تم تحميل هذا الملف من موقع المناهج الكويتية

almanahj.com/kw

موقع المناهج الكويتية

محمد سعيد السكاف

الملف نموذج إجابة الميسر في الفيزياء 2025

موقع المناهج ⇦ المناهج الكويتية ⇦ الصف الحادي عشر ⇦ فيزياء ⇦ الفصل الثاني

المزيد من الملفات بحسب الصف الحادي عشر والمادة فيزياء في الفصل الثاني

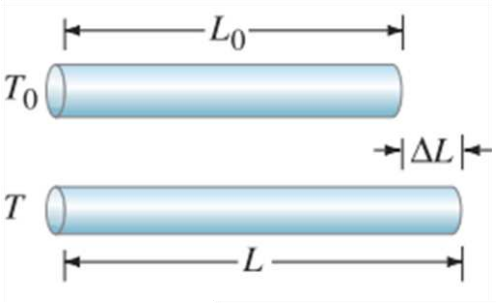
الميسر في الفيزياء

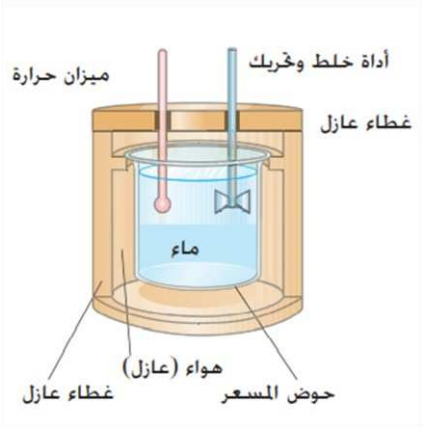
الكتاب الثاني

(نموذج إجابة)

2024-2025

موقع المناهج الكويتية
almanahj.com/kw





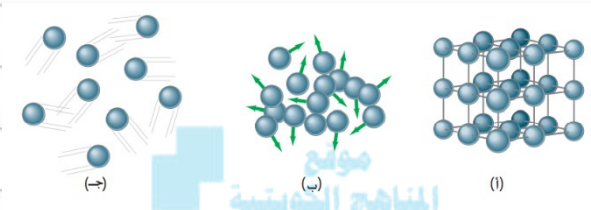
إعداد معلم الفيزياء: محمد سعيد السكاف

1. تعريف درجة الحرارة

درجة الحرارة: هي الكمية الفيزيائية التي يمكن من خلالها تحديد مدى سخونة جسم ما او برودته عند مقارنته بمقياس معياري

يعبر عن درجة الحرارة برقم على مقياس تدريج محدد ب $(K)(°F)(°C)$ أما في النظام الدولي للوحدات فهي (K)

2. العلاقة بين درجة الحرارة والطاقة الحركية



مواقع المناهج الكويتية
almanahj.com/kw

1- تتكون المواد سواء (صلبة – سائلة – غازية) من ذرات وجزيئات

2- تملك جميع المواد طاقة حركية

3- الذي يولد إحساسنا بالدفء (أو يحدد درجة حرارة الجسم) متوسط الطاقة الحركية للجزيء الواحد

4- في الغازات المثالية حيث لا يوجد قوى تجاذب بين الجزيئات فالجزيئات تملك طاقة حركية فقط فإن درجة حرارة تتناسب مع متوسط الطاقة الحركية للجزيء الواحد منه سواء أكانت الحركة في خط مستقيم أم منحني.

5- بالنسبة للمادة في الحالة السائلة والصلبة يصبح الوضع أكثر تعقيدا حيث توجد قوى تجاذب بين الجزيئات وبالتالي تملك الجزيئات طاقه كامنة إضافة لطاقة الحركة ولكن مع ذلك تبقى درجه حرارتها تتناسب مع الطاقة الحركية لجزيئات المادة أي مع متوسط الطاقة الحركية للجزيء الواحد

ملاحظة : درجة الحرارة لا تعتبر مقياس لمجموع طاقات الحركة لجميع جزيئات المادة لأن درجه الحرارة تعبر عن متوسط طاقه حركة الجزيء الواحد .

لديك اناءين يحويان ماء مغلي الأول يحوي لتر والآخر يحوي لترلن المطلوب قارن بينهما من حيث

من حيث	الاناء الأول	الاناء الثاني
متوسط طاقة حركة الجزيء الواحد	نفسها	نفسها
كمية الطاقة التي يحتويها كلا منهما	أقل	أكبر (مثلي الاناء الأول)

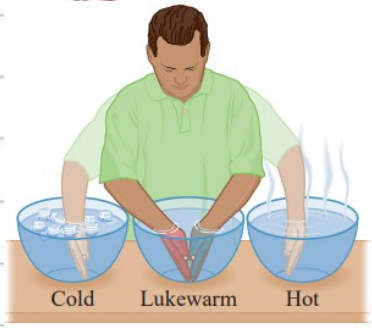
لديك اناءين يحوي كل منهما لتر من الماء الأول درجة حرارته $50°C$ والثاني درجة حرارته $80°C$

من حيث	الاناء الأول	الاناء الثاني
متوسط طاقة حركة الجزيء الواحد	أقل	أكبر
كمية الطاقة التي يحتويها كلا منهما	أقل	أكبر

فسر فيزيائيا لماذا يحتوي الدلو على طاقة حركية أكبر مما يحتوي عليه القدح على الرغم من أنهما عند درجة الحرارة ذاتها

لأن لهما نفس متوسط طاقة الحركة للجزيء الواحد وعدد الجزيئات في الدلو أكبر من عدد الجزيئات في القدح

3. قياس درجة الحرارة



نشاط : أحضر ثلاث أوان متشابهة وضع فيها كميات متساوية من الماء كما في الشكل المجاور ضع يدك اليسرى في الماء الساخن واليمنى في الماء البارد واتركهما مدة كافية ثم اخرجهما في ذات اللحظة و ضعهما في الاناء الذي يحوي ماء الصنبور

صف احساسك: اليد اليمنى تشعر ان الماء ساخن واليد اليسرى تشعر أن الماء بارد

ماذا تستنتج : اليد لا تصلح لقياس درجة الحرارة

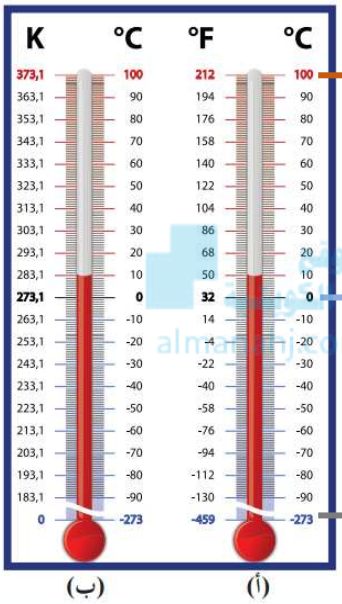
بعد اجراء التجربة أجب عن الأسئلة التالية

1. ما هو الجهاز الذي يستخدم لقياس درجة الحرارة بدقة

الترمومتر

2. ما هما النقطتان الثابتتان التي يعتمد عليهما التدريج الحراري

نقطة تجمد الماء ونقطة غليان الماء عند الشروط النظامية



درجة غليان

درجة تجمد الماء

الصفر المطلق

الصفر المطلق:

هي الدرجة التي ينعدم عندها الطاقة الحركية لجزيئات المادة نظريا

ماذا يحدث لطاقة حركة الجزيئات عندما تصل درجة حرارة الجسم إلى درجات حرارة قريبة من الصفر المطلق

الحدث: تنعدم نظريا

التفسير : تقل الحركة الاهتزازية كلما انخفضت درجة الحرارة حتى تسكن الجزيئات وهذا السكون نظريا

قارن بين التدرجيات التالية :

وجه المقارنة	تدريج السيليزي	تدريج فهرنهايت	تدريج كلفن
رمز التدريج	(°C)	(°F)	(K)
درجة غليان الماء	(100)	(212)	(373)
درجة تجمد الماء	(0)	(32)	(273)
عدد الدرجات بين درجة التجمد والغليان الماء	(100)	(180)	(100)
درجة الصفر المطلق	(-273)	(-459)	(0)

علل لما يأتي تعليلا علميا سليما

1- التدريج الفهرنهايتي أكثر دقة من تدريج السيليزي أو تدريج كلفن

لأن عدد التدريجيات بين التجمد والغليان في تدريج فهرنهايت أكبر من السيليزي أو الكلفن

2- تغير قراءة درجة الحرارة على السيليزي مساو لقراءة التغير في درجة الحرارة على الكلفن

لأن عدد التدريجيات بين التجمد والغليان نفسها

سؤال: عند أي درجة حرارة تتساوى قراءة الترمومتر على التدريج فهرنهايتي مع الترمومتر على التدرج السيليزي

-40 .

كيف نحول بين مقاييس درجة الحرارة

$$\frac{T_C - 0}{100} = \frac{T_F - 32}{180} = \frac{T_K - 273}{100}$$

ويمكن استخدام العلاقات التالية في التحويل

$$T(°\text{F}) = \frac{9}{5}T(°\text{C}) + 32$$

$$T(K) = T(°\text{C}) + 273$$

العلاقة التالية تربط بين تغير درجة الحرارة على المقياسين

$$\Delta T(°\text{F}) = \frac{9}{5}\Delta T(°\text{C})$$

التمرين الأول: تساوي درجة حرارة طفل مريض $(39°\text{C})$ أحسب درجة حرارة الطفل بحسب تدريج كالفن وتدريج فهرنهايت

$$T_K = T_C + 273 = 39 + 273 = 312\ K$$

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32 = \frac{9}{5} \times 39 + 32 = 102.2\ °\text{F}$$

التمرين الثاني : إذا تغيرت قراءة درجة حرارة جسم بمقدار $(5°)$ على مقياس سليسيوس احسب تغير قراءة درجة حرارة الجسم على مقياس فهرنهيت

$$\Delta T_F = \frac{9}{5}\Delta T_C = \frac{9}{5} \times 5 = 9\ °\text{C}$$

almanahj.com/kw

أكمل الفراغ في الجدول التالي:

K	°F	°C
300	80.6	27
293	68	20
325.77	127	52.77

4. الحرارة

صف ماذا يحدث في الحالات التالية

1- عندما نلمس سطحا ساخنا

الحدث : تنتقل الحرارة إلى يدنا

التفسير : لأن درجة حرارة السطح أعلى من درجة حرارة اليد

2- عندما نلمس قطعة من الثلج

الحدث : تنتقل الحرارة من يدنا إلى الثلج

التفسير : لأن درجة حرارة يدنا أعلى من درجة حرارة الثلج

ماذا تستنتج: الحرارة تنتقل تلقائيا من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأقل درجة حرارة

نتائج

1- تسمي الطاقة المنتقلة من جسم له درجة حرارة مرتفعة إلى آخر له درجة حرارة أقل بالحرارة

2- ما هو رمز الحرارة (Q)

3- وحدة قياس الحرارة في النظام الدولي للوحدات بالجول (J)

4- الأجسام لا تحتوي حرارة بل أنواع متعددة من الطاقات

الحرارة : هي سريان الطاقة من جسم له درجة حرارة مرتفعة إلى جسم آخر له درجة حرارة أقل

ماذا يحدث عند القاء مسمار مسخن لدرجة الاحمرار في مياه حوض السباحة

الحدث : تنتقل الحرارة من المسمار إلى مياه الحوض

التفسير : لأن الحرارة تنتقل من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأقل درجة حرارة

نتائج

1- عند سريان الطاقة بين مادتين متلامستين نقول إن الجسمين في حالة تلامس حراري وفي هذه الحالة فإنه :

أ-تسري الحرارة من المادة التي لها درجة حرارة أعلى إلى المادة التي لها درجة حرارة اقل

ب-الحرارة تسري وفقا لفرق درجتي الحرارة أي تبعا للفرق بين متوسط طاقة حركة الجزيء الواحد في الجسمين

2- سريان الحرارة لا يكون من جسم طاقته الحركية الكلية كبيرة إلى جسم طاقته الحركية الكلية أقل

3- عند توقف سريان الطاقة ينعدم انتقال الطاقة الحرارية ويكون الجسمان في حالة اتزان حراري ولهما نفس درجة الحرارة

4- لا تسري الحرارة تلقائيا من جسم بارد إلى جسم ساخن

اذكر شروط انتقال الطاقة الحرارية بين جسمين

1- تلامس حراري 2- وجود فرق في درجات الحرارة بين الأجسام المتلامسة

5. العلاقة بين الحرارة والطاقة الحرارية

ماذا يحدث على المستوى المجهري عند انتقال الحرارة بين الأجسام؟

تغير في سرعة تحرك جزيئات المادتين المتلامستين أي تغير في الطاقة الحركية للجزيئات

الحرارة: هي مجموع تغير الطاقة الحركية لكل جزيئات المادة

قارن بين درجة الحرارة والحرارة من حيث

وجه المقارنة	درجة الحرارة	الحرارة
الرمز	T	Q
العلاقة مع الكتلة	لا توجد علاقة	تتعلق بالكتلة
وحدة القياس في النظام الدولي للوحدات	K	J
الجهاز المستخدم لقياسها	الترمومتر	المسعر الحراري

فسر فيزيائيا لماذا الحرارة تتوقف على كتلة الجسم بينما درجة الحرارة لا تتوقف على الكتلة

لأن درجة الحرارة تتناسب مع متوسط الطاقة الحركية للجزيء الواحد بينما الحرارة هي مجموع التغير في الطاقة الحركية لجميع الجزيئات

6. الاتزان الحراري

متى يتوقف سريان الحرارة بين الأجسام المتلامسة وماذا نسمي هذه الحالة ؟

عندما يتساوى الجسمان المتلامسان في درجة الحرارة وتسمى الاتزان الحراري

الاتزان الحراري :

هي الحالة التي تصبح عندها جميع المواد المتلامسة بدرجة حرارة واحدة، وعندها يتوقف سريان الحرارة بينها، وتصبح متوسط سرعة كل جزيء هو نفسه في الأجسام المتلامسة.

علل لما يأتي تعليلا علميا سليما

1. الترمومتر يقيس درجة حرارة نفسه

لأنه يقيس درجة حرارة السائل بداخله والذي هو في حالة اتزان حراري مع الجسم الملامس له

2. يجب أن يكون حجم الترمومتر أصغر بكثير من حجم المادة المراد قياس درجة حرارتها.

حتى تكون الحرارة التي يمتصها الترمومتر صغيرة فلا تؤثر على درجة حرارة الجسم المراد قياس درجة حرارته

3. عند قياس درجة حرارة مادة ما باستخدام ترمومتر زجاجي تنتظر فترة زمنية قبل أن تقرأ النتيجة.

4. عند قياس درجة حرارة المريض باستخدام ترمومتر زجاجي تنتظر الممرضة دقيقتين قبل أن تقرأ النتيجة.

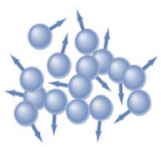
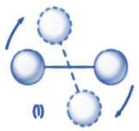
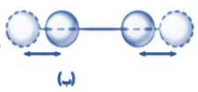
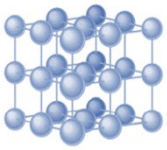
حتى نتأكد أن الترمومتر والجسم وصلا لحالة الاتزان الحراري فالحرارة تنتقل من الجسم الأعلى درجة حرارة إلى الجسم الأقل درجة الحرارة حتى يتساويا في درجة الحرارة عند الوصول لحالة الاتزان

5. يمكن قياس درجة حرارة الهواء باستخدام ترمومتر زجاجي لكن لا يمكن قياس درجة حرارة قطرة من الماء باستخدام الترمومتر ذاته

لأن عند قياس درجة حرارة الهواء لن تؤثر الحرارة التي يمتصها الترمومتر من الهواء على درجة حرارة الهواء بينما تؤثر بشكل كبير على درجة حرارة قطرة الماء

7. الطاقة الداخلية

عدد أنواع الطاقات التي يمتلكها جزيئات المادة

طاقة حركة انتقالية لجزيئات المادة	طاقة حركة دورانية للجزيء	طاقة حركة داخلية للذرات المكونة للجزيء	طاقة وضع بين الجزيئات
			

الطاقة الداخلية : هي مجموعة من الطاقات تشمل الطاقة الحركية الدورانية والطاقة الناتجة عن الحركة الداخلية للذرات المكونة للجزيء وطاقة وضع للجزيئات تنتج عن قوى التجاذب المتبادلة بينها .

ماذا يحدث عندما تكتسب المادة حرارة (ماذا يرافق انتقال الطاقة بين الأجسام)

أ- إما ترتفع درجة حرارة الجسم ب- أو تتغير حالة المادة

مراجعة الدرس 1-1

أوّلًا – ما عدد الدرجات التي تفصل بين درجة تجمّد الماء ودرجة غليانه على كلّ من مقياسي سلسيوس وفهرنهايت؟

ثانيًا – ما الفرق بين درجة الحرارة والحرارة؟

ثالثًا – حوّل درجات الحرارة التالية إلى الدرجة الكلفنية (تدريج كلفن): $27^{\circ}C$ ، $200^{\circ}F$.

رابعًا – **(أ)** ما هي درجة تجمّد الماء بحسب تدريج فهرنهايت؟

(ب) ما هي درجة غليان الماء بحسب تدريج فهرنهايت؟

خامسًا – تمكّن علماء عصرنا من إنتاج أجسام تقترب درجة حرارتها من الصفر المطلق. ماذا يمكنك القول حول الطاقة الحركية لهذه الأجسام؟

سادسًا – أفرَغ ولد كوب ماء مغلي في وعاء يحوي لترًا من الماء درجة حرارته $212^{\circ}F$. هل ستتغيّر درجة حرارة الماء في الوعاء؟ ولماذا؟

سابعًا – متى نشعر ببرودة الأجسام أو سخونتها؟

ثامنًا – هل صحيح أنّ الترمومتر يقيس درجة حرارته بنفسه؟

تاسعًا – ما المقصود بالإتّزان الحراري؟

موقع المنهج الكويتية almanahj.com/kw

1. وحدات الحرارة

يمكن تحديد وحدة لقياس الطاقة الحرارية عن طريق تحديد كمية الحرارة اللازمة لإحداث تغير جديد في درجة الحرارة على تدريج معتمد لكتلة محددة من مادة محددة

السُعر: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة سيليزية واحدة .

الكيلو سُعر : كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلو جرام من الماء درجة سيليزيه واحدة.

ملاحظات :

1- الوحدة المستخدمة في تقدير المكافئ الحراري للأغذية والوقود هي الكيلو سعر

2- يتم تحديد المردود (المكافئ) الحراري للأغذية والوقود عن طريق حرق كميات محددة منه وقياس كمية الحرارة الناتجة

3- وحدة قياس الحرارة في النظام الدولي للوحدات (SI) هي الجول أما السعر والكيلو سعر هي من وحدات قياس الطاقة وترتبط بالجول وفق العلاقة:

$(1)Kcal = (4184)J$ | $(1)Kcal = (1000)cal$ | $(1)cal = (4.184)J$

almanahj.com/kw

حل التمارين التالية :

1- كمية من المادة امتصت $(41.84)J$ المطلوب عبر عن كمية الطاقة الممتصة بوحدة السُعر cal

$$Q = \frac{41.84}{4.184} = 10\ cal$$

2- كمية من المادة امتصت $(120)cal$ المطلوب عبر عن كمية الطاقة الممتصة بالنظام الدولي للوحدات

$$Q = 120 \times 4.184 = 502.08\ J$$

2. السعة الحرارية النوعية

ملاحظة : تختلف قدرة المواد على اختزان الطاقة الحرارية

السعة الحرارية النوعية: كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلو جرام واحد من المادة درجة سيليزية واحدة

سؤال ما هي وحدة قياس السعة الحرارية النوعية في النظام الدولي للوحدات

$J/Kg.K$

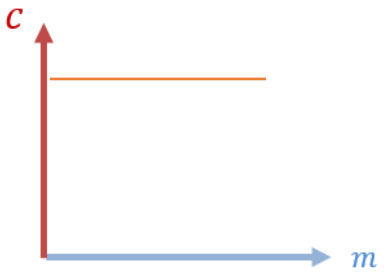
$$c = \frac{Q}{m\,\Delta T}$$

عدد العوامل التي تتوقف عليها السعة الحرارية النوعية

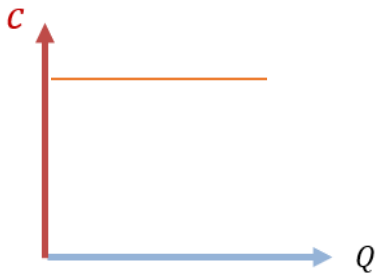
نوع المادة وحالتها

ارسم الخطوط والمنحنيات البيانية المعبرة عن تغير السعة الحرارية النوعية لمادة بتغير كلا من :

تغير درجة حرارة الجسم



كتل مختلفة لنفس المادة



كمية الحرارة التي يمتصها الجسم

ملاحظات:

1- السعة الحرارية النوعية للمادة تختلف حسب حالة المادة فالسعة الحرارية النوعية للمادة في الحالة الصلبة تختلف عن السعة الحرارية النوعية للمادة في الحالة السائلة أو الحالة الغازية

2- السعة الحرارية النوعية تعبر عن ممانعة الجسم للتغير في درجة الحرارة أي هي قصور ذاتي حراري

3- كلما زادت السعة الحرارية النوعية للمادة كلما كان تغير درجة الحرارة أصعب

حل التمارين التالية :

1- كمية من مادة مقدارها $(2)Kg$ رفعت درجة حرارتها بمقدار $(10)°C$ واحتاجت لذلك أن تمتص طاقة مقدارها $(8000)J$ احسب السعة الحرارية النوعية

$$c = \frac{Q}{m\,.\,\Delta t} = \frac{8000}{2 \times 10} = 400\,J/Kg.K$$

2- كمية من مادة مقدارها (m) سعتها الحرارية النوعية (c) فإن كمية أخرى من نفس المادة كتلتها $(2m)$ كم ستكون السعة الحرارية النوعية في هذه الحالة

لا تتغير

موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

ماذا يحدث في الحالات التالية للسعة الحرارية النوعية لمادة:

1. عند ارتفاع درجة حرارة كمية معينة من المادة لمثلي ما كانت عليه

الحدث : لا تتغير

التفسير: لعدم وجود علاقة بين السعة الحرارية النوعية ودرجة الحرارة

2. عند تغير حالة المادة

الحدث : تتغير

التفسير : لأن السعة الحرارية النوعية تختلف باختلاف حالة المادة

علل لما يأتي تعليلا علميا سليما :

1. السعة الحرارية النوعية للماء أكبر من السعة الحرارية النوعية للحديد

لأن الطاقة التي امتصها الحديد تستخدم في زيادة الحركة الاهتزازية للذرات المسؤولة عن رفع درجة حرارته أما الماء فإن الطاقة التي تمتصها تستهلك قدرا لا باس به في الحركة الدورانية والحركة الاهتزازية للذرات داخل الجزيء وفي استطالة الروابط أما الباقي يستهلك في رفع درجة الحرارة

2. تمتص كتلة معينة من الماء كمية من الطاقة أكبر من تلك التي تمتصها كتلة مساوية من الحديد لترتفع العدد نفسه من الدرجات

3. يحتاج كيلوجرام واحد من الحديد إلى دقيقة واحدة لرفع درجة حرارته درجة سيليزية واحدة بينما المدة الزمنية التي يحتاجها كيلو جرام من الماء لترتفع درجة حرارته درجة سيليزية واحدة 15 دقيقة تقريبا باستخدام الموقد ذاته

4. يحتاج جرام واحد من الحديد إلى($\frac{1}{8}$) من الحرارة التي يحتاجها جرام واحد من الماء لترتفع درجة حرارة كل منهما درجة سيليزية

لأن السعة الحرارية النوعية للماء أكبر من السعة الحرارية النوعية للحديد

3. السعة الحرارية

لحساب الطاقة الحرارية المنتقلة من مادة لأخرى نستخدم 1- السعة الحرارية النوعية 2- السعة الحرارية

السعة الحرارية : كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة مادة كتلها (m) درجة سيليزية واحدة

وحدة قياس السعة الحرارية في النظام الدولي للوحدات هي : J/K

عدد العوامل التي تتوقف عليها السعة الحرارية

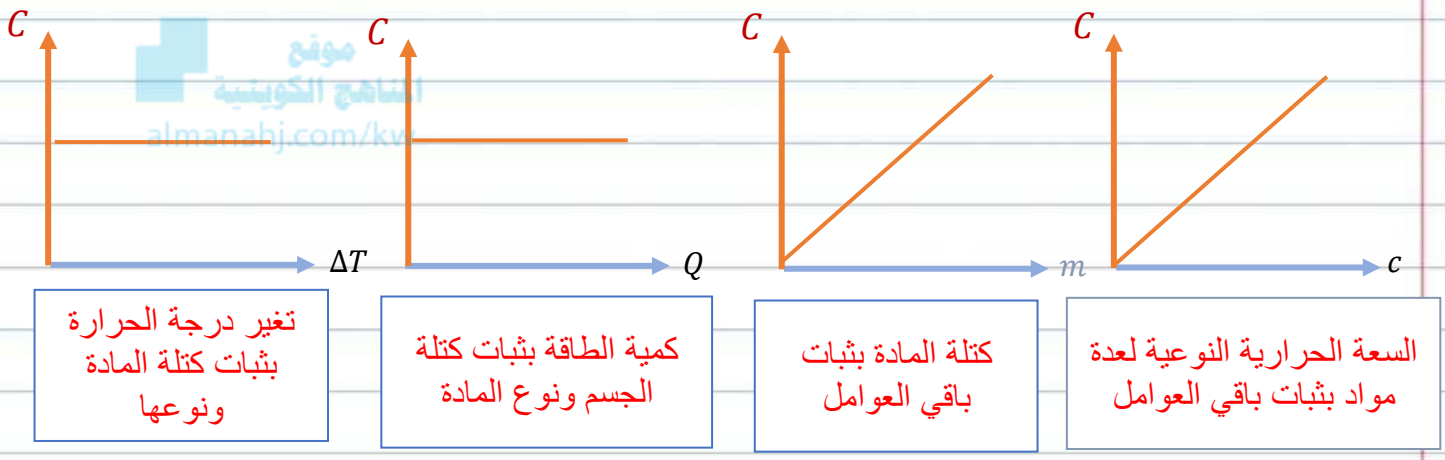
1- نوع المادة وحالتها 2- كتلة المادة

C ← $C = mc$ ، $C = \frac{Q}{\Delta T}$

سؤال؟ متى تتساوى السعة الحرارية لجسم مع السعة الحرارية النوعية

عندما تكون كتلة الجسم كيلو جرام واحد

ارسم الخطوط والمنحنيات البيانية المعبرة عن تغير السعة الحرارية مع كلا من :



السعة الحرارية النوعية لعدة مواد بثبات باقي العوامل	كتلة المادة بثبات باقي العوامل	كمية الطاقة بثبات كتلة الجسم ونوع المادة	تغير درجة الحرارة بثبات كتلة المادة ونوعها

ماذا يحدث في الحالات التالية للسعة الحرارية لجسم:

1. عند زيادة كمية الطاقة التي يمتصها الجسم إلى مثلي ما امتصه في الحالة الأولى مع ثبات حالة المادة

الحدث : لا تتغير

التفسير : لأن تغير درجة الحرارة يزداد إلى المثلين وتبقى نسبة كمية الطاقة الحرارية إلى تغير درجة الحرارة ثابتة $C = \frac{Q}{\Delta T}$

2. عند ارتفاع درجة حرارة الجسم مع ثبات حالة المادة

الحدث : لا تتغير

التفسير : لأن السعة الحرارية لا تعتمد على تغير درجة الحرارة بل على كتلة الجسم ونوع مادته

حل التمارين التالية :

1- جسم كتلته $(2)Kg$ سعته الحرارية النوعية $((800)\ J/Kg\ K$ احسب سعته الحرارية

$$C = m\,c = 2 \times 800 = 1600\ J/K$$

2- جسم كتلته $(0.8)Kg$ رفعت درجة حرارته بمقدار $(10)°C$ واحتاج لذلك أن يمتص طاقة مقدارها $(8000)J$

المطلوب احسب

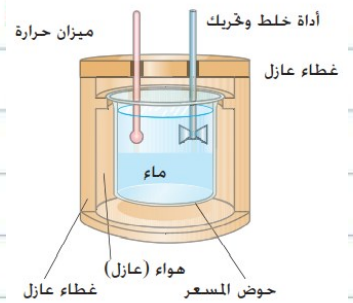
أ- السعة الحرارية النوعية للمادة

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{8000}{0.8 \times 10} = 1000\ J/KgK$$

ب- السعة الحرارية للجسم

$$C = m\,c = 0.8 \times 1000 = 800\ J/K$$

المسعرات الحرارية



المسعر الحراري هو الجهاز الذي يستخدم لقياس الحرارة أو السعة الحرارية النوعية

المسعر الحراري: جهاز يعزل الداخل عن المحيط الخارجي ويسمح بتبادل الحرارة وانتقالها بين مادتين أو أكثر داخله من دون تأثير من المحيط الخارجي

صف ماذا يحدث عند خلط كمية من الماء البارد مع كمية من الماء الساخن داخل مسعر؟

تنتقل الحرارة من الماء الساخن إلى الماء البارد حتى يتساويا في درجة الحرارة

ملاحظة :

1- النظام(المكونات الموجودة في المسعر) لا يكتسب طاقة حرارية من الوسط المحيط به

2- تكون درجة الحرارة داخل المسعر عند الاتزان نفسها لجميع أجزاء النظام.

