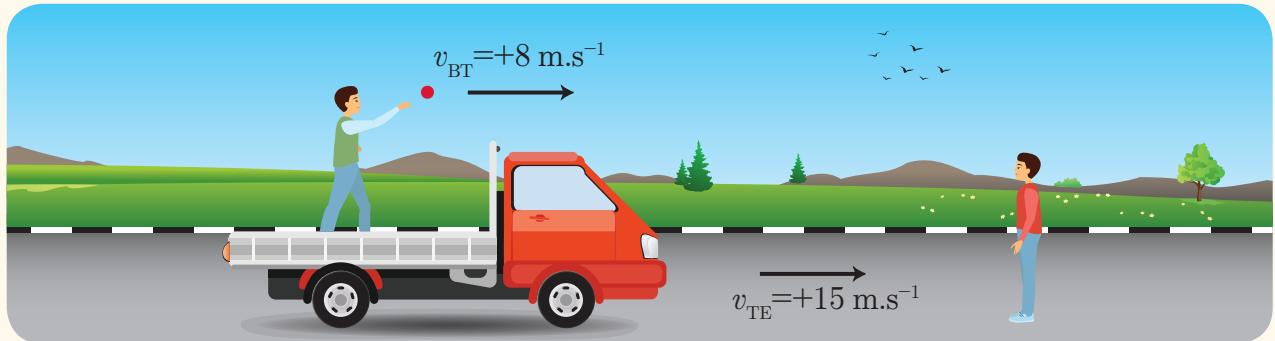
أختبر نفسك

احسب السرعة النسبية لـ كلّ من الحالات الآتية:

1. شخص يركب قطاراً، نرمي له بالرمز (p)، سرعته بالنسبة للقطار هي: $v_{PT} = +2 \text{ m.s}^{-1}$ ، والقطار يتحرك بسرعة v_{TE} بالنسبة للأرض، فكانت سرعة الشخص (p) بالنسبة للأرض هي $v_{PE} = +11 \text{ m.s}^{-1}$. فما سرعة القطار؟

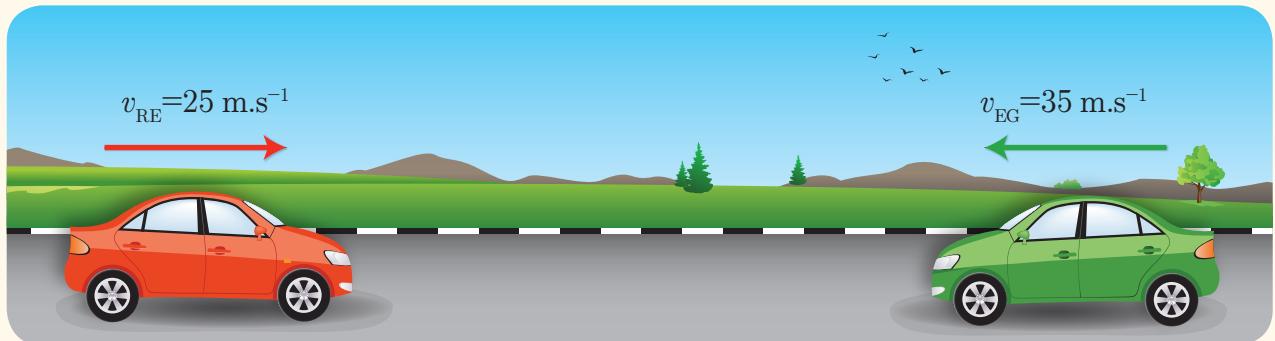


2. يُلقي شخص موجود في شاحنة كرّة لصديقه الذي يقف على الأرض بسرعة $v_{BT} = +8 \text{ m.s}^{-1}$ والشاحنة تسير بسرعة قدرها $v_{TG} = +15 \text{ m.s}^{-1}$. احسب سرعة الكرّة عندما يلتقطها صديقه؟



3. ما سرعة السيارة الحمراء بالنسبة للسيارة الخضراء؟

حيث: R سيارة حمراء
 G سيارة خضراء
 E الأرض.





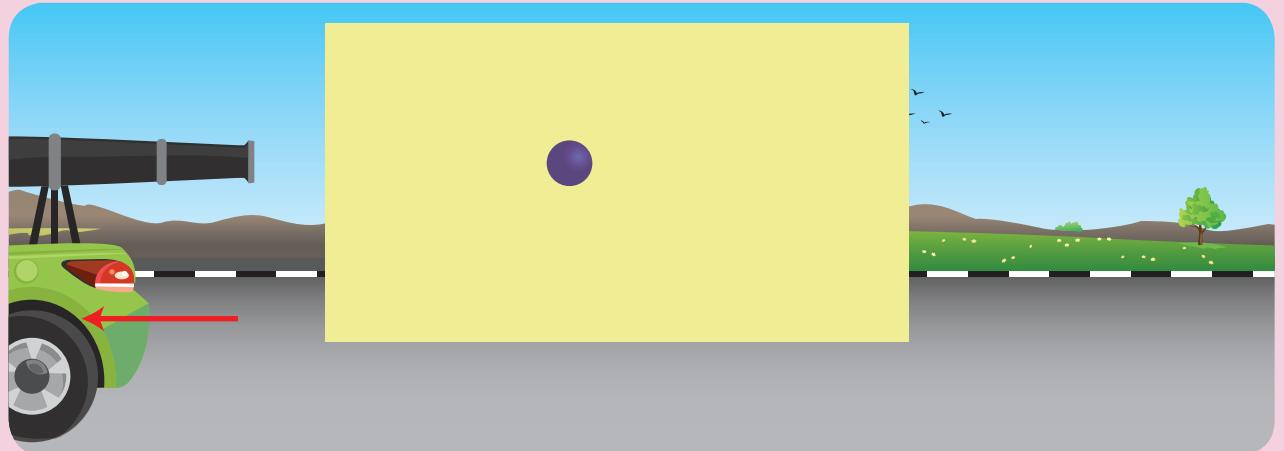
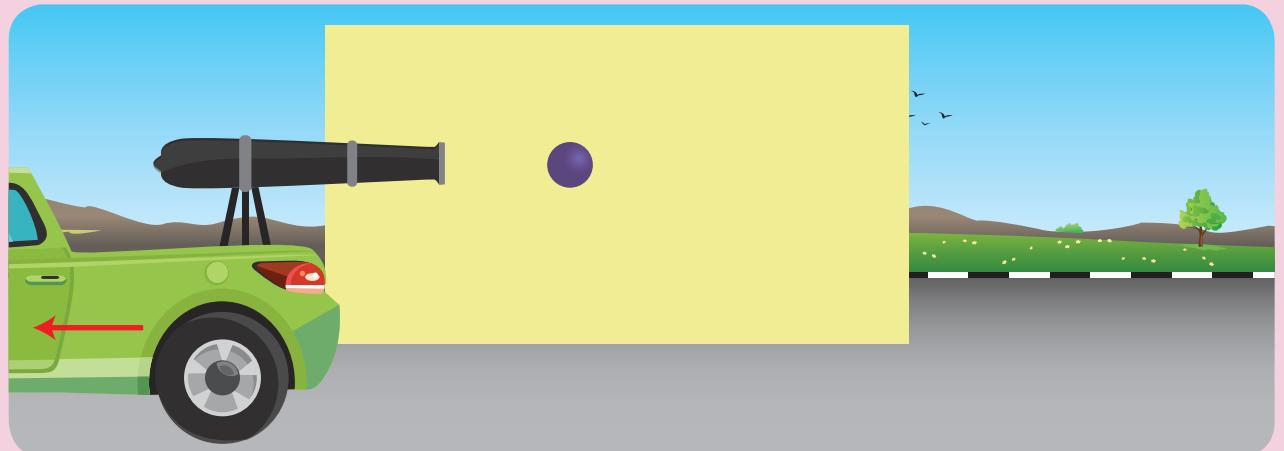
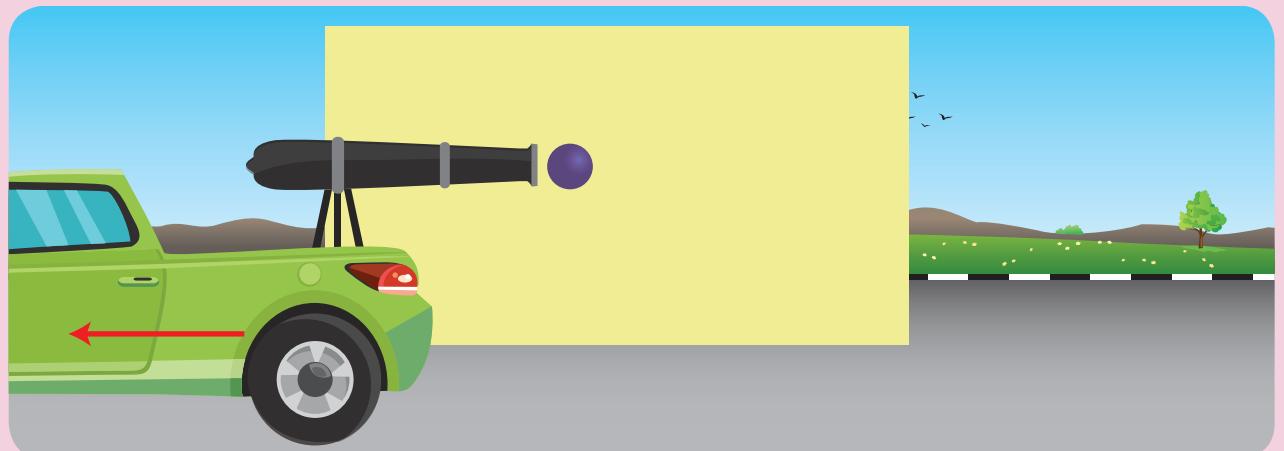
1. يحاول بعض الأشخاص النزول من الحافلة العامة قبل توقفها حيث لا تزالُ الحافلة تتحرّك ببطء ولكن ذلك الفعل ينطوي على مخاطر في أثناء النزول.



a. ما هي النصائح التي تقدّمها الحركة النسبية في الفيزياء لتفادي ذلك الخطر في أثناء النزول من الحافلة؟

b. وما هي الحالة غير الصحيحة والحالة الصحيحة والحالة الأكثر صحةً للنزول من الحافلة بسلام؟

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

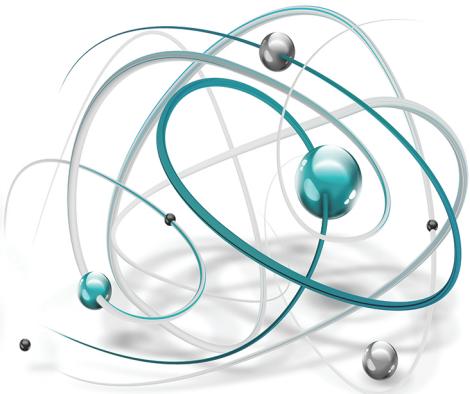


a. ما تفسير بقاء الكرة أمام الكاميرا المستخدمة بالتصوير والمثبتة على الأرض؟

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

٤-١

قوانين نيوتن وتطبيقاتها

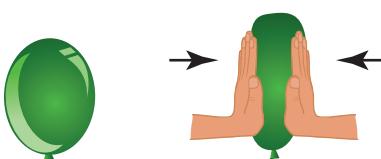


نُتَعَرِّضُ لِكَثِيرٍ مِنْ قُوَّةِ الدُّفَعِ وَالشُّدَّ فِي حَيَاةِنَا الْيَوْمَيَّةِ. وَنَدِرُكُ أَنَّ الْأَرْضَ تَجْذِبُ الْأَجْسَامَ الْوَاقِعَةَ فِي مَحِيطِهَا بِقُوَّةٍ، وَلِرَفْعِ جَسَمٍ عَنْ سَطْحِ الْأَرْضِ إِلَى مَسْتَوِيِّ مُعَيْنٍ، نَحْتَاجُ إِلَى تَطْبِيقِ قُوَّةٍ لِلتَّغلُّبِ عَلَى قُوَّةِ الْجَاذِبَةِ الْأَرْضِيَّةِ وَفِقَ اِتَّجَاهٍ مُحَدَّدٍ. أَيْ أَنَّا إِذَا أَرْدَنَا تَحْرِيكَ جَسَمٍ يَجِبُ أَنْ نَطْبِقَ عَلَيْهِ قُوَّةً...

وَقُوانِينِ نِيُوتُنَ هِيَ صِيغٌ رِياضِيَّةٌ فِي غَايَةِ البِساطَةِ، تَساعِدُ فِي دراسَةِ مُسَبِّبَاتِ الْحَرْكَةِ، وَتَطْبِقُ عَلَى جَمِيعِ الْحَالَاتِ الْخَاصَّةِ بِالْأَجْسَامِ الْمُتَحْرِكَةِ (مَاعِدًا حَالَةَ الْحَرْكَاتِ بِسُرُّعَاتٍ كَبِيرَةٍ جَدًّا).

الاحظُ وأستنتِجُ:

- خذُ بالوناً منفوخاً وحاول أن تغيِّر شكلَه. كيفَ يمكُّنك ذلك؟



- إذا تحرَّكَتُ العَربَاتُانِ فِي الصُورَتَيْنِ أَدْنَاهُ بِالسُّرْعَةِ ذاتِهَا، وَعَلَى الْمَسَارِ ذاتِهِ، فَأَيُّهُمَا يَسْهُلُ إِيقَافُهَا؟



- أَيُّهُمَا يَسْهُلُ تَحْرِيُّكَهُ أَكْثَر، عَرْبَةٌ فَارِغَةٌ أَمْ مَلِيَّةٌ؟ وَلِمَاذَا؟



- هل هناكَ عَلَاقَةٌ بَيْنَ القُوَّةِ وَالْحَرْكَةِ؟

الأهداف:

- * يقوم بإجراء تجارب حول القوة والحركة.
- * يتعرّفُ بقوانين نيوتن.
- * يستنتجُ العلاقةَ بينَ القوةِ والتسارُعِ.
- * يربطُ قوانِينِ نِيُوتُنَ بِمُواقِفَ حَيَاتِيَّةٍ.

الكلمات المفتاحية:

- * القُوَّة Force
- * التسارُع Acceleration
- * الْحَرْكَة Motion
- * الْكَتْلَة Mass
- * العَطَّالَة Inertia
- * قوى الاحتكاك Frictional Force

من خلال ما سبق نلاحظ الآتي:

- القوة كلُّ ما يسبِّب تغيير في شكل الجسم أو في حالته الحركية.
- من السهل تغيير حركة بعض الأجسام، بينما يصعب ذلك على بعضها الآخر، ويعود ذلك إلى اختلاف الكتلة، وتزداد صعوبة هذا التغيير كلما كانت كتلة الجسم أكبر.
- كتلة الجسم مقدارٌ عدديٌّ موجِّبٌ ثابتٌ يعبر عن مادَّة، نرمزُ له بالرَّمز m ، ويقدر بالجملة الدوليَّة بوحدة الكيلوغرام kg، ويعبر عن عطالة الجسم الصَّلب.
- عطالة الجسم تعبر عن مُمانعة الجسم لتغيير شاعر سرعته.

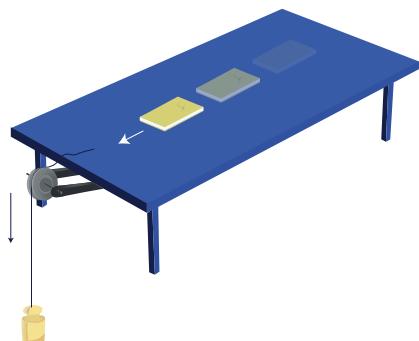
1-4 قوانين نيوتن

1-1-4 القانون الأول: قانون العطالة (القصور الذاتيَّا)

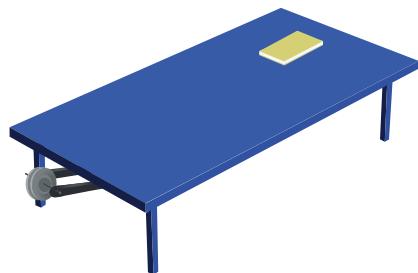
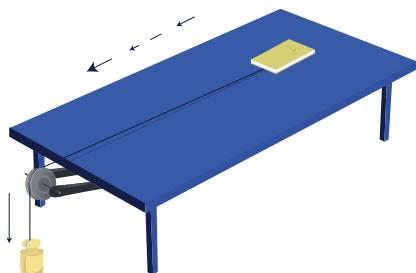
أجري وستتجُّ:

أدوات التجربة: كتاب مدرسي، خيط متين عديم الامتياط، بكرة، مقص، ثقل مناسب.

أضع كتاباً أملس على سطح منضدة أفقية ملساء.



الشكل (2)



الشكل (1)

- ما القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة الكتاب، وهو ساكن على سطح المنضدة (الشكل 1)? هل تُغيِّر هذه القوى من حالته الحركية؟
- أربط الكتاب بطرف خيط يمرُّ على محرَّز بكرة مثبتة بحافة المنضدة، وأعلق بطرفه الآخر ثقلاً مناسباً يجعلُ الكتاب يتحرَّك أفقياً (الشكل 2). ما القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة الكتاب؟
- أقطع الخيط في أثناء حركة الكتاب (الشكل 3)، ما القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة الكتاب عندئذ؟ هل يستمرُ الكتاب في حركته على سطح المنضدة؟

صاغَ نيوتن قانونه الأول في الحركة الذي يختص بالمواقيف التي تكون فيها محصلة القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة جسمٍ ما معروفة، عُرف باسم قانون العطالة أو قانون القصور الذاتي:

إذا انعدمت محصلة القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة جسمٍ صلب، فإنَّ مركزَ عطالة الجسم يبقى ساكناً إذا كان بالأصل ساكناً، وإذا كان متحرراً كاً تصبح حركته مستقيمةً منتظمة، وسرعة مركز عطالته هي سرعته لحظةً انعدام محصلة القوى.

إضاءة

مركز عطالة الجسم: هو مركز كتلة الجسم، وينطبق على مركز ثقل الجسم.

فكرة:

في الشكل المجاور قام رياضي بشد زلاجة طفلته على سطح أرضٍ جليديٍّ أفقيةً ملساءً مسافةً معينةً ثم تركها. ما طبيعة حركتها بعد أن تركها برأيك؟ ولماذا؟



تطبيق (1)

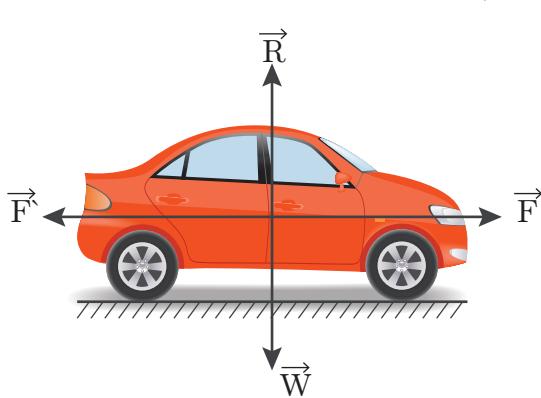
تحرك سيارة كتلتها m على طريق مستقيمةً أفقيةً خاضعة لقوى جر، محركها شدّته $F = 100 \text{ N}$ ، كما تخضع لقوى احتكاكٍ نعدها ثابتةً شدّتها $F' = 100 \text{ N}$ والمطلوب:

1. ارسم مخططاً للقوى التي تخضع لها السيارة في أثناء حركتها السابقة.

2. ما طبيعة حركة مركز عطالة السيارة؟

3. ما هو القانون الذي اعتمد عليه في إجابتك؟

الحل:

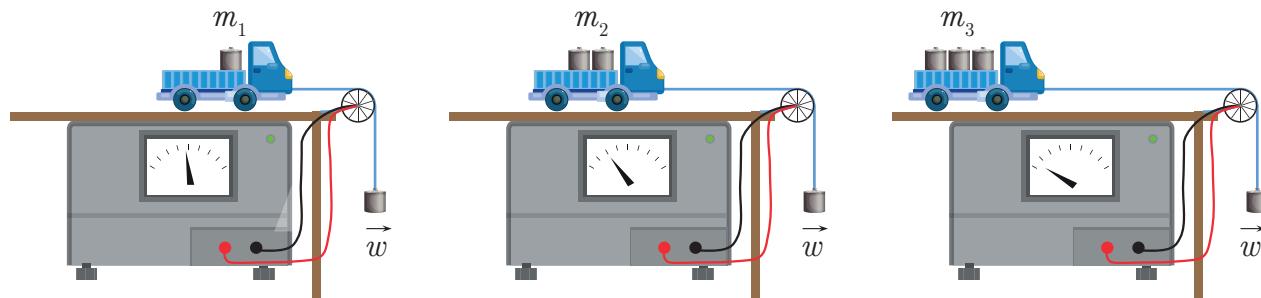


تحرك السيارة حركةً مستقيمةً منتظمةً، لأنَّ مركز عطالتها يخضع لمُحصلة قوى معروفة (قوة ثقل السيارة وقوة رد فعل الطريق قوتان متعاكستان مُباشرة، كذلك قوة جر محرك السيارة وقوّة الاحتكاك قوتان متعاكستان مُباشرة). وذلك اعتماداً على قانون نيوتن الأول.

2-1-4 القانون الثاني لنيوتن

أجرِّب وأستنتج:

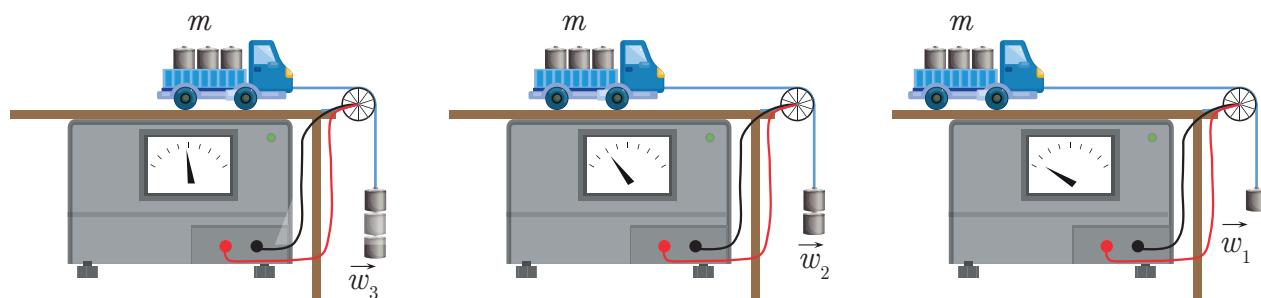
أثبِّت على حافة الطاولة بكرةً، زُوِّدَ محَوْرُ دورانها بمولدٍ (كهربائيٌّ) مُتَصلٌ بمقاييس التَّسَارُعِ، ثُمَّ أضْعُفَ السَّيَّارَةَ على الطاولة المُلْسَأَ، وأرْبِطُ بها خيطاً يمْرُّ على محَزٍ البَكْرَةِ وقد رَبَطَ بِنهايَتِهِ الأُخْرَى ثِقلٌ يُسَبِّبُ الْحَرْكَةَ كَمَا هو موضَّح في الشَّكْلِ الآتِيِّ:



- أثبِّتُ الثَّقْلَ الَّذِي يَشَدُّ السَّيَّارَةَ، وَأغْيَرُ مِنْ كَتْلَةِ السَّيَّارَةِ بِإِضَافَةِ كَتْلٍ إِلَيْهَا، ثُمَّ أَقْرَأْ دَلَالَةَ مَقِيَاسِ التَّسَارُعِ، وَأَسْجَلُ النَّتَائِجَ فِي الجَدُولِ:

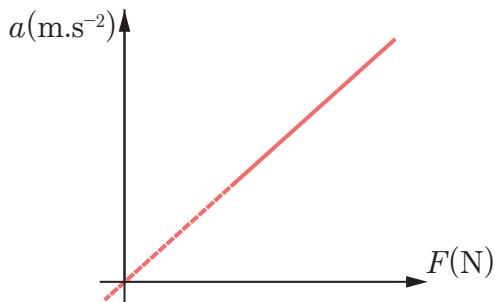
$m \text{ (kg)}$			
$a \text{ (m.s}^{-2}\text{)}$			

- أثبِّتُ كَتْلَةَ السَّيَّارَةِ، وَأغْيَرُ مِنْ قُوَّةِ الشَّدِّ (قُوَّةِ الثَّقْلِ)، ثُمَّ أَقْرَأْ دَلَالَةَ مَقِيَاسِ التَّسَارُعِ، وَأَسْجَلُ النَّتَائِجَ فِي الجَدُولِ:



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

لو مثّلنا النتائج التي حصلنا عليها بيانياً، لحصلنا على الخطّ البياني الآتي:



النتائج:

- تنقص قيمة التسارع بازدياد كتلة الجسم المُتحرك مع ثبات القوة المُسببة للحركة.
 - ترداد قيمة التسارع بازدياد شدة القوة المُسببة للحركة عند ثبات كتلة الجسم المُتحرك.
- النتائج التي حصلنا عليها قد توصل إليها نيوتن وصاغها في قانونه الثاني الذي ينص على أنه:

إذا خضع مركز عطالة جسم صلب لمُحصلة قوى خارجية ثابتة منحى وجهة وشدة، اكتسب تسارعاً ثابتاً يتاسب طرداً مع شدة مُحصلة القوى الخارجية المؤثرة، وله المنحى ذاته والجهة ذاتها.
نعتبر رياضياً عن هذا القانون:

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

حيث: تقدّر شدة القوة بوحدة N، الكتلة بوحدة kg، التسارع بوحدة $m.s^{-2}$

- يُبيّن هذا القانون علاقة مُحصلة القوى الخارجية بالتسارع الذي يكتسبه مركز عطالة الجسم المتأثر بها.
- يفسّر اختلاف شدة التسارع المُكتسب باختلاف كتلة الجسم المُتحرك.
- يوضح تأثير القوى في حركة الأجسام.

البيوتن: شدة قوة إذا أثّرت في جسم كتلته (1 kg) اكتسب تسارعاً قدره ($1 m.s^{-2}$).

إثراء:

ربط الرياضيات بالفيزياء

مساقط الأشعّة:

مسقط شعاع \vec{A} على المحور المُبيّن هو

$$u = A \cos \theta$$

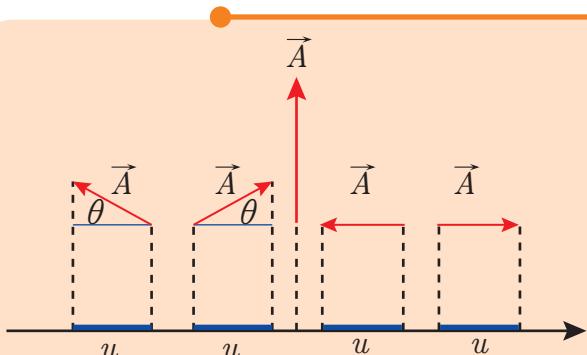
استنتج

إذا كان الشعاع يوازي محور الإسقاط وبجهته

$$u = A \cos 0 = A$$

إذا كان الشعاع يوازي محور الإسقاط وبعكس جهته

$$u = A \cos \pi = -A$$



تطبيق (2)

تجرُّ قاطرة مقطوراتٍ، كتلتها 50000 kg على خطٍّ حديديٍّ أفقىٍ بتسارع ثابت 1.2 m.s^{-2} . ما تسارعُ مركز عطالة الجملة عندما تكون كتلة المقطورات 20000 kg مع بقاء قوَّة الجرِّ ثابتة؟ ماذا تستنتج؟

الحل:

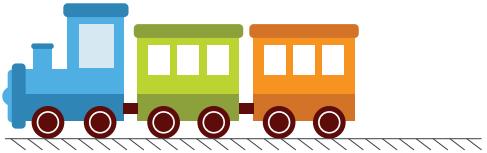
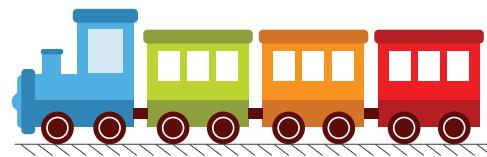
$$F = ma$$

$$F' = m'a'$$

$$F = F'$$

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

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



أُستنتجُ أنَّ التسارع يزدادُ بتناقصِ كتلةِ الجسم عند ثباتِ القوَّة.

تطبيق (3)

تحرَّك سيارة كتلتها $m = 500 \text{ kg}$ ، بتسارع ثابت a ، بتأثيرِ مُحصلةٍ خارجيةٍ تبلغُ شدَّتها $N = 1000 \text{ N}$ ما قيمةُ هذا التسارع؟ وما قيمته إذا أصبحَت شدَّةُ مُحصلةِ القوى المؤثرة $N = 2000 \text{ N}$ ؟ ماذا أُستنتج؟

الحل:

$$F = ma$$

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

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

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

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

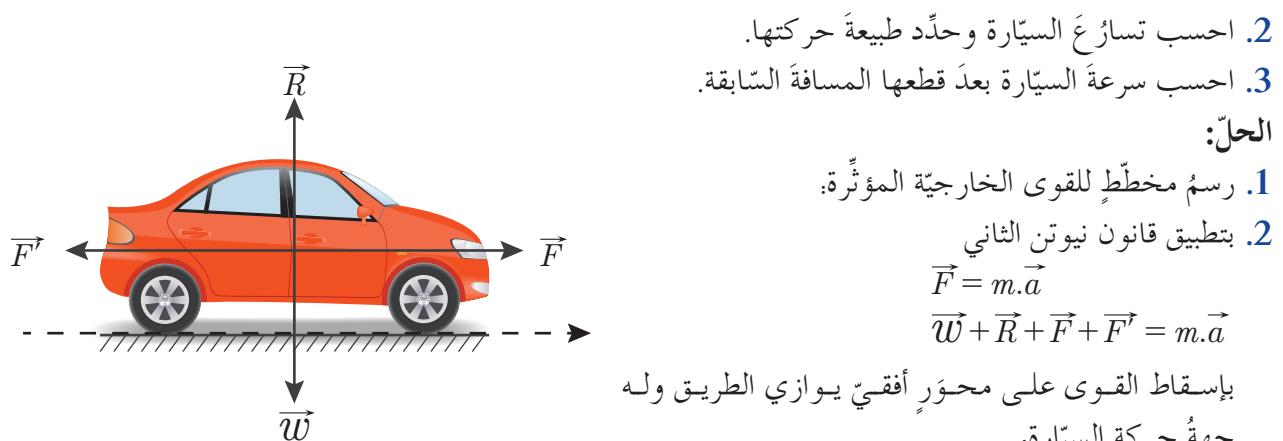


أُستنتجُ أنَّ قيمةَ التسارع تزدادُ بازدياد شدةِ مُحصلةِ القوى المؤثرة عند ثباتِ كتلةِ الجسم.

تطبيق (4)

تنطلقُ سيارة، كتلتها $m = 500 \text{ kg}$ من السُّكون على طريقٍ مستقيمٍ أفقىٍ، فتخضعُ لقوى احتكاكٍ نعدها ثابتة، شدَّتها $N = 80 \text{ N}$ ، بالإضافة إلى قوَّة جرِّ المُحرِّك التي تحافظُ على شدَّة $F = 180 \text{ N}$ ، فزدادُ سرعةُ السيارة بمعدلٍ ثابتٍ فتقطع مسافةً 1 km .

1. ارسم مخطَّطَ القوى الخارجيه المؤثرة في مركز عطالة السيارة.



2. احسب تسارُعَ السيارة وحدّد طبيعة حركتها.
3. احسب سرعة السيارة بعد قطعها المسافة السابقة.
الحل:

1. رسم مخطط للقوى الخارجية المؤثرة:

2. بتطبيق قانون نيوتن الثاني

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

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

بالإسقاط على محورٍ أفقيٍ يوازي الطريق وله جهة حركة السيارة:

$$0 + 0 + F - F' = m \cdot a$$

$$180 - 80 = 500 a$$

$$a = \frac{100}{500} = 0.2 \text{ m.s}^{-2}$$

بما أنَّ السيارة تخضع لمحصلة قوى ثابتة (قوة جر المُحرِّك وقوة الاحتكاك، وهما قوتان ثابتان) تكتسب السيارة تسارُعاً ثابتاً، فالحركةُ مستقيمة مُغيّرة بانتظام.

3. باستخدام العلاقة المستقلة عن الزَّمن

$$v^2 - v_0^2 = 2 a \cdot \Delta x$$

$$v^2 - 0 = 2(0.2)(1000)$$

$$v = \sqrt{400} = 20 \text{ m.s}^{-1}$$

تطبيق (5)

قام أحد طلاب الصف الأول الثانوي بجر صندوقٍ أملس، كتلته 25 kg على سطحٍ أفقيٍ أملس (من دون احتكاك)، وذلك بتطبيق قوة جر أفقية شدتها 50 N، المطلوب:

1. ارسم مخطط القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة الصندوق.
2. احسب التسارع الذي يكتسبه الصندوق.
3. احسب المسافة التي يقطعها مركز عطالة الصندوق بعد 10 s من بدء حركته إذا علمت أنه بدأ حركته من السكون.

الحل:

1. رسم مخطط القوى الخارجية المؤثرة:

2. بتطبيق قانون نيوتن الثاني (العلاقة الأساسية في التّحريك)

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

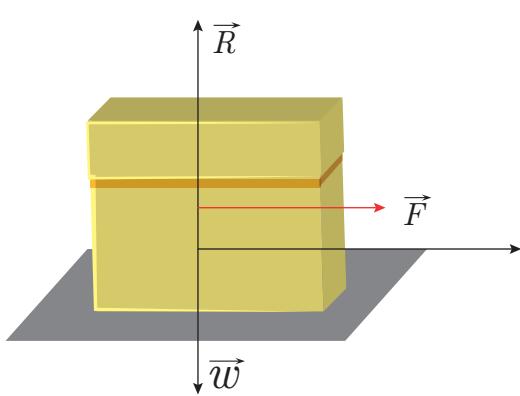
$$\vec{w} + \vec{R} + \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

بالإسقاط على محور بجهة قوة الجر \vec{F}

$$0 + 0 + F = m \cdot a$$

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

$$a = \frac{50}{25} = 2 \text{ m.s}^{-2}$$



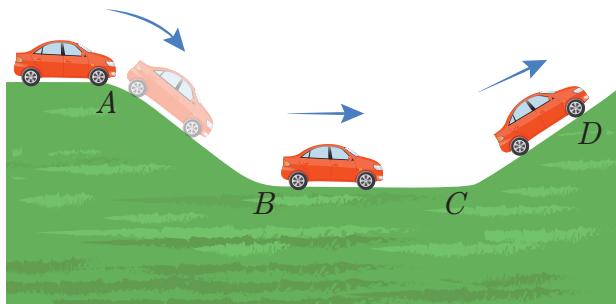
3. المسار مستقيم والتسارع ثابت فالحركة مستقيمة متسارعة بانتظام

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

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

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

تمرين (1)

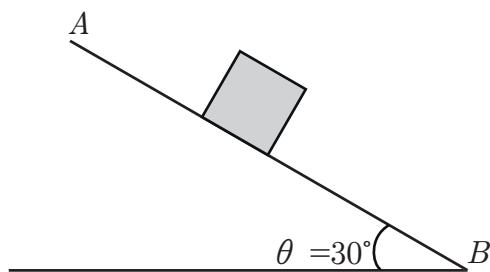
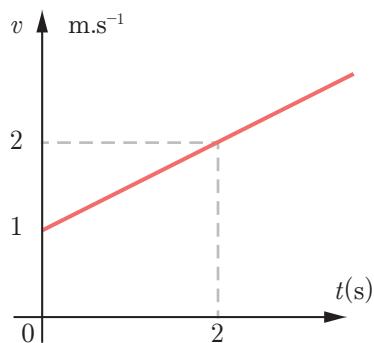


تحرّك عربة من السّكون من دون قوّة جرّ على طريقٍ أملسٍ فتقطعُ المسار بدءاً من A ثمَّ توقفَ في D .

1. ارسم مخطط القوى الخارجية التي يخضع لها مركز عطالة العربة في كلّ مرحلة.
2. ما طبيعة حركة العربة في كلّ مرحلة.

تمرين (2)

نُعطي لجسم كتلته $g = 100 \text{ m}$ سرعةً ابتدائيةً v_0 مُوازيةً للمستوي AB الذي يميل عن الأفق بزاوية $\theta = 30^\circ$ فيخضع لقوّة احتكاكٍ نعدُّها ثابتة، إذا بدأ حركته من A إلى B .



1. استنتاج من الخطّ البياني السرعة الابتدائية للجسم وتسارعه.

2. ما طبيعة حركة الجسم في أثناء حركته من A إلى B ؟

3. احسب شدّة قوّة احتكاكٍ التي يخضع لها الجسم في أثناء حركته.

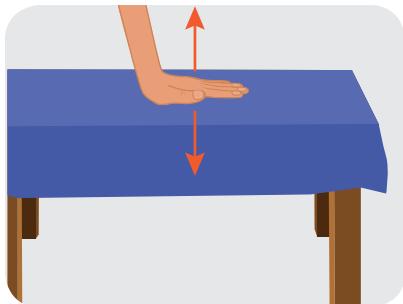
تمرين (3)



سيارة تسحبُ سيارةً آخرى مُعلّقةً، كتلتها 2000 kg على طريقٍ مستقيمةً أفقيةً، فإذا أردنا أن تتسارعَ السيارة بانتظامٍ من السّكون إلى سرعة 2.5 m.s^{-1} (نهملُ قوى الاحتكاك) خلال 50 s ، ما مقدار القوّة التي يجب أن يؤثّر بها جبلُ السحب على تلكَ السيارة.

3-1-4 القانون الثالث لنيوتن. مبدأ الفعل ورد الفعل

الاحظ وأستنتج:



- لماذا بقيت الإشارة في مكانها على الرغم من قوة شد كل من المتسابقين للحبل؟
- ما هو سبب شعورك بالألم عندما تؤثر على الطاولة الأفقية بقوة كبيرة شاقولية نحو الأسفل؟
- لماذا يتحرّك القاربُ بعكس جهة حركة الشخص الذي يغادرُه؟

إذا أثّرَ جسم A بقوّة \vec{F} في جسم آخر B ، فإنَّ الجسم B يؤثّرُ في الجسم A بقوّة \vec{F} تساوي \vec{F} بالقيمة وتعاكسها بالاتجاه. تسمى إحدى هاتين القوتين قوّة الفعل بينما تسمى الأخرى قوّة رد الفعل.

ينصُّ قانونُ نيوتن الثالث على أنَّ:

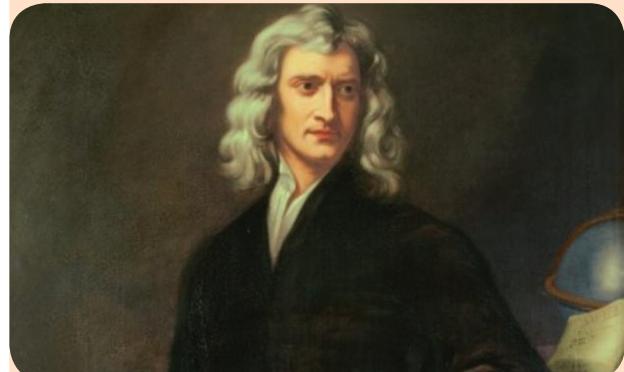
لكلِّ فعلٍ ردُّ فعلٍ يساويه بالمقدار ويعاكسه بالجهة.

تصرين (4)

احسب شدةَ القوّة التي تؤثّرُ بها أرضيّةُ مصعدٍ ساكنٍ على رجلٍ كتلته 75 kg يقفُ داخلَ المصعد. (اعتبار $g = 10\text{ m.s}^{-2}$)

إثراء: 

نبذةٌ عن العالم إسحاق نيوتن



عالم إنجليزيّ يعُدّ من أبرز العلماء مُساهمةً في الفيزياء والرياضيات عبر العصور. صاغَ نيوتن قوانينَ الحركة وقانونَ الجذب العام. كما أثبتَ أنَّ حركةَ الأجسام على الأرض والأجسام السماوية يمكنَ وصفها وفقَ مبادئَ الحركة والجاذبية ذاتها. يرجعُ له الفضلُ بوضعِ القوانين الرياضيّة التي أثبتَت قوانينَ كبلر المُتعلقة بحركة الكواكب حولَ الشمس. أزالَ نيوتن آخرَ الشكوكَ حولَ صلاحيةِ نظريةِ مركزيةِ الشمس كنموذجٍ للكون.

تعلّمْتُ

- القوّة: كلّ ما يسبّب تغيير في شكل الجسم أو في حالته الحركيّة.
- عطالة الجسم: تعبر عن ممانعة الجسم لـ تغيير حالته الحركيّة.
- قوانين نيوتن:

1. القانون الأول: إذا انعدمت محصلة القوى الخارجيّة المؤثرة في مركز عطالة جسم صلب، فإنّ مركز عطالة الجسم يبقى ساكناً إذا كان بالأصل ساكناً، وإذا كان متّحراً كاً تصبح حركة مستقيمةً منتظمةً، وسرعة مركز عطالته هي سرعته لحظة انعدام محصلة القوى.

2. القانون الثاني: إذا خضع مركز عطالة جسم صلب لممحصلة قوى خارجيّة ثابتة منحى وجهةً وشدةً، اكتسب تسارعاً ثابتاً يتناسب طرداً مع شدة محصلة القوى الخارجيّة المؤثرة، وله المنحى ذاته والجهة ذاتها.

ترتبط محصلة القوى الخارجيّة المؤثرة \vec{F} في مركز عطالة جسم، كتلته m ، وتسراعه \vec{a} ، بالعلاقة:

$$\sum \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

3. القانون الثالث: لكلّ فعل رد فعل يساويه بالقيمة ويعاكسه بالجهة.

أختبر نفسك



أولاً: اختار الإجابة الصحيحة لكلّ مما يأتي:

1. سيارة كتلتها m عندما تكون متوقفة فإنّ:

a. محصلة القوى المؤثرة في مركز عطالتها معروفة.

b. تؤثر فيها قوّة وحيدة.

c. تسراعها ثابت غير معروفة.

d. محصلة القوى المؤثرة في مركز عطالتها ثابتة غير معروفة.

2. سيارة كتلتها m عندما تسير على طريق مستقيم بسرعة ثابتة، فإنّ:

a. محصلة القوى المؤثرة في مركز عطالتها معروفة.

b. تؤثر فيها قوّة وحيدة.

c. تسراعها ثابت غير معروفة.

d. محصلة القوى المؤثرة في مركز عطالتها ثابتة غير معروفة.

3. سيارة كتلتها m عندما تتسارع حركتها بانتظام فإنّ:

a. سرعتها ثابتة.

b. تسارعها معدوم.

c. مُحصلة القوى المؤثرة في مركز عطالتها ثابتة غير معروفة.

d. مُحصلة القوى المؤثرة في مركز عطالتها معروفة.

4. عندما ندفع بالقوة ذاتها كتلتين $m_1 = 5m_2$ فإنّ:

a₁ = a₂ .a

a₁ = 2a₂ .b

a₁ = 5a₂ .c

a₂ = 5a₁ .d

5. إذا زادت سرعة سيارة كتلتها 800 Kg من 10 m.s^{-1} إلى 30 m.s^{-1} خلال 5 s، فإنّ مُحصلة القوى المؤثرة

على السيارة تساوي:

1600 N .a

4800 N .b

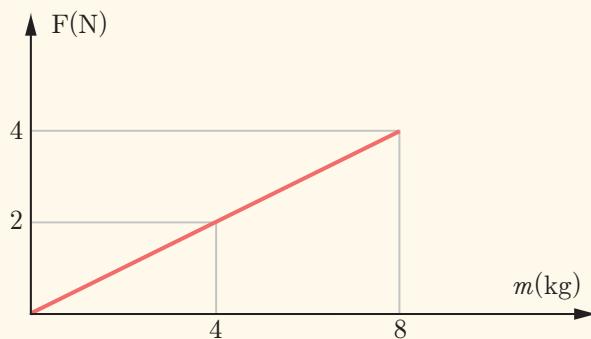
3200 N .c

200 N .d

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1. يقفُ رجلٌ كتلته 50 kg على أرضٍ مستويةٍ أفقيةٍ، ما قيمةُ القوة التي يؤثّر بها سطح الأرض على الرجل، وما اتجاهُها؟ (باعتبار $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$).

2. الخط البياني المقابل يمثل العلاقة بين الكتلة والقوة المؤثرة في مركز العطالة، ما هو تسارع مركز العطالة؟



3. احسب شدّة ثقلِ رائد فضاء على سطح القمر، ثم على سطح القمر، إذا كانت كتلته على سطح الأرض 90 kg، حيث تسارع الجاذبية على سطح القمر 1.67 m.s^{-2} ، وتسارع الجاذبية على سطح الأرض 9.8 m.s^{-2} .

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

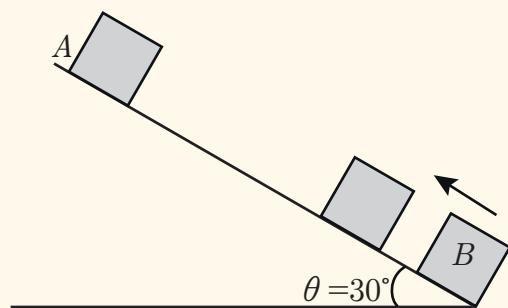
تجرب عربة كتلتها 24 kg بدءاً من السكون على طريق مستقيمٍ أفقٍ، فلزم لذلك تطبيق قوةً أفقيةً شدّتها 75 N فبلغت سرعتها 5 m.s^{-1} بعد قطعها مسافة 10 m . **المطلوب حساب:**

a. شدة قوة الاحتكاك بين الأرض والعربة.

b. الزمن اللازم لقطع تلك المسافة.

المسألة الثانية:

نُقذف جسمًا كتلته 1 kg من B أسفل مستوى يميل عن الأفق بزاوية $\theta = 30^\circ$ ، بسرعةٍ ابتدائيةٍ توازي المستوى، فيتوقف الجسم في النقطة A ، ويكون التابع للمني لسرعة الجسم $v = -6t + 3$ ، علماً أنَّ الجسم يخضع في أثناء حركته إلى قوة احتكاك ثابتة الشدة.



a. استنتج تسارعَ الجسم وسرعته الابتدائية.

b. احسب المسافة التي قطعها الجسم حتى توقف.

c. احسب شدة قوة الاحتكاك.

المسألة الثالثة:

تنطلق سيارة كتلتها 1350 kg من السكون على طريق مستقيمٍ أفقٍ بتسارع ثابت، فتبلغ سرعتها 20 m.s^{-1} خلال زمن 4 s . (بإهمال قوى الاحتكاك ومقاومة الهواء)، **المطلوب حساب:**

a. تسارع حركة مركز عطالة السيارة.

b. شدة قوة جرّ محرك السيارة في أثناء الحركة السابقة.

المسألة الرابعة:

يبناما كان سائق يقود سيارته على طريقٍ مستقيمٍ أفقٍ بسرعة 20 m.s^{-1} ، تفاجأ بإشارة المرور الحمراء، فاستخدم المكابح لتبيح حركة سيارته مباطئهً بانتظام فتوقفت خلال زمن 4 s ، **المطلوب حساب:**

a. تسارع السيارة خلال مرحلة التباطؤ.

b. بعد السيارة عن إشارة المرور لحظة استخدام المكابح.

المسألة الخامسة:

1. تسير سيارة على طريقٍ مستقيمٍ أفقٍ بسرعةٍ ثابتة 20 m.s^{-1} ، بتأثير قوة جرّ محركها الثابتة والتي تبلغ قيمتها 7500 N . احسب شدة مُحصلة القوى المُؤثرة في مركز عطالة السيارة.

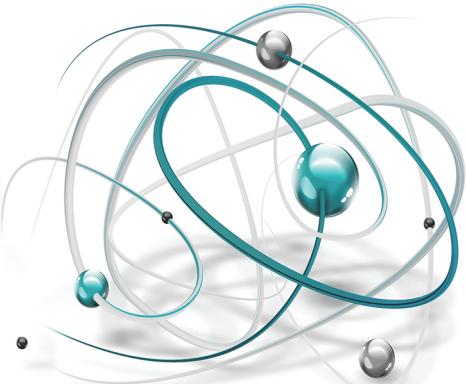
2. تصل السيارة بعددٍ بسرعتها السابقة 20 m.s^{-1} إلى طريقٍ صاعدٍ تميل على الأفق بزاوية 30° ، احسب المسافة التي يقطعها مركز عطالة السيارة حتى تقف مع بقاء قوى الاحتكاك ثابتةً.

المسألة السادسة:

تحرك سيارة، شدة ثقلها 3000 N ، على طريقٍ مستقيمٍ أفقٍ بسرعةٍ ثابتةٍ، قيمتها 50 m.s^{-1} ، وفي لحظة ما ضغط السائق على المكابح فتباطأت السيارة بانتظام حتى توقفت، إذا علمت أنَّ السيارة تعرضت لقوى احتكاكٍ شدّتها 50% من شدة ثقل السيارة، ما المسافة التي تقطعها السيارة حتى توقف تماماً.

5-1

العمل والاستطاعة



الأهداف:

- * يتعرّف العمل الفيزيائي.
- * يستنتج علاقة عمل قوّة.
- * يميّز بين العمل المحرّك والعمل المقاوم.
- * يتعرّف الاستطاعة.
- * يربط بين تغيير الطاقة الحركية والعمل (نظريّة الطاقة الحركية).
- * يربط بين تغيير الطاقة الكامنة والعمل (نظريّة الطاقة الكامنة).

الكلمات المفتاحية:

- * القوّة
Force
- * المسافة
Distance
- * العمل
Work
- * الاستطاعة (القدرة)
Power
- * الزمن
Time
- * الطاقة الكامنة
Potential energy
- * الطاقة الحركية
Kinetic energy
- * الطاقة الميكانيكية
Mechanical energy
- * الانتقال
Displacement

الاحظ وأستنتج:

- عندما يدفع الطفل السيارة بقوة ولا يستطيع تحريكها، هل لهذه القوة التي يبذلها عمل؟



- يدفع الطفل سيارته ليحركها من مكانٍ لأخر، فهل القوة التي يطبقها تقوم بعمل؟



- هل أنجز الرجل أو المرأة عملاً عندما نقل الصندوق من مكانه؟ ما وضع حامل القوة بالنسبة لانتقال في الحالتين؟



أستنتاج

إذا أثرت قوة في نقطةٍ من جسمٍ صلبٍ ونقلته على حاملها أو حامل إحدى مركبيها، فإنَّ القوة أنجزت عملاً فيزيائياً.

1-1-5 عمل قوة ثابتة الشدة:

إذا انتقلت نقطة تأثير قوة ثابتة الشدة F ، مسافة d ، انتقالاً مستقيماً يصنع حاملها زاوية θ ، فإن عمل هذه القوة \overline{W} يعطى بالعلاقة:

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

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

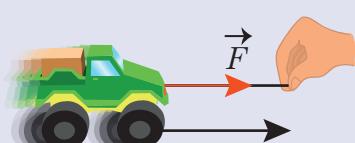
وحدة قياس العمل في الجملة الدولية الجول J.
ويعرف الجول بأنه:

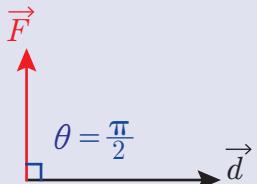
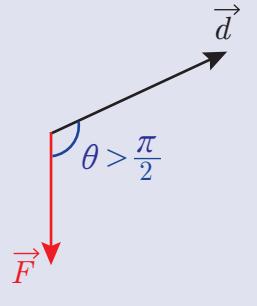
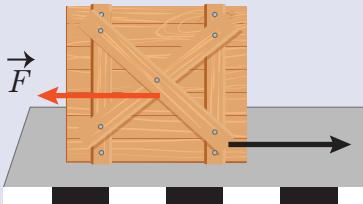
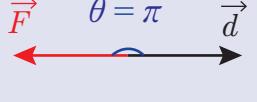
عمل قوة، مقدارها نيوتن واحد، تنتقل نقطة تأثيرها على حاملها وبجهتها مسافة متر واحد.

$$1(J) = 1(N) \times 1(m)$$

من هذا التعريف أستنتج أنه:

- ليتتج لدينا عمل يجب تطبيق قوة يحدث على أثراها انتقالاً لمركز عطالة الجسم.
- العمل مقدار جبّي موجب أو سالب لأنّه ينبع من الجداء السلمي لشعاع القوة في شعاع الانتقال.
- إن وجود $\cos \theta$ في علاقة العمل يساعد في تحديد حالات العمل الممكّنة (موجب، سالب، معدوم) حيث θ هي الزاوية بين شعاع القوة وشعاع الانتقال، ويمكن أن نميّز الحالات الآتية بحسب هذه الزاوية:

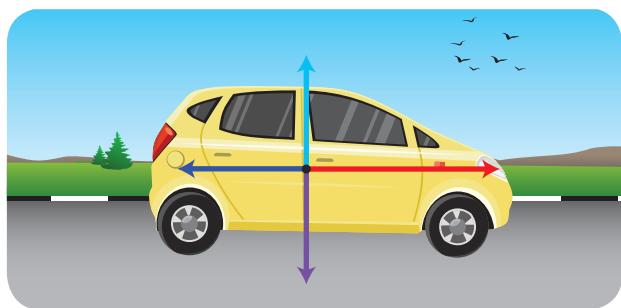
مثال	مُخطّط القوة والانتقال	نوع العمل	علاقة العمل	الزاوية بين القوة والانتقال
قوة الشد قوة تساعد على الحركة		العمل موجب محرك	$W = Fd \cos 0$ $\cos 0 = +1$ $W = +Fd$	شعاع القوة وشعاع الانتقال على حامل واحد وبجهة واحدة
قوة التّقل في أثناء الهبوط تساعد على الحركة		العمل موجب محرك	$W = Fd \cos \theta$ $\cos \theta > 0$ $W > 0$	شعاع القوة يصنع زاوية حادة مع شعاع الانتقال

<p>فَوَّ الشُّد الشاقوليَّة مع انتقالٍ أَفْقِيًّا لا تسْبِب عَمَلاً</p> 		<p>العمل معدوم</p> $W = Fd \cos \frac{\pi}{2}$ $\cos \frac{\pi}{2} = 0$ $W = 0$	<p>شعاع الفَوَّ عمودي على شعاع الانتقال</p>
<p>فَوَّ الثَّقْل في إثْنَاء الصُّعُود يُعيِّنُ الحركة</p> 		<p>العمل سالب مُقاوم</p> $W = F d \cos \theta$ $\cos \theta < 0$ $W < 0$	<p>شعاع الفَوَّ يصنُع زاوية مُنفرجة مع شعاع الانتقال</p>
<p>فَوَّ الاحتكاك فَوَّ مُعيِّنة للحركة</p> 		<p>العمل سالب مُقاوم</p> $W = F d \cos \pi$ $\cos \pi = -1$ $W = -F d$	<p>شعاع الفَوَّ وشعاع الانتقال على حامل واحد وبجهتين مُتعاكستين</p>

تطبيق 1

تحرَّك سيارة بتأثير قَوَّة جرِّ مُحرَّك ثابتة الشدَّة على طَرِيق مُسْتَقِيمَة أَفْقِيَّة علَمَاً أَنَّهَا تخضعُ لقوى احتكاكٍ وَمُقاومةً هواءً، مُحَصَّلُها ثابتة الشدَّة: حَدَّد على الشَّكَل المُجَاوِر مُخْطَطَ القوى الْخَارِجِيَّة المُؤَثِّرة، ثُمَّ اكْتُب العلاقة المُعبَّرَة عن عمل كلَّ قَوَّة.

الحل:



عمل قَوَّة الثَّقل: قَوَّة الثَّقل عمودية على الانتقال الأفقي

$$W_w = mg d \cos \frac{\pi}{2} = 0$$

عمل قَوَّة جرِّ المُحرَّك: قَوَّة جرِّ المُحرَّك قَوَّة لَهَا حامل الانتقال وجهته.

$$W_F = Fd \cos \theta = +Fd$$

عمل قوة الاحتكاك: قوة الاحتكاك قوة لها حامل الانتقال وتعاكسه بالجهة.
عمل قوة رد الفعل: قوة رد الفعل قوة عمودية على الانتقال.

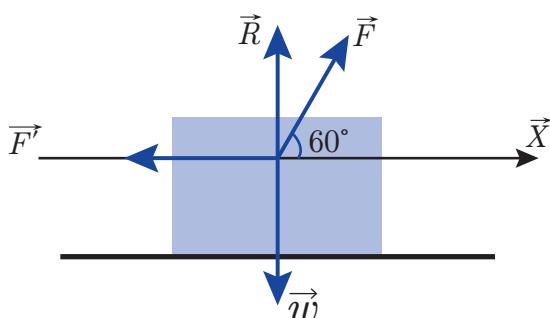
تطبيق 2

يشد شخص جسمًا، كتلته $m = 30 \text{ kg}$ ، على أرض أفقية وفق مسار مستقيم ثابتة بتطبيق قوة شدتها F ، يصنع حاملها مع الانتقال زاوية $\theta = 60^\circ$ ، ويُخضع الجسم لقوة احتكاك ثابتة الشدة $F' = 20 \text{ N}$ تعكس الحركة والمطلوب:

1. ارسم مخططاً للقوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالة الجسم.
2. احسب F شدة القوة المطبقة.
3. احسب العمل الذي تبذله كل قوة من القوى المؤثرة في مركز عطالة الجسم عندما ينتقل مسافة 5 m .

الحل:

1. بما أن سرعة الجسم ثابتة فهو يخضع لمُحصلة قوى معدومة، وذلك بحسب قانون العطالة



$$\begin{aligned}\vec{F} &= \vec{0} \\ \vec{F} + \vec{R} + \vec{w} &= \vec{0}\end{aligned}$$

بالإسقاط على محور أفقي كما في الشكل:

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

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

2. حساب عمل كل من القوى المؤثرة:

عمل قوة الشد موجب (محرك): لأن الزاوية بين شعاعي القوة والانتقال حادة.

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

عمل قوة الاحتكاك سالب (مُقاوم): لأن الزاوية بين شعاعي القوة والانتقال مستقيمة.

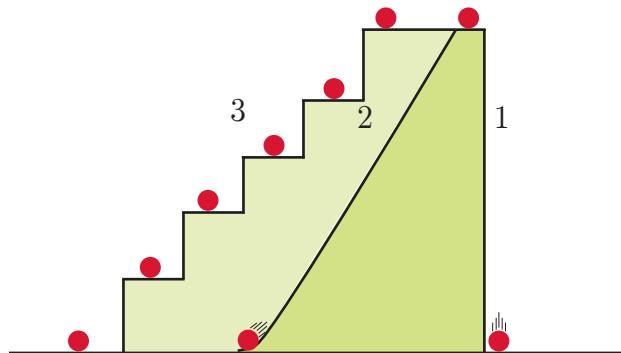
$$W_{F'} = -F' d = 20 \times 5 = -100 \text{ J}$$

عمل قوّي رد الفعل والثقل معادوم: لأن الزاوية بين شعاعي القوة والانتقال قائمة.

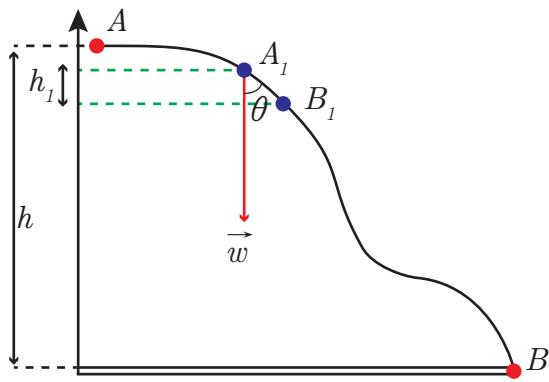
$$W_R = 0 \quad W_W = 0$$

٢-١-٥ عمل قوة التقل في أثناء انتقال ما:

نشاط:



اترك كرة تسقط بتأثير قوة ثقلها من الأعلى إلى الأسفل عبر مسارات مختلفة 1، 2، 3 والتي لها ارتفاع واحد h عن سطح الأرض. ما هو عمل قوة ثقل الكورة في كل حالة عندئذ؟



إذا انتقلَ جسمٌ من النقطة A إلى النقطة B عبر طريق مُنحني (كما في الشّكل المُجاور) فما هو عمل قوّة الثّقل عندئذ؟

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

$$W_1 = wA_1B_1 \cos\theta$$

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

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

$$W_1 = wh_1$$

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

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

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

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

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

$$W_{\vec{w}} = wh$$

أي أنَّ عمل قوّة الثّقل لا يتعلّق بالطريق المسلوب، وإنّما بالوضعين البدائي والنهاي.

2-5 الاستطاعة



إذا قامَ عدّة أشخاص بالعمل ذاته فربما ستجدُ أنَّ كلَّ واحدٍ منهم يجرِّه في وقتٍ مختلفٍ عن الآخر. عند استخدامِك مضختي ماء لمملء خزانين لهما الحجم ذاته إلى سطح البناء نفسه، نجدُ أنَّ إحدى المضختين تملأ الخزان قبل الأخرى.

- أيُّ المضختين الأفضل برأيك، ولماذا؟
لِمُقارنةِ القدرات بينَ الأشخاص أو الآلات، علينا حسابُ العمل الذي يجرِّه أحدهم خلال وحدة الزمن. ونسميُّ هذا المفهوم فيزيائياً بالاستطاعة الميكانيكية.

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

يُقدّر العمل بالجول J
ويُقدّر الزمن بالثانية s

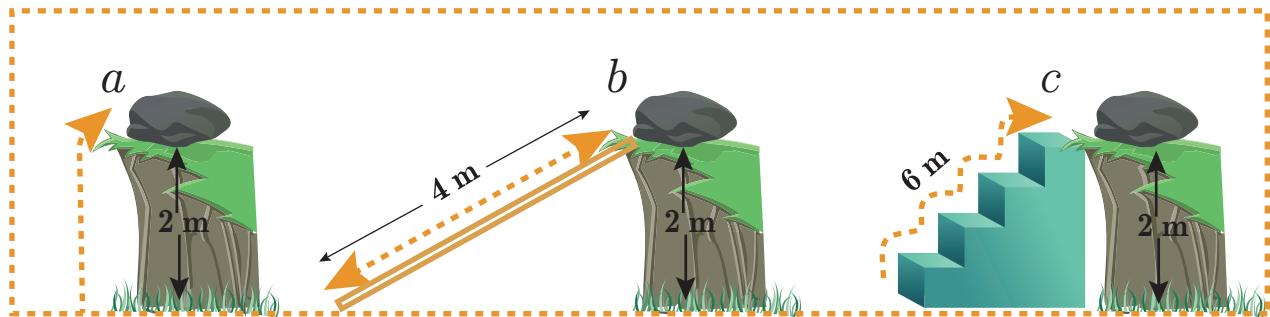
عندئذٍ تقدّرُ الاستطاعة بـ Watt ، ويُرمز لها بـ W



الاستطاعة: هي العمل المنجز خلال وحدة الزَّمن.
الواط: هو استطاعةُ عامل أو آلٍ تُنجز عملاً، قدره جولٌ واحدٌ خلال ثانية واحدة.
هناك وحدة أخرى للاستطاعة: الحصان البخاري (hp) حيث $1 \text{ hp} = 735 \text{ W}$

فَكَرْ وَأَجِبْ:

نرفع حجراً، كتلته m من سطح الأرض إلى أعلى المستوى عبر المسارات a, b, c بالسرعة ذاتها، بحيث تكون حركة الصخور ثابتةً على مسارها، أي الحالات الثلاثة ينجز العمل بأقل استطاعة؟ ولماذا؟



تطبيق(3)

مُحرِّك يرفع جسمًا، كتلته $g = 200 \text{ kg}$ ، بسرعة ثابتة $v = 3 \text{ cm.s}^{-1}$ ، احسب استطاعته مقدرة بالواط، ثم بالحصان البخاري.

الحل:

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

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

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

$$P = F \cdot v$$

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

$$P = 60 \text{ W}$$

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

تمرين:

تجري قطرة عدّة عربات بقوة شدّتها $N = 48 \times 10^3$ على مسار مستقيم، طوله 100 km، خلال 1 h, 20 min. احسب عمل هذه القوة واستطاعتها خلال المسار السابق.

3-5 نظرية الطاقة الدّرّيّة ونظرية الطاقة الكامنة:



يعتبر مفهوم الطاقة وأشكالها من المفاهيم الفيزيائية التي لها تطبيقات كثيرة في مجالات الحياة عامة، وللطاقة أشكال عديدة تتحول من شكل إلى آخر حسب الظروف المتوفرة والأداة المستخدمة لاستهلاكها أو توليدتها.

العمل شكل من أشكال الطاقة، ويمتلك الجسم طاقة إذا كان قادرًا على القيام بعمل، ومن أشكال الطاقة: الطاقة الحركية والطاقة الكامنة.

الطاقة الحركية: هي الطاقة التي يمتلكها الجسم المتحرك، وتعلق بكتلة الجسم وسرعته، وتعطى بالعلاقة:

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2$$

الطاقة الكامنة الشفائية: هي الطاقة التي يمتلكها الجسم عندما يكون على ارتفاع معين عن مستوى مرجعي، وتعلق بثقل الجسم وارتفاعه عن المستوى المرجعي، تعطى بالعلاقة:

$$E_p = wh$$



الاحظ وأجيب:

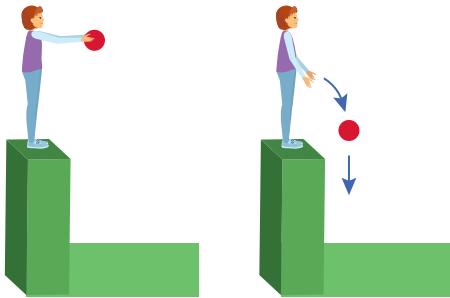
ما نوع الطاقة التي تمتلكها الكرة الساكنة في أعلى ارتفاع على قمة المنحدر المائل؟



ما نوع طاقة الكرة في أثناء انتقالها من قمة المنحدر نحو أسفله؟

4-5 استنتاج نظرية الطاقة الدّرّيّة ونظرية الطاقة الكامنة

نترك حجرًا كتلته m ، يسقط سقطًا حرًا من ارتفاع h عن سطح الأرض الذي نعتبره المستوى المرجعي.