اذكر وظيفة كلا من التالي في المسعر الحراري

1- الخلاط : مزج المكونات السائلة

2- الترمومتر : قياس درجة الحرارة

موقع المناهج الكويتية
almanahj.com/kw

5. حساب الطاقة المكتسبة والمفقودة

عدد العوامل التي تتوقف عليها الحرارة المكتسبة أو المفقودة

1- نوع المادة

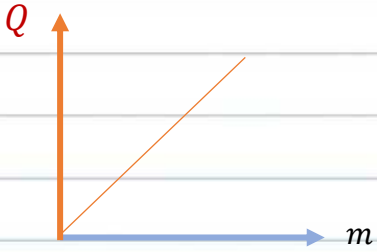
2- كتلة الجسم

3- تغير درجة الحرارة

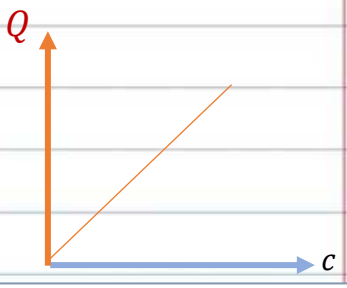
$$Q \begin{cases} Q = mc\Delta T \\ Q = C\Delta T \end{cases}$$

ارسم الخطوط أو المنحنيات البيانية المعبرة عن تغير الطاقة الحرارية المكتسبة أو المفقودة مع كل من

تغير درجة الحرارة بثبات باقي العوامل



كتلة الجسم بثبات باقي العوامل



السعة الحرارية النوعية لعدة مواد بثبات باقي العوامل

حل التمارين التالية

1- احسب كمية الطاقة الحرارية التي يجب أن يكتسبها g (4.11) من النحاس، لترتفع درجة حرارته (3.8) °C

علماً أن السعة الحرارية النوعية النحاس تساوي $(390)J/Kg\ K$

$$Q = m.c.\Delta T = 4.11 \times 10^{-3} \times 390 \times 3.8 = 6.09\ J$$

2- أثناء تحضير القهوة ترتفع درجة حرارة g (250) من الماء من الدرجة (20)°C إلى الدرجة (100)°C علما أن السعة الحرارية النوعية للماء تساوي $4186J/Kg\ K$ أحسب الطاقة التي نحتاج إليها لاجراء هذا التسخين

$$Q = m.c.(T_f - T_i) = 0.25 \times 4186 \times (100 - 20) = 83\ 720\ J$$

قارن بين السعة الحرارية النوعية والسعة الحرارية والحرارة المكتسبة والمفقودة لمادة

من حيث	السعة الحرارية النوعية	السعة الحرارية	الحرارة المكتسبة أو المفقودة
الرمز	c	C	Q
وحدة القياس في (SI)	J/KgK	J/K	J
المقدار (ثابت – متغير)	ثابتة	تتغير بتغير الكتلة	تتغير بتغير كلا من الكتلة ودرجة الحرارة

نشاط : في الشكل المجاور اناءين يحويان كميتان متساويتان من سائلين مختلفين عند نفس درجة الحرارة فإذا كان السائل في الإناء (A) هو الماء و في الإناء (B)هو الزيت موضوعان على ذات المصدر الحراري

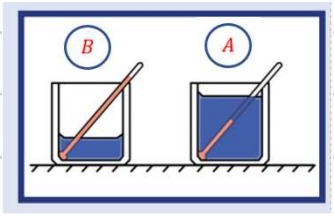
لذات المدة الزمنية (أي تلقيا نفس كمية الطاقة الحرارية)

فإذا علمت أن السعة الحرارية النوعية للماء أكبر من السعة الحرارية النوعية للزيت

ماذا يحدث لدرجة حرارة الإناء (A)بالمقارنة بدرجة حرارة الاناء : (B)

الحدث : تصبح درجة حرارة الاناء (A) أقل من درجة حرارة الاناء (B)

التفسير : بثبات الكتلة و كمية الحرارة فإن تغير درجة الحرارة تتناسب عكسيا مع السعة الحرارية النوعية



نشاط : في الشكل المجاور اناءين يحويان كميتان مختلفتين من نفس المادة وفي نفس الحالة الفيزيائية فإذا كانت كتلة السائل في الإناء (A) ثلاث أمثال كتلة السائل في الإناء (B) و موضوعان على ذات المصدر الحراري لذات المدة الزمنية

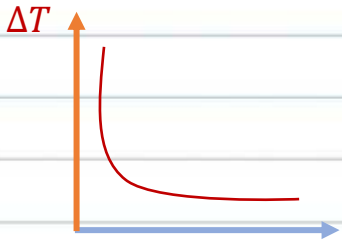
(أي تلقيا نفس كمية الطاقة الحرارية) فإذا ارتفعت درجة حرارة الإناء (A) بمقدار $(10)°C$

أ- ماذا يحدث لدرجة حرارة الإناء (B) بالمقارنة مع درجة الاناء (A)

الحدث: ترتفع بمقدار $(30)°C$

التفسير : بثبات نوع المادة و كمية الحرارة فإن تغير درجة الحرارة تتناسب عكسيا مع الكتلة

ب-ارسم العلاقة البيانية بين تغير درجة الحرارة والكتلة لعدة أجسام لها كتل مختلفة بثبات كمية الطاقة (الحرارة) المكتسبة أو المفقودة ونوع المادة



حل التمارين التالية:

أ- جسم كتلته $(0.5)Kg$ سعته الحرارية النوعية $(800)J/Kg\ K$ امتص حرارة مقدارها $(16000)J$ احسب مقدار الزيادة في درجة حرارة الجسم

$$\Delta T = \frac{Q}{m\,.\,c} = \frac{16000}{0.5 \times 800} = 40\ °C$$

ب- سخن جسم كتلته $(0.2)Kg$ سعته الحرارية النوعية $(1600)J/Kg\ K$ احسب مقدار الطاقة اللازمة لكي ترتفع درجة حرارته بمقدار $(25)°C$

$$Q = m.c\,.\Delta T = 0.2 \times 1600 \times 25 = 8000\ J$$

6. التبادل الحراري

((يحصل التبادل الحراري عندما نمزج مادتين أو أكثر ذات درجات حرارة مختلفة (نظام حراري) حتى يصل النظام إلى الاتزان الحراري))

عندما يصل النظام للاتزان الحراري يكون كمية الحرارة التي يخسرها الجسم الساخن في المسعر تساوي كمية الحرارة التي يكتسبها الجسم البارد فيه .

1. عندما تكون: $T_f > T_i$ يكون $Q_i > 0$ أي المادة تكتسب حرارة مقدارها $|Q_i|$.
2. عندما تكون: $T_f < T_i$ يكون $Q_i < 0$ أي المادة تفقد حرارة مقدارها $|Q_i|$.
3. عندما يكون النظام معزولا كما هو الحال عندما يحصل تبادل حراري داخل مسعر حراري يكون مجموع الحرارة المتبادلة بين مختلف مكونات المزيج صفرا أي أن $\sum Q_i = 0$

وهذا يعني أن الحرارة التي تخسرها المادة الساخنة تكتسبها المادة الباردة من دون أي تفاعل مع الوسط المحيط

موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

ملاحظات لحل مسائل المسعر

1. السائل الموجود في المسعر له نفس درجة الحرارة الابتدائية للمسعر T_i
2. عند اهمال السعة الحرارية للمسعر أو (السعة الحرارية النوعية للمسعر) أو يقول إعتبر المسعر لا يتبادل حرارة مع النظام فاعتبر أن المسعر كأنه غير موجود
3. أحيانا يعطيك أو يطلب السعة الحرارية للمسعر (انتبه لذلك)
4. عند وصول النظام إلى حالة الاتزان الحراري فإن لجميع مكوناته نفس درجة الحرارة النهائية T_f
5. اذا أعطانا القدرة الكهربائية لجهاز التسخين فإن الطاقة الحرارية المكتسبة خلال زمن تحسب من العلاقة $Q = P\,t$
1. يفضل رسم جدول لترتيب المعطيات
2. ثم نطبق شرط الاتزان الحراري $\sum Q_i = 0$

حل المسائل التالية

المسألة الأولى : إذا صب $(200)g$ من الشاي عند درجة حرارة $(95)°C$ في كوب من الزجاج كتلته (150) g درجة حرارته $(25)°C$ علما أن السعة الحرارية النوعية للماء تساوي $(4184)J/Kg\,K$ والسعة الحرارية النوعية للزجاج $(840)J/Kg\,K$ أحسب درجة الحرارة النهائية عند وصول النظام (شاي– كوب) إلى حالة الاتزان الحراري بفرض عدم تسرب حرارة إلى الوسط المحيط الخارجي

$$\sum Q_i = 0 \Rightarrow Q_t + Q_g = 0$$

$$m_t\,c_t\,(T_f - T_{it}) + m_g\,c_g\,(T_f - T_{ig}) = 0$$

$$0.2 \times 4184 \times (T_f - 95) + 0.15 \times 840\,(T_f - 25) = 0 \Rightarrow T_f = 85.83°C$$

المسألة الثانية: سخن مكعب من النحاس كتلته g (40) حتى تصل درجة حرارته إلى (180) °C ثم يوضع داخل مسعر حراري (مهمل السعة الحرارية النوعية) يحتوي على g (300) ماء درجة حرارته (25)°C وبعد وصول النظام إلى حالة الاتزان الحراري كانت درجة حرارة المكونات جميعها (27)°C احسب السعة الحرارية النوعية للنحاس علما أن $c_w = (4186)J/Kg\,K$

$$\sum Q_i = 0 \Rightarrow Q_{cu} + Q_w = 0$$

$$m_{cu}\,c_{cu}\,(T_f - T_{icu}) + m_w\,c_w\,(T_f - T_{iw}) = 0$$

$$0.04 \times c_{cu} \times (27 - 180) + 0.3 \times 4186\,(27 - 25) = 0 \Rightarrow c_{cu} = 410.4\ J/Kg\,K$$

المسألة الثالثة: يسخن قضيب من النحاس كتلته $(50)g$ حتى تصل درجة حرارته إلى $(150)°C$ ثم يوضع داخل مسعر حراري من الألومنيوم يحتوي على $(200)g$ ماء فترتفع درجة حرارة الماء من $(25)°C$ إلى $(27)°C$ عند الاتزان علما أن : $c_w = (4186)J/Kg\,K$ $c_{cu} = (390)J/Kg\,K$

1- احسب كمية الحرارة التي يفقدها قضيب النحاس حتى يصل إلى حالة الاتزان الحراري

$$Q_{cu} = m_{cu}\,c_{cu}\,(T_f - T_{icu}) = 0.05 \times 390 \times (27 - 150) = -2398.5\,J$$

2- كمية الحرارة التي يكتسبها الماء حتى يصل إلى حالة الاتزان الحراري

$$Q_w = m_w\,c_w\,(T_f - T_{iw}) = 0.2 \times 4186 \times (27 - 25) = 1674.4\,J$$

3- السعة الحرارية للمسعر $Q_w + Q_{Al} + Q_{cu} = 0$

$$Q_{w+}\,C\,(T_f - T_{iAl}) + Q_{Cu} = 0 \Rightarrow 1674.4 + C(27 - 25) + (-2398.5) = 0 \Rightarrow C = 362.05J/K$$

المسألة الرابعة: تسخن قطعة من النحاس كتلتها $(2.5)\ g$ ، ثم توضع في مسعر حراري مهمل السعة الحرارية النوعية يحتوي على $(65)\ g$ من الماء ترتفع درجة حرارة الماء من $(20)°C$ إلى $(22.5)°C$

احسب درجة الحرارة الابتدائية لقطعة النحاس قبل إدخالها المسعر الحراري

علماً أن $c_{cu} = (390)J/Kg\,K$ $c_w = (4186)J/Kg\,K$

$$\sum Q_i = 0 \Rightarrow Q_{cu} + Q_w = 0$$

$$m_{cu}\,c_{cu}\,(T_f - T_{icu}) + m_w\,c_w\,(T_f - T_{iw}) = 0$$

$$2.5 \times 10^{-3} \times 390 \times (22.5 - T_i) + 0.065 \times 4186\,(22.5 - 20) = 0 \Rightarrow T_i = 720.16°C$$

المسألة الخامسة : نضع (850) g من الماء عند الدرجة (20) °C داخل مسعر مهمل السعة الحرارية النوعية نضيف على هذه الكمية قطعة من الزجاج درجة حرارتها (80)°C وكتلتها (300)g ثم نضيف (500)g من الألومنيوم درجة حرارته (70)°C أحسب درجة حرارة الماء عندما يصل (ماء + زجاج + الومنيوم) الى الاتزان الحراري علما أن $c_w = (4190)J/Kg\,K$ $c_g = (837)J/Kg\,K$ $c_{Al} = (900)J/Kg\,K$

$$\sum Q_i = 0 \Rightarrow Q_w + Q_g + Q_{Al} = 0$$

$$m_w\,c_w\,(T_f - T_{iw}) + m_g\,c_g\,(T_f - T_{ig}) + m_{Al}\,c_{Al}\,(T_f - T_{iAl}) = 0$$

$$0.85 \times 4184 \times (T_f - 20) + 0.3 \times 837\,(T_f - 80) + 0.5 \times 900 \times (T_f - 70) = 0 \Rightarrow T_f = 28.81°C$$

7. السعة الحرارية النوعية العالية للماء

السعة الحرارية النوعية للماء عالية جدا وتعتبر من أكبر السعات الحرارية النوعية مما يجعل الماء قادرا على اختزان الحرارة والحفاظ عليها لفترة طويلة فدرجة حرارة الماء تتغير ببطء أي يسخن ببطء ويبرد ببطء

علل لما يأتي تعليلا علميا سليما :

1. لماذا يعتبر الماء قادرا على اختزان الحرارة والحفاظ عليها لفترة طويلة فيسخن الماء ببطء ويبرد ببطء

لأن السعة الحرارية النوعية له عالية جدا فيحتاج كمية حرارة كبيرة لترتفع درجة حرارته

2. الماء يعتبر سائلا مثاليا للتبريد والتسخين فيستخدم في تبريد المحركات

لأن السعة الحرارية النوعية له عالية جدا فيحتاج حرارة كبيرة لترتفع درجة حرارته

3. مياه البحر تتطلب وقتا أطول من اليابسة ليبرد او يسخن

لأن السعة الحرارية النوعية للماء خمس أمثال السعة الحرارية النوعية لليابسة فترتفع درجة حرارة الماء وتبرد ببطء عكس اليابسة

4. لا تعاني المدن القريبة من المساحات المائية الكبيرة من فروق كبيرة في درجات الحرارة **بين** الليل والنهار بسبب ظاهرتي نسيم البر والبحر فنهارا ترتفع درجة حرارة اليابسة بشكل اسرع من الماء فيسخن الهواء فوق اليابسة ويرتفع للأعلى ويحل محله هواء بارد قادم من البحر والعكس يحدث ليلا

مراجعة الدرس 1-2

أوّلًا – عرّف السعة الحرارية النوعية.

ثانيًا – هل الموادّ التي ترتفع درجة حرارتها بسرعة لها سعة حرارية نوعية كبيرة أم صغيرة؟

ثالثًا – لماذا لا تعاني المدن القريبة من مساحات الماء فرقًا كبيرًا في درجات الحرارة بين الليل والنهار؟

رابعًا – ما الفرق بين السعر والكيلوسعر؟

خامسًا – اكتسب (1) لتر من الماء كمّية معيّنة من الطاقة الحرارية فارتفعت حرارته إلى (2)°C. كم يكون الارتفاع في درجة (2) لتر من الماء عندما يكتسب الكمّية نفسها من الحرارة؟

سادسًا – ما هي كمّية الحرارة التي نحتاجها لرفع درجة (1) لتر من الماء بمقدار (15)°C؟ إذا اكتسب الماء هذه الطاقة بواسطة ملفّ تسخين قدرته (1000)W، ما الوقت اللازم لرفع درجة حرارة الماء (15)°C؟ علمًا أنّ السعة الحرارية النوعية للماء تساوي $c = (4180)J/kg.K$.

سابعًا – أحسب السعة الحرارية النوعية لقضيب من الألومنيوم كتلته (28.4)g علمًا أنّه يحتاج إلى (207)J لترتفع درجة حرارته (8.1)°C.

ثامنًا – نضع (250)g من الماء درجة حرارته (10)°C في مُسعِر حراري، ثمّ نضيف إليه قطعة من النحاس كتلتها (50)g ودرجة حرارتها (80)°C وقطعة من معدنٍ غير معروف كتلتها (70)g ودرجة حرارتها (100)°C. يصل النظام كلّه إلى الاتّزان الحراري فتكون درجة حرارته (20)°C. أحسب السعة الحرارية النوعية للمعدن غير المعروف، بشرط أن تهمل السعة الحرارية النوعية للمُسعِر الحراري وتعتبره لا يتبادل حرارة مع النظام، وعلمًا أنّ السعة الحرارية النوعية للماء هي (4180)J/kg.K وأنّ السعة الحرارية النوعية للنحاس هي (386)J/kg.K.

موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

التمدُّد الحراري
Thermal Expansion

التمدد الحراري: الزيادة في أبعاد المادة عند ارتفاع درجة حرارتها.

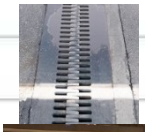
1. التمدد والانكماش

1. تؤثر درجة الحرارة على حجم المواد يزداد حجم المواد عادة برفع درجة الحرارة ويقل بانخفاضها
2. تتمدد معظم المواد صلبه أم سائله أم غازيه عند رفع درجة حرارتها و تنكمش عند انخفاضها .
3. عند رفع درجة حرارة مادة ما تزداد الحركة الاهتزازية للجزيئات فتتباعد مسببة تمدد المادة ككل
(هناك حالات استثنائية موجودة لكن قليلة).
4. التغير في حجم الغازات (التمدد أو التقلص) نتيجة لتغير درجه الحرارة أو (الضغط)
5. التغير في حجم الغازات يكون بمقدار أكبر من التغير الذي يحدث للسوائل و تكون هذه الزيادة أكبر من المواد الصلبة .

قارن بين تمدد وتقلص الغازات والساوائل:

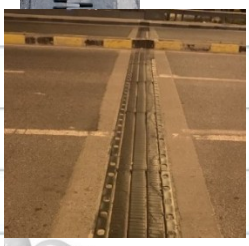
من حيث	الغازات	السوائل
مقدار التمدد عند تغير درجة الحرارة بنفس المقدار	أكبر	أقل

موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

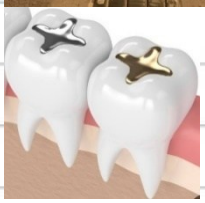


فواصل التمدد: هي فواصل متداخلة فوق سطحها تتحرك السيارات .

علل لما يأتي تعليلا علميا سليما

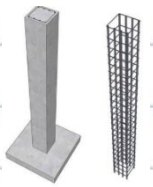


1) عند رصف الطرقات السريعة أو إنشائها يجب أن تترك بين أجزاء الاسفلت فواصل كل مسافة معينة وتملأ بمادة قابلة للانضغاط مثل القار (وكذلك يراعى ذلك عند التشييد والبناء)
حتى لا تنثني هذه الطبقات أو تتكسر نتيجة التمدد والانكماش الحاصلين عند ارتفاع أو انخفاض درجة الحرارة بين النهار و الليل والصيف والشتاء



2) يستخدم أطباء الأسنان مواد لحشو الأسنان لها نفس مقدار تمدد مينا الأسنان.
حتى تتمدد وتنكمش مع مينا الأسنان عند تعرضهما لدرجات حرارة متفاوتة فلا تتكسر الأسنان

3) محركات السيارات المصنوعة من الألومنيوم يكون لها قطر داخلي أقل من قطر المحركات المصنوعة من الحديد
لأن تمدد الحديد أقل من تمدد الألومنيوم



4) يراعي المهندسون المدنيون استخدام حديد تسليح له نفس معدل تمدد الإسمنت.
ليتمددا معا وينكمشان معا بنفس المقدار عند تعرضهما لتغيرات في درجات الحرارة حتى لا ينهار الجسر

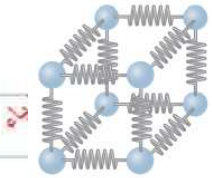
5) عند انشاء الجسور الطويلة والمصنوعة من الصلب يثبت أحد طرفيها في حين يرتكز الطرف الآخر على ركائز دوارة
ليسمح له بالتمدد والانكماش بحرية عند تعرضه لدرجات حرارة متفاوتة

6) يتم تركيب أسلاك الهاتف بشكل غير مشدود صيفا
حتى لا تتعرض للقطع إذا انكمشت في فصل الشتاء حيث تنخفض درجة الحرارة

2. التمدد الطولي في الأجسام الصلبة

ما هي الاحتياطات التي يتخذها المهندسون عند بناء الجسور ولماذا

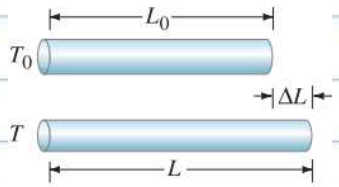
ترك فواصل تمدد حتى لا تنهار الجسور بفعل التمدد والانكماش نتيجة تعرضها لدرجات حرارة متفاوتة



التمدد الطولي للأجسام الصلبة: تمدد المادة الصلبة باتجاه واحد فقط

فسر تمدد الأجسام الصلبة (حسب النظرية الجزئية)

عند ارتفاع درجة الحرارة تهتز الجزيئات بسرعة كبيرة فتتباعد عن بعضها ويتمدد الجسم الصلب



مقدار التمدد الطولي: مقدار الزيادة التي تطرأ على طول الجسم عند رفع درجة حرارته

3. قانون التمدد الطولي في الأجسام الصلبة ومعامل التمدد الطولي

من خلال اجراء تجربة بالمختبر تبين أن التمدد الطولي (التغير في طول جسم صلب)

1- يتناسب طرديا مع الطول الأولي للجسم (L_i)

2- يتناسب طرديا مع تغير درجة الحرارة (ΔT)

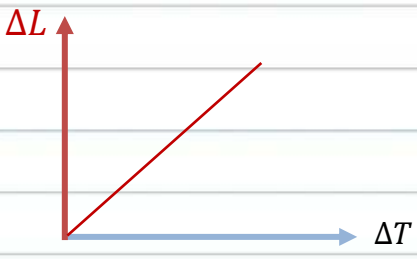
3- يتغير بتغير نوع المادة

$$\Delta L = k\, L_i \Delta T$$

عدد العوامل التي يتوقف عليها مقدار التغير في طول الجسم (التمدد الطولي)

1- الطول الأولي 2- تغير درجة الحرارة 3- نوع المادة

ارسم الخطوط والمنحنيات البيانية المعبرة عن علاقة مقدار التمدد الطولي لجسم بثبات باقي العوامل فيما عدا



تغير درجة الحرارة

الطول الأولي (الأصلي)

معامل التمدد الطولي لعدة أجسام

ماذا يحدث في الحالات التالية:

1- ساق طوله (L) عند درجة حرارة الغرفة فإذا ازداد طوله بمقدار (ΔL) عندما ارتفعت درجة حرارته بمقدار (ΔT)

ماذا يحدث لمقدار الاستطالة إذا ارتفعت درجة الحرارة بمقدار $(2\Delta T)$

الحدث: يزداد للمثلين

التفسير: لأن مقدار التمدد الطولي يتناسب طرديا مع تغير درجة الحرارة بثبات باقي العوامل

2- ساقين متماثلين تماما وموجودين في نفس درجة الحرارة طول الساق الأولى (L) بينما طول الساق الثانية $(2L)$ فعند رفع درجة حرارتهما بنفس المقدار (ΔT) فإذا ازداد طول الساق الأولى بمقدار (ΔL) ماذا يحدث لطول الساق الثانية

الحدث: يزداد بمقدار $2\Delta L$

التفسير: لأن التمدد الطولي يتناسب طرديا مع الطول الأولي للجسم بثبات باقي العوامل

أظهرت التجارب أن ثابت التناسب (k) بين تغير الطول والطول الأصلي

$$k = \frac{\Delta L/\Delta T}{L_i}$$

وتغير درجة الحرارة هو يسمى معامل التمدد الطولي ورمزه (α)

$$\Delta L = \alpha\, L_i \Delta T$$

يمكن حساب مقدار التمدد الطولي من خلال المعادلة:

وحدة قياس مقدار التمدد الطولي (التغير في طول الجسم) في النظام الدولي للوحدات هي (m)

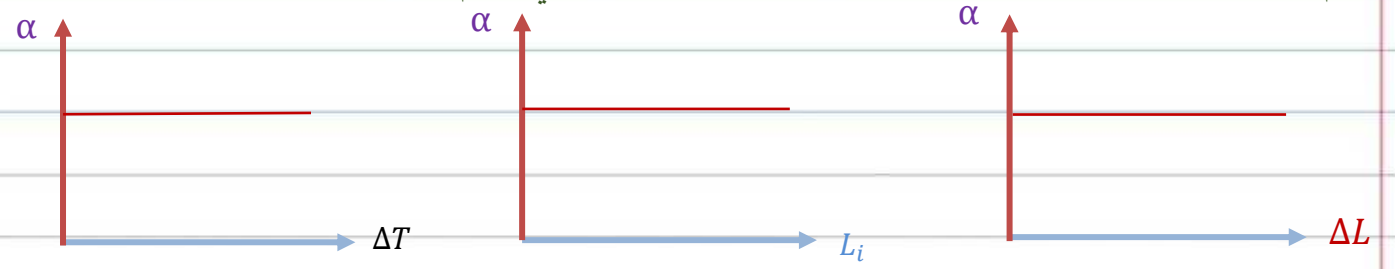
معامل التمدد الطولي α : مقدار تغير طول (1)متر من مادة عندما تتغير درجة حرارتها(1) درجة سيليزية .