- استنتج علاقة سرعة الحجر لحظة وصوله سطح الأرض.
بما أن الحجر يسقط سقوطاً حرّاً فإن:

$$v = gt$$

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

$$v = \sqrt{2gh}$$

- ما العلاقة بين تغيير الطاقة الحركية للحجر ومجموع أعمال القوى الخارجية المؤثرة في مركز عطالته؟
إن تغيير الطاقة الحركية للحجر بدءاً من لحظة سقوطه وحتى وصوله سطح الأرض:

$$\Delta E_K = E_{K_2} - E_{K_1}$$

$$\Delta E_K = \frac{1}{2}mv^2 - 0$$

$$\Delta E_K = \frac{1}{2}m(2gh)$$

$$\Delta E_K = mgh$$

$$\text{وبما أنَّ عمل قوَّة ثقل الحجر } W = mgh$$

$$\text{أستنتج: } \Delta E_K = W$$

- نعمٌ هذه النتيجة على شكل نظرية، تعرف باسم نظرية الطاقة الحركية لجسم صلب، والتي تنص على:
إنَّ تغيير الطاقة الحركية لجسم صلب خلال فاصل زمِنٍ مُعيَّن يساوي العمل الذي تقوم به محصلة القوى المؤثرة في الجسم خلال الفاصل الزمني نفسه.

- ما العلاقة بين تغيير الطاقة الكامنة للحجر وعمل محصلة القوى المؤثرة في مركز عطالته؟
إنَّ تغيير الطاقة الكامنة للحجر بدءاً من سقوطه وحتى وصوله سطح الأرض:

$$\Delta E_P = E_{P_2} - E_{P_1}$$

$$\Delta E_P = 0 - wh$$

$$\Delta E_P = -mgh$$

$$\text{وبما أنَّ عمل قوَّة ثقل الحجر } W = mgh$$

$$\text{أستنتاج: } \Delta E_P = -W$$

- نعمٌ هذه النتيجة على شكل نظرية، تُعرف باسم نظرية الطاقة الكامنة الثقالية، والتي تنص على:
إنَّ تغيير الطاقة الكامنة الثقالية في جملة (جسم - أرض) خلال فاصل زمِنٍ مُعيَّن، يساوي قيمةَ عمل قوَّة الثقل، ويعاكِس إشارةً عند انتقال نقطة تأثيره بين الوضعين المُعتبرين خلال الفاصل الزمني ذاته.

- ما العلاقة بين تغيير الطاقة الحركية وتغيير الطاقة الكامنة الثقالية لجسم صلب؟
لدينا:

$$\Delta E_K = W$$

$$\Delta E_P = -W$$

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

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

بجمع العلاقتين نجد:

أي أنَّ مجموع الطاقتين الحركية والكامنة مقدار مصونٌ لا يتغيَّر، نسمِّي مجموع هاتين الطاقتين بالطاقة الميكانيكية للجسم، ونرمزُ لها E ، وهي مقدار مصونٌ في حالة خضوع الجسم لقوَّة الشالة.

نعمَّ هذه النتيجة بشرط أن تكون جميع القوى المؤثرة على الجسم قوى مُحافظة.

$$\Delta E = 0$$

$$E_2 - E_1 = 0$$

$$E_2 = E_1 = \text{const}$$

وهذا يحقُّ مبدأ مصونية الطاقة.

تطبيق (4)

يُوضع جسمٌ كتلته $m = 5 \text{ kg}$ على مستوىً أفقى، نعطي للجسم سرعة ابتدائية $v_0 = 2 \text{ m.s}^{-1}$ ، فيخضع الجسم في أثناء حركة احتكاكٍ ثابتة، شدتها تساوي $F' = 10 \text{ N}$



1. احسب تسارُعَ الجسم.
2. احسب المسافة التي يقطعها الجسم قبل أن يقف.
3. احسب العمل الذي قامَت به قوَّةُ الاحتكاك.
4. احسب تغيير الطاقة الحركية للجسم.
5. احسب تغيير الطاقة الكامنة للجسم.
6. هل الطاقة الميكانيكية محفوظة؟ علَّ ذلك.

الحلُّ:

1. القوى المؤثرة في الجسم هي قوَّةُ الاحتكاك \vec{F}' وقوَّةُ التقليل \vec{W} وقوَّةُ رد الفعل الناظمي \vec{R} بتطبيق المبدأ الأساسي في التحرير.

$$\begin{aligned}\vec{F} &= m\vec{a} \\ \vec{F}' + \vec{W} + \vec{R} &= m\vec{a}\end{aligned}$$

بالإسقاط على محورٍ أفقى موجَّه بجهة الحركة

$$-F' + 0 + 0 = ma$$

$$a = \frac{F'}{m}$$

$$a = -\frac{10}{5} = -2 \text{ m.s}^{-2}$$

الحركة مُطبَّطة بانتظام.

$$v = at + v_0$$

$$0 = -2t + 2$$

$$t = 1 \text{ s}$$

نُوَّض في مُعادلة المسافة المقطوعة

$$\Delta x = \frac{1}{2}at^2 + v_0$$

$$\Delta x = -t^2 + 2$$

$$\Delta x = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} W &= F'x \\ &= -10 \times 1 \\ W &= -10 \text{ J} \end{aligned}$$

3. عمل قوة الاحتكاك:
- $$\Delta E_K = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -\frac{1}{2}5(2)^2 = -10 \text{ J}$$
4. تغير الطاقة الحركية
5. يبقى الجسم في المستوى الأفقي نفسه، إذن لا تغير طاقته الكامنة أي: $\Delta E_p = 0$
6. بمقارنة نتيجة السؤال (3) ونتيجة السؤال (5) أستنتج أنَّ الطاقة الميكانيكية غير محفوظة. نعلل ذلك بأنَّ قوى الاحتكاك غير مُحافظة (مُبددة للطاقة).

تعلمت

- إذا انتقلت نقطة تأثير القوى \vec{F} بشعاع إزاحة \vec{d} ، فإنَّ عمل هذه القوة W يساوي:

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

حيث F : شدَّة القوة. d : طولية شعاع الإزاحة. θ : الزاوية بين \vec{F} و \vec{d} .

- وحدة العمل في الجملة الدولية هي الجول، ورمزه J.
- إذا كانَ عملُ قوَّةٍ خلال زمانِ t يساوي W ، فإنَّ الاستطاعة تساوي: $P = \frac{W}{t}$
- إذا أثَّرت قوَّة \vec{F} في جسمٍ مُتحركٍ بسرعة v ، فإنَّ استطاعة هذه القوَّة تساوي: $P = \vec{F} \cdot \vec{v}$.
- نظريَّة الطاقة الحركيَّة: إنَّ عملَ محصلة القوى المؤثرة في جسمٍ يساوي تغيير الطاقة الحركيَّة للجسم (بشرط أن تكون القوى مُحافظةً).
- نظريَّة الطاقة الكامنة: إنَّ عملَ محصلة القوى المؤثرة في جسمٍ يساوي بالقيمة المطلقة ويعاكس بالإشارة تغيير الطاقة الكامنة للجسم (بشرط أن تكون القوى مُحافظةً).
- الطاقة الميكانيكيَّة تساوي مجموع الطاقة الحركيَّة والطاقة الكامنة، وتغيير الطاقة الميكانيكيَّة يساوي عمل القوى غير المُحافظة (المُبددة للطاقة).

اخبر نفسك



أولاً: أجب عن الأسئلة الآتية:

- هل قوى الثقالة هي قوى مُحافظة؟ علل إجابتك.
- هل القوى المُعيقة للحركة تسبِّب زيادةً في السرعة أو نقصانها دوماً؟ أعطِ أمثلة.
- عند تحرك سيارة بسرعةٍ مُستقيمةٍ مُنتظمةٍ على طريقٍ أفقيٍّ، تكون محصلة القوى المؤثرة في مركز عطالة السيارة معدومة، ومع ذلك تستهلكُ السيارة الوقود أي تصرُفٌ عملاً، كيف تشرح ذلك؟

ثالثاً: حل المسائل الآتية: (نعتبر في أثناء حل المسائل $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$)

المسألة الأولى:

يجري عامل كتلتها 80 kg عربة كتلتها 40 kg على طريق مائل بزاوية 30° على الأفق، بسرعة ثابتة، ما قيمة العمل الذي يقدمه العامل لجر العربة مسافة 20 m ؟ ما الطاقة التي يوفرها العامل فيما لو قام بسحب العربة باستخدام جبل طويلاً مربوط بالعربة، وبقي الرجل مكانه في أعلى الطريق؟

المسألة الثانية:

تجري قاطرة عربات، بقوة $N = 400$ على سكة مستقيمة أفقية بسرعة ثابتة 36 m.s^{-1} لمدة ساعة، المطلوب حساب:

1. العمل التي تنجذب القوة المطبقة من القاطرة.
2. استطاعة محرك القاطرة.

المسألة الثالثة:

سيارة كتلتها $m = 800 \text{ kg}$ ، تطلق من السكون على طريق مستقيمة أفقية، بتأثير قوة جر $F_1 = 2500 \text{ N}$ ، وتحصل على مقاومة مُحصّلتها F_2 ، لها حامل F_1 ، وتعاكستها بالجهة شدّتها $F_2 = 900 \text{ N}$ المطلوب حساب:

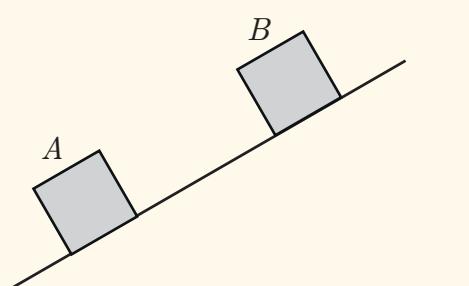
1. تسارع مركز عطالة السيارة.
2. الزمن t اللازم ليقطع مركز العطالة مسافة قدرها 400 m .
3. العمل الميكانيكي لكلا من القوتين \vec{F}_1 ، \vec{F}_2 خلال قطع المسافة السابقة.
4. الاستطاعة المتوسطة التي بذلها محرك السيارة خلال الزمن t .

المسألة الرابعة:



تدفع أم عربة طفلتها بسرعة ثابتة على طريق مستقيمة أفقية بقوة شد تصنع مع الأفق زاوية 60° ، باعتبار العربة تخضع لقوة احتكاك شدّتها 20 N ، احسب العمل الذي تبذله قوة الدفع عندما تحرّك العربة مسافة 5 m .

المسألة الخامسة:



نطلق جسمًا، كتلته 100 g من نقطة A على مستوى يميل عن الأفق بزاوية $\theta = 30^\circ$ ، فيصل الجسم إلى النقطة B بسرعة B بسرعة $B = \frac{1}{2}v_A$ ، إذا علمت أنَّ الجسم يخضع في أثناء حركته لقوة احتكاك ثابتة، شدّتها 1 N وأن المسافة $AB = 2 \text{ m}$ ، **المطلوب حساب:**

1. تغير الطاقة الحركية للجسم خلال المسافة السابقة.
2. سرعة الجسم عند A .

المسألة السادسة:

تحرّك سيارة كتلتها $m = 900 \text{ kg}$ بسرعة 72 Km.h^{-1} على طريق مستقيمة أفقية، يرى السائق على بعدٍ مناسب أنَّ إشارة المرور أصبحت حمراء، فيضغط على المكابح، فتتوقف السيارة خلال دقيقة من الزمن بعد أن تقطع مسافة 100 m ، **المطلوب:**

احسب الاستطاعة التي بذلتها قوة المكابح على السيارة لتوقف.

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 لأنمته بعض الصناعات.
3. تحسين الإنتاج واقتصرار 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 منها.

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 الشبكة عن تطبيقات حديثة تعتمد بها 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 لأنمته بعض الصناعات في الجمهورية العربية السورية واقتراح طرائق للمعالجة.



الوحدة الثانية

المادة والحرارة

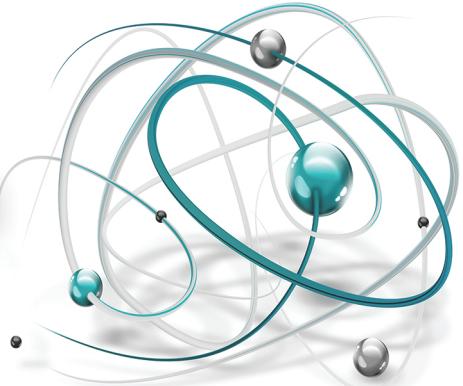
نستخدم كثيراً في حياتنا اليومية ولنظافتنا الشخصية الصابون ومواد التنظيف حيث يعمل الصابون مع الماء على تقليل التوتر السطحي وطرد الأوساخ عن البشرة وخاصة الدهون، من خلال تكوين الرغوة وفقاعات الصابون. ما سبب انفجار فقاعات الصابون؟

إن قوى الترابط في فقاعة الصابون تسمح لها بالبقاء فترة من الزمن ولكن الا ضطربات التي تتعرض لها الفقاعة بعد فترة قصيرة مثل عدم تجانس السطح أو تيارات الهواء أو الشحنات الكهربائية الساكنة تؤدي إلى غياب توازن القوى في إحدى نقاط الفقاعة مما يؤدي إلى انفجارها.



1-2

التوّر السطحي



- هل تأمّلت يوماً قطرات المطر الكرويّة المُتساقطة، ورأيت إبرة الخياطة تعومُ فوقَ سطح الماء إذا وضعت بحذر على الرغم من أنَّ كثافتها أكْبَرُ بشّانِي مِنْ مَرَّاتٍ من كثافة الماء، وتساءلت كيفَ تسيرُ الحشرات على سطحِ الماء في بِرَكةٍ أو ساقِيَةٍ؟
- كيفَ تحدثُ هذه الظواهر؟



الأهداف:

- * يعرّف التوتُر السطحي من خلال ظواهر طبيعية وتجارب.
- * يفسّر ظاهرة التوتُر السطحي.
- * يقوم بتجارب تبيّن قوى التلاصق وقوى التماسك.
- * يفسّر بعض الظواهر اعتماداً على قوى التلاصق وقوى التماسك.
- * يتعرّف زاوية التلامس.
- * يتعرّف تجريبياً الخاصيّة الشعريّة.
- * يفسّر بعض الظواهر اعتماداً على الخاصيّة الشعريّة.

الكلمات المفتاحية:

- * التوتُر السطحي Surface tension
- * قوى التلاصق Adhesive Forces
- * قوى التماسك Contact Forces
- * الخاصيّة الشعريّة Capillary
- * زاوية التلامس Contact Angle
- * التبلل Wetting

1-1 قوى التصاق وقوى التماسك (Adhesive Forces and Contact Forces)

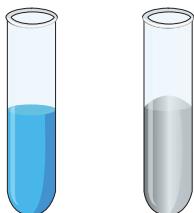
أُجرب واستنتج:

أدوات التجربة:

1. أنبوبان زجاجيان.

2. صفيحتان زجاجيتان.

3. ماء، زئبق.



a. املأ أنبوبين زجاجيين، أحدهما بالماء والآخر بالزئبق.

كيف ترى سطح الماء وسطح الزئبق في كلّ أنبوب؟

b. اسكب قليلاً من الماء فوق لوح زجاجي نظيفاً.

هل ينتشر الماء فوق اللوح الزجاجي؟

c. اسكب قليلاً من الزئبق على لوح زجاجي.

هل ينتشر الزئبق فوق اللوح الزجاجي؟

- إنَّ تقعر الماء في الأنابيب وانتشاره على سطح الزجاج يدلُّ على جذب الزجاج لجزيئات الماء بقوى تُدعى **قوى التلاصق**، وهي قوى الجذب بين جزيئات السائل والسطح الملامس له.

- إنَّ تحديب سطح الزئبق في الأنابيب وتكوُرِه على سطح الزجاج يدلُّ على قوى جذبٍ، تتوجه نحو داخل جزيئات السائل تُدعى **قوى التماسك**؛ وهي قوى التجاذب بين جزيئات السائل نفسه، وينجمُ هذا التجاذب عن قوى التأثير المتبادل بين الجزيئات المكوّنة للسائل.

استنتاج

- إذا كانت قوى التلاصق بين جزيئات السائل والسطح أكبر من قوى التماسك بين جزيئات السائل؛ فإنَّ السائل يتقعر، أو ينتشر على السطح.
- إذا كانت قوى التلاصق بين جزيئات السائل والسطح أصغر من قوى التماسك بين جزيئات السائل؛ فإنَّ السائل يتحديب، أو يكتوُر على السطح.
- يتغيَّر شكلُ تقوس السائل عند حواطِلِ الوعاء باختلاف طبيعة السائل.



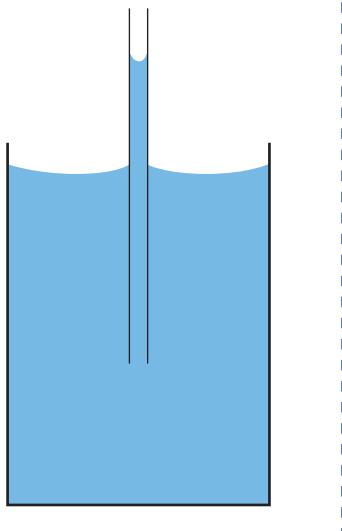
إضاءة

إنَّ كُلَّ جُزْيَيِّهِ مِنْ جُزْيَيَاتِ السَّائِلِ بِالقَرْبِ مِنْ جَدَارِ الْأَنْبُوبِ يَخْضُعُ لِتَأْثِيرِ ثَلَاثٍ قَوِيًّا: قَوْيَ جَذْبٍ لِلأسْفَلِ بِسَبَبِ ثَقْلِ الْجُزْيَيَاتِ.

- قَوْيَ التَّجَاذُبِ بَيْنَ جُزْيَيَاتِ السَّائِلِ النَّاتِحةِ عَنِ الشُّحْنَاتِ الْكَهْرَبَائِيَّةِ الَّتِي تَحْمِلُهَا هَذِهِ الْجُزْيَيَاتِ وَتَتَّجَهُ نَحْوَ مَرْكَزِ السَّائِلِ.
- قَوْيَ أَفْقَيَّةِ نَاتِحةِ عَنِ جَذْبِ جَدَارِ الْإِنَاءِ لِجُزْيَيَاتِ السَّائِلِ.

- فِي أَنْبُوبِ المَاءِ تَتَّجَهُ مُحَصَّلَةُ الْقَوِيِّ نَحْوَ جَدَارِ الْأَنْبُوبِ مَا يَجْعَلُ سَطْحَ المَاءِ مُقْعَرًا.
- فِي أَنْبُوبِ الرَّئِيقِ تَتَّجَهُ مُحَصَّلَةُ الْقَوِيِّ نَحْوَ مَرْكَزِ السَّائِلِ مَمَّا يَجْعَلُ سَطْحَ الرَّئِيقِ مُحَدَّبًا.

2- التَّوْتُ السَّطْحِيُّ (Surface Tension) :



أَجْرِبْ وَأَسْتَنْجُ
لِإِجْرَاءِ التَّجْرِيَةِ أَحْتَاجُ إِلَى:

1. وَعَاءً.
2. مَاءً.
3. أَنْبُوبٌ شَعْرِيٌّ مُفْتَوِحٌ مِنْ طَرْفِيهِ.
- أَدْخِلْ بِشَكْلٍ شَاقُولِيٍّ الْأَنْبُوبَ الشَّعْرِيَّ فِي وَعَاءٍ يَحْوِي مَاءً.
- مَاذَا تُلَاحِظُ؟ مَا تَفَسِِّرُ ذَلِكَ بِرَأِيكَ؟



أَجْرِبْ وَأَسْتَنْجُ
لِإِجْرَاءِ التَّجْرِيَةِ أَحْتَاجُ إِلَى:

1. مَحْلُولِيِّ المَاءِ وَالصَّابُونِ.
2. سَاقٍ مُثَبَّتٍ عَلَيْهَا حَلْقَةً.

خُطُواتُ التَّجْرِيَةِ:

1. أَدْخِلْ الْحَلْقَةَ فِي مَحْلُولِيِّ المَاءِ وَالصَّابُونِ.
2. أَخْرِجْ الْحَلْقَةَ مِنِ الْمَحْلُولِ، وَأَنْفَخْ بِلَطْفٍ مُوجِّهًا الْهَوَاءَ عَلَىِ الْعَشَاءِ الْمُتَكَوَّنِ عَلَىِ الْحَلْقَةِ لِتَتَشَكَّلْ فُقَاعَاتُ الصَّابُونِ.
- مَا شَكَلُ هَذِهِ الْفُقَاعَاتِ.
- أَيُّهُمَا أَكْبَرُ، الضَّغْطُ دَاخِلَ الْفُقَاعَةِ أَمِ الضَّغْطُ خَارِجَهَا فِي أَثْنَاءِ تَكُونُهَا؟
- كَيْفَ تَكُونُ هَذِهِ الْفُقَاعَاتِ؟

أجرب وأستنتج

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

أدوات التجربة:

1. قطارة.

2. لوح زجاجي.

3. ماء.

4. زيت.

خطوات التجربة:

1. أضْعُ اللَّوْحَ الزَّجاجِيَّ أَفْقيًّا.

2. أَدْهَنُ اللَّوْحَ الزَّجاجِيَّ بِالزَّيْتِ.

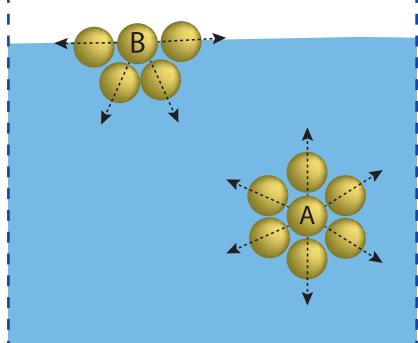
3. أَضْعُ بَضْعَ قَطْرَاتٍ مِنَ الْمَاءِ مُسْتَخدِمًا الْقَطْرَارَةَ عَلَى الْلَّوْحِ الزَّجاجِيِّ.

• لماذا تأخذ قطرات الماء الشكل الكروي؟

استنتج: يتصرف السطح الحذر للسائل وكأنه غشاء من، ويعزى ذلك إلى خاصية التوتر السطحي.

1-2-1 ما أسباب التوتر السطحي؟

إن جزيئات السائل تحمل شحنات كهربائية، ينتج عنها قوى تأثير متبادل فيما بينها، بحيث يتآثر جزيء ما بالجزيئات المجاورة له، ويهمّ التأثير الناجم عن بقية الجزيئات، ويتساءل تأثير هذه القوى كلما ازدادت المسافة بين الجزيئات.



تسبّب قوى التأثير المتبادل قوى تجاذبٍ بين الجزيئات ينجم عنها التوتر السطحي.

لقارنَ بين جزيئين، أحدهما (A) داخل السائل، والآخر (B) على سطح السائل. (كما في الشكل المجاور) نجد:

– يخضع الجزيء (A) داخل السائل لقوى جذبٍ من جميع جزيئات السائل القرية والمحيطة به بشكل مُتاظر؛ أي قوى الجذب هي نفسها من جميع الجهات، وتكون مُحصلة القوى المؤثرة عليه معدومةً.

– أمّا الجزيء (B) الذي يقع على سطح السائل المُعرض للهواء، فيخضع لتأثير قوى الجذب من جزيئات السائل المحيطة به على شكل نصف كرة، وتكون مُحصلة هذه القوى نحو داخل السائل.

– وتعرّض جميع الجزيئات على سطح السائل إلى قوى جذبٍ تتجه إلى داخل السائل، فتكتسب جزيئات سطح السائل طاقةً كامنةً تجعلها متماسكةً ومترابطةً مكونةً غشاءً رقيقاً مناً عند سطحه.

أستنتج:

ينشأ التوتر السطحي في سائل عن قوى التجاذب بين جزيئات السائل، حيث تتأثر الجزيئات المُتواجدة على السطح بجذب الجزيئات المجاورة على السطح أو داخل السائل، وهذا يجعل محصلة القوى المؤثرة في جزء من سطح السائل تتجه إلى داخل السائل.

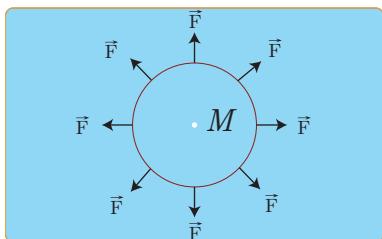
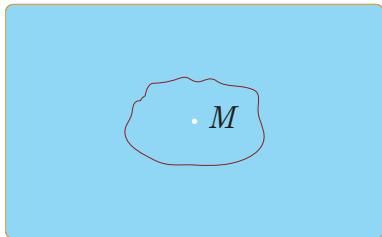
وجدنا من التجارب السابقة:

- في التجربة (1): إن السائل المرتفع في الأنوب لا يهبط، وكأن سطحه مكون من غشاء رقيق يغطي السائل، فتلتتصق حواضن الغشاء بالسطح الداخلي للأنوب، مما يمنع الماء من الهبوط، ولكن مرونة الغشاء تسمح له بالتقعر بتأثير ثقل الماء الذي يشدّه نحو الأسفل.
- في التجربة (2): إن فقاعات الصابون المتكونة، تبقى في الهواء لفترة من الزمن وتشبه باللون مطاطياً صغيراً، مما يدل على أن جزيئات الماء والصابون متراابطة فيما بينها ولكن قوى الترابط هذه هي أضعف من تلك الموجودة في المطاط.
- في التجربة (3): إن قطرة الماء لم تنتشر على اللوح الزجاجي، فأخذت شكل قبة بدلاً من أن تأخذ شكل بقعة، مما يدل على وجود قوى التجاذب بين جزيئات الماء (قوى التماشك)، فتبعد قطرة وكأنها محاطة بغشاء رقيق ناجم عن التوتر السطحي.

إضاءة

- تتشكل فقاعة الصابون عند نفخ الهواء على الغشاء المُتكوّن على الحلقة، فيصبح في هذه اللحظة الضغط داخل الفقاعة أكبر من الضغط خارجها، ويسبب الضغط الزائد داخل الفقاعة نشوء قوة توازن مع القوة التي تشد السطح الداخلي للفقاعة نحو مركزها.
- إن قوى الترابط في فقاعة الصابون تسمح لها بالبقاء فترة من الزمن، ولكن الاختurbات التي تتعرض لها الفقاعة بعد هذه الفترة مثل عدم تجاهس السطح، أو تيارات الهواء، أو الشحنات الكهربائية الساكنة تؤدي إلى غياب توازن القوى في إحدى نقاط الفقاعة مما يسبب انفجارها.

2-2-1 معامل التوتر السطحي:



أجري وأستنتج:

لإجراء التجربة أحتاج:

1. حوض.

2. محلول الماء والصابون.

3. إطار مستطيل من سلك معدني خفيف.

4. خيط خفيف مبلل بالماء.

5. ساق خشبية خفيفة.

خطوات التجربة:

1. اغمِر الإطار المستطيل بشكلً أفقِيًّا في حوض الماء والصابون.

2. ارفع الإطار بحذرٍ لتحصُّل على غشاءٍ رقيقٍ رقيقٍ جداً من السائل.

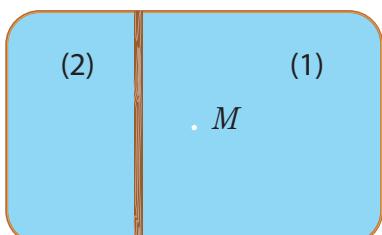
3. ضع على الغشاء، بعنايةٍ، الخيط الخفيف المبلل بالماء بشكلٍ عشوائيٍ (كما في الشكل المجاور).

4. اثقب الغشاء في نقطةٍ واقعةٍ داخل الخيط.

- هل بقي شكل الخيط عشوائياً. وما الشكل الذي يأخذُه؟

- هل يمكنك تفسير ذلك؟

لقد احتفى غشاءُ السائل داخلَ الخيط، وبقي غشاءُ السائل خارجَه، فأخذَ الخيط شكلاً دائرياً مرتكزاً من نقطة الثقب.



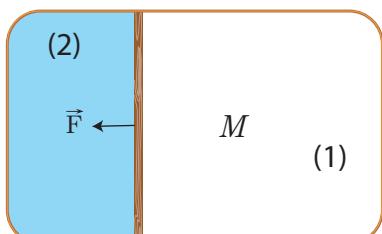
أستنتاج: إنَّ غشاءَ السائل قد شدَّ الخيط بقوى عمودية على كلِّ جزءٍ صغيرٍ منه.

أعد التجربة السابقة، واستبدل بالخيط ساقاً خشبيّاً خفيفاً عموديّاً على الإطار الأفقي، ثم اثقب الغشاء في نقطة M باستخدام إبرة رفيعة. ماذا ثلّاحظت؟ وماذا تستنتج؟

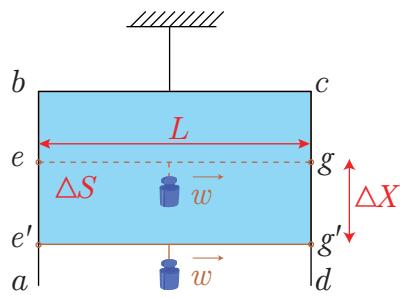
لقد تجمّع السائل في الجزء (1) إلى الساق المستندة على الإطار.

أمّا غشاءُ السائل في الجزء (2) بقي مشدوداً حيث قام بجذب الساق الخشبية قليلاً لكي تصغر مساحة الغشاء.

أستنتاج: إنَّ الغشاء يؤثّر بقوّة عموديّة على الساق، وينطبقُ شاعُ القوّة على الغشاء (أي على سطح السائل)، وهذه القوّة هي التوتُّر السطحي المؤثّر في الساق الخشبيّة.



أُجرب وأُستنتج:



1. أثِن سلكاً رفيعاً من النحاس على شكلٍ ثالثٍ أضلاعٍ من مُستطيل $abcd$ (كما في الشّكل المجاور).

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

2. اغمِر الإطار المُستطيل في محلول الماء والصابون، ثم ارفع الإطار بحذرٍ لتحصل على غشاءٍ رقيقٍ من محلول.

لاحظ أنَّ السلك eg يتَحرَّك نحو الضلع bc بتأثير قوى التوتُّر السَّطحي التي تعمَلُ على انفاصٍ مساحة سطح الغشاء.

3. حاول زِيادة مساحة سطح الغشاء بتعليق ثقلٍ مُناسب بالسلك eg .

- إنَّ العمل المبذول لزيادة مساحة سطح السائل بمقدار وحدة المساحات يسمى معامل التوتُّر السَّطحي، يُرمز له بالرّمز γ ، ويُحسب من العلاقة:
$$\gamma = \frac{W}{\Delta S}$$
 W : العمل المبذول (جول) J.
 ΔS : الزيادة في السطح m^2 .

نعلم أنَّ $W = mg \Delta X = F \Delta X$ بما أنَّ غشاء الصابون له وجهان، فإنَّ الزيادة في مساحة وجهي الغشاء،

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

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

أُستنتاج: معامل التوتُّر السَّطحي هو:

قوَّة التوتُّر السَّطحي المؤثرة عمودياً في وحدة الطول لخطٍّ ينتمي إلى سطح السائل. يُرمز لمعامل التوتُّر السَّطحي بالرّمز γ ، ويُحسب من العلاقة:

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

توضِّح العلاقة السابقة أنَّ وحدة قياس معامل التوتُّر السَّطحي (γ) $N.m^{-1}$

3-2-1 العوامل المؤثرة على التوتر السطحي:

1. إن التوتر السطحي يتغير من مادة إلى أخرى وذلك تبعاً للتغيير كثافتها، حيث يزداد بزيادة كثافة المادة. يبيّن الجدول الآتي قيم معامل التوتر السطحي لبعض المواد عند الدرجة (20°C).

معامل التوتر السطحي $N.m^{-1}$	المادة
72.8×10^{-3}	ماء
472×10^{-3}	زيت
28.9×10^{-3}	بنزين

2. ينقص التوتر السطحي للسائل بارتفاع درجة الحرارة.

معامل التوتر السطحي $N.m^{-1}$	المادة
72.8×10^{-3}	ماء نقي (20°C)
69.5×10^{-3}	ماء نقي (40°C)

3-1 التبلل وزاوية اللامسة (Wetting and Contact Angle):

أجري وأستنتج

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

- صفيحتان زجاجيتان نظيفتان.
- قطارة.
- فازلين.
- ماء.

أدهن إحدى الصفيحتين بطبقية من الفازلين، واستخدم قطارة لوضع قطرة ماء على كل صفيحة.

- هل ينتشر الماء على الصفيحة النظيفة أم لا؟
- هل ينتشر الماء على الصفيحة التي دهنت بالفازلين أم لا؟
- كيف تعلل ذلك في كل من الحالتين السابقتين؟

ظاهرة التبلل:

هي التلاصق بين سائل وسطح عند ملامسة السائل لهذا السطح.

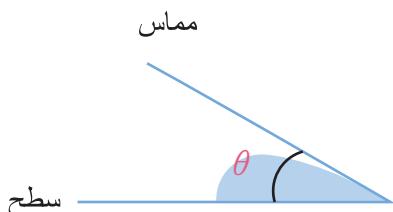
وَجَدْنَا فِي الْتَجْرِيْبَيْنِ السَّابِقَيْنِ:

- تَنْتَشِرُ قَطْرَةُ المَاءِ عَلَى سَطْحِ الصَّفِيْحَةِ النَّظِيفَةِ لِتَبَلُّهَا، بَيْنَمَا تَبْقَى قَطْرَةُ المَاءِ مُتَمَاسِكَةً عَلَى سَطْحِ الصَّفِيْحَةِ
- الثَّانِيَةِ دُونَ تَبَلُّهَا.

كَيْفَ تَفَسِّرُ ذَلِكَ اعْتِمَادًا عَلَى قَوْيِ التَّلاصُقِ وَالْتَّمَاسِكِ؟

يَبْلُلُ الْمَاءُ سَطْحَ الرِّزْجَاجِ النَّظِيفِ، حِيثُ تَعْمَلُ قَوْيِ التَّلاصُقِ عَلَى جَعْلِ الْمَاءِ يَنْتَشِرُ عَلَى سَطْحِ الرِّزْجَاجِ. أَمَّا فِي حَالَةِ الصَّفِيْحَةِ الثَّانِيَةِ؛ فَإِنَّ طَبْقَةَ الْفَازَلِينَ تَحُولُّ دُونَ تَبَلُّلِ السَّطْحِ حِيثُ إِنَّ قَوْيِ التَّلاصُقِ بَيْنَ الْمَاءِ وَالْفَازَلِينَ أَضَعَفُ مِنْ قَوْيِ التَّمَاسِكِ بَيْنَ جَزِيَّاتِ الْمَاءِ، فَتَبْقَى قَطْرَةُ المَاءِ مُتَمَاسِكَةً فَوْقَ سَطْحِ الصَّفِيْحَةِ وَلَا تَبَلُّهَا.

1-3-1 اِرْتِبَاطُ التَّبَلُّلِ بِزاوِيَةِ التَّلَامُسِ :



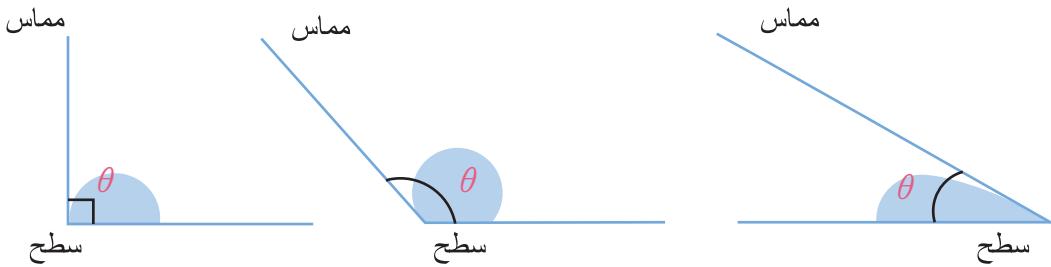
زاوِيَةُ التَّلَامُسِ: هِيَ زَاوِيَةُ بَيْنِ السَّطْحِ الصلِبِ وَالْمُسْتَوِيِّ المُمَاسِ لِسَطْحِ السَّائِلِ فِي نَقْطَةِ تَلَاقِي السَّطْحِ الصلِبِ مَعَ سَطْحِ السَّائِلِ، وَيَقْعُ السَّائِلُ دَاخِلَّ هَذِهِ الزَّاوِيَةِ.

لِقِيَاسِ مَدِيِّ تَبَلُّلِ سَطْحِ بَسَائِلٍ مَا، نَلْجَأُ إِلَى قِيَاسِ زَاوِيَةِ التَّلَامُسِ، وَهُنَّا نَمِيزُ حَالَتَيْنِ:

الحالَةُ الْأَوَّلِيَّةُ: زَاوِيَةُ التَّلَامُسِ أَصْغَرُ مِنْ 90° ، السَّطْحُ يَتَبَلُّ بَالْسَّائِلِ، وَيَزِدَادُ تَبَلُّلُ السَّطْحِ بَالْسَّائِلِ θ بِنَقْصَانِ هَذِهِ الزَّاوِيَةِ، فَتَبْتَعُدُ قَطْرَةُ السَّائِلِ عَنْ شَكْلِ الْكَرْبَةِ، وَتُسَمَّى عِنْدَئِذٍ بِبَقْعَةِ.

وَتَكُونُ قَوْيِ التَّلاصُقِ بَيْنَ جَزِيَّاتِ السَّائِلِ وَالسَّطْحِ أَكْبَرَ بِكَثِيرٍ مِنْ قَوْيِ التَّمَاسِكِ بَيْنَ جَزِيَّاتِ السَّائِلِ.

الحالَةُ الثَّانِيَةُ: زَاوِيَةُ التَّلَامُسِ أَكْبَرُ أَوْ تَسَاوِي 90° ، السَّطْحُ لَا يَتَبَلُّ بَالْسَّائِلِ، وَتَكُونُ قَوْيِ التَّمَاسِكِ بَيْنَ جَزِيَّاتِ السَّائِلِ أَكْبَرَ بِكَثِيرٍ مِنْ قَوْيِ التَّلاصُقِ بَيْنَ جَزِيَّاتِ السَّائِلِ وَالسَّطْحِ، فَتَتَكَوَّرُ جَزِيَّاتُ السَّائِلِ عَلَى السَّطْحِ وَلَا يَمْكُنُ وَصْفُهَا بِالبَقْعَةِ.



4-1 الخاصية الشعرية (Capillary)

لشرح الخاصية الشعرية لا بد من تعريف الأنابيب الشعرية:

الأنبوب الشعري:

هو أنبوب، قطره من أبعاد قطر الشّعرة من رتبة 0.01 cm ، مفتوح من طرفيه.

تجارب:

أدوات التجارب:

1. أنابيب شعرية مختلفة الأقطار.

2. إناء.

3. زئبق.

4. ماء.

a. أدخل أنابيب شعرية مختلفة الأقطار في إناء يحوي ماء.

b. أعد التجربة باستخدام إناء يحوي زئبقاً.

ماذا تلاحظ في كلٌ من التجاربتين؟ هل يمكنك تفسير ذلك؟

• في التجارب السابقة:

1. يرتفع الماء في الأنابيب المختلفة الأقطار إلى سويات مختلفة، حيث تعمل قوى التلاصق على جذب جزيئات السائل إلى الأعلى، ويتوقف الارتفاع عندما توازن قوى الجذب إلى الأعلى مع قوة ثقل السائل.

2. مستوى الزئبق في الأنابيب المختلفة الأقطار أخفض من مستوى الزئبق في الوعاء، حيث تعمل قوى التوتر السطحي على تقليل سطح السائل الذي أصبح مشوحاً بسبب إدخال الأنابيب (وسطح السائل يشمل هنا السطح الحر الملائم للهواء والسطح الملائم للأنبوب لغياب التبلل).

إن تقليل مساحة هذا السطح يتضمن انخفاض مستوى الزئبق، ويحصل التوازن عند تساوي قوى التوتر السطحي مع القوى الناجمة عن ضغط الزئبق التي تمنع استمرار التقلص.

• يعطي ارتفاع السائل (h) في أنبوب شعري بقانون جوران:

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

θ : زاوية التلامس

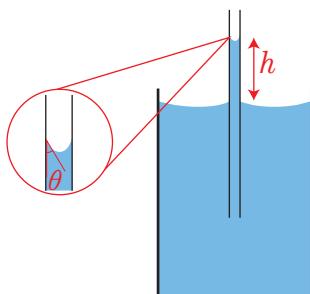
2: معامل التوتر السطحي للسائل ووحدة قياسه (N.m^{-1}).

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

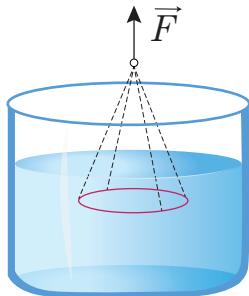
r : نصف قطر الأنابيب الشعرية (m).

ρ : الكتلة الحجمية للسائل (kg.m^{-3}).

• نلاحظ من خلال قانون جوران أن ارتفاع السائل يتناصف عكساً مع نصف قطر الأنابيب الشعري لذلك سيكون ارتفاع السائل مختلفاً في الأنابيب المختلفة الأقطار.



تطبيق(1)



حلقة معدنية من الألمنيوم، ثخنها $h = 10 \text{ mm}$ ، ونصف قطرها الداخلي $r_1 = 25 \text{ mm}$ ، ونصف قطرها الخارجي $r_2 = 26 \text{ mm}$ احسب شدة القوة الواجب تطبيقها لرفع الحلقة من الماء، علماً أن الكثافة الحجمية للألمنيوم $\rho_{Al} = 2.7 \times 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ ومعامل التوتر السطحي للماء $\gamma = 72.8 \times 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$

الحل:

القوة الواجب تطبيقها على الحلقة المعدنية لرفعها من الماء يجب أن تكون أكبر من مجموع شدتي القوتين:

1. شدة قوة ثقل الحلقة w .
2. شدة قوة التوتر السطحي للماء F_γ .

$$F > F_\gamma + w$$

حساب w :

$$w = mg = \rho Vg \quad \text{كمـ نـعـلـم: } V = \pi (r_2^2 - r_1^2) h \quad (\text{حجم الحلقة})$$

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

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

$$L_1 = 2\pi r_1$$

$$L_2 = 2\pi r_2$$

حساب F_γ :

حيث: L_1 طول الوجه الداخلي للحلقة.

L_2 طول الوجه الخارجي للحلقة.

$$\begin{aligned} F_1 &= 2\pi r_1 \gamma + 2\pi r_2 \gamma \\ &= 2\pi (r_1 + r_2) \gamma \\ &= 2\pi (0.025 + 0.026) \times 72.8 \times 10^{-3} \\ &= 23.3 \times 10^{-3} \text{ N} \end{aligned}$$

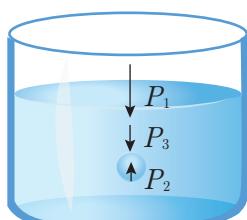
$$\begin{aligned} F' &= 43.32 \times 10^{-3} + 23.3 \times 10^{-3} \\ &= 66.62 \times 10^{-3} \text{ N} \end{aligned}$$

$$F > F'$$

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

بالتالي يجب أن يكون:

تطبيق(2)



احسب ضغط الهواء داخل فقاعة من الهواء، نصف قطرها $r = 0.1 \text{ cm}$ ، تقع على عمق $h = 20 \text{ cm}$ تحت سطح الماء علماً أن الضغط الجوي الخارجي $P_1 = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$

و معامل التوتر السطحي للماء $\gamma = 72.8 \times 10^{-3} \text{ N.m}^{-1}$ و $\rho_{(H_2O)} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$

الحل: إنَّ ضغطَ الهواء داخِل الفقاوة عبارة عن ثلاثة ضغوط:

1. الضغط الجويُّ الخارجيُّ: $P_1 = 101.3 \times 10^3 \text{ Pa}$

2. الضغط الناتج عن ثقل الماء:

$$\begin{aligned}P_2 &= \rho gh \\&= 10^3 \times 10 \times 0.2 \\&= 2 \times 10^3 \text{ Pa}\end{aligned}$$

3. الضغط الناتج عن التوتر السطحي:

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

فيكونُ الضغط الكلّيُّ:

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

إثراء:

الفيزياء في حياتنا اليومية:

- يلجأ الصناعيون إلى وضع موادٍ في مسحوق الغسيل تخفّفُ من التوتر السطحي للماء، وهذا يساعدُ على تغلُّل الماء، وبالتالي يسمحُ بتنظيفِ أسرع وأسهل.
- تساعدُ الخاصيَّة الشعريَّة على صعود الماء في أنسجة النبات نحو الأعلى.
- الإسفنج والمناشفُ الورقَة تمتصُ الماء اعتماداً على الخاصيَّة الشعريَّة.
- مصابيحُ الزَّيت يتبلَّلُ من الأسفل إلى الأعلى اعتماداً على الخاصيَّة الشعريَّة.



5. يتم سحب الدَّم من الأوردة والشرايين اعتماداً على الخاصية الشعرية.



6. حشرة تقف فوق سطح الماء الراکد في بداية الدرس:
نلاحظ أنَّ أرجل الحشرة تزيدُ من مساحة سطح الماء، ولما كانت قوى التوتر السطحي تسعى إلى تقليل مساحة السطح فإنَّها تُنْتَجُ قوىًّا موجَّهةً نحو الأعلى، بينما قوَّةُ ثقل الحشرة تعملُ على زيادة السطح، فيحدثُ التوازن عندَما تَعْدُمُ مُحَصَّلة هذه القوى.

7. إبرة تَعْوُمُ على سطح ماءٍ على الرَّغم من أنَّ كثافتها أكبرُ بــ ٣٠٠٠ مراتٍ من الماء، إنَّ سطح السَّائل يَعْمِلُ كغشاءً مرنًا مشدودًا، يَتَّجُّ عن ثقل الإبرة إنخماصاً في سطح السَّائل مما يزيدُ من مساحة سطح السَّائل، ينشأ في جميع جزيئات السَّائل على طول الإنخماص قوىًّا جزئيَّةً مُحاولةً الحفاظ على وضعية سطح السَّائل الأفقية فتوارُنَ مع قوَّةِ ثقل الإبرة.

تعلمت

- التوتر السطحي خاصية للسوائل يجعل سطح الحر لسوائل يتصرف وكأنه غشاء مرن.
- تنشأ قوى التماسك في سائل من قوى التجاذب بين جزيئات السائل.
- معامل التوتر السطحي هو قوَّةُ التوتر السطحي المؤثرة عمودياً في واحدة الطول لخط يسمى إلى سطح السائل، ويرمز لمعامل التوتر السطحي بالرمز γ ، ويحسب من العلاقة:

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

- وحدة قياس التوتر السطحي $N.m^{-1}$.
- التبلُّل هو التلاصق بين سائل وسطح عند ملامسة السائل للسطح.
- زاوية التلامس: هي الزاوية بين السطح الصلب والمُستوي المماس لسطح السائل في نقطه تلاقي السطح مع سطح السائل، يقع السائل داخل هذه الزاوية.
 1. إذا كانت زاوية التلامس أصغر من 90° ، فإن السائل يُلْلُ السطح.
 2. إذا كانت زاوية التلامس أكبر من 90° ، فإن السائل لا يُلْلُ السطح.
- إذا غمسَ أنبوبٌ شعريٌّ شاقوليًّا في سائل، فإن ارتفاع السائل h في الأنابيب الشعري يُعطى بقانون جوران:

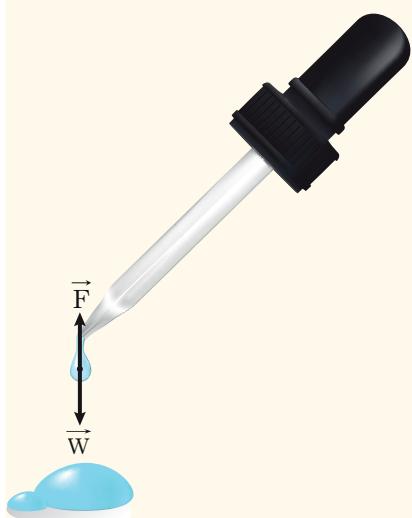
$$h = \frac{2\gamma \cos\theta}{\rho gr}$$



أختبر نفسك

أولاً: أعطِ تفسيراً علمياً لكُلّ ممَّا يأتي:

1. يأخذُ مصهور الزجاج شكلاً كرويّاً، وتحتفظي الأجزاء الحادّة للأجزاء المكسورة.
2. ترشُّب برك الماء والمستنقعات بالكثير وسین.
3. ارتفاع مستوى الماء في التربة الطينيّة أكبرٌ من ارتفاع الماء في التربة الرملية.



ثانياً:

تأخذُ فتحة قطارة شكل أنبوبٍ أسطوانيٍّ، نصف قطره r ، نفترض أن صنبور القطارة قد فتح قليلاً بحيث تكون قطرة تدريجياً أخذةً شكل كرة، نصف قطرها R أكبرٌ من نصف قطر الأنابيب، وتتفصل قطرة هابطةً عندما تبلغ شدة ثقلها قيمةً أكبرٌ من شدة قوة التوتر السطحي التي تربطها بالأنبوب، بافتراض γ هي التوتر السطحي للسائل، ρ الكثافة الحجميّة للسائل. استنطِ بالرموز العلاقة المحددة لنصف قطر قطرة لحظة انفصالها.

ثالثاً: حل المسألتين الآتيتين:

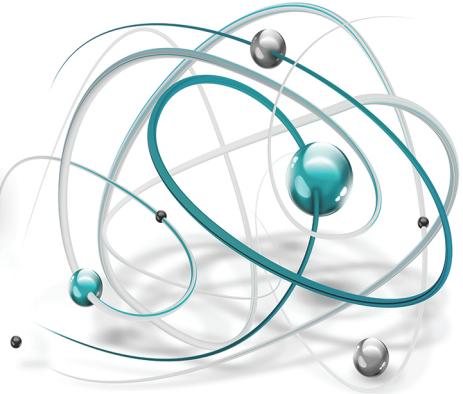
المأسأة الأولى: ما مقدار ارتفاع الزبق في أنبوب زجاجيٍّ، نصف قطره $r = 20 \text{ mm}$ ، علمًاً أنَّ التوتر السطحي للزبق $\gamma = 0.5 \text{ N.m}^{-1}$ ، وزاوية التلامس بين الزبق والزجاج 135° $g = 10 \text{ N.kg}^{-1}$ ، $\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg.m}^{-3}$

المأسأة الثانية: نتأمّل فقاعة صابونٍ نصف قطرها $R = 1 \text{ cm}$ ، الضغط الخارجي يساوي P_0 ، التوتر السطحي لماء الصابون المستخدم يساوي. $2.5 \times 10^{-2} \text{ N.m}^{-1}$ $\gamma = \frac{4\gamma}{R}$ **المطلوب:**

1. برهن أنَّ فرق الضغط بين داخل الفقاعة وخارجها يُعطى بالعلاقة:
2. احسب عددياً هذا الفرق.
3. استنطِ الفرق بين الضغط داخل وخارج قطرةٍ كرويّة من ماء الصابون المستخدم في صنع الفقاعة السابقة بأخذ نصف قطر قطرة R .

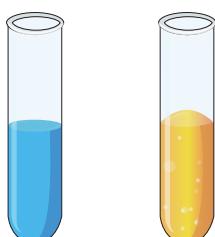
2-2

اللُّزوجة

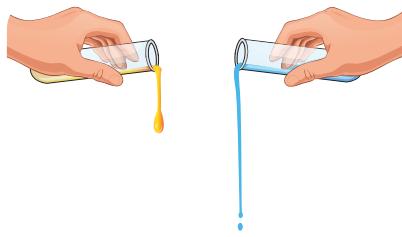


- تنسابُ السوائلُ بسرعاتٍ مُختلِفةٍ، فما هو السببُ في ذلك؟.

أجربُ وأستنتِ:



قبل السكب



بعد السكب

- خذ إبرةَين متماثلين واملاً أحدهما بالماء والآخر بالعسل.
- اسكبِ الماء والعسلَ في آنٍ واحدٍ.
أيهما يفرغُ أولاً؟
ما السببُ برأيك؟

الأهداف:

- * يشرحُ ظاهرة اللُّزوجة.
- * يفسّرُ ظاهرة اللُّزوجة اعتماداً على قوى التّلاصق والتّماسُك.

الكلمات المفتاحية:

- * اللُّزوجة

Viscosity

- * معامل اللُّزوجة
Coefficient of Viscosity

أجرب وأستنتج:

- خذ إثنين متماثلين، واملأ أحدهما بالماء، والآخر بزيت مُحرّك.
- اترك كرتين متماثلين من الحديد لتسقطا دون سرعة ابتدائية من فوقه كل إثناء.
- أي الكرتين تصل أولاً إلى القاع؟
- ما السبب برأيك؟

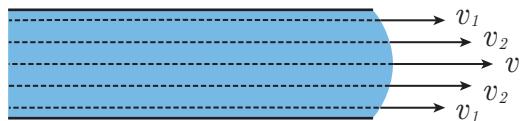
فقد وجدنا من خلال التجربتين السابقتين أن:

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

استنتج:

ظاهرة اللزوجة: خاصية تعبّر عن مقاومة السائل للجريان، أو مقاومته لحركة الأجسام داخله، أو لتغيير شكله بتأثير قوى خارجية.

1-2 أسباب اللزوجة:



تنتج اللزوجة عن قوى التأثير المتبادل بين جزيئات السائل، وهذه القوى تعمل على تكون روابط فيما بين هذه الجزيئات، مما يسبب التماسك بين أجزاء السائل.

يمكن تشبيه أجزاء السائل في أثناء حركتها بالطبقات، وعند جريان السائل تبتعد هذه الطبقات بعضها عن بعض مما يغير من شكل السائل فتعمل قوى التماسك على إعاقة حركة جسيمات السائل بالنسبة لبعضها البعض مما يعيق تغيير شكله.

2-2 قياس اللزوجة:

- توجد طرائق عدّة لقياس اللزوجة، إحداها تعتمد على قياس سرعة سقوط كرة ضمن سائل.
 - كلما ازدادت لزوجة السائل، ازدادت مقاومته لحركة الكرة، وكانت سرعتها ضمن السائل أصغر.
- لتكن كرة، نصف قطرها r ، كتلتها m ، تتحرّك بسرعة v في سائل لزوجته η . ما هي القوى الخارجية التي تخضع لها الكرة؟
- تخضع الكرة عند سقوطها في السائل للقوى الآتية:

$$\vec{w} = m\vec{g} = \rho V \vec{g}$$

حيث ρ : الكتلة الحجمية للكرة، و V : حجم الكرة ($V = \frac{4}{3}\pi r^3$)

- قوة ثقلها \vec{w} :

$$\vec{B} = \rho' V \vec{g}$$

- قوة دافعة أرخميدس \vec{B} :

حيث ρ' : الكتلة الحجمية للسائل، و V : حجم السائل المُزاح المساوي لحجم الكرة.

- قوّة مقاومة السائل لحركة الكرة \vec{F}_r :

التي تُعطى بعلاقة ستووكس:

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

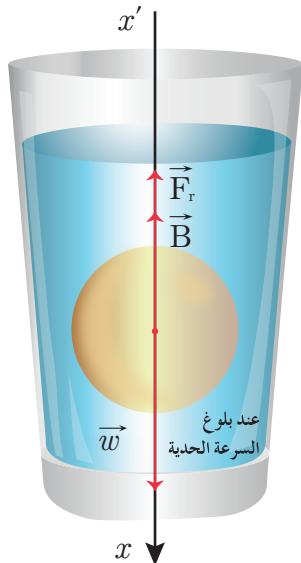
في لحظة بدء السقوط تكون سرعة الكرة معروفة، فتكون قوّة المقاومة معروفة.

تزداد سرعة الكرة في أثناء سقوطها في السائل، فتزداد قوّة مقاومة السائل لحركة الكرة حتى تصبح مُحصلة القوى المؤثرة على الكرة معروفة، وبحسب مبدأ العطالة تصبح حركة الكرة داخل السائل مستقيمةً، مستقرة نسميها السرعة الحدية v_t :

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

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

بالإسقاط على محور شاقولي x' موجّه نحو الأسفل



$$w - B - F_r = 0$$

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

$$V(\rho - \rho')g - 6\pi\eta \cdot r \cdot v_t = 0$$

$$V(\rho - \rho')g = 6\pi\eta \cdot r \cdot v_t$$

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

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

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

وهي العلاقة التي تحديد السرعة الحدية للكرة في السائل.

بحسب من هذه العلاقة معامل لزوجة السائل η .

وحدة قياس معامل اللزوجة في الجملة الدولية بـ (باسكال. ثانية) ويرمز له بالرمز (Pa.s).

تطبيق (1)

ترک كرّة دون سرعة ابتدائية عند سطح سائل، ونقيس الزمن اللازم لوصول هذه الكرة إلى أسفل الوعاء ولتكن t ، ونقيس ارتفاع السائل في الوعاء ولتكن h . استنتاج العلاقة التي تُعطى معامل لزوجة السائل بفرض أن لزوجة السائل مرتفعة ما يكفي لبلوغ سرعة الكرة قيمة حدية بعد قطعها مسافة صغيرة مقارنة بعمق الإناء. ونفترض أن هذه الشروط محققة في جميع المسائل المتعلقة بمعامل اللزوجة.

الحل:

تعطى سرعة الكرة بالعلاقة

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

وهذه السرعة هي السرعة الحدية ذاتها المعطاة بالعلاقة:

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

نعرض (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 تحدّد معامل اللزوجة للسائل.

تطبيق (2)

كرة من الألミニوم، نصف قطرها $r = 6 \text{ mm}$ ، كتلتها الحجمية $\rho_{Al} = 2700 \text{ kg.m}^{-3}$ ، تسقط في الماء الذي كتلته الحجمية $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ ، استنتاج العلاقة المحددة لمعامل لزوجة الماء، ثم احسب قيمته إذا كانت السرعة الحدية للكرة في أثناء حركتها في السائل $v_t = 136 \text{ m.s}^{-1}$ باعتبار أنَّ تسارع الجاذبية الأرضية $g = 10 \text{ m.s}^{-1}$.

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

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

القوى الخارجية المؤثرة:
 w : ثقل الكرة.

\vec{F}_r : قوة مقاومة السائل لحركة الكرة.

\vec{B} : دافعة أرخميدس.

عند وصول الكرة إلى سرعتها الحدية:

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

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

$$w - B - F_r = 0$$

$$w - B = F_r$$

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

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

$$\eta = \frac{2 \times 36 \times 10^{-6} \times 1700 \times 10}{9 \times 136} = 1 \times 10^{-3} \text{ Pa.s}$$

بالإسقاط على محور شاقولي x' موجّه نحو الأسفل:

3-2 العوامل المؤثرة في عامل اللزوجة:

1. كثافة السائل: تزداد لزوجة سائل بزيادة كثافته والجدول الآتي يعطي قيمة معامل اللزوجة لبعض السوائل عند الدرجة $25^\circ C$.

المادة	العسل	زيت المحركات	الماء	الدم	الزيق	زيت الخروع
معامل اللزوجة (Pa.s)	1×10^{-2}	1.6	1×10^{-3}	$(3-4) \times 10^{-3}$	1.5×10^{-3}	2.42

تعتمد زوجة الدم على تركيز الكريات الحمراء فيه، ولذلك يمكننا استخدام الزوجة للكشف عن عوز الدم للكريات الحمراء.

ملاحظة: إن الكتلة الحجمية مُقدّرة بوحدة g.cm^{-3} تساوي العدد الدال على الكثافة.

2. درجة الحرارة: تتناقض لزوجة السائل بازدياد درجة الحرارة، ويعود ذلك إلى ازدياد حركة جزيئات السائل وتحطم بعض الروابط بين الجزيئات المكونة للسائل.

وبالتالي تزداد سرعة انتساب السائل، وتقل مقاومته لحركة الأجسام فيه.

يتضمن الجدول الآتي بعضاً من قيم معاملات الزوجة لبعض السوائل في درجات حرارة مختلفة.

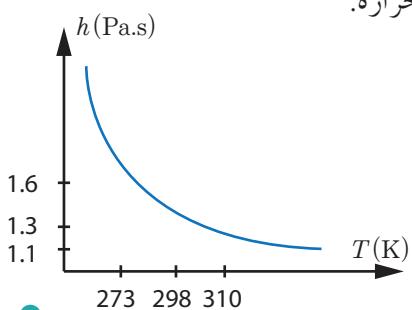
المادة	معامل الزوجة (Pa.s)	درجة الحرارة (K)
الماء	1.8×10^{-3}	273
	1×10^{-3}	293
	0.7×10^{-3}	310
زيت المحرّكات	5.3	273
	0.99	293
	0.23	313

إثراء:

في الألعاب الأولمبية في لوس أنجلوس 1984، وبشكل مثير للاهتمام، أخذ بالحسبيان تغيير لزوجة الماء عند تغيير درجة الحرارة، فقد جرت سباقات السباحة في مسابح مكشوفة مما استلزم تبريد الماء بإضافة قوالب الثلج إليه لمنع الارتفاع الزائد في درجة الحرارة، إذ أن ذلك سيؤدي إلى خفض لزوجة الماء، وبالتالي إعطاء الرياضيين ميزة غير عادلة مقارنة بالمرات التي كانت بها المسابح أكثر برودة.

تمرين

- ٠٠ لديك المُنْحَنِي البياني الذي يعبر عن تغييرات معامل التردد بدلالة درجة الحرارة.



١. ما قيمة معامل اللزوجة عند درجة الحرارة 273 K

٢. حدد قيمة درجة الحرارة عندما تكون قيمة معامل اللزوجة 1.1 Pa.s

٣. ماذا توقع أن تكون قيمة معامل اللزوجة من أجل درجة حرارة 450 K خارج الخط البياني؟



أختبر نفسك

أولاً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1. أيهما أسهل، سكب الزيت من عبوة زجاجية في الصيف أو في الشتاء؟ علل إجابتك.
2. أيهما أكبر، قوى التماسك في زيت المحرّكات أو في الماء؟
3. كيف يمكنك بتجربة بسيطة مقارنة لزوجة سائلين؟
4. أعط تفسيراً علمياً لكلٍ مما يلي:

- a. ترداد لزوجة السائل بازدياد كثافته النسبية.
- b. تستهلك السيارات أثناء حركتها في الشتاء كمية من الوقود المستهلكة في الصيف.
- c. يستخدم زيت عالي اللزوجة في تزييت أجزاء الآلات التي يحدث احتكاك بينها.
- d. لا يصلح الماء لتزييت أجزاء الآلات التي يحدث احتكاك بينها.

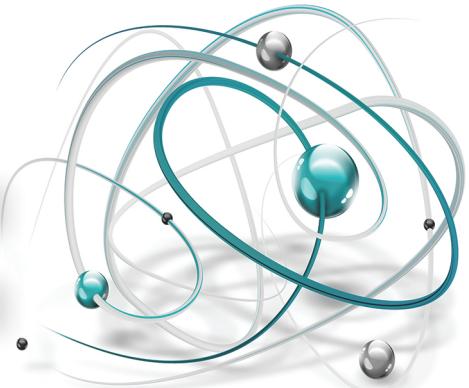
ثانياً: حل المسألة التالية:

كرة من الحديد، نصف قطرها $r = 1\text{ cm}$ ، الكتلة الحجمية للحديد $\rho_{\text{Fe}} = 7800 \text{ kg.m}^{-3}$ ، تسقط في الماء حيث إن كتلة الحجمية $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ Pas $= 1 \times 10^{-3}$ والمطلوب:

- استنتج العلاقة المحددة للسرعة الحدية في الماء، ثم احسب قيمتها.
- احسب شدّة قوّة مقاومة الماء لحركة الكرة لحظة الوصول إلى السرعة الحدية.
- احسب شدّة دافعه أرخميدس المؤثرة على الكرة أثناء حركتها داخل السائل.
- وازن بين ثقل الكرة ومجموع شدّة دافعه أرخميدس وقوّة مقاومة الماء لحركة الكرة لحظة الوصول إلى السرعة الحدية، وماذا تستنتج؟

3-2

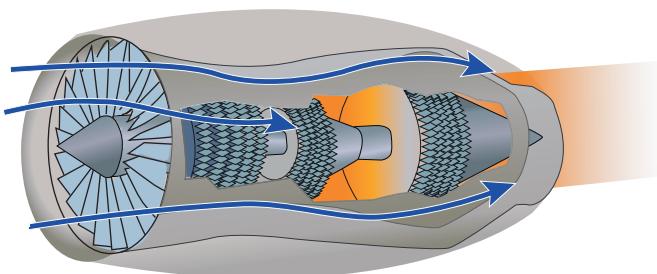
الحرارةُ والطاقةُ الداخليةُ



الأهداف:

- * يتعَرَّفُ الجملةُ الترموديناميكية.
- * يشرحُ التوازنُ الحراري.
- * يُعَدِّدُ أنواعَ التحوُّلاتِ التي تطرأُ على جملةٍ مادِيَّة.
- * يفسِّرُ الطاقةُ الداخليَّةُ.
- * يذكرُ وحداتِ الطاقةِ الداخليَّةُ والعلاقةُ بينها.
- * يقومُ بتجاربٍ تبيَّنُ تبادُلَ الحرارةُ والعملُ بينَ الجملةِ المغلقةِ والوسطِ الخارجيِّ.
- * يذكرُ قوانينَ الترموديناميك.
- * يصفُ العواملُ التي تتوقفُ عليها كميةُ الطاقةِ الحراريَّةُ المفقودة أو المكتسبة.
- * يستنتجُ علاقةَ الطاقةِ الحراريَّةُ بالعواملِ التي تتوقفُ عليها.