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_i \, \Delta T}$$

عدد العوامل التي يتوقف عليها معامل التمدد الطولي

نوع المادة فقط

ارسم الخطوط والمنحنيات البيانية المعبرة عن علاقة معامل التمدد الطولي لجسم بتغير كلا من



مقدار التمدد الطولي للجسم	الطول الأولي (الأصلي)	تغير درجة الحرارة

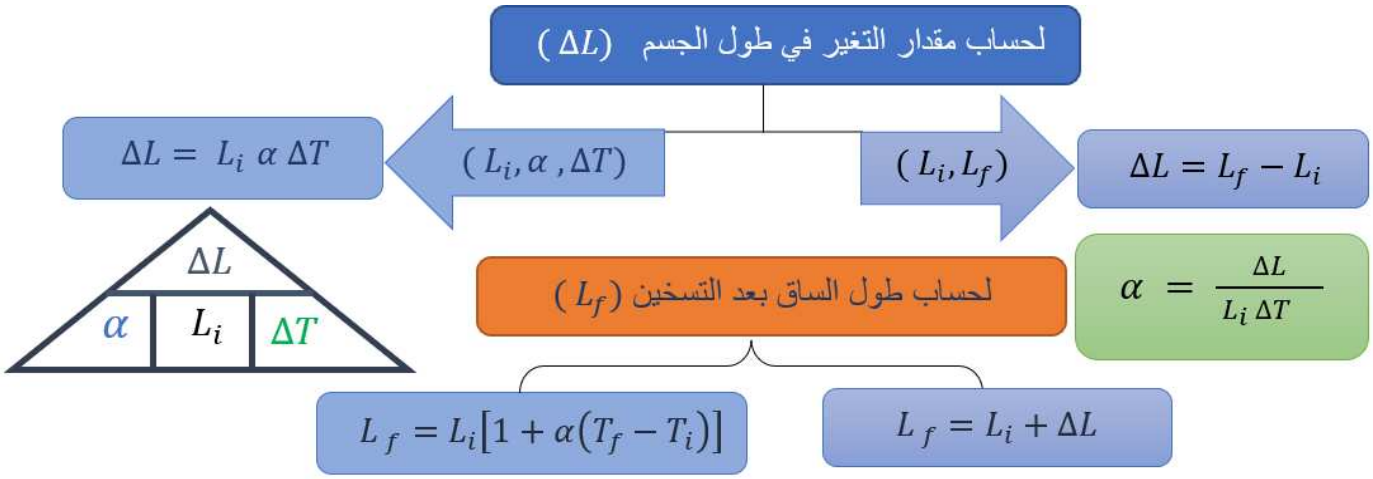
المناهج الكويتية almanahj.com/kw

ماذا يحدث لمعامل التمدد الطولي لساق عند درجة حرارة الغرفة عندما ترتفع درجة حرارته بمقدار (ΔT)

الحدث: لا يتغير

التفسير: لا توجد علاقة بين معامل التمدد الطولي وتغير درجة الحرارة فهو مستقل عن درجة الحرارة

قارن بين معامل التمدد الطولي ومقدار التمدد الطولي		
من حيث	معامل التمدد الطولي	مقدار التمدد الطولي
الرمز	$\propto$	ΔL
وحدة القياس(SI)	$1/°C$	m



حل التمارين التالية

1) ساق من النحاس طولها $(2.5)\ m$ في درجة حرارة الغرفة رفعت درجة حرارتها بمقدار $(80)°C$ فازداد طولها بمقدار m (0.0034) احسب معامل التمدد الطولي للساق

$$\propto = \frac{\Delta L}{L_i \, \Delta T} = \frac{0.0034}{2.5 \times 80} = 1.7 \times 10^{-5} \, 1/°C$$

2) ساق معدنية مصنوعة من الحديد طولها $(100)cm$ عند الدرجة $(20)°C$ سخنت إلى الدرجة $(120)°C$ فإذا كان معامل التمدد الطولي للحديد $(12 \times 10^{-6})°C^{-1}$ احسب طول الساق بعد التسخين

$$L_f = L_i[1+\propto (T_f - T_i] = 1 \times [1 + 12 \times 10^{-6}(120 - 20] = 1.0012\ m$$

3) ساق معدنية طولها متراً تتمدد بمقدار $(0.5)\ cm$ عند تسخينها عند درجة حرارة معينة ، ما مقدار تمدد ساق أخرى من المعدن نفسه طولها $(100)\ m$ عند تسخينها عند درجة الحرارة نفسها

$$\frac{\Delta L_2}{\Delta L_1} = \frac{L_{i2}}{L_{i1}} \Rightarrow \frac{\Delta L_2}{0.5} = \frac{100}{1} \Rightarrow \Delta L_2 = 50\ cm$$

4) تتكون سكة حديد من قضبان فولاذية طول كل واحد منها $(12.2)m$ يتمدد كل قضيب بمقدار $(2.379)\ mm$ عندما ترتفع درجة الحرارة بمقدار $(15)\ °C$ احسب معامل التمدد الطولي للفولاذ

$$\propto = \frac{\Delta L}{L_i\ \Delta T} = \frac{2.379 \times 10^{-3}}{12.2 \times 15} = 1.3 \times 10^{-5}\ 1/°C$$

حل المسائل التالية

المسألة الأولى: ساق معدنية طولها $(370)\ cm$ كتلتها $(500)\ g$ عند الدرجة $(20)\ °C$ سخنت إلى الدرجة $(180)\ °C$ ومعامل تمدده الطولي $(17 \times 10^{-6})°C^{-1}$ والسعة الحرارية النوعية للنحاس $(390)\ J/Kg\ K$ المطلوب

أ- كمية الحرارة اللازمة لتمدد الساق

$$Q = m\ .c\Delta T = 0.5 \times 390 \times 160 = 31200\ J$$

ب- مقدار الزيادة التي تطرأ على طول الساق

$$\Delta L = \propto\ L_i\ \Delta T = 17 \times 10^{-6} \times 3.7 \times 160 = 0.010064\ m$$

ت- طول الساق بعد التسخين

$$L_f = L_i + \Delta L = 3.7 + 0.010064 = 3.710064\ m$$

المسألة الثانية: سخن شريطين متساويين في الطول أحدهما ألومنيوم والآخر حديد إلى درجة الحرارة نفسها.

أ- أي الفلزين يتمدد أكثر؟

الألومنيوم

ب-ما نسبة تمدد أحدهما بالمقارنة مع الآخر؟ علما أن معامل التمدد الطولي للألومنيوم $(23.1 \times 10^{-6})°C^{-1}$ و معامل التمدد الطولي للحديد $(11.8 \times 10^{-6})\ °C^{-1}$.

$$\frac{\Delta L_{Ai}}{\Delta L_{Fe}} = \frac{\propto_{Al}}{\propto_{Fe}} = \frac{23.1 \times 10^{-6}}{11.8 \times 10^{-6}} = 1.95$$

المسألة الثالثة: ساق من النحاس طوله $(150)\ cm$ عند الدرجة $(32)°F$ سخن إلى الدرجة $(180)\ °C$ فازداد طوله بمقدار $(0.46)\ cm$ المطلوب

أ- معامل التمدد الطولي لمادة الساق

$$\propto = \frac{\Delta L}{L_i(T_f - T_i)} = \frac{0.46 \times 10^{-2}}{1.5 \times (180 - 0)} = 1.7 \times 10^{-5}\ 1/°C$$

ب-طول الساق بعد التسخين

$$L_f = L_i + \Delta L = 1.5 + 0.0046 = 1.5046\ m$$

تطبيقات التمدد الطولي (المزدوجة الحرارية)

تعريف المزدوجة الحرارية : شريط مزدوج من مادتين لهما معاملي تمدد طولي مختلف (كالحديد والبرونز) متساويين بالطول عند درجة حرارة التصنيع.

1- صف ماذا يحدث في الشكل المجاور عند تسخين المزدوج الحراري مع التفسير

الحدث: ينحني نحو الحديد

التفسير : لأن معامل تمدد البرونز اكبر من معامل تمدد الحديد

2- صف ماذا يحدث في الشكل المجاور عند تبريد المزدوج الحراري

الحدث: ينحني نحو البرونز

التفسير : لأن معامل تمدد البرونز اكبر من معامل تمدد الحديد

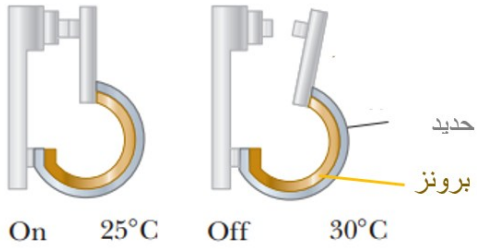
ملاحظة: عند تسخين المزدوجة الحرارية فإنها سوف تنحني نحو الطرف الذي له معامل تمدد طولي أقل

ملاحظة: يمكن الاستفادة من الحركة المزدوجة للمزدوج الحراري في صناعة أنواع معينة من الصمامات أو في تشغيل مفتاح كهرباء

almanahj.com/kw

كيف يعمل الثرموستات (منظم الحرارة في) أجهزة التدفئة والتبريد:

عندما يكون جو الغرفة شديد البرودة تنحني المزدوجة باتجاه البرونز مما يؤدي إلى غلق الدائرة الكهربائية للسخان فتنطلق الحرارة وعندما تصبح حرارة الغرفة مرتفعة تنحني نحو الحديد فتفتح الدائرة ويتوقف عمل السخان



كيف يعمل منظم الحرارة في السخان الكهربي :

يقوم بتوصيل التيار الكهربائي إلى عنصر التسخين لترتفع درجة حرارته وعندما تصبح درجة حرارة الماء هي الدرجة المطلوبة يفصل منظم الحرارة التيار الكهربائي ويتوقف التسخين

علل لما يأتي تعليلا علميا سليما

1- تكسر الزجاج السميك (كتكسر كأس زجاج عندما يسكب فيها شاي ساخن في جو بارد)

لأن أجزاء منها تتمدد بمقدار أكبر من أجزاء أخرى

2- يتم تصنيع أنواع من الزجاج لها معامل تمدد حراري صغير

حتى لا تتكسر عند تعرض وجهها لفروقات كبيرة في درجة الحرارة

4. التمدد الحجمي في الأجسام الصلبة

نشاط: احضر كرة من الحديد معلقة بسلسلة من المعدن حاول ادخال الكرة وتمريرها من الحلقة ستجد أنها تمر

قم بتسخين الكرة لمدة دقيقتين ثم حاول مرة أخرى إدخالها بالحلقة ماذا يحدث

الحدث: لا تمر الكرة

التفسير : بسبب زيادة حجمها نتيجة تمددها في جميع الاتجاهات

مقدار التمدد الحجمي ΔV: مقدار الزيادة التي تطرأ على حجم الجسم عند رفع درجة حرارته

س عدد العوامل التي تتوقف عليها مقدار التمدد الحجمي

1- الحجم الأولى 2- تغير درجة الحرارة 3- نوع المادة

ملاحظة: عندما ترتفع درجة حرارة الأجسام الصلبة تزداد الطاقة الحركية لكل الجزيئات وفي كل الاتجاهات فيتمدد حجمها

يعطى مقدار التغير الحجمي بالعلاقة: $\Delta V = V_i \beta \Delta T$

ارسم الخطوط والمنحنيات البيانية المعبرة عن تغير مقدار التمدد الحجمي لجسم بتغير كلا من

تغير درجة الحرارة	الحجم الأولي (الأصلي)	معامل التمدد الحجمي لعدة مواد

معامل التمدد الحجمي: هو التغير في وحدة الحجوم من المادة عندما تتغير درجة الحرارة درجة مئوية واحدة.

ما هي العوامل التي يتوقف عليها معامل التمدد الحجمي

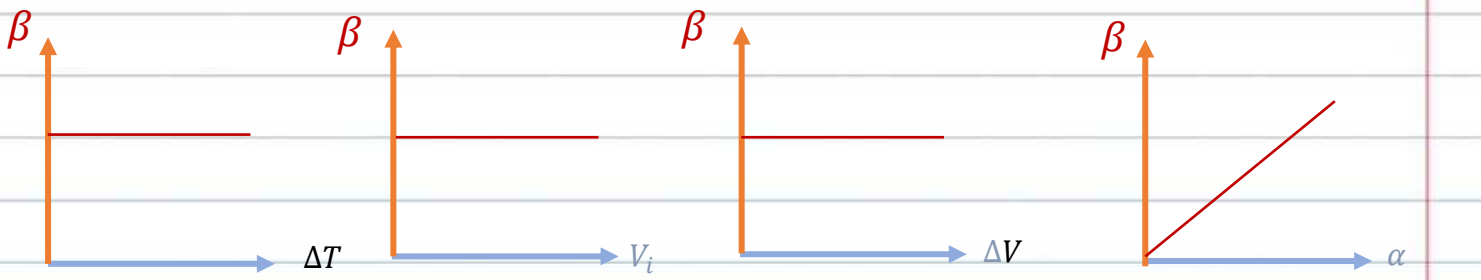
نوع المادة

وحدة قياس معامل التمدد الحجمي في النظام الدولي للوحدات هي : $1/°C$

يمكن حساب معامل التمدد ا الحجمي من العلاقة $\beta = \frac{\Delta V}{V_i \Delta T}$

بفرض أن معامل التمدد الطولي(α) واحد في جميع الاتجاهات فيمكن حساب معامل التمدد الحجمي من $\beta = 3\alpha$

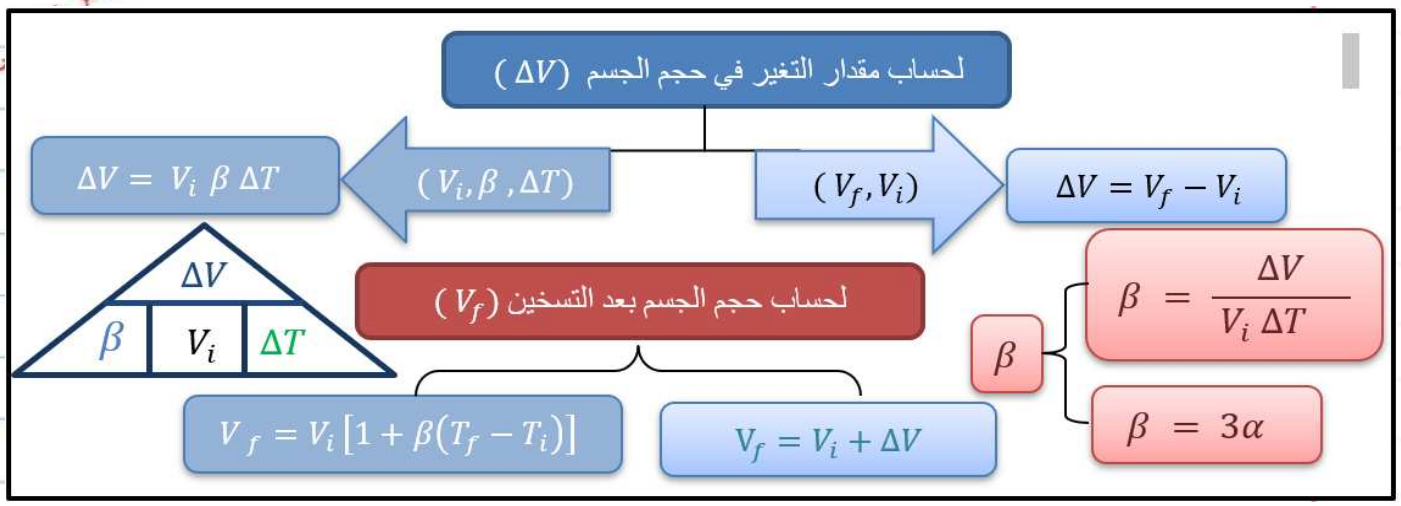
ارسم الخطوط والمنحنيات البيانية المعبرة عن معامل التمدد الحجمي للجسم بتغير كلا من



تغير درجة الحرارة	الحجم الأولي	مقدار التمدد الحجمي للجسم	معامل التمدد الطولي لمواد مختلفة

قارن بين كل مما هو موضح في الجدول في الأسفل

وجه المقارنة	معامل التمدد الحجمي	مقدار التمدد الحجمي
الرمز	β	ΔV
وحدة القياس (SI)	$1/°C$	m^3
وجه المقارنة	معامل التمدد الحجمي	معامل التمدد الطولي
الرمز	β	$\propto$
وحدة القياس (SI)	$1/°C$	$1/°C$



حل المسائل التالية :

المسالة الأولى: يسخن مكعب من الحديد حجمه يساوي $(100) cm^3$ فترتفع درجة حرارته من $(20\ ^\circ C)$ إلى $(1000)\ ^\circ C$ فازداد حجمه بمقدار $\Delta V = 3.3\ cm^3$ والمطلوب

1- أحسب معامل التمدد الحجمي للحديد

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_i(T_f - T_i)} = \frac{3.3}{100 \times (1000 - 20)} = 3.36 \times 10^{-5}\ 1/^\circ C$$

2- استنتج معامل التمدد الطولي للحديد

$$\propto = \frac{\beta}{3} = \frac{3.36 \times 10^{-5}}{3} = 1.12 \times 10^{-5}\ 1/^\circ C$$

المسألة الثانية : يبلغ طول نصف قطر كرة حديدية $(3)\ cm$ عند درجة حرارة $(20)^\circ C$ و معامل التمدد الحجمي للحديد $(33.3 \times 10^{-6})^\circ C^{-1}$ تغيرت درجة حرارته حتى أصبحت $(15)\ ^\circ C$ المطلوب

1- أحسب التغير في حجم الكرة

$$V_i = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} \times \pi \times 3^3 = 36\pi\ cm^3$$

$$\Delta V = \beta\, V_i\, (T_f - T_i) = 33.3 \times 10^{-6} \times 36\pi \times (15 - 20) = -0.0188\ cm^3$$

2- أحسب الحجم النهائي لهذه الكرة

$$V_f = V_i + \Delta V = 36\pi + (-0.0188) = 113.078\ cm^3$$

المسألة الثالثة: ترتفع درجة حرارة مكعب من الألومنيوم بمقدار $(20)\ ^\circ C$ فيصبح حجمه $(1001.38)\ cm^3$ أحسب الحجم الأساسي لهذا المكعب علما ان معامل التمدد الحجمي للألومنيوم يساوي $69 \times 10^{-6}\ 1/^\circ C$

$$V_f = V_i[1 + \beta\Delta T] \Rightarrow 1001.38 = V_i[1 + 69 \times 10^{-6} \times 20] \Rightarrow V_i = 1000\ cm^3$$

المسألة الرابعة : كرة من النحاس كتلتها $(270) g$ حجمها $(30) cm^3$ عند درجة $(25)\ ^\circ C$ سخنت حتى درجة $(70)\ ^\circ C$ فإذا علمت أن معامل التمدد الطولي لمادة النحاس $17 \times 10^{-6}\ ^\circ C^{-1}$ والسعة الحرارية النوعية للنحاس $(390)\ J/Kg\ K$

1- كمية الطاقة التي امتصتها الكرة

$$Q = m\,.\,c(T_f - T_i) = 0.27 \times 390 \times (70 - 25) = 4738.5\ J$$

2- معامل التمدد الحجمي لمادة النحاس .

$$\beta = 3\alpha = 3 \times 1.7 \times 10^{-5} = 5.1 \times 10^{-5} 1/^\circ C$$

3- حجم الكرة عند درجة $70\ ^\circ C$

$$V_f = V_i[1 + \beta(T_f - T_i)] = 30[1 + 5.1 \times 10^{-5} \times (70 - 25)] = 30.0688\ cm^3$$

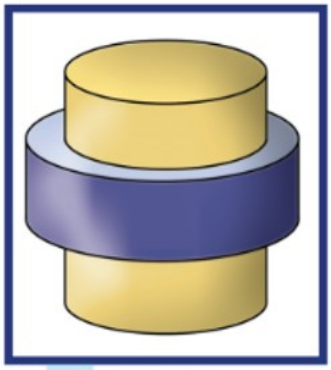
مراجعة الدرس 1-3

ملاحظة: إستخدِم الثوابت الواردة في الجدول (2) ص 34 حيث يلزم الأمر .

أوّلًا – ما سبب انحناء المزدوجة الحرارية عند تسخينها أو تبريدها؟

ثالثًا – ما سبب تركيب أسلاك الهاتف بشكل غير مشدود في فصل الصيف؟

رابعًا – عندما تُدخِل حلقة من الحديد الصلب الساخن حول أسطوانة من البرونز (شكل 18) يُقال إنّها التحمت معها في موضع تثبيتها ، ولا يمكن نزعها ولو بالتسخين. تُسمّى هذه الطريقة التثبيت بالتقلُّص Shrink Fitting . اشرح كيفية حدوث هذه العملية . ماذا تستنتج منها فيما يخصّ تمدُّد الحديد والبرونز؟



(شكل 18)

موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

خامسًا – ساق معدنية طولها مترًا تتمدّد بمقدار (0.5)cm عند تسخينها عند درجة حرارة معيّنة . ما مقدار تمدُّد ساق أخرى من المعدن نفسه طولها (100)m عند تسخينها عند درجة الحرارة نفسها؟

سادسًا – يتمدّد الصلب طوليًّا بمعدّل جزء لكلّ 100 000 جزء من طوله عند رفع درجة حرارته درجة واحدة . كم تبلغ الزيادة في طول جسر من الصلب (كوبري) طوله (1.5)km عند رفع درجة حرارته (20)°C؟

سابعًا – يرتفع برج إيفل في باريس إلى (300)m في يوم درجة حرارته (22)°C . كم يزيد طول البرج إذا علمت أنّه مصنوع من الحديد في يوم مشمس درجة حرارته (40)°C؟ يجب أن تكون إجابتك بوحدة السنتيمتر .

ثامنًا – يزيد طول ساق من الألومنيوم بمقدار (0.0033)m عند رفع درجة حرارتها من (20)°C إلى (100)°C . ما الطول الأصلي للساق قبل تسخينها؟

تاسعًا – سخّن شريطين متساويين في الطول أحدهما ألومنيوم والآخر حديد إلى درجة الحرارة نفسها . أيّ الفلزّين يتمدّد أكثر؟ ما نسبة تمدُّد أحدهما بالمقارنة مع الآخر؟

عاشرًا – شريطان أحدهما ألومنيوم والآخر حديد طول كلّ منهما (5)m عند (20)°C . كم يصبح الفرق بين طولي الشريطين عند تسخينهما إلى (200)°C؟

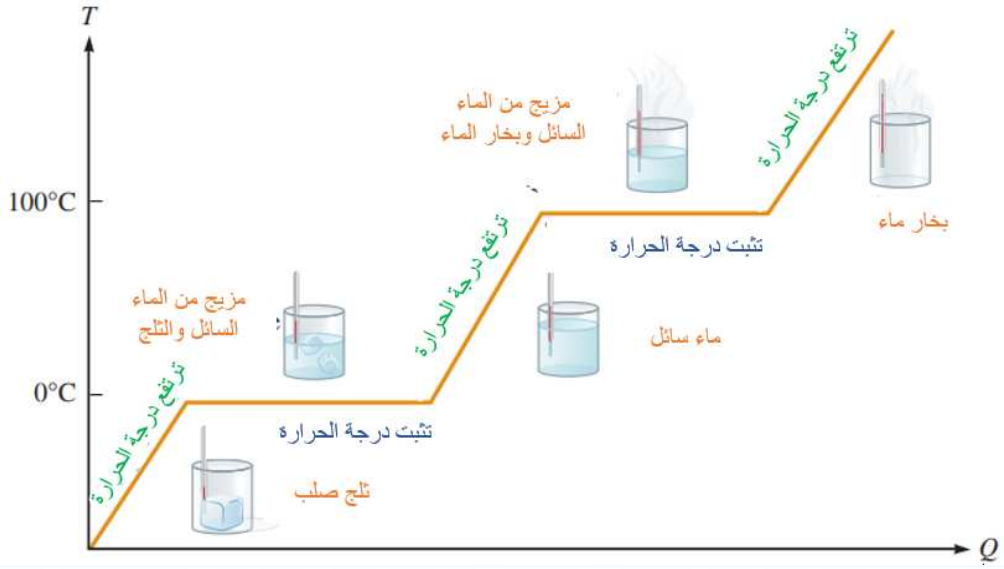
1. تغير الحالة

ماذا يحدث لقطعة من الجليد درجة حرارتها (−50°C) وضعت في وعاء مغلق وسخنت

درجة حرارة المادة	أقل من درجة الانصهار	عند درجة الانصهار	بين درجة الانصهار ودرجة الغليان	عند درجة الغليان	أعلى من درجة الغليان
حالة المادة	صلبة	صلب + سائل	سائل	سائل + غاز	غاز
درجة الحرارة	ترتفع	تثبت	ترتفع	تثبت	ترتفع

موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

ارسم الخط البياني المعبر عن التحول معتبرا أن الزمن يعبر عن الطاقة الحرارية الممتصة



أجب عن الأسئلة التالية

1- هل في كل مرة تسخن فيها المادة بإضافة كمية من الحرارة فإنها سوف ترتفع درجة حرارتها

ليس دائما

2- هل في كل مرة تبرد فيها فإنها سوف تنخفض درجة حرارتها؟؟

ليس دائما

علل لما يأتي تعليلا علميا سليما

1. تثبت درجة حرارة المادة أثناء تحولها من حالة إلى حالة وحتى تتحول المادة بالكامل.

لأن الحرارة المكتسبة عملت على كسر الروابط وابعدتها عن بعضها البعض لتحويل المادة من حالة لحالة

2. لا تتغير حالة المادة أثناء ارتفاع درجة الحرارة؟

لأن الحرارة المكتسبة عملت على زيادة سرعة الحركة الاهتزازية للجزيئات فقط

3. يمكن أن تكتسب المادة طاقة حرارية دون تغير درجة حرارتها .

لأن الحرارة المكتسبة عملت على كسر الروابط وابعدتها عن بعضها البعض لتحويل المادة من حالة لحالة ولم تعمل على زيادة سرعة الحركة الاهتزازية للجزيئات

2. كمية الحرارة اللازمة لإحداث تغير في حالة

قارن بين الحرارة الكامنة للمادة وكمية الحرارة اللازمة لتغير حالة المادة

من حيث	الحرارة الكامنة للمادة	كمية الحرارة اللازمة لتغير حالة المادة
الرمز	L	Q
التعريف	كمية الحرارة اللازمة لتغير حالة وحدة الكتل من المادة	كمية الحرارة اللازمة لتغير حالة لمادة كتلتها (m)
وحدة القياس في (SI)	J/Kg	J
العوامل التي تتوقف عليها	نوع المادة	نوع المادة والكتلة
تعتبر من خصائص المادة (نعم – لا)	نعم	لا
علاقتها بالكتلة	لا توجد علاقة	تتناسب طرديا
مقدارها (ثابت – متغير)	ثابت	متغير
العلاقة الرياضية	$L = \frac{Q}{m}$	$Q = mL$

موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

اعطي تفسيرا علميا سليما لما يلي

1- تختلف الطاقة التي تمتصها او تطلقها مادة ما باختلاف نوع المادة

بسبب اختلاف قوى الترابط بين الذرات والجزيئات من مادة لأخرى

2- تختلف الطاقة التي تمتصها او تطلقها مادة ما باختلاف كمية مادة معينة

لأن الطاقة اللازمة لتغير حالة المادة تتناسب طرديا مع الكتلة

ملاحظة الحرارة اللازمة لصهر قطعة من الحديد اكبر بكثير من الحرارة اللازمة لصهر قطعة جليد لها نفس الكتلة

اصطلاحات الإشارة ($Q = mL$)

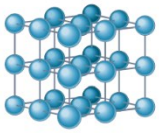
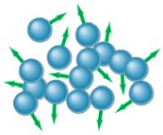
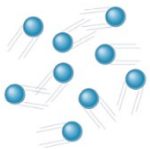
سالبة	موجبة
$Q = -mL$	$Q = +mL$
تنطلق الطاقة من المادة	اكتساب المادة للطاقة

العلاقة بين كمية الحرارة اللازمة لإحداث تغير في الحالة وكتلة المادة	العلاقة بين الحرارة الكامنة للمادة وكتلة المادة

ميل الخط البياني يمثل عدديا .....الحرارة الكامنة.....

الحرارة الكامنة للتصعيد و للانصهار

قارن بين الحالة الصلبة والحالة السائلة والحالة الغازية من حيث

وجه المقارنة	المادة في الحالة الصلبة	المادة في الحالة السائلة	المادة في الحالة الغازية
			
المسافة بين الجزيئات	صغيرة جدا	صغيرة	كبيرة
قوى التجاذب بين الجزيئات	قوية جدا	متوسطة	ضعيفة جدا

علل لما يأتي تعليلا علميا سليما

1- جزيئات المادة في الحالة الصلبة أكثر تماسكاً وقوى التجاذب بين جزيئاتها أكبر من المادة في الحالة السائلة.

لأن المسافات بين الجزيئات في الحالة الصلبة أصغر منها في الحالة السائلة

2- جزيئات المادة في الحالة السائلة أكثر تماسكاً وقوى التجاذب بين جزيئاتها أكبر من المادة في الحالة الغازية .

لأن المسافات بين الجزيئات في الحالة السائلة أصغر منها في الحالة الغازية

3- لتحويل المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة يتطلب تزويد المادة بالطاقة

لكسر الروابط وابعاد الجزيئات عن بعضها للوصول إلى ترتيب الحالة السائلة

4- لتحويل المادة من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية يتطلب تزويد المادة بالطاقة

لكسر جميع الروابط بين الجزيئات وبعثرت الجزيئات للوصول إلى الحالة الغازية

5- الحرارة الكامنة للتصعيد تكون أكبر من الحرارة الكامنة للانصهار للمادة نفسها

لأنه يتطلب حرارة كبيرة لكسر جميع الروابط وبعثرت الجزيئات للوصول إلى الحالة الغازية فيما لا يتطلب ذلك تحويل المادة من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة

قارن بين الحرارة الكامنة للانصهار والحرارة الكامنة للتصعيد

من حيث	الحرارة الكامنة للإنصهار	الحرارة الكامنة للتصعيد
الرمز	L_f	L_v
التعريف	كمية الطاقة التي تعطى وحدة الكتل من المادة الصلبة وتؤدي إلى تحويلها إلى الحالة السائلة	كمية الطاقة التي تعطى وحدة الكتل من السائل وتؤدي إلى تحويلها إلى الحالة الغازية
العوامل التي تتوقف عليها	نوع المادة	نوع المادة
تعتبر من خصائص المادة	نعم	نعم

ملاحظات لحل المسائل

عندما تمتص المادة كمية من الحرارة

إما

تحافظ المادة على حالتها الفيزيائية

و

تتغير درجة الحرارة

$$Q = m\,c\,(T_f - T_i)$$

أو

تثبت درجة حرارة المادة

و

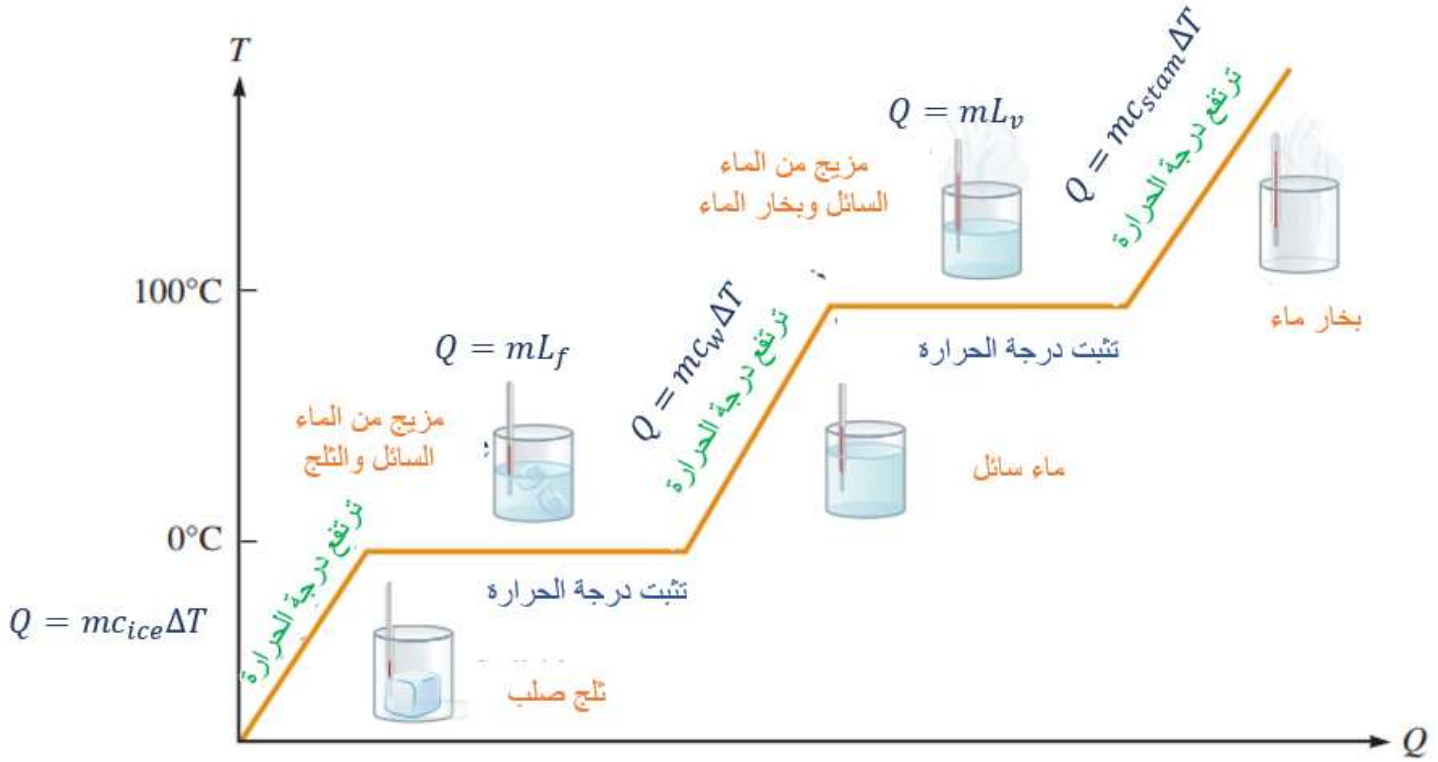
تتغير حالة المادة الفيزيائية

$$Q = m\,L$$

almanahj.com/kw

$T < 0°C$	$T = 0°C$	$T = 0°C$	$T = 100°C$	$T = 100°C$	$T > 100°C$
جليد	جليد	ماء	ماء	بخار ماء	بخار ماء
$Q = mc_{ice}(T_f - T_i)$	$Q = mL_f$	$Q = mc_w(T_f - T_i)$	$Q = mL_v$	$Q = mc_{stam}(T_f - T_i)$	

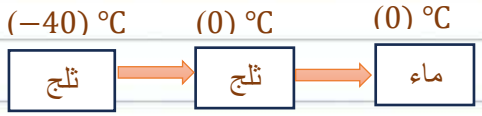
$T > 100°C$	$T = 100°C$	$T = 100°C$	$T = 0°C$	$T = 0°C$	$T < 0°C$
بخار ماء	بخار ماء	ماء	ماء	جليد	جليد
$Q = mc_{stam}(T_f - T_i)$	$Q = -mL_v$	$Q = mc_w(T_f - T_i)$	$Q = -mL_f$	$Q = mc_{ice}(T_f - T_i)$	



حل المسائل التالية :حيثما لزم اعتبر أن ($L_v = (2.26 \times 10^6) J/Kg, L_f = (3.33 \times 10^5) J/Kg$

$(c_{steam} = (2010) J/Kg.K \ , \ c_{water} = (4190) J/Kg.K \ , \ , c_{ice} = (2100) J/Kg.K$

المسألة الأولى: أحسب الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل قطعة من الثلج كتلتها $(500)g$ درجة حرارتها (-40)°C إلى ماء في الدرجة (0) °C

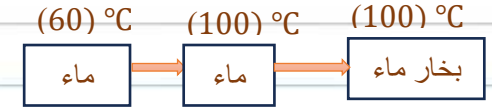


$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = m\, c_{ic} \left(T_{fic} - T_{i\,ic}\right) + m\, L_f$$

$$Q = 0.5 \times 2100\ (0 + 40) + 0.5 \times 3.33 \times 10^5 = 208500J$$

المسألة الثانية : أحسب الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل كمية من الماء كتلتها $(400)g$ درجة حرارتها (60) °C إلى بخار ماء في الدرجة (100) °C



$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = m\, c_w \left(T_{fw} - T_{iw}\right) + m\, L_v$$

$$Q = 0.4 \times 4190\ (100 - 60) + 0.4 \times\ 2.26 \times 10^6 = 971040J$$

المسألة الثالثة : أحسب الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل قطعة من الثلج كتلتها $(800)g$درجة حرارتها (0) °C إلى ماء في الدرجة (100) °C

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q = m\, L_f \ + m\, c_w \left(T_{fw} - T_{iw}\right)$$

$$Q = 0.8 \times 3.33 \times 10^5 + 0.8 \times 4190\ (100 - 0) = 601600J$$

المسألة الخامسة: أحسب الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل قطعة من الثلج كتلتها $(100)g$درجة حرارتها (-40)°C إلى بخار ماء درجة حرارته (100) °C .

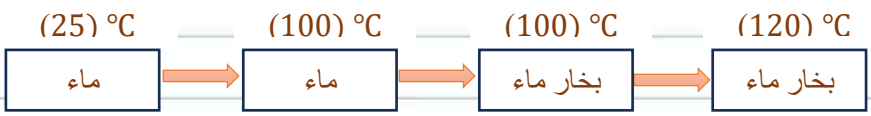
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$$

$$Q = m\, c_{ic} \left(T_{fic} - T_{i\,ic}\right) + m\, L_f \ + m\, c_w \left(T_{fw} - T_{iw}\right) + m\, L_v$$

$$Q = 0.1 \times 2100\ (0 + 40) + 0.1 \times 3.33 \times 10^5 + 0.1 \times 4190\ (100 - 0) + 0.1 \times\ 2.26 \times 10^6$$

$$Q = 309600J$$

المسألة السادسة: أحسب الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل $(0.5)Kg$ من ماء درجة حرارته (25)°C إلى بخار ماء درجة حرارته (120) °C .



$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q = m\, c_w \left(T_{fw} - T_{iw}\right) + m\, L_v + m\, c_{stam} \left(T_{fstam} - T_{i\,stam}\right)$$

$$Q = 0.5 \times 4190\ (100 - 25) + 0.5 \times\ 2.26 \times 10^6 + 0.5 \times 2010\ (120 - 100) = 1307225J$$

مراجعة الدرس 2-3

أوّلًا – هل يفقد البخار الطاقة عندما يتحوّل إلى سائل أم العكس؟

ثانيًا – عرّف كلّ من الحرارة الكامنة للتصعيد والحرارة الكامنة للانصهار.

ثالثًا – أحسب مقدار الطاقة التي يمتصّها (20)g من الماء في (100)°C ليتحوّل إلى بخار عند (100)°C. (علمًا أنّ الحرارة الكامنة للتصعيد تساوي $(L_v = (2.26 \times 10^6) J/kg$)

رابعًا – أحسب مقدار الطاقة المنطلِقة عن تكثُّف (20)g من البخار درجة حرارته (100)°C ليبرَّد إلى (0)°C.

(علمًا أنّ $L_v = (2.26 \times 10^6) J/kg$ و $c_w = (4180) J/kg.K$)

خامسًا – أحسب كمّية الحرارة التي تنطلق عند تبريد (1)g من الماء درجة حرارته (100)°C حتى يصبح ثلجًا عند (0)°C، ثمّ يستمر في التبريد حتى يصل للصفر المطلق. (علمًا أنّ متوسّط السعة الحرارية النوعية للثلج $c_{ice} = (2090) J/kg.K$)

سادسًا – أحسب كمّية الحرارة المنطلِقة من (1)g من بخار الماء درجة حرارته (100)°C عندما يتكثّف إلى ماء عند درجة الحرارة نفسها. قارِن هذه الكمّية من الحرارة بالكمّية التي حصلت عليها في المسألة السابقة.

(علمًا أنّ $L_f = (3.33 \times 10^5) J/kg$ و $c_w = (4180) J/kg.K$)

سابعًا – أحسب كمّية البخار عند درجة حرارة (100)°C الذي يجب أن يُضاف إلى (150)g من الثلج عند (0)°C داخل وعاء معزول للحصول على ماء درجة حرارتها (50)°C.

(علمًا أنّ $L_f = (3.33 \times 10^5) J/kg$ و $L_v = (2.26 \times 10^6) J/kg$ و $c_w = (4180) J/kg.K$)

موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

تحقق من فهمك

ضع علامة (✓) في المربع الواقع أمام أنسب إجابة في كلّ ممّا يلي:

1. إنّ مقدار درجة الحرارة (15)°C بمقياس تدريج فهرنهايت يساوي:
   - ☐ 8.3
   - ☐ 27
   - ☐ 40
   - ☐ 59
2. إنّ درجة حرارة غليان الكحول بحسب تدريج الفهرنهايت تساوي (172)°F وتساوي بحسب تدريج سيلسيوس:
   - ☐ 60
   - ☐ 82
   - ☐ 27
   - ☐ 77.8
3. إنّ وحدة قياس الحرارة بحسب النظام الدولي للوحدات هي:
   - ☐ الجول
   - ☐ السعر
   - ☐ الكيلو سعر
   - ☐ كلفن
4. السعة الحرارية النوعية هي:
   - ☐ كمّية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة كيلوجرام واحد من مادّة ما درجة سيليزية واحدة.
   - ☐ كمّية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة مادّة درجة سيليزية واحدة.
   - ☐ درجة الحرارة التي ترفع حرارة مادّة ما بمقدار جول واحد.
   - ☐ درجة الحرارة التي ترفع حرارة كيلوجرام من المادّة بمقدار جول واحد.
5. كمّية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة (200)g من الماء من (15)°C إلى (45)°C علمًا أنّ السعة الحرارية النوعية للماء (4186)J/kg.K يساوي:
   - ☐ (3.7×10^4)J
   - ☐ (12.5×10^4)J
   - ☐ (1.2×10^4)J
   - ☐ (2.5×10^4)J

تحقق من معلوماتك

أجب عن الأسئلة التالية:

3. ما العلاقة بين السعة الحرارية النوعية للمادّة ومعدّل ارتفاع درجة حرارتها؟
4. عرّف الطاقة الداخلية.
5. المادّة تحتوي على جزيئات في حركة دائمة، فهل هي تحتوي على حرارة؟
6. وضّح اتّجاه سريان الحرارة أثناء تلامس جسمين.

8. هل يستمرّ عمل المزدوجة الحرارية إذا تساوى معدّل تمدُّد المعدنين اللذين يكوّنانه؟ فسّر أهمّية اختلاف المعدنين في عمل المزدوجة الحرارية.

موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

10. ما درجة الحرارة التي يجب أن يكون عليها كلّ من قطعة المعدن وقطعة الخشب حتى لا تشعر بسخونتهما وبرودتهما عند لمسهما؟

تحقق من مهاراتك

حلّ المسائل التالية:

1. ما مقدار الطاقة الناتجة عن تكثّف (10)g من بخار الماء عند درجة حرارة (100)°C ليتغير حاله إلى ثلج عند درجة حرارة (−10)°C؟ الحرارة الكامنة للانصهار تساوي (3.33×10^5)J/kg والحرارة الكامنة للتصعيد (2.26×10^6)J/kg والحرارة النوعية للماء (4180)J/kg.K والسعة الحرارة النوعية للجليد (2100)J/kg.K.
2. أحسب معامل التمدّد الطولي لساق معدني طوله الأولي (1)m عند درجة حرارة صفر وأصبح (1.0015)m عند درجة حرارة (100)°C.

9. كرة من الحديد حجمها $(50)cm^3$ عند درجة حرارة (20)°C. أحسب حجمها إذا ما سخنت حتى درجة (90)°C، علمًا أنّ معامل التمدّد الطولي للحديد $(12 \times 10^{-6})(°C)^{-1}$.

أسئلة مراجعة الوحدة 2

1- المجال الكهربائي :

المجال الكهربائي :

هو المنطقة (الحيز) من الفضاء المحيط بالشحنة الكهربائية من جميع الاتجاهات و المستويات و يظهر فيها تأثير القوة الكهروستاتيكية على شحنة أخرى أو أجسام مشحونة .

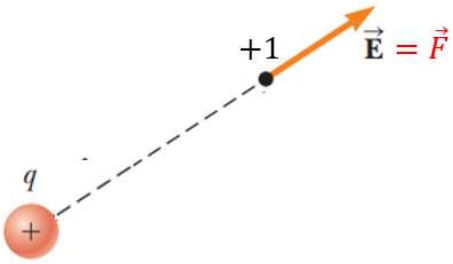
ملاحظة : المجال الكهربائي خاصية يكتسبها الحيز بسبب وجود شحنات كهربائية مهما اختلف مقدارها أو نوعها

1- شدة المجال الكهربائي عند نقطة (E) :

$$\vec{F} = q_0\vec{E}$$

شدة المجال الكهربائي عند نقطة بأنه: القوة الكهربائية المؤثرة علي وحدة الشحنات الكهربائية الموضوعة عند هذه النقطة .

$$E = \frac{Kq}{d^2}$$



ماهي وحدة شدة المجال الكهربائي في النظام الدولي للوحدات ؟

N/C .

علل المجال الكهربائي يعتبر كمية متجهة ؟

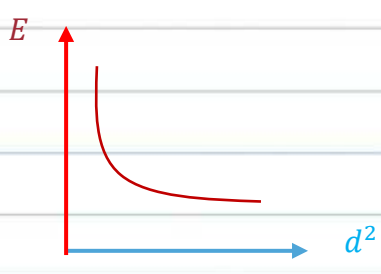
لأنه ينتج من حاصل قسمة كمية متجهة على كمية عددية

عدد العوامل التي تتوقف عليها شدة المجال الكهربائي الناتج عن شحنة نقطية عند نقطة تبعد عنها مسافة ما

1- نوع الوسط 2- كمية الشحنة 3- بعد النقطة عن الشحنة

ارسم بيانيا العلاقة بين مقدار شدة المجال الكهربائي عند نقطة وكلا مما يلي :

مقدار الشحنة



مربع بعد النقطة عن الشحنة

مقلوب مربع بعد النقطة عن الشحنة

ملاحظة : مقدار شدة المجال الكهربائي المتولد عن شحنة نقطية عند نقطة

1- تتناسب طرديا كمية الشحنة المولدة للمجال الكهربائي

2- تتناسب عكسيا مع مربع بعد النقطة عن الشحنة

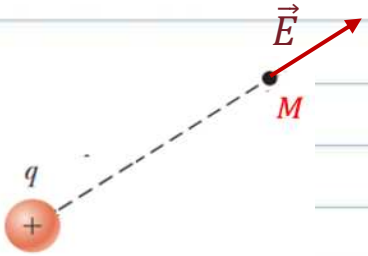
3- يتغير بتغير نوع الوسط المحيط بالشحنة النقطية

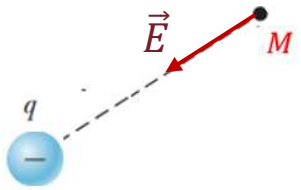
$$E = K\frac{q}{d^2}$$

كيف نحدد اتجاه المجال الكهربائي عن نقطة

1- نفرض وجود وحدة الشحنات الموجبة في النقطة المراد معرفة اتجاه المجال عندها

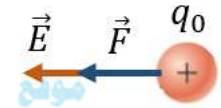
2- يكون اتجاه المجال باتجاه حركة وحدة الشحنات الموجبة

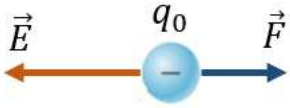




كيف نحدد اتجاه القوة الكهربائية بمعلومية اتجاه المجال الكهربائي

$$\vec{F} = q_0\vec{E}$$

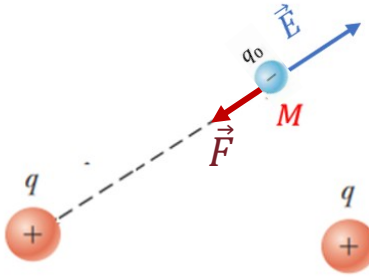


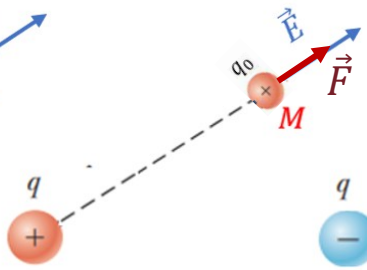


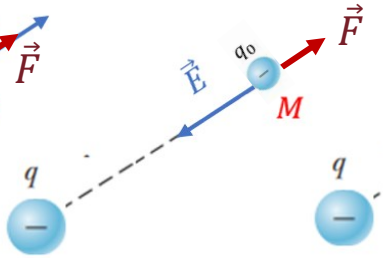
موقع المناهج الكويتية almanahj.com

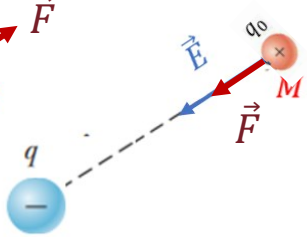
تمرين : حدد اتجاه القوة المؤثرة على شحنة وضعت عند النقطة (M) في الحالات التالية

أ- الشحنة الموضوعة موجبة ب- الشحنة الموضوعة سالبة

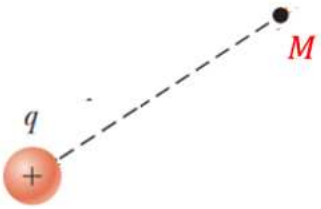






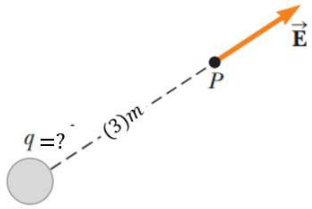


حل التمارين التالية : حيثما لزم اعتبر أن $k = (9 \times 10^9) Nm^2/C^2$



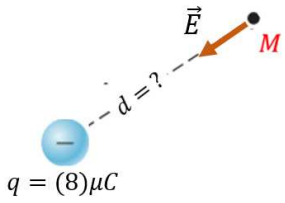
1- شحنة نقطية مقدارها $q = (+2 \times 10^{-6})C$ تؤثر في نقطة M تبعد عنها مسافة مقدارها $(d = 10\ cm)$ أحسب مقدار شدة المجال الكهربائي المؤثر على النقطة (M)

$$E = k\frac{q}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-6}}{0.1^2} = 1.8 \times 10^6\ N/c$$



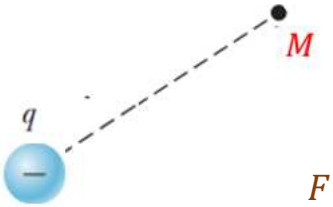
2- من خلال المعطيات المدونة على الشكل وإذا علمت أن قيمة شدة المجال الكهربائي عند النقطة (P) تساوي $(1.8 \times 10^4)\ N/C$ أوجد مقدار ونوع الشحنة الكهربائية

$$E = k\frac{q}{d^2} \Rightarrow 1.8 \times 10^4 = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{3^2} \Rightarrow q = 1.8 \times 10^{-5}c$$ موجبة



3- من خلال المعطيات المدونة على الشكل وإذا علمت أن قيمة شدة المجال الكهربائي عند النقطة (M) تساوي $(20 \times 10^6)\ N/C$ أوجد بعد النقطة عن الشحنة النقطية

$$E = k\frac{q}{d^2} \Rightarrow 20 \times 10^6 = 9 \times 10^9 \times \frac{8 \times 10^{-6}}{d^2} \Rightarrow d = 0.06m$$

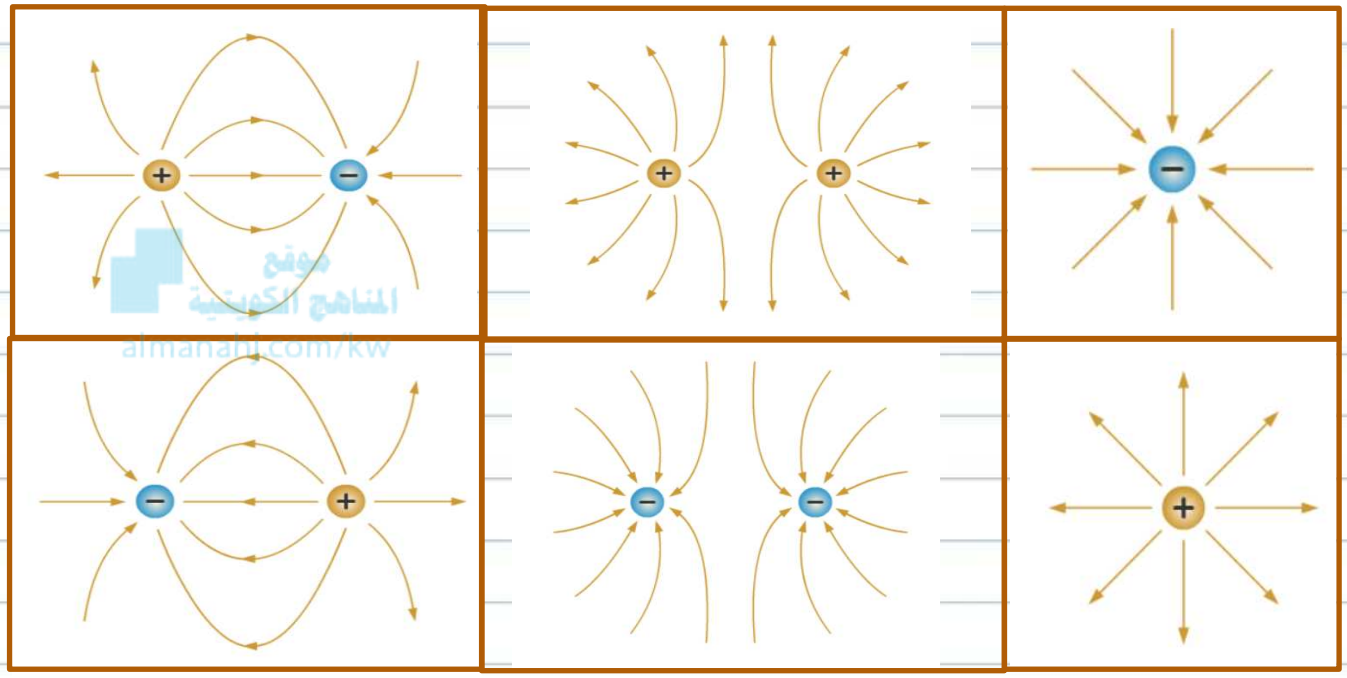


4- شحنة نقطية مقدارها $q = (-8 \times 10^{-6})C$ تؤثر في نقطة M تبعد عنها مسافة مقدارها $(d = 20\ cm)$ احسب مقدار القوة التي تؤثر بها هذه الشحنة على بروتون وضع عند النقطة (M) علما أن $q_P = (1.6 \times 10^{-19})C$

$$F = k\frac{q_P q}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 8 \times 10^{-6}}{0.2^2} = 2.88 \times 10^{-13}\ N$$

3. خطوط المجال الكهربائي

- ❖ خطوط المجال الكهربائي خطوط غير مرئية
- ❖ تمثل بخطوط تُظهر تأثيره على الجسيمات الدقيقة المشحونة
- ❖ تسمى هذه الخطوط خطوط القوى وهي تتباعد في مناطق ضعف المجال الكهربائي
- ❖ في حالة شحنة نقطية فإنها تمتد إلى ما لا نهاية أما في حالة شحنتين مختلفتين فتخرج من الموجبة لتدخل في السالبة
- ❖ الأشكال التالية توضح شكل واتجاه خطوط المجال الكهربائي في بعض الحالات:



علل لما يأتي تعليلا علميا سليما

1- لا يمكن لخطوط المجال الكهربائي أن تتقاطع

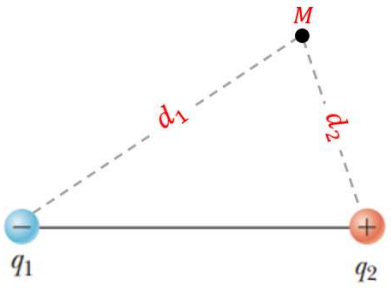
لأنه لو تقاطعت خطوط المجال لكان هناك اتجاهين للمجال في نقطة وهذا مستحيل

2- اتجاه خطوط المجال الكهربائي تخرج من الشحنة الموجبة وتدخل في الشحنة السالبة

لأنه يمثل اتجاه حركة وحدة الشحنات الموجبة حرة الحركة

من خلال التدقيق بالشكل المجاور حدد شحنة كلا من $(a\,,b)$:

شحنة a	موجب	موجب
شحنة b	سالب	موجب



4. محصلة مجالين كهربائيين ناتجين عن شحنتين نقطيتين عند نقطة

1. لحساب شدة المجال الكلي الناتج عن عدة شحنات نقطية نجمع جمعا اتجاهيا

ونستخدم العلاقة : $\vec{E} = \sum \vec{E_i}$

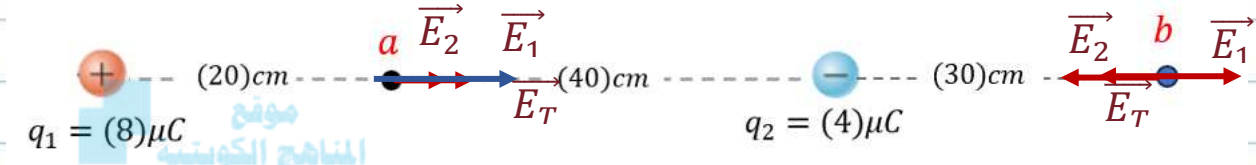
2. مقدار محصلة مجالين $E_T = \sqrt{(E_1)^2 + (E_2)^2 + 2E_1E_2\cos(\theta)}$

3. اتجاه المحصلة : $\alpha = sin^{-1}(\frac{E_2 sin\vartheta}{E_T})$

حل المسائل التالية حيثما لزم اعتبر أن ثابت كولوم يساوي $k = 9 \times 10^9\, N\, m^2/C^2$

المسألة الأولى :

من خلال المعطيات المدونة على الشكل المطلوب أوجد



موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

1- مقدار القوة الكهربائية المتبادلة بين الشحنتين وحدد نوعها.

$$F = k\frac{q_1q_2}{d^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{8 \times 10^{-6} \times 4 \times 10^{-6}}{0.6^2} = 0.8\ N$$

2- مقدار شدة المجال الكهربائي الناتج عن الشحنتين عند النقطة (a) وحدد واتجاهه.

$$E_{a1} = k\frac{q_1}{d_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{8 \times 10^{-6}}{0.2^2} = 1.8 \times 10^6\ N/c$$

$$E_{a2} = k\frac{q_2}{d_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{0.4^2} = 2.25 \times 10^5\ N/c$$

$$E_a = E_{a1} + E_{a2} = 1.8 \times 10^6 + 2.25 \times 10^5 = 2.025 \times 10^6 N/c$$

3- مقدار شدة المجال الكهربائي الناتج عن الشحنتين عند النقطة (b) وحدد واتجاهه.