الاحظُ الصورةَ الآتية:



الكلمات المفتاحية:

- * علم الترموديناميك
Thermodynamics
- * الطاقة الداخليَّة
Internal Energy
- * الجملة المفتوحة
Open System
- * الجملة المغلقة
Closed System
- * الجملة المعزولة
Isolated System
- * ثابت بولتزمان
Boltzmann Constant

ما الذي تراهُ في هذه الصورة؟
كيفَ يعمُلُ المُحَرِّكُ النَّفاثَةِ؟

في مقدمة المُحَرِّكِ يوجد ضاغطٌ هواءً يسحبُ الهواء المحيط ليدخله إلى غرفة الاحتراق، حيث يتفاعلُ الوقودُ مع الأكسجين ويتسخنُ باقيُ الهواء ليخرجَ مع نواتج الاحتراق من مؤخرة المُحَرِّك، مما يؤمِّنُ الدفعَ اللازم للطائرة النَّفاثة.

ما الذي نكتبه من تسخين الهواء؟ ولماذا يسعى الباحثون دوماً إلى رفع درجة حرارة الغازات التي يجري نفثها؟
لإجابة لا بدّ من التعرُّف على علم الترموديناميك.



نصادفُ في حياتنا اليومية عدداً من الظواهر مثلَ:

- انصهار الجليدِ عندَ تعرّضه للحرارة.



- ارتفاعُ درجة حرارة كمية من الماء لدى تسخينها فوقَ موقد.



- ارتفاعُ درجة حرارة الهواء في منفاص الكرة أو إطار الدراجة عند القيام بضغطِ الهواء.

ماذا يرافق التحولات في المثالين الأول والثاني؟

ماذا يرافق التحول في المثال الثالث؟

ما الشيء المشترك بين هذه الظواهر؟

أستنتجُ:

- يرافق التحولات الأول والثاني تبادلٍ حراريٍ عن طريق التسخين تحتَ ضغط جوي نظامي.
- يرافق التحول الثالث تغييرٌ في درجة حرارة الهواء عن طريق تقديم عمل للهواء.
- تشتراك هذه الظواهر بأنّها تعتمد التبادل الحراري.

أستنتاجُ:

علم الترموديناميك يدرس التحولات (التغييرات) التي تطرأ على المادة ويرافقها تبادل حراري.

1-1-3 أنواع التحولات الترموديناميكية

تصنف التحولات التي تطرأ على جملة ترموديناميكية حسب خواصها.

نذكر منها:

1. التحولات متساوية درجة الحرارة: وهي تجري بدرجة حرارة ثابتة.

مثال: يغلي الماء متحولاً إلى بخار بدرجة حرارة ثابتة تساوي 100°C ، تحت ضغط جوي نظامي.

هل يغلي الماء في قمة جبل الشيخ في درجة الحرارة 100°C ؟

2. التحولات متساوية الضغط: وهي تجري بضغط ثابت.

مثال: عندما نقوم بطهي الطعام في إناء مفتوح فإن التحول يكون متساوي الضغط، حيث الضغط يساوي الضغط الجوي.

هل يمكن إعطاء صفة أخرى لهذا التحول؟

3. التحولات متساوية الحجم: وهي تجري بحيث يبقى حجم الجملة ثابتاً.

مثال: عند طبخ الطعام في إناء مغلق، تمدد مهمل (طنجرة الضغط) يكون التحول متساوي الحجم.

هل تبلغ درجة حرارة الماء عند غليانه في طنجرة الضغط 100°C ؟

4. التحولات الكظومة: وهي التي تجري دون تبادل حراري مع الوسط الخارجي.

مثال: إذا أدخلنا قطعة من الجليد إلى داخل مسurer يحوي ماء ساخناً، وانصهر الجليد، نقول عن انصهار الجليد إنه تحول كظوم إذا افترضنا أن الجملة الترموديناميكية هي كل ما يحويه المسurer.

هل يبقى التحول كظوماً لو كانت الجملة الترموديناميكية هي قطعة الجليد فقط؟

2-3 الجملة الترموديناميكية

2-3-1 تعريف الجملة الترموديناميكية

عند دراسة ظاهرة انصهار الجليد، يُوجه الاهتمام إلى كمية من الجليد وتجري 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 وبعد ذلك، نتيجة التجارب والقياسات يمكن التوصل لعدد من الاستنتاجات منها:

a. درجة حرارة انصهار الجليد تساوي 0°C تحت الضغط الجوي النظامي.

b. عند تحول الماء من الطور الصلب إلى الطور السائل في الدرجة السابقة تتغير كتلته الحجمية من 1000 kg/m^3 إلى 920 kg/m^3 .

من المثال السابق يتبيّن أنّه للقيام بدراسة التحوّلات التي تحدث للمادة يجري تركيز الاهتمام على الجسم (قطعة الجليد مثلاً)، أو مجموعة الأجسام التي تجري عليها التحوّلات (قطع الجليد والماء السائل)، ونطلق على الجسم (أو الأجسام المدرّسة معاً) اسم الجملة الترموديناميكية. من هنا نعرّف الجملة الترموديناميكية على أنّها: «جزءٌ من الكون يخضع لتحولات، هذا الجزء يحدُّ سطح مغلق (حقيقي أو وهمي) نسميه سطح الجملة، ونسمّي كلّ ما يقع خارج سطح الجملة: الوسط الخارجي».

مثال:

- كميّة من سائل ضمن إناء، حيث يمثّل السائل الجملة الترموديناميكية، والسطح المشترك بين السائل والإناء حدود الجملة، كما يمكننا أن نختار السائل والإناء كجملة ترموديناميكية، وسطح الإناء الخارجي يكون هو سطح الجملة.

2-2-3 تصنيف الجمل الترموديناميكية

تصنّف الجمل الترموديناميكية حسب طبيعة التبادلات بين الجملة والوسط الخارجي إلى ثلاثة أصناف:

1. الجملة المعزولة: هي الجملة التي لا تتبادل الطاقة أو المادة مع الوسط الخارجي.

مثال: كميّة من الماء ضمن مسّعٍ مغلق.

2. الجملة المفتوحة: هي الجملة التي تتبادل الطاقة والمادة مع الوسط الخارجي.

مثال: إناء مفتوح يحوي ماء، نلاحظ أنّ بخار الماء يمكن أن يخرج من فتحة الإناء، ومن ثم تتبادل الجملة المادة (بخار الماء) مع الوسط الخارجي. كما أنّ الحرارة يمكن أن تنتقل إلى الماء من الوسط الخارجي من خلال الفتحة أو عبر جدران الإناء.

3. الجملة المغلقة: هي الجملة التي لا تتبادل المادة مع الوسط الخارجي، لكنّها تتبادل الطاقة على شكل حرارة أو عمل أو إشعاع.

أمثلة:

- كميّة من الماء ضمن وعاء مغلق ونقل للحرارة، في هذا المثال تتبادل الجملة الحرارة مع الوسط الخارجي.
- المُحرّك البخاري:** يقدم عملاً إلى الوسط الخارجي.
- المصباح الكهربائي:** يقدم الطاقة بالإشعاع إلى الوسط الخارجي.

3-3 التوازن الحراري والمبدأ صفر في الترموديناميك

- آخذ كرة من الحديد وأقيس درجة حرارتها، وأسجل قرائيتي.
 - آخذ وعاءً يحوي ماءً ساخناً، وأقس درجة حرارته، وأسجل قرائيتي.
 - أضع كرة الحديد لخمس دقائق في الماء الساخن، وأقس درجة حرارة الماء، وأسجل قراءتي.
 - أخرج كرة الحديد من الماء، وأقس درجة حرارة كل من كرة الحديد والماء، وأسجل قرائيتي.
 - أقارن النتائج التي حصلت عليها؟
- إن لكل من كرة الحديد والماء بعد انتهاء التجربة مباشرة درجة الحرارة ذاتها. نقول إنه قد حصل توازن حراري بين قطعة الحديد والماء الساخن.

استنتاج:

يحصل التوازن الحراري بين جسمين متلامسين عندما يُصبح لهما درجة الحرارة ذاتها.

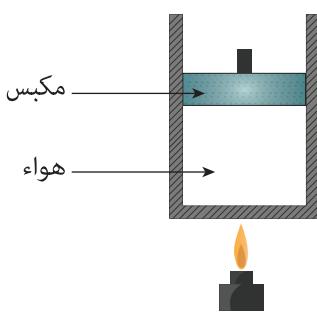
المبدأ صفر: لنفرض جسماً يلامس في أحد أطرافه جسماً ثانياً، وفي الطرف الآخر جسماً ثالثاً، فإذا كان الجسم الأول في توازن حراري مع الجسم الثاني يكون له درجة حرارة هذا الجسم، وأن كان في توازن حراري مع الجسم الثالث يكون للجسم الثالث درجة حرارة الجسم الأول، إذاً للجسم الثاني وللجسم الثالث درجة الحرارة نفسها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

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

4-3 دراسة الجملة الترموديناميكية المغلقة

يمكن للجملة المغلقة أن تتبادل الحرارة مع الوسط الخارجي، كما يمكن أن تقدم لها عملاً أو أن تقدم هذه الجملة العمل إلى الوسط الخارجي، وسنوضح ذلك من خلال الأمثلة الآتية:

أولاً: تسخين أسطوانة تحتوي هواءً ومغلقة بمكبس



أسطوانة شاقولية معدنية مغلقة بمكبس، كتلته m يمكنه الحركة بحرية، تحتوي الأسطوانة على هواء درجة حرارته تساوي درجة حرارة الوسط الخارجي، نعرض الأسطوانة إلى منبع حراري، فيتمدد الغاز ويقوم بدوره بدفع المكبس إلى الأعلى بمقدار h ، نستنتج أن الغاز قد قدم عملاً W موجباً إلى المكبس يساوي:

$$W = mgh > 0$$

ولم يكن بإمكان الغاز تقديم هذا العمل لو لا تسخينه.

أُستنتج أنَّ الغاز قد اكتسب الطاقة نتيجة التسخين، ثمَّ قدم جزءاً منها إلى المكبس على شكل عملٍ، والطاقة التي اكتسبها الغاز نتيجة التسخين ندعوها كمية الحرارة.

كمية الحرارة: هي الطاقة التي تكتسبها أو تخسرها الجملة نتيجة تلامسها مع جملة أخرى تختلف عنها بدرجة الحرارة.

ثانياً: تسخين كمية من الماء على موقد

عند وضع إناء يحوي كمية من الماء كتلتها m على موقد، ترتفع درجة حرارة الماء، ونقول إنَّ الماء قد اكتسب كمية من الحرارة Q تُحسب من العلاقة:

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

حيث:

C_o : الحرارة الكليلية للماء.

t_2 : درجة حرارة الماء النهائية.

t_1 : درجة حرارة الماء البدائية.

تطبيق (1)

يستهلك شخص من أجل الاستحمام L 40 من الماء الساخن بدرجة 45°C ، ويستخدم لذلك سخاناً كهربائياً لتسخين الماء الذي درجة حرارته الابتدائية تساوي 15°C . احسب الطاقة الكهربائية التي يستهلكها السخان، ثمَّ احسب كلفة التسخين علماً أنَّ كلفة الكيلوواط الساعي 5 ليراتٍ سورية.

علماً أنَّ الحرارة الكليلية للماء $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ ، $C_o = 4186 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$.

الحل:

نحسب أولاً كتلة L 40 من الماء في الدرجة 15°C من العلاقة:

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

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

نحسب كمية الحرارة من العلاقة:

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

وهي ذاتها الطاقة التي يستهلكها السخان الكهربائي الكيلوواط الساعي يساوي:

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

فتكون كمية الحرارة مقدرة بالكيلوواط ساعي:

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

الكلفة بالليرة السورية: $1.4 \times 5 = 7$

تجدر الملاحظة هنا أنَّ هذا الحساب:

- يفترض أنَّ الخزان الذي يجري فيه تسخين الماء معزول حراريًّا.
- يفترض إهمال كمية الحرارة اللازمة لتسخين جدران الخزان (لا يوجد ضياع في الطاقة).
-

ثالثًا: ضغط غاز داخل أسطوانة

هل قمت سابقًا بفتح دولاب دراجة هوائية أو كرة باستخدام مِنفَاخ يدوبي؟ إذا حدث ذلك فلا بد أنك لاحظت أنَّ درجة حرارة المِنفَاخ قد ارتفعت، وأصبح جداره الخارجي ساخنًا (خصوصاً إذا كان المِنفَاخ معدنيًّا)، فكيف تفسِّر ارتفاع درجة حرارة المِنفَاخ؟

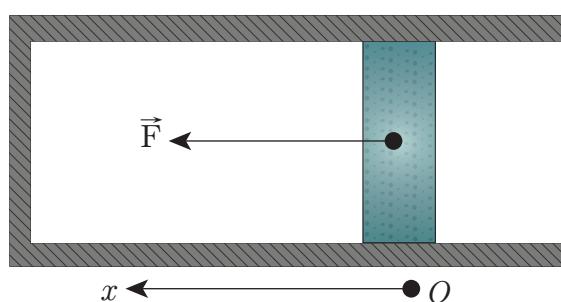
هل احتكاكِ مِكبس المِنفَاخ مع الجدار الداخلي للمِنفَاخ هو السبب في ارتفاع درجة حرارة المِنفَاخ؟

هل تلاحظ ارتفاعًا في درجة حرارة المِنفَاخ، إذا أعدت تجربة استخدام المِنفَاخ مع طرح الهواء إلى الوسط الخارجي بدلاً من الدولاب؟

لا ترتفع درجة الحرارة بشكل ملموس في حال أعدنا التجربة مع طرح الهواء خارجاً، إذن لا يمكن أن يكون الاحتكاك هو السبب الرئيسي في ارتفاع درجة حرارة المِنفَاخ.

إذاً هناك تفسير آخر هو أنَّ عملية ضغط الهواء أدت إلى ارتفاع درجة حرارة المِنفَاخ، فكيف تم ذلك؟

عندما نطبق على المِكبس قوَّة F لضغط الهواء يتقلَّ المِكبس مسافة d ، يكون عمل هذه القوَّة في أثناء الانتقال مُساوياً:



$$W = Fd$$

يتم تقديم هذا العمل إلى هواء المِنفَاخ، ولما كانت درجة حرارة الهواء قد ارتفعت فهذا يقتضي أن يكون هذا العمل هو الذي أدى إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء.

أستنتاج:

يمكن رفع درجة حرارة جملة ترموديناميكية بطريقتين:

- الأولى: بتسخينها بواسطة موقد، أي بإعطائِها كمية من الحرارة.
- الثانية: بضغطها، أي بتقديم عمل إلى هذه الجملة.

5-3 الطاقة الداخلية لجملة ترموديناميكية

1-5-3 تعريف الطاقة الداخلية

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

وبالتالي:

الطاقة الداخلية لجملة ترموديناميكية: هي مقدارٌ فيزيائي يميز الجملة الترموديناميكية، ويعبر عن مجموع أشكال الطاقة داخل الجملة، وتغير هذا المقدار يساوي الطاقة التي تبادلها الجملة مع الوسط الخارجي، فيزدادُ هذا المقدار عندما تكتسب الجملة طاقةً من الوسط الخارجي، وينقصُ عندما تعطى الجملة طاقةً إلى الوسط الخارجي.

2-5-3 تفسير الطاقة الداخلية

نعلم أن الغاز ضمن أسطوانة مغلقة مكونٌ من جزيئات مُنفصلة، وهي تتحرّك حرّكةً عشوائية، وتتصادم فيما بينها، كما أنه توجّد قوى تجاذبٍ وتنافرٍ بين هذه الجزيئات نظراً لأنّها تحمل شحناتٍ كهربائية.

فإذا كان الغاز ممددًا بشكلٍ كافٍ يمكن إهمال قوى التجاذب والتنافر بين الجزيئات، في هذه الحالة يمكن حساب الطاقة الحرّكية لـكل جزءٍ ومجموع الطاقات الحرّكية لهذه الجزيئات يعبر عن الطاقة الداخلية للغاز.

وإذا قمنا بتسخين الغاز فإنّا نعطيه طاقةً إضافيةً، هذه الطاقة تضاف إلى الطاقة الداخلية للغاز، بعبارةٍ أخرى تزداد الطاقة الحرّكية المُتوسّطة لجزيئات الغاز، ولما كان التسخين يرفع درجة حرارة الغاز، أستنتج أنّ درجة الحرارة ترتبط بشكلٍ مباشر بالطاقة الحرّكية المُتوسّطة لجزيئات.

يعبر عن هذا الارتباط بالعلاقة:

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

حيث:

ع: الطاقة الحرّكية الانسحابية المُتوسّطة لجزيئات، ووحدتها J

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

T: درجة الحرارة المطلقة، وهي ترتبط بدرجة الحرارة المئوية t بالعلاقة $T = t + 273.15$ وتقدير بالكالفن.

تجدر الإشارة إلى أنّ هذا النموذج هو الأبسط بين الغازات كغاز الهليوم المُنخفض الضغط (أقل من الضغط الجوي)، وبشكل عام يجب الأخذ بعين الاعتبار مُساهمات أخرى في الطاقة الداخلية.



أشكال أخرى للطاقة الداخلية

إذا كان الجزيء مكوناً من أكثر من ذرة فيمكنه القيام بحركة دورانية، أي يكتسب طاقة حركية دورانية، وهذا يساهم في الطاقة الداخلية للغاز، كما يمكنه القيام بحركة اهتزازية، فتساهم الطاقة الاهتزازية أيضاً في الطاقة الداخلية للغاز.

في حالة الغاز الممدد يمكن إهمال قوى التجاذب والتنافر بين الجزيئات، إن هذا الأمر غير ممكن عندما يكون لدينا غاز مضغوط، حيث يضاف إلى الطاقة الحرارية للجزيئات الطاقة الكامنة للتأثيرات المتبادلة بين الجزيئات.

في حالة الأجسام الصلبة يؤخذ بعين الاعتبار طاقة الارتباط بين الذرات المكونة للجسم الصلب.

3-5-3 حساب تغيير الطاقة الداخلية لجملة

أولاً: اصطلاح:

نعطي لكل ما تكتسبه الجملة إشارةً موجبة، وكل ما تفقد الجملة إلى الوسط الخارجي إشارةً سالبة.

مثال: إذا كانت كمية الحرارة المتبادلة بين الجملة المدروسة والوسط الخارجي تساوي $J = -45\text{ J}$ نستنتج أن الجملة قد فقدت $J = 45\text{ J}$ ، وإذا كان العمل الذي تلقته الجملة $J = -45\text{ J}$ نستنتج أن الجملة قد قدمت إلى الوسط الخارجي 45 J .

يمكن للجملة المعلقة أن تتبادل الطاقة مع الوسط الخارجي بطرق مختلفة منها التسخين والعمل والإشعاع، الذي نذكر مثالاً عليه الشمس التي تفقد طاقتها باستمرار عن طريق الإشعاعات.

ثانياً: المبدأ الأول في الترموديناميك

نهتم في دراستنا الراهنة بالجمل المغلقة التي تبادل الطاقة من خلال العمل أو كمية الحرارة، فإذا كانت كمية الحرارة Q ، والعمل الذي تكتسبه الجملة W ، والطاقة الداخلية للجملة U ، فإن تغير الطاقة الداخلية للجملة، يعبر عنه المبدأ الأول في الترموديناميك.

المبدأ الأول في الترموديناميك: لكل جملة طاقة داخلية، نرمز لها بـ U ، تغير هذه الطاقة ΔU يساوي مجموع الطاقة بأشكالها المختلفة التي تتلقاها الجملة من الوسط الخارجي.

في حال اقتصر تبادل الطاقة على تلقي كمية من الحرارة Q ، وتلقى عملاً W ، نكتب المبدأ الأول:

$$\Delta U = Q + W$$

نلاحظ أن هذا المبدأ يعبر عن انحفاظ الطاقة.

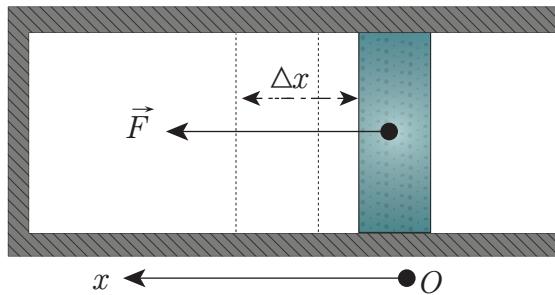
ثالثاً: حساب العمل الناجم عن الضغط

1. حالة غاز ضمن أسطوانة مغلقة بمكبس

لتكن \vec{F} القوة الخارجية المؤثرة في الجملة الناتجة عن الضغط الخارجي P_{ext} ، لنفترض أن مساحة سطح المكبس تساوي s ، إن شدة القوة الخارجية المؤثرة في المكبس تساوي $F = P_{ext} s$ وهي متوجهة كما في الشكل، ومن ثم يكون عمل هذه القوة عند انتقال Δx (بافتراض Ox محور موجّه من اليمين إلى اليسار):

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

إذا تحرك المكبس إلى اليسار، أي بجهة القوة، فيكون عمل القوة يكون موجباً، وفي هذه الحالة نلاحظ أن

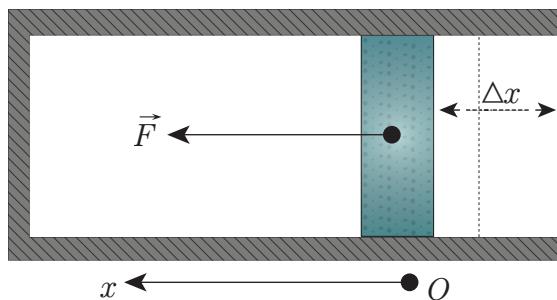


الغاز قد تقلص وبالتالي نقص حجمه، أي تغيير حجمه ΔV يكون سالباً، ولما كان Δx مقداراً موجباً فإن $\Delta V = -s \times \Delta x$ ومن ثم:

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

إذا تحرك المكبس إلى اليمين، أي بعكس جهة القوة \vec{F} ، فإن عمل القوة يكون سالباً، وفي هذه الحالة نلاحظ أن الغاز قد تمدد، وبالتالي ازداد حجمه، أي تغيير حجمه ΔV يكون موجباً، ويكون Δx مقداراً سالباً، وبالتالي $\Delta V = s \Delta x$ ومن ثم:

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



2. تعميم

نعمت النتيجة السابقة على جميع الحالات التي يتغير فيها حجم الغاز بتأثير الضغط الخارجي. عندما يتغير حجم غاز بقدر ΔV نتيجة القوى الناجمة عن ضغط خارجي P_{ext} فإن العمل الذي يتلقاه الغاز يساوي:

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

تطبيق (2)

أسطوانةً معزولةً حراريًا مغلقة بمكبس مُهمَل الكتلة قابل للحركة دون احتكاك، كان المكبس مثبتاً في البداية. تحتوي الأسطوانة على غاز مضغوطٍ بضغطٍ أعلى من الضغط الجوي وحجمه الابتدائي $V_i = 0.1 \text{ m}^3$ ، ترك المكبس ليتحرّك نتيجة تمدد الغاز، فيصبح حجم الغاز داخل الأسطوانة $V_f = 0.5 \text{ m}^3$ ، إذا علمت أن الضغط الخارجي يساوي الضغط الجوي النظامي $P_0 = 1 \text{ atm}$ ، احسب تغيير الطاقة الداخلية للغاز.

الحل:

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

نذكر أنّ العمل الذي اكتسبه الغاز:

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

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

تغير الطاقة الداخلية للغاز:

$$\Delta U = Q + W$$

ولكن $Q = 0$ لأن الجملة معزولةً حراريًا، نستنتج:

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

أي الطاقة الداخلية للغاز تناقصت.

رابعاً: المبدأ الثاني في الترموديناميك

وجدنا سابقاً أن درجة حرارة كمية من الماء البارد ترتفع لدى تسخينه فوق موقد حراري أي أن الحرارة تنتقل من الموقد إلى الماء البارد يمكن تعليم ذلك من خلال أحد نصوص المبدأ الثاني في الترموديناميك:

تنقل الحرارة بشكلٍ تلقائيٍ من الجسم الساخن إلى الجسم البارد.

مع الإشارة هنا أنه يمكن نقل الحرارة من جسم بارد إلى آخر ساخن، ولكن ذلك لا يحدث بشكل تلقائي، ففي البراد مثلاً تُنقل الحرارة من داخل البراد إلى خارجه (ذي درجة حرارة أعلى) ولا يمكن ذلك دون تقديم طاقة.

- الجملة الترموديناميكية: جزء من الكون يخضع لتحولات، هذا الجزء يحدّه سطح مغلق (حقيقي أو وهمي) نسميه سطح الجملة، ونسمى كل ما يقع خارج سطح الجملة: الوسط الخارجي.
- 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
- المبدأ صفر في الترموديناميك: جسمان في توازن حراري مع جسم ثالث يكونان متوازين حرارياً فيما بينهما.
- المبدأ الأول في الترموديناميك: إذا تبادلت الجملة العمل والحرارة مع الوسط الخارجي فإن طاقتها الداخلية تتغيّر بمقدار: $\Delta U = Q + W$.
 - Q : كمية الحرارة التي تلقاها الجملة وتحسب من العلاقة $Q = mc_0 \Delta t$
 - W : العمل الذي تلقاه الجملة ويعحسب من العلاقة $W = -P_{ext} \Delta V$
 - ΔV : تغير حجم الجملة (في حالة الزيادة موجبة، في حالة النقصان سالبة)
- الطاقة الحرارية المتوسطة لجزيء في غاز: $\epsilon = \frac{3}{2}kT$
حيث:
 - ϵ : الطاقة الحرارية الانسحابية المتوسطة للجزيئات و وحدتها J.
 - k : ثابت بولتزمان $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
 - T : درجة الحرارة المطلقة، وهي ترتبط بدرجة الحرارة المئوية t بالعلاقة $T = 273.15 + t$ وتقدر بالكالفن.



أختبر نفسك

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. إذا سخّنا مزيجاً من الماء السائل والجليد فوق موقدٍ فإنَّ درجة حرارة المزيج:
a. ترتفع. b. تنخفض. c. تبقى على حالها.
2. عندما يأخذ الماء بالغليان فإنَّ درجة حرارته:
a. تبقى ثابتة. b. تزداد مع زيادة الغليان. c. تزداد بزيادة التبخر.
3. الطاقة الداخلية لمول من الماء في الطُّور السائل هي:
a. أكبر من الطاقة الداخلية لمول من الماء في الطُّور الغازي، وبدرجة الحرارة ذاتها.
b. أصغر من الطاقة الداخلية لمول من الماء في الطُّور الغازي، وبدرجة الحرارة ذاتها.
c. تساوي الطاقة الداخلية لمول من الماء في الطُّور الغازي وبدرجة الحرارة ذاتها.
4. عند تجمُّد الماء بدرجة الحرارة 0°C فإنَّ طاقته الداخلية:
a. ترداد. b. تنقص. c. تبقى على حالها.
5. عند إدخال قطعةٍ من الحديد الساخن إلى حجرةٍ مغلقةٍ معزولةٍ حراريًا تحتوي الماء البارد، فإنَّ الطاقة الكلية لجملة الحديد والماء:
a. ترداد. b. تنقص. c. تبقى على حالها.
6. الطاقة الداخلية لجملةٍ معزولةٍ تحصل فيها تفاعلاتٍ كيماوية:
a. ثابتة. b. متزايدة دوماً. c. متناقصة دوماً.
7. في الجسم الصلب تكون مُساهمة الطاقة الكامنة للروابط بين الذرات في الطاقة الداخلية للجسم الصلب:
a. موجبة. b. سالبة. c. معدومة.

ثانياً: أعط تفسيراً لكل مما يأتي:

1. عند طرق ساقٍ من الحديد بمطرقة نجد أنَّ درجة حرارة الجزء المطروق قد ارتفعت.
2. بعد تشغيل المصباح الكهربائي يحافظ السلك المُتوهّج على درجة حرارته بالرغم من تلقّيه المستمر للطاقة الكهربائية.
3. عند احتراق الوقود في محرك السيارة فإنَّ 20% تقريباً من الطاقة الحرارية تتحول إلى طاقة حرارية، ومع ذلك لا ترتفع درجة حرارة المحرك إلى قيمة خطيرة.

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

نسخن الماء فوق موقدٍ، فترتفع درجة حرارته من الدرجة $t_1 = 20^\circ\text{C}$ إلى الدرجة $t_2 = 50^\circ\text{C}$ ، أوجد تغيير الطاقة الداخلية للماء.

المسألة الثانية:

لدينا g 20 من غاز الأرغون في أسطوانة مغلقة، نفترض أن الضغط صغيرٌ ضمن الأسطوانة (الغاز ممدد) بشكل يسمح بإهمال قوى التأثير المتبادل بين جزيئات الغاز. نقوم بتسخين هذا الغاز، فيكتسب طاقةً حراريةً تساوي $Q = 20 \text{ J}$ المطلوب حساب:

- مقدار تغيير الطاقة الداخلية للغاز؟
- مقدار تغيير الطاقة الحركية المتوسطة لكل جزيء في الغاز.

المسألة الثالثة:

لدينا غازٌ ضمن أسطوانة مغلقة معزولة حراريًا، ومغلقة بمكبس معزول حراريًا تطبق قوة ثابتة على المكبس F مما يؤدي إلى ضغط الغاز وانتقال المكبس بمقدار d ، أوجد تغيير الطاقة الداخلية للغاز.

المسألة الرابعة:

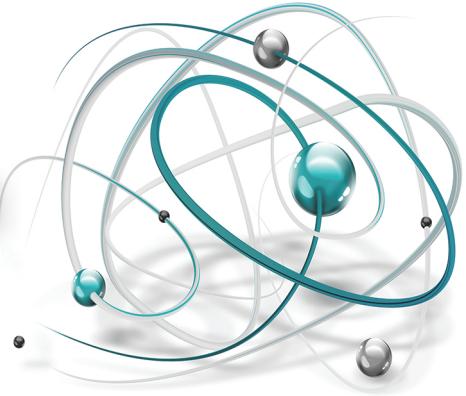
لدينا غازٌ ضمن أسطوانة معزولة حراريًا، مغلقة بمكبس مهمَّل الكتلة، مساحة سطحه 40 cm^2 . نأخذ $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ ، والضغط الخارجي $P_0 = 10^5 \text{ Pa}$. نضع فوق المكبس كتلةً مقدارها $m = 8 \text{ kg}$ فيضغط المكبس بمقدار 20 cm .

المطلوب:

- احسب تغيير الطاقة الداخلية للغاز.
- نفترض أن الغاز الموجود داخل الأسطوانة هو غاز الهليوم ويبلغ عدد مولات الغاز 3 mol . احسب مقدار ارتفاع درجة حرارة الغاز. (ثابت الغازات العام يساوي $R = 8.314 \times 10^{-23} \text{ J.mol.k}^{-1}$).

4-2

الحرارة الكتليلية



يستخدم الإنسان حواسه للتمييز بين الأجسام الباردة والأجسام الساخنة، ولكن هذا غير كافٍ لإعطائنا وصفاً دقيقاً عن حالة الجسم الحرارية. ففي يوم صيفي مشمس على الرغم من :

– تعرّض الرمل عند شاطئ البحر وكذلك ماء البحر للطاقة الحرارية ذاتها من المنبع الحراري ذاته (الشمس)، وخلال الفترة الزمنية ذاتها، نلاحظ أن الرمل يصبح أكثر سخونةً من ماء البحر

– تعرّض زجاج النوافذ وإطار الألمنيوم الخارجي للطاقة الحرارية ذاتها من المنبع الحراري ذاته (الشمس)، وخلال الفترة الزمنية ذاتها نلاحظ أن زجاج النوافذ أقل سخونةً من إطار الألمنيوم

فهل تسأليت: ما السبب في ذلك؟

الأهداف:

- * التعرّف إلى مفهوم الحرارة الكتليلية وأهميته بتوصيف المادة.
- * التعرّف على حرارة الانصهار وثبات درجة حرارة الجسم النقي عند انصهاره أو تجمده.
- * التعرّف على مفهوم الناقلية الحرارية وأهميتها.

الكلمات المفتاحية:

- * الحرارة الكتليلية Mass Heat
- * السعة الحرارية Heat Capacity
- * المكافئ المائي للمسح Water Equivalent Calorimeter

أجرب وأستنتج:

لإجراء التجربة أحتج إلى:

1. أنابيب اختبار متماثلة.
2. حمام مائي ساخن.
3. ميزان حرارة.
4. ماء مقطّر.
5. زيت.

خطوات التجربة:

- أضع في أنبوب ماء مقطّرًا وفي أنبوب آخر زيتاً، بحيث تكون الكتلتان في الأنبوتين متساويتين.
 - أقيس درجة الحرارة في كل أنبوب.
 - أضع الأنبوتين في حمام مائي ساخن فترة لا تزيد عن خمس دقائق.
 - أقيس درجة الحرارة في كل أنبوب. ماذالاحظ؟
- كيف يمكنني أن أجعل درجة الحرارة متساوية في الأنبوتين؟

الاحظ أن كمية الحرارة التي يمتلكها الجسم لترتفع درجة حرارته تختلف باختلاف نوع المادة.

أستنتاج: الحرارة الكتليلية لمادة هي كمية الحرارة التي يجب إعطاؤها لوحدة الكتل من هذه المادة لكي ترتفع درجة حرارتها درجة مئوية واحدة.

يرمز للحرارة الكتليلية بالرمز C ، ووحدة قياسها في الجملة الدولية هي $J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$ ، وتنتتج العلاقة المعتبرة عنها كما يلي: كمية الحرارة التي تكسبها المادة.

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

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

C_o : الحرارة الكتليلية للمادة.

Q : كمية الحرارة التي تكسبها المادة أو تفقدُها، وحدة قياسها J .

m : كتلة المادة، وحدة قياسها kg .

Δt : مقدار التغيرات في درجة الحرارة، وحدة قياسها $^\circ C$.

يبين الجدول التالي القيم الوسطية للحرارة الكتليلية لبعض المواد عند درجة حرارة $20^\circ C$:

الالمانيوم	الرصاص	النحاس	الأوكسجين	الهواء	الهdroجين	زيت البرافين	الإيثانول	الماء	المادة
900	126	383	913	993	14300	2130	2500	4180	الحرارة الكتليلية $J \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$

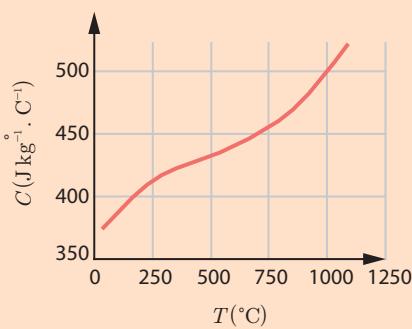
نلاحظ من الجدول السابق:

- إنَّ كُلَّ مادَّةٍ حرَّارةً كتليَّةً مُختلِفةً عن الأُخْرَى، يعودُ السببُ إلى: الطاقةُ التي تمتَصُّها المادَّةُ تؤثِّرُ بطرائقٍ مُختلِفةٍ على جزيئاتِ المادَّة.
- a. إنَّ جزءَ الطاقةِ الذي يسبِّبُ زيادَةَ حرَّكةِ الذرَّاتِ هو الذي يسبِّبُ ارتفاعًا في درجةِ حرارةِ المادَّة.
- b. إنَّ جزءَ الطاقةِ الذي يزيدُ من الحركةِ الدورانِيَّةِ والاهتزازيَّةِ للذرَّاتِ المكوِّنةِ للجزيَّءِ وَالذي يسبِّبُ استطالةَ الروابطِ (إضعافِ الروابطِ) بينِ الجزيئاتِ يختَرُّ على شكلِ طاقةٍ كامِنةً.
- إنَّ الحرَّارةَ الكتليَّةَ للماءِ هي الأكْبَرُ بينِ السُّوائل؛ لأنَّ للماءِ قدرَةً عاليَّةً على احتِزانِ الحرَّارةِ، فكميَّةُ صغيرَةٍ منهُ تُسْتَطِعُ أنْ تختَرُّ كمِيَّةً كبيِّرَةً من الحرَّارةِ، ولهذا السبب يصلُحُ الماءُ كسائلٍ للتبريدِ يُسْتَعملُ في مُحرِّكاتِ السَّيَاراتِ والمُحرِّكاتِ الأُخْرَى.

إضافة

كانَ أجدادُنا يستخدمونَ زجاجاتِ الماءِ لتدفئةِ أقدامِهم في ليالي الشتاءِ الباردِ، لأنَّ الماءَ يسخُّنُ ببطءٍ، ويبرُدُ ببطءٍ.

إثراء:



الشكل (1): تغييراتِ الحرارةِ الكتليَّةِ للتحاسِ بدلالةِ درجةِ الحرارةِ

الحرارةُ الكتليَّةُ ليستُ مقدارًا ثابتاً للمادَّةِ الواحدَةِ، بل يمكُنُ أنْ تتغيَّرَ بتغييرِ درجةِ الحرَّارةِ. لكنَّ هذا التغييرُ قد يكونُ كبيراً بدلالةِ درجةِ الحرَّارةِ، بحيثُ إنَّه لا يمكُنُ اعتبارُها كقيمةً ثابتَةً، وقد يكونُ طفيفاً بحيثُ يمكُنُ اعتبارُها ثابتَةً في مجالٍ مُحدَّدٍ من الحرَّارةِ. يبيِّنُ الشَّكلُ الآتي تغييرَ الحرارةِ الكتليَّةِ للتحاسِ بدلالةِ درجةِ الحرَّارةِ، لاحظُ أنَّ التغييرَ يمكُنُ أنْ يكونَ كبيراً في حالِ كانَ فرقُ درجاتِ الحرارةِ كبيراً.

تطبيق (1)

نسخُنُ كرةً من الحديد، كتلتها 60 g ، حرارتها الكتليَّة $105\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$ من الدرجة 20°C إلى الدرجة 90°C ، والمطلوب:

- احسب كميَّةُ الحرارةِ التي اكتسبتها كرَّةُ الحديد.
- نلقِي قطعةَ الحديد، وهي في الدرجة 90°C ، في مسَعِرٍ يحوي 0.5 kg من الماءِ درجةُ حرارته 20°C . احسبُ درجةَ حرارةِ التوازنِ باعتبارِ أنَّ الحرارةَ الكتليَّةَ للماءِ $4200\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$ وبإهمالِ كميَّةِ الحرارةِ التي يمتصُّها المسَعِر.

الحلُّ:

$$C_{\text{Fe}} = 105 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$$

$$m_1 = 60 \text{ g} = 60 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C}, \quad t_2 = 90^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 70^\circ\text{C}$$

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

.1

.2

$m_2 = 0.5 \text{ kg}$	$C_{\text{H}_2\text{O}} = 4200 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$	$t_2 = 20^\circ\text{C}$	الماء
$m_1 = 60 \times 10^{-3} \text{ kg}$	$C_{\text{Fe}} = 105 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$	$t_1 = 90^\circ\text{C}$	كرة الحديد

حسب مبدأ التوازن الحراري:

كمية الحرارة التي يكتسبها الماء تساوي كمية الحرارة التي تخسرها كرة الحديد:

$$m_1 C_{\text{Fe}} (t_1 - t) = m_2 C_{\text{H}_2\text{O}} (t - t_2)$$

$$60 \times 10^{-3} \times 105 (90 - t) = 0.5 \times 4200 (t - 20)$$

$$63(90 - t) = 5 \times 4200(t - 20)$$

$$5670 - 63t = 21000(t - 20)$$

$$5720 + 420000 = 21063t$$

$$t = 20.22^\circ\text{C}$$



الماء شفاف، وله حرارة كتليلة كبيرة، لذلك يمتلك كمية من الحرارة أكبر من التي تمتلكها اليابسة لترتفع إلى الدرجة نفسها، هل يمكنك تفسير علاقـة الشفافية بالحرارة الكتليلة الكبيرة للماء.

1-4 السعة الحرارية لجسم :

عندما نسخن جسمًا على موقدٍ، فإنَّ الجسم يتلقى كمية من الحرارة من الموقد، مما يسببُ زيادةً طاقته الداخليَّة، فترتفع درجة حرارة الجسم إذا لم يرافق التسخين تغيير في الحالة الفيزيائيَّة للجسم (مثل انصهاره أو تبخره).

نعتبرُ أنَّ درجة حرارة الجسم قد ارتفعت من الدرجة t_1 إلى الدرجة t_2 ، وأنَّ الجسم يتلقى في أثناء ذلك كمية من الحرارة Q .

نعرفُ السعة الحراريَّة لجسم C تحت ضغط ثابت من خلال العلاقة:

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

$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

وبالتالي:

السعـة الحراريـة: هي كمـية الحرارة الـلازمـة لـرفع درجة حرارة الجسم درجةً مئويةً واحـدة. نلاحظُ من خـالـل العـلـاـقـة السـابـقـة أـنـ السـعـة الحرـارـيـة تـقـدـرـ في الجـمـلة الدـولـيـة بـوـحدـة الـقـيـاس $\text{J} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1}$.

تطبيق (2)

تبلغُ السـعـة الحرـارـيـة لـجـسـم صـلـب $C = 2000 \text{ J} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1}$ ، احـسـبـ كـمـيـةـ الحرـارـة الـلازمـة لـرفع درـجـةـ حرـارـةـ هـذـاـ جـسـمـ منـ الـدـرـجـة 20°C إـلـىـ الـدـرـجـة 200°C .

الحل:

$$C = 2000 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1}$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 200^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 200 - 20 = 180^\circ\text{C}$$

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

$$Q = 2000 \times 180 = 36 \times 10^4 \text{ J}$$

1-1-4 العلاقة بين الحرارة الكتيلية والسعنة الحرارية:

إن كمية الحرارة التي يفقدُها جسم ما أو يكتسبُها تُعطى بالعلاقة:

$$Q = mC_o \Delta t$$

$$Q = C \Delta t$$

$$Q = mC_o$$

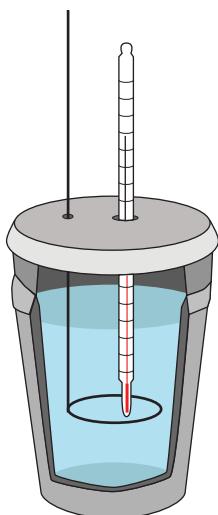
أي

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

السعنة الحرارية لجسمٍ تساوي الحرارة الكتيلية مقسومةً على كتلة الجسم.

أتفكر

إذا استخدمنَ ملعقَةً بلاستيكَةً لشرب الشَّاي الحار، فلن تحرق لسانك على الرَّغم من إنَّك قد تحرقُ لسانك لو وضعْت الشَّاي في فمك مُباشرةً، لماذا؟



2-1-4 المِسْعَر المائي للمسعر:

المِسْعَر: وعاء مغلق معزول حراريًا يحتوي إناءً داخليًّا معزولًا مصنوعً من الألミニوم، كتلته 0.5 kg ، يحيطُ به غلافٌ بلاستيكيٌّ مما يسمح بإهمال الحرارة المُتبادلَة بين الإناء الداخلي والغلاف الخارجي. يستخدم لخزن السوائل مع الحفاظ على درجة حرارتها لفترة من الزمن وكذلك يستخدم في إجراء القياسات الحرارية.

$$C_{\text{Al}} = 9000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$$

$$\text{والحرارة الكتيلية للماء } C_{\text{H}_2\text{O}} = 4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{-1}$$

كيف نحسب المكافئ المائي للمِسْعَر؟

السعنة الحرارية للمِسْعَر تمثل كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة المِسْعَر درجةً مئويةً واحدةً.

$$C = mC_{\text{Al}} = 0.5 \times 900 = 540 \text{ J} \cdot \text{C}^{-1}$$

يُعرَف المِكَافِئ المَائِي لِلْمِسْعَر μ : كتلة الماء التي ترتفع درجة حرارتها بالمقدار نفسه الذي ترتفع فيه درجة حرارة المِسْعَر فيما لو أعطى كمية الحرارة نفسها.

وبالتالي:

$$\mu C_o = C$$

$$4186 \mu = 450 \rightarrow \mu = \frac{450}{4186} = 0.108 \text{ kg}$$

2-4 استناداً إلْكَافِي المَائِي لِلْمِسْعَر:

أجْرُّبُ وأسْتَتَّجُ:

لِإِجْرَاءِ التَّجْرِيْبِ أَحْتَاجُ إِلَى:

- 1. مِسْعَر.
 - 2. ماء.
 - 3. ميزان حرارة.
 - 4. موقد.
- خطوات التجربة:

- أقيسْ درجة حرارة المِسْعَر ولتكن t_0 .
 - أضْعُ في المِسْعَر كمية من الماء الساخن، كتلتها m معلومة، ودرجة حرارتها t_1 ، وأنظُرْ عدّة دقائق ليتحقق التوازن الحراري.
 - أقيسْ درجة الحرارة داخل المِسْعَر ولتكن t_2
- أحسبْ كمية الحرارة التي خسرها الماء الساخن من العلاقة:

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

— ما هي كمية الحرارة التي يكتسبُها المِسْعَر؟

أَسْتَتَّجُ: أَنَّ الْجَمْلَة مُغْلَقَة وَمَعْزُولَة وَحَسْبَ مَبْدَأ مَصْوِنَيَّة الطَّاقَة؛ فَكَمِيَّةُ الْحَرَارَةِ الَّتِي يَفْقَدُهَا الماءُ السَّاخِنُ تَسَاوِي كَمِيَّةَ الْحَرَارَةِ الَّتِي يَكْتَسِبُهَا المِسْعَر.

$$\begin{aligned} Q_1 &= Q_2 \\ \mu C_o(t_2 - t_0) &= mC_o(t_1 - t_2) \\ \mu &= \frac{mC_o(t_1 - t_2)}{C_o(t_2 - t_0)} \\ \mu &= \frac{m(t_1 - t_2)}{t_2 - t_0} \end{aligned}$$

m : كتلة الماء.

t_2 : درجة حرارة الماء الساخن.

t_0 : درجة حرارة المِسْعَر.

t : درجة حرارة التوازن.



أختبر نفسك

أولاً: اختار الإجابة الصحيحة لكل ممّا يأتي:

1. نسخن 1 kg من الماء من الدرجة 20°C إلى الدرجة 40°C حيث $C_{\text{H}_2\text{O}} = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ إن كمية الطاقة الحرارية التي يكتسبها الماء قدرها:

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

2. نضع مكعب جليد في إناء يحوي ماء سائلاً، إنَّ درجة حرارة المزيج بجوار سطح المكعب:

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

3. إنَّ الحرارة الكتيلية لمادة تتعلق:

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

ثانياً: أعطِ تفسيراً علمياً لكل ممّا يأتي:

a. يستخدم الماء كسائلٍ لتبريد المحرّكات.

b. لا يستخدم سوائلٌ أخرى في عمليات تبريد المحرّكات.

c. يبرد الماء الساخن في إبريقٍ معدني بسرعةٍ أكبر من الماء الموضوع في إبريقٍ في البورسلان

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المشأة الأولى:

ملعقة من الحديد، كتلتها 75 g، سُخنت للدرجة 100°C ثم ثُرِكت لتبرُّد لدرجة حرارة الغرفة 20°C . فإذا علمت أنَّ الحرارة الكتيلية للحديد هي $C_{\text{Fe}} = 444 \text{ J} / \text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$:

a. احسب كمية الحرارة التي تخسرها الملعقة عندما تبرد.

b. نفترض أنَّ العملية كُرِّرت مرَّتين في اليوم ولمدة ثلاثة أيام. احسب كمية الحرارة التي تفقدُها ملعقة الحديد.

المشأة الثانية:

ليكن لدينا كمية من الماء، كتلتها 200 g بدرجة حرارة 90°C . رميها فيها قطعةً نحاسيةً كتلتها 40 g ودرجة حرارتها 20°C . ننتظر حتى تتواءن كلُّ من درجة حرارة الماء وقطعة النحاس. احسب درجة حرارة التوازن، علماً أنَّ الحرارة الكتيلية للنحاس هي $C = 383 \text{ J} / \text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$.

المشأة الثالثة:

نسخن وعاءً من الألミニوم الصلب، كتلته 0.5 kg، يحتوي 0.5 kg من الماء على موقد، فترتفع درجة حرارة الجملة من الدرجة 20°C إلى الدرجة 80°C .

1. احسب مقدار كمية الحرارة التي اكتسبها الألミニوم ($C_{\text{Al}} = 900 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

2. احسب مقدار كمية الحرارة التي اكتسبها الماء ($C_{\text{H}_2\text{O}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

3. أيُّهما اكتسب كمية حرارةً أكبر، ما سبب ذلك برأيك؟

4. احسب كتلة الماء التي تمتض كمية حرارة مُساويةٍ لكمية الحرارة التي امتصَّها الألミニوم.

الوحدة الثالثة

الكهرباء

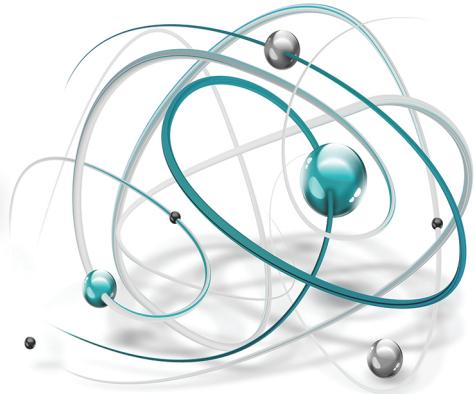
كيف تعمل آلة تصوير المستندات؟

ما يحدث داخل ماكينة تصوير المستندات شيء مدهش حقاً إذ تعمل هذه الآلة بمبدأ تجاذب الشحنات المتعاكسة معتمدة أساسيات الكهرباء الساكنة حيث تكون شحنات إضافية موجبة أو سالبة على المادة ولكن دون أن تكون لها حرية الحركة، فالشحنة الموجبة تجذب الشحنة السالبة والعكس صحيح.



١-٣

الكهرباء الساكنة



يتناولُ موضوعُ الكهرباء الساكنة دراسة الشّحنة الكهربائية والتأثير المُتبادل فيما بينها وهي في حالة التوازن، بينما يتناولُ موضوعُ الكهرباء المُتحركة حركة الشّحنة في الدّارات الكهربائية.



البرقُ والصّواعقُ من الظواهر التي تحدثُ في الطبيعة، ويرجعُ ذلك إلى الشّحنة الكهربائية المُتشكلة على سطح الغيوم.

الاحظْ وأفکرْ

- عندما أسرّحُ شعرِي الجاف بمشطٍ مصنوع من البلاستيك ألاحظ انجداب الشعر نحو المشط.
- عندما أخلعُ ملابسي الصوفية في الظلام ألاحظُ أحياناً شرارة كهربائية.
- كيف يكتسبُ الجسم المُعتدل شحنة كهربائية؟
- هل الأجسام في الظواهر السابقة مشحونة أو مُعتدلة؟
- إن انتقالَ الشّحنة الكهربائية من جسمٍ إلى آخرٍ يفسّرُ لنا هذه الظواهر.
- الجسمُ الذي يفقدُ الإلكترونات يصبحُ موجِبَ الشّحنة.
- الجسمُ الذي يكتسبُ الإلكترونات يصبحُ سالبَ الشّحنة.
- شحنة الإلكترون e ، هي أصغرُ مقدارٍ للشّحنة تم تحديده (حتى الآن)، وتُسمى الشّحنة الأساسية.

الأهداف:

- * يعرّف إلى الشّحنة الكهربائية الأساسية.
- * يميز بين الكهرباء الساكنة والمتحركة.
- * يسمّي التأثير المُتبادل بين شحتين نقطتين.

الكلمات المفتاحية:

- * التّقريغ الكهربائي
- * القوة الكهربائية
- * قانون كولوم
- * الكهرباء Electricity
- * الكهرباء الساكنة Static Electricity
- * الشّحنة الكهربائية Electric Charge
- * شحنة موجبة Positive Charge
- * شحنة سالبة Negative Charge
- * قانون كولوم Coulomb's Law
- * كاشف كهربائي Electroscope
- * إلكترون Electron

- * مصونية الشّحنة الكهربائية Law of conservation of Electric Charge

إثراء:

- اكتُشفت الكهرباء الساكنة منذ 600 سنة قبل الميلاد، عندما لاحظ عالم يوناني انجذاب قصاصاتٍ من الورق إلى ساقِ ذيلك بالصوف. بل يُرجح بعدهم اكتشافها وملحوظتها إلى آلاف السنين، حيث يوجد بعض الكتابات على جدران بعض المعابد التي شيدتها المصريون القدماء.
- ال**التكهُّب**: هو شحنُ الجسم بشحنة كهربائية عن طريق فقدِه أو اكتسابِه لإلكترونات.

1-1 التفريغُ الكهربائي (Electric Discharge):



أتساءل:

هل شعرت يوماً بوخزة في يدك عند مُصادفة صديقك، بعد أن تنهض عن كرسي من البلاستيك كنت تجلس عليه؟



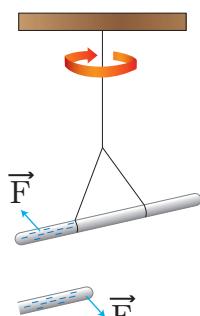
تفسير ذلك أنه عند جلوسك على الكرسي يكتسب جسمك شحنة كهربائية خفيفة، وعند المُصادفة تنتقلُ الإلكترونات من يدِ صديقك إلى يدك أو بالعكس، مما يعيده إلى الحالة المُعدلة ثانية، وهذا ما نسميه التفريغ الكهربائي.

إن كلًا من الشّارة الكهربائية الصغيرة التي تشعر بها، وكذلك البرق، هما مثالان عن تفريغ الكهرباء الساكنة. وتختلف حالة الشّحن والتفرغ في المثالين السابقين كثيراً من حيث المقدار، إلا أنهما مُتماثلان في طبيعتهما.

2- القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين نقطتين في الخلاء (قانون كولوم):



الشكل (b)

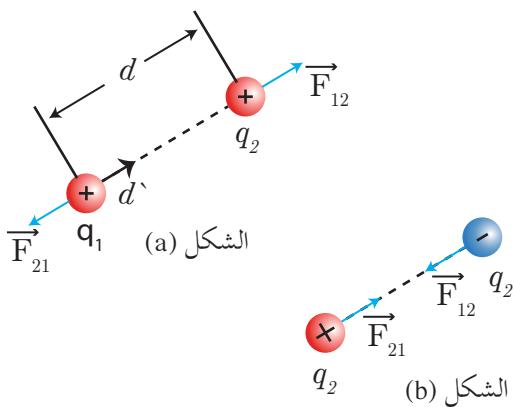


الشكل (a)

نعلم أن الشّحنات الكهربائية المتماثلة تتدافع فيما بينها، والشّحنات الكهربائية المُتعاكسة تتجاذب فيما بينها بقوى كهربائية.

فما العوامل التي تؤثّر على القوة الكهربائية؟

أثبتت كولوم من خلال تجاربه الآتي:



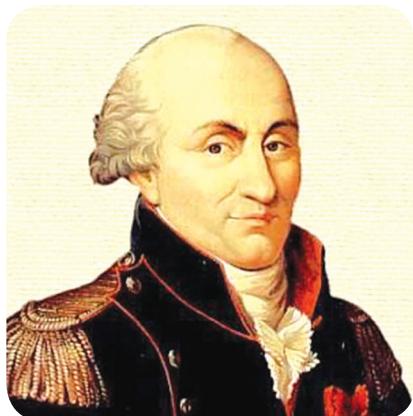
- إن الشحنتين نقطيتين ساكنتين (q_2, q_1)، اللتين تبعدان عن بعضهما مسافة d تتبادلان التأثير فيما بينهما بقوى متساويتين بالجهة دوماً، ومتساويتان بالشدة $F = F_{12} = F_{21}$ حيث:

\vec{F}_{12} : القوة التي تؤثر بها الشحنة q_1 على الشحنة q_2 .
 \vec{F}_{21} : القوة التي تؤثر بها الشحنة q_2 على الشحنة q_1 .

- إن شدة القوة تتناسب طرداً مع جداء الشحنتين $q_2 \cdot q_1$. فإذا استبدلنا q_1 مثلاً بشحنة أخرى q'_1 حيث $q'_1 = 2q_1$ مثلما ما كانت عليه في الحالة الأولى أي: $F' = 2F$

- إن شدة القوة تتناسب عكساً مع مربع البعد الفاصل بينهما. فإذا جعلنا البعد بين الشحنتين مثلاً ما كان عليه $d' = 2d$ ، مع ثبات قيمة الشحنتين، نجد أن شدة القوة تصبح ربع ما كانت 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)

تؤثر شحتان نقطيتان ساكنتان q_2, q_1 بعضهما في الخلاء بقوى متساوية $\vec{F}_{21}, \vec{F}_{12}$ متعاكستين بالجهة دوماً، محمولتين على المستقيم المار بينهما، شدتهما المشتركة $F = F_{12} = F_{21}$ تتناسب طرداً مع جداء قيمتي الشحنتين، وعكساً مع مربع البعد الفاصل بينهما d . وتعطى هذه الشدة بالعلاقة: $F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$ حيث F : شدة القوة وحدتها نيوتن N , q_2, q_1 : القيمة الجبرية للشحنة وحدتها الكولوم C .

d : البعد الفاصل بين الشحنتين وحدته المتر m .
 k : ثابت التناوب (ثابت كولوم) تتعلق قيمته بالوحدات المستخدمة وبالوسط العازل الفاصل بين الشحنتين قيمته $k = 9 \times 10^9 N \cdot m^2 \cdot C^{-2}$ في الجملة الدولية وفي الخلاء.

إذا كانت (q_2, q_1) متماثلتين بالشحنة، فإن F تنافرية.
إذا كانت (q_2, q_1) مختلفة بالشحنة، فإن F تجاذبية.

تطبيق (1)

شحتان نقطيتان $C = 5\mu C$, $q_1 = 20\mu C$ تبعدان عن بعضهما في الخلاء $d = 0.5 m$. المطلوب:

1. احسب شدة القوة الكهربائية المتبادلة بينهما.

2. مثل القوتين المتبادلتين بالرسم.

الحل:

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \quad .1$$

$$F = 9 \times 10^9 \frac{5 \times 10^{-6} \times 20 \times 10^{-6}}{(0.5)^2} = 3.6 N$$

F تنافرية لأن الشحنتين متماثلتين.

$$\vec{F}_{21} \leftarrow + \quad + \rightarrow \vec{F}_{12} .2$$

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

- نقطة التأثير: الشحنة المتأثرة.

- الحامل: المستقيم المار من الشحتين.

- الجهة: توقف على نوع الشحتين، حيث تكون تجاذبية إذا كانت الشحتان مختلفتين نوعاً، وتنافرية إذا كانت الشحتان متماثلين نوعاً.

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

تعميم: في حال وجود عدة شحنات نقطية تؤثر في شحنة نقطية واحدة، فإن القوة الكلية المؤثرة عليها تجمع جمعاً شعاعياً.

تطبيق (2)

ثلاث شحنات كهربائية نقطية ساكنة $q_1 = +2\mu C$ ، $q_2 = -6\mu C$ ، $q_3 = +8\mu C$ تقع على استقامة واحدة، بحيث تقع q_2 بين q_1 و q_3 . فإذا علمت أن q_1 تبعد عن q_2 بـ 3 cm، وأن q_3 تبعد عن q_2 بـ 6 cm.

المطلوب: حساب:

1. شدة القوة المتبادلة بين q_1 و q_2 وما نوعها؟

2. شدة القوة المتبادلة بين q_3 و q_2 وما نوعها؟

3. شدة محصلة القوى المؤثرة في q_2 .

الحل:

$$F_{12} = 9 \times 10^9 \frac{q_1 \cdot q_2}{d_1^2} .1$$

$$\text{فالقوة تجاذبية} \quad F_{12} = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^{-6}}{(3 \times 10^{-2})^2} = 120 \text{ N}$$

$$F_{32} = 9 \times 10^9 \frac{q_3 \cdot q_2}{d_2^2} .2$$

$$\text{فالقوة تجاذبية} \quad F_{32} = 9 \times 10^9 \frac{8 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^{-6}}{(6 \times 10^{-2})^2} = 120 \text{ N}$$

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

تطبيق (3)

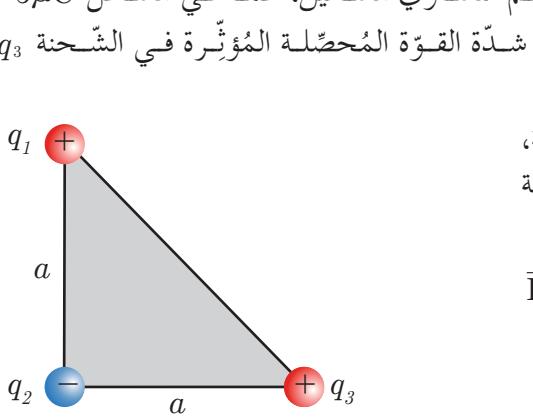
وضعت ثلاث شحنات نقطية على رؤوس مثلث قائم متساوي الساقين، كما في الشكل، $q_1 = q_3 = 5\mu C$ ، $q_2 = -3\mu C$. **المطلوب:** احسب شدة القوة المحصلة المؤثرة في الشحنة q_3 .

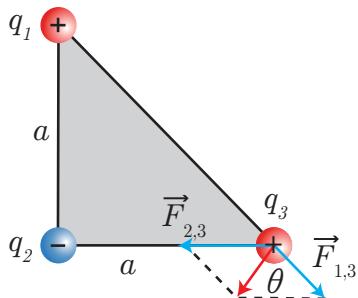
الحل:

نرسم مخططاً للقوى الكهربائية المؤثرة في الشحنة، آخذين بعين الاعتبار ما إذا كانت هذه القوى تنافرية أو تجاذبية، ثم نمثل المحصلة \vec{F} .

- نستخدم قانون كولوم لإيجاد شدة القوة F_{13} (القوة التي تؤثر بها q_1 في q_3)

$$F_{13} = 9 \times 10^9 \frac{q_1 \cdot q_3}{(d_{13})^2}$$





• 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 تنافريّة (الشّحنةان من نفس النوع).

• نحسبُ شدّة القوّة $\overrightarrow{F}_{2,3}$ بالطريقة ذاتها:

$$F_{2,3} = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}}{(5 \times 10^{-2})^2} = 54 \text{ N}$$

• إيجاد المُحصلة: $\overrightarrow{F} = \overrightarrow{F}_{1,3} + \overrightarrow{F}_{2,3}$

• بالتربيع: $(\theta = \overrightarrow{F}_{1,3}, \overrightarrow{F}_{2,3})$ حيث: $F^2 = F_{1,3}^2 + F_{2,3}^2 + 2F_{1,3}F_{2,3}\cos\theta$ بالتعويض نجدُ:

$$F = 38,78 \text{ N} \quad F^2 = (45)^2 + (54)^2 + 2 \times 45 \times 54 \times \left(-\frac{1}{\sqrt{2}}\right) = 1504.5$$

تعلّمتُ

- أنواع الكهرباء: الكهرباء الساكنة – الكهرباء المتحرّكة.
- الكهرباء الساكنة: تَجمّع الشّحنةان الكهربائية على سطوح الأُجسام.
- التكهرب: هو شحن الجسم بشحنةٍ كهربائية عن طريق فقدانه أو اكتسابه لإلكترونات.
- التفریغ: هو انتقال الشّحنةان الكهربائية من جسمٍ إلى آخر.
- قانون كولوم: تؤثّر شحنةان نقطيّتان ساكيتتان q_1, q_2 ، ببعضهما في الخلاء بقوّتين مُتساوّتين مَحملوتين على الخطّ الواصل بينهما، شدّتهما المُشتَركة تتناسبُ طرداً مع كلّ من القيميّتين المطلقيّتين للشّحنةان، وعكساً مع مُربع البُعد الفاصل بينهما وثُحسب بالعلاقة: $F = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$

أختبر نفسك



أولاً: اختار الإجابة الصحيحة لكلّ مما يأتي:

1. القوى الكهربائية المُتبادلّة بين الشّحنةان الكهربائية النقاطية المُتماثلة، تكونُ قويّاً:

- a. تجاذبية أو تنافريّة.
b. تجاذبية فقط.
c. تجاذبية وتنافريّة.
d. تجاذبية فقط.

2. شحنةان نقطيّتان (q_2, q_1) ساكيتتان، البُعد بينهما d ، زيدُ البُعد بينهما ليصبحَ ثلاثةً أمثال ما كانَ عليه فيصبحُ:

$$F' = 9F \cdot d$$

$$F' = \frac{1}{9}F \cdot c$$

$$F' = \frac{F}{3} \cdot b$$

$$F' = 3F \cdot a$$

3. شحتنان نقطيتان ساكتتان (q_1, q_2)، نضاعف شحنة كلّ منها، ونزيد البُعد بين الشّحتين إلى الضّعف فيصبح:

$$F' = \frac{F}{2} \cdot d$$

$$F' = \frac{F}{4} \cdot c$$

$$F' = F \cdot b$$

$$F' = 4F \cdot a$$

4. كرتان معدنيتان متماثلتان ومعزولتان، تحمل إداهما الشّحنة $10\mu C = q_1$ ، وتحمل الأخرى الشّحنة $-2\mu C = q_2$ ، فإذا تلامست الكرتان، وفصلتا عن بعضهما فإنَّ كلاً من الكرتين:

- a. تحتفظ بشحتها
- b. تحمل شحنة c
- c. تحمل شحنة d . تصبح معتدلة.
- d. قدرها $4\mu C$
- e. قدرها $6\mu C$
- f. كما هي.

5. شحتنان نقطيتان ساكتتان، تبعدان عن بعضهما في الخلاء مسافة d ، وشدة القوة الكهربائية المتبادلة بينهما F ، فإذا زدنا كلاً من الشّحتين إلى ثلاثة أمثال ما كانت عليه، تصبح شدة القوة F' تساوي:

$$F' = \frac{1}{9}F \cdot d$$

$$F' = 6F \cdot c$$

$$F' = 9F \cdot b$$

$$F' = 3F \cdot a$$

ثانياً:

ما أوجّه الشّبه بين ظواهر التجاذب والتنا فُرّ بين الشّحنات الكهربائية وظواهر التجاذب والتنافر بين الأقطاب المغناطيسية، وما الاختلاف بين الشّحنات الكهربائية والمعانط؟

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

شحتنان نقطيتان ساكتتان $6\mu C = q_1$ ، $-12\mu C = q_2$ ، البُعد بينهما $d = 2\text{ cm}$. **المطلوب:**

احسب شدة القوة الكهربائية المتبادلة بين الشّحتين النقطيتين، مع رسم يوضح جهة القوة التي تؤثّر بها q_2 على q_1 .