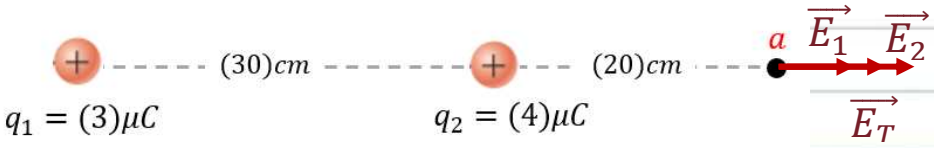
$$E_{b1} = k\frac{q_1}{d_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{8 \times 10^{-6}}{0.9^2} = 8.888 \times 10^4\ N/c$$

$$E_{b2} = k\frac{q_2}{d_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{0.3^2} = 4 \times 10^5\ N/c$$

$$E_b = E_{b2} - E_{b1} = 4 \times 10^5 - 8.888 \times 10^4 = 3.11 \times 10^5 N/c$$

المسألة الثانية :

من خلال المعطيات المدونة على الشكل المطلوب أوجد



1- مقدار شدة المجال الكهربائي الناتج عن الشحنتين عند النقطة (a) وحدد واتجاهه.

$$E_{a1} = k\frac{q_1}{d_1^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{3 \times 10^{-6}}{0.5^2} = 1.08 \times 10^5\ N/c$$

$$E_{a2} = k\frac{q_2}{d_2^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{4 \times 10^{-6}}{0.2^2} = 9 \times 10^5\ N/c$$

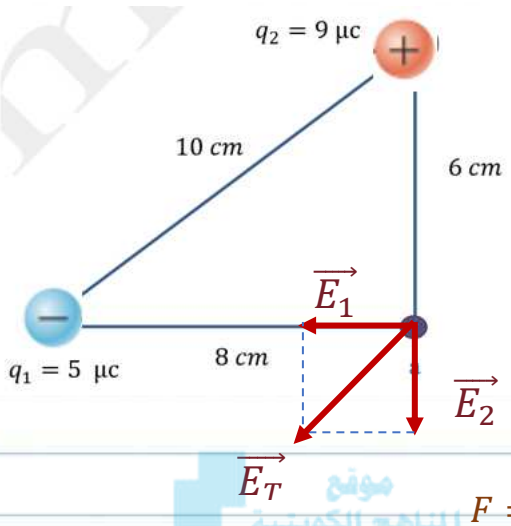
$$E_a = E_{a1} + E_{a2} = 1.08 \times 10^6 + 9 \times 10^5 = 1.008 \times 10^6 N/c$$ نحو اليمين

2- مقدار القوة المؤثرة على الكترون وضع عند (a) علما أن $e = 1.6 \times 10^{-19} C$

$$F = q_eE = 1.6 \times 10^{-19} \times 1.008 \times 10^6 = 1.61 \times 10^{-13}\ N$$

المسألة الثالثة : من خلال المعطيات المدونة على الشكل المطلوب أوجد :

1- مقدار شدة المجال الكهربائي الناتج عن الشحنتين عند النقطة (a) وحدد واتجاهه.



$$E_{a1} = k\frac{q_1}{d_1^2} = 9\times10^9 \times \frac{5\times10^{-6}}{0.08^2} = 7.031\times10^6\ N/c$$

$$E_{a2} = k\frac{q_2}{d_2^2} = 9\times10^9 \times \frac{9\times10^{-6}}{0.06^2} = 22.5\times10^6\ N/c$$

$$E_a = \sqrt{(E_{a1})^2 + (E_{a2})^2} = \sqrt{(7.031\times10^6)^2 + (22.5\times10^6)^2}$$

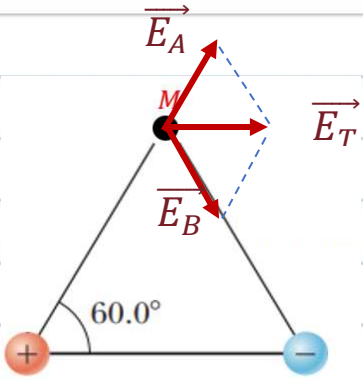
$$E_a = 23.5\times10^6 N/c$$

$$\alpha = tan^{-1}\left(\frac{E_2}{E_1}\right) = sin^{-1}\left(\frac{22.5\times10^6}{7.031\times10^6}\right) = 72.64°$$

2- مقدار القوة المؤثرة على بروتون وضع عند (a) وحدد اتجاهها علما أن $q_P = 1.6\times10^{-19}C$.

$$F = q_e E = 1.6\times10^{-19}\times23.5\times10^6 = 3.76\times10^{-12}\ N$$

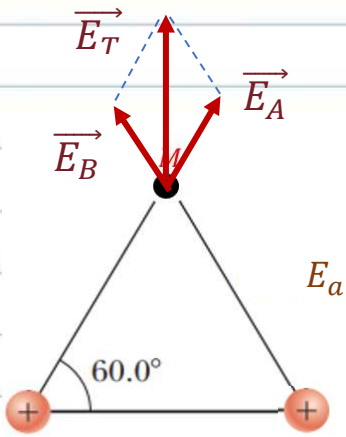
المسألة الرابعة : شحنتان نقطيتان موضوعتان عند النقطتين (A,B) المسافة بينهما $(10\ cm)$ حيث $(q_A =)$ $2\times10^{-8}\ c$ و $(q_B = -2\times10^{-8}\ c)$ على الشكل التالي تبعدان عن النقطة M مسافة $(d_1 = 10\ cm)$ $(d_2 = 10\ cm)$ كما في الشكل المجاور



1- أحسب مقدار شدة المجال الكهربائي الناتج عن الشحنتين عند النقطة (M)

$$E_M = E_A = E_B = k\frac{q_A}{d_A^2} = 9\times10^9 \times \frac{2\times10^{-8}}{0.1^2} = 1.8\times10^4\ N/c$$

2- ماذا يحدث لمقدار المجال الكهربائي الكلي واتجاهه عند النقطة (M) إذا استبدلنا الشحنة السالبة بشحنة موجبة لها نفس المقدار



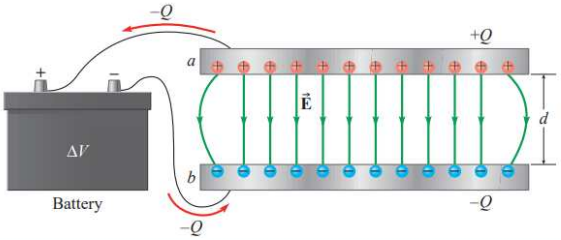
$$E_A = E_B = k\frac{q_A}{d_A^2} = 9\times10^9 \times \frac{2\times10^{-8}}{0.1^2} = 1.8\times10^4\ N/c$$

$$E_a = \sqrt{(E_{a1})^2 + (E_{a2})^2 + 2E_{a1}E_{a1}\cos\theta}$$

$$E_a = \sqrt{(1.8\times10^4)^2 + (1.8\times10^4)^2 + 2\times1.8\times10^4\times1.8\times10^4\cos 60}$$

$$E_a = 3.11\times10^4 N/c$$

1. المجال الكهربائي المنتظم



المجال الكهربائي المنتظم :

هو المجال الكهربائي ثابت الشدة (E)وثابت الاتجاه عند جميع نقاطه

- نمثل هذا المجال بخطوط متوازية تفصل بينها مسافات متساوية
- تتجه خطوط المجال الكهربائي المنتظم من اللوح الموجب إلى اللوح السالب
- تحسب شدة المجال الكهربائي من العلاقة التالية

$$E = \frac{V}{d}$$

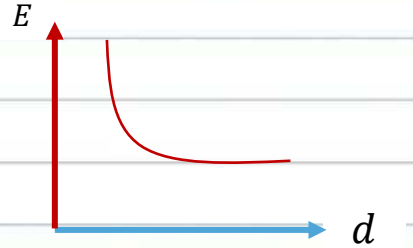
- وحدة قياس شدة المجال الكهربائي المنتظم في النظام الدولي للوحدات V/m
- يتواجد هذا المجال بين لوحي مكثف مستو بعيدا عن أطرافه.

عدد العوامل التي تتوقف عليها مقدار شدة المجال الكهربائي المنتظم بين لوحي مكثف وبعيدا عن الأطراف

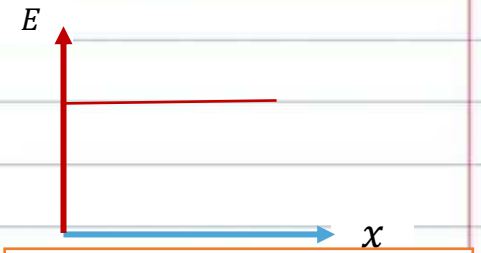
1- فرق الجهد بين لوحي المكثف 2- المسافة بين لوحي المكثف

ارسم الخطوط البيانية بين شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف و كل مما يلي :

فرق الجهد بين اللوحين بثبات البعد بين اللوحين



البعد بين اللوحين بثبات فرق الجهد بين اللوحين

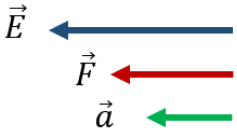
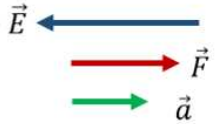


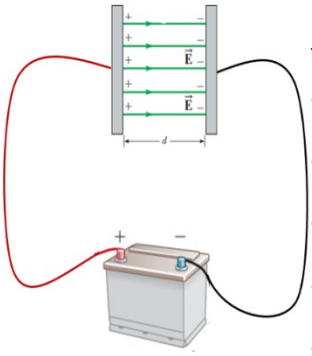
بعد النقطة عن احد اللوحيين بثبات فرق الجهد والبعد بين اللوحين

قارن بين المجال الكهربائي المنتظم والمجال الكهربائي غير المنتظم

	المجال الكهربائي المنتظم	المجال الكهربائي غير المنتظم
التعريف	هو المجال الكهربائي ثابت الشدة (E) وثابت الاتجاه عند جميع نقاطه	هو المجال متغير المقدار أو الاتجاه أو كلاهما من نقطة لأخرى
وحدة القياس	V/m	N/c
العلاقة الرياضية	$E = \frac{V}{d}$	$E = k\frac{q}{d^2}$
كيف ينتج	بين لوحي مكثف مشحون	حول شحنة نقطية
المقدار (ثابت – متغير)	ثابت	متغير
الاتجاه (متغير – موحد)	ثابت	متغير

قارن بين جسيم مشحون وضع في المجال الكهربائي المنتظم

وجه المقارنة	شحنة موجبة	شحنة سالبة
تمثيل المتجهات للمجال الكهربائي والقوة والعجلة المؤثرة على		



مكثف مستوي متصل مع بطارية وكان شدة المجال بين لوحيه (E)

ماذا سيحدث لشدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف

أ- عند زيادة المسافة بين اللوحين بثبات فرق الجهد :

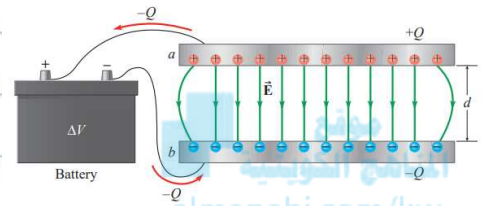
الحدث : يقل

التفسير : لأن شدة المجال الكهربائي المنتظم يتناسب عكسيا مع البعد بين اللوحين بثبات فرق الجهد

ب- عند زيادة فرق جهد البطارية مع ثبات المسافة بين اللوحين :

الحدث : يزداد

التفسير : لأن شدة المجال الكهربائي المنتظم يتناسب طرديا مع فرق جهد البطارية بثبات المسافة بين اللوحين



almanahj.com/kw

مثال لوحان معدنيان يبعدان عن بعضهما البعض مسافة $(5)cm$ يتصلان بمنبع كهربائي فرق الجهد بين طرفيه $(10)\ V$ وضع إلكترون ساكن في منتصف المسافة بين لوحيه فإذا علمت أن:

أحسب $e = -1.6 \times 10^{-19}\ c\ ,\ me = 9.1 \times 10^{-31}\ kg$.

1. مقدار شدة المجال الكهربائي بين اللوحين

$$E = \frac{V}{d} = \frac{10}{0.05} = 200\ V/m$$

2. مقدار القوة المؤثرة علي الإلكترون

$$F = q_e E = 1.6 \times 10^{-19} \times 200 = 3.2 \times 10^{-17}\ N$$

3. العجلة التي يتحرك بها الإلكترون

$$a = \frac{F}{m} = \frac{3.2 \times 10^{-17}}{9.1 \times 10^{-31}} = 3.51 \times 10^{13}\ m/s^2$$

مراجعة الدرس 1-1

أوّلًا – عرّف المجال الكهربائي .

ثانيًا – ما هي شدّة المجال الكهربائي؟

ثالثًا – متى يكون المجال الكهربائي منتظمًا؟

رابعًا – (أ) ما هي خطوط المجال الكهربائي؟

(ب) ما العلاقة بين اتّجاه خطوط المجال واتّجاه القوّة المؤثّرة على شحنة موجبة موضوعة داخل هذا المجال عند نقطة معيّنة؟

خامسًا – شحنتان كهربائيتان موضوعتان عند النقطتين A وB، حيث $AB = (10)cm$ ، ومقدار الشحنتين $q_A = (3 \times 10^{-8})C$ و $q_B = (-2 \times 10^{-8})C$ ويبعدان عن النقطة M على التوالي $d_1 = (6)cm$ و $d_2 = (8)cm$ كما في الشكل (71).

(أ) أحسب مقدار شدّة المجال الكهربائي الناتج عن الشحنتين عند النقطة M .

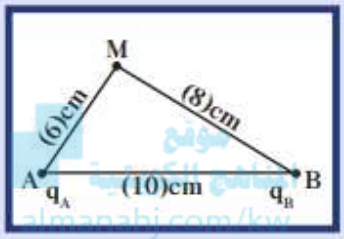
(ب) حدّد عناصر متّجه محصّلة المجال الكهربائي .

سادسًا – لوحان معدنيان يبعدان مسافة (10)cm عن بعضهما البعض يتّصلان بمنبع كهربائي يساوي فرق الجهد بين طرفيه (V) .

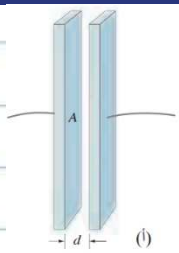
(أ) أحسب مقدار فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين إذا كانت شدّة المجال الكهربائي بين اللوحين تساوي (400)V/m .

(ب) حدّد عناصر متّجه المجال الكهربائي .

سابعًا – أحسب فرق الجهد الكهربائي بين لوحين متوازيين مشحونين إذا كانت المسافة بين اللوحين (20)cm والقوّة الكهربائية المؤثّرة على شحنة مقدارها $q = (3.2 \times 10^{-19})C$ عند انتقالها بين اللوحين تساوي $(32 \times 10^{-16})N$.



(شكل 71)

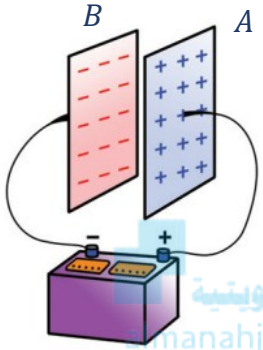


1. تعريف المكثف المستوي:

يتألف من لوحين معدنيين مستويين متوازيين يفصل بينهما فراغ وغالبا يملأ بمادة عازلة

تمثيل المكثف المستوى بالشكل التالي:

مثال : بعد تمام الشحن كانت شحنة اللوح الموجب في المكثف الموجود في الشكل المجاور $q_A = (+10)\mu C$ و جهد اللوح الموجب للمكثف $(+8)V$ المطلوب اوجد :



1- شحنة اللوح (B) $q_B = -10\mu c$

2- شحنة المكثف $q = 10\mu c$

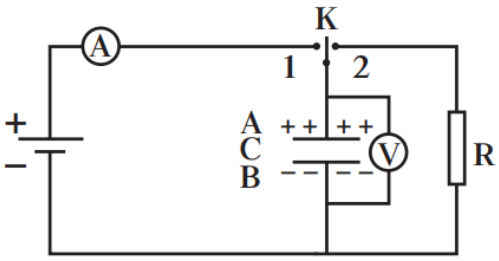
3- فرق الجهد بين لوحي المكثف $\Delta V = V_A - V_B = 8 - (-8) = 16\ V$

علل تستقر الشحنات على الأسطح الداخلية للألواح

بسبب وجود المجال الكهربائي بين لوحي المكثف

2. شحن المكثف وتفريغه

نوصل الدائرة التالية كما في الشكل المجاور المطلوب



أ- ماذا يحدث عند وصل المفتاح (k) ذو الاتجاهين إلى النقطة (1)

يشير جهاز الأميتر لفترة قصير إلى مرور تيار لحظي ويقيس الفولتميتر فرق الجهد بين طرفي المكثف فيبدأ من صفر ويزيد ليتساوى مع فرق جهد البطارية في اللحظة نفسها ينعدم فيها التيار مشيرا إلى انتهاء عملية الشحن فيشحن اللوح (A) بشحنة موجبة و اللوح (B) بشحنة سالبة

ب-ماذا يحدث عند وصل المفتاح (k) ذو الاتجاهين إلى النقطة (2)

ينطلق التيار الكهربائي (الإلكترونات الحرة) لفترة قصيرة من اللوح السالب إلى اللوح الموجب عبر المقاومة لتنعدم الشحنة على المكثف

3. السعة الكهربائية للمكثف المستوي والعوامل المؤثرة فيها

من خلال اجراء تجربة حيث تم تغير فرق الجهد المطبق على لوحي المكثف وقياس الشحنة تم تدوين النتائج التالية:

$q\ (\mu c)$	2	4	6	8	10
$V\ (V)$	1	2	3	4	5
$\frac{q}{V}$	2	2	2	2	2

من خلال النتائج التي حصلنا عليها من التجربة

1- ارسم الخطوط البيانية المعبرة عن تغير كمية الشحنة بتغير فرق الجهد :

2- ماذا نستنتج من خلال ما سبق: كمية الشحنة التي تظهر على أحد لوحي المكثف تتناسب طرديا مع مقدار فرق الجهد المبذول بين سطحي المكثف $q \propto V$

وميل الخط البياني يمثل سعة المكثف

سعة المكثف (C) : هي النسبة الثابتة بين شحنته وجهده

$$C = \frac{q}{V}$$

أو "كمية الشحنة اللازمة لتغيير جهد المكثف بمقدار فولت واحد ."

شحنة المكثف (q) : هي شحنة أحد لوحي المكثف بالقيمة المطلقة

وحدة قياس السعة الكهربائية في النظام الدولي للوحدات هي الفاراد (F) وتكافئ (C/V)

ملاحظة السعة الكهربائية لمكثف

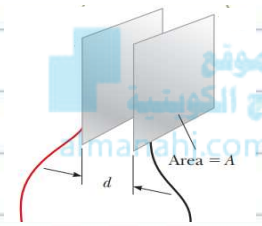
1- تعتمد على الابعاد الهندسية للمكثف وعلى الوسط العازل الذي ملأ الفراغ بين اللوحين

2- لا تعتمد على كمية شحنته أو الجهد المبذول فإن زيادة كمية الشحنة على لوحي المكثف لا يغير من قيمة السعة

علل عند زيادة شحنة مكثف فإن سعته لا تزداد (تبقى ثابتة)

لأنه لو زادت كمية الشحنة سيزداد فرق الجهد بين لوحيه وتبقى النسبة بينهما ثابتة هي السعة الكهربائية

أثبتت التجارب العملية أن سعة المكثف :



أ- تتناسب طرديا مع المساحة اللوحية المشتركة (A)

ب-تتناسب عكسيا مع البعد بين اللوحين (d)

ت-تتوقف على نوع المادة العازلة بين اللوحين

عدد العوامل التي تتوقف عليها السعة الكهربائية لمكثف مستوي

1- المساحة اللوحية المشتركة (A) 2- البعد بين اللوحين (d) 3- نوع المادة العازلة بين اللوحين

ملاحظات:

$$c = \frac{\varepsilon A}{d}$$

1- العلاقة التي تعطي السعة الكهربائية لمكثف مستوي

2- في حال كان الهواء هو الفاصل بين لوحي المكثف فإن ثابت العزل الكهربائي في الفراغ (ε_0)

3- تزداد سعة المكثف عند استبدال الهواء بين اللوحين بمادة عازلة ثابت عزلها النسبي (ε_r) نجد تجريبا أن السعة الكهربائية للمكثف تتناسب طرديا مع ثابت العزل الكهربائي (ε) حيث $(\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r)$

4- لكل مادة عازلة ثابت عزل كهربائي نسبي (ε_r) يحدد خواصها

ثابت العزل الكهربائي النسبي (ε_r) : هو النسبة بين ثابت العزل الكهربائي للمادة وثابت العزل الكهربائي للفراغ

هو النسبة بين سعة المكثف بوجود المادة العازلة وسعته بوجود الفراغ

ملاحظة ثابت العزل الكهربائي النسبي للهواء يساوي الواحد $(\varepsilon_r = 1)$

علل لما يأتي تعليلا علميا سليما

1- ثابت العزل الكهربائي النسبي (ε_r) للمادة ليس له وحدة قياس

لأنه نسبة بين كميتين فيزيائيتين لهما نفس وحدة القياس

2- ثابت العزل الكهربائي النسبي للمادة أكبر من الواحد دائما $(\varepsilon_r > 1)$

لأن ثابت العزل الكهربائي للهواء أصغر ما يمكن ويساوي الواحد

سعة المكثف المستوي

$$c = \frac{q}{V}$$

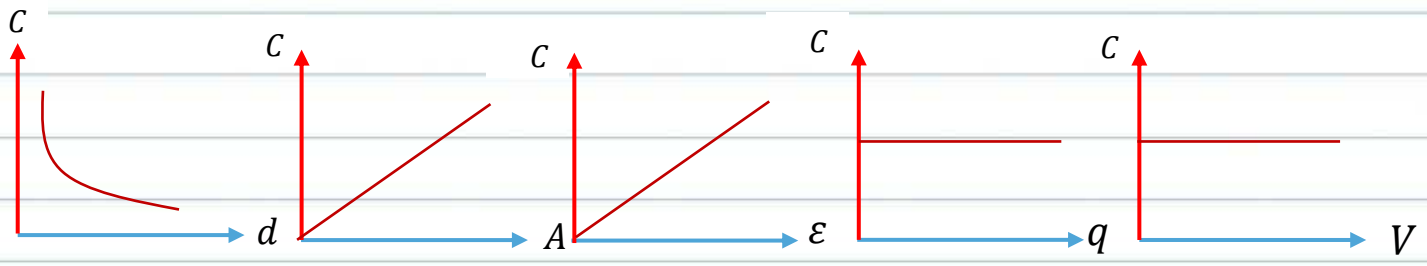
$$\varepsilon = \varepsilon_r \varepsilon_0$$

$$c = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 A}{d}$$

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

$$C = \varepsilon_r C_0$$

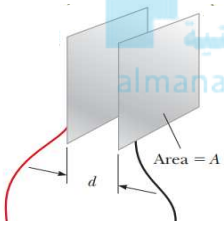
ارسم الخطوط البيانية المعبرة عن تغير سعة المكثف بتغير كل من:



فرق الجهد بين لوحي المكثف	كمية شحنة المكثف	ثابت العزل الكهربائي لعدة مواد	المساحة اللوحية المشتركة	البعد بين اللوحين

تمرين: مكثف كهربائي مستوي سعته الكهربائية (C) عندما كانت المساحة اللوحية المشتركة بين لوحيه (A) والمسافة بين لوحيه (d) ويملا المسافة الفاصلة بين اللوحين الهواء ماذا سيحدث لسعة المكثف في الحالات التالية :

أ- عند زيادة المساحة اللوحية المشتركة بين اللوحين إلى المثلين مع ثبات باقي العوامل



الحدث: تزداد السعة إلى المثلين

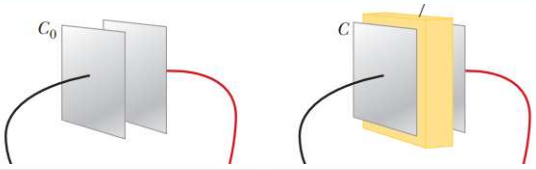
التفسير : لأن السعة الكهربائية للمكثف تتناسب طرديا مع المساحة المشتركة للوحين

ب-عند زيادة المسافة بين اللوحين إلى المثلين مع ثبات باقي العوامل

الحدث: تقل السعة للنصف

التفسير : لأن السعة الكهربائية للمكثف تتناسب عكسيا مع البعد بين اللوحين

ت-وضع مادة عازلة بين لوحي المكثف مع ثبات باقي العوامل

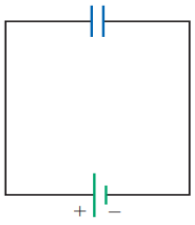


الحدث: تزداد السعة

التفسير : لأن السعة الكهربائية للمكثف تتناسب طرديا ثابت العزل الكهربائي

حل التمارين التالية :

حيثما لزم اعتبر أن ثابت العزل الكهربائي للفراغ $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ F/m$

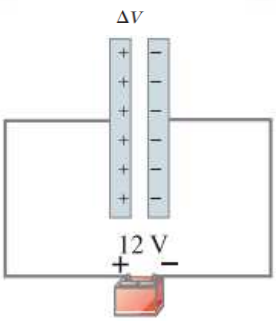


1- يحتفظ لوحا مكثف كهربائي بشحنة مقدارها $(2500)\mu C$ عندما كان فرق الجهد بينهما $(850)V$ فما سعة المكثف

$$C = \frac{q}{V} = \frac{2500 \times 10^{-6}}{850} = 2.94 \times 10^{-6}\ F$$

2- ما فرق الجهد بين لوحي مكثف سعته $(9.5)\mu F$ عندما تكون شحنه $(16.5)\mu C$

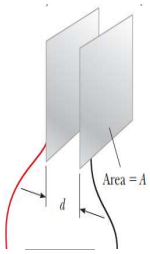
$$V = \frac{q}{C} = \frac{16.5 \times 10^{-6}}{9.5 \times 10^{-6}} = 1.73\ V$$



3- ما مقدار الشحنة الكهربائية التي تشحن بها مكثف سعته $(700)\mu F$ عندما كان فرق الجهد البطارية التي تم توصيلها بلوحي المكثف $(12)V$

$$q = CV = 12 \times 700 \times 10^{-6} = 8.4 \times 10^{-3}\ c$$

4- ما المساحة المشتركة بين لوحي مكثف سعته $(0.02)\mu F$ عندما كانت المسافة الفاصلة بينهما $(0.2)mm$ من الهواء



$$C = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 A}{d} \Rightarrow 0.02 \times 10^{-6} = \frac{1 \times\ 8.85 \times 10^{-12} A}{0.2 \times 10^{-3}} \Rightarrow A = 0.45\ m^2$$

حل المسائل التالية حيثما لزم اعتبر أن ثابت العزل الكهربائي للفراغ $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ F/m$

المسألة الأولى: مكثف كهربائي مصنوع من لوحين معدنيين مساحتهما المشتركة $(20)cm^2$ والمسافة الفاصلة بينهما $(1)mm$ وصلنا لوحاه إلى بطارية فرق جهدها $(12)V$ المطلوب احسب

1. السعة الكهربائية لهذا المكثف إذا كان الهواء هو الوسط العازل بين اللوحين

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 20 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-3}} = 1.77 \times 10^{-11}\ F$$

2. شحنة المكثف

$$q = C_0 V = 12 \times 1.77 \times 10^{-11} = 2.124 \times 10^{-10}\ c$$

3. شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف وبعيدا عن الأطراف

$$E = \frac{V}{d} = \frac{12}{1 \times 10^{-3}} = 12 \times 10^3\ V/m$$

4. السعة الكهربائية للمكثف أذا ملئ الحيز بين اللوحين بالميكا الذي يساوي ثابت العزل الكهربائي النسبي $(\varepsilon_r = 5.4)$

$$C = \varepsilon_r C_0 = 5.4 \times 1.77 \times 10^{-11} = 9.558 \times 10^{-11}\ F$$

موقع المنهج الكويتي almanahj.com/kw

المسألة الثانية

مكثف مستوي يتكون من لوحين متوازيين ومتقابلين أبعادهما $(20cm \times 3cm)$ تفصل بينهما طبقة من الهواء سمكها $(2)mm$ وصل اللوحان ببطارية فتولد بين لوحي المكثف مجال كهربائي شدته $(1.2 \times 10^4)V/m$ المطلوب

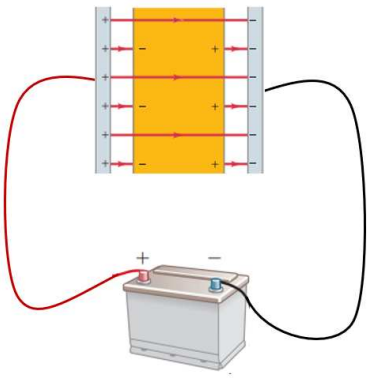
1- سعة المكثف

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times (20 \times 3) \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-3}} = 2.655 \times 10^{-11}\ F$$

2- فرق الجهد بين لوحي المكثف

$$V = Ed = 1.2 \times 10^4 \times 0.002 = 24\ V$$

5. جهد التعطيل



فسر فيزيائيا لماذا هناك فرق جهد بين لوحي المكثف لا يمكن أن نتعداه

لأن هناك حد معين للجهد إذا تخطيناه يظهر بين لوحي المكثف شرارة تظهر تفريغ المكثف وتلف المكثف بسبب توليد مجال كهربائي يتعدى حد التحمل للمادة العازلة

حد التحمل: هي القيمة العظمى لشدة المجال الكهربائي التي تميز كل مادة عازلة والذي إذا تخطاها يحدث تفريغ للمكثف وتلف للمكثف

ماذا يحدث عندما يتخطى شدة المجال الكهربائي المطبق على المادة العازلة بين لوحي المكثف حد التحمل

الحدث: يظهر بين لوحي المكثف شرارة تظهر تفريغ المكثف ويتلف المكثف

جهد التعطيل: هو فرق الجهد المطبق على لوحي المكثف والقادر على توليد مجال كهربائي يتخطى القيمة العظمى التي تتحملها المادة العازلة والذي يؤدي إلى تلف المكثف

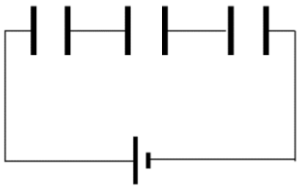
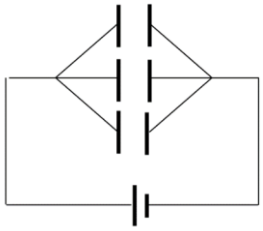
ماذا يحدث عندما نطبق على لوحي مكثف فرق جهد أكبر من جهد التعطيل

الحدث: تتولد شرارة كهربائية بين لوحي المكثف وتلف للمكثف

علل تكتب مصانع المكثفات على المكثفات القيمة العظمى لفرق الجهد والذي لا يجب ان يتخطاه (جهد التعطيل)

لأنه لو طبقنا على المكثف جهدا أكبر من جهد التعطيل سيحدث تلف للمكثف

ت-توصيل المكثفات

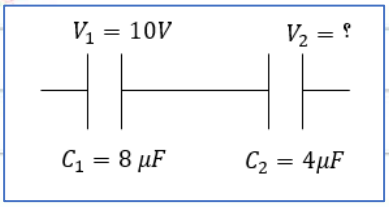
	على التوالي	على التوازي
الرسم التوضيحي لثلاث مكثفات غير متساوية في السعة		
الشحنة التي يحملها كل مكثف	متساوية	غير متساوية
فرق الجهد بين لوحي كل مكثف	غير متساوي	متساوي
العلاقة التي تعطي السعة المكافئة	$\frac{1}{C_{eq}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}$	$C_{eq}=C_1+C_2+C_3$
ما الفائدة من التوصيل	الحصول على مكثف مكافئ سعته أصغر من أصغر سعة في المجموعة	الحصول على مكثف مكافئ سعته أكبر من أكبر سعة في المجموعة

خواص نوعي توصيل المكثفات:

	التوصيل على التوالي	التوصيل على التوازي
.1	السعة المكافئة	
	أصغر من أصغر سعة في مجموعة المكثفات تحسب من العلاقة: $\frac{1}{C_{eq}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}$	أكبر من أكبر سعة لأي مكثف في المجموعة وتحسب من العلاقة $C_{eq}=C_1+C_2+C_3$
.2	فرق الجهد	
	فرق جهد المصدر يتوزع على المكثفات $V=V_1+V_2+V_3$ وتكون النسبة بين جهود المكثفات كنسبة عكسية لسعاتهم: $C_1V_1=C_2V_2=C_3V_3$ فالمكثف الذي يملك سعة اكبر يكون فرق الجهد بين لوحيه أقل	فرق الجهد بين لوحي كل مكثف متساوي ويساوي فرق جهد المصدر : $V_1=V_2=V_3=V$
.3	شحنة المكثف المكافئ	
	تساوي شحنة كل مكثف من المكثفات $q_{eq}=q_1=q_2=q_3$	تساوي مجموع شحنات مكثفات المجموعة $q_{eq}=q_1+q_2+q_3$ وتتوزع الشحنات على المكثفات بنسبة طردية مع السعات $\frac{q_1}{C_1}=\frac{q_2}{C_2}=\frac{q_3}{C_3}$ فالمكثف الذي يملك سعة أكبر تكون شحنته أكبر

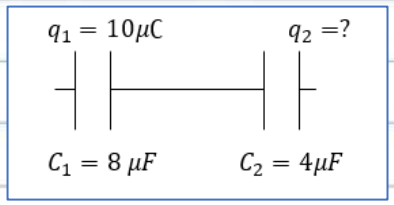
حل التمارين التالية

1- من خلال المعلومات المدونة على الشكل المجاور احسب قيمة فرق الجهد بين لوحي المكثف الثاني



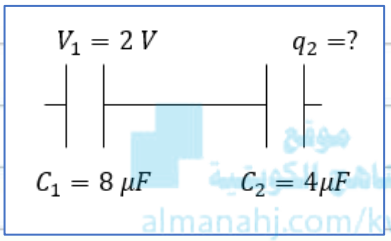
$$q_1 = q_2 \Rightarrow C_1V_1 = C_2V_2 \Rightarrow 8 \times 10 = 4 \times V_2 \Rightarrow V_2 = 20V$$

2- من خلال المعلومات المدونة على الشكل المجاور اوجد مقدار شحنة المكثف الثاني



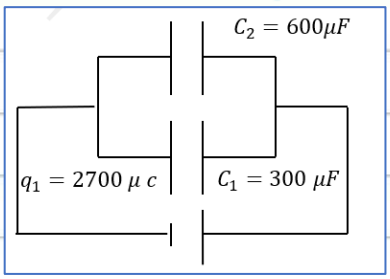
$$q_1 = q_2 = 10\mu c$$

3- من خلال المعلومات المدونة على الشكل المجاور احسب مقدار شحنة المكثف الثاني



$$q_2 = q_1 = C_1V_1 = 8 \times 2 = 16\mu c$$

4- من خلال المعلومات المدونة على الشكل المجاور أوجد قيمة الشحنة على لوحي المكثف الثاني

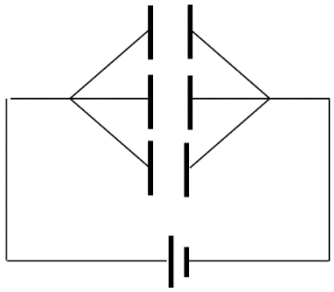


$$V_1 = V_2 \Rightarrow \frac{q_1}{C_1} = \frac{q_2}{C_2} = \frac{2700}{300} = \frac{q_2}{600} \Rightarrow q_2 = 5400\mu c$$

5- ثلاث مكثفات متماثلة سعة كل مكثف $(6)\ \mu F$ وصلت كما في الشكل المجاور احسب السعة المكافئة للمجموعة

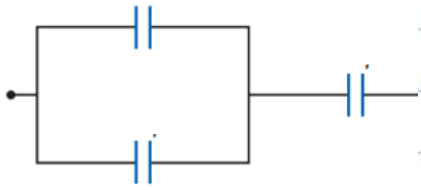
$$C_{eq} = \frac{C}{N} = \frac{6}{3} = 2\mu F$$

6- ثلاث مكثفات متماثلة سعة كل مكثف $(6)\ \mu F$ وصلت كما في الشكل المجاور احسب السعة المكافئة للمجموعة



$$C_{eq} = NC = 3 \times 6 = 18\mu F$$

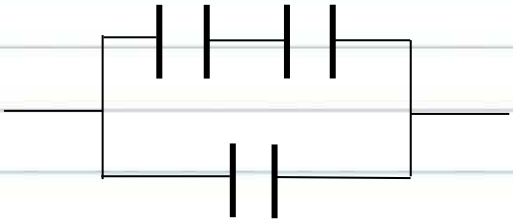
7- ثلاث مكثفات متماثلة سعة كل مكثف $(6)\ \mu F$ وصلت كما في الشكل المجاور احسب السعة المكافئة للمجموعة



$$C' = NC = 2 \times 6 = 12\ \mu F$$

$$C_{eq} = \frac{C'C}{C' + C} = \frac{12 \times 6}{12 + 6} = 4\ \mu F$$

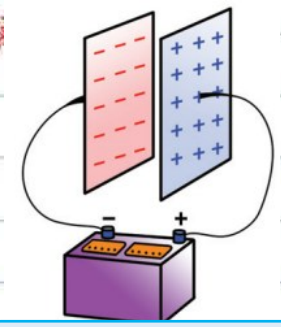
8- ثلاث مكثفات متماثلة سعة كل مكثف $(6)\ \mu F$ وصلت كما في الشكل المجاور احسب السعة المكافئة للمجموعة



$$C' = \frac{C}{N} = \frac{6}{2} = 3\ \mu F$$

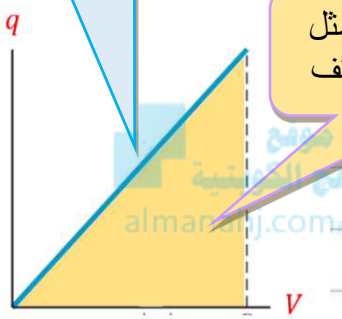
$$C_{eq} = C' + C = 3 + 6 = 9\mu F$$

6.الطاقة المختزنة في المكثف



- كلما زاد الجهد الكهربائي على المكثف تزداد الشـــحنة المختزنة على المكثف وبالتالي يزيد مقدار الطاقة المختزنة في المكثف
- الطاقة الكهربائية المختزنة في مكثف متصل بمصدر تيار مستمر
  - تتناسب طردياً مع سعة المكثف
  - تتناسب طردياً مع مربع فرق جهد المصدر المغذي له بالطاقة .

ميل الخط البياني يمثل سعة المكثف



المساحة تحت المنحنى تمثل الطاقة المختزنة في المكثف

عدد العوامل التي تتوقف عليها الطاقة المختزنة في مكثف

1- سعة المكثف 2- فرق الجهد المطبق على المكثف

$$U = \frac{1}{2}\ q \cdot V$$

$$V = \frac{q}{C}$$

$$q = C\ V$$

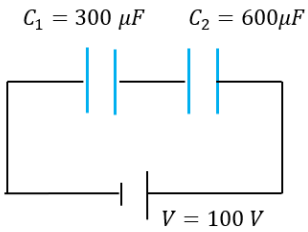
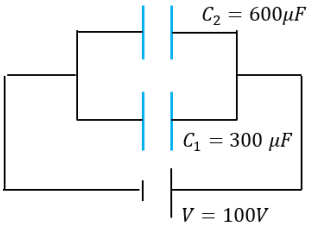
$$U = \frac{1}{2}\ \frac{q^2}{C}$$

$$U = \frac{1}{2}\ CV^2$$

ارسم الخطوط البيانية التالية المعبرة عن تغير الطاقة المختزنة في مكثف وكلا من :

مربع فرق الجهد بين طرفيه

سعة المكثف بثبات فرق الجهد

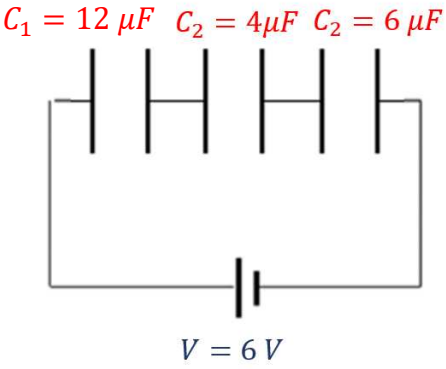
	توالي	توازي
مكثفان تم توصيلهما بطريقتين مختلفتين الأولى على التوالي والثانية على التوازي مع ذات البطارية فمن خلال المعلومات المدونة على الأشكال المجاورة المطلوب احسب		
1- السعة المكافئة	$(2 \times 10^{-4})F$	$(9 \times 10^{-4})F$
2- الطاقة المختزنة	$(1)J$	$(4.5)J$

علل الطاقة الكهربائية المختزنة في عدة مكثفات متصـــلة على التوازي أكبر من الطاقة المختزنة في نفس المكثفات فيما لو وصلت على التوالي مع نفس البطارية

لأنه بثبات فرق الجهد فإن الطاقة المختزنة تتناسب طرديا مع سعة المكثف والسعة المكافئة للمكثفات في حالة التوصيل على التوازي أكبر من السعة المكافئة لنفس المكثفات في حالة التوصيل على التوالي

حل المسائل التالية :

المسالة الأولى :ثلاث مكثفات متصلة معا على التوالي واتصلت مع بطارية كما في الشكل المجاور والمطلوب :



1- السعة المكافئة

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{12} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2} \Rightarrow C_{eq} = 2\ \mu F$$

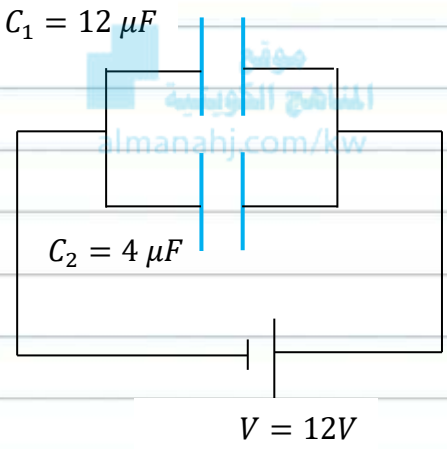
2- شحنة المكثف المكافئ

$$q_{eq} = C_{eq} V_T = 2 \times 10^{-6} \times 6 = 12 \times 10^{-6} c$$

3- فرق الجهد بين طرفي المكثف الثاني

$$V_2 = \frac{q}{C_2} = \frac{12 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-6}} = 3\ V$$

المسالة الثانية : مكثفان متصلان معا على التوازي ومتصلان مع بطارية كما في الشكل المجاور والمطلوب:



1- السعة المكافئة للمكثفين

$$C_{eq} = C_{1+} C_2 = 12 + 4 = 16\ \mu F$$

2- شحنة كل مكثف

$$q_1 = C_1 V_T = 12 \times 10^{-6} \times 12 = 1.44 \times 10^{-4} c$$

$$q_2 = C_2 V_T = 4 \times 10^{-6} \times 12 = 4.8 \times 10^{-5} c$$

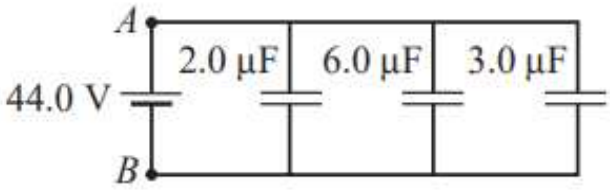
3- شحنة المكثف المكافئ

$$q_{eq} = C_{eq} V_T = 16 \times 10^{-6} \times 12 = 1.92 \times 10^{-4} c$$

4- الطاقة المختزنة في المكثفين معا

$$U = \frac{1}{2} C_{eq} (V_T)^2 = \frac{1}{2} \times 16 \times 10^{-6} \times 12^2 = 1.152 \times 10^{-3} J$$

المسألة الرابعة :ثلاث مكثفات متصلة معا على التوازي واتصلت مع بطارية كما في الشكل المجاور والمطلوب :



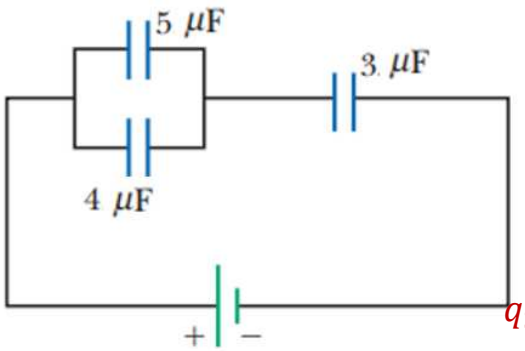
1- السعة المكافئة

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 = 2 + 6 + 3 = 11 \mu F$$

2- شحنة المكثف المكافئ

$$q_{eq} = C_{eq} V_T = 11 \times 10^{-6} \times 44 = 4.84 \times 10^{-4} c$$

المسألة الخامسة: ثلاث مكثفات متصلة كما في الشكل المجاور حيث $(C_1 = 4\mu F, C_2 = 5\mu F, C_3 = 3\mu F)$ و فرق الجهد بين طرفي البطارية $V(9)$المطلوب احسب:



1- السعة المكافئة

$$C' = 5 + 4 = 9\ \mu F$$

$$C_{eq} = \frac{9 \times 3}{9 + 3} = 2.25\ \mu F$$

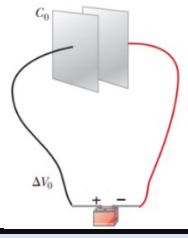
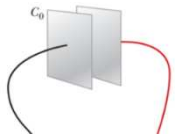
2- شحنة المكثف (C_3)

$$q_3 = q_{eq} = C_{eq} V_T = 2.25 \times 10^{-6} \times 9 = 2.025 \times 10^{-5} c$$

3- فرق الجهد بين طرفي المكثف (C_3)

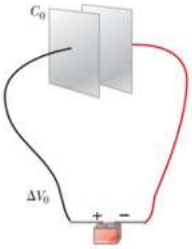
$$V_3 = \frac{q_3}{C_3} = \frac{2.025 \times 10^{-5}}{3 \times 10^{-6}} = 6.75\ V$$

سؤال : لديك مكثف كهربائي مستوي سعته الكهربائية (C) عندما كانت المساحة اللوحية المشتركة بين لوحيه (A) و المسافة بين لوحيه (d) ويملأ المسافة الفاصلة بين اللوحين الهواء ماذا سيحدث لسعته و فرق الجهد بين لوحيه وشحنته وشدة المجال الكهربائي بين لوحيه والطاقة التي يختزنها في الحالات التالية

	المكثف متصل مع بطارية	المكثف مشحون ومعزول
		
	أ- عند زيادة المساحة اللوحية إلى المثلين	
سعة المكثف	الحدث: تزداد للمثلين	الحدث: تزداد للمثلين
فرق الجهد	الحدث: لا يتغير	الحدث: يقل للنصف
شحنة المكثف	الحدث: تزداد للمثلين	الحدث: لا تتغير
شدة المجال الكهربائي	الحدث: لا يتغير	الحدث: يقل للنصف
الطاقة المختزنة	الحدث: تزداد للمثلين	الحدث: تقل للنصف
	ت-عند زيادة المسافة بين اللوحين للمثلين	
سعة المكثف	الحدث: تقل للنصف	الحدث: تقل للنصف
فرق الجهد	الحدث: لا يتغير	الحدث: يزداد للمثلين
شحنة المكثف	الحدث: تقل للنصف	الحدث: لا تتغير
شدة المجال الكهربائي	الحدث: يقل للنصف	الحدث: لا يتغير
الطاقة المختزنة	الحدث: تقل للنصف	الحدث: تزداد للمثلين
	ث-عند وضع مادة عازلة بين اللوحين ثابت عزلها الكهربائي النسبي $(\varepsilon_r = 3)$	
سعة المكثف	الحدث: تزداد إلى ثلاثة أمثال	الحدث: تزداد إلى ثلاثة أمثال
فرق الجهد	الحدث: لا يتغير	الحدث: تقل إلى ثلث ما كانت عليه
شحنة المكثف	الحدث: تزداد إلى ثلاثة أمثال	الحدث: لا تتغير
شدة المجال الكهربائي	الحدث: لا يتغير	الحدث: تقل إلى ثلث ما كانت عليه
الطاقة المختزنة	الحدث: تزداد إلى ثلاثة أمثال	الحدث: تقل إلى الثلث

$$C = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 A}{d}$$

مكثف متصل ببطارية



$V =$ ثابت

$q \propto C$

$E \propto \frac{1}{d}$

$U \propto C$

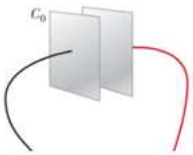
$q =$ ثابت

$V \propto \frac{1}{C}$

$E = \frac{V}{d}$

$U \propto \frac{1}{C}$

مكثف مشحون ومعزول



مراجعة الدرس 1-2

أوّلًا – ما هي العوامل التي تتوقّف عليها السعة الكهربائية للمكثّف المستوي؟

ثانيًا – مكثّف ميكا مستوي سعته الكهربائية $C = (10)\mu F$. كيف تتغيّر سعته الكهربائية إذا استبدلت الميكا بالهواء؟ (علمًا أنّ ثابت العزل الكهربائي النسبي للميكا يساوي 5.4).

ثالثًا – مكثّف هوائي مستوي سعته $(100)\mu F$، يحمل شحنة مقدارها $(10^{-9})C$.

(أ) أحسب مقدار فرق الجهد بين لوحي المكثّف.

(ب) باعتبار أنّ لوحي المكثّف قرصين نصف قطر كلّ منهما $(10)cm$، أحسب مقدار المجال الكهربائي بين لوحي المكثّف.

(جـ) الطاقة الكهربائية المختزنة بين لوحي المكثّف.

رابعًا – الطاقة الكهربائية المختزنة على مكثّف سعته $(4)\mu F$ تساوي $(2)J$. أحسب:

(أ) شحنة المكثّف.

(ب) مقدار فرق الجهد بين لوحي المكثّف.

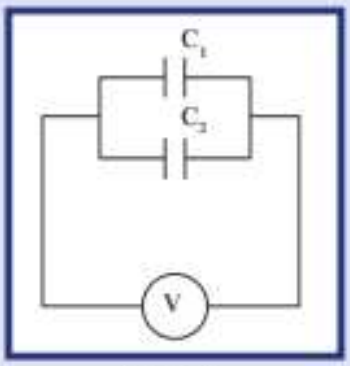
سادسًا – وُصل المكثّفان $C_1 = (2)\mu F$ و $C_2 = (4)\mu F$ على التوازي مع مصدر جهد مستمرّ (V)يحيث أصبحت الشحنة الكلّية للمكثّفين تساوي $(400)\mu C$ (شكل 84). أحسب:

(أ) السعة المكافئة للمكثّفين.

(ب) فرق الجهد V.

(جـ) شحنة كلّ مكثّف.

(د) الطاقة الكهربائية المختزنة بين لوحي كلّ مكثّف.



(شكل 84)

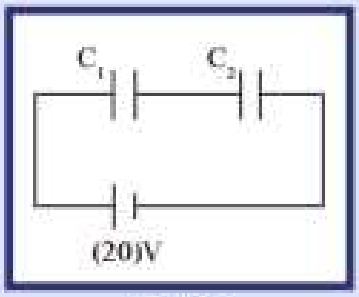
موقع المناهج الكويتية
almanahj.com/kw

مراجعة الدرس 1-2 (تابع)

سابعًا – مكثف سعته (2)μF متصل على التوالي بمكثف آخر سعته (6)μF، وهما متصلان على مصدر جهد يساوي (20)V (شكل 85). أحسب:

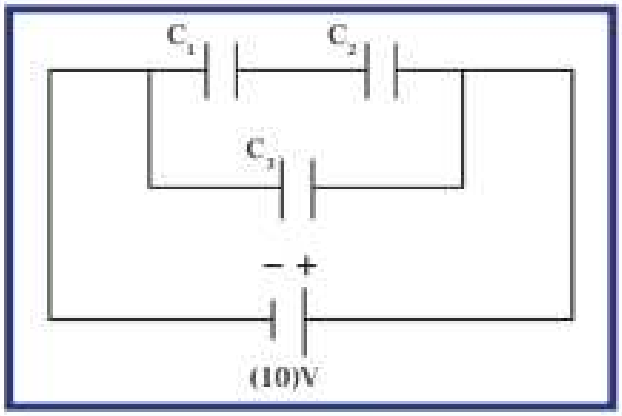
(أ) السعة المكافئة للمكثفين.

(ب) الشحنة وفرق الجهد لكلّ مكثف.



(شكل 85)

ثامنًا – وُصلت ثلاثة مكثفات $C_1 = (3)\mu F$ ، $C_2 = (6)\mu F$ ، $C_3 = (2)\mu F$ بمصدر جهد مستمرّ $V = (10)V$ كما هو موضّح في الشكل (86). أحسب:



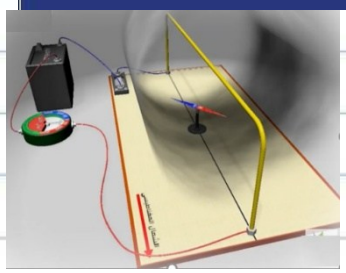
(شكل 86)

(أ) مقدار السعة المكافئة للمكثفات الثلاثة.

(ب) الشحنة الكهربائية وفرق الجهد لكلّ مكثف.

(جـ) الطاقة الكهربائية المختزَنة بين لوحي المكثف C_2 بعد شحنه.

موقع المناهج الكويتية
almanahj.com/kw



تجربة أورستد

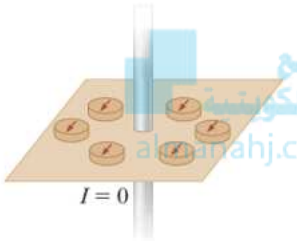
نضع سلكا مستقيما ونضع تحته ابرة بوصلة موازية للسلك ماذا يحدث عند امرار تيار كهربائي مستمر في السلك

الحدث : تنحرف الإبرة عن وضعها

التفسير : خضوعها لمجال مغناطيسي غير مواز لموضع استقرارها

الاستنتاج : مرور تيار كهربائي في موصل (سلك) يولد حوله مجال مغناطيسيي

المجال المغناطيسي الناتج عن تيار كهربائي مستمر

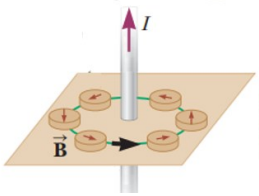


a

نشاط : لديك سلك معدني يخترق ورقة مقوى مستوية عمودية على السلك

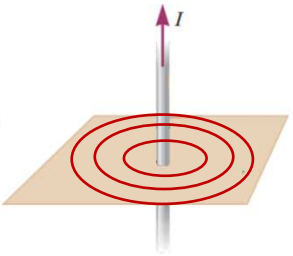
(إما ننثر برادة حديد حول السلك) أو نضع بوصلات صغيرة حول السلك فتستقر وفق اتجاه المجال المغناطيسي الأرضي كما في الشكل المجاور المطلوب اجب عن الأسئلة التالية

1- ماذا يحدث للبوصلات ولبرادة الحديد عند مرور تيار كهربائي في سلك مستقيم



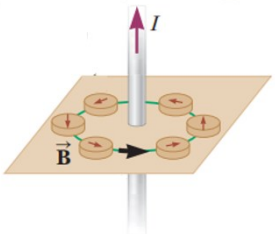
الحدث : مؤشر البوصلات يأخذ اتجاه المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيار في السلك و برادة الحديد تتشكل على شكل دوائر متحدة المركز مركزها السلك

2- ارسم على الشكل المجاور خطوط المجال المغناطيسي



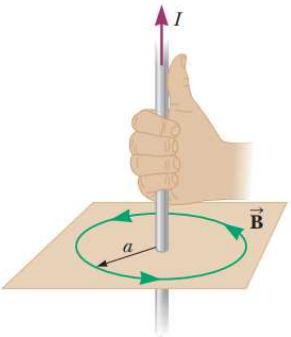
3- المجال المغناطيسي المتولد حول السلك يكون غير منتظم

4- حدد عناصر المجال المغناطيسي عند نقطة تبعد مسافة (d) عن محور السلك



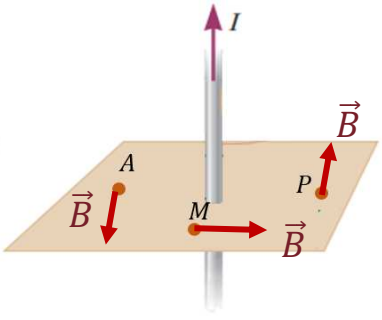
أ-الاتجاه

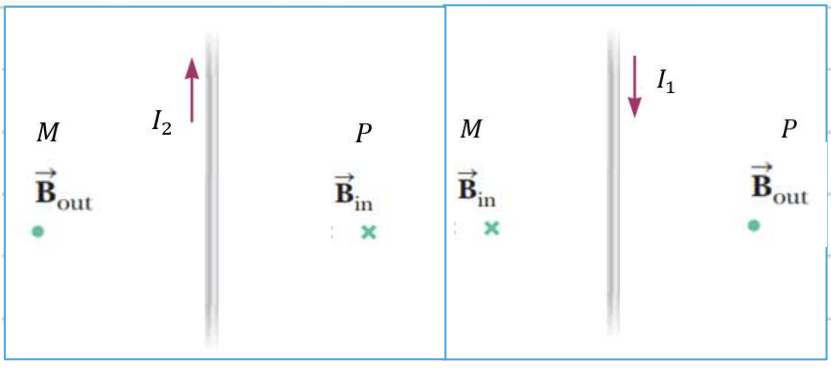
عمليا : من القطب الجنوبي إلى القطب الشـــمالي لإبرة مغناطيســـية بعد وضعها لتستقر عند نقطة



نظريا : حسب قاعدة اليد اليمنى ((نضع الابهام باتجاه التيار في السلك و نلف الأصابع الأخرى حول السلك لتدل على اتجاه المجال المغناطيسي))

حدد اتجاه المجال المغناطيسي في الأشكال التالية



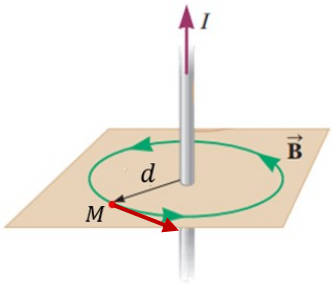


ب- المقدار: يحدد من العلاقة : إما $B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d}$ أو $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d}$

علما أن معامل النفاذية المغناطيسية للفراغ $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} Tm/A$

مثال (1): تيار كهربائي مستمر شدته A (10) يمر في سلك مستقيم المطلوب

1- أحسب شدة المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيار عند نقطة في الهواء تبعد $(20)cm$ عن محور السلك



$$B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d} = 2 \times 10^{-7} \frac{10}{0.2} = 10^{-5} T$$

2- ارسم متجه المجال المغناطيسي عند النقطة (M)

3- ما هو الجهاز الذي يمكن استخدامه لإيجاد شدة المجال المغناطيسي

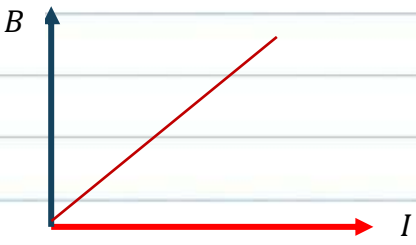
التسلاميتر

عدد العوامل التي يتوقف عليها شدة المجال المغناطيسي عند نقطة تبعد عن محور سلك مستقيم يمر به تيار مستمر

1- شدة التيار الكهربائي المار في السلك 2- بعد النقطة عن مركز السلك 3- نوع الوسط

ارسم الخطوط البيانية المعبرة عن تغير شدة المجال المغناطيسي المتولد عن مرور تيار كهربائي في سلك عند نقطة مع