المسألة الثانية:

تألّف ذرة الهيدروجين H_1 من بروتون يقعُ في نواتها، ومن إلكترون يدور حول النواة على مسار نصف قطره $0.53 \times 10^{-10}\text{ m}$ ، فإذا علمت أنَّ شحنة الإلكترون: $q_e = -1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$ ، وشحنة البروتون: $q_p = 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$ فاحسب شدة القوة الكهربائية المتبادلة بينهما مع رسم هندسي يوضح هذه القوة.

المسألة الثالثة:

مثلث متساوي الأضلاع، طول ضلعه 6 cm ، نضع في رؤوسه الثلاثة (A, B, C) ثلات شحنات نقطية على الترتيب: $q_1 = 6\mu C$ ، $q_2 = 4\mu C$ ، $q_3 = 0.2\mu C$. احسب شدة محصلة القوى المؤثّرة في q_1 .

المسألة الرابعة:

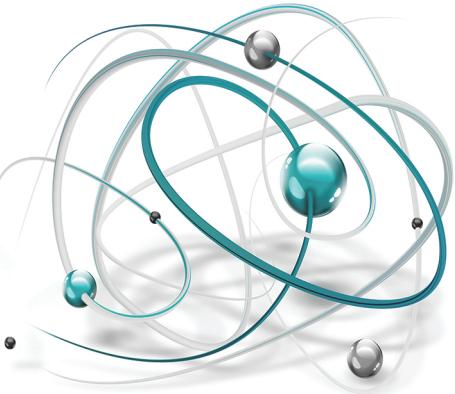
مثلث ABC قائم الزاوية في B ، طول ضلعه $AB = 40\text{ cm}$ ، وطول ضلعه $BC = 30\text{ cm}$ ، نضع في رؤوس المثلث (A, B, C) ثلات شحنات نقطية على الترتيب: $q_A = 4\mu C$ ، $q_B = 4\mu C$ ، $q_C = 3\mu C$. احسب شدة القوة الكهربائية المؤثّرة في الشّحنة q_B الموضوعة في الرأس B .

المسألة الخامسة:

ثلاث شحنات نقطية ساكتة C, B, A على الترتيب، وهي رؤوس مثلث متساوي الساقين $AB = BC = 18\text{ cm}$ ، وقائم الزاوية في B . **المطلوب:** احسب شدة القوة الكهربائية المؤثّرة في الشّحنة q_2 ، الموضوعة في B .

2-3

الحقل الكهربائي الساكن



الأهداف:

- * يتعرف تجريبياً على الحقل الكهربائي الساكن.
- * يستنتج العوامل التي توقف علية شدة الحقل الكهربائي.
- * يرسم خطوط الحقل الكهربائي المُنتظم.
- * يستنتاج العلاقة بين شدة الحقل وشدة القوة.

الكلمات المفتاحية:

- * الحقل الكهربائي.
Electric Field
- * خطوط الحقل الكهربائي.
Electric Field Lines

1-2 التعرُّف على الحقل الكهربائي الساكن

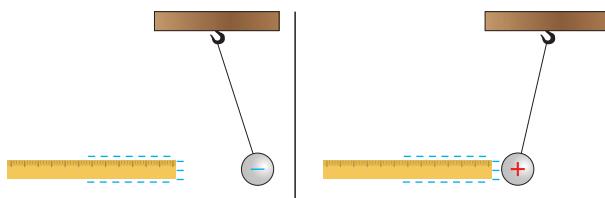
1-1-2 مفهوم الحقل الكهربائي

أجري وperiment:

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

1. نواص كهربائي (كرة من البيلسان).

2. مسطرة بلاستيكية.



• قرِّب كرَّة نواص كهربائي من طرف مسطرة بلاستيكية. ماذا تستنتج في الحالات الآتية:

1. كرَّة النواص الكهربائي غير مشحونة والمسطرة البلاستيكية غير مشحونة أيضاً.

2. كرَّة النواص الكهربائي غير مشحونة والمسطرة البلاستيكية مشحونة.

3. كرَّة النواص الكهربائي مشحونة والمسطرة البلاستيكية مشحونة.

• هل تتغيَّر النتيجة إذا غيرت مكان الكرَّة والمسطرة وهما مشحونتان، بحيث يقيمان على بُعدٍ مُناسبٍ من بعضهما؟

استنتاج

• تتحرَّك الكرَّة (تقرب أو تبتعد)، فينحرف خطُّ النواص عن وضع توازنه الشاقولي بسبب تأثير كرته بقوَّة كهربائية نتيجة وجود حقلٍ كهربائي ساكنٍ تولَّد عن الشحنات الكهربائية.

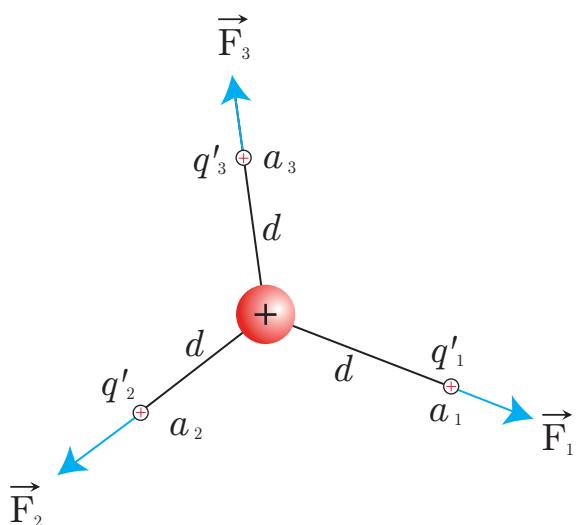
• نقولُ عن منطقةٍ من الفراغ آنَّه يسودُها حقلٌ كهربائيٌ ساكنٍ إذا تعرَّضَتْ كلُّ شحنةٍ كهربائيةٍ توضعُ فيها لقوَّةٍ كهربائيةٍ تجاذبِيةٍ أو تناُفُرِيةٍ.

2-1-2 شدَّة الحقل الكهربائي الساكن المُتولَّد عن شحنة نقطية ساكنة

اللاحظ وأستنتاج:

• نضعُ شحنةً نقطيةً q' في نقطةٍ ما بحيث يتولَّد عنها حقلٌ كهربائيٌ \vec{E} .

• نضعُ شحنةً نقطيةً موجبةً q' في النقاط a_3, a_2, a_1 المُتساوية البُعد عن q من المنطقة التي يسودُها الحقل الكهربائي الساكن \vec{E} على الترتيب.



أكمل الجدول الآتي، وأستنتج فيما لو كانت الشحنة q' تخضع لشدة القوة الكهربائية ذاتها:

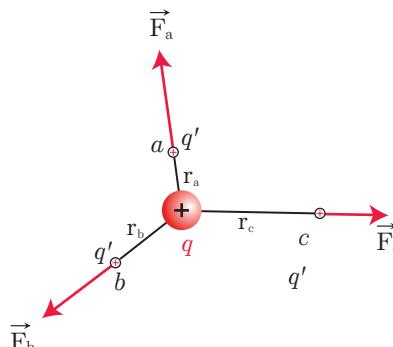
$\frac{F}{q'}$	شدة القوة (N)	قيمة الشحنة المتأثرة $d = 10 \text{ cm}$ على بعد	قيمة الشحنة المولدة للحقل
	$F_1 =$	$q' = 2 \times 10^{-6} \text{ C}$	$q = 8 \times 10^{-6} \text{ C}$
	$F_2 =$	$q' = 4 \times 10^{-6} \text{ C}$	$q = 8 \times 10^{-6} \text{ C}$
	$F_3 =$	$q' = 8 \times 10^{-6} \text{ C}$	$q = 8 \times 10^{-6} \text{ C}$

أرسم الخط البياني المُعبّر عن تغيير شدة القوة بتغيير قيمة الشحنة المتأثرة، ماذا ألاحظ؟

أستنتج

- نسمى النسبة $E = \frac{F}{q'}$ الثابتة بشدة الحقل الكهربائي المولّد عن الشحنة q ، وتعطى بالعلاقة:
- تقدير شدة الحقل الكهربائي الساكن في الجملة الدولية بوحدة N.C^{-1} أو V.m^{-1} .
- شدة الحقل الكهربائي الساكن المولّد عن الشحنة q متساوية في جميع نقاط الوسط العازل المتجانس المحيط بها، والتي تبعد عنها البعد ذاته.
- بما أنّ القوة مقدار شعاعي فالحقل الكهربائي مقدار شعاعي أيضاً، ويرتبطان بالعلاقة: $\vec{F} = q' \vec{E}$

الاحظ وأستنتج



- نضع شحنات نقطية متماثلة الشحنة في النقاط c, b, a المختلفة
البعد عن q من المنطقة التي يسودها الحقل الكهربائي الساكن
كمافي الشكل:

- هل تخضع الشحنة q' للقوة الكهربائية نفسها؟

- هل شدة الحقل الكهربائي المولّد عن q ثابتة القيمة عند هذه
النقاط؟

أجيب حسابياً على كلٍ من الأسئلة السابقة من خلال قراءة الجدول الآتي:

شدة الحقل الكهربائي الساكن المولّد عند النقاط السابقة	شدة القوة (N)	بعد q' عن q	قيمة الشحنة المتأثرة q'	قيمة الشحنة المولدة للحقل q
$E_1 =$	$F_1 =$	$d_1 = 10 \text{ cm}$	$q' = 2 \times 10^{-6} \text{ C}$	$q = 8 \times 10^{-6} \text{ C}$
$E_2 =$	$F_2 =$	$d_2 = 20 \text{ cm}$	$q' = 2 \times 10^{-6} \text{ C}$	$q = 8 \times 10^{-6} \text{ C}$
$E_3 =$	$F_3 =$	$d_3 = 30 \text{ cm}$	$q' = 2 \times 10^{-6} \text{ C}$	$q = 8 \times 10^{-6} \text{ C}$

- تخضع الشحنة q' لقوى كهربائية $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3$ على الترتيب تختلف في الشدة والاتجاه، وذلك نتيجة تغير شدة الحقل الكهربائي بغير بعد النقطة عن الشحنة المولدة للحقل، وتنقص شدة الحقل الكهربائي كلما ابتعدنا عن هذه الشحنة.

2-2 عناصر شعاع الحقل الكهربائي الساكن في نقطة

من العلاقة الشعاعية $E = \frac{\vec{F}}{q'}$ ، ما عناصر شعاع الحقل الكهربائي المتولد عن شحنة كهربائية ساكنة في نقطة منه؟

- **المبدأ:** النقطة المعتبرة (المدرورة)
- **العامل:** المستقيم المار من النقطة المعتبرة والشحنة النقطية المولدة للحقل.
- **الجهة:**
 - الشحنة q' المولدة للحقل موجبة: تكون الجهة من الشحنة إلى النقطة.
 - الشحنة q' المولدة للحقل سالبة: تكون الجهة من النقطة إلى الشحنة.
- **الشدة:** تُعطى بالعلاقة:

$$E = \frac{F}{q'} \iff E = k \frac{q}{d^2}$$

حيث:

q' الشحنة المولدة للحقل، وتقدر بالكيلومتر.

q' الشحنة المتأثرة بالحقل، وتقدر بالكيلومتر.

d بعد النقطة المعتبرة عن q' المولدة للحقل، وتقدر بالمتر.

k ثابت كيلومتر $= 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$.

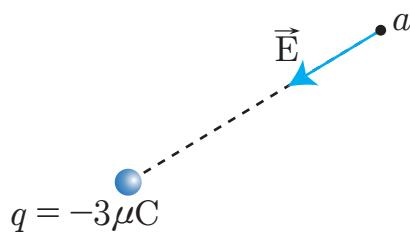
F شدة القوة الكهربائية المؤثرة في الشحنة q' ، وتقدر باليون.

E شدة الحقل الكهربائي في نقطة d تبعد عن الشحنة q' المولدة للحقل، وتقدر بوحدة N.C^{-1} أو V.m^{-1} .

أختبر نفسك



- نضع شحنة نقطية q' موجبة في نقطة a من منطقة يسودها حقل كهربائي ساكن متولد عن شحنة موجبة q .
ارسم شعاع القوة المؤثرة في الشحنة q' .
ارسم شعاع الحقل الكهربائي المؤثر في الشحنة q' .
ماذا تلاحظ؟
- نضع شحنة نقطية q' موجبة في نقطة a من منطقة يسودها حقل كهربائي ساكن متولد عن شحنة سالبة سالبة.
ارسم شعاع القوة المؤثرة في الشحنة q' .
ارسم شعاع الحقل الكهربائي المؤثر في الشحنة q' .
ماذا تلاحظ؟
- أعد الرسم السابق في حال كانت الشحنة المتأثرة سالبة.



تطبيق (1)

أحدد بالكتابة والرسم عناصر شعاع الحقل الكهربائي المتولد عن شحنة نقطية $q = -3\mu C$ في نقطة a ، تبعد عنها في الخلاء مسافة $d = 2 \text{ cm}$.

الحال:

عناصره:

المبدأ: النقطة المعتبرة a .

الحامل: المستقيم الواصل بين الشحنة المولدة للحقل والنقطة المعتبرة.

الجهة: من a إلى q

الشدة:

$$E = 9 \times 10^9 \frac{q}{d^2}$$

$$E = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-6}}{(2 \times 10^{-2})^2}$$

$$E = 6.75 \times 10^7 \text{ N.C}^{-1}$$

تعميم

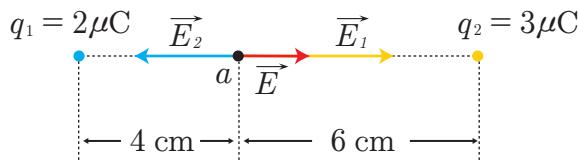
الحقل الكهربائي الساكن المتولد عن عدد شحنات نقطية:

- في حال وجود عدد شحنات نقطية ساكنة، تولد كل منها حقولاً كهربائياً في نقطة واحدة a ، يُحسب الحقل الناتج عن كل شحنة عند a على حدة، ثم تجمع الحقول جمعاً شعاعياً للحصول على الحقل الكهربائي الكلّي المؤثر في a ؛ أي $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$
- إذا كانت مُحصلة الحقول الكهربائية في نقطة ما معروفة، فإن هذه النقطة تسمى نقطة **التعادل الكهربائي**.

تطبيق (2)

شحتنان كهربائيان نقطيان، الأولى $q_1 = 2\mu C$ موضعها في نقطة a_1 ، والثانية $q_2 = 3\mu C$ موضعها في نقطة a_2 تبعد عن a_1 مسافة $a_1 a_2 = 10 \text{ cm}$. **المطلوب:** حدد عناصر شعاع الحقل الكهربائي الساكن، المتولد عن الشحتين في نقطة a تقع على الخط الواصل بين النقطتين a_1, a_2 وعلى بعد 4 cm عن a_1 في الخلاء.

الحل:



- **المبدأ:** النقطة a .
- **الحامل:** المستقيم المار من النقطتين a_1, a_2 .
- **الجهة:**

— بجهة E_1 إذا كان $E_1 > E_2$.

— بجهة E_2 إذا كان $E_2 > E_1$.

- **الشدة:** لحساب شدة الحقل المحصل نحسب، أولاً، شدة الحقل المتولد عن كل من q_1 ، q_2 عند النقطة a حيث:

$$E_1 = 9 \times 10^9 \frac{q_1}{d^2}$$

$$E_1 = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6}}{(4 \times 10^{-2})^2} = 1.125 \times 10^7 \text{ N.C}^{-1}$$

$$E_2 = 9 \times 10^9 \frac{3 \times 10^{-6}}{(6 \times 10^{-2})^2} = 0.75 \times 10^7 \text{ N.C}^{-1}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

E_1 ، E_2 شعاعان على حامل ويجهتين متعاكستين، فالشدة حاصل طرح الشنتين وبجهة الأكبر.

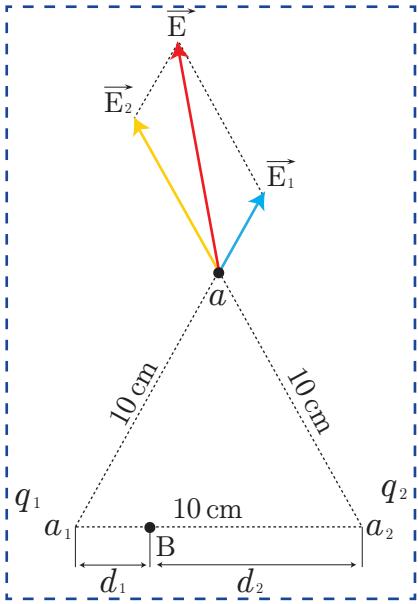
$$E = E_1 - E_2$$

$$E = 1.125 \times 10^7 - 0.75 \times 10^7 = 3.75 \times 10^6 \text{ NC}^{-1}$$

تطبيق (3)

شحتنان كهربائيان نقطيان $q_1 = \frac{2}{9}\mu C$ في النقطة a_1 ، و $q_2 = \frac{8}{9}\mu C$ في النقطة a_2 ، البعد بينهما $a_1 a_2 = 10 \text{ cm}$. **المطلوب:**

1. احسب شدة الحقل الكهربائي المتولد عن هاتين الشحتين عند النقطة a ، الواقعة في الخلاء على بعد 10 cm عن كل من الشحتين.
2. حدد موضع النقطة b ، الواقعة على القطعة المستقيمة $a_1 a_2$ التي تنعدم فيها شدة الحقل الكهربائي.



$$E_1 = 9 \times 10^9 \frac{q_1}{d_1^2}$$

$$E_1 = 9 \times 10^9 \frac{\frac{2}{9} \times 10^{-6}}{(10 \times 10^{-2})^2} = 2 \times 10^5 \text{ N.C}^{-1}$$

$$E_2 = 9 \times 10^9 \frac{q_2}{d_2^2}$$

$$E_2 = 9 \times 10^9 \frac{\frac{8}{9} \times 10^{-6}}{(10 \times 10^{-2})^2} = 8 \times 10^5 \text{ N.C}^{-1}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

نخلص من الأشعة بالتربيع والجذر فنجد:

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \theta}$$

$$E = \sqrt{(2 \times 10^5)^2 + (8 \times 10^5)^2 + 2 \times 2 \times 10^5 \times 8 \times 10^5 \cos \frac{\pi}{3}} = 9.16 \times 10^5 \text{ N.C}^{-1}$$

$$E_1 = E_2$$

$$k \frac{q_1}{d_1^2} = k \frac{q_2}{d_2^2}$$

$$\frac{\frac{2}{9} \times 10^{-6}}{d_1^2} = \frac{\frac{8}{9} \times 10^{-6}}{d_2^2}$$

$$\frac{1}{d_1^2} = \frac{4}{d_2^2} \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$d_1 + d_2 = 0.1 \dots \textcircled{2}$$

$$d_1 = 0.0333 \text{ m} \iff d_1 = 3.3 \text{ cm}$$

$$d_2 = 10 - 3,3 = 6,7 \text{ m}$$

بالحال المُشترَك للمعادلتين 2, 1 نجد:

ملاحظة: نقطة التوازن الكهربائي هي نقطة تندفع منها شدة مُحصلة الحقول الكهربائية المُتولدة عن شحنات كهربائية نقطية.

3-2 خطوط قوة الحقل المغناطيسي الساكن:

أَجْرِبُ وَأَسْتَنْتَجُ:

لإجراء التجربة أحتج إلى:

1. حوض زجاجی مُناسِب.
 2. زیت خروع.

3. سلكين معدنيين.

4. صفيحتين معدنيتين مستويتين.

5. دقائق خفيفة عازلة (سميد، أو وبر).

6. آلة ويمشوت.

- أصب قليلاً من زيت الخروع في الحوض بحيث تكون لدينا طبقة زيتية بسمك 1 cm تقريباً.
- أغمس في الزيت السلكين المعدنيين، وأصلهما بمولد للكهرباء الساكة، وأنثر بين السلكين قليلاً من دقائق السميد أو الوبر.
- أكرر التجربة باستخدام صفيحتين معدنيتين متوازيتين متماثلتين بدلاً من السلكين المعدنيين.
- أكرر التجربتين السابقتين بزيادة شدة الحقل الكهربائي.

— ما الشكل الذي ترسمه دقائق السميد أو الوبر على سطح الزيت في كل من التجربتين الأولى والثانية؟
وما دلالة ذلك

— ما أثر زيادة شدة الحقل على توزيع دقائق السميد أو الوبر على سطح الزيت؟

أستنتج:

• تدل الخطوط المنحنية على أن الحقل الكهربائي متغير، أما الخطوط المتوازية فتدل على أن الحقل الكهربائي منتظم.

• زيادة شدة الحقل الكهربائي يجعل خطوط الحقل متراصة على بعضها أكثر.

• خطوة الحقل الكهربائي هو خط وهمي، يرسم بحيث يكون شعاع الحقل الكهربائي مماساً له في كل نقطة من نقاطه، وجنته دوماً من جهة شعاع الحقل.

• خطوط قوة الحقل الناتجة عن الشحنات الموجبة متوجهة للخارج بعيداً عنها، والناتجة عن الشحنات السالبة متوجهة نحوها (تتجه خطوط القوة من الشحنات الموجبة إلى الشحنات السالبة).

• في كل نقطة من المنطقة التي يسودها حقل كهربائي لا يمر سوى خط واحد، وبالتالي خطوط القوة لا تتقاطع، أي لا يمكن أن يكون للحقل إلا اتجاه واحد وشدة واحدة فقط.

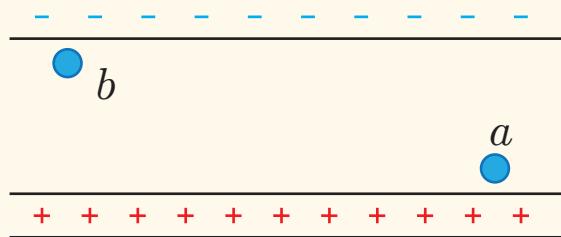
من تجربة الصفيحتين المتوازيتين نقول عن الحقل الكهربائي الساكن: إنه منتظم إذا تساوت أشعه الحقل في كل نقطة من نقاط تواجد الحقل حاملاً وجهاً وشدة؛ أي $\vec{E} = \text{const}$.

وتكون خطوط قوته متوازية فيما بينها وبالجهة ذاتها، وإذا وضع في شحنة نقطية q فإنها تخضع للقوى ذاتها $\vec{F} = q\vec{E} = \text{const}$ في أي نقطة من نقاطه.

أختبر نفسي



يبين الشكل صفيحتين متوازيتين ومشحونتين بشحنتين مختلفتين بالتوتر.
المطلوب:



1. ارسم خطوط الحقل الكهربائي في الحيز بين الصفيحتين.
2. صِف الحقل الكهربائي بين الصفيحتين.
3. إذا وضع إلكترون عند النقطة a ، ما اتجاه القوة المؤثرة فيه؟
4. إذا وضع بروتون عند النقطة b ، ما اتجاه القوة المؤثرة فيه؟

تعلّمت

- تولّد الشحنة النقطية q في المنطقة المحيطة بها حقلًا كهربائياً \vec{E} ، تُعطى شدّته بالعلاقة:

$$E = k \frac{q}{d^2}$$

- الحقل الناتج عن عدّة شحنات في نقطة يساوي التركيب الشعاعي للحقول المتولدة عن كل شحنة مُفردة:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

- جهة شعاع الحقل باتجاه الشحنة إذا كانت سالبة، وبالاتجاه المعاكس إذا كانت موجبة.
- خط الحقل (أو خط القوة) خطٌ وهمي، يمسُّ في كلّ نقطة من نقاطه شعاع الحقل في تلك النقطة.
- نقول عن الحقل الكهربائي الساكن إنّه منتظم إذا تساوت أشعة الحقل في كلّ نقطة من المنطقة التي يسودها الحقل حاملاً وجهةً وشدّةً؛ أي $\vec{E} = \overrightarrow{\text{const}}$.



أختبر نفسك

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. وحدة قياس شدة الحقل الكهربائي:

N.C⁻².m⁻² .d

N.C⁻¹ .c

N.C⁻² .b

N.m⁻² .a

2. إذا وضعت شحنة كهربائية نقطية سالية حرّة الحركة في منطقة يسودها حقلٌ كهربائيٌ منتظم فإنَّها:

- a. تبقى ساكنة في b. تحرَّك باتجاه c. تحرَّك في مسارِ d. تحرَّك باتجاه
معاكِس لجهة الحقل الكهربائي. دائريٍّ. الحقل الكهربائي. موضعها.
- الحقل الكهربائي.

3. في نقطةٍ من منطقة يسودها حقلٌ كهربائيٌ ساكن تكون شدّته تتاسبُ طرداً مع:

a. قيمة الشحنة المتأثرة الموضوعة في تلك النقطة.

b. قيمة الشحنة المولدة للحقل.

c. بعد الشحنة المتأثرة عن الشحنة المولدة للحقل.

d. مُربعُ بعد الشحنة المولدة للحقل عن الشحنة المتأثرة.

4. منطقة يسودها حقلٌ كهربائيٌ ساكن منتظم، شدّته $E = 600 \text{ N.C}^{-1}$ ، إذا وضعت فيه شحنة نقطية $q = 2\mu\text{C}$ فإنَّها تتأثَّر بقوة كهربائية \vec{F} ، شدتها تساوي:

$12 \times 10^{-4} \text{ N}$.d

$3 \times 10^{-4} \text{ N}$.c

$4 \times 10^{-4} \text{ N}$.b

$8 \times 10^{-4} \text{ N}$.a

5. إذا وضعت شحتين نقطيتين ساكتتين q_1, q_2 ، على طرفي وتر مُثلث قائم الزاوية، فيتولَّد في الرأس الثالث للمثلث حقلٌ كليٌّ كهربائيٌ ساكن \vec{E} ، تُعطى شدّته بالعلاقة: (حيث E_1 شدّة الحقل المولَّد من q_1 و E_2 شدّة الحقل المولَّد من q_2)

$E = E_1 - E_2$.d

$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$.c

$E = E_1 + E_2$.b

$E = \sqrt{E_1^2 - E_2^2}$.a

6. منطقة يسودها حقلٌ كهربائيٌ منتظم، شدّته E ، إذا وضعت شحنة نقطية q فإنَّها تتأثَّر بقوة كهربائية شدتها F ، إذا جعلنا مقدار الشحنة $4q' = q'$ فتصبح F' تساوي:

$F' = \frac{1}{8}F$.d

$F' = 4F$.c

$F' = 16F$.b

$F' = \frac{1}{4}F$.a

7. تشكِّل الصفيحتان المتوازيتان **لبوسي** مكثف، إذا وصلتا إلى منبع كهربائيٌ متواصل، لتشحنَا بشحتين كهربائيتين متماثلتين بالمقدار ومختلفتين نوعاً، فالمنطقة المحدَّدة بينهما يسودها حقلٌ كهربائيٌ ساكنٌ منتظم، خطوطه مُستقيمة متوازية فيما بينها:

a. وتوازي سطحِي الصفيحتين أفقياً.

b. وتوازي سطحِي الصفيحتين شاقوليًّا.

c. وعمودية على سطحِي الصفيحتين.

d. ومائلة على سطحِي الصفيحتين.

ثانية: ضع إشارة ✓ إلى جانب العبارة الصحيحة، وإشارة ✗ إلى جانب العبارة غير الصحيحة، ثم صُحّحها في كلٍ مما يأتي:

1. الحقل الكهربائي الساكن في نقطة من منطقة يسودُها، يتعلّق بالشحنة الموضوّعة في تلك النقطة.
2. الحقل الكهربائي الساكن مقدار سلبي.
3. يتولّد حقلٌ كهربائيٌ ساكنٌ مُنتظَمٌ عن شحنة نقطية ساكنة في المنطقة المحيطة بها.
4. إذا وضعت شحنة كهربائية نقطية في نقطةٍ من منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيٌ ساكنٌ، تبقى ساكنةً في النقطة التي توضع فيها.
5. أشعة الحقل الكهربائي الساكن مماسة لخطوط الحقل في كلٍ نقطةٍ من المنطقة التي يسودُها.
6. تقارب خطوط الحقل الكهربائي الساكن في منطقة يسودُها حقلٌ ضعيف.
7. يمكن استعمال برادة الحديد وزيت الخروع، لتشكل خطوط حقل كهربائيٌ ساكنٌ في منطقة يسودُها هذا الحقل.

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

وضعت شحنة كهربائية نقطية $-2\mu C = q$ في نقطةٍ من منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيٌ مُنتظَمٌ فتأثرت بقوّة شدّتها $F = 0.08 N$. والمطلوب:

1. احسب شدّة الحقل الكهربائي المُنتظَم المؤثّر على q .
2. ارسم شكلاً يوضح:

a. خطوط قوّة الحقل الكهربائي.

b. شعاع القوّة الكهربائية وشعاع الحقل الكهربائي المؤثّرين في q .

المسألة الثانية:

من خلال قراءتك للشكل المجاور. المطلوب:

1. احسب شدّة الحقل الكهربائي الكلّي في النقطة D .
 2. احسب شدّة القوّة الكهربائية المؤثّرة في الشحنة q_2 المتوضّعة في النقطة B .
-

المسألة الثالثة:

وضعت أربع 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 $a = 0.1 m$ مرتبة على التوالي باتجاه دواران عقارب الساعة.

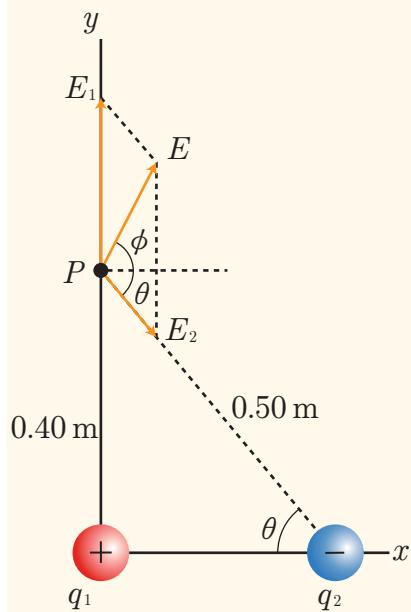
المطلوب:

1. احسب شدّة الحقل الكهربائي الكلّي الساكن عند مركز المُربّع.
 2. حدد عناصر القوّة الكهربائية المؤثّرة في إلكترونٍ موضوع في مركز المُربّع
- شحنة الإلكترون: $e = 1.6 \times 10^{-19} C$

المسألة الرابعة:

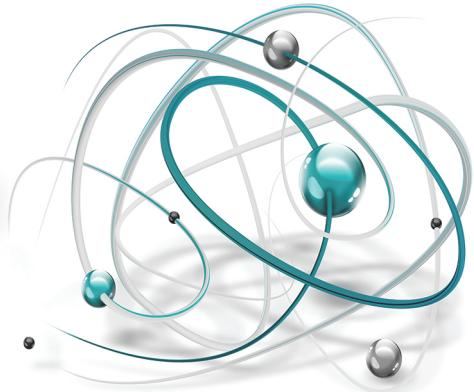
شحتنان مُتوسطتان على رأسين مُثلث قائم $q_2 = -12.5\mu\text{C}$ ، $q_1 = +16\mu\text{C}$ كما في الشكل المجاور. المطلوب:

- احسب شدة الحقل الكهربائي الكلّي الناجم في الرأس الثالث P لل مثلث.

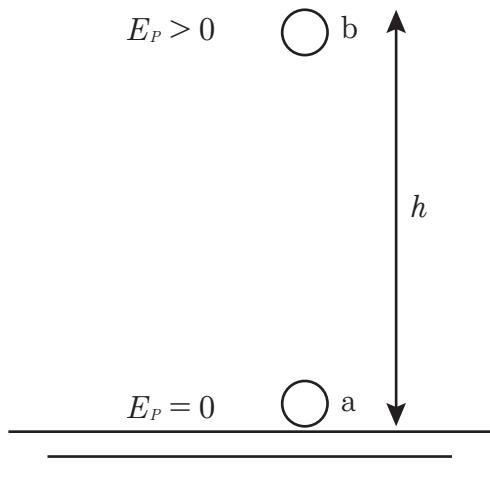


3-3

الكمون الكهربائي



تخضع الأجسام الموجودة بالقرب من سطح الأرض لتأثير حقل الجاذبية الأرضية، وبنقلها نحو الأعلى تقوم بعمل يعاكس عمل قوة جذب الأرض مما يكسبها طاقةً كامنة ثقالية ($E_p = mgh$)، هذا ما يحدث للشحنات الكهربائية الساكنة عند وضعها ونقلها في منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيٌ ساكن.



الأهداف:

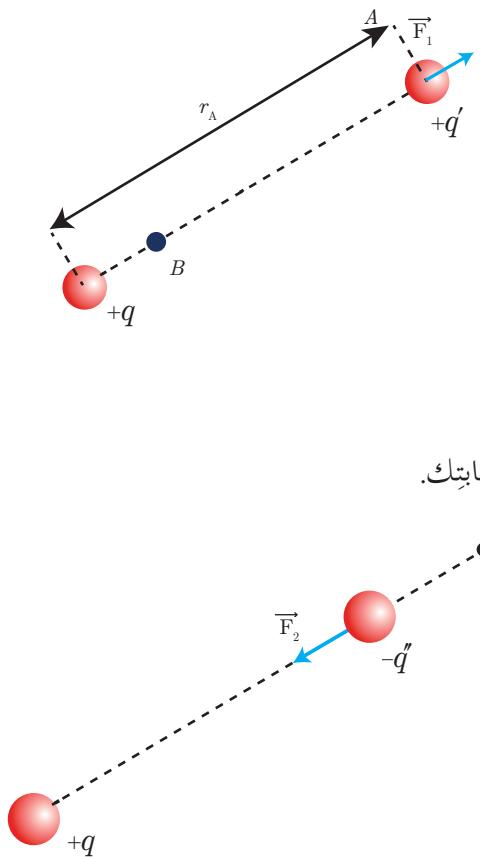
- * يتعرّف الكمون الكهربائي في نقطة من منطقة يسودُها الحقل الكهربائي.
- * يستتّجع العلاقة بين الكمون الكهربائي وشدة الحقل الكهربائي في نقطة.
- * يستتّجع علاقة الكمون الكهربائي في نقطة من منطقة يسودُها الحقل الكهربائي.
- * يستتّجع الكمون الكهربائي المُتولد عن شحنة نقطية.
- * يستتّجع علاقة الكمون الكهربائي لناقل كرويٍ معزول ومشحونٍ.
- * يتعرّف الوحدة الدوليّة للكمون الكهربائي.

الكلمات المفتاحية:

- * الكمون الكهربائي.
Electric Potential
- * ناقل كرويٍ.
Spherical Conductor



1-3 المون الكهربائي في نقطة من منطقة يسودها حقل كهربائي:



- أضِعْ شحنةً كهربائيةً موجبةً q' في نقطة A مِن منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيٌّ مُتولدٌ عن شحنةٍ موجبةٍ q .
- أَحدِدْ بالرَّسْمِ جهةَ القوَّةِ الكهربائيةِ التي تؤثِّرُ بالشحنةِ q' .
- كيَّفَ تتحرَّكُ الشحنةُ q' طوعيًّاً ضمنَ الحقلِ.
- أطْبِقْ قوَّةً مناسِبةً تنقلُ الشحنةَ q إلى النقطة B الواقعة على المستقيم الواصل بينَ الشحنَتَيْنِ (q', q) ، والأقرب إلى q .
- هل تزدادُ الطاقة الكامنة الكهربائية للشحنة q' أو تنقصُ؟ علَّ إجابتُكِ.
- أُستبدلُ الشحنةُ q' بشحنةٍ q'' سالبةً.
- أَحدِدْ بالرَّسْمِ جهةَ القوَّةِ الكهربائيةِ التي تؤثِّرُ بالشحنةِ q'' .
- كيَّفَ تتحرَّكُ الشحنةُ q'' طوعيًّاً ضمنَ الحقلِ؟
- أطْبِقْ قوَّةً مناسِبةً تنقلُ الشحنةَ q'' إلى النقطة C الواقعة على امتدادِ المستقيمِ الواصلِ بينَ الشحنَتَيْنِ (q'', q) من جهة q'' .
- هل تزدادُ الطاقة الكامنة الكهربائية للشحنة q'' أو تنقصُ؟ علَّ إجابتُكِ.

أُستنتِجُ:

- الحركة الطبيعية للشحنات الكهربائية تكونُ حيث تنقضُ طاقتها الكامنة الكهربائية.
- تزدادُ الطاقة الكامنة الكهربائية للشحنة المتأثرة سواء كانت هذه الشحنة موجبة أم سالبة، والسبب اكتسابها عملاً اختزنته على شكل طاقة كامنة كهربائية.
- نسمِي نسبة الطاقة الكامنة الكهربائية E_p التي تخزنُها الشحنة الكهربائية في نقطةٍ إلى قيمة الشحنة q' الموضوعة فيها بالكمون الكهربائي V ، ويُعرَفُ بالعلاقة: $V = \frac{E_p}{q}$.
الطاقة الكامنة الكهربائية للشحنة المتأثرة، وقدرها بالجول J .
 q' : قيمة الشحنة الكهربائية المتأثرة، وقدرها بالكيلومول C .
 V : الكمون الكهربائي وقدرها بالفولت V (Volt).
- بالإضافة من العلاقة $V = \frac{J}{C}$ عُرِفَ وحدة الفولط.

الفولت قيمة الكمون الكهربائي عند نقطة، إذا وضعت عندها وحدة الشحنات الموجبة فإنَّها تكتسب طاقةً كامنةً كهربائية مقدارُها واحد جول.

تطبيق (1)

تبلغُ الطاقة الكامنة الكهربائية لبروتون $J = 3.2 \times 10^{-14} \text{ eV}$ في نقطةٍ من منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيٌّ المطلوب، احسب الكمون الكهربائي عند هذه النقطة علماً أنَّ $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$.

الحل:

نحن نعلم أن شحنة البروتون = شحنة الإلكترون $= 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ بالقيمة المطلقة.

$$V = \frac{E_p}{q} = \frac{3.2 \times 10^{-14}}{1.6 \times 10^{-19}} = 2 \times 10^5 \text{ V}$$

إضاعة

إن وحدة الكمون هي جول/الكولوم وسميت هذه الوحدة بالفولت تخليداً لذكرى العالم الإيطالي فولت (1754\1827) Volta الذي اخترع عمود فولطا وهو منبع للتيار الكهربائي.

2-3 المموج الكهربائي الناجم عن شحنة نقطية:

من خلال الدراسة التجريبية في إحدى المخابر تم التوصل إلى النتائج الآتية:

- التجربة الأولى:

$\frac{V}{q}$	الكمون الكهربائي (V)	بعد النقطة عن الشحنة (d)	الشحنة المولدة للحقن (q)
	$18 \times 10^4 \text{ V}$	$10 \times 10^{-2} \text{ m}$	$2 \times 10^{-6} \text{ C}$
	$36 \times 10^4 \text{ V}$	$10 \times 10^{-2} \text{ m}$	$4 \times 10^{-6} \text{ C}$
	$72 \times 10^4 \text{ V}$	$10 \times 10^{-2} \text{ m}$	$8 \times 10^{-6} \text{ C}$

من خلال قراءتك للجدول السابق، احسب النسبة $\frac{V}{q}$ ، ماذا أستنتج؟

- التجربة الثانية:

$V \times d$	الكمون الكهربائي (V)	بعد النقطة عن الشحنة (d)	الشحنة المولدة للحقن (q)
	$18 \times 10^4 \text{ V}$	$10 \times 10^{-2} \text{ m}$	$2 \times 10^{-6} \text{ C}$
	$9 \times 10^4 \text{ V}$	$20 \times 10^{-2} \text{ m}$	$2 \times 10^{-6} \text{ C}$
	$6 \times 10^4 \text{ V}$	$30 \times 10^{-2} \text{ m}$	$2 \times 10^{-6} \text{ C}$

من خلال قراءتك للجدول السابق، احسب المقدار $V \times d$ ، ماذا أستنتاج؟

أستنتج

إن الكمون الكهربائي في نقطة من حقل كهربائي يتناسب:

1. طرداً مع الشحنة النقطية المولدة للحقل.

2. عكساً مع بعد هذه النقطة عن الشحنة المولدة للحقل الكهربائي.

$$V = k \frac{q}{d}$$

حيث: $k = 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2.\text{C}^{-2}$ ثابت التناوب (ثابت كولوم).

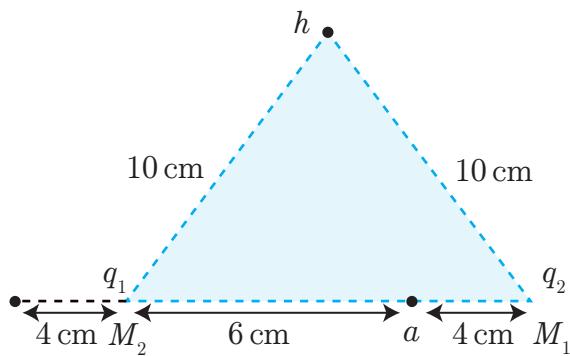
من العلاقة الأخيرة نلاحظ أن الكمون الكهربائي المولّد عن شحنة كهربائية نقطية هو مقدار فيزيائي سلمي يتبع الشحنة المولدة له ويكون موجباً إن كانت الشحنة المولدة للحقل موجبة، وسالباً إن كانت سالبة.

تعتبر

الكمون الكهربائي عند أيّة نقطة واقعة في منطقة يسودها حقل كهربائي تابع لعدة شحنات نقطية يساوي المجموع الجبري للكمونات الناشئة عن الشحنات، كل على حدة في النقطة المعتبرة.

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

تطبيق (2)



في الشكل المجاور سُجّلت نقطتان نقطيتان قيمتا هما $q_1 = -6 \times 10^{-9} \text{ C}$ و $q_2 = 6 \times 10^{-9} \text{ C}$ وضعتا في النقاطين M_2, M_1 ، بحيث تبعدان عن بعضهما مسافة 10 cm في الخلاء. المطلوب:

احسب الكمون الكهربائي في النقاط h, b, a

الحل:

بما أن الكمون مقدار جبري فالكمون الكلّي الناتج يجمع جمماً جبرياً:

$$V = V_1 + V_2$$

الكمون في النقطة a :

$$V_a = V_1 + V_2$$

$$V_a = 9 \times 10^9 \frac{q_1}{d_1} - 9 \times 10^9 \frac{q_2}{d_2}$$

$$V_a = 9 \times 10^9 \frac{6 \times 10^{-9}}{6 \times 10^{-2}} - 9 \times 10^9 \frac{6 \times 10^{-9}}{4 \times 10^{-2}}$$

$$V_a = 900 - 1350 = -450 \text{ V}$$

الكمون في النقطة b :

$$V_b = V_1 + V_2$$

$$V_b = 9 \times 10^9 \frac{q_1}{d_1} - 9 \times 10^9 \frac{q_2}{d_2}$$

$$V_b = 9 \times 10^9 \frac{6 \times 10^{-9}}{4 \times 10^{-2}} - 9 \times 10^9 \frac{6 \times 10^{-9}}{14 \times 10^{-2}}$$

$$V_b = 1350 - 395.7 = 964.3 \text{ V}$$

الكمون في النقطة h :

$$V_h = V_1 + V_2$$

$$V_h = 9 \times 10^9 \frac{q_1}{d_1} - 9 \times 10^9 \frac{q_2}{d_2}$$

$$V_h = 9 \times 10^9 \frac{6 \times 10^{-9}}{10 \times 10^{-2}} - 9 \times 10^9 \frac{6 \times 10^{-9}}{10 \times 10^{-2}}$$

$$V_h = 540 - 540 = 0 \text{ V}$$

لاحظ أنَّ الكمون الكهربائي في النقطة h معدوم، في حين أنَّ الحقل الكهربائي غير معدوم.

3-3 العلاقة بين المون الكهربائي، وشدة الحقل الكهربائي المُتولَّد عن شحنة نقطية في نقطة:

يتولَّد حقلٌ كهربائيٌّ عن شحنة نقطية q ، ولتكن a نقطة من هذا الحقل تبعد عن q مسافة d في الخلاء.

1. اكتب العلاقة التي تُعطي الكمون الكهربائي في النقطة a .

2. اكتب العلاقة التي تُعطي شدة الحقل الكهربائي في النقطة a .

3. استنتج العلاقة التي تربط بين الكمون الكهربائي وشدة الحقل الكهربائي في نقطة منه.

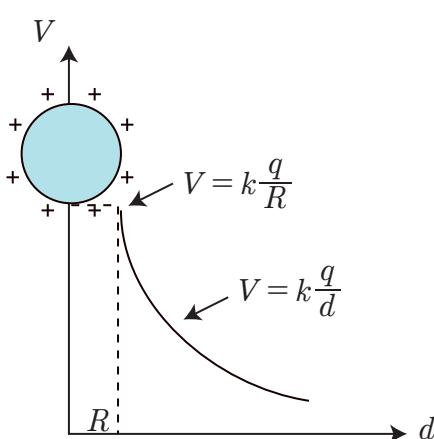
استنتج: يرتبط الكمون الكهربائي الناجم عن شحنة نقطية مع شدة الحقل الكهربائي في نقطة منه بالعلاقة:

$$E = \frac{V}{d}$$

أتفكر

هل تبقى العلاقة بين شدة الحقل والكمون ذاتها في حال كان الحقل الكهربائي متولِّداً عن عدَّة شحناتٍ نقطية؟

4-3 المون الكهربائي لناقل كروي معزول ومشحون:



إنَّ الشُّحنة الكهربائية التي يحملُها ناقلٌ كروي معزول ومشحون تكافئ شحنة q نقطية موضوعة في مركز الناقل، والكمون الكهربائي هو ذاته لجميع نقاط هذا الناقل، ويعطى بالعلاقة: $V = k \frac{q}{R}$ حيث R : نصف قطر الناقل الكروي.

لاحظ أنّ:

- الكمون الكهربائي في النقاط الواقعة خارج الناقل الكروي وعلى بعد من مركزه يعطى بالعلاقة: $V = k \frac{q}{d}$
- تناقص قيمة الكمون الكهربائي كلما ابتعدنا عن سطح الناقل حتى تصبح متساوية الصفر عند نقطة في اللانهاية $V_{\infty} = 0$
- شدة الحقل الكهربائي داخل الناقل معروفة. لأن الشحنات تتوزع على السطح الخارجي للناقل.

تطبيق (3)

ناقل كروي معزول، قطره 6 cm، موضوع في الخلاء كمونه يساوي V = -900 V، **المطلوب:** حساب:
1. قيمة الشحنة الكهربائية للناقل.

2. قيمة الكمون الكهربائي عند نقطة تبعد 3 cm عن سطحه (نحو الخارج).
المعطيات:

$$2R = 6 \text{ cm} \Leftrightarrow R = 3 \text{ cm} = 3 \times 10^{-2} \text{ m}$$
$$V = -900 \text{ V}$$

الحل:

$$V = 9 \times 10^9 \frac{q}{R} \quad .1$$

$$q = \frac{VR}{9 \times 10^9}$$

$$q = \frac{-900 \times 3 \times 10^{-2}}{9 \times 10^9} = -3 \times 10^{-9} \text{ C}$$

$$V = 9 \times 10^9 \frac{-3 \times 10^{-9}}{d} \quad .2$$

$$d = 3 + 3 = 6 \text{ cm} = 6 \times 10^{-2} \text{ m}$$
$$V = 9 \times 10^9 \frac{-3 \times 10^{-9}}{6 \times 10^{-2}} = -450 \text{ V}$$

تعلّمتُ

- يرتبط الكمون الكهربائي الناجم عن شحنة نقطية مع شدة الحقل الكهربائي في نقطة منه بالعلاقة: $E = \frac{V}{d}$
- الكمون الكهربائي الناجم عن شحنة نقطية q في نقطة تبعد عن q مسافة d يعطى بالعلاقة: $V = k \frac{q}{d}$
- الكمون الكهربائي الناجم عن عدّة شحنات نقطية يساوي المجموع الجبري للكمونات الناجمة عن كل شحنة مُنفردة.

أختبر نفسك



أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. ناقل كروي مُعتدل ومعزول، قطره 2 m ، إذا اكتسب شحنة مقدارها 2 C فإن كمونه الذي يقدر بالفولت بدالة ثابت كولوم يساوي:

$$\frac{k}{4} \cdot d$$

$$\frac{k}{2} \cdot c$$

$$k \cdot b$$

$$2k \cdot a$$

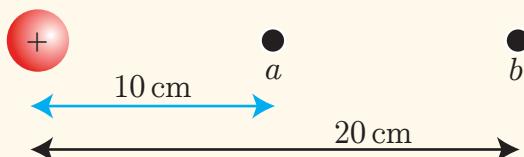
2. في السؤال السابق يكون الكمون الكهربائي عند نقطة على بعد 50 cm من مركز الناقل بدالة ثابت كولوم مُساوياً:

$$\frac{k}{4} \cdot d$$

$$\frac{k}{2} \cdot c$$

$$k \cdot b$$

$$2k \cdot a$$



$$1V \cdot d$$

$$2V \cdot c$$

$$3V \cdot b$$

$$4V \cdot a$$

4. في السؤال السابق تكون شحنة الناقل بالكولوم بدالة ثابت كولوم مُساوية:

$$20k \cdot d$$

$$\frac{20}{k} \cdot c$$

$$\frac{k}{2} \cdot b$$

$$\frac{0.2}{k} \cdot a$$

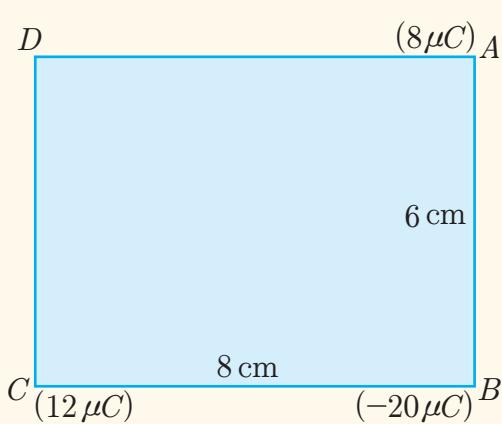
ثانياً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

- احسب الطاقة الكامنة الكهربائية التي يكتسبها جسيم شحنته $q' = 2\mu\text{C}$ إذا وضع عند نقطة تقع على بعد 3 cm من شحنة نقطية مقدارها $3 \times 10^{-8}\text{ C}$.

المسألة الثانية:

في الشكل المجاور ثلاث شحنات نقطية موضوعة عند الرؤوس C, B, A للمستطيل. **المطلوب:**



1. احسب الكمون الكهربائي عند النقطة D .

2. احسب الكمون الكهربائي عند نقطة تلاقي قطري المستطيل.

3. نضع شحنة نقطية رابعة عند الرأس D ، قيمتها $-20\mu\text{C}$ ، احسب شدة الحقل الكهربائي المُتولد عن الشحنات الأربع عند نقطة تلاقي قطري المستطيل.

المسألة الثالثة:

ناقل كروي معزول ومشحون، نصف قطره 2 cm ، فإذا علمتَ أنَّ الكمون الكهربائي على سطحه يساوي $4.5 \times 10^3 \text{ V}$ ، **المطلوب:**

1. احسب شحنة الناقل الكروي.
2. احسب الكمون الكهربائي عند النقاط الآتية:
 - a. نقطة تقع على بعد 1 cm من المركز.
 - b. نقطة تقع على بعد 10 cm من المركز.
 - c. نقطة تقع على بعد 16 cm من سطح الناقل.

المسألة الرابعة:

مربع $ABCD$ طول ضلعه 5 cm ، وُضعت عند الرأس A الشحنة $20\mu\text{C}$ ، وعند الرأس B الشحنة $10\sqrt{2}\mu\text{C}$.

المطلوب:

احسب الشحنة اللازم وضعها عند الرأس C ليكون الكمون الكهربائي عند الرأس D مُساوياً الصفر.



المسألة الخامسة:

نضع في الرؤوس الأربع لربع طول ضلعه $\sqrt{2}\text{ m}$ الشحنات النقطية الآتية: $q_1 = 2 \times 10^{-8}\text{ C}$ ، $q_2 = 1 \times 10^{-8}\text{ C}$ ، $q_3 = 2 \times 10^{-8}\text{ C}$ ، $q_4 = 3 \times 10^{-8}\text{ C}$

المطلوب:

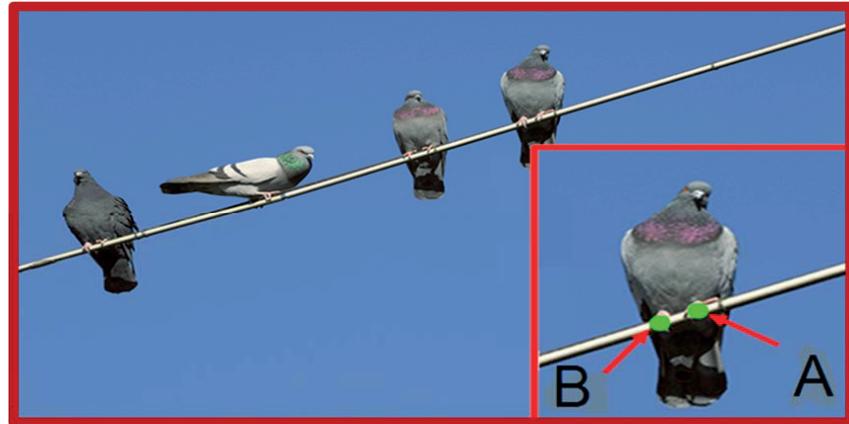
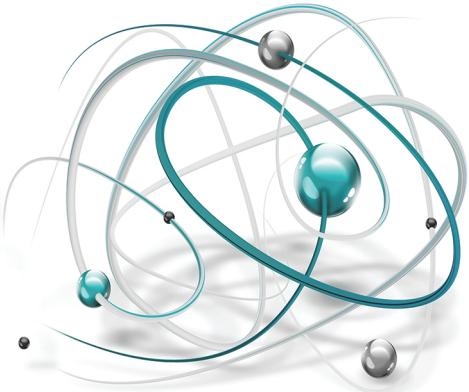
احسب قيمة الكمون الكهربائي المُتولد في نقطة تلقي قطري المربع.

المسألة السادسة:

ثلاث شحنات كهربائية $q_1 = 2 \times 10^{-6}\text{ C}$ ، $q_2 = 2 \times 10^{-6}\text{ C}$ ، $q_3 = 2 \times 10^{-6}\text{ C}$ توزَّع على رؤوس مُثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه 3 cm ، **المطلوب:**

1. احسب قيمة الكمون الكهربائي في نقطة تلقي متوسِّطات المُثلث.
2. نضع في نقطة تلقي متوسِّطات المُثلث شحنة كهربائية $-1 \times 10^{-6}\text{ C}$. احسب الطاقة الكامنة الكهربائية لهذه الشحنة.
3. بفرض أنَّا وضعنا في نقطة تلقي متوسِّطات المُثلث شحنة كهربائية $+1 \times 10^{-6}\text{ C}$ ، وتركتها حرَّة. ماذا يحدُث لهذه الشحنة؟ وما الطاقة الحركية العُظمى التي تبلغُها؟

4-3 فرق الكمون الكهربائي



- في هذه الصورة نشاهد أن طائر الحمام يقف على سلك ناقل يجتازه تيار كهربائي.

الاحظ وأجيب:

- هل يحدث تكهرب للحمام الذي يقف على سلك الناقل؟ ولماذا برأيك؟
- ما العلاقة بين كمون النقطة A وكمون النقطة B الموضحتين في الصورة؟
لإجابة على هذه التساؤلات، لابد من توضيح مفهوم فرق الكمون الكهربائي بين نقطتين.

الأهداف:

- * يتعرف فرق الكمون الكهربائي بين نقطتين من منطقة يسودها حقل كهربائي.
- * يستنتج العلاقة بين فرق الكمون وعمل القوة الكهربائية.
- * يتعرف الوحدة الدولية لفرق الكمون اعتماداً على العلاقة بين فرق الكمون وعمل القوة الكهربائية.
- * يستنتاج العلاقة بين شدة الحقل الكهربائي المنتظم وفرق الكمون. (علاقة فرق الكمون مع عمل القوى الكهربائية).

الكلمات المفتاحية:

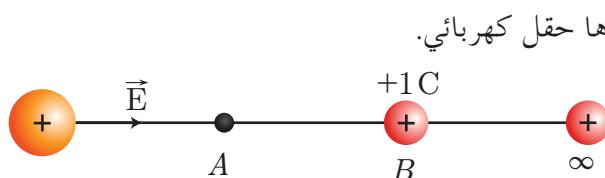
- * فرق الكمون الكهربائي
Difference Electric Potential

٤- فرق الالمون الكهربائي بين نقطتين:

للتتأمل فقاعة صغيرة من الهواء في أنبوب زجاجي مغلق، يحوي ماءً موضوعاً على سطح منضدة أفقية.

- أضع الأنبوب بشكل شاقولي. هل تتحرّك فقاعة الهواء؟
- أضع الأنبوب بشكل مائل من أحد طرفيه. بأيّ اتجاه تتحرّك فقاعة الهواء؟ هل يمكن للشحنة الكهربائية الموضوعة في منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيٌّ أن تسلك سلوكَ فقاعة الهواء في حركتها؟

٤- العلاقة بين فرق الالمون وعمل القوة الكهربائية



- أضع شحنةً نقطيةً موجبةً q' في نقطة A من منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيٌّ.
- تأثر الشحنة q' بالقوة الكهربائية \vec{F} ، فتنتقل من النقطة A إلى نقطة B .
- اكتب عبارةً الطاقة الكامنة الكهربائية للشحنة q' في كلٍّ من النقطتين (B, A) .
- اكتب العلاقة بين عمل القوة الكهربائية وتغيير الطاقة الكامنة الكهربائية.
- استنتج علاقة فرق الالمون الكهربائي بين النقطتين (A, B) بدلالة عمل القوة الكهربائية.
- استنتاج تعريف فرق الالمون الكهربائي بين نقطتين من خلال ما سبق.

$$E_{PB} = q' V_B \quad E_{PA} = q' V_A$$

$$W_{A \rightarrow B} = -\Delta E_P \quad \text{حسب نظرية الطاقة الكامنة.}$$

$$W_{A \rightarrow B} = -(E_{PB} - E_{PA})$$

$$W_{A \rightarrow B} = (E_{PA} - E_{PB})$$

$$W_{A \rightarrow B} = (q' V_A - q' V_B)$$

$$W_{A \rightarrow B} = q' (V_A - V_B)$$

$$V_A - V_B = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q'}$$

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

$$U_{AB} = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q'}$$

- 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.

أكبر وأجيب:

$$U_{AB} = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q'} \quad \text{اعتتماداً على العلاقة}$$

- ما وحدة فرق الكمون في الجملة الدولية؟

- بفرض أن الشحنة المُتنقلة بين النقطتين (B, A) هي إلكترون، وعلى فرض أن فرق الكمون بين النقطتين يساوي (1) فولت. استنتاج قيمة العمل المبذول.

$$- \quad \text{إن وحدة قياس فرق الكمون في الجملة الدولية هي الفولت} \quad 1(\text{J}) / 1(\text{C}) = \text{Volt}$$

ويعَرِّف الفولت بأنه: فرق الكمون بين نقطتين من منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيٌّ، إذا انتقلت بينهما شحنة نقطية مقدارها 1C ، كان عمل القوة الكهربائية في أثناء انتقالها مُساوياً 1J .

- إذا كانت الشحنة المُتنقلة بين النقطتين في منطقة الحقل إلكتروناً، نجد أن العمل المبذول:

$$W_{A \rightarrow B} = e(V_A - V_B)$$

$$W_{A \rightarrow B} = e(1\text{V}) = 1.6 \times 10^{-19} (\text{C}) \times 1 (\text{V}) = 1.6 \times 10^{-19} \text{J}$$

$$1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{J}$$

وبالتالي يعرف الإلكترون فولت بأنه العمل المصروف على نقل إلكترون بين نقطتين من منطقة يسودُها حقل كهربائي، فرق الكمون بينهما فولت واحد.

أو الطاقة الحركية التي يكتسبُها الإلكترون عندما ينتقل بين نقطتين في منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيٌّ فرق الكمون الكهربائي بينهما يساوي فولتاً واحداً.

أستنتاج:



إنَّ فرقَ الْكِمُونَ بَيْنَ نقطَتَيْنَ مِنْ منطَقَةٍ يَسُودُهَا حَقْلٌ كَهْرَبَائِيٌّ سَاكِنٌ:

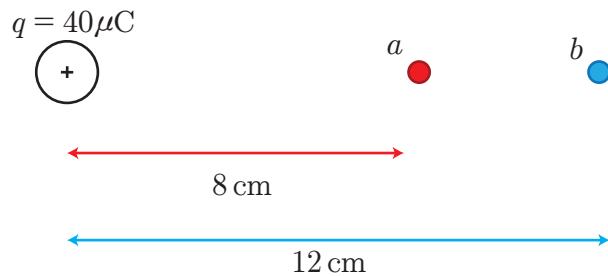
- يَحْدُدُ التَّغْيِيرُ الطَّارِئُ عَلَى الطَّاقَةِ الكَامِنَةِ لِلشُّحْنَةِ عِنْدَمَا تَتَنقُّلُ بَيْنَ هَاتَيْنِ النَّقطَتَيْنِ.
- يَحْدُدُ الْحَرْكَةِ التَّلَقَائِيَّةِ لِلشُّحْنَاتِ الْكَهْرَبَائِيَّةِ، فَتَتَنقُّلُ الشُّحْنَاتِ الْمُوَجَّبَةُ مِنَ الْكِمُونِ الْمُرْتَقِعِ إِلَى الْكِمُونِ الْمُنْخَفِضِ، وَالشُّحْنَاتِ السَّالِبَةِ تَتَنقُّلُ مِنَ الْكِمُونِ الْمُنْخَفِضِ إِلَى الْكِمُونِ الْمُرْتَقِعِ.

$$U_{BA} = V_B - V_A$$

$$U_{BA} = -(V_A - V_B)$$

لا يتعلّق بالطريق المسلوب.

-
-
-



تطبيق (1)

من الشكل المجاور أحسب:

1. فرقَ الْكِمُونَ بَيْنَ النَّقطَتَيْنِ a و b .
2. الْعَمَلِ الْمُبَذَّلِ لِنَقلِ إِلَكْتَرُونٍ مِنَ a إِلَى b .

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

الحل:

.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

$$W_{a \rightarrow b} = q U_{ab}$$

$$W_{a \rightarrow b} = -1.6 \times 10^{-19} (1.5 \times 10^6) = -2.4 \times 10^{-13} \text{ J}$$

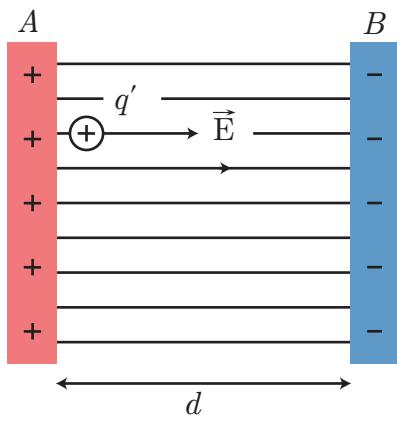
3-4 العلاقة بين شدة الحقل الكهربائي المُنْظَم وفرق المُمُون:

الاحظ وأجيئ:

في الشكل المجاور:

- ماذا أسمى الحقل الكهربائي المُتولّد بين الصفيحتين، وما جهته؟
- ما العمل الناتج من الانتقال التلقائي للشحنة الموجبة q' من الصفيحة المستوية A إلى الصفيحة المستوية B ؟

نعلم أنّ:



$$W_{A \rightarrow B} = Fd = q'Ed$$

وكذلك:

$$W_{A \rightarrow B} = q'U_{AB}$$

بالمساواة بين العلقتين

$$W_{A \rightarrow B} = q'Ed = q'U_{AB}$$

$$U_{AB} = Ed \implies E = \frac{U_{AB}}{d} = \frac{V_A - V_B}{d}$$

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 كان فرق الكمون الكهربائي بين صفيحتين مُستويتين مُتوازيتين مَشحونَتين بشحنَتين مُختلفتين يساوي 240 V ، والمسافة بينهما 0.8 cm ، فأحسب شدة الحقل الكهربائي المُنْظَم بين الصفيحتين.