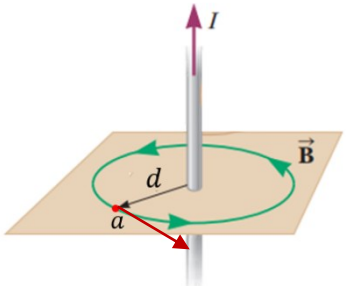
بعد النقطة عن محور السلك المستقيم بثبات باقي العوامل



شدة التيار المستمر المار في سلك مستقيم بثبات باقي العوامل

سؤال : لديك سلك معدني يحمل تيارا شدة (I) يحيط به الهواء يولد مجالا مغناطيسيا حول السلك شدته عند النقطة (a) التي تبعد عن محور السلك مسافة مقدارها (d) تساوي (B) المطلوب

1- ارسم متجه المجال المغناطيسي عن النقطة (a)



2- صف ماذا يحدث لشدة المجال المغناطيسي في الحالات التالية:

أ- عكسنا اتجاه التيار الكهربائي المار في السلك

الحدث : ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي فقط

التفسير : لأن اتجاه المجال المغناطيسي يتوقف على اتجاه التيار

ب- زدنا شدة التيار المار في السلك إلى مثلي قيمته الحالية

الحدث : يزداد مقدار شدة المجال المغناطيسي للمثلين

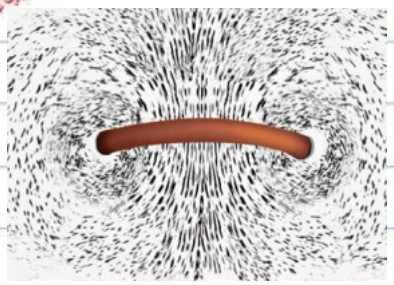
التفسير : لأن مقدار شدة المجال المغناطيسي يتناسب طرديا مع مقدارشدة التيار الكهربائي

ت- أصبح بعد النقطة (a) عن محور السلك مثلي ما كان عليه

الحدث : يقل مقدار شدة المجال المغناطيسي للنصف

التفسير : لأن مقدار شدة المجال المغناطيسي يتناسب عكسيا مع بعد النقطة عن محور السلك

1. المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي مستمر في ملف دائري



نشاط

لديك سلك معدني على شكل حلقة يخترق ورقة مقوى مستوية

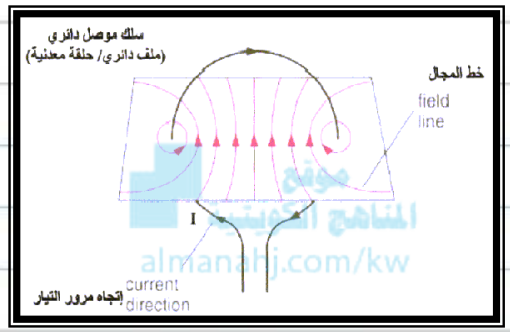
عمودية على السلك ننثر برادة حديد على الورقة المطلوب

1- ماذا يحدث عند مرور تيار كهربائي في السلك

الحدث : تتشكل برادة الحديد على شكل دوائر حول مركز السلك

ثم خطوط منحنية كلما اقربنا من مركز الملف يقل انحناء الخطوط حتى تصبح خطا مستقيما عند مركز الملف

اذكر صفات خطوط المجال المغناطيسي المتولد



منتظم فقط عند مركز الملف

سؤال : حدد عناصر المجال المغناطيسي عند مركز الملف الدائري

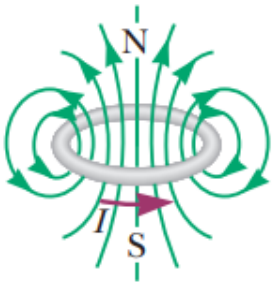
1- الاتجاه

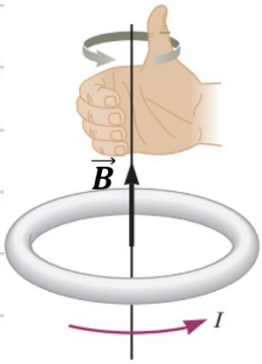
عمليا : من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية

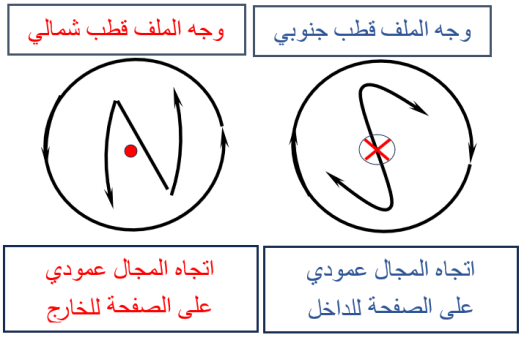
بعد وضعها لتستقر عند مركز الملف

نظريا : حسب قاعدة اليد اليمنى

((نضع اليد اليمنى فوق الملف ولف الأصابع باتجاه التيار ليشير الابهام على متجه المجال المغناطيسي))





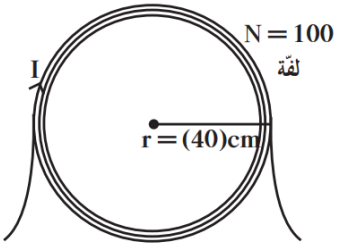


2- المقدار : يحدد من العلاقة :

$$B = \frac{\mu_0 NI}{2r}$$

$$B = 2\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{r}$$

مثال (2): ملف دائري نصف قطره $(40)cm$ مؤلف من (100) لفة ويمر به تيار كهربائي شدته A (10) المطلوب



1- أحسب مقدار شدة المجال المغناطيسي عند مركز الملف الدائري

$$B = 2\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{r} = 2\pi \times 10^{-7} \frac{100 \times 10}{0.4} = 1.57 \times 10^{-3} T$$

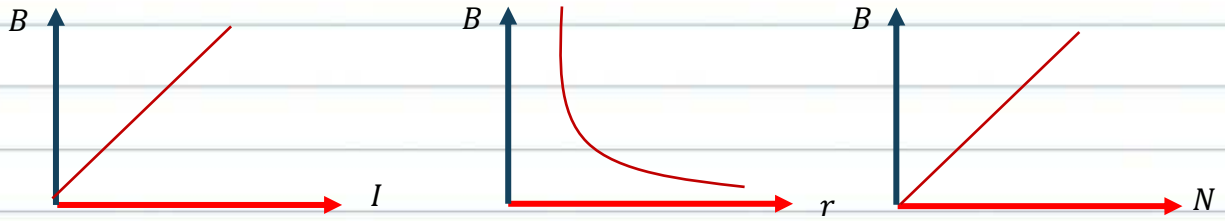
2- حدد اتجاه متجه المجال المغناطيسي

عمودي على الصفحة للداخل

عدد العوامل التي تتوقف عليها شدة المجال المغناطيسي عند مركز ملف دائري:

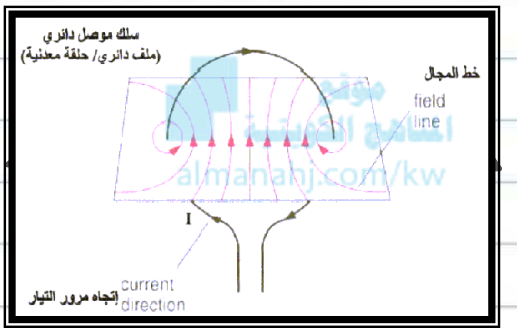
1- شدة التيار الكهربائي المار في الملف 2- نصف قطر اللفة 3 – عدد اللفات 4- نوع الوسط

ارسم الخطوط البيانية المعبرة عن تغير شدة المجال المغناطيسي المتولد عند مركز ملف دائري وكلا من



عدد لفات الملف بثبات باقي العوامل	نصف قطر الملف بثبات باقي العوامل	شدة التيار بثبات باقي العوامل

سؤال: لديك سلك معدني جعل على شكل ملف دائري عدد لفاته (N) يحمل تيارا شدته (I) يولد مجالا مغناطيسيا حول السلك شدته عند مركز الملف تساوي (B) المطلوب



1- ارسم متجه المجال المغناطيسي عن مركز الملف

2- صف ماذا يحدث لشدة المجال المغناطيسي عند مركز الملف في الحالات التالية

أ- عكسنا اتجاه التيار الكهربائي المار في الملف :

الحدث : ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي فقط

التفسير : لأن اتجاه المجال المغناطيسي يتوقف على اتجاه التيار

ب- زدنا شدة التيار المار في السلك للمثلين

الحدث : يزداد للمثلين

التفسير : لأن مقدار المجال المغناطيسي يتناسب طرديا مع شدة التيار الكهربائي

3- زيادة عدد اللفات للمثلين مع المحافظة على نصف القطر وشدة التيار المارة

الحدث : يزداد للمثلين

التفسير : لأن مقدار المجال المغناطيسي يتناسب طرديا مع عدد للفات

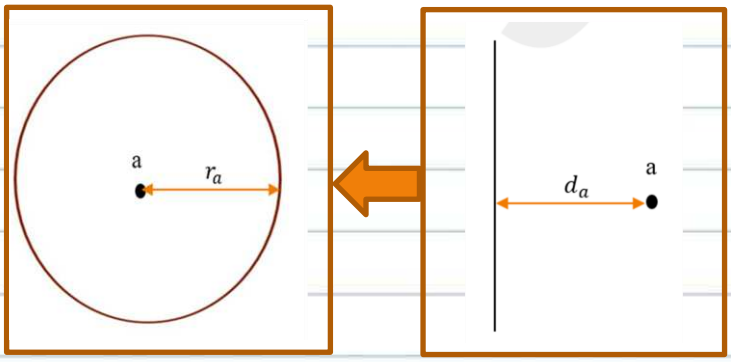
4- زيادة نصف قطر اللفة مع تثبيت عدد اللفات وشدة التيار

الحدث : يقل مقدار المجال المغناطيسي

التفسير : لأن مقدار المجال المغناطيسي يتناسب عكسيا مع نصف قطر الملف

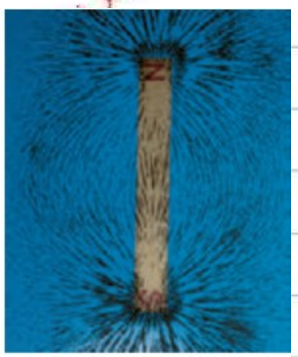
سؤال: لديك سلك معدني طويل يمر به تيار شدته (I) فإنه يولد مجالا مغناطيسيا حول السلك فإذا كانت قيمة شدة المجال المغناطيسي عند النقطة (a)تساوي (B)

صف ماذا يحدث لشدة المجال المغناطيسي عند النقطة (a) إذا جعلنا السلك السابق على شكل حلقة نصف قطرها يساوي بعد النقطة (a) عن السلك



الحدث: يزداد

التعليل: بسبب تداخل المجالات المغناطيسية داخل اللفة

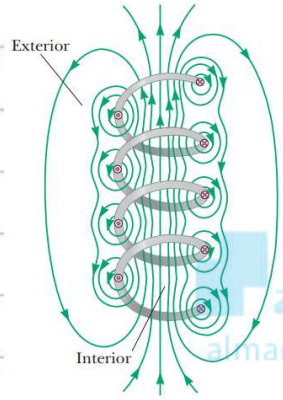


2. المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي مستمر في ملف حلزوني

نشاط : لديك سلك معدني جعل منه ملف لولبي طويل وضيق

يخترق ورقة مقوى مستوية عمودية على الملف ماذا يحدث عند مرور تيار كهربائي في الملف

الحدث: تتشكل برادة الحديد على شكل خطوط مستقيمة منتظمة متوازية وموازية لمحور الملف ودوائر حول السلك وخطوط منحنيه كلما اقتربت من محور السلك



خطوط المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار كهربائي مستمر في ملف لولبي طويل وضيق

a) يشبه المجال المغناطيسي الناتج عن قضيب مغناطيسي

b) يظهر على هيئة خطوط مستقيمة متوازية وموازية لمحور الملف وعمودياً على وجهيه وتفصلها مسافات متساوية

c) المجال المغناطيسي منتظم داخل الملف اللولبي

d) خارج الملف يظهر المجال على هيئة خطوط منحنية غير متقاطعة (مجال مغناطيسي غير منتظم)

علل يعتبر الملف الحلزوني عند مرور التيار الكهربائي فيه مغناطيسا مستقيما له قطبين

لأن خطوط المجال المغناطيسي له تشابه خطوط المجال المغناطيسي لمغناطيس مستقيم

حدد عناصر متجه المجال المغناطيسي عند محور الملف اللولبي

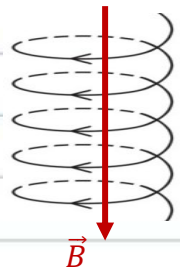
الاتجاه :

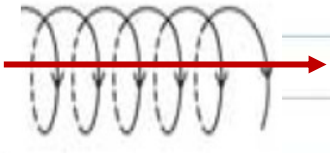
عمليا : من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية بعد وضعها لتستقر عند مركز الملف

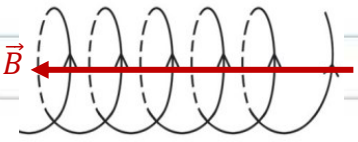
نظريا : حسب قاعدة اليد اليمنى

((نضع اليد اليمنى فوق الملف بحيث توازي الأصابع حلقات الملف باتجاه مرور التيار في الحلقات ليدل الابهام على متجه المجال المغناطيسي))

سؤال: حدد اتجاه المجال المغناطيسي عند مركز محور الملف في الأشكال التالية







2.المقدار :

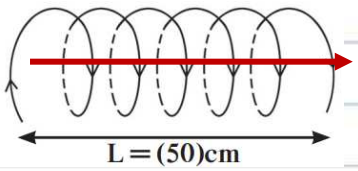
$$B = \frac{\mu_0 NI}{L}$$

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{L}$$

$$B = \mu_0 nI$$

ملاحظة : $n = \frac{N}{L}$ عدد اللفات في وحدة الأطوال

مثال (3) : ملف حلزوني طوله $(50)cm$ مؤلف من 500 لفة ويمر به تيار كهربائي مستمر شدته $A(5)$ بالاتجاه المبين بالشكل احسب مقدار شدة المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيار عند مركز محور الملف وحدد اتجاهه



$$B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{L} = 4\pi \times 10^{-7} \frac{500 \times 5}{0.5} = 6.28 \times 10^{-3} T$$

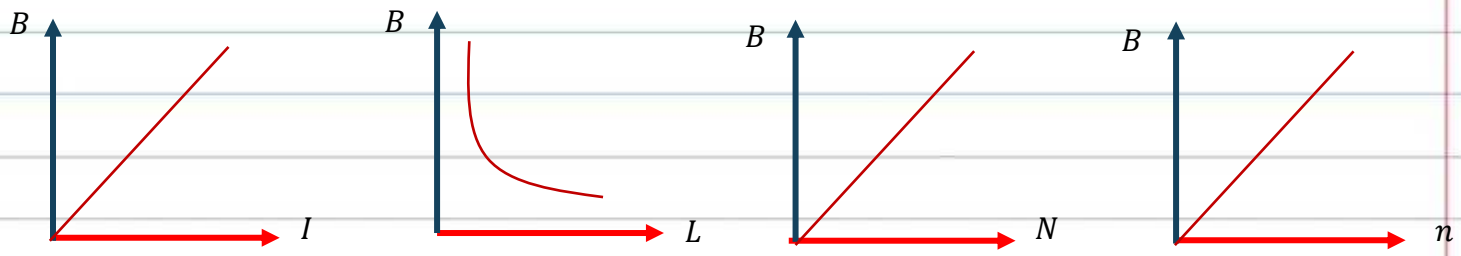
في مستوى الصفحة نحو اليمين

عدد العوامل التي تتوقف عليها شدة المجال المغناطيسي عند مركز ملف لولبي (داخله)

1- شدة التيار الكهربائي المار في الملف 2-عدد اللفات في وحدة الأطوال 3- نوع الوسط

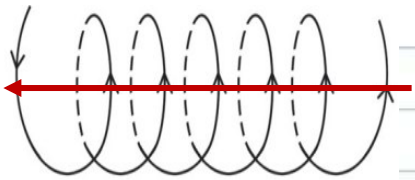
ملاحظة : شـــدة المجال المغناطيســـي داخل الملف اللولبي زادت زيادة كبيرة عند وضـــع نواة من الحديد داخله بدلاً من الهواء.

ارسم الخطوط البيانية المعبرة عن تغير شدة المجال المغناطيسي المتولد عند مركز ملف لولبي وكلا من



عدد اللفات في وحدة الأطوال بثبات باقي العوامل	عدد اللفات الكلي بثبات طول الملف وباقي العوامل	طول الملف بثبات باقي العوامل	شدة التيار بثبات باقي العوامل

سؤال : لديك سلك معدني جعل على شكل ملف لولبي طويل وضيق يحمل تيارا شدته (I) يولد مجالا مغناطيسيا حول السلك شدته عند النقطة مركز محور الملف تساوي (B) المطلوب



1- ارسم متجه المجال المغناطيسي عن مركز الملف

2- ماذا يحدث لشدة المجال المغناطيسي عند مركز محور الملف في الحالات التالية

أ- عكسنا اتجاه التيار الكهربائي المار في الملف:

الحدث : ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي فقط

التفسير : لأن اتجاه المجال المغناطيسي يتوقف على اتجاه التيار

ب- زدنا شدة التيار المار في السلك للمثلين

الحدث : يزداد للمثلين

التفسير : لأن مقدار المجال المغناطيسي يتناسب طرديا مع شدة التيار الكهربائي

ج زيادة عدد اللفات للمثلين مع المحافظة على شدة التيار المارة وطول الملف

الحدث : يزداد للمثلين

التفسير : لأن مقدار المجال المغناطيسي يتناسب طرديا مع عدد للفات

د – زيادة طول الملف للمثلين مع تثبيت عدد اللفات الكلي وشدة التيار

الحدث : يقل للنصف

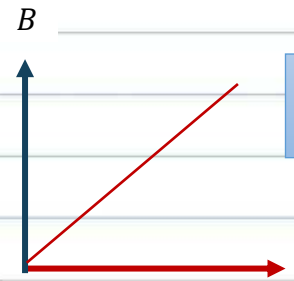
التفسير : لأن مقدار المجال المغناطيسي يتناسب عكسيا مع طول الملف بثبات عدد اللفات الكلي وباقي العوامل

4. المجال المغناطيسي في أي دائرة كهربائية

مرور تيار كهربائي في موصل يولد مجالا مغناطيسيا فإن :

1- اتجاه المجال المغناطيسي عند أي نقطة يعتمد على اتجاه التيار الكهربائي و يحدد بواسطة قاعدة اليد اليمنى

2- مقدار شدة المجال المغناطيسي يتناسب طرديا مع مقدار شدة التيار الكهربائي



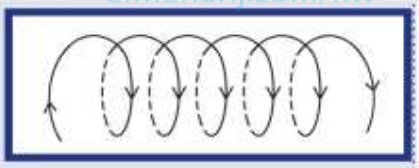
العلاقة بين شدة المجال المغناطيسي وشدة التيار المستمر المار في أي موصل كهربائي

$B = k\,I$

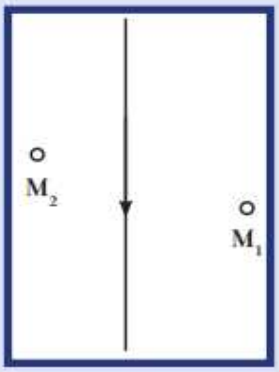
(k) ثابت يعتمد على الشكل الهندسي للدائرة

سلك مستقيم	ملف دائري	ملف لولبي
$k = \frac{\mu_0}{2\pi d}$	$k = \frac{\mu_0 N}{2r}$	$k = \frac{\mu_0 N}{l}$
$B = \frac{\mu_0}{2\pi d}\,I$	$B = \frac{\mu_0 N}{2r}\,I$	$B = \frac{\mu_0 N}{l}\,I$

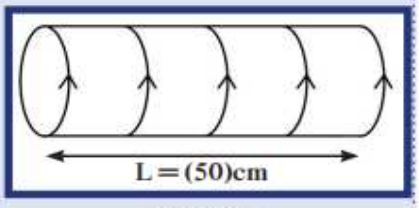
موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw



(شكل 116)



(شكل 117)



(شكل 118)

مراجعة الدرس 2-2

أوّلًا – ما شكل المجال المغناطيسي حول سلك مستقيم يحمل تيّارًا كهربائيًّا مستمرًّا؟

ثانيًا – عند لفّ سلك مستقيم يحمل تيّارًا كهربائيًّا مستمرًّا ليصبح دائري الشكل إلى ملفّ، تزيد شدّة المجال المغناطيسي داخل الملفّ عن خارجها. علّل سبب ذلك.

ثالثًا – حدّد أقطاب الملفّ في الشكل (116) معتمدًا على اتّجاه مرور التيّار الكهربائي.

رابعًا – حدّد اتّجاه المجال المغناطيسي على النقاط M_1 و M_2 في الشكل (117).

خامسًا – سلك مستقيم يمرّ به تيّار كهربائي مستمرّ شدّته A(1).

(أ) أحسب شدّة المجال المغناطيسي الناتج عند نقطة تبعد cm(10) عن محور السلك.

(ب) حدّد عناصر متّجه المجال المغناطيسي (وضّح ذلك بالرسم).

سادسًا – حدّد عناصر متّجه المجال المغناطيسي الناتج عند مركز ملفّ حلزوني، طوله cm(50)، ومؤلّف من (1000) لفّة عند مرور تيّار كهربائي مستمرّ شدّته A(4) علمًا أنّ اتّجاه التيّار في الملفّ إلى أعلى كما موضّح في الشكل (118).

سابعًا – ملفّ دائري نصف قطره cm(10) وعدد لفّاته (5) لفّات يمرّ فيه تيّار كهربائي مستمرّ شدّته A(0.5). حدّد بالكتابة والرسم عناصر متّجه المجال المغناطيسي الناتج عند مركز الملفّ.

تحقق من فهمك

ضع علامة (✓) في المربّع الواقع أمام أنسب إجابة في كلّ ممّا يلي:

2. مقدار شدّة المجال الكهربائي الناتج عن شحنة نقطية مقدارها $(4 \times 10^{-6})C$ عند نقطة M تبعد عنها $(0.1)m$ يساوي:
   - ☐ $(4.2 \times 10^{6})N/C$
   - ☐ $(1.8 \times 10^{6})N/C$
   - ☐ $(0.9 \times 10^{6})N/C$
   - ☐ $(3.6 \times 10^{6})N/C$
3. نعرّف المجال الكهربائي المنتظم بأنّه مجال :
   - ☐ جميع خطوطه متوازية ولها مقدار ثابت .
   - ☐ تنطلق جميع خطوطه من نقطة في وسطه بجميع الاتّجاهات ولها مقدار ثابت .
   - ☐ تنطلق جميع خطوطه نحو نقطة في وسطه بجميع الاتّجاهات وليس لها مقدار ثابت .
   - ☐ تنطلق جميع خطوطه من نقطة في وسطه بجميع الاتّجاهات ولها مقدار متناسب مع كمّية الشحنة .
4. يتألّف مكثّف من سطحين متوازيين متّصلين ببطّارية . إذا ضاعفنا المسافة بين السطحين المتوازيين فإنّ شدّة المجال الكهربائي بينهما:
   - ☐ يقلّ إلى النصف .
   - ☐ لا يتغيّر .
   - ☐ يزداد إلى مثلي ما كان عليه .
   - ☐ يقلّ أربع أمثال ما كان عليه .
5. إنّ ثني السلك الحامل للتيّار الكهربائي والمؤثّر على نقطة M تبعد عنه مسافة r ليكوّن لفّة أو أكثر مركزها النقطة M.
   - ☐ يقلّل من شدّة المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيّار .
   - ☐ يزيد من شدّة المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيّار .
   - ☐ لا يغيّر من شدّة المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيّار .
   - ☐ يزيد من شدّة التيّار الكهربائي وبالتالي يضعف المجال المغناطيسي الناتج .

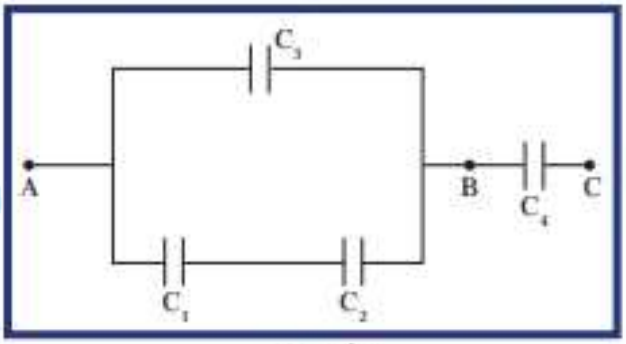
تحقق من معلوماتك

أجب عن الأسئلة التالية:

1. ما الفرق بين المجال الذي يحيط بشحنة ساكنة والمجال الذي يحيط بشحنة متحرّكة؟

4. إن كانت القوّة الكهربائية المؤثّرة على شحنة نقطية لها اتّجاه المجال نفسه، فما هو نوع الشحنة؟

5. أحسب مقدار القوّة الكهربائية المؤثّرة على شحنة $q = (2 \times 10^{-6})C$ موضوعة عند نقطة في مجال كهربائي $E = (2 \times 10^{4})V/m$.
6. ما نوع المجال الكهربائي واتّجاهه بين سطحين معدنيين متوازيين متّصلين بمصدر فرق جهده 9V؟
7. ما مقدار الجهد على مكثّف عند انتهاء عملية الشحن؟
8. ما العلاقة بين السعة الكهربائية لمكثّف متوازي السطحين والمادّة العازلة بين اللوحين عند ثبات العوامل الأخرى المؤثّرة في السعة الكهربائية؟
9. إشرح ما الذي يحدث للمكثّف إذا زاد فرق الجهد المطبّق على المكثّف عن مقدار القيمة العظمى التي تحدّدها الشركة الصانعة.
10. أحسب السعة المكافئة لمجموعات المكثّفات الموضّحة في الشكل (119).
$C_1 = (60)\mu F$ و $C_2 = (20)\mu F$ و $C_3 = (9)\mu F$ و $C_4 = (12)\mu F$.



(شكل 119)

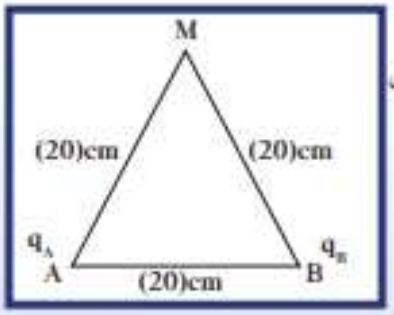
موقع المناهج الكويتية
almanahj.com/kw

11. وُصل مكثّفان سعتهما $C_1 = (2)\mu F$ و $C_2 = (4)\mu F$ على التوازي بمصدر فرق جهده (4.5)V. أحسب:
(أ) مقدار الشحنة التي يجب على البطّارية توفيرها لشحن المكثّفين.
(ب) الطاقة الكهربائية المختزَنة في كلّ مكثّف.
12. ما العلاقة بين شدّة المجال المغناطيسي وشدّة التيّار الكهربائي؟
13. حدّد خواصّ متّجه المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيّار الكهربائي في ملفّ حلزوني طويل.

تحقّق من مهاراتك

حلّ المسائل التالية:

1. شحنتان كهربائيتان $q_A = (2 \times 10^{-8})C$ و $q_B = (-4 \times 10^{-8})C$ موضوعتان عند النقطتين A و B، حيث $AB = (20)cm$.
(أ) أحسب مقدار شدّة المجال الكهربائي الناتج عن الشحنتين على النقطة M التي تبعد (20)cm عن A و (20)cm عن B. كما في الشكل (120).
(ب) حدّد عناصر متّجه محصّلة المجال الكهربائي.



(شكل 120)

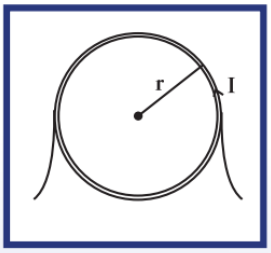
(د) أحسب مقدار محصّلة القوّة الكهربائية على النقطة M إذا وُضع عندها شحنة مقدارها $(2 \times 10^{-8})C$.

2. مكثّف سعته $2\mu F$ وصل بمصدر فرق جهده $20V$. إذا كانت المسافة بين اللوحين المتوازيين $2mm$ ، أحسب:
(أ) المجال الكهربائي بين لوحيه.
(ب) الشحنة الكهربائية.
(جـ) الطاقة الكهربائية بين لوحيه.
(د) إذا كان فرق الجهد بين اللوحين $40V$ مع بقاء مقدار السعة ثابت، كم تصبح الطاقة الكهربائية المختزَنة؟

3. وضع بروتون شحنته $q = (1.6 \times 10^{-19})C$ في مجال كهربائي منتظم.
أُحسب مقدار شدّة المجال الكهربائي واتّجاهه إذا كان ينتج قوّة كهربائية مساوية في المقدار لوزن الشحنة ولكن باتّجاه معاكس، علمًا أنّ كتلة البروتون تساوي $(1.67 \times 10^{-27})kg$.