الحل:

$$E = \frac{U_{AB}}{d} = \frac{240}{0.008} = 30000 \text{ V.m}^{-1}$$

- العلاقة بين فرق الكمون وعمل القوة الكهربائية .

$$U_{AB} = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q}$$
- **الإلكترون فولت:** هو العمل المتصروف على نقل الإلكترون بين نقطتين من منطقة يسودها حقل كهربائي فرق الكمون بينهما فولت واحد. $1\text{eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$
- فرق الكمون بين نقطتين من منطقة يسودها حقل كهربائي ساكن:
 - يحدّد التغيير الطارئ على الطاقة الكامنة للشحنة عندما تنتقل بين هاتين النقطتين.
 - يحدّد الحركة التقائية للشحنتين الكهربائيتين، فتنقل الشحنات الموجة من الكمون المرتفع إلى الكمون المنخفض، والشحنات السالية تنتقل من الكمون المنخفض إلى الكمون المرتفع.
 - $U_{BA} = -(V_A - V_B)$ ، $U_{BA} = V_B - V_A$
 - لا يتعلّق بالطريق المسلوب.
- العلاقة بين شدة الحقل الكهربائي وفرق الكمون

$$U_{AB} = Ed \implies E = \frac{U_{AB}}{d} = \frac{V_A - V_B}{d}$$



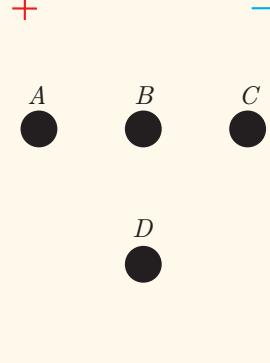
أختبر نفسك

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. إذا كان العمل المبذول لنقل شحنة مقدارها $10\mu\text{C}$ بين نقطتين من منطقة يسودها حقل كهربائي ساكن يساوي 0.01 J ، فإن فرق الكمون بين هاتين النقطتين يساوي:
 a. 10^{-2} V .d b. 10^2 V .c c. 10^{-3} V .b d. 10^3 V .a
2. إذا كان فرق الكمون بين نقطتين $U_{AB} = 10^3 \text{ V}$ ، وهمما ضمن منطقة يسودها حقل كهربائي منتظم شدته 10^4 N/C ، فإن البعد بين النقطتين:

- a. 0.1 cm .d b. 0.1 m .c c. 1 cm .b d. 1 m .a

3. في الشكل المجاور ينعدم فرق الكمون الكهربائي بين النقطتين:



- (A,C) .b (A,B) .a
 (D,A) .d (B,D) .c

4. إذا أثّرت قوّة كهربائية شدتها $N = 10^{-2} \times 2$ على شحنة كهربائية، فانتقلت مسافة 10 cm ضمن الحقل الكهربائي المنتظم، فيكون عمل هذه القوّة مساوياً لـ:

- a. $1/500 \text{ J}$.d b. $1/1000 \text{ J}$.c c. 1000 J .b d. 10 J .a

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1. هل يتطلب تحريك شحنة على سطح ناقل مشحون ومعزول إنجاز عمل؟ ووضح السبب.
2. ناقلان كرويان متساويان قطراء أحدهما مجوف والآخر مصمت. أيٌّ منهما يستوعب شحنة أكثر؟ ووضح السبب.
3. إذا كانت شدة الحقل الكهربائي عند نقطة من ناقل تساوي الصفر. فهل يجب أن يكون الكمون مساوياً للصفر؟ ووضح إجابتك.

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

بين نقطتين (b, a) فرق كمون كهربائي قدره 6 V احسب قيمة العمل الذي تقوم به القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة كهربائية قيمتها $300 \mu\text{C}$ عندما تنتقل بين النقطتين السابقتين.

المسألة الثانية:

نضع جسيماً كتلته $m = 10^{-3} \text{ g}$ مشحوناً بشحنة $q = 1 \mu\text{C}$ في منطقة يسودها حقل كهربائي منتظم شدّته $E = 10^4 \text{ V/m}$ وتركه دون سرعة ابتدائية. **المطلوب:**

1. برهن أن حركة الجسيم في المنطقة هي حركة مستقيمة متتسارعة بانتظام، وذلك بإهمال ثقله.
2. حساب تغير الطاقة الكامنة للجسيم عندما يقطع مسافة 10 m .
3. حساب سرعة الجسيم بعد أن يقطع المسافة السابقة 10 m .

المسألة الثالثة:

قطر أفقي لنصف دائرة طوله 5 cm ، نضع في النقطة A شحنة نقطية $q_1 = 10 \times 10^{-9} \text{ C}$ ، وفي النقطة B شحنة نقطية $q_2 = -30 \times 10^{-9} \text{ C}$. **المطلوب.** حساب:

1. قيمة الكمون الكهربائي في كل من النقطتين (N, M) الواقعتين على محيط نصف الدائرة حيث:
 $AM = 3 \text{ cm}$ ، $AN = 4 \text{ cm}$

$$2. \text{ قيمة فرق الكمون الكهربائي } V_N - V_M$$

$$3. \text{ قيمة العمل الكهربائي اللازم لانتقال الشحنة } q' = \frac{10}{3} \times 10^{-9} \text{ C} \text{ من النقطة } N \text{ إلى النقطة } M$$

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:

أولاًً - 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 الشبكة عن أنواع مختلفة لماكينات تصوير المستندات وقدرتها الإنتاجية والجدوى الاقتصادية لكل منها.

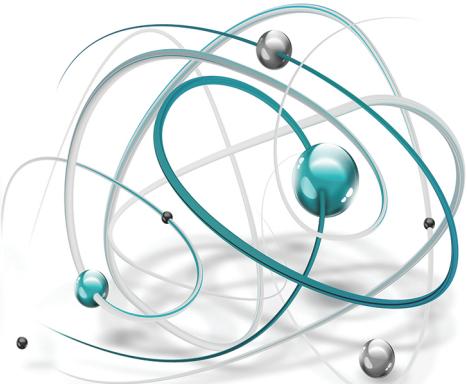
ثالثاً - التقويم:

مناقشة النتائج ومقارنتها وإعداد تقرير كامل حول عمل كل جزء من ماكينة تصوير المستندات ودور أساسيات الكهرباء الساكنة فيها.



5-3

التيار الكهربائي المستمر



- يعمل المولد الكهربائي كما تعمل المضخة المرتبطة على طرفي حوض ماء، تحدث المضخة فرقاً في الضغط بين طرفي الأنوب، فيتحرك الماء من الضغط المرتفع إلى الضغط المنخفض عبر الأنوب، وإذا عاد الماء إلى الحوض ثانيةً فإن كميته تبقى ثابتة.
- وتعد البطاريات والمُدّخرات (المولد الكهربائي) من مصادر التيار الكهربائي المستمر التي تقدم الطاقة الكهربائية اللازمة لعمل بعض الأجهزة الكهربائية.



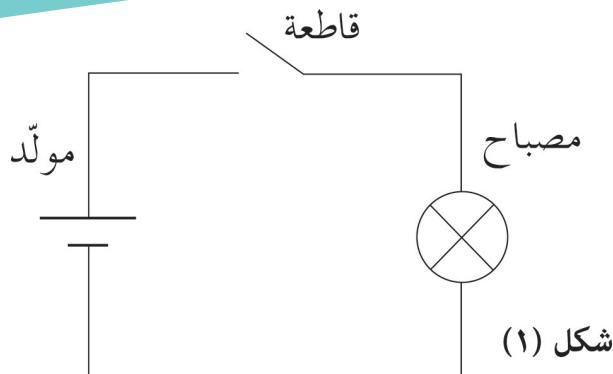
الأهداف:

- يتعرف التيار الكهربائي المستمر ويعدد منابعه.
- يتعرف العقدة الكهربائية.
- يستنتج تجريبياً خصائص التيار.
- يطبق قانون كيرشوف في العقدة الكهربائية.
- يستنتاج تجريبياً خصائص فرق الكمون الكهربائي.
- يطبق علاقة شال على فرق الكمون الكهربائي في الدارة الكهربائية.
- يتعرف القوة المُحرّكة الكهربائية لمولد.
- يتعرف قانون جمع المولّدات على التسلسل.
- يتعرف قانون جمع المولّدات على التفرع.
- يطبق قانون كيرشوف في الحلقة (العروة).

الكلمات المفتاحية:

- التيار الكهربائي المستمر.
- أيون موجب.
- أيون سالب.
- ثنائي قطب.
- العقدة الكهربائية.
- القوة المُحرّكة الكهربائية لمولد.
- مقاومة أومية.

٤-١ التيار الكهربائي المستمر (المتوارد DC)



أُجْزَبْ وأُسْتَنْجُ:

لِإِجْرَاءِ التَّجْرِيْبِ أَحْتَاجُ إِلَى:

- مُوَلَّد.

- مِصْبَاح.

- وَعَاءً تَحْلِيلَ كَهْرَبَائِيًّا.

- قَاطِعَة.

- أَسْلَاكٌ تَوْصِيلٌ.

خطوات التجربة:

١. أَرْكَبْ الدَّارَةَ المُوضَّحةَ فِي الشَّكْلِ (١):
أُغْلِقَ القَاطِعَة، مَاذَا أَلَاحَظَ؟

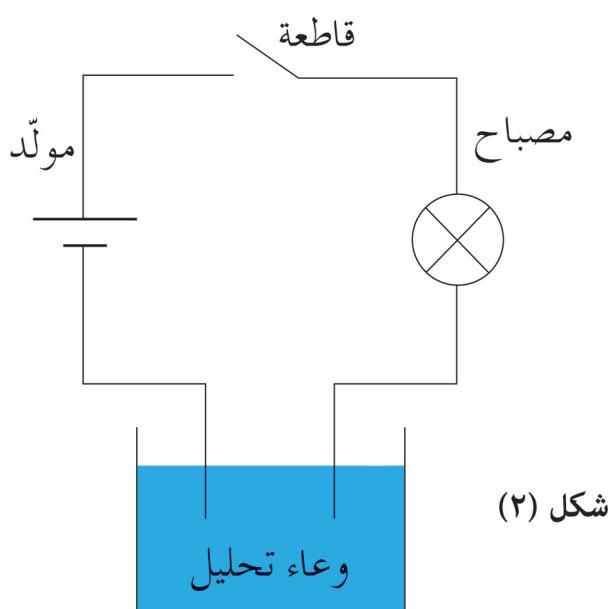
٢. أَرْكَبْ الدَّارَةَ المُوضَّحةَ فِي الشَّكْلِ (٢).

٣. أَغْمَسْ الْمَسْرِيَّيْنِ فِي مَاءٍ مُقْطَرٍ وَأُغْلِقَ القَاطِعَة.

- هَلْ يَضِيءُ الْمِصْبَاحُ؟ مَاذَا أَسْتَنْجُ؟

٤. أُضِيفْ بُلُورَاتٍ مِنْ ملح الطعام (كلوريد الصوديوم)
إِلَى الْمَاءِ تَدْرِيْجِيًّا، مَاذَا أَلَاحَظَ؟

٥. أَحْرَكَ الْمَحْلُولَ الْمَلْحِيَّ، هَلْ تَزَدَّدُ إِضَاءَةُ
الْمِصْبَاحِ؟ مَاذَا أَسْتَنْجُ؟



إِذَا طُبِّقَ فَرْقُ كَمَوْنِ كَهْرَبَائِيٍّ بَيْنَ طَرْفَيِّ دَارَةٍ كَهْرَبَائِيَّةٍ مُغْلَقَةٍ تَوَلَّ حَقْلَ كَهْرَبَائِيٍّ يَجْعَلُ حَامِلَاتِ الشَّحْنَةِ
تَتَحرَّكُ حَرْكَةً مُنْتَظَمَةً، تَسَمَّى الْحَرْكَةُ الْمُنْتَظَمَةُ لِلشَّحْنَاتِ بِالتَّيَارِ الْكَهْرَبَائِيِّ.

- يَنْشَأُ التَّيَارُ الْكَهْرَبَائِيُّ فِي النَّوَاقِلِ الْمَعدِنِيَّةِ عَنْ حَرْكَةِ الْإِلْكْتَرُونَاتِ الْحَرَّةِ مِنَ الْكَمَوْنِ الْمُنْخَفَضِ إِلَى
الْكَمَوْنِ الْمُرْتَفَعِ، بَيْنَمَا يَنْشَأُ التَّيَارُ الْكَهْرَبَائِيُّ فِي الْمَحَالِلِ الْمَائِيَّةِ الْقَابِلَةِ لِلتَّأْيِنِ عَنْ حَرْكَةِ الْأَيُونَاتِ
الْمُوجَّةِ وَالْأَيُونَاتِ السَّالِيَّةِ.

- نَدْعُو كَلَّاً مِنَ الْإِلْكْتَرُونَاتِ الْحَرَّةِ وَالْأَيُونَاتِ الْمُوجَّةِ وَالْأَيُونَاتِ السَّالِيَّةِ، حَامِلَاتِ الشَّحْنَةِ.

وَجَدْنَا مِنَ التَّجْرِيْبِ السَّابِقِ أَنَّ:

- الْمَاءُ الْمُقْطَرُ رَدِيءُ النَّقْلِ لِلتَّيَارِ الْكَهْرَبَائِيِّ.

- عِنْدِ إِضَافَةِ ملحِ كَلُورِيدِ الصُّودِيُومِ أَضَاءَ الْمِصْبَاحُ، لِأَنَّ إِذَا بَذَاهَا ملحِ كَلُورِيدِ الصُّودِيُومِ يَحْرِرُ أَيُونَاتِ
الْكَلُورِ Cl^- السَّالِيَّةِ وَأَيُونَاتِ الصُّودِيُومِ Na^+ الْمُوجَّةِ الَّتِي تَحْقِقُ مَرْوِرَ التَّيَارِ.

- عِنْدِ تَحْرِيْكِ الْمَحْلُولِ الْمَلْحِيِّ تَزَدَّدُ عَدْدُ الْأَيُونَاتِ الْمُتَحَرَّرَةِ، مَمَّا يَزِيدُ مِنْ إِضَاءَةِ الْمِصْبَاحِ.

أستنتج:

- شدة التيار الكهربائي توقف على عدد حاملات الشحنات الكهربائية القابلة للحركة، وتزداد شدة التيار بازدياد عدد حاملات الشحنة المتحركة.
- شدة التيار الكهربائي مقدار فيزيائي يعبر عن عدد حاملات الشحنات الكهربائية التي تجتاز مقطع من ناقل خلال وحدة الزمن، عندما تنتقل بجهة واحدة.
- فإذا كان عدد حاملات الشحنات التي تجتاز مقطع الناقل ثابتاً مع مرور الزمن وتنتقل بجهة ثابتة، قلنا إن التيار مستمر (متواصل).

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

• تُعطى شدة التيار الكهربائي في المعدن بالعلاقة:
 q : القيمة المطلقة لكمية الكهرباء وحدة قياسها كولوم (C)، وتعطى بالعلاقة: $q = ne$
حيث n : عدد الإلكترونات الحرّة. e : القيمة المطلقة لشحنة الإلكترون وتساوي $C = 1.6 \times 10^{-19}$.
 Δt : زمن مرور التيار، وحدة قياسها ثانية. I : شدة التيار وحدة قياسها أمبير A.

إضاءة

- يتم مرور التيار الكهربائي في ناقل معدني نتيجة انتقال مستمر لمجموعة الإلكترونات الحرّة بحركة إجمالية من رتبة الميليمتر في الثانية.
- ندعو كل من المولد والمصباح الكهربائي ووعاء التحليل الثنائي قطب؛ لأنّ له قطبين، أحدهما لدخول التيار، والأخر لخروجـه.

2-4 قانون أمبير

+

-



أجريب وأستنتج:

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

- مقاومات مختلفة.
- عدّة مقاييس أمبير.
- مولد كهربائي يعطي قيمةً مختلفة للتوتر الكهربائي.

خطوات التجربة:

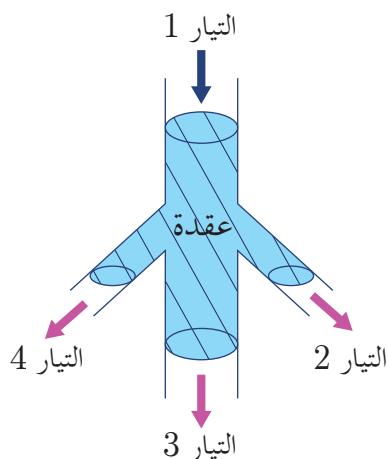
1. أركب الدارة الموضحة بالشكل المجاور: أغلق القاطعـة.

2. أقيـس I_1 قيمة شـدة التـيار المـارة في المـقاومـة R_1 .

3. أقيـس I_2 قيمة شـدة التـيار المـارة في المـقاومـة R_2 .

4. أقيس I قيمة شدة التيار المارة في المقاومة R .
 5. أعيد كلاًًاً مما سبق من أجل قيم مختلفة للتوتر الكهربائي بين طرفي المولّد.
 أسجل النتائج في الجدول الآتي:

رقم التجربة	I_1	I_2	I	$I_1 + I_2$



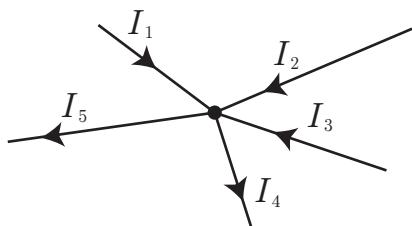
- ما طريقة وصل R_1 مع R_2 ؟
- ما العلاقة بين شدة التيار I وشديتي التيارين $(I_1 + I_2)$ ؟
- ما هي عدد النوافل المتلاصقة عند النقطة a ، وعندهن النقطة b ؟

أستنتج:

- العقدة** نقطة التقائه ثلاثة نوافل على الأقل.
- في الدارة السابقة توجّد عقدتان: العقدة a ، والعقدة b .

3-4 قانون كيرشوف الأول (قانون العقد) (قانون مجموع الشحنة الكهربائية)

ينص: «مجموع شدّات التيارات الكهربائية الداخلة إلى عقدة يساوي مجموع شدّات التيارات الكهربائية الخارجة منها».



من الشكل المجاور نجد:

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

أستنتج:

المجموع الجبري لشدّات التيارات عند عقدة في دارة كهربائية مغلقة يساوي الصفر ويُكتب: $\Sigma I = 0$

تطبيق (1)

احسب شدة التيار I_4 الموضحة في الشكل علماً أنَّ:

$$I_1 = 3\text{A} \quad I_2 = 10\text{A} \quad I_3 = 5\text{A}$$

حسب قانون كيرشوف الأول:

مجموع شدّات التيارات الداخلة في العقدة = مجموع شدّات التيارات الخارجة منها.

$$I_4 + I_3 = I_1 + I_2$$

$$I_4 + 5 = 3 + 10$$

$$I_4 = 8\text{A}$$

تطبيق (2)

حدّدت جهة وشدة التيار في فرعين من الدارة الممثلة في الشكل المجاور: $I_1 = 2A$ $I_2 = 5A$

المطلوب:

١. استنتج شدة التيار المارة في المقاومة R_3 .

٢. عين جهة وشدة التيار المار في ثنائى القطب BC (وتعني إشارة الاستفهام أن طبيعة ثنائى القطب مجهولة).

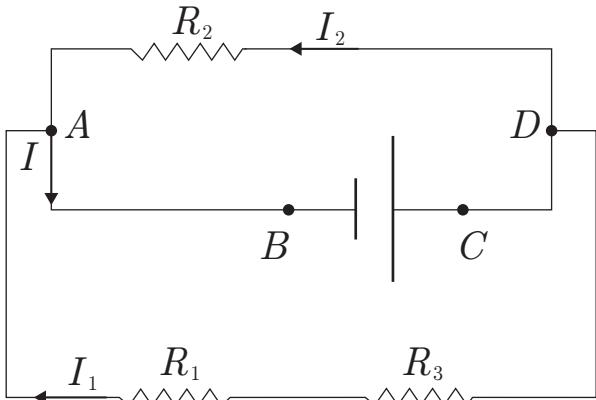
٣. إذا علمت أن ثنائى القطب BC عبارة عن مولد. حدد القطب الموجّ.

الحل:

1. تكون شدة التيار ذاتها وتساوي $2A$ في المقاومتين (R_3, R_1) الموصولتين على التسلسل.
 2. النقطة A تمثل نقطة التقاء ثلاثة نواقل فهي عقدة.

حسب قانون كيرشوف الأول:

مجموع شدّات التّيارات الدّاخلة في عقدة تساوي مجموع شدّات التّيارات الخارجّة منها.



$$I_1 + I_2 = I$$

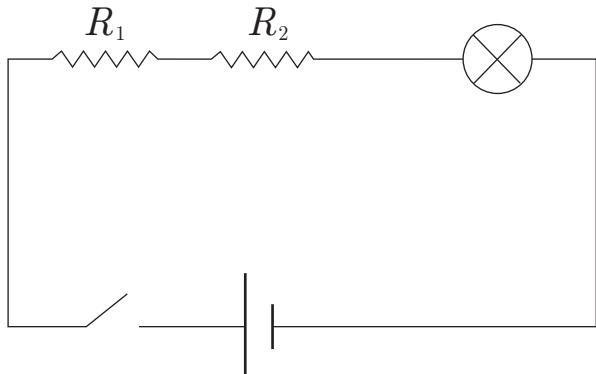
$$5 + 2 = I$$

$$I = 7\text{A}$$

3. جهة التيار من القطب الموجب إلى القطب السالب حسب اصطلاح أمبير.

نلاحظ أنَّ التيار I يدخل إلى النقطة B ، وبالتالي تشكُّل النقطة B القطب السالب، بينما تشكُّل النقطة C القطب الموجب لأنَّ التيار يخرج منها.

4- خاصيّات فرق المقاومات الكهربائي



أُجْرِبْ وَأَسْتَنْجِ
لِإِجْرَاءِ التَّجْرِيبِ أَحْتَاجُ إِلَى:

- مُقاوِمَاتٍ مُخْتَلِفَةٍ.
- مَقْيَاسٌ فُولْطٌ.
- مُوَلَّدٌ كَهْرَبَائِيٌّ.
- أَسْلَاكٌ تَوْصِيلٌ.
- مَصْبَاحٌ.

تجربة (1):

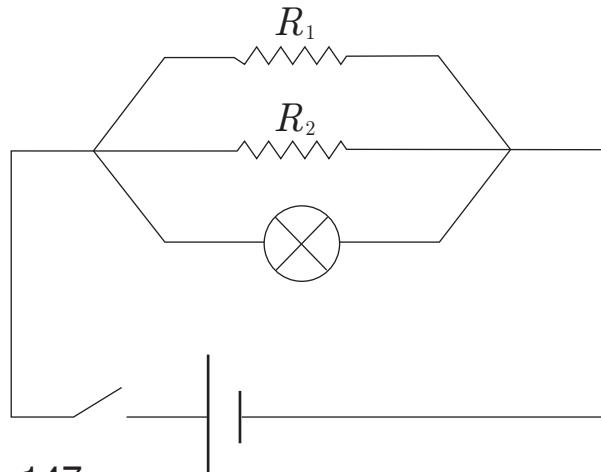
خطوات التجربة:

1. أَرْكَبْ الدَّارَةِ الْمُوضَّحةِ فِي الشَّكْلِ الْمُجَاوِرِ.
2. أَقِيسْ فَرَقَ الْكَمُونَ الْكَهْرَبَائِيَّ بَيْنَ طَرْفَيِّ كُلَّٰ مِنْ: الْمُوَلَّدِ وَالْمُقاوِمَةِ R_1 وَالْمُقاوِمَةِ R_2 وَالْمَصْبَاحِ $U U_1 U_2 U_3$ عَلَى التَّرتِيبِ عَنْدَمَا تَكُونُ الْقَاطِعَةُ مَفْتوَحةً.
3. أَغْلِقْ الْقَاطِعَةَ، ثُمَّ أَقِيسْ فَرَقَ الْكَمُونَ الْكَهْرَبَائِيَّ بَيْنَ طَرْفَيِّ كُلَّٰ مِنْ: الْمُوَلَّدِ وَالْمُقاوِمَتَيْنِ وَالْمَصْبَاحِ.
4. أَسْجِلْ النَّتَائِجِ فِي الجَدُولِ الْآتَى:

التجربة	U	U_1	U_2	U_3	$U_1 + U_2 + U_3$
1					
2					

- قارِنْ بَيْنَ فَرَقَ الْكَمُونَ الْكَهْرَبَائِيَّ بَيْنَ طَرْفَيِّ الْمُوَلَّدِ وَمَجْمُوعِ التَّوَتُّراتِ بَيْنَ طَرْفَيِّ كُلَّٰ مِنْ الْمُقاوِمَتَيْنِ وَالْمَصْبَاحِ عَنْدَمَا تَكُونُ الْقَاطِعَةُ مُغْلَقَةً، مَاذَا تَسْتَنْجِ؟

تجربة (2):



- أَعِيدُ وَصَلَ كُلَّاً مِنْ R_1 وَ R_2 وَالْمَصْبَاحَ عَلَى التَّفْرُعِ كَمَا فِي الشَّكْلِ الْمُجَاوِرِ:
- أَعِيدُ الْخُطُوطِ السَّابِقَةِ فِي التَّجْرِيبِ (1).

5. أُسجّل النتائج في الجدول الآتي:

التجربة	U	U_1	U_2	U_3
1				
2				

- ما إذا أستنتج مما حصلت عليه؟
- أستنتج من التجربتين السابقتين أنَّ:**

فرق الكمون الكهربائي الكلّي بين طرفي المولّد، يساوي مجموع التوتّرات الجزئية بين طرفي ثنائيات الأقطاب في الدّارة التسلسليّة.

في الدّارة الموضّحة في الشكل: حسب خاصيّات التوتّر:

$$U_{AB} = U_{AF} + U_{FE} + U_{ED} + U_{DC} + U_{CB} -$$

(علاقة شال)

و بما أنَّ مقاومة أسلاك التوصيل مهمّلة فإنَّ فرق الكمون الكهربائي التوتّر بين طرفي كل سلك معدومٌ عمليًا نكتبُ:

$$U_{AF} = U_{CB} = 0$$

فتصبّح علاقـة شـال:

$$U_{AB} = U_{FE} + U_{ED} + U_{DC}$$

ملاحظة:

$$U_{AB} = -U_{BA}$$

فرق الكمون كهربائي الكلّي بين طرفي المولّد، هو ذاته بين طرفي كل فرعٍ من فروع الدّارة التفرعية.

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

تطبيـق (3):

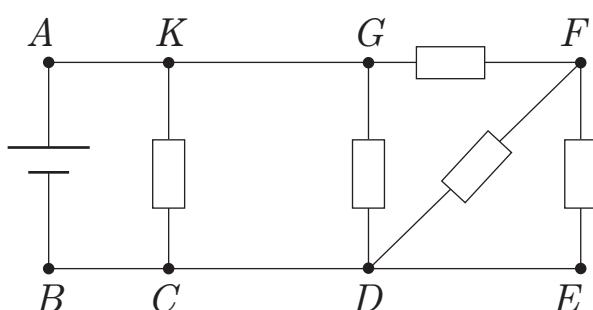
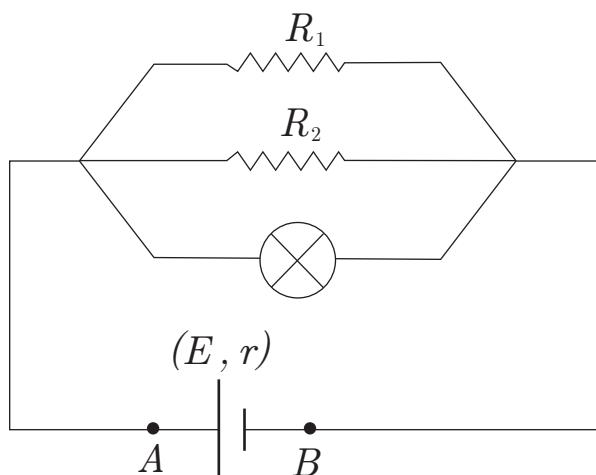
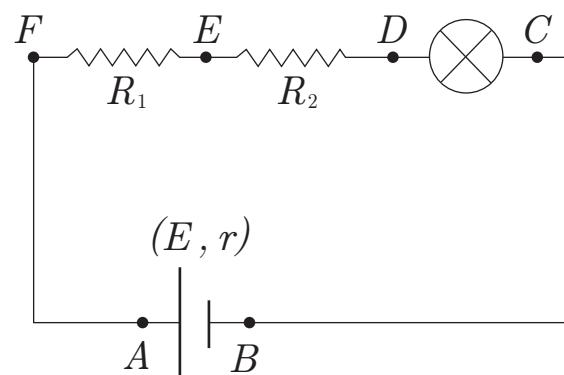
لاحظ الدّارة الآتية:

حيث الرمز  يدلُّ على ثنائي قطب.

احسب: U_{GD} , U_{DF} , U_{FE}

إذا علِمت أنَّ $U_{KC} = 10V$, $U_{GF} = 4V$

بفرض أنَّ فرق الكمون الكهربائي بين طرفي أسلاك التوصيل مهمّل.



الحل: حسب علاقة شال:

$$\begin{aligned} U_{GD} &= U_{GK} + U_{KC} + U_{CD} \\ &= 0 + 10 + 0 \\ &= 10 \text{V} \end{aligned}$$

حيث: $U_{GD} = 10 \text{V}$; لأن مقاومات أسلاك التوصيل مهملة.
حساب: U_{DF}

$$\begin{aligned} U_{DF} &= U_{DG} + U_{GF} \\ U_{DG} &= -U_{GD} = -10 \text{V} &= -10 + 4 \\ &&= -6 \text{V} \end{aligned}$$

حساب: U_{FE}
طريقة أولى:
طريقة ثانية:

$$\begin{aligned} U_{FE} &= U_{FG} + U_{GD} + U_{DE} = -4 + 10 + 0 = 6 \text{V} \\ U_{FE} &= U_{FD} + U_{DE} = 6 + 0 = +6 \text{V} \end{aligned}$$

تطبيق (4):

لتكن الدارة الموضحة في الشكل المجاور:
فإذا علمت أن:

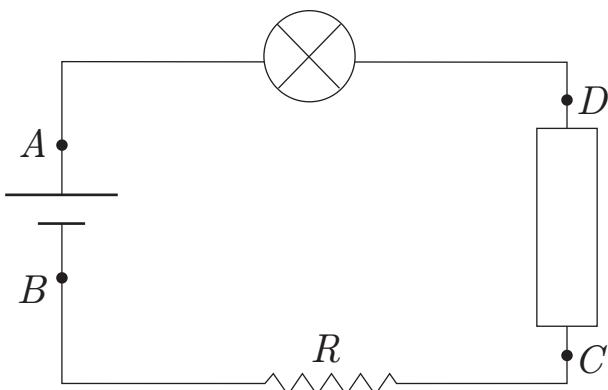
$$U_{AB} = 12 \text{V} \quad U_{DC} = 4 \text{V} \quad U_{BC} = -3 \text{V}$$

المطلوب:

1. احسب: U_{BD} , U_{CA} , U_{AD}

حساب: U_{AD}

حسب علاقة شال:

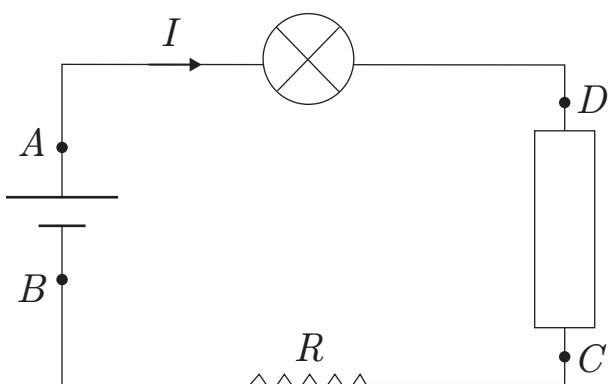


$$\begin{aligned} U_{AD} &= U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} \\ &= 12 - 3 - 4 = 5 \text{V} \end{aligned}$$

حساب: U_{CA} : $U_{CA} = U_{CD} + U_{DA} = -4 - 5 = -9 \text{V}$

حساب: U_{BD} : $U_{BD} = U_{BC} + U_{CD} = -3 - 4 = -7 \text{V}$

2. إذا كانت شدة التيار المار في الدارة 0.6A . حدد جهة التيار، ثم احسب قيمة المقاومة الأولية.
إن جهة التيار حسب اصطلاح أمبير بعكس جهة حركة الإلكترونات الحرجة؛ أي يخرج من القطب الموجب ويدخل في القطب السالب فتصبح الدارة:



حساب: $R = \frac{U}{I} = \frac{3}{0.6} = 5 \Omega$

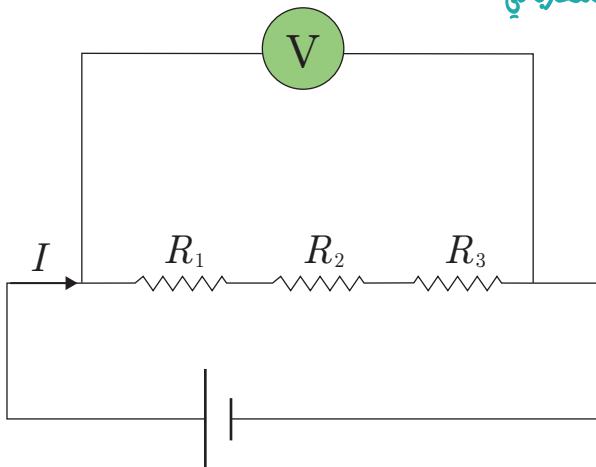
- حسب قانون أوم: $R = \frac{U}{I} = \frac{3}{0.6} = 5 \Omega$
3. أحسب كمية الكهرباء المارة في الدارة خلال دقيقة واحدة.

$$q = ? \quad \Delta t = 60 \text{s}$$

$$q = I \Delta t = 0.6 \times 60 = 36 \text{C}$$

5-4 تطبيقات خاصيات التيار وخاصيات فرق المئون الكهربائي

5-4-1 توصيل المقاومات على التسلسل:



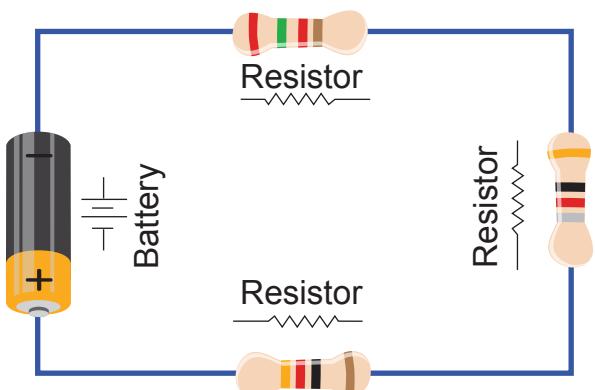
نصل على التسلسل ثلاثة نوافل أومية مقاومتها (R_1, R_2, R_3)

كما في الشكل المجاور:
يجتاز جميع المقاومات التيار I ذاته.
نطبق علاقة شال:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

حسب قانون أوم:

$$U_{eq} = RI_{eq} \quad U_1 = R_1I \quad U_2 = R_2I \quad U_3 = R_3I$$



نعرض:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{eq} = (R_1 + R_2 + R_3)I$$

(قانون جمع المقاومات على التسلسل):

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

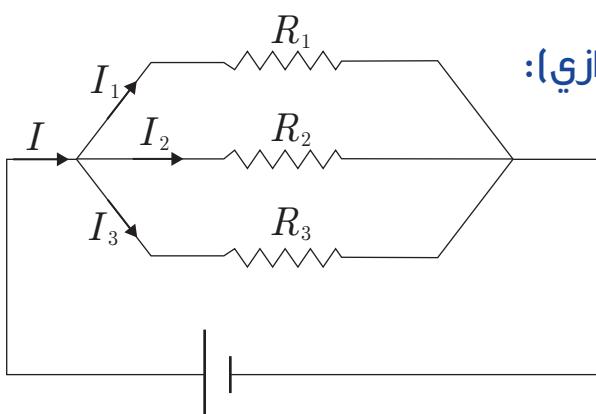
: المقاومة المكافئة.

• إذا عمّمنا على أكثر من ناقلٍ أومي موصول على التسلسل فإنَّ

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

• إذا كانت المقاومات الأومية متماثلة وعدها n :

يهدف وصل المقاومات على التسلسل للحصول على مقاومة أومية كبيرة عند تطبيق توترات كبيرة.

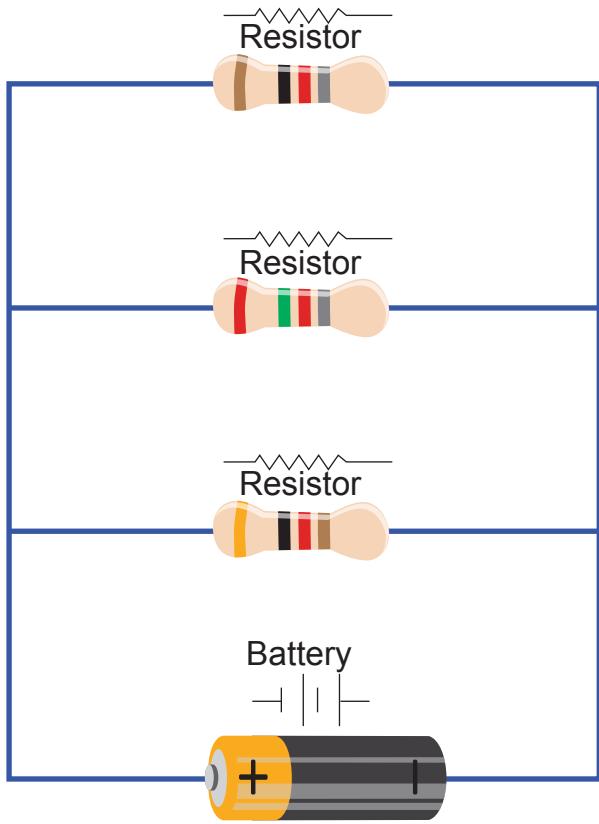


5-4-2 توصيل المقاومات على التفرُّع (التوازي):

نصل على التفرُّع ثلاثة مقاومات أومية (R_1, R_2, R_3)

• فرق الكمون ذاته في فروع الدارة التفرعية كافية.
وبحسب قانون كيرشوف الأول (قانون العقد) نجد:

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$



حسب قانون أوم:

$$I = \frac{U}{R_{eq}} , I_1 = \frac{U}{R_1} , I_2 = \frac{U}{R_2} , I_3 = \frac{U}{R_3}$$

$$\frac{U}{R_{eq}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}$$

(قانون جمع المقاومات على التفرع):

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

: المقاومة المكافئة R

- إذا كانت المقاومات متماثلة وموصلة على التفرع، وعددُها n :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = \frac{n}{R_1}$$

$$R_{eq} = \frac{R_1}{n}$$

يهدفُ وصل المقاومات على التفرع للحصول على مقاومة صغيرة لزيادة شدة التيار.

تطبيق (5):

إذا كانت المقاومة المكافئة لمقاومتين موصولتين على التسلسل 9Ω ، والمقاومة المكافئة لهما عند وصلهما على التفرع 2Ω . أوجد قيمة كلّ منها.

الحلّ:

نفرض أنَّ مقاومة الناقلَين: R_1 و R_2

– عند وصل المقاومتين على التسلسل:

$$9 = R_1 + R_2 \quad (1)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

– عند وصل المقاومتين على التفرع:

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (2)$$

$$R_1 = 9 - R_2$$

من (1) :

نعرض في (2) :

$$\frac{1}{2} = \frac{1}{9-R_2} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{R_2 + 9 - R_2}{(9-R_2)R_2}$$

$$\frac{1}{2} = \frac{9}{(9-R_2)R_2}$$

$$R_2(9-R_2) = 18$$

$$R_2^2 - 9R_2 + 18 = 0$$

$$(R_2 - 3)(R_2 - 6) = 0$$

$R_1 = 3\Omega$ $R_2 = 6\Omega$ أو $R_1 = 6\Omega$ ومنه $R_2 = 3\Omega$

تطبيق (6):

ثلاث مقاومات موصولة على التفرع كما في الشكل المجاور.

حيث: $R_1 = 5\Omega$ ، $R_2 = 10\Omega$ ، $R_3 = 30\Omega$

المطلوب حساب:

1. قيمة المقاومة المكافئة R_{eq} .

2. فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المولد إذا كانت شدة التيار المار في الدارة $6A$.

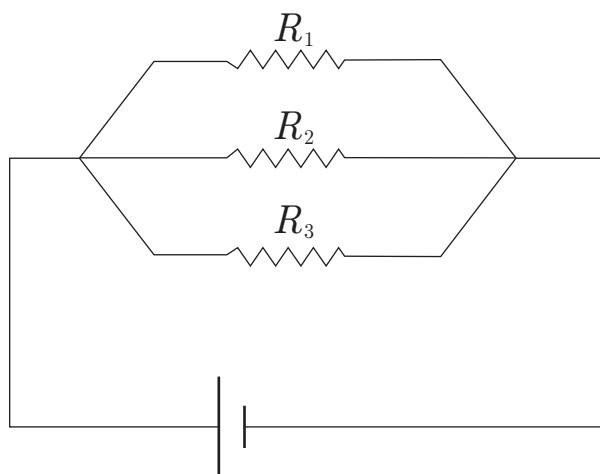
3. قيمة شدة التيار المار في كل فرع من الدارة.

4. كمية الكهرباء المارة في المقاومة R_3 خلال دقيقة واحدة.

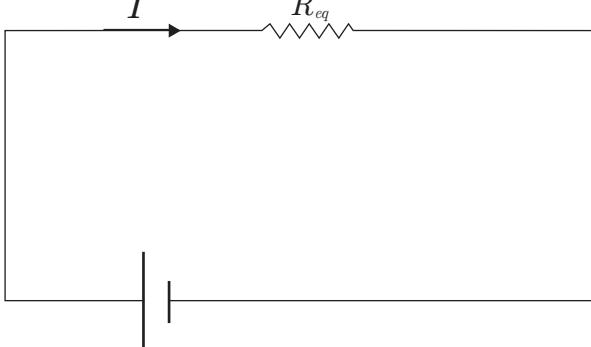
الحل:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{eq}} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \\ &= \frac{1}{5} + \frac{1}{10} + \frac{1}{30} \end{aligned} \quad .1$$

$$\begin{aligned} R_{eq} &= 3\Omega && \text{وبالتالي} \\ U_{eq} &= R_{eq}I = 3 \times 6 && .2 \\ U_{eq} &= 18V \end{aligned}$$



3. إن فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المولد، يساوي فرق الكمون الكهربائي بين طرفي كل فرع لأن الدارة موصولة على التفرع:



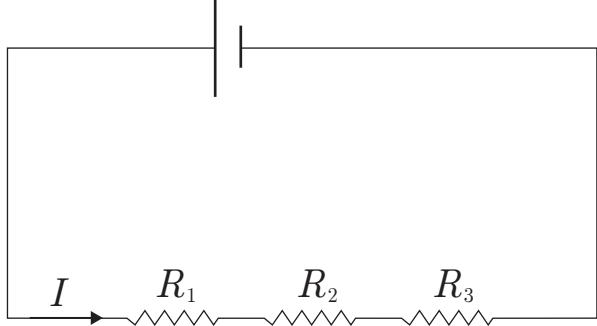
$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{18}{5} = 3.6 A$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{18}{10} = 1.8 A$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{18}{30} = 0.6 A$$

$$q = I_3 \Delta t = 0.6 \times 60 = 36 C \quad .4$$

تطبيق (7):



ثلاثة نوافل أوميّة مجهولة القيمة موصولة على التسلسُل كما في الشكل المجاواز. ويمُرُ فيها تيار شدّته $I = 5\text{A}$ ، وصلت هذه الدارة مع مقاومة 2Ω على التسلسُل، فانخفضَت شدّة التيار المارّة في الدّارة إلى $I' = 4\text{A}$. أحسب المقاومة الكلية للدّارة قبل وصل المقاومة R' .

الحل:

نستبدل المقاومات الثلاثة بمقاومة مكافئة R_{eq} .

نطبق قانون أوم على هذه الدّارة

$$U = RI \quad (1)$$

تصبح المقاومة الكلية بعد وصل المقاومة R' على التسلسُل $(R + 2)\Omega$

نطبق قانون أوم:

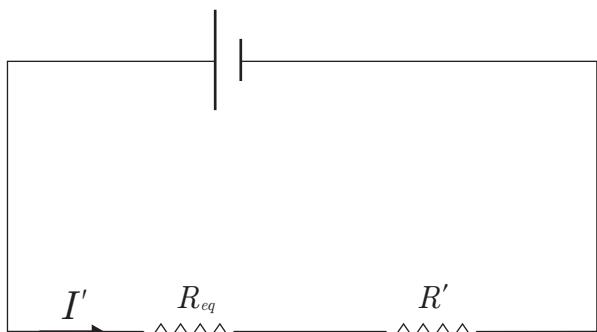
$$U = (R_{eq} + 2)I'$$

$$U = 4(R + 2) \quad (2)$$

بما أنَّ فرق الكمون الكهربائي هو ذاته، بالمساواة بين العلاقتين السابقتين نجدُ:

$$5R_{eq} = 4(R_{eq} + 2)$$

$$R_{eq} = 8\Omega$$

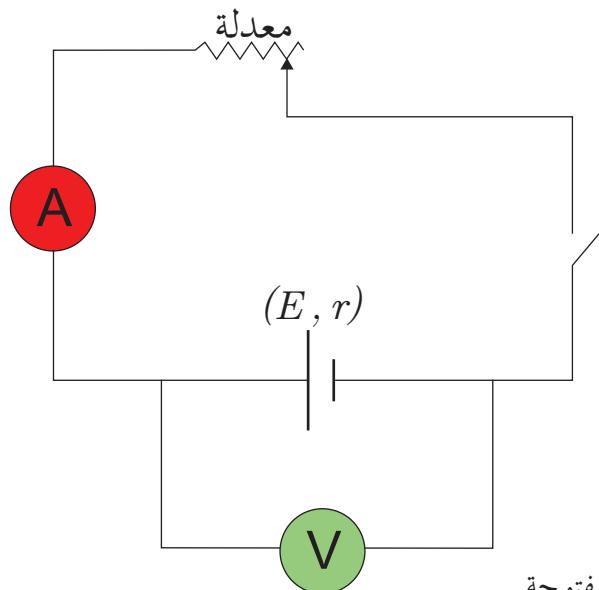


6-4 منابع التيار الكهربائي المستمر والقوة المحرّكة الكهربائية

من منابع التيار الكهربائي المستمر (المتوصل):

- الخلية الكهربائية البسيطة.
- مولد لو كلانشييه.
- المدخرات (بطاريات السيارات).
- الخلية الضوئية.

7-4 القوة المُحَدَّدة الكهربائية مول



أجري وأستنتج:

لإجراء التجربة أحتاج إلى:
• مولد.

• مقاييس فولط.

• مقاييس أمبير.

• أسلاك توصيل.

• مُعَدَّلة (مقاومة متغيرة).

خطوات التجربة:

1. أركب الدارة الموضحة في الشكل المجاور:

2. أقيس فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المولد والدائرة المفتوحة.

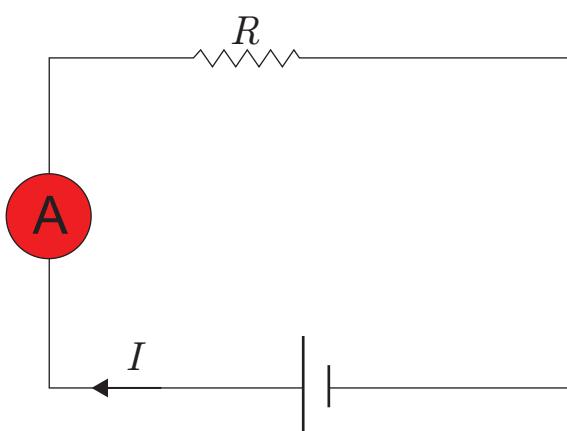
3. أضبط المُعَدَّلة على قيمتها العظمى.

4.أغلق القاطعة.

5. انقص مقاومة المُعَدَّلة شيئاً فشيئاً، وأسجل في كل مرة أزواج القياسات (U ، I) كما في الجدول الآتي:

التجربة	1	2	3	4	5	6	7
$I(A)$							
$U(V)$							

تنبيه: احرص على لا تصبح مقاومة المُعَدَّلة صغيرة جداً كيلا تزداد شدة التيار كثيراً، مما يعرض المولد للتلف.



أجب عن كلٍ مما يأتي:

1. ارسم الخط البياني لـ U بدلالة I .

2. ما شكل الخط البياني؟

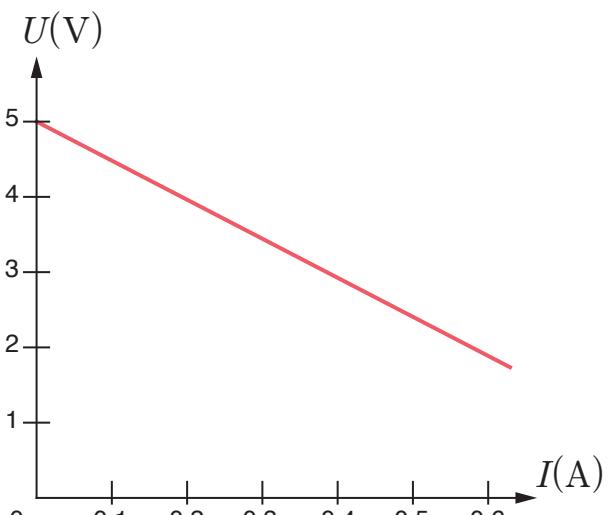
3. احسب ميله، ماذا تستنتاج؟

• يتميز كل مولد بمقاومة داخلية r وقوة محركة كهربائية E .

عند وصل مولد مع مقاومة أومية R ، يمر تيار شدته I ، وتكون المقاومة الكلية في الدارة $r+R$.

تعطى الاستطاعة الكهربائية الكلية للمولد: $P = EI$

كما أن الاستطاعة الكهربائية الكلية في الدارة: $P = (r+R)I^2$



$$\begin{aligned} EI &= (r+R)I^2 \\ E &= (r+R)I \\ E &= rI + RI \\ E - rI &= RI \end{aligned}$$

المقدار RI : يمثل فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المقاومة، أمّا المقدار rI ، فيمثل هبوط التوتر بينقطبي المولد.

سببه المقاومة الداخلية للمولد r ، ويسمى بالهبوط الأولي.

فيصبح فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المولد:

$$U = E - rI \quad \text{ التابع المميّز للتوتر بدلالة شدة التيار}$$

عند رسم الخطّ البياني لـ U بدلالة I نحصل على مستقيم ميله سالب.

- في المدّخرات والمولدات التي تحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية تهمّل المقاومة الداخلية.

$$r = 0$$

$$U = E$$

بالتالي:

فيصبح الخطّ البياني لـ U بدلالة I مستقيماً يوازي محور الشدّة.

ملاحظة: نسمّي جميع مولدات التيار المستمر بالمولّدات الخطية.

القوّة المحرّكة الكهربائية للمولد

هي فرق الكمون الكهربائي بين قطبّي مولد عندما تكون الدارة الكهربائية مفتوحة، و يمكن القول بأنّه: العمل الكلّي المبذول خارج و داخل المولد واللازم لنقل كمية من الكهرباء قدرها كولوم واحد في الدارة الكهربائية.



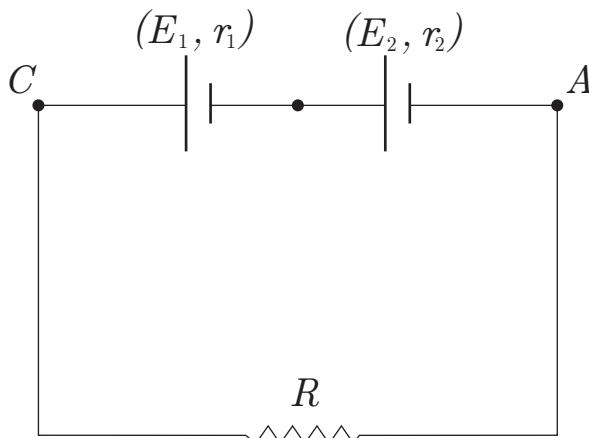
8-4 ضمّ المولدان

يمكن ضمّ المولدات مع بعضها بعضًا حسب الهدف من هذا الضمّ بثلاث طرائق:

1. ضمّ المولدات على التسلسل.
2. ضمّ المولدات على التضاد.
3. ضمّ المولدات على التفرّع.

1-8-4 حُنُم الْمَوْلَانَ عَلِيِّ التَّسْلِيسْلُ

لضم مولدين خطيين (E_1, r_1) ، (E_2, r_2) على التسلسل، نصل القطب الموجب لأحدهما بالقطب السالب للأخر، ونسمى هذا الضم **بالضم على التوافق**، كما في الشكل المجاور.



يرسل المولدان تياراً كهربائياً متواصلاً *I*، له الجهة والشدة ذاتها.

حسب خاصيات فرق الكمون الكهربائي:

$$U = U_1 + U_2$$

$$U_1 = E_1 - r_1 I \quad U_2 = E_2 - r_2 I$$

لکن:

$$U = E_1 - r_1 I + E_2 - r_2 I$$

نَعْهَدُ

$$U = E_1 + E_2 - (r_1 + r_2)I$$

نتيجة: ثبّأي القطب الناتج عن ضم مولدين خطبيين على التسلسل (التوافق)، هو مولد خطبي، قوله المحرّكة الكهربائية: $E = E_1 + E_2$

$$E = E_1 + E_2 \quad \text{المُحرّكة الكهربائية:}$$

$r = r_1 + r_2$: مقاومته الداخلية

يمكن أن تعمّم هذه النتيجة عند وصل عدّة مولّدات على التسلسل، فتكون القوّة المُحرّكة الكهربائيّة للمولود الناتج: $E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_n$ وتكون المقاومة الداخليّة للمولود الناتج:

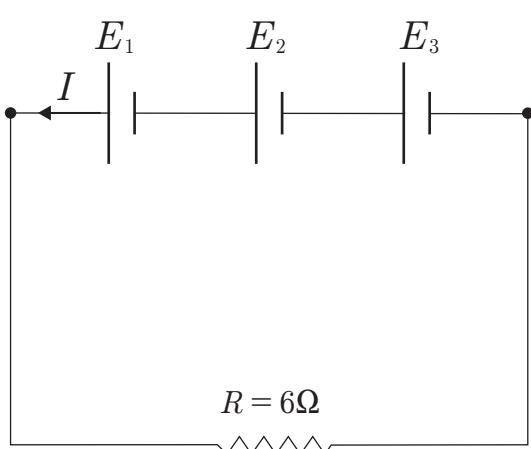
$$r = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n$$

إذا كانت المولّدات مُتماثلة و عددُها n :

$$E = nE_1 \quad , r = nr_1$$

يهدف ضم المولّدات على التسلسل في الحصول على مولّد، قوّته المُحرّكة الكهربائية أكبر فيما لو كان لدينا مولّد واحد.

يمكن حساب شدة التيار الكهربائي عند ضم n مولد متماثل على التسلسل من العلاقة:



$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{nE_1}{R+n r_1}$$

تطبيق (8):

ثلاث مولدات، القوة المحرّكة الكهربائية لـكـل منها $10V$ ، مقاومته الداخلية 3Ω ، موصولة على التسلسل إلى طرف مقاومة أومية $R = 6\Omega$ كما في الشكل

المُجاوِر، المطلوب حساب:

١. شدّة التّيار المارّة في الدّارة.

2. في الكمون الكهربي أي بين طرف كاً مولدّ.

3. فِي الْكَمْبُونِيْتِ طَفَّالُ الْمُقاَمَةِ الْأَوَّلِيَّةِ R.

الحل:
.1

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{nE_1}{R+nr_1}$$

$$I = \frac{3 \times 10}{6 + 3 \times 3} = 2\text{A}$$

$$U_1 = E_1 - r_1 I$$

$$U_1 = 10 - 3 \times 2 = 4\text{V}$$

وبما أن المولّدات مُتماثلة فإنّ:

3. طريقة أولى:

$$U = RI$$

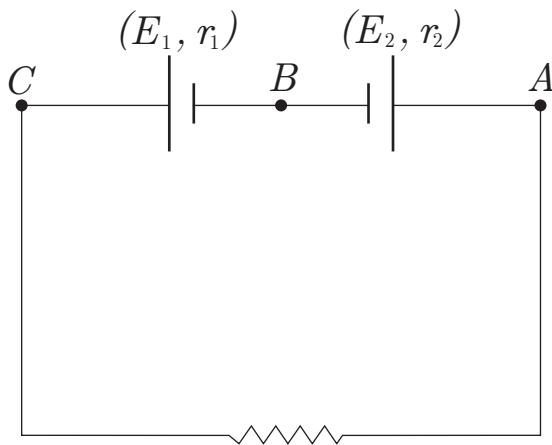
$$U = 6 \times 2 = 12\text{V}$$

طريقة ثانية:

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$U = 4 + 4 + 4 = 12\text{V}$$

2-8-4 دُخُل المولّدات على التّضاد



لضمّ مولّدين خطبيّن (E_1, r_1) ، (E_2, r_2) ، حيث $E_1 > E_2$ ، حيث على التّضاد نصلُ القطب الموجب لأحدهما بالقطب الموجب للأخر والسلب بالسلب ، كما في الشكل المجاور.

يرسل المولّدان تياراً كهربائياً متواصلاً ، مُحصلته I . حسب خاصيّات فرق الكمون الكهربائيّ:

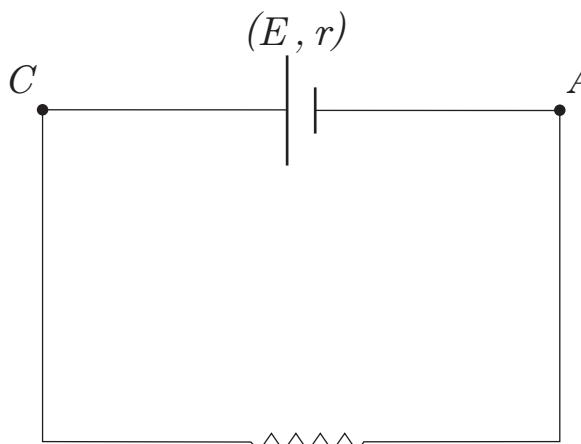
$$U = U_1 + U_2$$

$$U_1 = E_1 - r_1 I , \quad U_2 = -E_2 - r_2 I$$

$$U = E_1 - r_1 I - E_2 - r_2 I$$

$$U = E_1 - E_2 - (r_1 + r_2) I$$

نُوّرض:



نتيجة: ثانوي القطب الناتج عن ضمّ مولّدين خطبيّن على التّضاد هو مولّد خطبيّ قوّة المحرّكة الكهربائية.

$$E = E_1 - E_2$$

$$r = r_1 + r_2$$

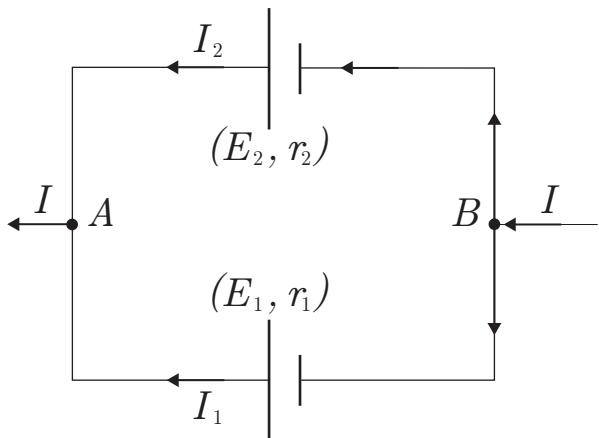
ومقاومته الداخليّة:

$$I = 0 , \quad E = 0$$

حالة خاصّة: المولّدان مُتماثلان

3-8-4 ضم المولّدات على التفرع

لضم مولدين خطيين متماثلين على التفرع (التساوي)، نصل القطبين الموجين للمولدين إلى النقطة A والقطبين السالبين إلى نقطة أخرى B، كما في الشكل المجاور.



إن كلاً من A, B عقدة، فحسب قانون كيرشوف الأول:

$$I = I_1 + I_2$$

$$I_1 = I_2$$

نوعض في قانون كيرشوف الأول: بما أنَّ المولدين متماثلين.

أما التوتر بين طرفي كل مولد فهو نفسه لأنَّ كلاً من المولدين موصولين إلى العقدتين A, B.

وبالتالي: فنستطيع أن نكتب من أجل كل مولد:

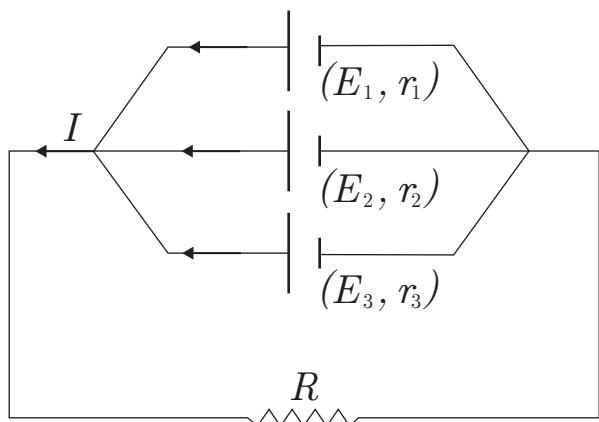
$$U_1 = U_2 = U \quad U_1 = E_1 - r_1 \frac{I}{2}, \quad U_2 = E_2 - r_2 \frac{I}{2}$$

حيث: $E_1 = E_2 = E$ لأنَّ المولدين متماثلين.

نتيجة: المولد المكافئ لمولدين خطيين متماثلين موصولين على التفرع هو مولد خطٌّي، قوته المحرّكة الكهربائية E ، وهي القوة المحرّكة الكهربائية لكلاً منهما، أما مقاومته الداخلية $r = \frac{r_1}{2}$.

تعميم: إذا كان لدينا n مولد خطٌّي متماثل موصول على التفرع، نحصل على مولد مكافئ، قوته المحرّكة الكهربائية هي القوة المحرّكة الكهربائية لأحد المولدين $E = E_1 = E_2 = \dots = E_n$ ، ومقاومته الداخلية $r = \frac{r_1}{n}$. يهدف ضم المولّدات على التفرع في الحصول على تيارٍ شدته I كبيرة في الدارة الخارجية. بينما لا يحتاج كل مولد متماثل إلا تيارٍ شدته $\frac{I}{n}$.

تطبيق (9):



ثلاث مولّدات متماثلة موصولة على التفرع، كما في الشكل المجاور:

القوة المحرّكة الكهربائية لكل مولد 6V، ومقاومته الداخلية 2Ω ،

فيتم في المقاومة R تيارٌ كهربائيٌ شدته 3A.

المطلوب حساب:

1. قيمة شدة التيار المارة في كل فرع.
2. قيمة فرق الكمون الكهربائي بين طرفي كل فرع.
3. قيمة المقاومة الأومية.

الحل:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{I}{3}$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = \frac{3}{3} = 1A$$

1. بما أنَّ المولّدات متماثلة فإنَّ:

$$U_1 = E_1 - r_1 I_1$$

$$U_1 = 6 - 2 \times 1 = 4V$$

$$U_1 = U_2 = U_3 = 4V$$

و بما أن المولّدات متماثلة فإنَّ:

3. إنَّ فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المقاومة الأوّمية يساوي فرق الكمون الكهربائي بين طرفي كل 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 الجري لقوى المحرّكة الكهربائية مغلقة، يساوي المجموع الجري لجاء المقاومة في شدة التيار الذي يجتازها.

فتكون الصيغة الرياضية لقانون كيرشوف الثاني:

$$\Sigma E = RI$$

R : المقاومة الكلية في الدارة.

لنضم على التسلسل مولدين كهربائيين وثلاث مقاومات أوّمية، كما في الشكل المجاور.

نسمّي الدارة $ABCDEA$ بالحلقة أو العروة، والجهة الاصطلاحية الموجبة للتيار في الدارة من القطب الموجب للمولد إلى قطبه السالب.

يكافئ المولدان مولداً واحداً قوته المحرّكة الكهربائية.

. $r = r_1 + r_2$ ، و مقاومته الداخلية: $E = E_1 + E_2$

تكافئ المقاومات الثلاث مقاومة أوّمية واحدة

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

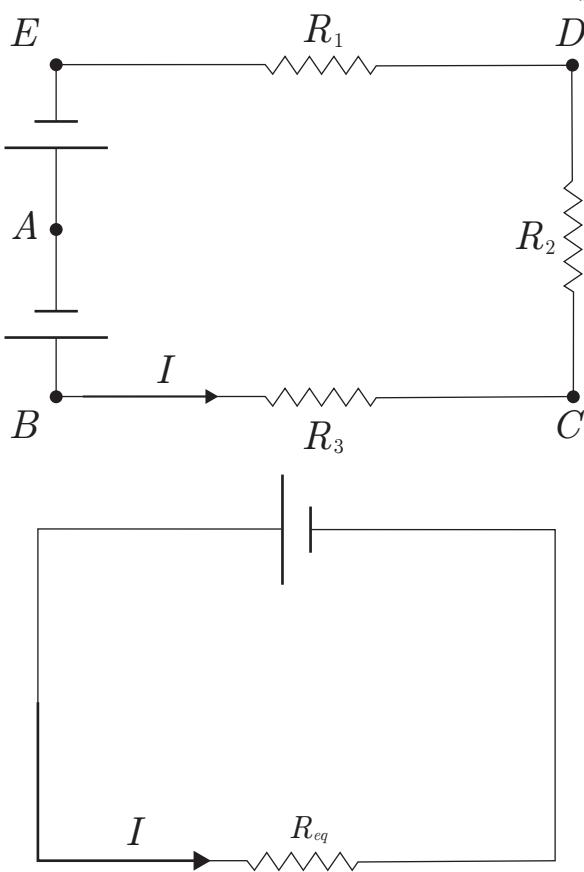
بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على الدارة السابقة:

$$E_1 + E_2 = (R_1 + R_2 + R_3)I + (r_1 + r_2)I$$

$$E = R_{eq}I + rI \implies E = (R_{eq} + r)I \implies I = \frac{E}{R_{eq} + r}$$

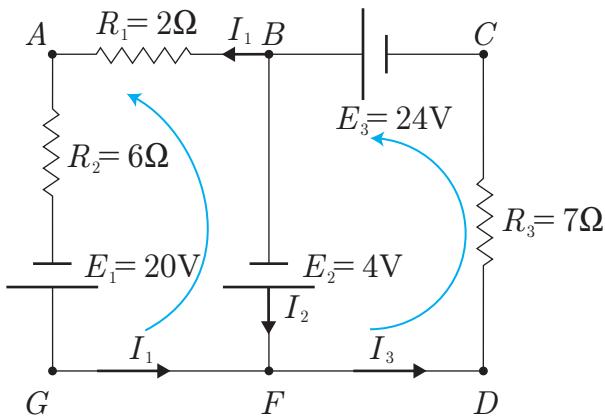
يمكّن أن نعمم القانون السابق ليصبحَ:

$$I = \frac{\Sigma E}{\Sigma R + \Sigma r}$$



10-4 خطوات تطبيق قانون كيرشوف

- نختار في كل فرع من فروع الدارة المغلقة جهة للتيار، وبعد الحل إذا كانت قيمة I موجبة يكون اختيار الاتجاه صحيحاً، وإذا كانت سالبة يعكس اتجاه التيار بالفرع.
- نعتبر القوة المحرّكة الكهربائية موجبة إذا خرج التيار من القطب الموجب لمولد، وسالبة في الاتجاه المعاكس.
- نعتبر فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المقاومة موجباً إذا كانت جهة التيار حسب الاصطلاح الموجب، وسالباً في الاتجاه المعاكس.



تطبيق (10):

لتكن الدارة الموضحة في الشكل المجاور.

احسب شدة كلّ من التيارات I_1, I_2, I_3 .

الحل:

نختار في الدارة السابقة الحلقتين $(GFBAG)$ و $(FDCBF)$.

النقطة F ، هي نقطة التقاء ثلاثة نوافل، فهي عقدة.

نطبق قانون كيرشوف الأول: $I_1 + I_2 = I_3 \quad (1)$

نطبق قانون كيرشوف الثاني على الحلقة: $(GFBAG)$

$$\Sigma E = RI$$

$$E_1 - E_2 = (R_1 + R_2)I_1$$

$$20 - 4 = 8I_1$$

$$I_1 = \frac{16}{8} = 2\text{A}$$

نطبق قانون كيرشوف الثاني على الحلقة $(FDCBF)$:

$$E_2 + E_3 = R_3I_3$$

$$4 + 24 = 7I_3$$

$$I_3 = \frac{28}{7} = 4\text{A}$$

لحساب I_2 نعرض في (1):

$$2 + I_2 = 4$$

$$I_2 = 2\text{A}$$

تطبيق (11):

لتكن الدارة الموضحة في الشكل المجاور.

المطلوب حساب:

1. قيمة شدة التيار المار في كل مولد.

2. فرق الكمون الكهربائي بين طرفي كل مولد.

3. فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المقاومة R .

الحل:

1. نطبق قانون كيرشوف الأول على العقدة D :

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1)$$

نطبق قانون كيرشوف الثاني على الحلقة $(ABCDEFAG)$:

$$E_1 - E_2 = r_1 I_1 - r_2 I_2$$

$$-10 = 2I_1 - 4I_2$$

$$I_1 = 2I_2 - 5 \quad (2)$$

نطبق قانون كيرشوف الثاني على الحلقة $(AFEDHGA)$:

$$E_2 + E_3 = r_2 I_2 + RI_3$$

$$4I_2 + 8I_3 = 72$$

$$I_2 + 2I_3 = 18 \quad (3)$$

نعرض (2) في (1):

$$3I_2 - 5 = I_3 \quad (4)$$

نعرض (4) في (3):

$$I_2 = 4A$$

$$I_3 = 3 \times 4 - 5 = 7A$$

نعرض في (1):

$$I_1 = I_3 = I_2 = 7 - 4 = 3A$$

2. فرق الكمون الكهربائي بين طرفي كل مولد:

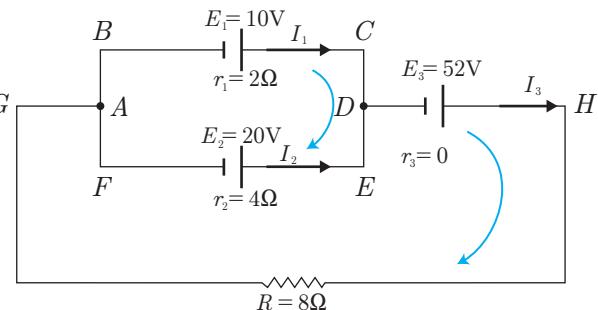
$$U_1 = E_1 - r_1 I_1 = 10 - 2 \times 3 = 4V$$

$$U_2 = E_2 - r_2 I_2 = 20 - 4 \times 4 = 4V$$

$$U_3 = E_3 - r_3 I_3 = 52 - 0 = 52V$$

3. فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المقاومة R :

$$U = RI_3 = 8 \times 7 = 56V$$



تعلّمتُ

1. **تيار الكهربائي:** إذا طبق توّرٌ كهربائيٌ بين طرفَي دارةٍ كهربائية مغلقة تولّد حقلٌ كهربائيٌ يجعل حاملات الشحنة تحرّك حركةً منتظمة، تسمى الحركة المُنظمة للشحنة بالتيار الكهربائي.

2. **تعطى شدة التيار الكهربائي بالعلاقة:**

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

q : القيمة المطلقة لكمية الكهرباء وحدة قياسها كولوم (C)، وتعطى بالعلاقة: $q = ne$ حيث:

n : عدد الإلكترونات الحرّة. e : القيمة المطلقة لشحنة الإلكترون ويساوي $C = 1.6 \times 10^{-19}$.

3. **قانون كيرشوف الأول:** مجموع التيارات الكهربائية الداخلة إلى عقدة يساوي مجموع التيارات الكهربائية الخارجة منها $\Sigma I = 0$

4. **التوّر الكهربائي الكلّي** بين طرفي المولّد يساوي مجموع التوترات الجزئية بين طرفي ثنائيات الأقطاب في الدارة التسلسليّة.

5. **قانون جمع المقاومات على التسلسل:** $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$

6. **قانون جمع المقاومات على التفرع:** $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

7. **القوّة المحرّكة الكهربائية للمولّد:** هي فرق الكمون الكهربائي بين قطبي المولّد عندما تكون الدارة الكهربائية مفتوحة، و يمكن القول بأنّه: العمل الكلّي المبذول خارج داخل المولّد واللازم لنقل كمية من الكهرباء قدرها كولوم واحد في الدارة الكهربائية.

$$E = rI + RI$$

8. **تحسب شدة التيار الكهربائي عند ضم n مولّد متماثل على التسلسل من العلاقة الآتية:**

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{nE_1}{R+nr_1}$$

9. **ثنائي القطب الناتج عن ضم مولّدين خطيين على التضاد هو مولّد خطّي، قوّته المحرّكة الكهربائية:** $E = E_1 - E_2$ حيث $E_1 > E_2$ و مقاومته الداخلية: $r = r_1 + r_2$

10. إذا كان لدينا n مولّد خطّي متماثل موصول على التفرع نحصل على مولّد مكافئ، قوّته المحرّكة الكهربائية هي القوّة المحرّكة الكهربائية لأحد المولّدات $.r = \frac{r_1}{n}$ ، و مقاومته الداخلية $E_1 = E_2 = = E$

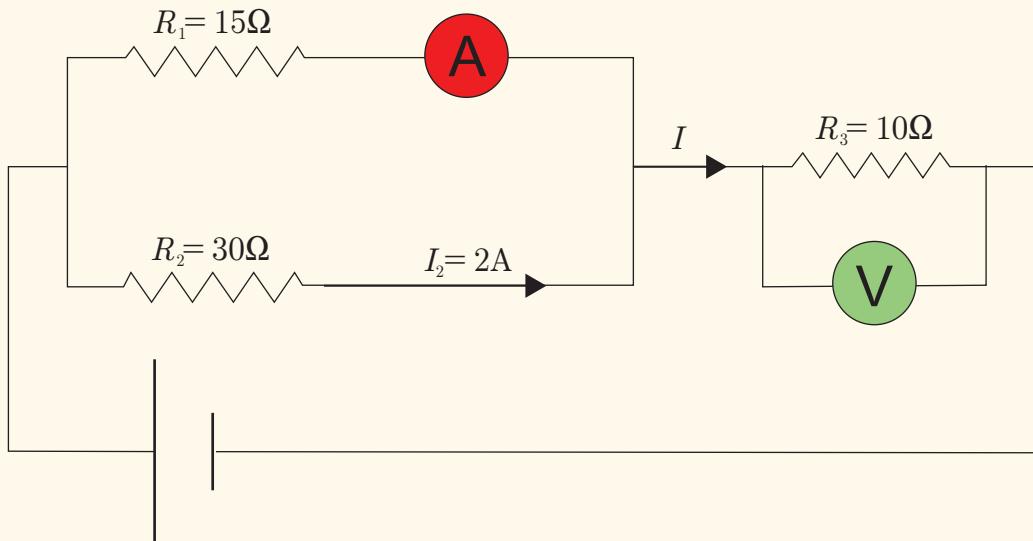
11. **المجموع الجري للقوى المحرّكة الكهربائية في دارة كهربائية مغلقة يساوي المجموع الجري لجاء المقاومة في شدة التيار الذي يحتازُها.**
فتكون الصيغة الرياضية لقانون كيرشوف الثاني: $\Sigma E = RI$



أختبر نفسك

أولاً: املأ الفراغات الآتية:

1. يمرّ تيار كهربائي شدّته $5A$ عبر نقطة من دارة كهربائية، فإنَّ كمية الشحنة الكهربائية المارة في هذه النقطة خلال ست دقائق تساوي _____.
2. مقاومة أومية قيمتها 5Ω يحتاجها تيار شدّته $2A$ ، عندما نطبق بين طرفيها فرقاً في الكمون يُساوي _____.
3. نصلُّ مُقاومتين على التسلسل، قيمة كلٌّ منها $R_1 = 3\Omega$ ، $R_2 = 6\Omega$ على التسلسل، فإنَّ المقاومة المُكافئة لهما تساوي _____، إذا كانَ فرق الكمون الكهربائي بين R_1 مُساوياً $12V$ ، فإنَّ شدّة التيار المارة في كلٍّ منهما _____، وعند وصل المُقاومتين السابقتين على التفرُّع فإنَّ المقاومة المُكافئة لهما تساوي _____.
4. لتكن الدارة الموضحة بالشكل المجاور:



- a. قيمة المقاومة المُكافئة تساوي _____.
- b. دلالة مقياس أمبير تساوي _____.
- c. دلالة مقياس الفولط بين طرفي المقاومة R_3 تساوي _____.
- d. فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المولد يساوي _____.

ثانياً: اختر الإجابة الصحيحة لكلّ مما يأتي:
وصلت أربع مُقاومات مُتماثلة على التفرع، قيمة كلّ منها 4Ω ، ثمّ وصلت المجموعة بمولّد قوّته المُحرّكة الكهربائية $4V$ ، مقاومته الداخليّة مهمّلة.

1. شدّة التيار المارة في الدّارة:

- 1A .a
- 4A .b
- 0.25A .c
- 16A .d

2. شدّة التيار المارة في كلّ مُقاومة:

- 1A .a
- 4A .b
- 0.25A .c
- 16A .d

3. كمّية الكهرباء التي يقدمها المولّد للدّارة خلال $20s$ تساوي:

- 1A .a
- 4A .b
- 0.25A .c
- 16A .d

ثالثاً: حلّ المسائل الآتية:

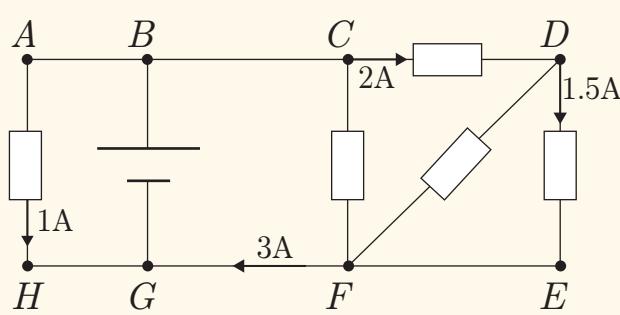
المسألة الأولى:

لتكن الدّارة الموضّحة في الشّكل المجاور.

المطلوب حساب:

1. قيمة شدّة التيار المارة في كلّ من الفروع BC ، GB ، DF ، CF

2. كمّية الكهرباء التي يعطيها المولّد خلال أربع دقائق، واحسب عدد الإلكترونات المارة في الدّارة عندئذ، علماً أنّ شحنة الإلكترون $e = -1.6 \times 10^{-19} C$.



المُسألة الثانية:

لتكن الدارة الموضحة في الشكل المجاور المؤلفة من جملة مولدات خطية متماثلة، القوة المحرّكة الكهربائية لكل منها $1.5V$ ، ومقاومة الداخلية 0.6Ω .

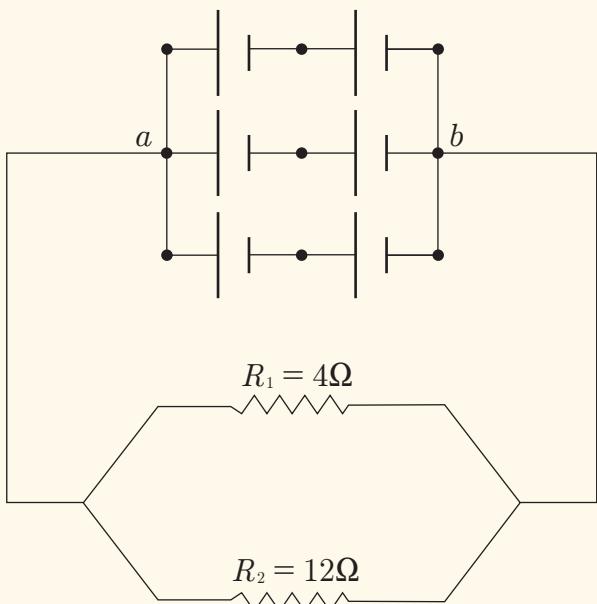
المطلوب حساب:

1. القوة المحرّكة الكهربائية المكافئة للمولدات.

2. شدة التيار في كل فرع.

3. شدة التيار المار في الدارة الخارجية.

4. فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المقاومتين R_1 ، R_2 .



المُسألة الثالثة:

لتكن الدارة الموضحة في الشكل المجاور،

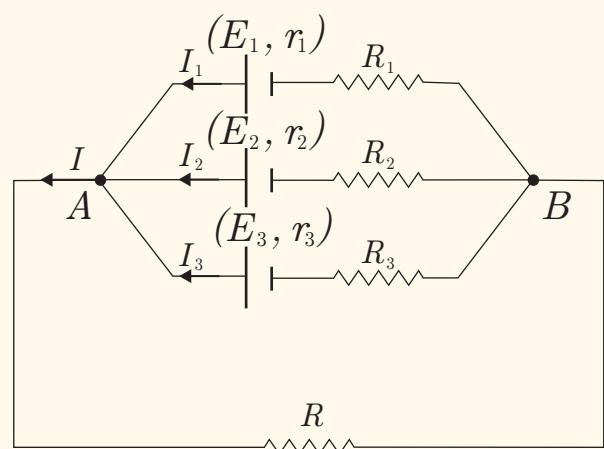
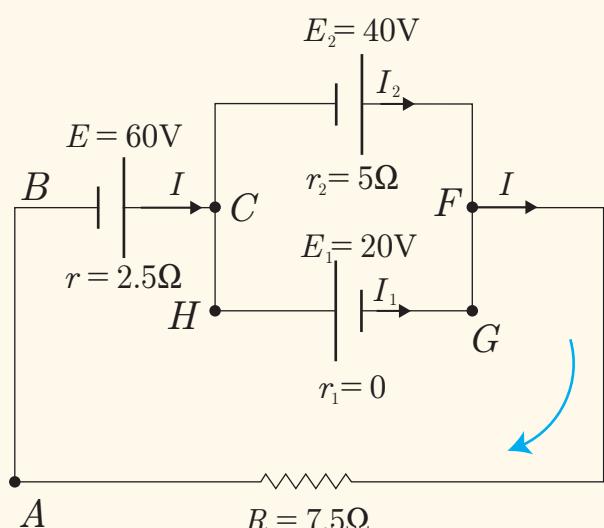
المطلوب حساب:

1. قيمة شدة كل من التياريات I_1, I_2, I .

2. فرق الكمون الكهربائي بين طرفي كل مولد.

3. فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المقاومة الأوميّة R .

4. كمية الكهرباء المارة في المقاومة الأوميّة R خلال $50s$.



المُسألة الرابعة:

لتكن الدارة الموضحة في الشكل المجاور،

$R_2 = 2.5\Omega$ $R_3 = 5\Omega$ $R = 2\Omega$

$R_1 = 2\Omega$ ، وإن المقاومة الداخلية لكل مولد مهملة

$E_3 = E_1$ $E_2 = 2E_1$ $E_1 = 1.4V$

المطلوب حساب:

1. فرق الكمون الكهربائي U_{AB} .

2. قيمة شدة التيار I .

3. قيمة المقاومة الأوميّة R .

المسألة الخامسة:

تبلغ القوة المُحرّكة الكهربائية لمولّد $6V$ ، و مقاومته الداخلية 2Ω .

المطلوب:

1. اكتب التابع المُميّز للنوتّر بدلالة شدة التيار، ثم ارسم المُنحني البياني لهذا التابع.
2. احسب شدة التيار الذي من أجله يقطع المُنحني المحور الأفقي.
3. نربط على التسلسل مع المولّد مقاومة أومية 10Ω . احسب شدة التيار المارة في الدّارة، واحسب فرق الكمون الكهربائي بين طرفي المقاومة الأومية.

الوحدة الرابعة

الضوء

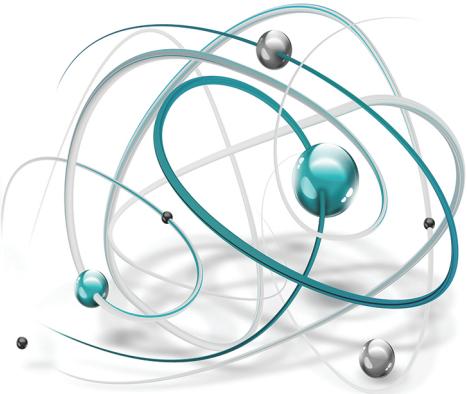
قَوْسُ قُرْح يسمى كذلك قوس المطر أو قوس الألوان وهو ظاهرة طبيعية فизيائية ناتجة عن انكسار وتحلل ضوء الشمس المشرقة عبر قطرة ماء المطر.

يظهر قوس القزح عادةً بشكل نصف دائري وفي حالات نادرة يكون قمراً حيث يكون انكسار ضوء القمر المسنيب له عبر قطرة الماء ملائماً مع مكان وجود القمر في تلك اللحظات. ويظهر للمشاهد نتيجة لضوئه الخافت أبيض لأن العين البشرية لا تستطيع أن ترى الألوان في الليل.



١٤

الضّوء واللّون



يُعد الضّوء وسيلةً للتواصل مع بيئتنا والحصول على المعلومات، حيث تستطيع العين البشرية تحسّن التغييرات البسيطة جدًا في حجم الجسم وموقعه وإضاءته ولونه. كما تتمكن العين من التمييز بين الأجسام وظلالها والتمييز بين انعكاسات الأجسام والأجسام ذاتها.

هل ساءلت يوماً كيف نرى الأجسام من حولنا؟
العلم الذي يدرس ظواهر الضّوء من انتشارٍ وانعكاسٍ وانكسار وغيرها، هو علم الضّوء الهندسي.

الأهداف:

- * يتعرّف معنى الضّوء الهندسي.
- * يتعرّف بعض الأجهزة الضّوئية.
- * يُميّز بالتجربة الضّوء البسيط من الضّوء المركب.
- * يُميّز أنواع الحزم الضّوئية.
- * يُميّز الجسم الحقيقي من الجسم الورهي.
- * يُميّز الخيال الحقيقي من الخيال الورهي.
- * يحافظ على مصادر الطاقة المستخدمة في الحياة.

الكلمات المفتاحية:

- * الضّوء البسيط.
Simple light.
- * الضّوء المركب.
Compound light.
- * خيالٌ وهمي.
Virtual Image.
- * خيالٌ حقيقي.
Real Image.

يهدف علم الضوء الهندسي إلى تفسير بعض الظواهر الضوئية، وإيجاد القوانين التي تحدّد سلوك الضوء معتمداً على المبدأين الآتيين:

أولاً: مبدأ الانتشار المستقيم:

عندما تدخل حزمة ضوئية ضيقة من ضوء الشمس عبر النافذة فإن دائقَ الغبار المُمتنَسِرة في الهواء يجعل الضوء مرئياً، وترى مسار الضوء على شكل خط مستقيم.

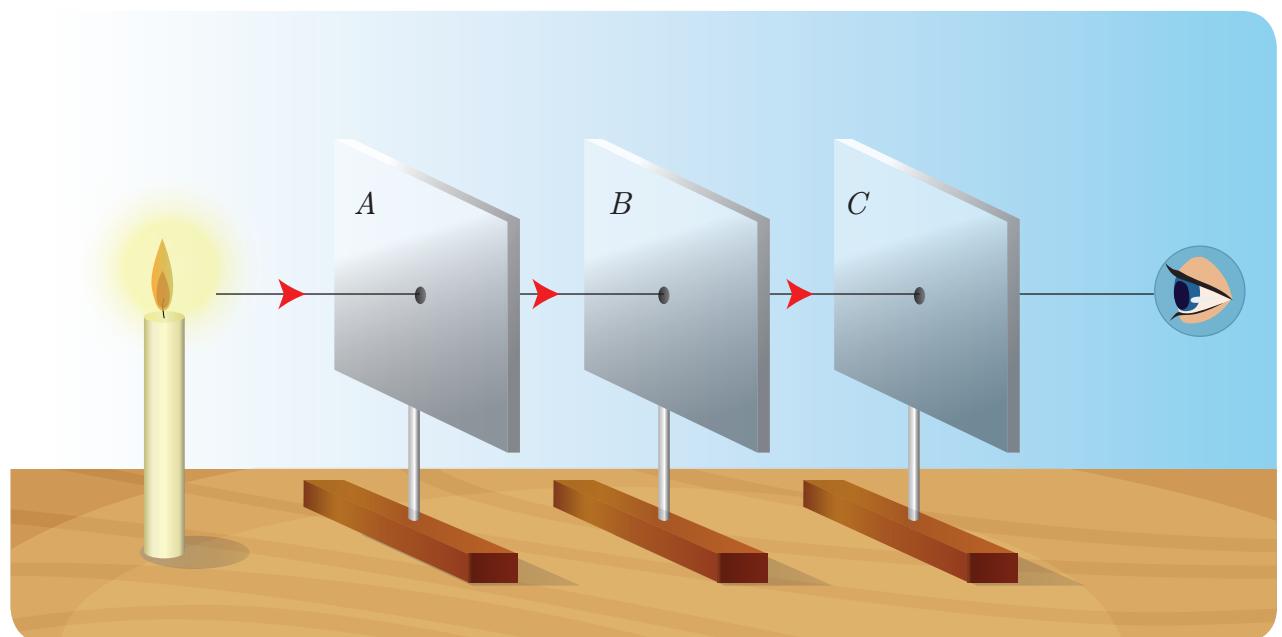
أجريْ وآسْتَنْجُ:

لإجْرَاء التجْرِيْب احْتَاجْ إِلَى:

- منبع ضوئي (شمعة مضيئة).
- ألواحاً تحوي ثقوباً متماثلة.

خطوات التجربة:

- أضع الألواح بحيث تكون الثقوب المتماثلة على استقامة واحدةٍ مع عين المشاهد والمنبع الضوئي كما في الشكل.
- أجعل الضوء الصادر عن المنبع ينفذ عبر الثقوب. ماذا أستنتج؟



أَسْتَنْجُ: ينتشر الضوء وفق مسار مستقيم في الوسط الشفاف المتجانس، ويسمى بالشعاع الضوئي.

إضاءة

لا يمكن الحصول على الشعاع الضوئي عملياً، ولكن يمكن أن نعد الحزمة الضوئية المُتوازِية الضيقَة جداً شعاعاً ضوئياً ب限りِ مقبول.

ثانياً: مبدأ استقلال الأشعة الضوئية:

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

- منبعين ضوئيين

- ورقة بيضاء

خطوات التجربة:

1. أخذ منبعاً ضوئياً وأطلب من زميلي أن يمسك المنشع الضوئي الثاني.

2. أجعل الحزم الضوئية الصادرة عن كل من المنبعين تدقق بشكل متقطع على ورقة بيضاء كما في الشكل. هل تأثرت الحزمة الضوئية الصادرة عن أحد المنبعين بالحزم الضوئية الصادرة عن المنبع الآخر؟ ماذا أستنتج؟

أستنتاج: كل شعاع ضوئي من الحزمة الضوئية مستقل في سلوكه عن الأشعة الأخرى، أي أن الشعاع الضوئي لا يتاثر في انتشاره وانعكاسه وانكساره بما يحدث للأشعة الأخرى.

2-1 أنواع الحزم الضوئية

ينتشر الضوء على شكل حزم تُدعى الحزم الضوئية.

أجري وperiment:

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

- منبع ضوئي و حاجز . (حقيقة الضوء الهندسي).

خطوات التجربة:

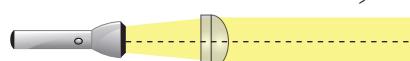
1. أُسقط حزمة ضوئية على حاجز يبعد مُناسبأً عن المنبع الضوئي.

2. الاحظ مساحة السطح الذي تضيئه على الحاجز.

3. أنقل الحاجز عن المنبع أبعاداً مُناسبة في اتجاه انتشار الضوء مُتخذأً أو ضاغطاً مُتوازية

ماذا أستنتج؟

الحزمة المتوازية



- تكون الحزمة الضوئية مُتوازية إذا ثبتت مساحة السطح الذي تضيئه على الحاجز.

الحزمة المتباينة



- تكون الحزمة الضوئية مُتباعدة إذا ازدادت مساحة السطح الذي تضيئه على الحاجز.

الحزمة المتقاربة

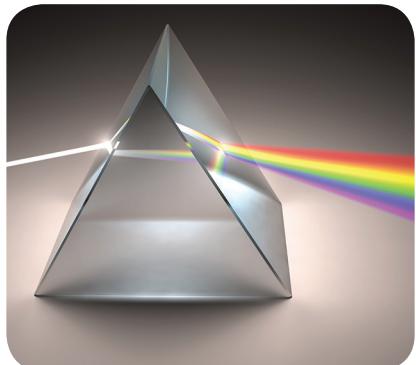


- تكون الحزمة الضوئية مُتقاربة إذا تناقصت مساحة السطح الذي تضيئه على الحاجز.

3-1 الأجهزة الضوئية

يعتمد علم الضوء الهندسي في تفسيره للظواهر الضوئية على بعض الأجهزة الضوئية أهمها: المرايا والعدسات والموشور والنظارات الفلكية والمجهر وألات التصوير وغيرها. ويُطلق على بعض الأجهزة الضوئية العاكسة للضوء مثل المرايا، أو الكاسرة للضوء كالعدسات والموشور، اسم **الجملة الضوئية**.

4- الضوء المركب والضوء البسيط



أجريب وأستنتج:
لإجراء التجربة أحتاج إلى:

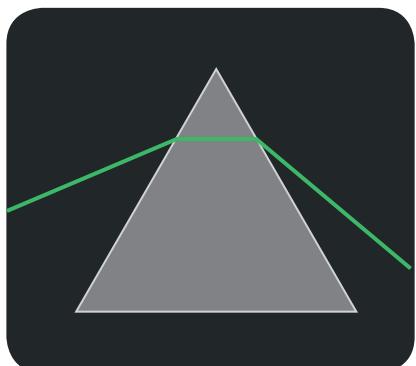
- موشور.
- منبع ضوء أبيض.
- حاجز.

خطوات التجربة:

1. أسقط حزمة ضيقة من ضوء الشمس (ضوء أبيض) على أحد وجوه المنشور.

2. أستقبل الأشعة البارزة على حاجز.

3. أكرر التجربة السابقة بإسقاط حزمة ضيقة من الضوء الأخضر، ماذالاحظ؟



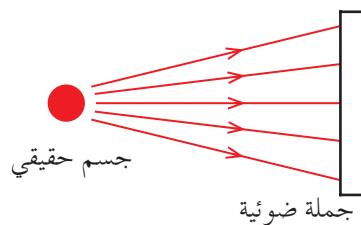
– الحزمة الضوئية البيضاء تحللت إلى عدة أضواء ملونة، تبدأ بالضوء الأحمر من جهة رأس المنشور، وتنتهي بالضوء البنفسجي من جهة قاعدة المنشور.

– الضوء الأخضر وحيد اللون يظهر مُنحرفاً على الحاجز دون أن يتحلل.

أستنتاج:

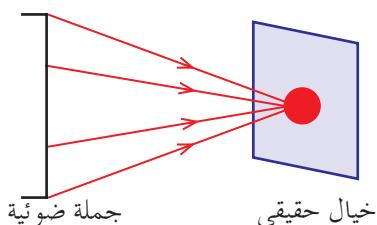
• **الضوء المركب:** يتحلل إلى عدة أضواء ملونة تؤلف ما يسمى الطيف المرئي. كضوء الشمس (الضوء الأبيض).

• **الضوء البسيط:** ضوء وحيد اللون لا يمكن تحليله كالضوء الأخضر.



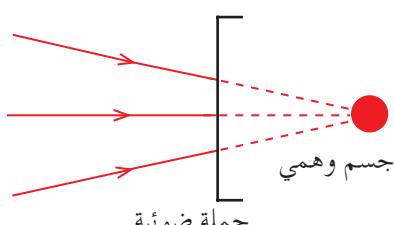
الجسم الحقيقي:

يتشكل من مجموعة النقاط التي تبعث منها أشعة الحزمة الضوئية نحو الجملة الضوئية.



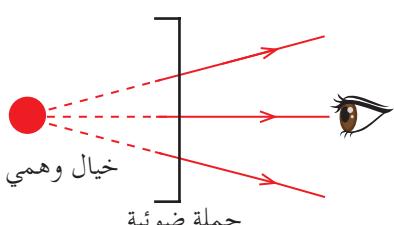
الخيال الحقيقي:

يتشكل من مجموعة النقاط التي تلتقي فيها أشعة الحزمة الضوئية البارزة من الجملة الضوئية على الحاجز بشكل حزمة متقاببة.



الجسم الوهمي:

يعُدُّ الخيال الحقيقي جسماً وهمياً بالنسبة إلى جملة ضوئية اعترضت سير الأشعة الضوئية المُشكّلة له.

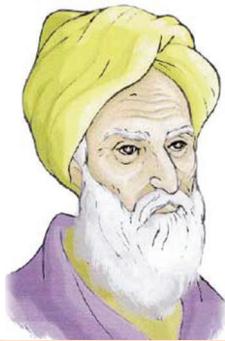


الخيال الوهمي:

يتشكل من مجموعة النقاط التي تلتقي فيها ممددات أشعة الحزمة الضوئية البارزة من الجملة الضوئية بشكل حزمة متباعدة تبدو كأنها تباعث من تلك النقطة.

تعلمتُ

- ينتشر الضوء وفق مسار مستقيم في الوسط الشفاف المتجانس.
- **الجملة الضوئية:** مجموعة من السطوح العاكسة أو الكاسرة للضوء.
- **الجسم الحقيقي:** يتشكل من مجموعة النقاط التي تبعث منها أشعة الحزمة الضوئية نحو الجملة الضوئية.
- **الخيال الحقيقي:** يتشكل من مجموعة من النقاط التي تلتقي فيها أشعة الحزمة الضوئية البارزة من الجملة الضوئية على الحاجز بشكل حزمة متقاببة.
- **الجسم الوهمي:** يُعدُّ الخيال الحقيقي جسماً وهمياً بالنسبة لجملة ضوئية اعترضت سير الأشعة الضوئية المُشكّلة له.
- **الخيال الوهمي:** يتكون من مجموعة النقاط التي تلتقي فيها ممددات أشعة الحزمة الضوئية البارزة من الجملة الضوئية بشكل حزمة متباعدة، تبدو كأنها تباعث من تلك النقطة.



العالم العربي الحسن ابن الهيثم
(965-1038) م
ولد في البصرة وتوفي في مصر

اهتمَ ابن الهيثم في الفلسفة والطبِّ والفلك والبصريّات والرياضيات، ويرجَعُ رياضيًّا وهندسيًّا على أنَّ العينَ تبصرُ وترى بوساطة انعكاس الإشعاعات من الأشياء المరئيَّة باتجاه العين، وليس بوساطة شعاع ينبعُ من العين إلى الأشياء. بذلك أبطل ابن الهيثم النظريَّة اليونانيَّة لِكُلِّ من أقليدس وبطليموس، التي كانت تقولُ بأنَّ الرؤية تحصلُ من انبعاث شعاع ضوئيٍّ من العين إلى الجسم المُرئيِّ. فأحدثَ بذلك انقلابًا في علم البصريَّات، وجعلَ منه علمًا مُستقلاً، له أصوله وأسسُه وقوانينه.



أختبر نفسِي

اختر الإجابة الصحيحة لِكُلِّ ممَّا يأتي:

1. إنَّ الضوء الصادُر عن مصباح كهربائيٍ يستخدم مقاومة تنغستين هو ضوء:

- a. بسيط.
- b. مركب.
- c. يتغير حسب شدة التيار من مركب إلى بسيط.
- d. يعتمد على الشركة التي صنعت المصباح.

2. إنَّ الخيال الوهميَّ:

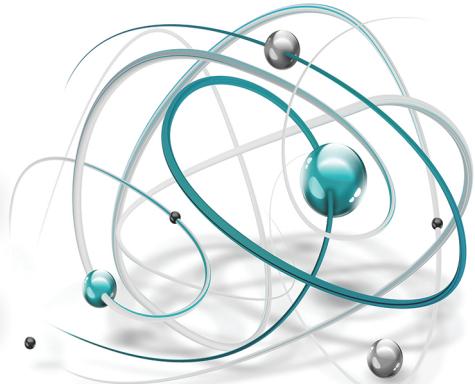
- a. يمكن رؤيته بالعين المجردة.
- b. يجب استخدام نظارة خاصة لرؤيته.
- c. لا يمكن رؤيته بالعين المجردة.
- d. يجب استخدام مرآة مستوية لرؤيته.

3. من الفروق بين الخيال الوهميِّ والخيال الحقيقيِّ:

- a. لا يمكن تلقي الخيال الوهمي على شاشة، ويمكن تلقي الخيال الحقيقي على شاشة.
- b. لا يمكن رؤية الخيال الوهمي بالعين المجردة، ويمكن رؤية الخيال الحقيقي بالعين المجردة.
- c. الخيال الحقيقي كبيرٌ بالنسبة للجسم، والخيال الوهمي صغيرٌ بالنسبة للجسم.
- d. الخيال الحقيقي أكبرٌ من الجسم، والخيال الوهمي أصغرٌ من الجسم.

2-4

انعكاس الضوء والمرايا



ما سبب تشكيل الخيال على سطح الماء في الصورة السابقة؟
يرتدى الضوء الوارد على سطح صقيل (عاكس) وفق اتجاه معين وهذا ما يسمى بانعكاس الضوء.

الأهداف:

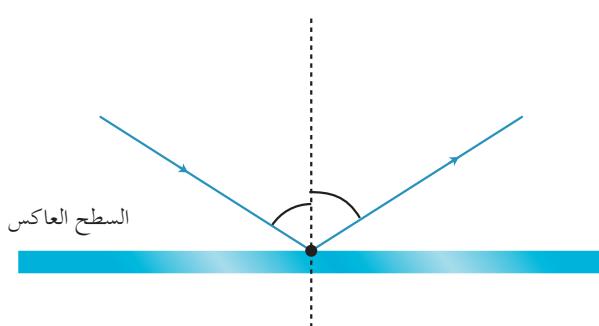
- * يتعرف انعكاس الضوء.
- * يتعرف قانوني الانعكاس.
- * يتعرف المرايا المستوية.
- * يتعرف المرايا المقعرة.
- * يتعرف المرايا المحدبة.
- * يتعرف خصائص مسار الأشعة المنعكسة على سطوح المرايا.
- * ينشئ أخيلة تكون لها المرايا الكروية للأجسام.
- * يحدد صفات الأخيلة التي تشكلها المرايا المقعرة.
- * يحدد صفات الأخيلة التي تشكلها المرايا المحدبة.
- * يتعرف قوانين المرايا الكروية.

الكلمات المفتاحية:

- * انعكاس
- * مرآة كروية.
- Spherical Mirror.
- * مرآة محدبة.
- Canvex mirror.
- * مرآة مقعرة.
- Concave mirror.
- * بعد الخيال.
- Image Distance.
- * بعد الجسم.
- Object Distance.
- Focal
- * محرق
- * البعد المحرق.
- Focal Length.

1-2 تعاريف أساسية

العمود القائم



أقرأ العبارات الآتية، وأضع الرموز المناسبة على الصورة.

الشعاع الوارد Si: هو الشعاع الوارد من الم恭喜
الضوئي إلى السطح الصقيل.

نقطة الورود i: نقطة تلاقي الشعاع الوارد مع السطح
الصقيل.

الشعاع المُنعكس iR: الشعاع المرتدى عن السطح
الصقيل.

الناظم N: هو العمود المقام على السطح العاكس من نقطة الورود.

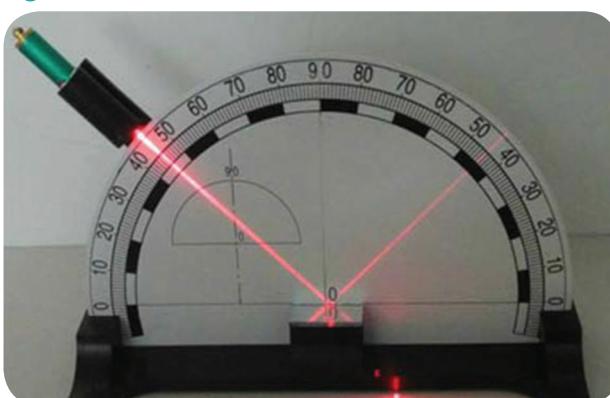
زاوية الورود θ_1 : هي الزاوية الكائنة بين الشعاع الوارد والناظم N^i على السطح الصقيل المقام من نقطة الورود.

زاوية الانعكاس θ_2 : الزاوية الكائنة بين الشعاع المُنعكس والناظم i^R على السطح الصقيل المقام من نقطة الورود.

مستوى الورود: المستوى المعين بالناظم والشعاع الوارد.

مستوى الانعكاس: المستوى المعين بالناظم والشعاع المُنعكس.

2-2 قانون الانعكاس



أجرب وأستنتج:

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

حقيقة الضوء الهندسي.

خطوات التجربة:

- أضع مرآة مسطوية أفقية على سطح اللوح المغناطيسي.
- أضع منقلة بشكل عمودي على حافة المرآة المسطوية.
- أوجه شعاع ضوئي ليسقط على المرآة ويلامس سطح المنقلة عند زاوية 45° درجةً مثلاً ماذا ألاحظ؟
- أكرر التجربة بتغيير زاوية الورود، وأقياس زاوية الانعكاس في كل مرّة.

أستنتج:

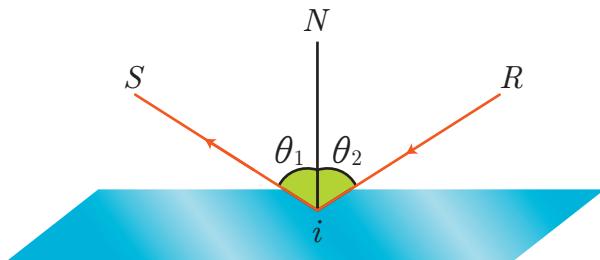
• الشعاع الضوئي المُنعكس يصنع زاوية 45° درجة مع الناظم على المرآة الأفقية.

• قانوني الانعكاس:

— زاويتا الورود والانعكاس متساویتان $\theta_1 = \theta_2$.

— مستوى الورود والانعكاس مُنطبقان (يقع الشعاع المُنعكس في مستوى الورود).

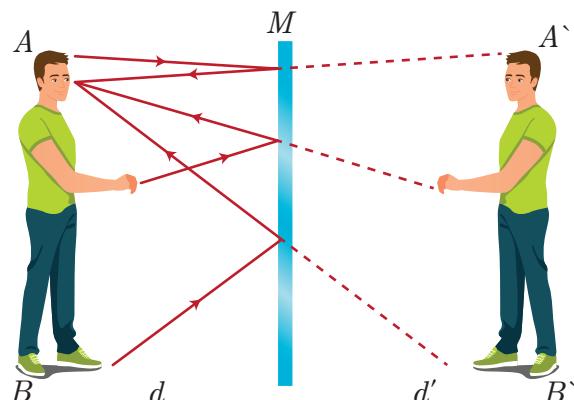
3-2 مبدأ رجوع الضوء



الطريق الذي يسلكه الضوء مستقلاً عن جهة انتشاره.
توضيح: لو ورد الشعاع الضوئي من R إلى i فإنه ينعكس وفق الاستقامة S .

4-2 تجربة انعكاس الضوء على المرايا

أولاً: انعكاس الضوء على مرآة مستوية:



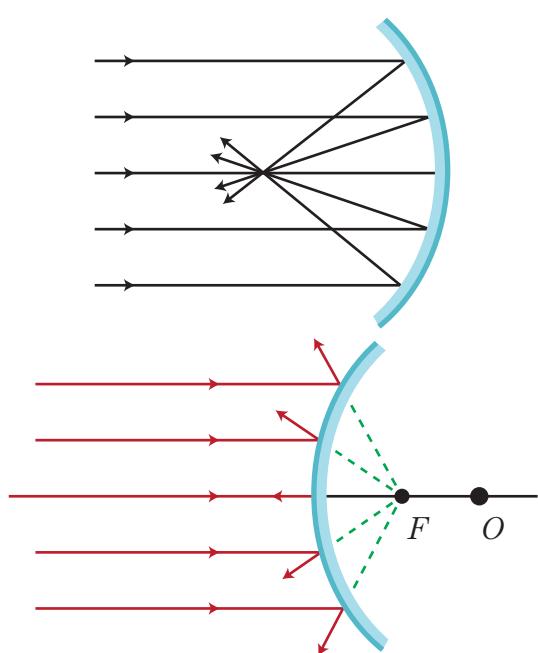
- وضع جسماً حقيقياً AB أمام مرآة مستوية M ، فترسل كل نقطة منه حزمة ضوئية تسقط على سطح المرأة، وتنعكس عنها فتشكل ممدادات الأشعة الضوئية المنشورة خيالاً وهميأً لكل نقطة من الجسم.

- وبالتالي تشكل المرأة المستوية للجسم الحقيقي AB خيالاً وهميأً صحيحاً $A'B'$ مُناظراً للجسم الحقيقي بالنسبة لسطح المرأة ومساوياً له بالطول.

$$A'B' = AB, d = d'$$

ثانياً: انعكاس الضوء على مرآة كروية:

المراة الكروية: سطح عاكس على شكل قبة كروية، اقطع من كرة بمستوى. وهي نوعان:

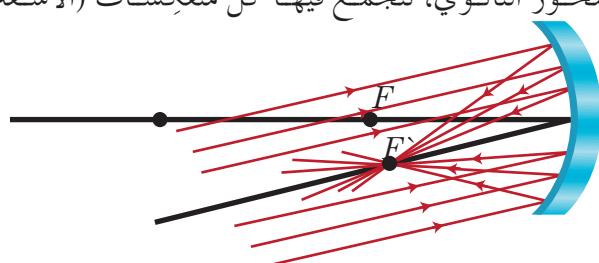


- المراة مُقَرّبة:** إذا كان السطح العاكس هو السطح الداخلي للكرة التي قُطعت منها المرأة.

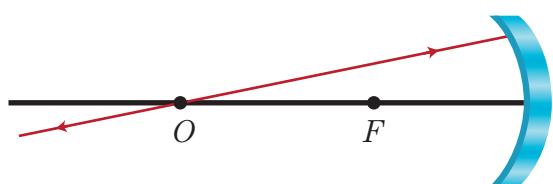
- المراة مُحَدَّبة:** إذا كان السطح العاكس هو السطح الخارجي للكرة التي قُطعت منها المرأة.

- **مركز المِرآة الكروية O :** مركز الكرة التي قُطِّعت منها المِرآة.
- **نصف قطر المِرآة الكروية $R = OV$:** نصف قطر الكرة التي قُطِّعت منها المِرآة.
- **قاعدة المِرآة الكروية:** قاعدة القبة الكروية.
- **المحور الأصلي للمِرآة الكروية:** العمود المُقام على قاعدة المِرآة، والمماز من مركزها، وهو محور تناظر للمرآة.
- **رأس المِرآة الكروية V :** نقطة تقاطع المحور الأصلي مع سطح المِرآة.
- **المحور الشانوي للمِرآة الكروية:** كل مُستقيم يمْرُّ من مركز المِرآة ونقطة من المِرآة.
- **المحرق الأصلي للمِرآة الكروية F :** نقطة تقع على المحور الأصلي للمِرآة، تتقاطع فيها الأشعة المُنعَكسة (أو مُمَدَّداتها) عن المِرآة، وذلك عند ورود حزمة ضوئية توازي المحور الأصلي للمِرآة.

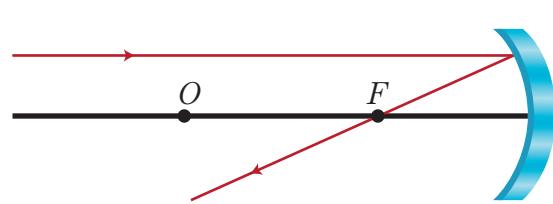
- **المحرق الشانوي للمِرآة الكروية:** نقطة تقع على المحور الشانوي، تجتمع فيها كل مُنعَكَسات (الأشعة المُنعَكسة) أو مُمَدَّدات مُنعَكَسات أشعة الحزمة الضوئية التي تُوازي المحور الشانوي.



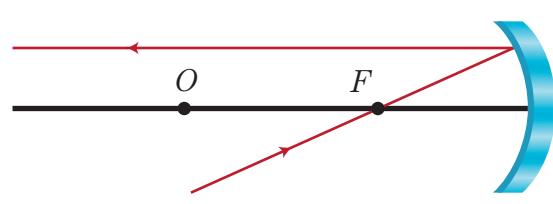
خواص سير الأشعة المُنعَكسة على سطوح المرآيا المُمقَعَدة:



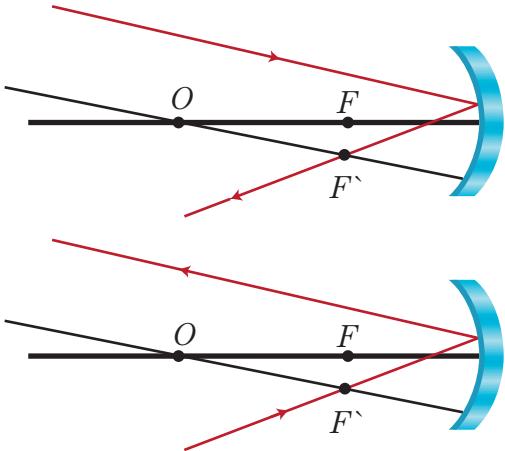
خاصة المركز: كل شعاع ضوئي يرد ماراً من مركز المِرآة المُمقَعَدة O ينعكس مرتدًا على نفسه.



خاصة المحرق الأصلي: كل شعاع ضوئي يرد موازيًا المحور الأصلي لمِرآة مُمقَعَدة ينعكس ماراً من محرقها الأصلي F .



خاصة عكس المحرق الأصلي: كل شعاع ضوئي يرد ماراً من المحرق الأصلي F لمِرآة مُمقَعَدة ينعكس موازيًا لمحورها الأصلي.



- خاصة المحرق الثانوي:** كل شعاع ضوئي يردد موازياً المحور الثاني لمرآة مُقعرة ينعكس مارضاً من محرقها الثاني.

- خاصة عكس المحرق الثانوي:** كل شعاع ضوئي يردد مارضاً من المحرق الثاني لمرآة مُقعرة ينعكس موازياً محورها الثاني.

الإنشاء الهندسي للأختيلة المتكوّنة في المرآيا الكروية المُقعرة:

للحصول على خيال جسم حقيقي نستفيد من خاصيات سير الأشعة، ويكفي لتحديد خيال نقطة من الجسم اعتماداً على خاصتين لرسم شعاعين ضوئيين صادرتين عن تلك النقطة وتحديد خيالها، وهي نقطة تلاقيهما أو نقطة تلاقى ممديهما.

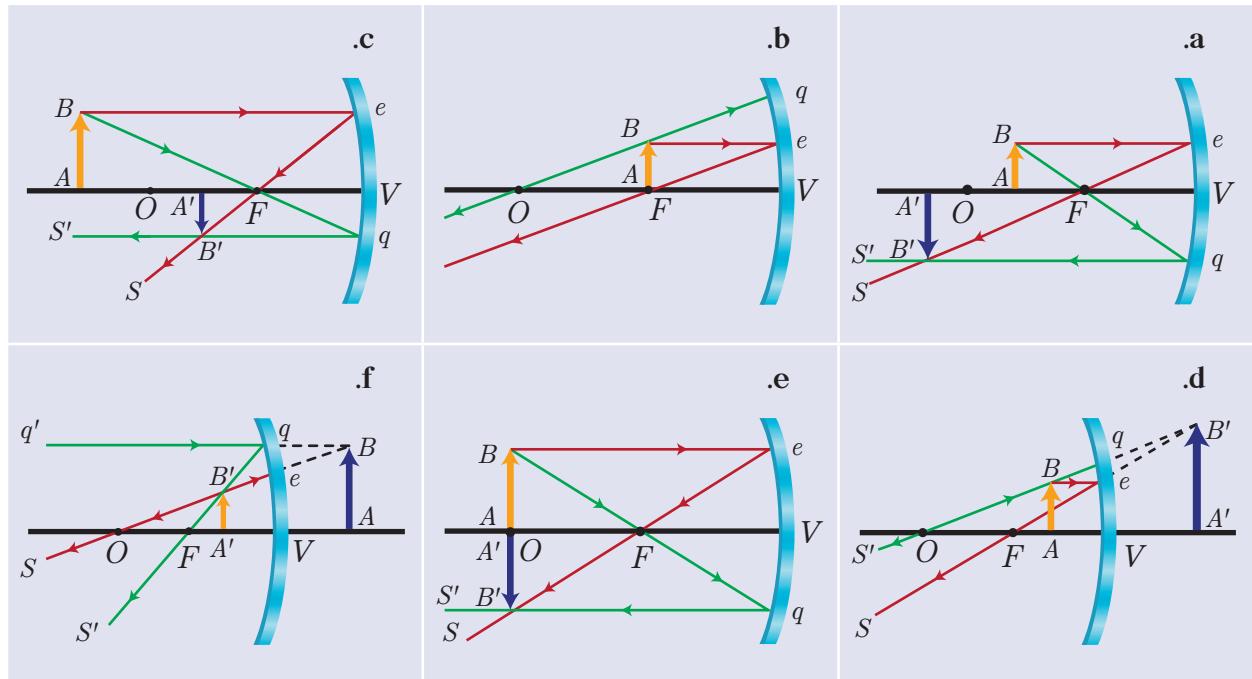
ونفترض في دراستنا لرسم الأختيلة أن شروط جودة الخيال (شروط غاووس) مُحققة وهي:
أ. أن تكون زاوية فتحة المرأة صغيرةً، لا تتجاوز (10°).

ب. أن يكون الجسم صغير الأبعاد مُقارنة بنصف قطر المرأة.

ج. أن يكون الجسم قريباً من المحور الأصلي، وعمودياً عليه.

أضع جسماً حقيقياً AB أمام مرآة مُقعرة على أبعاد مختلفة عن رأسها، بحيث يكون عمودياً على محورها الأصلي، فتشكل مجموعة من الأختيل.

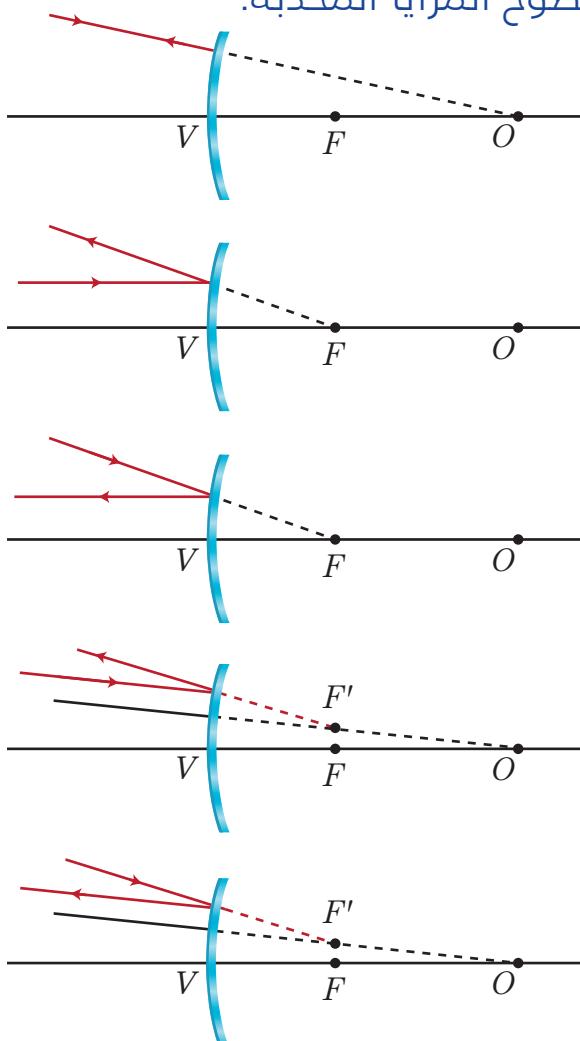
الاحظ الصور الآتية، وأملأ الجدول بالرقم الذي يعبر عن الشكل المناسب لموقع وصفات الخيال.



الشكل	موقع وصفات الخيال $A'B'$	موقع الجسم الحقيقي AB
	<ul style="list-style-type: none"> حقيقي. مقلوب. <p> يقع بين المركز O والمحرق الأصلي F.</p> <p> طوله أصغر من طول الجسم.</p>	<p>جسم حقيقي يقع أبعد من مركز المرأة عن محرقها الأصلي.</p> $d > OV$
	<ul style="list-style-type: none"> حقيقي. مقلوب. <p> يقع في المركز.</p> <p> طوله يساوي طول الجسم.</p>	<p>جسم حقيقي في مركز المرأة</p> $d = OV$
	<ul style="list-style-type: none"> حقيقي. مقلوب. <p> يقع أبعد من المركز.</p> <p> طوله أكبر من طول الجسم.</p>	<p>جسم حقيقي يقع بين المركز والمحرق</p> $d < OV$
	<p>المراة المُقَعَّدة تشكّل لجسم حقيقي واقع في محرقها الأصلي خيالاً واقعاً في الالنهاية.</p>	<p>جسم حقيقي يقع في المستوى المحرق</p>
	<ul style="list-style-type: none"> وهمي. صحيح. <p> يقع خلف المرأة.</p> <p> طوله أكبر من طول الجسم.</p>	<p>جسم حقيقي يقع بين المحرق ورأس المرأة</p> $d < OV$
	<ul style="list-style-type: none"> حقيقي. صحيح. <p> يقع بين رأس المرأة ومحرقها الأصلي.</p> <p> طوله أصغر من طول الجسم.</p>	<p>جسم وهمي يقع خلف المرأة</p>

ثالثاً: الانعكاس على المرايا المحدبة:

خصائص سير الأشعة المنعكسة على سطوح المرايا المحدبة:



- خاصة المركز:** كل شعاع ضوئي يردد متجهاً نحو مركز المرايا المحدبة ينعكس مرتداً على نفسه.

- خاصة المحرق الأصلي:** كل شعاع ضوئي يردد موازياً المحور الأصلي لمراياً محدبة ينعكس كأنه صادر عن محرقها الأصلي (محرق وهمي).

- خاصة عكس المحرق الأصلي:** كل شعاع ضوئي يردد يموج ممدد من المحرق الأصلي لمراياً محدبة ينعكس موازياً لمحورها الأصلي.

- خاصة المحرق الثانوي:** كل شعاع ضوئي يردد موازياً المحور الثانوي لمراياً محدبة ينعكس كأنه صادر عن محرقها الثانوي.

- خاصة عكس المحرق الثانوي:** كل شعاع ضوئي يموج ممدد من المحرق الثانوي لمراياً محدبة ينعكس موازياً لمحورها الثانوي.

الإنشاء الهندسي لتكون الأخيالة في المرايا الكروية المحدبة:

- خيال جسمٍ وهمي
- خيال جسمٍ حقيقي

الشكل	صفات الخيال	حالات مختلفة للجسم الظاهري
	<ul style="list-style-type: none"> حقيقي. صحيح. أكبر من الجسم. يقع خلف المرايا. 	<ul style="list-style-type: none"> الجسم يقع بين رأس المرايا ومحرقها $d < VF$

	<ul style="list-style-type: none"> • وهمي. • مقلوب. • أكبر من الجسم. • يقع أبعد من مركز المرأة. 	الجسم يقع بين المحرق ومركز المرأة $VF < d < OV$
	<ul style="list-style-type: none"> • وهمي. • مقلوب. • طوله مساوٍ لطول الجسم. • يقع في مركز المرأة. 	الجسم يقع في مركز المرأة $d = OV$
	<ul style="list-style-type: none"> • وهمي. • مقلوب. • أصغر من الجسم. • يقع بين المركز ورأس المرأة. 	الجسم يقع بين مركز المرأة واللانهاية
<p style="text-align: center;">الشكل</p>	<p style="text-align: center;">صفات الخيال</p> <ul style="list-style-type: none"> • وهمي. • صحيح. • يقع بين رأس المرأة ومحرقها. • طوله أصغر من طول الجسم. 	<p style="text-align: center;">حالة جسم حقيقي</p> <ul style="list-style-type: none"> الجسم يقع أمام رأس مرآة محدبة

5-2 اصطلاح الإشارة

نعتبر أنَّ الأشعة الضوئية تردد دوماً من اليسار إلى اليمين، وتقاس الأبعاد بدءاً من رأس المرأة.
نعرف التكبير الخطى M بأنه النسبة بين طول الخيال h' وطول الجسم h .

محدية		مقعرة		نوع المرأة
وهمى	حقيقى	وهمى	حقيقى	
-	+	-	+	بعد الجسم
-	+	-	+	بعد الخيال
+ إذا وقع فوق المحور الأصلي		+ إذا وقع فوق المحور الأصلي		طول الجسم
- إذا وقع تحت المحور الأصلي		- إذا وقع تحت المحور الأصلي		طول الخيال
-		+		نصف قطر الدائرة
-		+		البعد المحرقى
$M > 1$ طول الخيال أكبر من طول الجسم. $M = 1$ طول الخيال يساوى طول الجسم. $M < 1$ طول الخيال أصغر من طول الجسم.		$M < 0$ الخيال مقلوب $M > 0$ الخيال صحيح		التكبير الخطى M

6-2 دستور المرايا الكروية (فهم التكبير الخطى خواصه)

أولاً: دستور ديكارت: $\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$ علمًا أنَّ $F = R/2$ ، ويسمى F البُعد المحرقى.

ثانياً: دستور التكبير الخطى: $M = \frac{h'}{h} = -\frac{d'}{d}$

ملاحظة: تمت إضافة إشارة (-) لينسجم القانون مع اصطلاح الإشارة.

تطبيق (١)

مرأة كروية مقعرة، نصف قطرها 120 cm ، نضع أمامها جسماً حقيقياً طوله $AB = 3\text{ cm}$ ، عمودياً على محورها الأصلي وعلى بُعد 100 cm من رأس المرأة، المطلوب:

1. احسب البُعد المحرقى للمرأة.
2. استنطِ بالاعتماد على الرسم الهندسى صفات الخيال الذي تشكله المرأة لهذا الجسم.
3. حدد بالحساب موضع الخيال.
4. احسب التكبير الخطى.
5. احسب طول الخيال.

الحل:

$$F = \frac{R}{2} \Rightarrow F = \frac{120}{2} = 60 \text{ cm} . \quad .1$$

2. الجسم يقع بين مركز المرأة ومحرقها.

صفات الخيال:

حقيقي - مقلوب - يقع أبعد من المركز - طوله أكبر من طول الجسم.

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F} . \quad .3$$

$$\frac{1}{100} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{60}$$

$$d' = 150 \text{ cm}$$

فالخيال حقيقي.

$$M = -\frac{d'}{d} = -\frac{150}{100} . \quad .4$$

فالخيال مقلوب.

$$M = \frac{h'}{h} = \frac{A'B'}{AB} . \quad .5$$

$$-1.5 = \frac{A'B'}{3}$$

$$A'B' = -4.5 \text{ cm}$$

إشارة (-) تدل على أن الخيال يقع تحت المحور الأصلي.

تطبيق (2)

مرأة كروية محدبة بعدها المحرقي 10 cm نضع أمامها جسم حقيقي طوله $AB = 2 \text{ cm}$ عمودي على محورها الأصلي وعلى بعد 10 cm من رأس المرأة.

1. استنتاج بالاعتماد على الرسم الهندسي صفات الخيال الذي تشكله المرأة لهذا الجسم.

2. حدد بالحساب موضع الخيال.

3. احسب التكبير الخطبي.

4. احسب طول الخيال.

الحل:

1. صفات الخيال: وهمي - صحيح - يقع بين رأس المرأة ومحرقها - طوله أصغر من طول الجسم.

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F} . \quad .2$$

$$\frac{1}{10} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{-10}$$

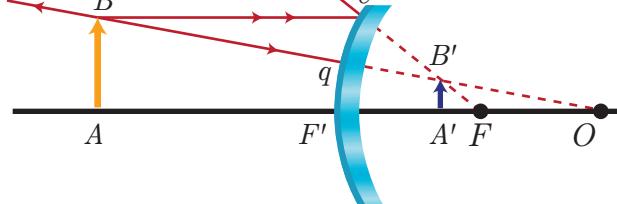
$$d' = -5 \text{ cm}$$

فالخيال وهمي.

$$M = -\frac{d'}{d} = -\frac{-5}{10} . \quad .3$$

$$M = +\frac{1}{2}$$

فالخيال حقيقي.



$$M = \frac{h'}{h} = \frac{A'B'}{AB} . 4$$

$$\frac{1}{2} = \frac{A'B'}{2}$$

$$A'B' = +1 \text{ cm}$$

(+) الخيال يقع فوق المحور الأصلي.

تعلمتُ

قانون الانعكاس:

- 1. مستويا الورود والانعكاس منطبقان.
- 2. زاويا الورود والانعكاس متساويتان.

مبدأ رجوع الضوء: الطريق الذي يسلكه الضوء مستقل عن جهة انتشاره.

شروط غاوس:

- 1. زاوية فتحة المرأة 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. كل شعاع ضوئي:

- 1. يرد ماراً من مركز المرأة المقعرة O ينعكس مرتدًا على نفسه.
- 2. يرد موازياً المحور الأصلي لمرأة مقعرة ينعكس ماراً من محرقها الأصلي F .
- 3. يرد ماراً من المحرق الأصلي F لمرأة مقعرة ينعكس موازياً لمحورها الأصلي.
- 4. يرد موازياً المحور الثانوي لمرأة مقعرة ينعكس ماراً من محرقها الثانوي.
- 5. يرد ماراً من المحرق الثانوي لمرأة مقعرة ينعكس موازياً لمحورها الثانوي.

الانعكاس على المرايا المحدبة. كل شعاع ضوئي:

- 1. يرد متوجهاً نحو مركز المرأة المحدبة ينعكس مرتدًا على نفسه.
- 2. يرد موازياً المحور الأصلي لمرأة محدبة ينعكس كأنه صادر عن محرقها الأصلي (محرق وهمي).

- 3. يمر ممدد من المحرق الأصلي لمرأة محدبة ينعكس موازياً لمحورها الأصلي.
- 4. يرد موازياً المحور الثانوي لمرأة محدبة ينعكس كأنه صادر عن محرقها الثانوي.
- 5. يمر ممدد من المحرق الثانوي لمرأة محدبة ينعكس موازياً لمحورها الثانوي.

دستور المرايا الكروية:

- $\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$ علماً أن $F = \frac{R}{2}$ هو البعد المحرقي، و R نصف قطر الكرة التي قطعت منها المرأة، و d بعد الجسم، و d' بعد الخيال.

- التكبير الخطى $M = \frac{h'}{h} = -\frac{d'}{d}$ حيث h طول الجسم و h' طول الخيال.



أختبر نفسك

أولاً: اختار الإجابة الصحيحة لكلٍ مما يأتي:

1. ارتداد الضوء عن سطح ماء ساكن وفقَ اتجاه معين يُسمى:

- a. انكسار.
- b. انعكاس.
- c. انحراف.
- d. انتشار.

2. الزاوية بين الناظم على سطح المِرآة المُقام من نقطة الورود والشعاع الضوئي الوارد تسمى زاوية:

- a. الانكسار.
- b. الورود.
- c. الانعكاس.
- d. الانحراف.

3. المستوى المعين بالناظم والشعاع المنعكس يسمى مستوى:

- a. الورود.
- b. الانحراف.
- c. الانكسار.
- d. الانعكاس.

4. كل شعاع ضوئي يرد مارأً من مركز المِرآة المقعرة ينعكسُ:

- a. موازياً المحور الأصلي للمرآة.
- b. موازياً المحور الثانوي للمرآة.
- c. مارأً من مركز المِرآة.
- d. مُرتداً على نفسه.

5. كل شعاع ضوئي يمر ممددًه من المحرق الأصلي لمِرآة مُحدبة ينعكسُ:

- a. موازياً المحور الأصلي للمرآة.
- b. موازياً المحور الثانوي للمرآة.
- c. مارأً من المحرق الأصلي.
- d. مُرتداً على نفسه.

6. المحور الأصلي لمرأةٍ كرويةٍ هو المستقيم المارّ:

- a. بمحرق المرأة وأيّ نقطةٍ على سطحها ما عدا رأس المرأة.
- b. مماساً لسطح المرأة.
- c. بمركز المرأة وأيّ نقطةٍ على سطحها.
- d. بمركز المرأة ورأسها.

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية مع التعليل:

1. يقترح أحدهم أن نضع مرأةً مُقعرةً على جانبي السيارة بدلاً من مرأةً مُحدبة، هل ترى اقتراحته صحيحاً؟ علل.
2. وقف طالب أمامَ مرأةً مُستوية، مرتدياً قميصاً رياضياً كتب عليه الرقم 18، ما قراءتك لخيال الرقم 18 في المرأة المستوية صورة الرقم السابق؟
3. إذا وضعنا الساعة المجاورة أمامَ مرأةً مُستوية، ما الوقتُ الذي تشير إليه الساعة؟

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

وضعنا جسماً مُضيئاً، طوله 12 cm على بعد مترين أمامَ مرأةً مُقعرة، نصف قطرها 120 cm، عمودياً على محورها الأصلي.

المطلوب:

1. ارسم شكلاً يوضح خيال الجسم وصفاته.
2. احسب بعد الخيال عن المرأة.
3. احسب طول الخيال والتكبير الخطي.

المسألة الثانية:

وضعنا جسماً مُضيئاً طوله 6 cm على بعد 30 cm أمامَ مرأةً مُحدبة، نصف قطرها 40 cm، عمودياً على محورها الأصلي. **المطلوب:**

1. ارسم شكلاً يوضح خيال الجسم وصفاته.
2. احسب بعد الخيال عن المرأة.
3. احسب طول الخيال والتكبير الخطي.

المسألة الثالثة:

أين يجب وضع جسمٍ مُضيءً أمامَ مرأةً مُقعرة، نصف قطرها 180 cm، لكي تكون له خيالاً طوله يساوي نصف طول الجسم؟



المسألة الرابعة:

أين يقفُ رجلٌ أمامَ مِرأةً مُقعرَة، نصفُ قطرها 120 cm، لكي يرى خياله صحيحاً ومُكِبِراً أربعَ مرات؟

المسألة الخامسة:

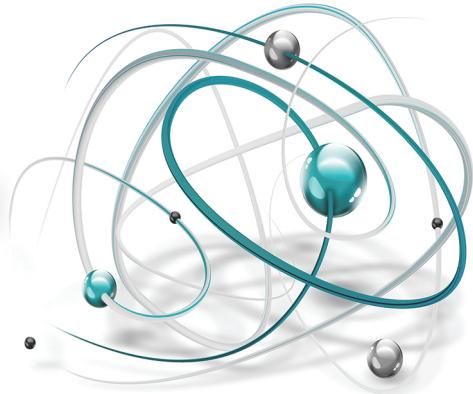
مِرأةان مستويتان متوازيتان، تبعدان عن بعضهما 20 cm، أوجِد موضعَ أقربِ ثلاثة أخيلة تشَكّلُها لنقطةٍ مضيئةٍ تقعُ بينَ المِرأتين وعلى بُعد 5 cm من إحداهما.

المسألة السادسة:

أين يجبُ وضع جسمٍ مضيءٍ أمامَ مِرأةً كرويَّةً مُقعرَة، نصفُ قطرها 36 cm، لكي يتكونَ له خيالاً حقيقياً طولُه يساوي أربعةَ أمثالِ طولِ الجسم؟

3-4

انكسار الضوء



**ماذا يعني بانكسار الضوء؟
أجرِّب وأستنتج**

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

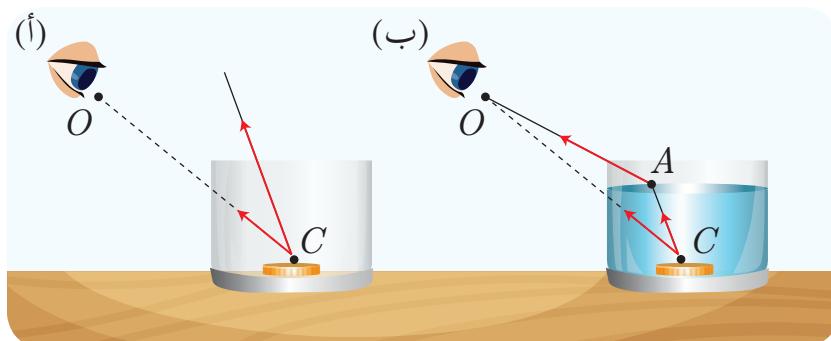
- كأسين فارغين.
- قلمي رصاص.
- ماء.
- زيت.

خطوات التجربة:

1. أملأ أحد الكأسين بالماء والآخر بمزيج من الماء والزيت.
2. أضع قلماً بصورة مائلة في كلّ كأس. ماذا لاحظ؟
3. أضع قلماً بشكل ناظمي. ماذا لاحظ؟



4. أضع قطعَيْي نقود في كأسين، أحدهما يحوي الماء والآخر فارغ، أنظر إلى الكأسين بشكل مائل. أي القطعتين أرى ولماذا؟



الأهداف:

- * يتعرّف انكسار الضوء.
- * يتعرّف قانوني الانكسار.
- * يفسّر حادثة الانكسار.
- * يتعرّف قرينة الانكسار المطلقة.
- * يتعرّف قرينة الانكسار النسبية.
- * يتعرّف الزاوية الحرج.
- * يتعرّف الانعكاس الكلّي.
- * يفسّر بعض الظواهر اعتماداً على حادثة انكسار الضوء.

الكلمات المفتاحية:

- * انكسار
Refraction
- * قرينة الانكسار
Index of Refraction
- * الزاوية الحرج
Critical angle
- * الانعكاس الكلّي
Full Reflection

- تبيّن التجربة أنّه عند ورود الشّعاع الضّوئي بشكل مائل على السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين، فإنه ينكسر في الوسط الثاني وفق استقامة جديدة مُقترباً من النّظام أو مُبتعداً عنه حسب اختلاف طبيعة الوسط.

أستنتاج:

انكسار الضوء، هو ظاهرة التغيير المفاجئ، الذي يطرأ على منحى الأشعة الضوئية عندما تجتاز بصورةٍ مائلة السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين.

ويعود سبب حدوث انكسار الضوء لاختلاف سرعته باختلاف الوسط الشفاف الذي ينتشر فيه، فكلما زادت كثافة الوسط نقصت سرعة الضوء، وبالتالي كان انكسار الضوء أكثر وضوحاً، علماً أن سرعة انتشار الضوء تكون بقيمتها العظمى في الخلاء $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

تعريف

الشعاع الوارد : SI :

هو الشّعاع الضّوئي الذي ينتشر في الوسط الشفاف الأول الذي يوجد فيه المنبع الضوئي.

الشعاع المنكسر : IR :

هو الشّعاع الضّوئي الذي ينتشر في الوسط الشفاف الثاني.

السطح الكاسر:

هو السطح الفاصل بين الوسطين الشفافين المختلفين.

نقطة الورود O :

هي النقطة التي يلاقى فيها الشّعاع الوارد السطح الكاسر.

زاوية الورود θ_1 :

هي الزاوية بين الشّعاع الوارد والنّظام على السطح الكاسر.

زاوية الانكسار θ_2 :

هي الزاوية بين الشّعاع المنكسر والنّظام على السطح الكاسر.

زاوية الانحراف α :

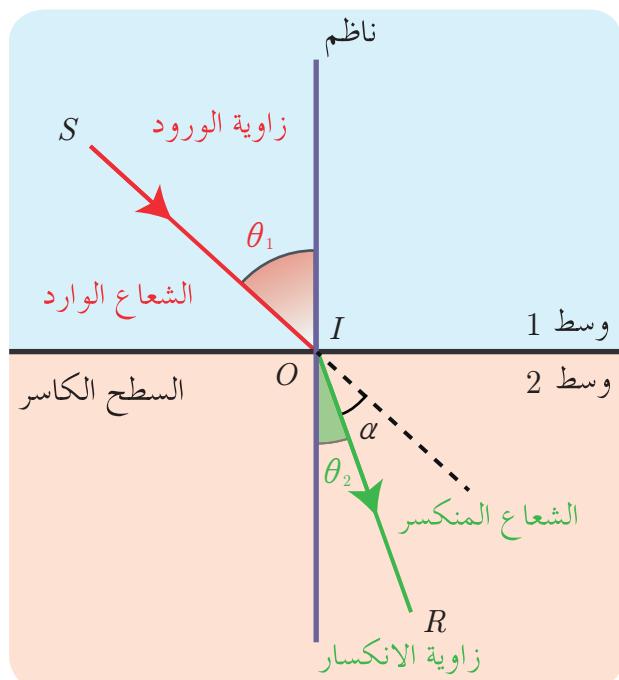
هي الزاوية بين ممدد الشّعاع الوارد والشّعاع المنكسر.

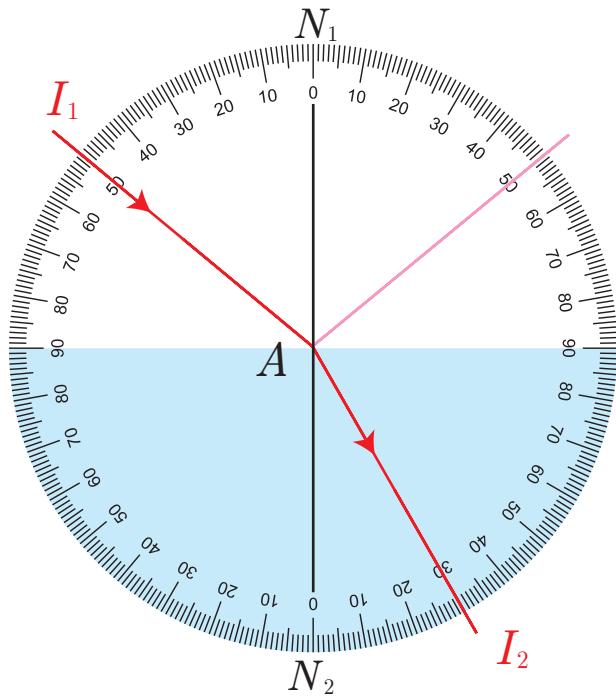
مستوى الورود :

هو المستوى المعين بالشعاع الوارد والنّظام على السطح الكاسر.

مستوى الانكسار :

هو المستوى المعين بالشعاع المنكسر والنّظام على السطح الكاسر.





الأدلة وأستنتج

أنظر إلى الصورة الموجودة جانباً، يرد شعاع ضوئي على سطح فاصل بين وسطين مختلفين. أين يقع شعاع الورود وشعاع الانكسار؟ هل يقعان في مستوي واحد؟

أستنتاج قانون الانكسار:

القانون الأول:

مستوي الورود والانكسار مُنطبقان، ويقع الشعاعان الوارد والمُنكسر بجهتين مختلفتين بالنسبة للناظم على السطح الكاسر.

القانون الثاني:

نسبة جيب زاوية الورود إلى جيب زاوية الانكسار ثابتة من أجل كاسير معين (السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين معينين):

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \text{const}$$

تُدعى النسبة الثابتة **قرينة الانكسار النسبية**

يُرمز لها بالرمز $n_{2,1}$ قرينة انكسار الوسط الثاني بالنسبة إلى الوسط الأول. وهي تساوي النسبة بين سرعة انتشار الضوء في الوسط الأول، وسرعة انتشار الضوء في الوسط الثاني:

$$n_{2,1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

أتفكر

هل يمكن أن تكون قرينة الانكسار النسبية لوسطين أقل من الواحد؟ فسر إجابتكم.

2-3 قرينة الانكسار المطلقة

عندما ينتقل الشعاع الضوئي من الخلاء إلى وسط مادي شفاف، تُدعى النسبة بين سرعة انتشار الضوء في الخلاء وسرعة انتشاره في الوسط الشفاف الثاني **قرينة الانكسار المطلقة** للوسط الثاني.

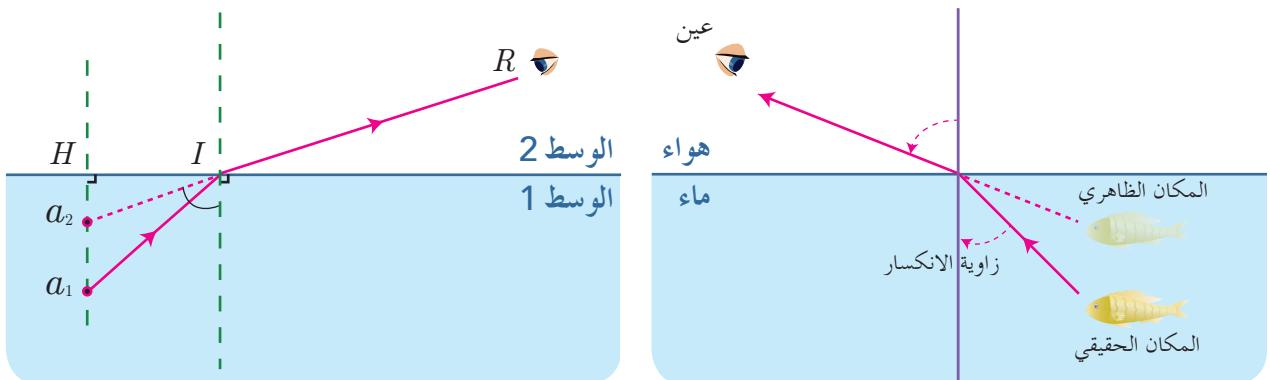
$$n = \frac{c}{v}$$

ومنه فإنَّ قرينة الانكسار المُطلقة لوسط:

1. أكبر دائمًا من الواحد.
2. ليس له واحدة.
3. يتناسب عكساً مع سرعة الضوء في الوسط الشفاف الثاني.
4. قيمته في الخلاء تساوي الواحد.

تطبيق (1)

يرى الصياد السمكة أقرب إلى السطح مما هي عليه في الحقيقة، علّ؟



لأنَّ شعاع الضوء ينكسر مُبعِدًا عن الناظم عندما يتقلَّب من السَّمكة في الماء إلى الصياد في الهواء، وعُينُ الصياد تنظر إلى امتداد هذه الأشعة بموضعٍ ترى فيه السَّمكة أقرب إلى السطح من الموضع الحقيقي.

3-3 العلاقة بين قرينة الانكسار النسبية وقرینة الانكسار المطلقة

$$n_1 = \frac{c}{v_1} \implies v_1 = \frac{c}{n_1}, \quad n_2 = \frac{c}{v_2} \implies v_2 = \frac{c}{n_2}$$

$$n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} \implies n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1}$$

قرينة الانكسار لوسط ثانٍ بالنسبة إلى الوسط الأول هي: حاصل قسمة القرينة المطلقة للوسط الثاني على القرينة المطلقة للوسط الأول.
ومنه نجد أنَّ:

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

قانون سنيل:

عندما يعبر الضوء السطح الفاصل بين وسطين مختلفين، فإنَّ حاصل الجداء $n \cdot \sin \theta$ يبقى ثابتاً

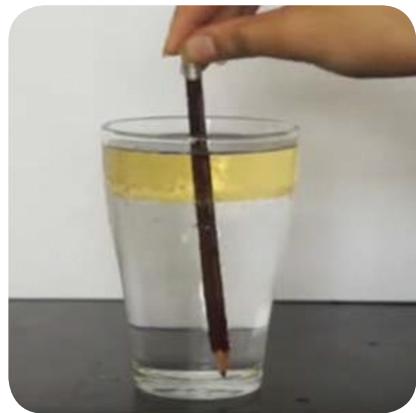
$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

عندما تكون:

$$\theta_1 = 0 \implies \sin \theta_1 = 0 \implies \theta = 0 \implies \sin \theta_2 = 0$$

ملاحظة:

لا يغير الشعاع الضوئي الوارد عمودياً على السطح الفاصل بين وسطين مختلفين بالكثافة من اتجاهه عند دخوله الوسط الثاني.



أختبر نفسي



يرد شعاع ضوئي من الهواء إلى الماء، بزاوية 60° . احسب زاوية الانكسار، علماً أن قرينة الانكسار للهواء (1.33) وللماء (1) .

4-3 الانعكاس الكلي والزاوية الحرجة

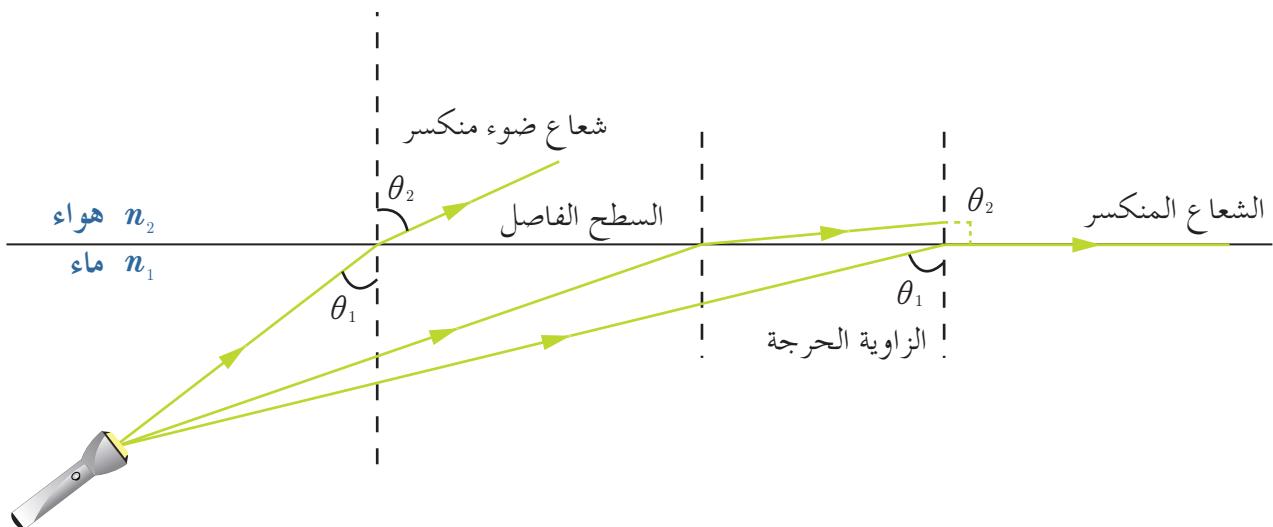
أجري وأستنتج:

خطوات التجربة:

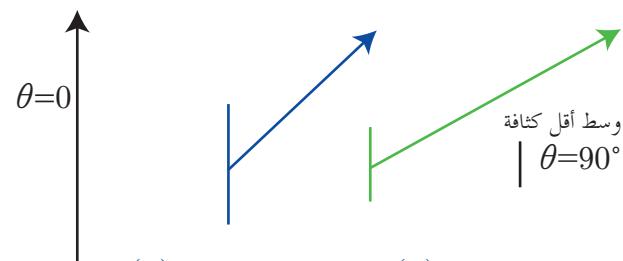
أسقط شعاعاً ضوئياً من وسط أكثر كثافةً (قرينة انكساره أكبر) إلى وسط أقل كثافةً. ماذا ألاحظ؟

— أقوم بزيادة زاوية الورود. ماذا ألاحظ؟

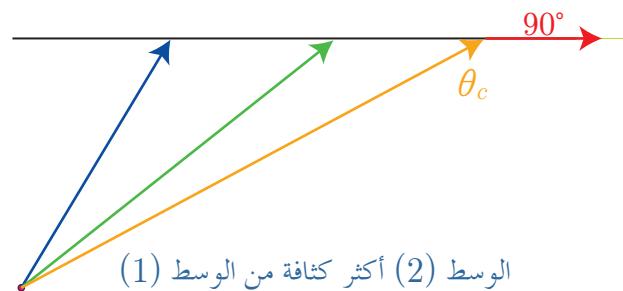
— أستمر بزيادة زاوية الورود إلى أن تصبح زاوية الانكسار 90° . ماذا أسمى زاوية الورود في هذه الحالة؟



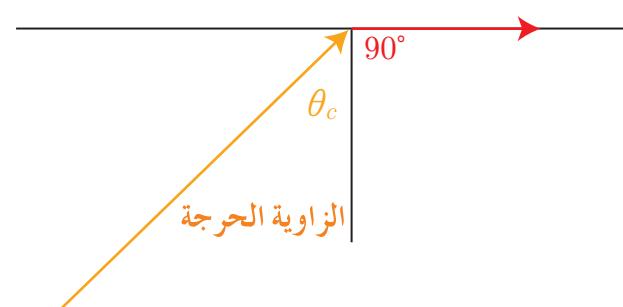
أستنتج:



- أنه عندما يردد شعاع من وسط أقل كثافة (كالماء) إلى وسط أقل كثافة (الهواء)، فإنه ينكسر مبتعداً عن الناظم على السطح الفاصل؛ أي أن زاوية الانكسار تكون أكبر من زاوية الورود.



- وعندما يردد الضوء من وسط أقل كثافة ضوئية إلى وسط أكثر كثافة ضوئية، فإنه ينكسر مقترباً من الناظم ...



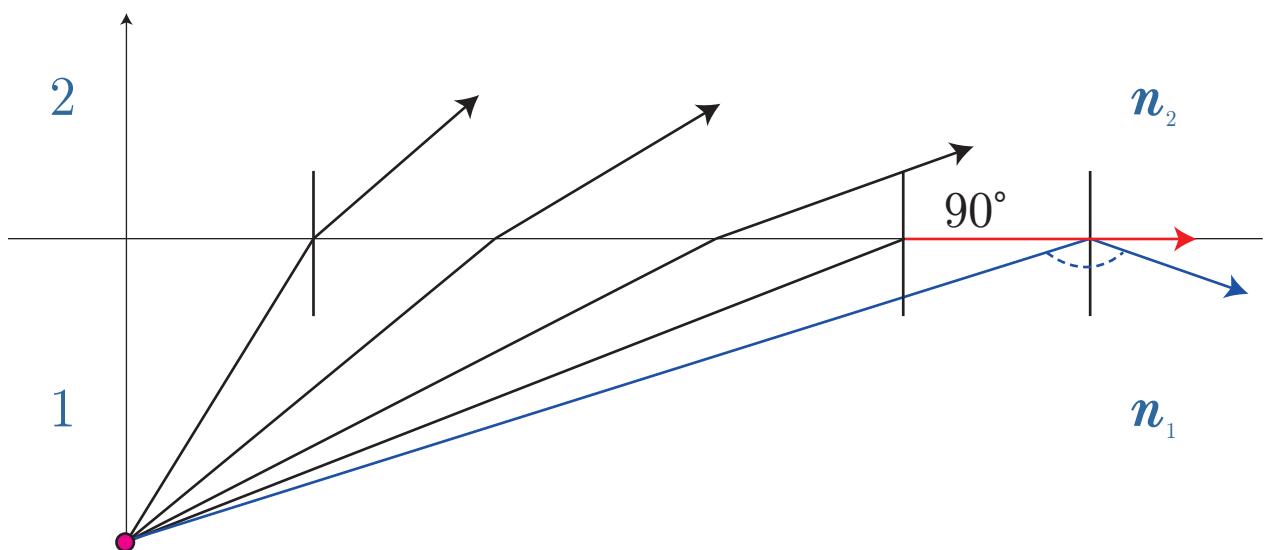
- وبزيادة زاوية الورود تدريجياً، تزداد زاوية الانكسار، كما في الشكل في الأسفل، حتى نصل لزاوية انكسار مقدارها 90° ، حيث يخرج الشعاع المنكسر مماساً (منطبقاً) للسطح الفاصل، وزاوية انكساره قائمة، عندئذ تكون زاوية وروده في الوسط الأكثر كثافة هي زاوية الحرجية θ_c .

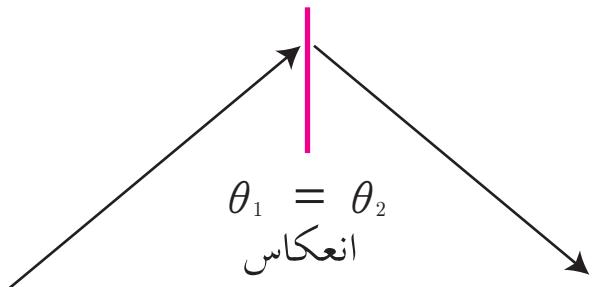
$$n_1 \sin \theta_c = n_2 \sin \frac{\pi}{2}$$

$$= \frac{n_2}{n_1} \sin \theta_c$$

أعد التجربة السابقة، واجعل زاوية الورود أكبر من الزاوية الحرجية، ماذا تلاحظ؟

إذا زادت زاوية الورود في الوسط الأكثر كثافة عن الزاوية الحرجية، فإن الشعاع لا ينفذ إلى الوسط الأقل كثافة، وإنما ينعكس عند السطح الفاصل انعكاساً كلياً في الوسط الأكثر كثافة وفقاً لقانوني الانعكاس. ويسمى انعكاس الضوء عندئذ بالانعكاس الكلي الداخلي.





- وعند ورود الشعاع الضوئي في الوسط الأكبر كثافةً ضوئية بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، فإنه ينعكس انعكاساً كلياً في نفس الوسط، حيث نطبق عليه قوانين الانعكاس.

الشروط الواجب توافرها للحصول على الانعكاس الكلّي:

1. ورود شعاع ضوئي من وسط أكثر كثافةً إلى وسط أقل كثافة.
2. أن تكون زاوية الورود أكبر من الزاوية الحرجة.

تطبيق (2)

1. احسب قرينة الانكسار النسبية، إذا كانت زاوية الورود 60° في الوسط الأول، وزاوية الانكسار 30° في الوسط الثاني...؟

$$n_{2,1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{\sqrt{3}/2}{1/2} = \sqrt{3} = 1.73$$

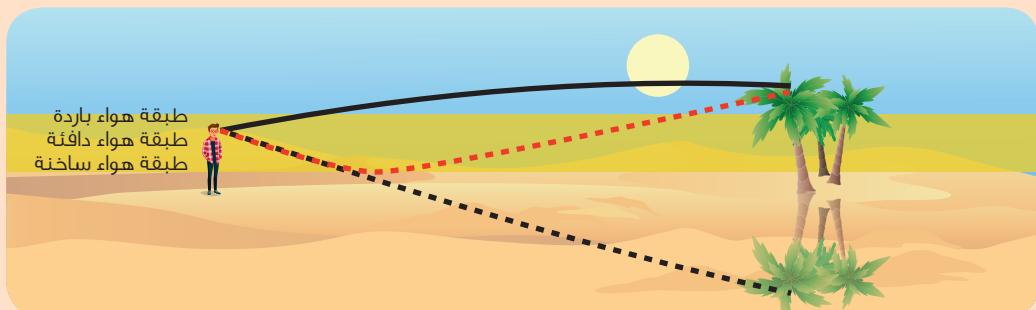
2. إذا كانت سرعة الضوء في الهواء $3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ ، وقرينة الانكسار المطلقة للماس 2.419. احسب سرعة الضوء في الماس ...؟

$$n = c/v \quad 2.419 = 3 \times 10^8 / v$$

$$v = 1.24 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

إثراء:

الفيزياء وحياتنا اليومية ظاهرة السراب وتفسيرها



السراب: ظاهرة تحدث نهاراً في الأماكن شديدة الحرارة، حيث تكون صورة مقلوبة للأجسام بعيدة عن الناظر، فتبعد كما لو كانت معكوسة عن سطح الماء.

تفسير ظاهرة السراب: نظرًا لارتفاع درجة حرارة طبقات الهواء القريبة من سطح الأرض، فإن كثافتها تقل عن كثافة الطبقات التي تعلوها، ويتتبَّع على ذلك أن تكون قرائن انكسار الضوء لطبقات الهواء العليا (الأبرد) أكبر من تلك التي تكون أسفلها؛ أي أن هناك انحدارًا تدريجيًّا لقرائن انكسارٍ من الطبقات العليا إلى الطبقات السفلية.

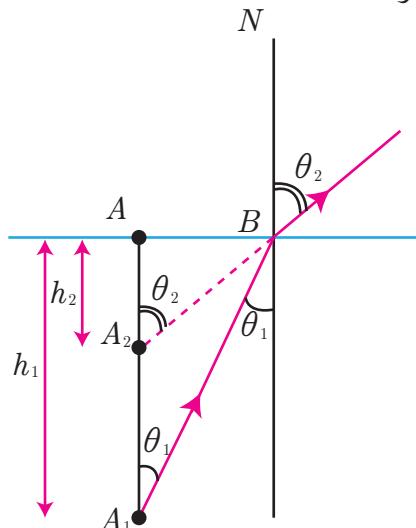
- وعند تتبع مسار شعاع ضوئي صادر من قمة جسم (كالنخلة)، فإنه يعاني من عدّة انكسارات متتالية مُبتعدًا عن العمود، حيث تزداد زاوية وروده تدريجيًّا من طبقة لأخرى، وبالتالي تزداد زاوية انكساره تدريجيًّا كلما اقتربنا من سطح الأرض.
- وعندما تكون زاوية وروده على إحدى الطبقات أكبر من الزاوية الحرجة، فإنه ينعكس انعكاساً كليًّا متخيلاً مساراً منحنيًّا للأعلى. وحينما تستقبله العين، فإنها ترى خيالاً لما ينقله الشعاع على امتداده فترى خيالاً مقلوباً أسفل الجسم الصادر منه أشعة الضوء فبدو كمالو كانت خيالاً معكوساً من سطح الماء.

ملحوظة:

- بارتفاع درجة حرارة الهواء تقل كثافته وتقل قرينة انكساره المطلقة والعكس صحيح.
- تحدُّث ظاهرة السراب المعكوس في المناطق القطبية للسبب ذاته.

5-3 خيال نقطة حقيقة في النسب المتساوي

لتحديد خيال النقطة A_1 التي تبعد مسافة h_1 عن السطح الكاسر، يكفي رسم الشعاع الضوئي A_1B الذي يرد من النقطة A_1 إلى النقطة B من السطح الكاسر، فينكسر هذا الشعاع مُبتعدًا عن الناظم. نرسم مُمدد الشعاع المنكسر (كما في الشكل المجاور)، فيقطع العمود AA_1 في النقطة A_2 التي تبعد مسافة h_2 عن السطح الكاسر، والتي تمثل خيالاً وهيئاً للنقطة A_1 .



من الشكل 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 $\tan \theta \approx \sin \theta \approx \theta$ فإن: $\theta \leqslant 0.24 \text{ rad}$

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{A_2A}{A_1A} = \frac{h_2}{h_1}$$

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

من أجل الزوايا الصغيرة:

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

بالمُساواة بين (1) و (2) نجد أنَّ:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{A_2 A}{A_1 A} = \frac{n_2}{n_1}$$

أستنتجُ:

يُشكِّل الكاسر المستوي لنقطة حقيقية خجلاً وهميًّا يقعُ على العمود على السطح الكاسر والمماز من تلك النقطة، ويحقق العلاقة:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

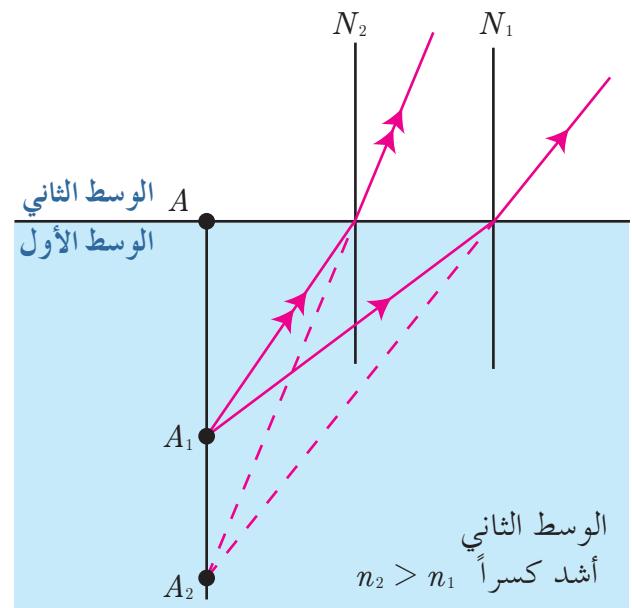
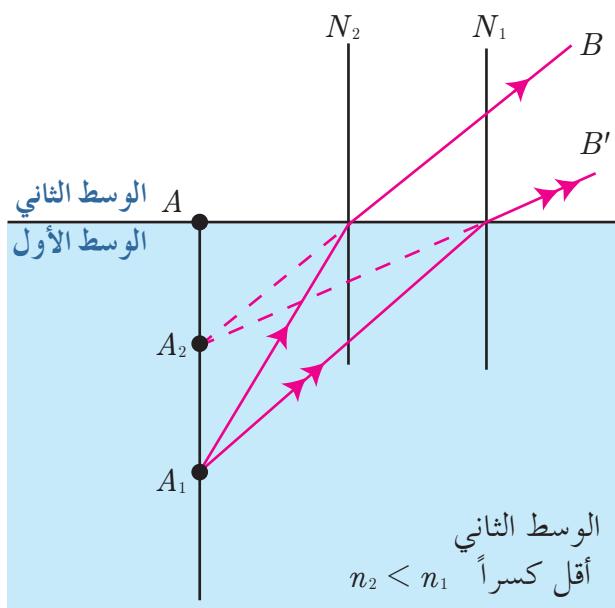
ونميزُ حالتيَنْ:

الحالة الأولى:

الوسط الثاني أقْلُ كسرًا للضوء $n_2 < n_1$ ، ويكون خيال النقطة الحقيقية أقربُ إلى السطح الكاسر $h_2 < h_1$ ، لذلك ييدو بُعد السُّمكَة في برَكَة عن سطح الماء $n_1 > n_2$ أقربَ من بُعدها الحقيقي $h_1 > h_2$ ، كذلك الأمر نفسه لقطعة نقود معدنية في حوض ماء.

الحالة الثانية:

الوسط الثاني أشدُ كسرًا للضوء: يكون خيال النقطة الحقيقية أبعدَ منها عن السطح الكاسر.



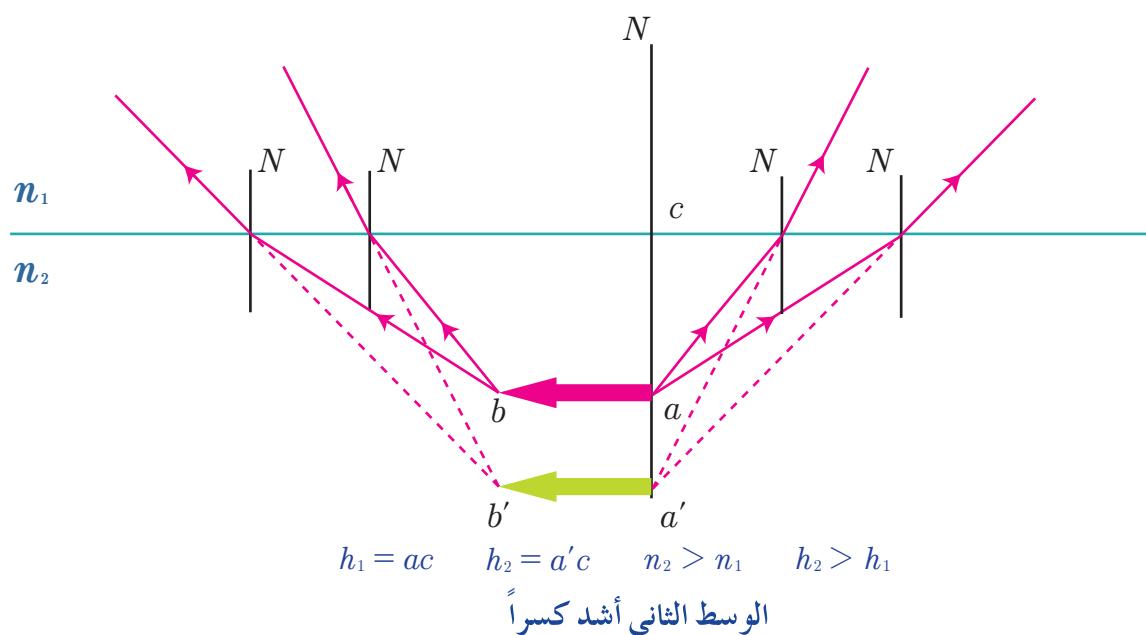
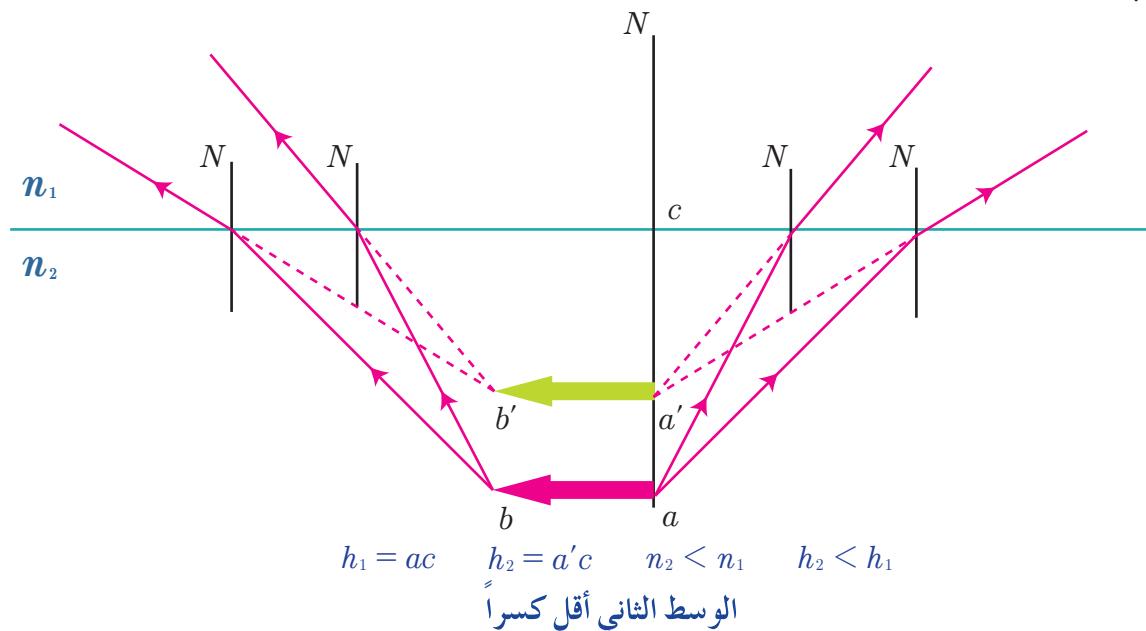
بـتطـيـق مـبدأ رـجـوع الصـوـء يمكننا التـعـرـف عـلـى خـيـال نـقـطـة وـهـمـيـة فـي الـكـاسـر المـسـتـوـي:

يعـطـي الـكـاسـر المـسـتـوـي لـنـقـطـة وـهـمـيـة خـيـالاً حـقـيقـيـاً يـقـع عـلـى النـاظـم عـلـى السـطـح الـكـاسـر وـالـمـارـ من تـلـك النـقـطـة، ويـكـون أـبـعـد مـن النـقـطـة الوـهـمـيـة عـن السـطـح الـكـاسـر إـذـا كـان الـوـسـط الـثـانـي أـقـلـ كـسـراً، ويـكـون أـقـرـب وـأـقـرـب مـن النـقـطـة الوـهـمـيـة عـن السـطـح الـكـاسـر إـذـا كـان الـوـسـط الـثـانـي أـشـدـ كـسـراً، وـتـحـقـقـ العـلـاقـة:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

مـلاـحظـة:

يمـكـن أـن نـقـلـ النـتـائـج السـابـقـة مـن أـجل جـسـم حـقـيقـي أـو جـسـم وـهـمـي كـونـ الجـسـم مـؤـلـفـاً مـن مـجـمـوعـة مـن النـقـاط.



أستنتج:

- يُحدد الكاسر المستوي لجسمٍ حقيقِيٍّ خيالاً وهميّاً يساويه في الطول ويوازيه، ويرتبطُ بُعد كل نقطةٍ من الجسم الحقيقِي عن السطح الكاسر بُعد خيال تلك النقطة عن السطح الكاسر بالعلاقة:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

- بتطبيق مبدأ رجوع الضوء يمكننا التعرُّف على خيالِ جسمٍ وهميّ في الكاسر المستوي.
- يُشكّل الكاسر المستوي لجسمٍ وهميّ خيالاً حقيقياً يساويه في الطول ويوازيه.

تعلّمت

• انكسار الضوء:

هو التغيير المُفاجئ في مسار شعاع الضوء عندما يجتاز بشكلٍ مائلٍ السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين بالكثافة.

قانون الانكسار:

– **القانون الأول:** مستويا الورود والانكسار مُنطبقان، ويقع الشعاعان الوارد والمنكسر بجهتين مختلفتين بالنسبة للناظم على السطح الكاسر.

– **القانون الثاني:** نسبة جيب زاوية الورود إلى جيب زاوية الانكسار ثابتة من أجل كاسر معين (السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين معينين):

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \text{const.}$$

• قرينة الانكسار النسبية:

$$n_{2,1} = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

• قرينة الانكسار المطلقة:

$$n = \frac{c}{v}$$

• 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 توافرها 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 نفسك



أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. ظاهرة التغير المفاجئ الذي يطرأ على منحى الأشعة الضوئية، عندما تجتاز بصورة مائلة السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين، تسمى:
a. انكسار الضوء. b. انحراف الضوء. c. انعكاس الضوء. d. انتشار الضوء.
2. الزاوية الحادثة بين الشعاع الوارد والناظم على السطح الكاشر تسمى زاوية:
a. الانكسار. b. الانعكاس. c. الورود. d. الانحراف.
3. المستوى المعين بالشعاع المنكسر والناظم على السطح الكاشر يسمى مستوى:
a. الورود. b. الانحراف. c. الانعكاس. d. الانكسار.

ثانياً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

إذا كانت قرينة الانكسار المطلقة للماء 1.33، ولزجاج 1.6. احسب الزاوية الحرجة بينهما.

المسألة الثانية:

إذا كانت قرينة الانكسار المطلقة للماء هو 1.33. احسب قيمة الزاوية الحرجة له مع الهواء.

المسألة الثالثة:

إذا كانت سرعة الضوء في الهواء 10^8 m/s ، وسرعته في الماء $1.33 \times 10^8 \text{ m/s}$. احسب الزاوية الحرجة بينهما.

المسألة الرابعة:

نعتبر شعاعاً صوئياً يخترق وسط 1 شفافاً قرينة انكساره n_1 ، وعند خروجه منه يخترق وسط 2 شفافاً قرينة انكساره n_2 .

المطلوب:

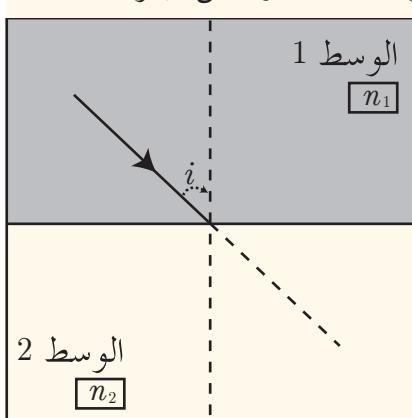
1. اكتب نص قانوني الانكسار.
2. بين بالرسم مسار الشعاع الضوئي داخل الوسط الثاني في الحالتين $n_1 > n_2$ و $n_2 > n_1$.
3. تعتبر الوسط 1 عبارة عن زجاج عادي قرينة انكساره $n_1 = 1.5$ ، والوسط 2 عبارة عن الهواء $n_2 = 1$.

المطلوب:

أوجد زاوية الانكسار، إذا كانت زاوية الورود 20° .

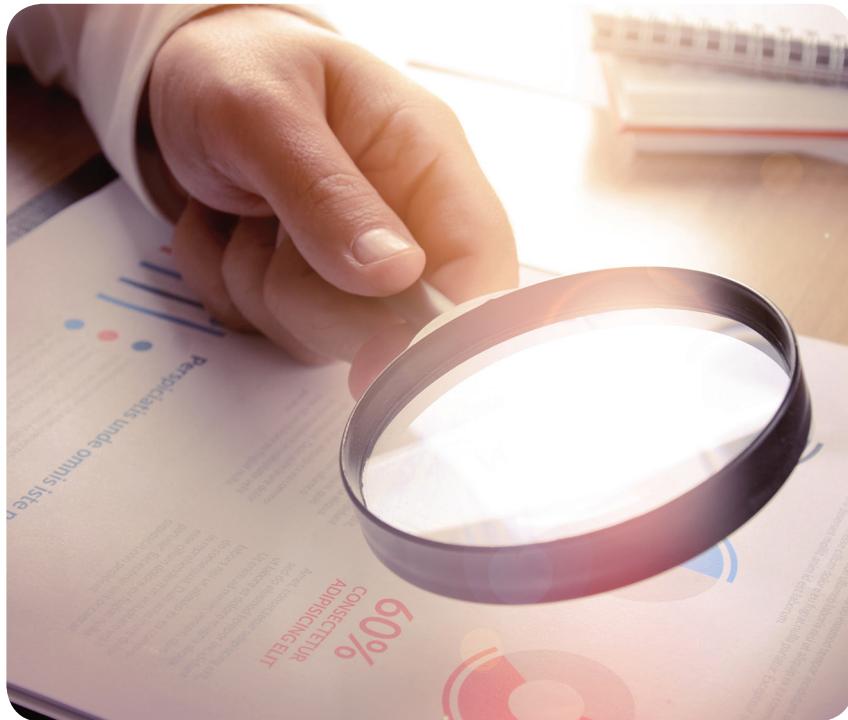
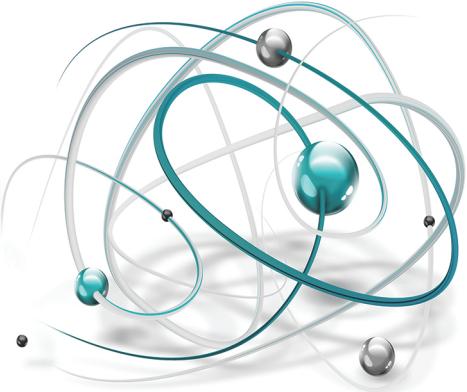
احسب زاوية الانكسار عندما تكون زاوية الورود 41.82° ، ماذا تستنتج؟

ماذا يحدث لو كانت زاوية الورود أكبر من 41.82° . مثل بالرسم سير الشعاع الضوئي عبر الوسطين.



٤٤

العدسات



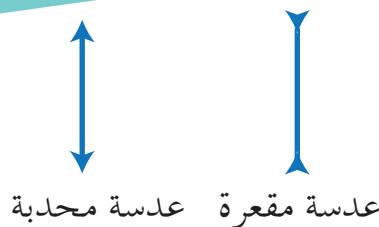
إنَّ معرفةَ قوانينِ علم الضوءِ الهندسيِّ مكَّنتَ الإنسانَ من صنعِ أجهزةٍ بصريةٍ مُتَوْعِّدةٍ، كالمِجْهَرِ والنَّظَارَاتِ الْفُلْكَلِيَّةِ وآلَةِ التَّصْوِيرِ وجهازِ الإسقاطِ وغيرها، حيثُ تدخلُ العدسات في تصنيعها. وللعدسات أهميَّةٌ كُبْرى في تصنيعِ وعملِ هذهِ الأجهزةِ البصريةِ، وُتُسْتَخَدَمُ فِي النَّظَارَاتِ الطَّبِيعِيَّةِ لتصحيحِ عيوبِ النَّظرِ.

الأهداف:

- * يعرِّفُ العدسة.
- * يعرِّفُ أنواعَ العدسات.
- * يعرِّفُ خاصيَّاتِ مسارِ الأشعةِ الواردةِ على العدسات.
- * يرسمُ أخيرَةً تُشكِّلُها العدسات.
- * يعرِّفُ قانونَيِّ العدسات.
- * يشَّمِّ استخدامَ العدساتِ في الأجهزةِ البصريةِ.

الكلمات المفتاحية:

- * العدسة: Lens.
- * عدسة مُقرَّبة: Converging Lens.
- * عدسة مُبعَّدة: Diverging Lens.

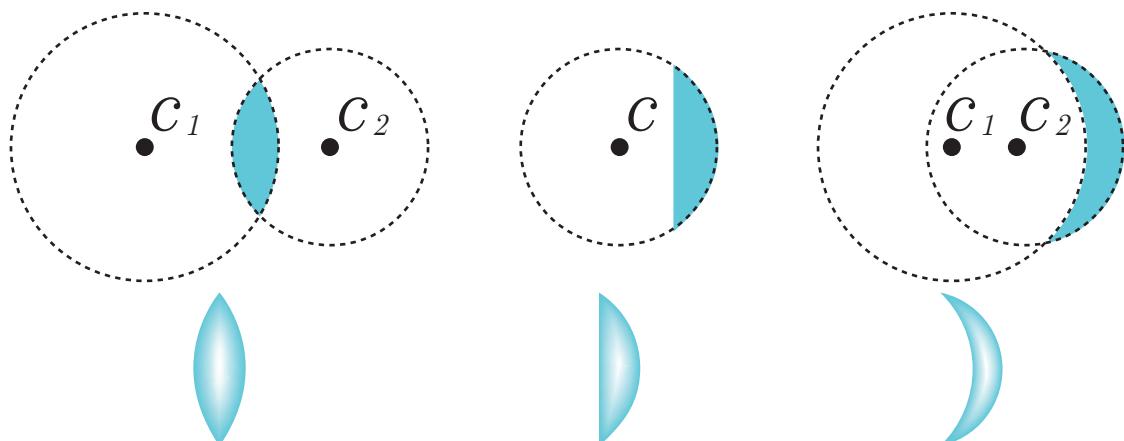


جسم شفافٌ كاسِرٌ للضوء ومحصورٌ بين سطحين أملسين كرويَّين، أو سطح كرويٍّيْ أملس وسطح مُستوٍ أملس. تمثِّل العدسة بقطعة مُستقيمة شاقوليَّة، وتدلُّ جهة السهم في طرفِ القطعة على نوع العدسة كما في الشكل:

2-4 أنواع العدسات

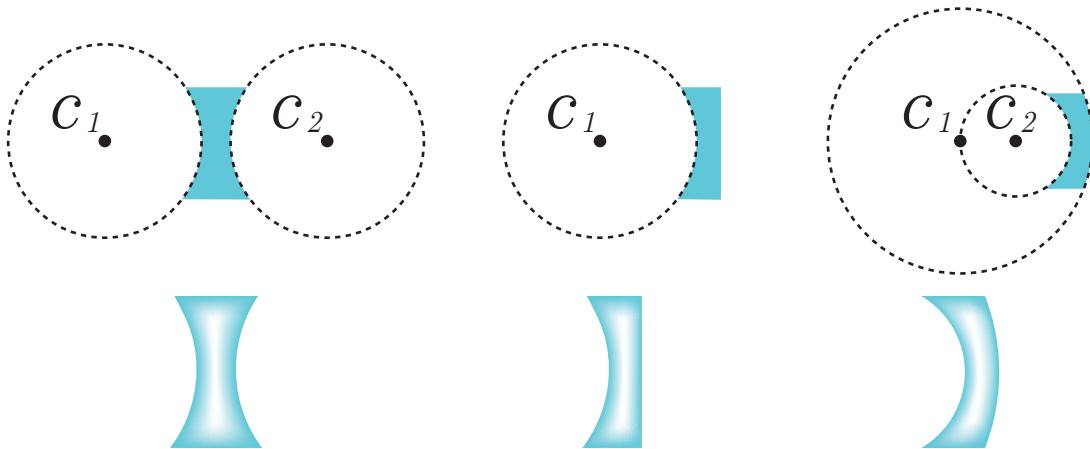
تصَّفُ العدسات حسب شكلها الهندسي وعملها فيزيائياً إلى نوعين:
أولاً: العدسات المُقرِّبة (العدسات المُحدَّبة):

حوافُها رقيقة ووسطُها ثخين، وسمِّيت بهذا الاسم لأنَّها تحرُّف الأشعة البارزة وتجعلُها أكثر تقارباً من بعضها، وتقتربُها من محورها الأصلي.



ثانياً: العدسات المُبعِّدة (العدسات المُقْعَرة):

حوافُها ثخينة ووسطُها رقيق، وسمِّيت بهذا الاسم لأنَّها تحرُّف الأشعة البارزة وتجعلُها أكثر تباعدًا عن بعضها وتُبعُّدها عن محورها الأصلي.



أنواع العدسات:



مقعرة الوجهين



مقعرة مستوية



مقعرة محدبة



محدبة الوجهين



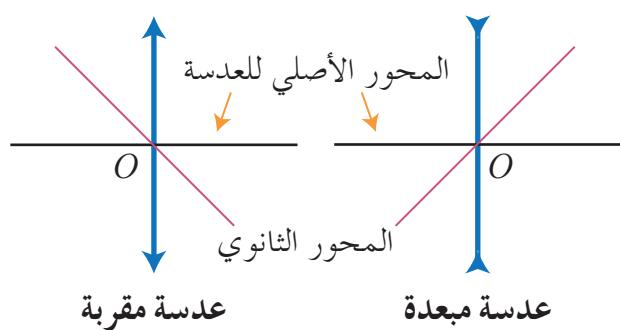
محدبة مستوية



محدبة مقعرة

3-4 تعاريف

المحور الأصلي للعدسة: المستقيم المار بمركز السطحين الكرويين للعدسة، أو المستقيم العمود على السطح المستوي للعدسة والمدار بالمركز الكروي للسطح الآخر.



المركز البصري للعدسة (O): هو نقطة تقاطع العدسة مع محورها الأصلي (نفترض العدسة رقيقة بحيث نهمل ثخانتها).

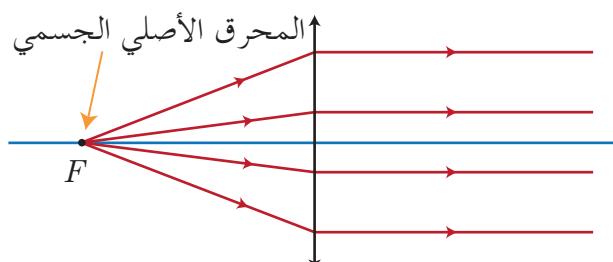
المحور الثانيي للعدسة: كل مستقيم يمر من المركز البصري عدا العمود الأصلي للعدسة ونقطة على جسم العدسة.

4-4 مدققاً العدسة

أولاً: عدسة مُقرّبة:

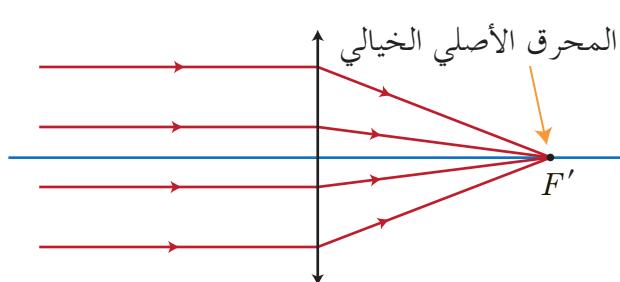
المحرق الأصلي الجسми F :

نقطة من المحور الأصلي كل الأشعة الضوئية الصادرة عنها تبرز من العدسة المقرّبة موازية المحور الأصلي. (يقع في الجهة التي ترد منها الأشعة الضوئية).



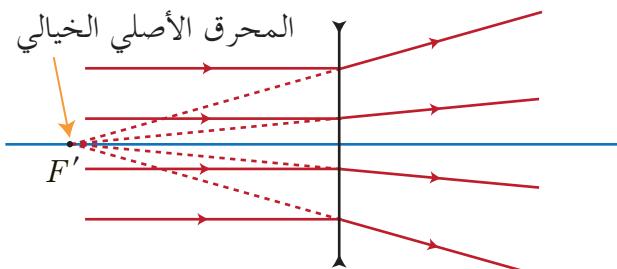
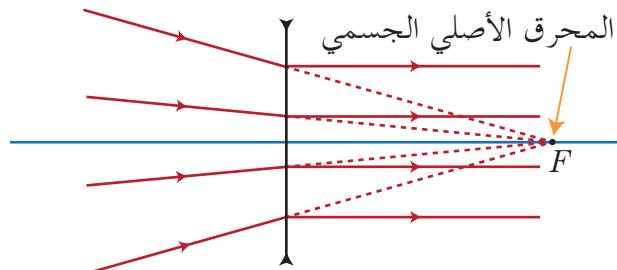
المحرق الأصلي الخيالي F' :

نقطة من المحور الأصلي تتلاقى فيها الأشعة الضوئية المُتوازية بعد أن تبرز من العدسة المقرّبة. (يقع في الجهة التي تنفذ منها الأشعة الضوئية).



ثانياً: عدسة مُبَعَّدة:

المحرق الأصلي الجسمى F :



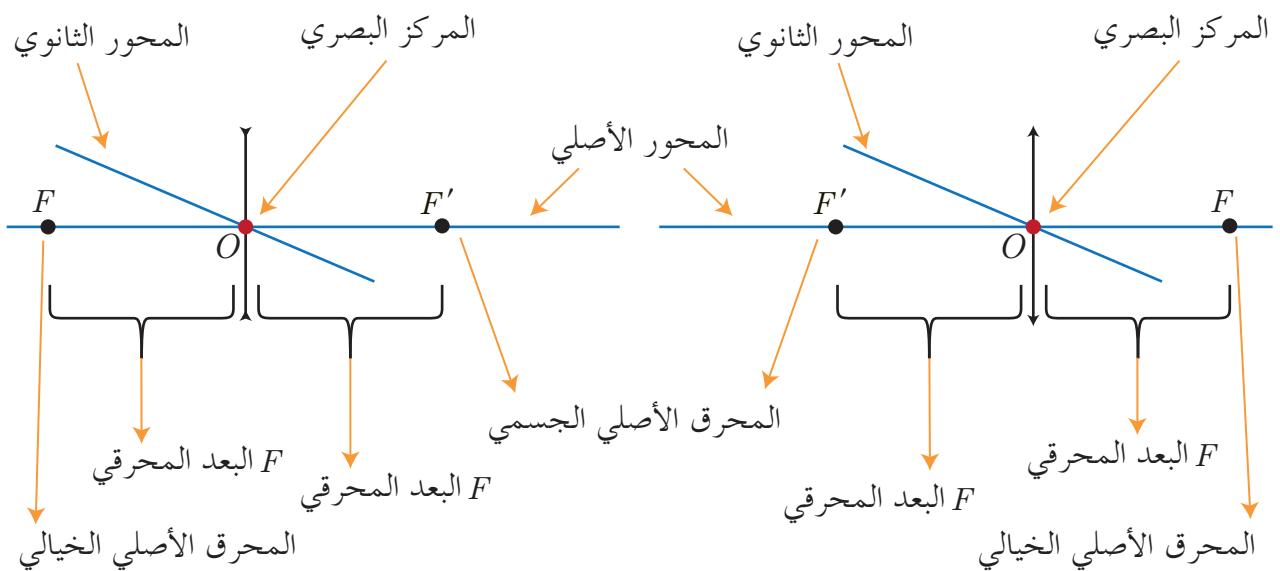
المحرق الأصلي الخيالي F' :

نقطة من المحور الأصلي تلتقي فيها مددات كل الأشعة الضوئية الواردة إلى العدسة، والتي تبرز موازية محورها الأصلي. (يقع في الجهة التي تنفذ الأشعة الضوئية إليها).

ملاحظة:

نسمى البعد بين المركز البصري للعدسة ومحرقها الأصلي بـ**البعد المحرقي** F .

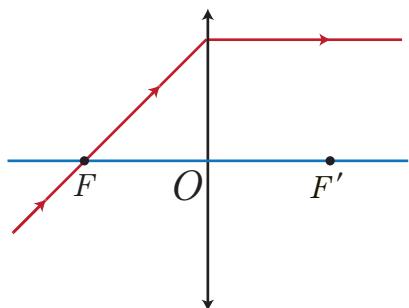
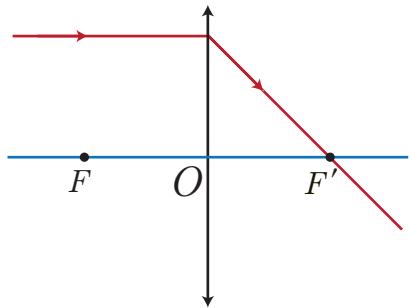
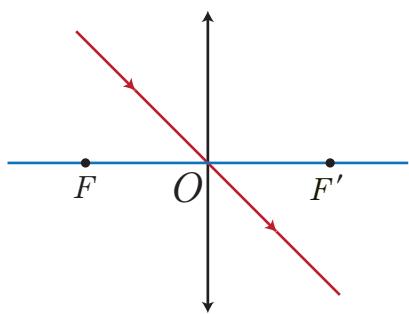
تعميم:



5-4 خاصيّات مسار الأشعة الضوئيّة في العدسات المقرّبة التي يهمل تخلّفها بالنسبة لأنصاف قطراتها

5-4-1 خاصيّة المركز البصري:

كل شعاع ضوئي يردد ماراً من المركز البصري لعدسة مقرّبة يجتازها دون أن ينحرف.



5-4-2 خاصيّة المحرق الأصلي الخيالي:

كل شعاع ضوئي يردد إلى عدسة مقرّبة موازياً محورها الأصلي يبرز منها ماراً من محرقها الأصلي الخيالي.

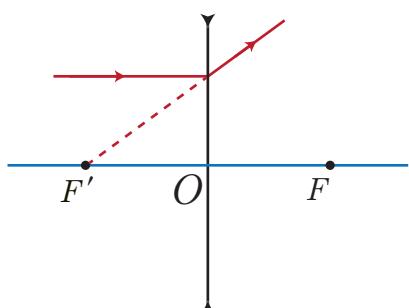
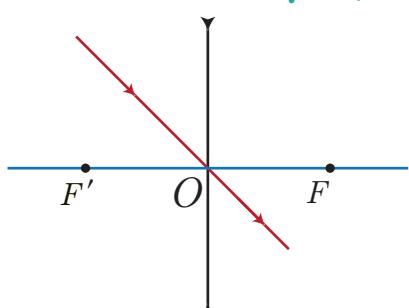
5-4-3 خاصيّة عكس المحرق الأصلي (خاصية المحرق الأصلي الجسمي):

كل شعاع ضوئي يردد ماراً من المحرق الأصلي لعدسة مقرّبة يبرز موازياً محورها الأصلي.

6-4 خاصيّات مسار الأشعة الضوئيّة في العدسات المبعّدة التي يهمل تخلّفها بالنسبة لأنصاف قطراتها

6-4-1 خاصيّة المركز البصري:

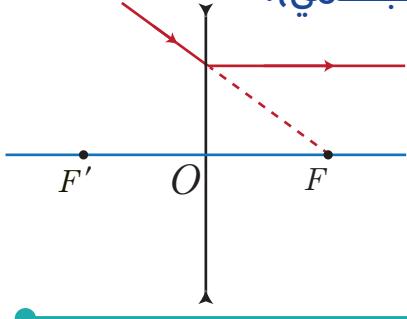
كل شعاع ضوئي يردد ماراً من المركز البصري لعدسة مبعّدة يجتازها دون أن ينحرف.



6-4-2 خاصيّة المحرق الأصلي الخيالي:

كل شعاع ضوئي يردد إلى عدسة مبعّدة موازياً محورها الأصلي يبرز كأنه صادر عن محرقها الأصلي الخيالي (محرق وهمي).

3-6-4 خاصية عكس المحرق الأصلي (المحرق الجسمي):



كل شعاع ضوئي يردد إلى عدسة مبعدة ويمثل ممدد من محرقها الأصلي الجسمى ينفذ موازياً محورها الأصلي.

7-4 إنشاء أخيالة تشكلها العدسات

للحصول على خيال جسم حقيقي نستفيد من خاصيات مسار الأشعة، ويكفي لتحديد خيال نقطة من الجسم اعتماداً على خاصيتين لرسم شعاعين ضوئيين صادرتين عن تلك النقطة وتحديد خيالها، وهي نقطة تلاقيهما تلاقي ممديهما.

يرمز لبعد الجسم عن المركز البصري للعدسة بالرمز d .

يرمز لبعد الخيال عن المركز البصري للعدسة بالرمز d' .

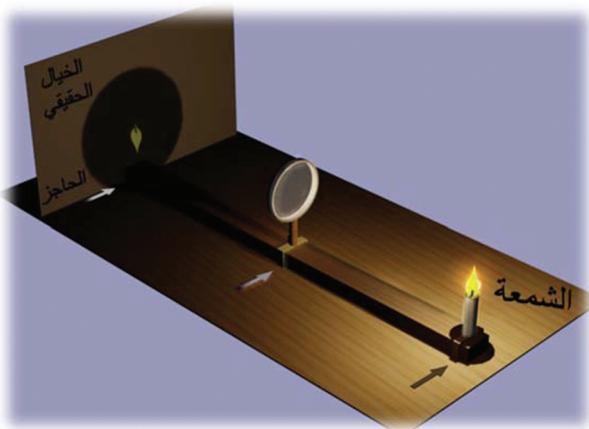
كيف يمكن لنا إيجاد البعد المحرقى لعدسة؟

أجريب وأستنتج:

لإجراء التجربة أحتاج إلى:

حقيقة الضوء الهندسي.

خطوات التجربة:



1. أضع مسطرةً مذرجة على طاولة المختبر.

2. أثبتت العدسة المقربة مع الحامل على المسطرة المذرجة بين التدرجتين (10 – 40 cm).

3. أضع شمعةً مضيئةً بجانب طرف المسطرة عند التدرجية (0).

4. أحرك الحاجز المحمول إلى الأمام أو إلى الخلف، لظهور الصورة مقلوبةً واضحةً ومساوية لطول الجسم.

5. أقيس بُعد الحاجز عن العدسة.

6. أقارن بين بُعد الشمعة عن العدسة وبُعد الحاجز عن العدسة، ماذا ألاحظ؟

أستنتاج:

- بُعد الشمعة عن العدسة يساوي بُعد الحاجز عن العدسة.

نسمى نصف المسافة بين العدسة والخيال المقلوب المساوي لطول الجسم المتشكل على الحاجز في هذه الحالة **بالبعد المحرقى**.



يمكن لأشعة الشمس أن تحرق ورقاً رقيقة باستخدام عدسة مقرّبة، كيف تفسّر ذلك؟ وماذا نسمّي المسافة بين العدسة المقرّبة ونقطة احتراق الورقة عندئذ؟

8-4 العدسات المقرّبة (المحدّبة)

1-8-4 مواضع الأخيالة وصفاتها في العدسات المقرّبة:

أولاً: الجسم الحقيقي واقع أمام العدسة

أجريت وأستنتج:

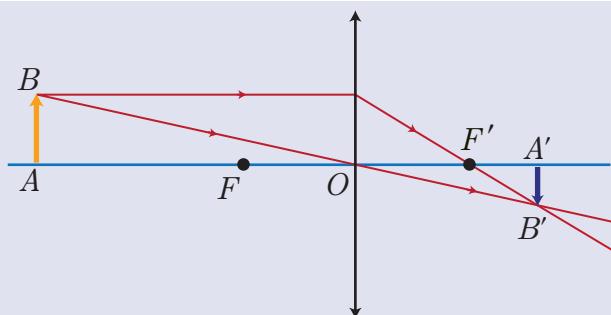
لإجراء التجربة أحتاج إلى:

حقيقة الضوء الهندسي.

1. أضع مسطرةً مُدرجة على طاولة المختبر.

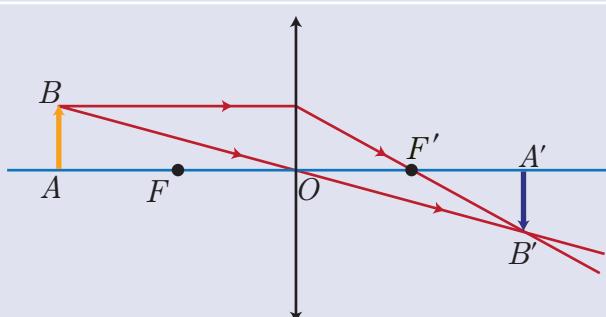
2. أضع شمعةً مُضيئة بجانب طرف المسطرة عند التدرجية (0).

3. أضع العدسة السابقة على أبعادٍ مُختلفة عن الحاجز وفق الجدول:



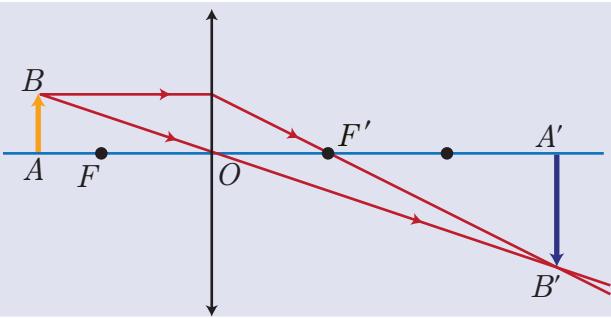
d > 2F حالة 1

حقيقي، مقلوب، أصغر من الجسم، يقع بين محارقها الخيالي 'F' ومثلثي البعد المحاري.



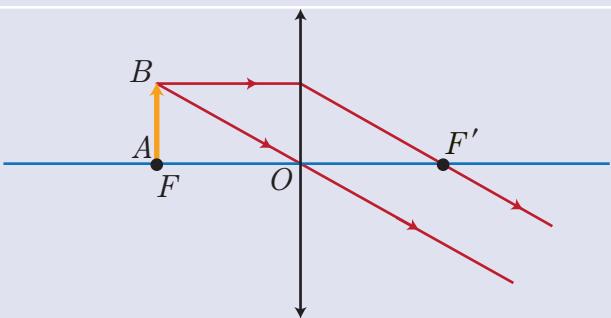
d = 2F حالة 2

حقيقي، مقلوب، طوله يساوي طول الجسم، يقع على بعد يساوي مثلثي البعد المحاري.



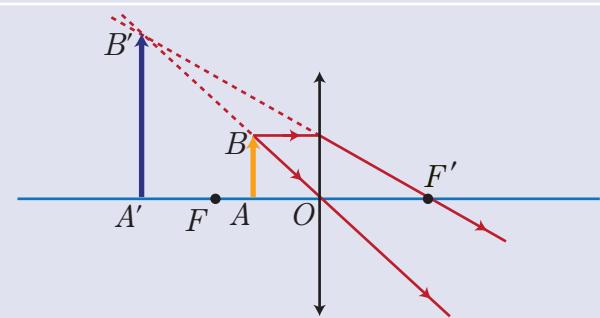
3. حالة $2F > d > F$

حقيقيٌّ، مقلوب، أكبرٌ من الجسم، يقعُ بينَ مثليَّ البُعد المحرقِي واللانهائيّ.



4. حالة $d = F$

لا يتشكّلُ خيالٌ. (الخيال يقعُ في اللانهائيّ).



5. حالة $d < F$

وهميٌّ، صحيح، أكبرٌ من الجسم، يقعُ بينَ محرقها الجسمي F واللانهائيّ.

ثانياً: الجسم وهميٌّ واقعٌ خلف العدسة حيث $d > F$

كيفَ نحصلُ على جسمٍ وهميٍّ؟

للحصول على جسمٍ وهميٍّ نفترضُ مسیرَ الأشعةِ المُتقاربةِ التي تشكّلُ حالاً حقيقياً AB لجسمٍ مضيءٍ بعدهُ مقرّبةً، فيصبحُ AB جسماً وهميًّاً بالنسبة إلى العدسة.

تشكّلُ العدسة المقرّبة لجسمٍ وهميٍّ واقعٍ خلفها حالاً $A'B'$ ، يتّصفُ بأنه:

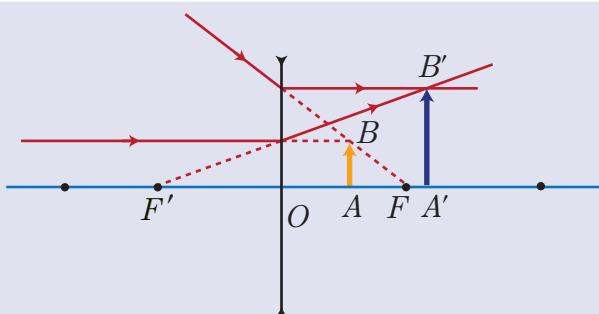
حقيقيٌّ، صحيح، أصغرٌ من الجسم، يقعُ بينَ مركزهَا البصريِّ ومحرقها الخياليِّ F' .

9-4 العدسات المُبَعَّدة (المُقْعَدَة)

1-9-4 مواضع الأختيلة وصفاتها في العدسات المُبَعَّدة:

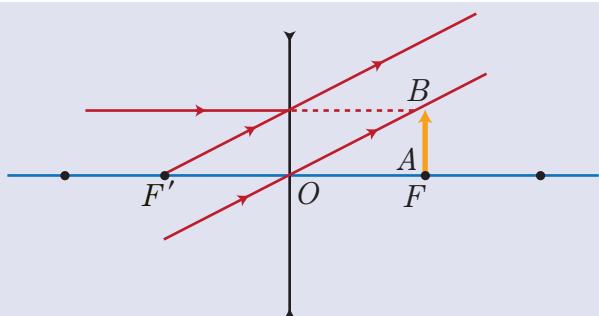
أولاً: الجسم الوهمي:

نشكّل لجسم مُضيء خيالاً حقيقياً AB ، ولقطع الأشعة المُنقاربة بعدها مُبَعَّدة، فيصبح AB جسماً وهمياً بالنسبة إلى العدسة المُبَعَّدة واقعاً خلفها، ونميّز الحالات الآتية:



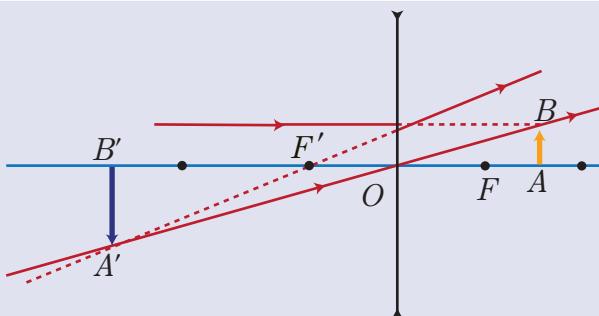
يقع بين المركز البصري للعدسة ومحرقها الجسمي.

حقيقي، صحيح، أكبر من الجسم، يقع بين محرقها الجسمي F واللأنهاية (من جهة الجسم).



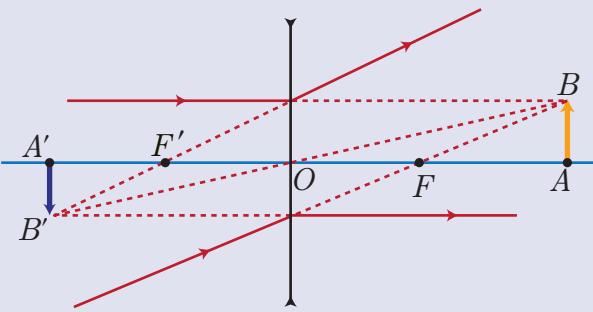
يقع في المحرق الجسمي.

لا يتشكّل خيال (الخيال يقع في اللأنهاية).



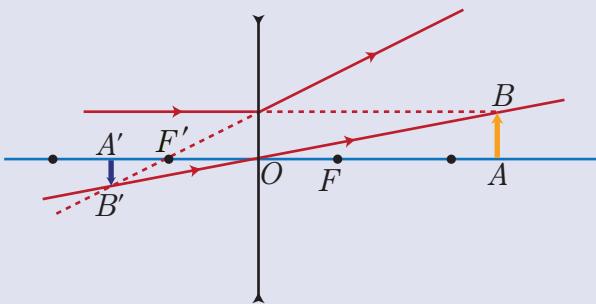
يقع بين المحرق الجسمي ومثلي البُعد المحرقِي.

وهمي، مقلوب، أكبر من الجسم، يقع بين اللأنهاية ومثلي البُعد المحرقِي الخيالي $.F'$.



يَقُوْلُ عَلَى مَسَافَةٍ أَبْعَدَ مِنْ مَثَلِي الْبُعْدِ الْمَحْرَقِيِّ.

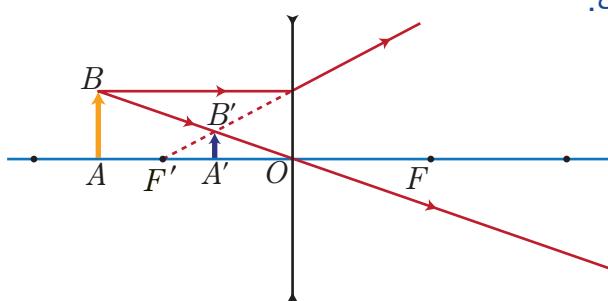
وَهُمِيُّ، مَقْلُوبٌ، أَصْغَرُ مِنَ الْجَسمِ، يَقُوْلُ بَيْنَ الْمَحْرَقِ الْخَيَالِيِّ F' وَمَثَلِي الْبُعْدِ الْمَحْرَقِيِّ F .



يَقُوْلُ عَلَى بُعْدٍ مِنَ الْمَرْكَزِ الْبَصْرِيِّ لِلْعَدْسَةِ الْمَبْعَدَ يَسْاُوِي مَثَلِي الْبُعْدِ الْمَحْرَقِيِّ.

وَهُمِيُّ، مَقْلُوبٌ، طُولُهُ يَسْاُوِي طُولِ الْجَسمِ، يَقُوْلُ عَلَى بُعْدٍ يَسْاُوِي مَثَلِي الْبُعْدِ الْمَحْرَقِيِّ . $d = 2F$

ثَانِيًّا: الْجَسْمُ الْحَقِيقِيُّ يَقُوْلُ أَمَامَ الْعَدْسَةِ: صَفَاتُ الْخَيَالِ:



وَهُمِيُّ، صَحِيحٌ، أَصْغَرُ مِنَ الْجَسمِ، يَقُوْلُ بَيْنَ مَحْرَقِهَا الْخَيَالِيِّ F' وَمَرْكُزِهَا الْبَصْرِيِّ.

اصْطِلَاحُ إِلَشَارَةِ:

- نَعْتَبُ أَنَّ الْأَشْعَةَ الضَّوئِيَّةَ تَرُدُّ دَوْمًاً مِنَ الْيَسَارِ إِلَى الْيَمِينِ.
- تُقَاسُ الْأَبْعَادُ بِدَءَاءً مِنَ الْمَرْكَزِ الْبَصْرِيِّ لِلْعَدْسَةِ.

نوع العدسة	مُقرّبة	مُبعّدة	مُبعّدة	
بعد الجسم d	وهميٌّ	حقيقيٌّ	وهميٌّ	حقيقيٌّ
بعد الخيال d'	—	+	—	+
طول الجسم h	+ إذا وقع فوق المحور الأصلي.	+ إذا وقع فوق المحور الأصلي.	+ إذا وقع تحت المحور الأصلي.	- إذا وقع تحت المحور الأصلي.
طول الخيال h'	—	—	—	—
البعد المحرقي F	—	+	—	—
التكبير الخططي M	$M > 1$ طول الخيال أكبر من طول الجسم. $M = 1$ طول الخيال يساوي طول الجسم. $M < 1$ طول الخيال أصغر من طول الجسم.	$M < 0$ الخيال مقلوب. $M > 0$ الخيال صحيح.	—	—

10-4 دسّتُور العدسان

الدستور الأول (دسّتُور ديكارت):

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$$

الدستور الثاني (دسّتُور التكبير الخططي):

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{d'}{d}$$

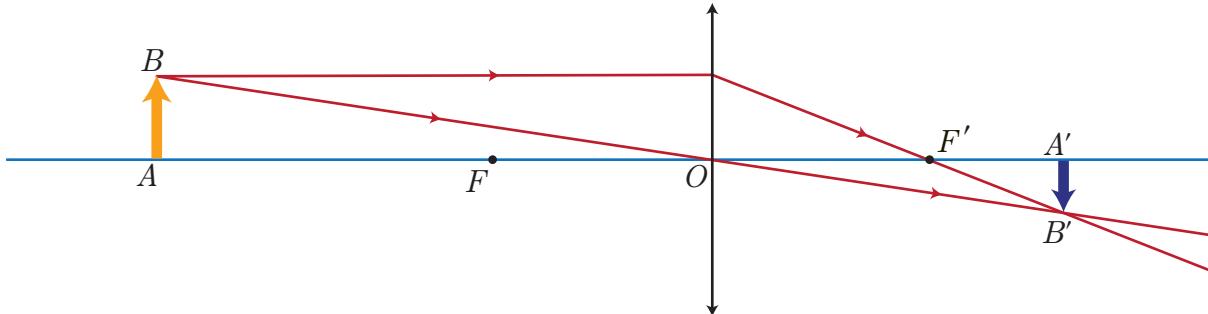
ملاحظة: تمت إضافة إشارة (-) لينسجم القانون مع اصطلاح الإشارة.

إثْرَاء:

- تتميز العدسة باستطاعتها وليس ببعدها المحرقي عند استخدامها في طب العيون.
- واستطاعة العدسة p هي مقلوبُ البعد المحرقي، عندما يُقدّر هذا البعد بالметр $\frac{1}{F} = p$ ، وواحدة الاستطاعة هي الكسيرة (Diopter)، ورمزها (D).

تطبيق (1):

وضع جسم مُضيئ طوله 3 cm على بعد 32 cm من عدسة مُقرّبة، بعدها المحرقى 8 cm، عمودياً على محورها الأصلي، **المطلوب:**
احسب بُعد الخيال المُتشكل عن العدسة، ثم حدد صفاتِه.
الحل:



طبق قانون ديكارت:

$$\begin{aligned}\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} &= \frac{1}{F} \\ \frac{1}{32} + \frac{1}{d'} &= \frac{1}{8} \\ \frac{1}{d'} &= \frac{1}{8} - \frac{1}{32}\end{aligned}$$

وبحساب نجد:

$$d' \simeq +11 \text{ cm}$$

إشارة (+) تدل على أن الخيال حقيقي.

طبق قانون التكبير الخطي:

$$\begin{aligned}M &= \frac{h'}{h} = -\frac{d'}{d} \\ \frac{h'}{3} &= -\frac{11}{32} \\ h' &= -\frac{11 \times 3}{32} \simeq -1 \text{ cm}\end{aligned}$$

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 المحرقى.

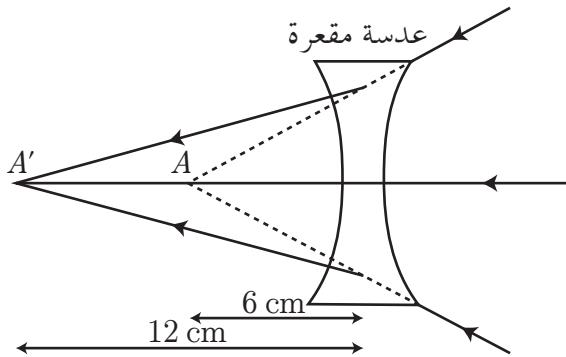
تطبيق (2):

وضعت عدسة على بعد 6 cm من نقطة A لتعترض مسار الأشعة المتجمعة فيها، فتشكل خيال حقيقي للنقطة A على بُعد 12 cm من العدسة. **المطلوب:**
احسب البُعد المحرقى للعدسة ثم حدد نوعها.

الحل:

النقطة A تمثل جسماً ناتجاً من تلاقي الأشعة. فيعتبر هذا الجسم بالنسبة إلى العدسة التي تتعرض مسار هذه الأشعة جسماً وهميّاً، أي أنَّ إشارة $d = -6\text{ cm}$ سالبة بعد وضع العدسة، تجمعت الأشعة وتلقت عند النقطة A' ، التي تبعد عن العدسة $d' = +12\text{ cm}$ (الإشارة موجبة لأنَّ الخيال حقيقي).

طبق قانون 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 مُبعَدة.

تعلمت

• في العدسة المُقرَبة:

- كلُّ شعاعٍ ضوئيٍ يرُدُّ على العدسة مارًّا من مركزها البصري يجتازها دون انحراف.
- كلُّ شعاعٍ ضوئيٍ يرُدُّ على العدسة موازيًّا محورَها الأصلي ييرز منها مارًّا من محرقها الأصلي الخيالي F' .
- كلُّ شعاعٍ ضوئيٍ يرُدُّ على العدسة مارًّا من محرقها الأصلي ييرز موازيًّا لمحورَها الأصلي F .

• في العدسة المُبعَدة:

- كلُّ شعاعٍ ضوئيٍ يرُدُّ على العدسة مارًّا من مركزها البصري يجتازها دون انحراف.
- كلُّ شعاعٍ ضوئيٍ يرُدُّ على العدسة موازيًّا محورَها الأصلي ييرز كأنَّه صادر عن محرقها الأصلي الخيالي F' .
- كلُّ شعاعٍ ضوئيٍ يرُدُّ على العدسة بحيث يمُرُّ مُمدَّدًا من محرقها الأصلي الجسمي ييرز موازيًّا لمحورَها الأصلي F .

• دستوراً العدسات:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} = \frac{1}{F}$$

حيث: F البُعد المحرقي. d بُعد الجسم. d' بُعد الخيال.

$$M = \frac{h'}{h} = -\frac{d'}{d}$$

حيث: h' طول الخيال. h طول الجسم.



أختبر نفسك

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

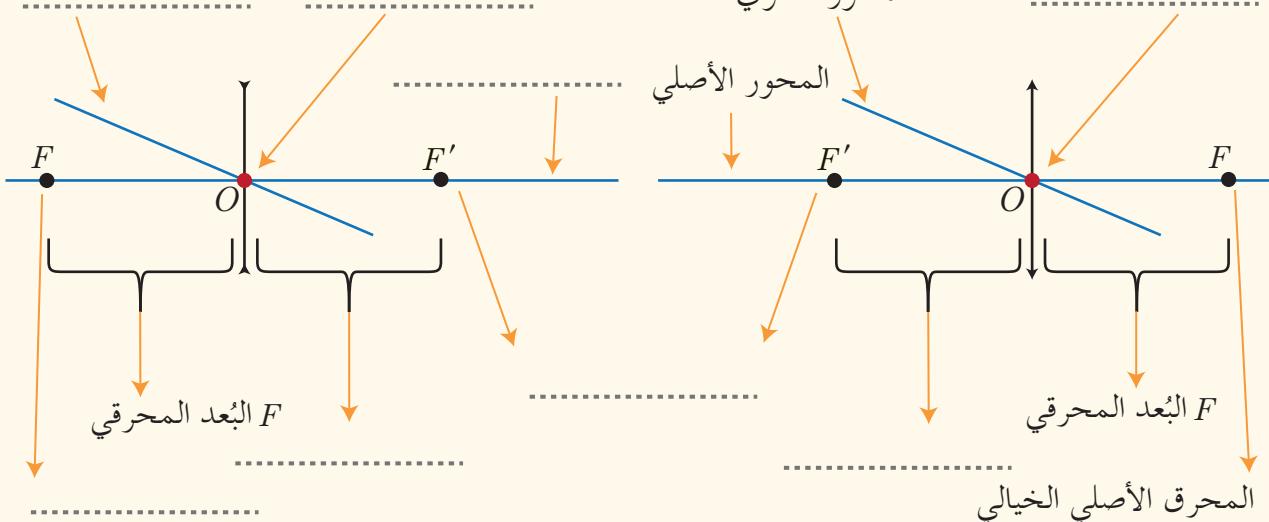
- 1.** جسم شفاف كايسر للضوء ممحضور بين سطحين أملسين كرويين محدبين يسمى:
d. مرآة كروية. b. عدسة مبعّدة. c. عدسة مقرّبة. a. عدسة.
- 2.** المستقيم المار بمركز الانحناء الكروي لسطح العدسة، يسمى:
a. المحور الأصلي للعدسة. b. المحور الثانوي للعدسة. c. المركز البصري للعدسة. d. المحرق الأصلي للعدسة.
- 3.** البُعد بين المركز البصري للعدسة ومحرقها الأصلي، يساوي:
d. نصف قطر العدسة. b. قطر العدسة. c. ضعفي قطر العدسة. a. البُعد المحرقي للعدسة.
- 4.** كل شعاع ضوئي يسقط على عدسة مبعّدة، ويكون ممددًا مارًّا من محرقها الأصلي الجسمي للعدسة، فإنه يجتازها:
a. موازيًّا محورها الأصلي. b. موازيًّا محورها الثانوي. c. وكأنه صادرٌ من محرقها الخيالي. d. دون أن ينحرف.
- 5.** كل حزمة ضوئية ترد إلى عدسة مقرّبة موازية محورها الأصلي فإنها تبرز منها وتتجمّع في نقطة واحدة هي:
a. محرقها الأصلي الخيالي. b. محرقها الأصلي الجسمي. c. مركزها البصري. d. محرقها الثانوي الخيالي.
- 6.** وضع جسم حقيقي AB أمام عدسة محدبة، عموديًّا على محورها الأصلي على بعد يساوي ضعف بعدها المحرقي $2F$ ، فيتشكل له خيالاً صفاتيًّا:
a. حقيقي ومقلوب وطوله يساوي طول الجسم. b. وهمي ومقلوب وطوله يساوي طول الجسم. c. حقيقي ومقلوب وطوله أصغر من طول الجسم. d. وهمي وصحيح وطوله يساوي طول الجسم.

7. وضع جسم حقيقي أمام عدسة مُبعدة عمودياً على محورها الأصلي، ويقع أمامها على مسافة أكبر من البعد المحرقي، فيتشكل له خيال وهمي، وعندما نقرب الجسم من العدسة فإن طول خياله:

 - a. يزداد.
 - b. ينقص.
 - c. لا يتغير.
 - d. ينقص أولاً ثم يزداد.

ثانياً: املأ الفراغات الآتية بالكلمات المناسبة:

المحور الثاني



ثالثاً: ارسم خيال جسم حقيقي، يقع أمام عدسة مُقْرِبة، واكتب صفاتِه في الحالتين:

- a. الجسم يقعُ بينَ الlanهية ومحرقها الجسمي.
 - b. الجسم يقعُ بينَ المركز البصري ومحرقها الجسمي.

رابعاً: ارسم خيال جسم وهمي، يقع أمام عدسة مبعدة، واكتب صفاتيه في الحالتين:

- a. الجسم يقع بين المركز البصري ومحرقها الجسمي.
b. الجسم يقع بين المحراق الجسمي ومثلي البعد المحراق.

خامساً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

وُضِعَ جَسْمٌ مُضِيَّ، طُولُه 5 cm، عَلَى بُعدِ مُتَرَّينِ مِنْ عَدْسَةٍ مُقْرِبَةٍ، بُعْدُهَا الْمَحْرَقِي 20 cm، عَمُودِيًّا عَلَى مَطَالِبِهِ، الْأَصْلِ.

محورها الأصلي، المطلوب:

1. احسب بُعد الخيال عن العدسة.
 2. احسب طول الخيال والتكبير الخططي للعدسة.
 3. ارسم الخيال المُتشكل، ثم حدد صفاتة.

المسألة الثانية:

وضع جسم مضيء على بعد 5 cm من عدسة مقربة، عمودياً على محورها الأصلي، فتشكل له خيالاً أكبر منه بأربع مرات. احسب البعد المحرقي.

المسألة الثالثة:

جسم مضيء طوله 10 cm يقع على بعد مترين من عدسة مقربة، فتشكل له خيالاً حقيقياً طوله 10 cm، عمودياً على محورها الأصلي، فعلى أي بعد من العدسة يجب وضع الجسم المضيء حتى يصبح طول خياله 100 cm؟

المسألة الرابعة:

احسب البعد المحرقي لعدسة مبعدة، علماً أنها تشكل لجسم مضيء عمودياً على محورها الأصلي ويقع على بعد 20 cm منها خيالاً وهمياً أصغر منه بمترين.

المسألة الخامسة:

نريد الحصول على خيال حقيقي أكبر من الجسم بأربع مرات باستخدام عدسة مقربة بعدها المحرقي 20 cm على أي بعد من الجسم يجب وضع العدسة وال حاجز؟

المسألة السادسة:

وضع جسم مضيء، طوله 2 cm على بعد 50 cm من عدسة مبعدة، بعدها المحرقي 10 cm، عمودياً على محورها الأصلي، **المطلوب:**

1. احسب بعد الخيال عن العدسة.
2. ارسم الخيال المتشكل، ثم حدد صفاتيه.

المسألة السابعة:

عدسة مقربة، بعدها المحرقي 3 cm، تشكل لجسم خيالاً وهمياً على بعد 24 cm من العدسة، احسب بعد الجسم عن العدسة.

المسألة الثامنة:

جسم مضيء طوله 9 cm، يقع على بعد 27 cm من عدسة مبعدة، بعدها المحرقي 18 cm، عمودياً على محورها الأصلي.

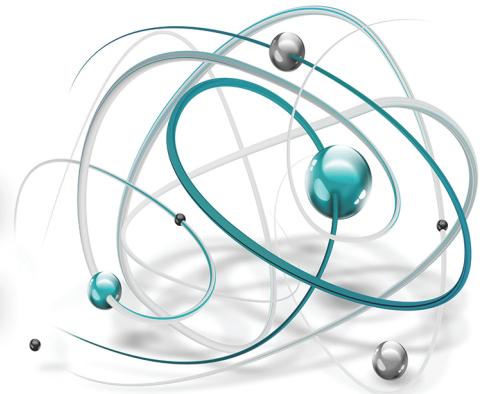
1. احسب بعد الخيال عن العدسة.
2. احسب طول الخيال والتكبير الخطبي للعدسة.
3. ارسم الخيال المتشكل ثم حدد صفاتيه.

أبحث أكثر

ابحث في الشبكة عن المجهر وأنواع العدسات المستخدمة فيه، ثم استنتج علاقة التكبير الخطبي فيه.

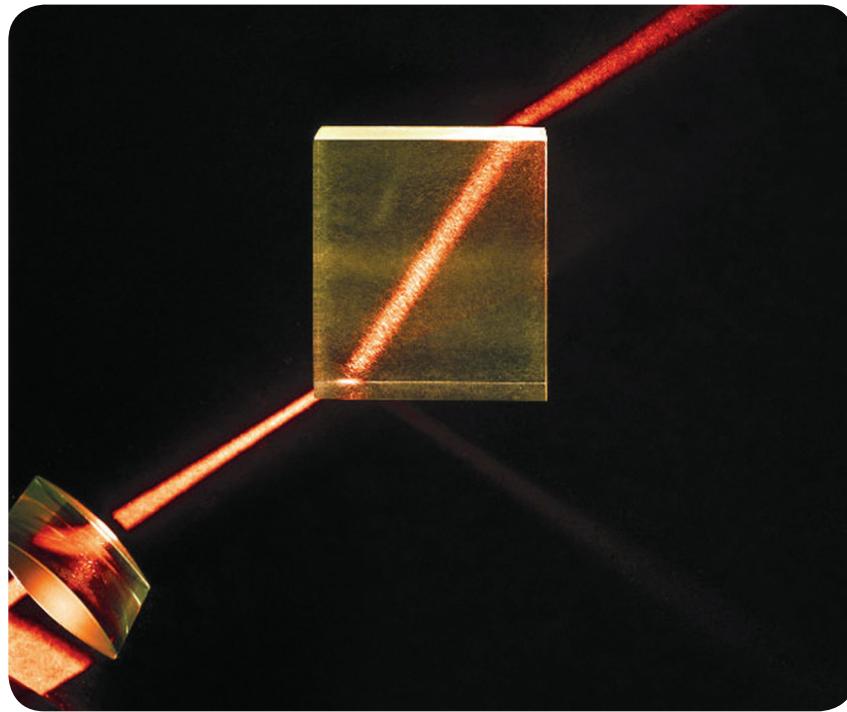
٥٤

الصَّفِيحةُ مُتَوَازِيَّةُ الوجْهَيْنِ



لِتَأْمَلُ زجاجَ نوافذ المدرسة الشفافة، والواجهات الزجاجية للمحلات التجارية، نجدُ أنَّها على شكل صفائحٍ شفافةٍ ثخينة مُتوازية الوجهين.

- الصَّفِيحةُ مُتوازيةُ الوجْهَيْنِ: وسْطٌ شفافٌ مُتجانِسٌ محدودٌ بوجْهَيْنِ مُتساوِيَيْنِ أَمْلَسَيْنِ، قرينة انكسار مادَّتها n ، وثخنَّها t الَّذِي يُمَثِّلُ الْبُعْدَ بَيْنَ الوجْهَيْنِ الْمُسْتَوَيَيْنِ لِلصَّفِيحةِ.



مسارُ شعاعِ ضوئيٍّ وحيد اللونِ في صَفِيحةٍ مُتوازيةٍ الوجْهَيْنِ

أجْرِبُ واسْتَنْتَهِ:

لِإِجْرَاءِ التَّجْرِيْبِ أَحْتَاجُ إِلَى:

- حقيقة الضوء الهندسي.
- لوح مُمْغَنَّط.

خطواتُ التَّجْرِيْبِ:

- أَثَّبَتِ الْمِنْقَلَةَ عَلَى اللَّوْحِ الْمُمْغَنَّطِ.
- أَضْعُ الصَّفِيحةَ مُتوازيةَ الوجْهَيْنِ نَاظِمِيًّا عَلَى أَحَدِ مَحَورِيِّ الْمِنْقَلَةِ.

الأَهْدَافُ:

* يقومُ بتجاربٍ يوضحُ فيها مسار شعاعِ ضوئيٍّ وحيد اللونِ في صَفِيحةٍ مُتوازيةٍ الوجْهَيْنِ.

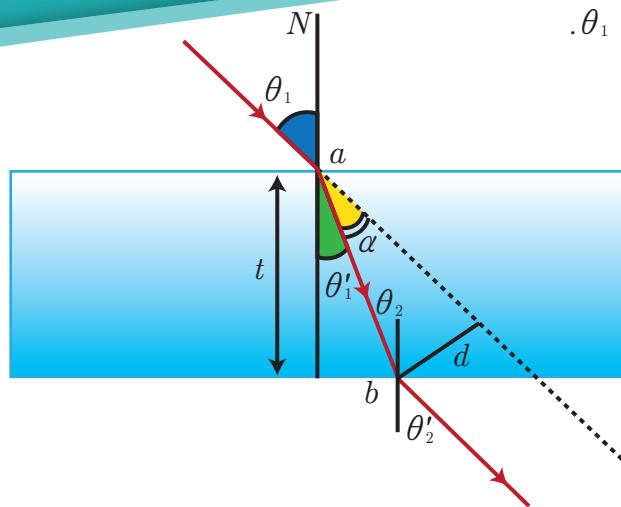
* يفسِّرُ الاتِّلاعَ الجانبي لشعاعٍ يخترقُ صَفِيحةَ مُتوازيةَ الوجْهَيْنِ مع الرسم.

* يفسِّرُ بعضَ الْمُشَاهَدَاتِ الْحَيَاتِيَّةِ باسْتِخْدَامِ الصَّفِيحةِ الْمُتوازيةِ الوجْهَيْنِ.

الكلماتُ الْمُفْتَاحِيَّةُ:

* الصَّفِيحةُ مُتوازيةُ الوجْهَيْنِ.
Parallel Plate.

* طيفٌ مرئيٌّ.
Visible Spectrum.



3. أُسْقِط شعاعاً ضوئياً وحيد اللون على الصفيحة بزاوية حادة θ_1 .

4. أقيس زاوية البروز θ'_1 (الكائنة بين الشعاع الضوئي البارز والناظم على السطح).

5. أرسم ممداً الشعاع الضوئي الوارد.

• ماذا استنتج؟

استنتاج:

• الصَّفِيحة مُتَوَازِيَة الوجهَيْن لا تغيِّر منحى الأشعة الضَّوئيَّة التي تجتازُها، إلَّا أَنَّهَا تُزَلِّقُها جانبيًّا بِمَقْدَار d .

• تدلُّ الدراسات على أنَّ مقدار الانزلاق الجانبي d يُحَسَّب بالعلاقة:

$$d = \frac{t}{\cos \theta'_1} \sin(\theta_1 - \theta'_1)$$

حالات خاصة:

1. إذا كان الشعاع الوارد ناظمياً على الوجه الأول للصفيحة $\theta_1 = 0^\circ$ ، فإنه يبرز من الوجه الثاني دون انزلاق جانبي $\theta'_1 = \theta_2 = 0^\circ$ ، وبالتالي $d = 0$.

2. إذا كان الشعاع الوارد على مستوى الوجه الأول للصفيحة يصنع زاوية قدرها $(\theta' = 90^\circ - \theta)$ ، فإنَّ زاوية الانكسار هي الزاوية الحرجة $(\theta_c = \theta'_1)$ وهي زاوية الانزلاق الجانبي يساوي ثخن الصفيحة $d = t$.

3. في حال زوايا الورود الصغيرة تصبح العلاقة السابقة بالشكل:

$$d = t(\theta_1 - \theta'_1)$$

$$(\theta_1 - \theta'_1) \ll 1$$

وبما أنَّ $\sin(\theta_1 - \theta'_1) \approx \theta_1 - \theta'_1$ نستنتج أنَّ الانزلاق الجانبي d أصغر كثيراً من ثخن الصفيحة t .

إضاءة

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta'_1\right) = \cos \theta'_1$$

إذا كان $\theta \leq 14^\circ$ أو $\theta \leq 0.24 \text{ rad}$ فإنَّ:

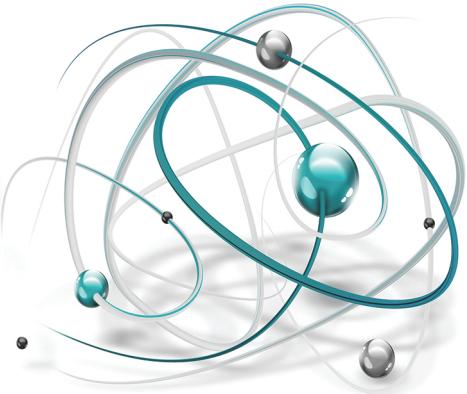
$$\cos \theta \approx 1 \quad \sin \theta \approx \theta$$

أبحث أكثر

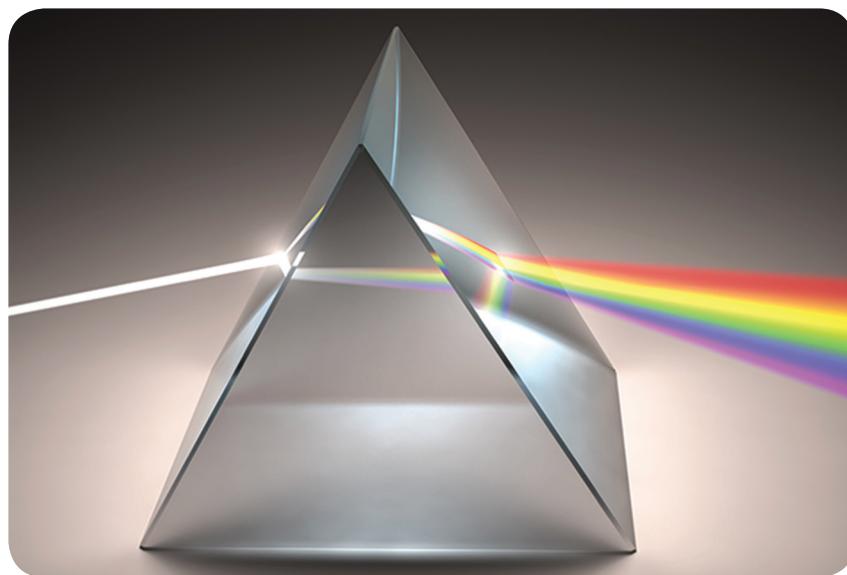
ابحث في الشبكة عن الصَّفِيحة مُتَوَازِيَة الوجهَيْن ثمَّ استنتج علاقَة الانزلاق الجانبي.

6-4

الموشور



هل شاهدت قوس قزح؟



ما زادت للشعاع الضوئي وحيد اللون عندما يردد على أحد وجهي المنشور بزاوية معينة؟ وما زادت لهذا الشعاع الضوئي إذا كان أيضًا اللون؟

الأهداف:

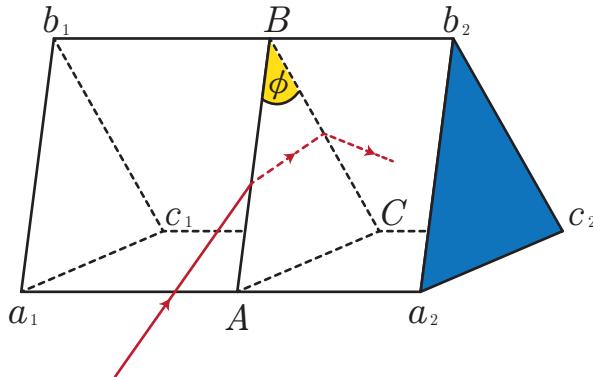
- * يوضح بتجارب مسار شعاع ضوئي بسيط يجتاز منشور.
- * يرسم مسار شعاع ضوئي في منشور.
- * يستنتج قوانين المنشور.
- * يفسّر بعض المشاهدات الحياتية باستخدام المنشور.

الكلمات المفتاحية:

- * منشور.
Prism.
- * منشور عاكس.
Reflective Prism.
- * زاوية الانحراف.
Deviation Angle.
- * الانحراف الأصغر.
Minimum Deviation.

تعريف المنشور:

وسط شفاف كاسر للضوء، محصور بين كاسرين مستويين أملسين غير متوازيين.



1-6 تعريف وخصائص المنشور

- حرف المنشور b_1b_2 :** خط تقاطع وجهي المنشور.
- زاوية المنشور ϕ :** الزاوية بين وجهي المنشور.
- زاوية الانحراف δ :** الزاوية الحادثة بين ممدد الشعاع البارز على الوجه الثاني وممدد الشعاع الوارد على الوجه الأول.
- المقطع الأصلي للمنشور:** كل مستوى عمودي على حرف المنشور b_1b_2 .
- قاعدة المنشور:** وجه المنشور $a_1c_1c_2a_2$ المقابل لحرف b_1b_2 .

ملاحظة: سنأخذ بعين الاعتبار الأشعة الضوئية التي تنتشر في مستوى المقطع الأصلي للمنشور.

2-6 قوانين المنشور نظرياً

- ليكن الشعاع الضوئي البسيط ab الوارد من الهواء على الوجه الأول $a_1b_1b_2a_2$ من المنشور بزاوية ورود θ_1 ، ويقع في المقطع الأصلي للمنشور، فإنه ينكس بزاوية انكسار β ، مقترباً من الناظم على الوجه الأول عند نقطة الورود b ليصل الشعاع الضوئي bc إلى النقطة c على الوجه الثاني $c_1b_1b_2c_2$ من المنشور بزاوية ورود β' ، ويرز إلى الهواء متعداً عن الناظم على الوجه الثاني عند نقطة الورود c بزاوية انكسار θ_2 .
- بتطبيق القانون الثاني في الانكسار على الوجه الأول: $\sin \theta_1 = n \sin \beta$
- بتطبيق القانون الثاني في الانكسار على الوجه الثاني: $n \sin \beta' = \sin \theta_2$
- الزاوية \widehat{ceb} تساوي زاوية المنشور ϕ بالتعامد، وهي زاوية خارجية في المثلث ceb تساوي مجموع الزاويتين الداخليةين β' ، β :

$$\phi = \beta + \beta'$$

- نلاحظ من الشكل أن الشعاع الضوئي يعاني انحرافاً بعد اجتيازه المنشور، وتسمى الزاوية δ الحادثة بين ممدد الشعاع البارز وممدد الشعاع الوراد بزاوية الانحراف، وهي زاوية خارجية في المثلث cmb تساوي مجموع الزاويتين $'a'$ ، a حيث:

$$a' = \theta_2 - \beta' , a = \theta_1 - \beta$$

$$\delta = a + a'$$

$$\delta = (\theta_1 - \beta) + (\theta_2 - \beta')$$

$$\delta = (\theta_1 + \theta_2) - (\beta + \beta')$$

$$\delta = (\theta_1 + \theta_2) - \phi$$

استنتاج:

للمنشور أربعة قوانين:

$$\sin \theta_1 = n \sin \beta$$

$$n \sin \beta' = \sin \theta_2$$

$$\phi = \beta + \beta'$$

$$\delta = (\theta_1 + \theta_2) - \phi$$

قوانين المنشور في حالة الزوايا الصغيرة المقدرة بالرadian حسب يمكن اعتبار:

$$\sin \theta_1 \approx \theta_1$$

$$\sin \theta_2 \approx \theta_2$$

1-2-6 قوانين المنشور في حالة الزوايا الصغيرة

$$\theta_1 = n\beta$$

$$\theta_2 = n\beta'$$

$$\phi = \beta + \beta'$$

$$\delta = \phi(n-1)$$

- إن انحراف الشعاع الضوئي وحيد اللون في هذه الحالة (الزوايا صغيرة). لا يعتمد إلا على زاوية رأس المنشور ϕ ، وعلى قرينة انكساره n .
- أمّا في الحالة العامة (الزوايا كبيرة) والتي تعبر عنها العلاقة:

$$\delta = (\theta_1 + \theta_2) - \phi$$

- فمن الواضح أن مقدار الانحراف يعتمد على زاوية الورود، بالإضافة إلى قرينة انكسار المنشور وزاوية رأسه.

2-2-6 قوانين المنشور في حالة الانحراف الأصغر

تدل التجربة أنه في حالة الانحراف الأصغر، زاوياً الورود والبروز متساوياً أي:

$$(\beta_{\min} = \theta_2 = \beta') \text{ وبالتالي فـان } (\theta_{\min} = \theta_1 = \beta)$$

حيث: $(\beta_{\min}, \theta_{\min})$ هما زاوياً الورود والانكسار في حالة الانحراف الأصغر، ويصبح قانوناً المنشور:

$$\phi = \beta + \beta'$$

$$\delta = (\theta_1 + \theta_2) - \phi$$

على الشكل:

$$\phi = 2\beta_{\min}$$

$$\delta_{\min} = 2\theta_{\min} - \phi$$

حيث: δ_{\min} هي زاوية الانحراف الأصغر، ومنها ينبع:

$$\theta_{\min} = \frac{\delta_{\min} + \phi}{2}, \quad \beta_{\min} = \frac{\phi}{2} \quad (1)$$

ويصبح كلٌ من قانوني المنشور:

$$\sin \theta_1 = n \sin \beta$$

$$\sin \theta_2 = n \sin \beta'$$

على الشكل:

$$\sin \theta_{\min} = n \sin \beta_{\min}$$

$$n = \frac{\sin \theta_{\min}}{\sin \beta_{\min}} \quad (2)$$

نوعٌ (1) في (2)، فنجد عندئذٍ:

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + \phi}{2}}{\sin \frac{\phi}{2}} \quad (*)$$

ولهذه العلاقة أهمية كبيرة في تعين قرينة انكسار مادةً مجهولة، حيث نصنعُ من المادة منشوراً بزاويةٍ رئيسية معلومة ϕ ، ثم نسقطُ عليه شعاع ضوئي وحيد اللون، ونحدّد زاوية الانحراف الأصغر δ_{\min} ، ثم نحسبُ قرينة انكسار المادة من العلاقة السابقة.

ملاحظة: تؤول قرينة الانكسار في العلاقة السابقة إلى قرينة الانكسار النسبية $\frac{n_2}{n_1} = n_{2/1}$ ، إذا كان الوسط الأول الذي يحيط بالمنشور، ويردُ منه الضوء في وسط شفافٍ غير الهواء.

المنشور الترقيق:

هو كلٌ منشورٌ زاويةٌ رئيسيةٌ صغيرةٌ (لا تتجاوزُ عشر درجاتٍ 10°)، فإذا كان المنشور في وضع الانحراف الأصغر، فيمكن كتابة العلاقة السابقة (*) بالشكل:

$$n = \frac{\delta_{\min} + \phi}{\phi}$$

تطبيق (1):

موشور زجاجي موجود في الهواء، زاوية رأسه تساوي (60°) ، والنهاية الصغرى لزاوية الانحراف تساوي (40°) . احسب قرينة انكسار مادة المنشور.

الحل:

نطيق العلاقة

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + \phi}{2}}{\sin \frac{\phi}{2}}$$
$$n = \frac{\sin \frac{40^\circ + 60^\circ}{2}}{\sin \frac{60^\circ}{2}}$$
$$n = \frac{\sin 50^\circ}{\sin 30^\circ} = \frac{0.766}{0.5}$$
$$n = 1.532$$

تطبيق (2):

موشور زجاجي زاوية رأسه (6°) عمر في الماء، احسب مقدار زاوية الانحراف الأصغر للأشعة التي تسقط عليه من الماء وتندفع منه في الماء، علماً أن قرينة الانكسار للماء (1.33) ، وللزجاج (1.5) .

الحل:

$$n = \frac{n_{\text{زجاج}}}{n_{\text{ماء}}} = \frac{1.5}{1.33} = 1.13$$

$$n = \frac{\delta_{\min} + \phi}{\phi} \Rightarrow \delta_{\min} = \phi(n - 1) = 6^\circ (1.13 - 1)$$

$$\delta_{\min} = 0.78^\circ$$

تطبيق (3):

موشور زجاجي موجود في الهواء، زاوية رأسه تساوي (60°) ، وقرينة انكساره (1.5) . احسب مقدار زاوية الانحراف الأصغر للأشعة التي تسقط عليه من الهواء.

الحلّ:
نطبق العلاقة:

$$n = \frac{\sin(\frac{\delta_{\min} + \phi}{2})}{\sin \frac{\phi}{2}}$$

$$1.5 = \frac{\sin(\frac{\delta_{\min} + 60^\circ}{2})}{\sin \frac{60^\circ}{2}}$$

$$1.5 = \frac{\sin(\frac{\delta_{\min} + 60^\circ}{2})}{\sin 30^\circ}$$

$$1.5 = \frac{\sin(\frac{\delta_{\min} + 60^\circ}{2})}{0.5}$$

$$\sin(\frac{\delta_{\min} + 60^\circ}{2}) = 0.75$$

$$(\frac{\delta_{\min} + 60^\circ}{2}) = 48.6^\circ$$

$$\delta_{\min} = 37.2^\circ$$

3-6 امّوشور وتحليل الضوء الأبيض

عندما يردد شعاع ضوئي أبيض اللون على المنشور (في وضع الانحراف الأصغر)، فإنَّ الشعاع البارز من المنشور يتحلل إلى عدّة ألوان، تبدأ من جهة رأس المنشور بالأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، النيجي، وتنتهي بالبنفسجي من جهة القاعدة، وتسمى هذه الألوان بألوان الطيف المرئي، وتُعرَف هذه الظاهرة بظاهرة تبدُّل الضوء.



النتيجة:

- الضوء الأبيض ضوء مركب من سبعة ألوان مرئية، لكل منها زاوية انحرافٍ خاصة به توقف على الطول الموجي (أو التواتر) لهذا اللون من الأشعة.
- وكلما ازداد الطول الموجي قل الانحراف، وبالتالي قلت قرينة الانكسار، فالضوء الأحمر أقل انحرافاً، وأقل قرينة انكسار، على عكس الضوء البنفسجي.

وبتعيين زاوية الانحراف الأصغر في المنشور لكل شعاع ضوئي من ألوان الطيف وزاوية رأس المنشور، نستطيع حساب قرينة انكساره للأشعة الضوئية المختلفة، وذلك باستخدام العلاقة:

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + \phi}{2}}{\sin \frac{\phi}{2}}$$

- يبيّن الجدول الآتي قرائن انكسار الزجاج التاجي (المُستخدم في صناعة العدسات) لبعض ألوان الطيف المرئيّ:

الأخضر	الأصفر	الأزرق	البنفسجيّ	الضوء
الأحمر				
1.513	1.514	1.519	1.528	1.532
				قرينة انكسار

4-6 العوامل التي تؤثّر في زاوية الانحراف δ

- زاوية المنشور ϕ : يزداد انحراف الأشعة الضوئية التي تجتاز المنشور بازدياد زاويته.
- قرينة انكسار مادة المنشور n : يزداد انحراف الأشعة الضوئية التي تجتاز المنشور بازدياد قرينة انكسار مادة المنشور. (لاحظ أنَّ تغيير θ_2 يتوجّع من تغيير كلٌّ من n ، θ_1 ، ϕ).
- زاوية الورود θ_1 : تبيّن التجربة أنَّه عندما تزداد زاوية الورود تتناقص زاوية الانحراف، وتمُرُّ بقيمةٍ صغيرة (انحراف الأصغر)، ثمَّ تتزايد قيمتها بعد ذلك.

شرط البروز:

لكي يبرز شاع ضوئي وارد على أحد وجهي المنشور يجب أن يتحقق الشرطان:

$$\phi \leq 2\theta_c$$

$$\sin \theta_1 \geq n \sin (\phi - \theta_c)$$

حيث أنَّ الزاوية الحرجة تُعطى بالعلاقة:

$$\sin \theta_c = \frac{1}{n}$$

تطبيق عددي: منشور زجاجي، قرينة انكساره ($n = 1.5$)، وزاوية رأسه ($\phi = 60^\circ$)، موجود في الهواء، تبلغ زاويته الحدية ($\theta_c = 42^\circ$). بفرض أنَّ شرط البروز مُحقّق ($\phi \leq 2\theta_c$)، أوجد الزاوية (θ_0) التي تتحقّق شرط الورود؟

الحل:

بما أنَّ شرط البروز مُحقّق أي ($\phi \leq 2\theta_c \leftarrow 84^\circ \leq \phi$)، فإنَّ الأشعة التي تبرز من المنشور هي تلك الأشعة التي ترد بزاوية أكبر من الزاوية (θ_0) المعطاة بالعلاقة:

$$\sin \theta_0 = n \sin (\phi - \theta_c)$$

$$\sin \theta_0 = 1.5 \sin (60^\circ - 42^\circ)$$

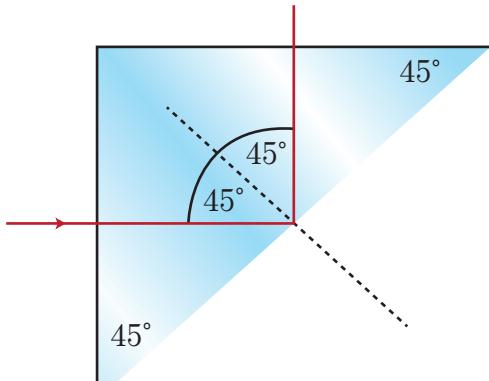
$$\theta_0 \cong 27^\circ$$

تطبيق (4):

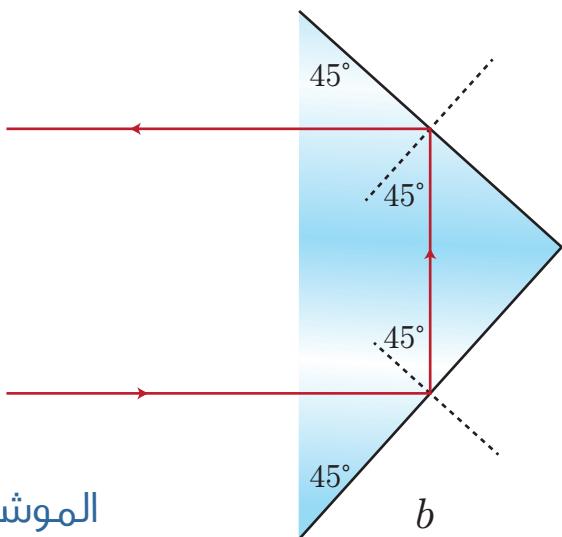
أو جد (θ_0) في الحالات الآتية: $(\phi = 45^\circ)$ ، $(\phi = 15^\circ)$ ، $(\phi = \theta_c)$ ، $(\phi = 2\theta_c)$.

5-6 المنشور العاكس (الموشور الذي الانعكاس)

- هو موشور ثلاثي قائم الزاوية ومتراوحي الساقين، قرينة انكساره ($n = 1.5$)، وزاويته الحرجية ($\theta_c = 42^\circ$) مطالٍ من الخارج بطبقية رقيقة من الكريوليت تخفف من الانعكاس على سطح الموشور. ويغير مسار الضوء بزاوية (90°) أو بزاوية (180°)، ويدخل فيه الضوء ويخرج منه دون أن يعني أي انكسار، وتكون زاوية الورود = زاوية البروز = (0°)



a



الموشور العاكس

- ويفضل استخدام الموشور العاكس في الانعكاس بدلاً من المرأة أو السطح المعدني العاكس لسببين:

 - المنشور العاكس يعكس الضوء بنسبة 100%， وهذا لا يحدث في المرأة أو السطح المعدني.
 - المنشور العاكس لا يفقد بريقه مع الوقت كما يحدث في المرأة والسطح المعدني، حيث تقلُّ قدرُ ثباته على عكس الضوء.

استعمالاته:

يُستعمل في أجهزة التصوير، وفي الإنارة، وفي بعض الأجهزة البصرية مثل البيرسكتوب (منظار الغرفة)، كما يستخدم في المنظار الميداني لكشف أكبر مساحة ممكنة للرؤيا.

إضاءة

لمعرفة مسار الشعاع الضوئي ورسمه بشكل صحيح يجب اتخاذ الخطوات الآتية:
 معرفة قرينة انكسار كل وسط، وكذلك الزاوية الحرجية من القانون الآتي: $\sin \theta_c = \frac{1}{n}$.
 نرسم عموداً (الناظم) على السطح الفاصل عند كل نقطة ورود، ونحدّد زاوية الورود وزاوية الانكسار باستخدام قانون سنل.

• تطبيق قواعد الانكسار:

1. إذا ورد الشعاع الضوئي عمودياً على السطح، فإنه ينحدر دون أن ينحرف.
2. إذا ورد الشعاع الضوئي على السطح الفاصل بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة، فإنه يعكس في الزاوية نفسها.
3. إذا ورد الشعاع الضوئي على السطح بزاوية أصغر من الزاوية الحرجة، فإنه ينكسر. نحسب زاوية البروز (θ_2) حسب قانون سلن.
4. إذا ورد الشعاع الضوئي على السطح بزاوية تساوي الزاوية الحرجة، فإنه ينكسر مماساً للسطح.

تطبيق (5):

تبعد مسار الشعاع الضوئي الوارد على المنشور الآتي، وعيّن زاوية البروز θ_2 ، حيث قرينة انكساره $n = \sqrt{2}$ ؟

الحل:

يرد الشعاع الضوئي على الوجه الأول عمودياً على السطح الفاصل، فينحدر دون انحرافٍ داخلاً المنشور $b = b_1 = 1$.

- نحسب الزاوية الحرجة باستخدام العلاقة:

$$\sin \theta_c = \frac{1}{n}$$

$$\sin \theta_c = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$(\theta_c = 45^\circ)$

يرد الشعاع الضوئي على الوجه الثاني بزاوية $45^\circ = \beta'$ على السطح الفاصل، وهذه الزاوية تساوي الزاوية الحرجة، فينكسر مماساً للسطح، وتكون زاوية البروز $(\theta_2 = 90^\circ)$.

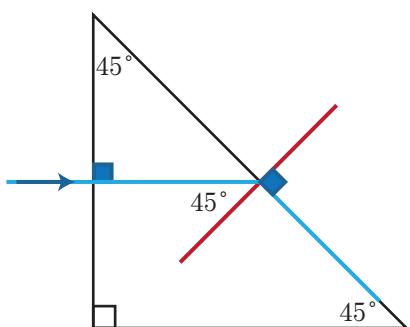
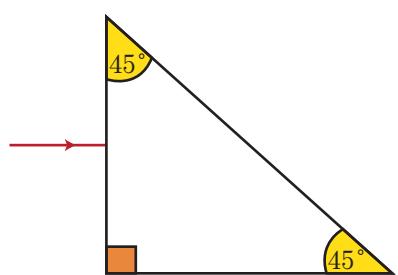
تطبيق (6):

منشور زجاجي عاكس، قرينة انكساره ($n = 1.5$) مغمورة في حوض من الماء قرينة انكساره ($n = 1.3$).

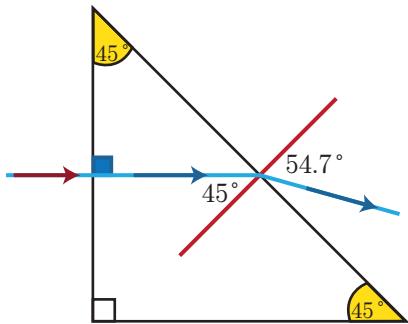
تبعد مسار الشعاع الضوئي الوارد على هذا المنشور، وعيّن زاوية البروز θ_2 .

الحل:

بما أن المنشور الزجاجي هو منشور عاكس، فإن زواياه $(90^\circ, 45^\circ, 45^\circ)$



يرد الشعاع الضوئي على الوجه الأول عمودياً على السطح الفاصل، فينعد دون انحراف داخل المنشور.
 $\theta_1 = \beta = 0^\circ$
 نحسب الزاوية الحرجية من القانون:



يرد الشعاع الضوئي على الوجه الثاني بزاوية ($\beta' = 45^\circ$) على السطح الفاصل، وهذه الزاوية أصغر من الزاوية الحرجية، فينكسر مبتعداً عن الناظم، ولحساب زاوية البروز نطبق قانون سنل:

$$n_{\text{زجاج}} \sin \beta' = n_{\text{ماء}} \sin \theta_2$$

$$1.5 \sin 45^\circ = 1.3 \sin \theta_2$$

$$\sin \theta_2 = 0.81$$

$$\theta_2 = 54.7^\circ$$

تعلّمت

1. الصفيحة مُتوازية الوجهين: وسط شفاف متوجانس محدود بوجهين مُستويين مُتوازيين أملسين، قرينة انكسار مادتها n ، وثخنها t الذي يمثل البعد بين الوجهين المُستويين للصفيحة.
2. الصفيحة مُتوازية الوجهين لا تغيّر منحى الأشعة الضوئية التي تجتازها، إلا أنها تزلّقها جانبياً.
3. زاوية الورود تساوي زاوية البروز.
4. الشعاع الوارد والشعاع البارز لا يلتقيان؛ لأنهما متوازيان.
5. تعلق إزاحة الشعاع البارز بـ: زاوية الورود، وثخن الصفيحة، ونوع مادة الزجاج.
6. وتعطى إزاحة الشعاع البارز بالعلاقة:

$$d = \frac{t}{\cos \theta'_1} \sin (\theta_1 - \theta'_1)$$

• في حال زوايا الورود الصغيرة، فإنَّ

$$d = t(\theta_1 - \theta'_1)$$

• قوانين المنشور:

$$\begin{aligned}\sin \theta_1 &= n \sin \beta \\ n \sin \beta' &= \sin \theta_2 \\ \phi &= \beta + \beta' \\ \delta &= (\theta_1 + \theta_2) - \phi\end{aligned}$$

• في حال النّزوايا الصّغيرة، فإنَّ قوانين المنشور هي:

$$\begin{aligned}\theta_1 &= n\beta \\ \theta_2 &= n\beta' \\ \phi &= \beta + \beta' \\ \delta &= \phi(n-1)\end{aligned}$$

• في الانحراف الأصغر:

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_{\min} + \phi}{2}}{\sin \frac{\phi}{2}}$$

• إذا كان المنشور رقيقاً (زاوية رأسه صغيرة):

$$n = \frac{\delta_{\min} + \phi}{\phi}$$

• لكي يبرز شعاع ضوئي وارد على منشور، يجب أن تكون زاوية المنشور أقل من مثلثي الزاوية الحرجية التي تعطى بالعلاقة:

$$\sin \theta_c = \frac{1}{n}$$

• شرط بروز الشعاع الضوئي من المنشور:

$$\phi \leq 2\theta_c$$

$$\sin \theta_1 \geq n \sin(\phi - \theta_c)$$



أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكلٍ مما يأتي:

- 1.** وسط شفاف كاسر للضوء محصور بين كاسرين مُتساوين غير مُتوازيين. يُسمى:
 a. عدسة. b. عدسة مُبعّدة. c. عدسة مُقرّبة. d. موشور.
- 2.** الزاوية الحادثة بين ممدد الشعاع الضوئي البسيط الوارد على الوجه الأول للموشور والشعاع البارز من الوجه الثاني بعد احتيازه المنشور، تسمى زاوية:
 a. الانحراف. b. الانكسار. c. المنشور. d. الانعكاس.
- 3.** كل شعاعٍ ضوئي يسقط عمودياً على أحد الصلعين القائمين لمنشور قائم الزاوية ومساوي الساقين، فإنه يرسُ:
 a. منحرفاً نحو القاعدة بزاوية حادة. b. عمودياً على الضلع القائم الآخر. c. منحرفاً نحو القاعدة بزاوية منفرجة. d. مائلاً على الضلع القائم الآخر.
- 4.** إذا ورد الشعاع الضوئي عمودياً على الوجه الأول لصفحة مُتوازية الوجهين ($\theta_1 = 0^\circ$), فإنه يخرج من الوجه الثاني بانزلاقٍ جانبيٍ قدرُه:
 .d = t .a
 .d = 0 .b
 .d = $t(\theta_1 - \theta'_1)$.c

$$.d = \frac{t}{\cos \theta'_1} \sin(\theta_1 - \theta'_1) .d$$
- 5.** إذا ورد الشعاع الضوئي على الوجه الأول لصفحة مُتوازية الوجهين بزاوية قدرُها ($\theta_1 = 90^\circ$), فإنه يخرج من الوجه الثاني بانزلاقٍ جانبيٍ قدرُه:
 .d = t .a
 .d = 0 .b
 .d = $t(\theta_1 - \theta'_1)$.c

$$.d = \frac{t}{\cos \theta'_1} \sin(\theta_1 - \theta'_1) .d$$
- 6.** إذا ورد الشعاع الضوئي بزاوية ورد صغيرة على الوجه الأول لصفحة مُتوازية الوجهين ($\theta_1 = 0^\circ$), فإنه يخرج من الوجه الثاني بانزلاقٍ جانبيٍ قدرُه:
 .d = t .a
 .d = 0 .b
 .d = $t(\theta_1 - \theta'_1)$.c

$$.d = \frac{t}{\cos \theta'_1} \sin(\theta_1 - \theta'_1) .d$$

ثانياً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

ينظرُ رجلٌ عمودياً، خلال صفيحة مُتوازية الوجهين مصنوعة من الزجاج، إلى نقطةٍ كائنة على وجهها الأسفل، فترى على بعد 7 cm من الوجه العلوي، ثم تغمض هذه الصفيحة في إناء يحوي ماءً فتظهرُ النقطة a على بعد 20 cm تحت سطح الماء. **المطلوب حساب:**

1. ثخن الصفيحة t .
 2. ارتفاع الماء فوق الصفيحة.
- (قرينة انكسار الزجاج $\frac{3}{2}$ ، قرينة انكسار الماء $\frac{4}{3}$).

المسألة الثانية:

يرد شعاع ضوئي وحيد اللون، بزاوية ورود تساوي 45° ، على صفيحة شفافة مُتوازية الوجهين، ثخنها 4 cm وقرينة انكسارها 1.5. **المطلوب:**

1. احسب انزياح الشعاع البارز عن الشعاع الوارد.
2. قارِن هذا الانزياح بالانزياح عندما تكون زاوية الورود صغيرة وتساوي 3° .

المسألة الثالثة:

يسقطُ شعاع ضوئي وحيد اللون، بزاوية ورود 45° درجة، على وجه موشور قرينة 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 شرطي البروز لهذا الموشور.

المسألة الرابعة:

موشور زجاجي، قرينة انكساره تساوي 1.523) بالنسبة للضوء الأصفر من طيف الصوديوم، وزاوية الرأس فيه تساوي 50° . إذا وردت حزمة من الضوء الأصفر السابق على وجهه الأول بزاوية ورود قدرها 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 ورد عليه شعاع ضوئي وحيد اللون كانت زاوية انحرافه الأصغر (48°) . احسب قرينة انكسار الموشور.

المَسَأَلَةُ السَّادِسَةُ:

موشور زجاجي، قرينة انكساره $\sqrt{2}$ وزاوية رأسه تساوي (60°) ، موجود في الهواء. برهن أنّ زاوية الانحراف الأصغر هي (30°) .

المَسَأَلَةُ السَّابِعَةُ:

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 المنشور، أن يمرَّ على الوجه الآخر.

2. أوجِد زاوية الورود في وضع الانحراف الأصغر، أي عندما تكون:
 زاوية الورود = زاوية البروز.

3. أوجِد زاوية الانحراف الأصغر في هذه الحالة.

المَسَأَلَةُ الثَّامِنَةُ:

تتّبع مسار الشّعاع الضّوئي الوارد على كلّ موشور في الشّكل في الأسفل، وعيّن زاوية البروز θ_2 في كلّ حالة موضِّحاً السبب. حيث قرينة انكسار الزجاج $n = 1.5$ ، وزوايا المنشور $(90^\circ, 60^\circ, 30^\circ)$.