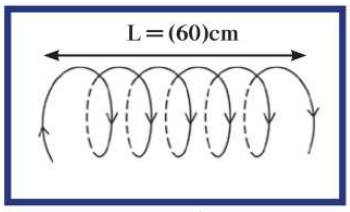
5. ملفّ دائري، (شكل 122)، نصف قطره $40cm$ مؤلف من (50) لفّة، ويمرّ به تيّار كهربائي شدّته $0.1A$.
(أ) أُحسب مقدار شدّة المجال المغناطيسي عند مركز الملفّ الدائري.
(ب) حدِّد عناصر متّجه المجال المغناطيسي.

موقع المناهج الكويتية
almanahj.com/kw



(شكل 122)

6. ملفّ حلزوني طوله $60cm$، مؤلّف من (1000) لفّة، يمرّ به تيّار كهربائي مستمرّ شدّته $2A$ بالاتّجاه المبيّن في الشكل (123).



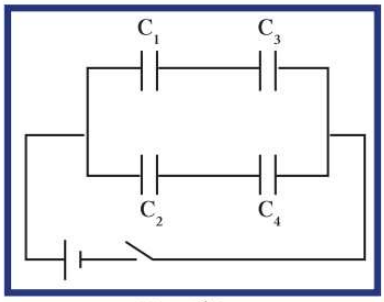
(شكل 123)

(أ) أُحسب مقدار شدّة المجال المغناطيسي الناتج عن مرور التيّار عند مركز الملفّ الحلزوني.
(ب) حدِّد عناصر متّجه المجال المغناطيسي.

جمعة الوحدة 3

8. مكثّف متّصل بمصدر فرق جهده (V). تمّ إبعاد سطحيه المتوازيين عن بعضهما بعضًا بدون فصله عن مصدر الجهد. اِشرح كيف سيتغيّر كلّ من مقدار الشحنة والطاقة الكهربائية المختزَنة كنتيجة لإبعاد السطحين عمّا كانا عليه.

9. وُصِلت مجموعة من المكثّفات $C_1 = (2)\mu F$ $C_2 = (6)\mu F$، $C_3 = (2)\mu F$، $C_4 = (3)\mu F$ بمصدر جهد مستمرّ (48)V، كما هو موضّح في الشكل (124). أُحسب:



(شكل 124)

(أ) مقدار السعة المكافئة للمكثّفات.

(ب) الشحنة الكهربائية وفرق الجهد على كلّ مكثّف.

(جـ) الطاقة الكهربائية المختزَنة على المكثّف C_2 بعد شحنه.

موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

11. مكثّفان متماثلان سعة كلّ منهما C متّصلان معًا على التوالي بمصدر جهد V.

(أ) أُحسب فرق الجهد، والطاقة الكهربائية المختزَنة في كلّ منهما بدلالة C و V.

(ب) إذا وُضِع في أحدهما مادّة عازلة لها ثابت عزل كهربائي نسبي ε_r، فكم تصبح السعة، والشحنة، والطاقة الكهربائية المختزَنة في كلّ منهما؟

الوحدة الرابعة

الدرس 1-1

الضوء
Light

خواصّ الضوء
Properties of Light

نظرية نيوتن عن الضوء

1- تصف الضوء على أنه جسيمات تسير بخط مستقيم

2- يمثل بشعاع واستخدمت في دراسة انعكاس وانكسار الضوء في البصريات الهندسية

النظرية الموجية لهيجنز

تعتبر الضوء موجات

تفسر الظواهر كالتداخل والحيود

موقع المناهج الكويتية
almanahj.com/kw

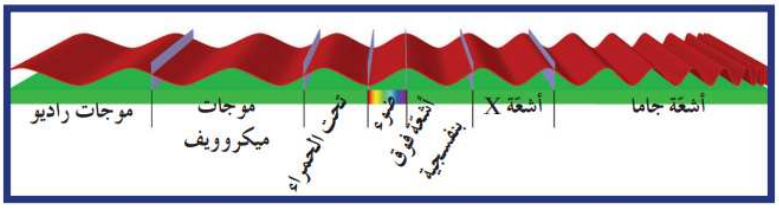
1. الضوء

الشحنات الكهربائية المعجلة أو الشحنات الكهربائية التي تهتز تطلق موجات طاقة تنتشر بجزء كهربائي وجزء مغناطيسي وتسمى الموجات الكهرومغناطيسية

الضوء المرئي: هو موجات كهرومغناطيسية وهو جزء صغير من طيف الموجات الكهرومغناطيسية

يتألف الطيف الكهرومغناطيسي

موجات الراديو – موجات الميكروويف – الاشعة تحت الحمراء – الضوء المرئي – الأشعة فوق بنفسجية – أشعة X – أشعة جاما



الموجات الكهرومغناطيسية:

هي موجات ذات طبيعة واحدة تتكون من مجالين كهربائي ومغناطيسي متعامدين متلازمين ومتفقين بالطور

خواص الموجات الكهرومغناطيسية

1- تنتقل في الفراغ بسرعة ثابتة $(C = 3 \times 10^8 m/s)$

2- تختلف سرعة الضوء المنتقل في الوسط باختلاف الكثافة الضوئية

3- تنتشر في جميع الاتجاهات

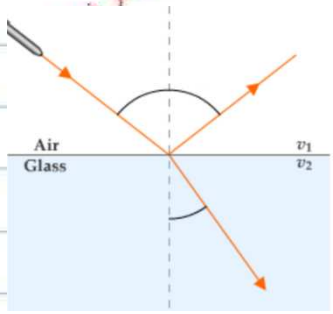
4- تنعكس على السطوح اللامعة والمصقولة

5- تنكسر على السطوح الفاصلة بين وسطين شفافين

6- تتداخل وتحيد وتستقطب

ملاحظة : تقل سرعة الضوء المنتقل في الوسط كلما زادت الكثافة الضوئية للوسط وتصبح صفرا في الأوساط غير الشفافة

2. انعكاس الضوء وانكساره



عند سقوط موجة ضوئية على سطح شفاف يفصل بين وسطين مختلفين فإنه

1- يرتد بعض من طاقة الضوء أو كلها ويسمى هذا بالانعكاس

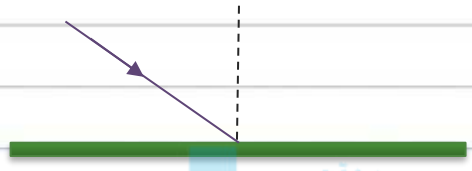
2- قد ينفذ بعض الطاقة إلى الوسط الثاني ويسمى هذا انكسار

ملاحظات

1- في كثير من الحالات تكون ظاهرتي الانكسار والانعكاس مترافقتين وسندرس كل ظاهرة على حدة للتسهيل

2- سنستخدم البصريات الهندسية لدراسة الظاهرتين وسنمثل الضوء بشعاع لأن استخدام البصريات الفيزيائية والسلوك الموجي لموجة الضوء لن يضيف أي جديد

1. انعكاس الضوء

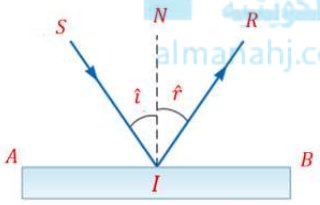


ماذا يحدث لشعاع الضوء الساقط على سطح عاكس غير منفذ للضوء

الحدث : ينعكس الشعاع الضوئي

التفسير : بسبب تغير اتجاه الانتشار نتيجة وجود السطح العاكس

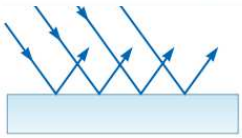
موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw



انعكاس الضوء: هو التغير المفاجئ في اتجاه شعاع الضوء على سطح عاكس

ماذا يحدث للأشعة الضوئية المتوازية إذا سقطت على سطح عاكس

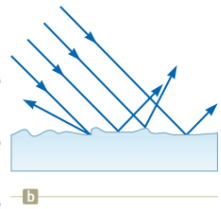
أ- مصقولا



الحدث : ينعكس الضوء انعكاسا منتظما

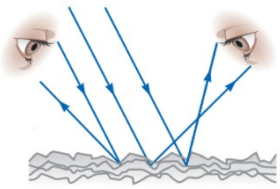
التفسير : لأن الأشعة الساقطة ترتد بشكل متواز

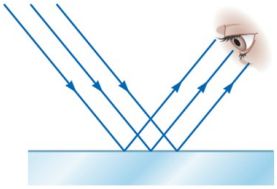
ب - خشنا (غير مصقول)



الحدث: ينعكس الضوء انعكاسا غير منتظما

التفسير : لأن الأشعة الساقطة تنعكس في اتجاهات عديدة





يقسم الانعكاس

انعكاس غير منتظم

انعكاس منتظم

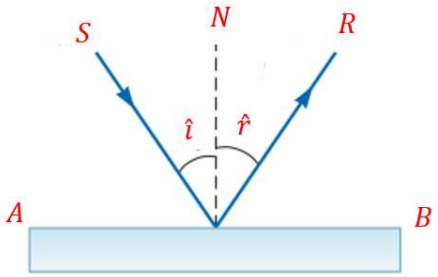
ملاحظة : إن معظم ما نراه حولنا هو انعكاس غير منتظم

قارن بين الانعكاس المنتظم والانعكاس غير المنتظم

من حيث	الانعكاس المنتظم	الانعكاس غير المنتظم
طبيعة السطح العاكس	مصقول (أملس)	خشن
اتجاه ارتداد الأشعة الساقطة متوازية على السطح	بشكل متواز	في اتجاهات متعددة

2.3 قانونا الانعكاس (قانونا ديكارت)

القانون الأول لانعكاس الضوء : الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنعكس والعمود المقام على السطح العاكس من نقطة السقوط تقع جميعها في مستو واحد عمودي على السطح العاكس



القانون الثاني لانعكاس الضوء : زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس

ملاحظة

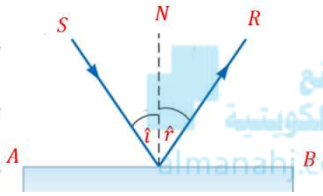
1- يسمى القانونين السابقين بقانوني ديكارت

2- اذا كانت زاوية السقوط صفرا فان زاوية الانعكاس تكون صفرا أيضا

علل إذا سقط شعاع ضوئي عمودي على السطح العاكس فإنه يرتد على نفسه

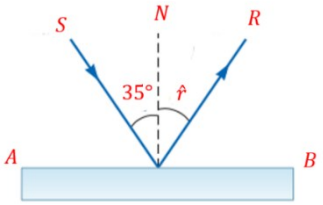
لأن زاوية السقوط تساوي الصفر فتكون زاوية الانعكاس تساوي الصفر

حل التمارين التالية



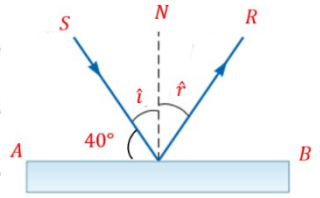
1- إذا كانت الزاوية بين الشعاع الساقط على سطح مصقول أملس والشعاع المنعكس تساوي (80°) أحسب مقدار كل من زاوية السقوط وزاوية الانعكاس

$$\hat{i}+\hat{r}=80° \because \hat{i}=\hat{r} \Rightarrow 2\hat{i}=80° \Rightarrow \hat{r}=\hat{i}=40°$$



2- من خلال المعطيات المدونة على الشكل اوجد زاوية الانعكاس

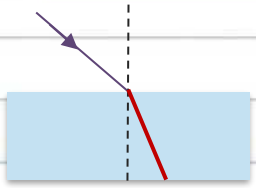
$$\hat{r}=\hat{i}=35°$$



3- من خلال المعطيات المدونة على الشكل اوجد زاوية السقوط

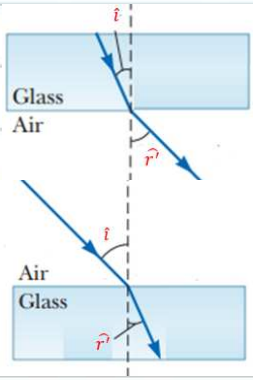
$$\hat{i}=90°-40°=\ 50°$$

2. انكسار الضوء



تعريف الانكسار : هو التغير المفاجئ في اتجاه شعاع الضوء عند مروره بشكل مائل على السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين بالكثافة الضوئية بسبب تغير سرعته

ماذا يحدث في الحالات التالية :



أ- عندما ينتقل شعاع ضوئي من وسط اكبر كثافة ضوئية إلى وسط اقل كثافة ضوئية

الحدث: ينكسر مبتعدا عن العمود

التفسير: لأن سرعة الضوء في الوسط الثاني أكبر من سرعة الضوء في الوسط الأول

ب- عندما ينتقل شعاع ضوئي من وسط أقل كثافة ضوئية إلى وسط أكبر كثافة ضوئية

الحدث: ينكسر مقتربا من العمود

التفسير: لأن سرعة الضوء في الوسط الأول أكبر من سرعة الضوء في الوسط الثاني

ت- إذا سقط شعاع ضوئي عموديا على السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين في الكثافة الضوئية

الحدث: الشعاع تتغير سرعته مقدارا بينما يكمل مساره دون انحراف في اتجاهه

التفسير: تغيرت سرعته لأنه انتقل بين وسطين مختلفين بالكثافة الضوئية ولم ينحرف لأن زاوية السقوط تساوي زاوية الانكسار وتساوي الصفر

معامل الانكسار المطلق : النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعة الضوء في الوسط

تحسب معامل الانكسار المطلق من العلاقة :

$$n = \frac{c}{v}$$

سرعة الضوء في الفراغ

معامل الانكسار المطلق

سرعة الضوء في الوسط

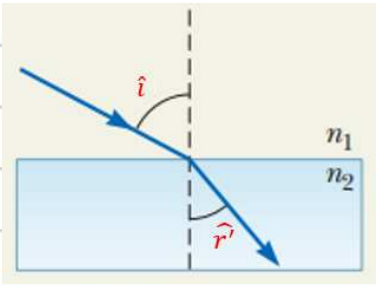
اذكر العوامل التي تتوقف عليها معامل الانكسار المطلق

(نوع الوسط فقط)

نشاط : من خلال إجراء النشاط التالي عند تغير زاوية سقوط الشعاع الضوئي على سطح فاصل بين وسطين وحساب زاوية الانكسار للشعاع الضوئي تم الوصول إلى النتائج التالية

$\hat{\imath}$	15°	30°	45°	60°	75°
$\widehat{r'}$	9.93°	19.47°	28.12°	35.26°	40°
$\sin\hat{\imath}$	0.258	0.5	0.707	0.866	0.96
$\sin\widehat{r'}$	0.172	0.333	0.471	0.577	0.642
$\frac{\sin\hat{\imath}}{\sin\widehat{r'}}$	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
$\frac{\hat{\imath}}{\widehat{r'}}$	1.51	1.54	1.6	1.7	1.875
ماذا تلاحظ	كلما زادت زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار وتبقى النسبة بين جيبيهما ثابت تمثل معامل الانكسار النسبي				

موقع المناهج الكويتية manahj.com/kw

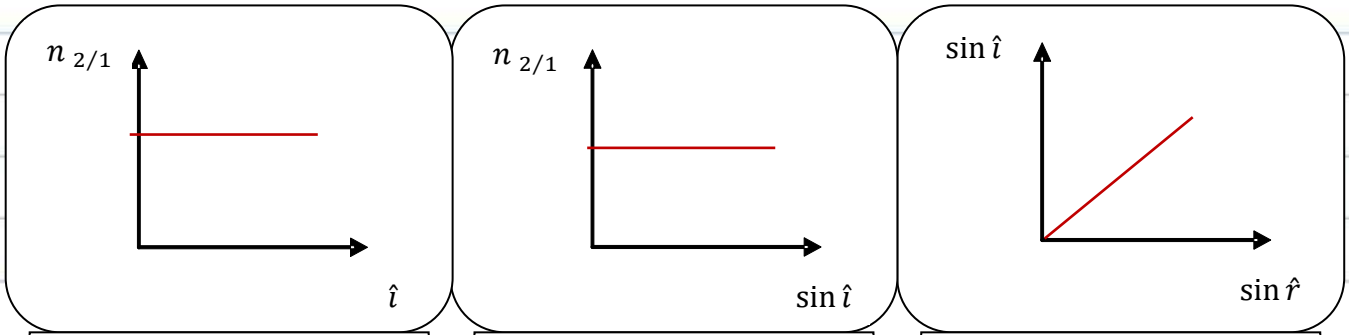


القانون الأول في الانكسار : الشعاع الضوئي الساقط والشعاع الضوئي المنكسر والعمود عند نقطة السقوط على السطح الفاصل تقع جميعها في مستوى واحد عمودي على السطح الفاصل

القانون الثاني في الانكسار: النسبة بين جيب زاوية السقوط للشعاع الساقط في الوسط الأول إلى جيب زاوية الانكسار في الوسط الثاني تساوي نسبة ثابتة تسمى معامل الانكسار من الوسط الأول إلى الوسط الثاني

$$n_{2/1} = \frac{\sin\hat{\imath}}{\sin\widehat{r'}}$$

ارسم العلاقات البيانية التالية



جيب زاوية السقوط وجيب زاوية الانكسار	معامل الانكسار النسبي بين مادتين وجيب زاوية السقوط	معامل الانكسار النسبي بين مادتين وزاوية السقوط

ملاحظات هامة

1- إذا زادت زاوية السقوط فان زاوية الانكسار تزداد وتبقى النسبة بين جيبي زاويتهما ثابتة تمثل معامل الانكسار النسبي

2- مهما ازدادت زاوية السقوط فان معامل الانكسار النسبي بين مادتين لا يتغير

نتائج مهمة

1- يحسب معامل الانكسار المطلق من العلاقة : $n = \frac{c}{v}$

2- من القانون الثاني في الانكسار نجد أن $n_{2/1} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \hat{\imath}}{\sin \hat{r'}}$

3- معامل الانكسار المطلق للهواء يساوي الواحد $n_{\text{هواء}} = 1$

4- الهواء والفراغ واحد بالنسبة للضوء تقريبا

5- معامل الانكسار النسبي لا يساوي الواحد ويمكن أن يكون اكبر أو اصغر من الواحد $n_{2/1} = \frac{1}{n_{1/2}}$

6- إذا قال سقط شعاع ضوئي على سطح متوازي مستطيلات اعتبر أن الوسط الأول هواء أو فراغ

7- قانون سنل : $n_1 \sin \hat{\imath} = n_2 \sin \hat{r}$

8- إذا كان الوسط الأول هواء فإن قانون سنل يصبح : $\sin \hat{\imath} = n \sin \hat{r}$

أي معامل الانكسار المطلق للمادة يحسب من العلاقة $n = \frac{\sin \hat{\imath}}{\sin \hat{r'}}$

9- إذا سقط شعاع ضوئي عموديا على السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفي في الكثافة الضوئية فإن الضوء يكمل مساره من دون أي انحراف وتتغير سرعته

عدد العوامل التي يتوقف عليها معامل الانكسار النسبي بين وسطين

نوع الوسطين

علل لما يأتي تعليلا علميا سليما

1- يحدث انكسار للضوء عند مروره بشكل مائل على السطح الفاصل بين وسطين شفافين مختلفين بالكثافة الضوئية

بسبب اختلاف سرعة الضوء بين الوسطين

2- ليس لمعامل الانكسار وحدة قياس

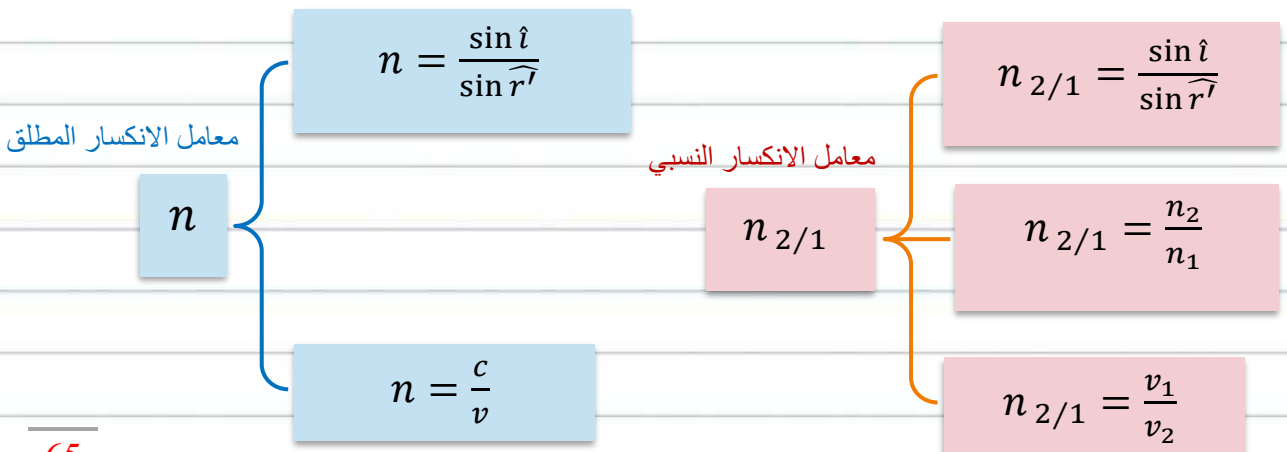
لأنه نسبة بين كميتين فيزيائيتين لهما نفس وحدة القياس

3- الكثافة الضوئية (معامل الانكسار المطلق) تكون اكبر من الواحد حتما

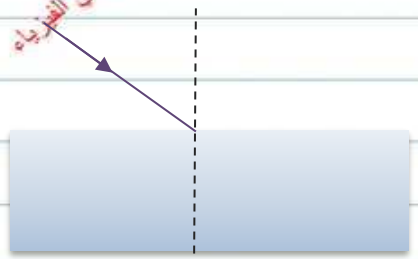
بما ان معامل الانكسار المطلق يساوي $n = \frac{c}{v}$ وسرعة الضوء في الفراغ أكبر من سرعة الضوء في أي وسط آخر $c > v$

4- معامل الانكسار النسبي بين مادتين لا يتغير بتغير زاوية السقوط

لأنه لو زادت زاوية السقوط تزداد زاوية الانكسار وتبقى النسبة بين جيبيهما ثابت تمثل معامل الانكسار النسبي

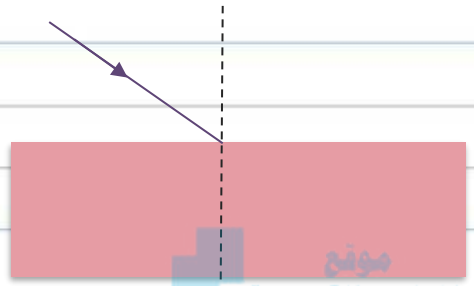


حل التمارين التالية :



التمرين الأول: سقط شعاع ضوئي مائلا على سطح متوازي مستطيلا ت زجاجي بزاوية (30°) احسب زاوية انكسار الضوء إذا علمت أن معامل الانكسار المطلق الزجاج $n_g = \sqrt{3}$

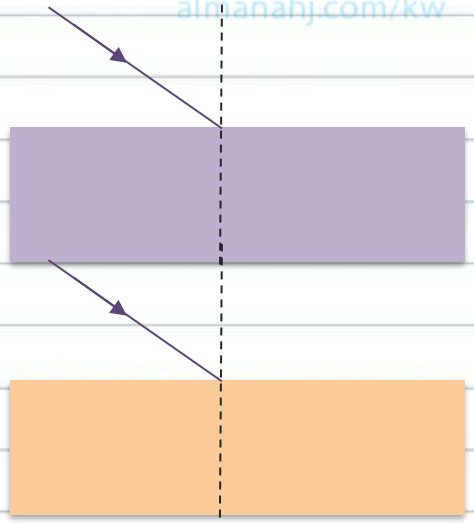
$$n_g = \frac{\sin i}{\sin r} \Rightarrow \sqrt{3} = \frac{\sin 60}{\sin r} \Rightarrow r = 30°$$



التمرين الثاني : سقط شعاع ضوئي على سطح متوازي مستطيلا ت زجاجي بزاوية سقوط (30°) إذا علمت أن الكثافة الضوئية الزجاج $(n_g = \sqrt{3})$ احسب زاوية انكسار الضوء.

$$n_g = \frac{\sin i}{\sin r} \Rightarrow \sqrt{3} = \frac{\sin 30}{\sin r} \Rightarrow r = 16.77°$$

موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw



التمرين الثالث : سقط شعاع ضوئي على سطح متوازي مستطيلا ت زجاجي فكانت زاوية انكساره (20°) احسب زاوية سقوط الشعاع الضوئي إذا علمت أن الكثافة الضوئية الزجاج $(n_g = \sqrt{3})$

$$n_g = \frac{\sin i}{\sin r} \Rightarrow \sqrt{3} = \frac{\sin i}{\sin 20} \Rightarrow i = 36.32°$$

التمرين الرابع: سقط شعاع ضوئي على سطح متوازي مستطيلا ت زجاجي فصنع الشعاع الضوئي المنكسر مع المستوى الفاصل بين الوسطين زاوية (75°) احسب زاوية سقوط الشعاع الضوء إذا علمت أن الكثافة الضوئية الزجاج $(n_g = \sqrt{3}))$

$$n_g = \frac{\sin i}{\sin r} \Rightarrow \sqrt{3} = \frac{\sin i}{\sin 15} \Rightarrow i = 26.63°$$

حل المسألة التالية: إذا كان معامل الانكسار المطلق للماء $(n_w = 1.25)$ و ومعامل الانكسار المطلق للزجاج يساوي $(n_g = 1.5)$ وسرعة الضوء في الماء $(v_w = 2.4 \times 10^8\, m/s)$ وإذا علمت أن الشعاع الضوئي ينتقل من الماء إلى الزجاج وكانت زاوية السقوط (50°) المطلوب

1. احسب معامل الانكسار النسبي من الماء إلى الزجاج

$$n_{g/w} = \frac{n_g}{n_w} = \frac{1.5}{1.25} = 1.2$$

2. زاوية الانكسار

$$n_{g/w} = \frac{\sin i}{\sin r} \Rightarrow 1.2 = \frac{\sin 50}{\sin r} \Rightarrow r = 39.67°$$

3. سرعة الضوء في الزجاج

$$n_{g/w} = \frac{v_w}{v_g} \Rightarrow 1.2 = \frac{2.4 \times 10^8}{v_g} \Rightarrow v_g = 2 \times 10^8 m/s$$

4. إذا زدنا زاوية السقوط ماذا يحدث لكل من زاوية الانكسار ومعامل الانكسار النسبي فسر إجابتك

تزداد زاوية الانكسار لكن معامل الانكسار النسبي لا يتغير لأنه يتغير بتغير نوع الوسطين فقط

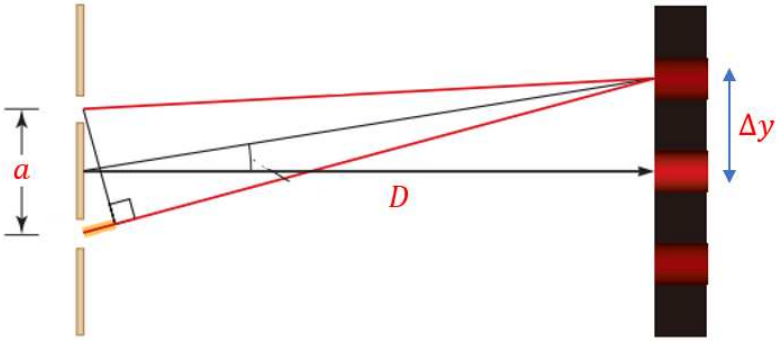
5. البصريات الفيزيائية

علل لا يمكن تفسير الحيود والتداخل باستخدام البصريات الهندسية

لأن هذه النظرية اهملت الخواص الموجية للضوء

6. تداخل الضوء

من خلال اجراء تجربة الشق المزدوج ليونج



المشاهدة: يتشكل على الحائل أهداب مضيئة يتخللها اهداب مظلمة والهدب المركزي هو هدب مضيء

التفسير : لأنه عندما يحدث تداخل بناء للموجتان الضوئيتان يتشكل هدب مضيء وعندما يحدث تداخل هدام يتشكل هدب مظلم

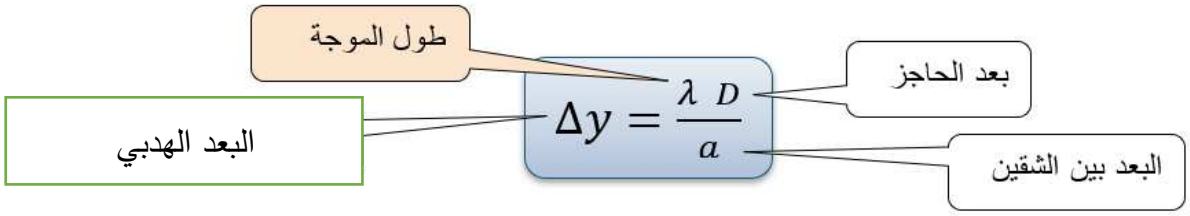
موقع المناهج الكويتية almanahj.com/kw

اذكر الشروط الواجب توافرها في تجربة شقا يونج لحدوث ظاهرة التداخل

1- استخدام مصدر ضوئي أحادي التردد

2- أن تعمل الفتحتان كمصدرين ضوئيين يبعثان موجات متزامنة متفقة في الطور

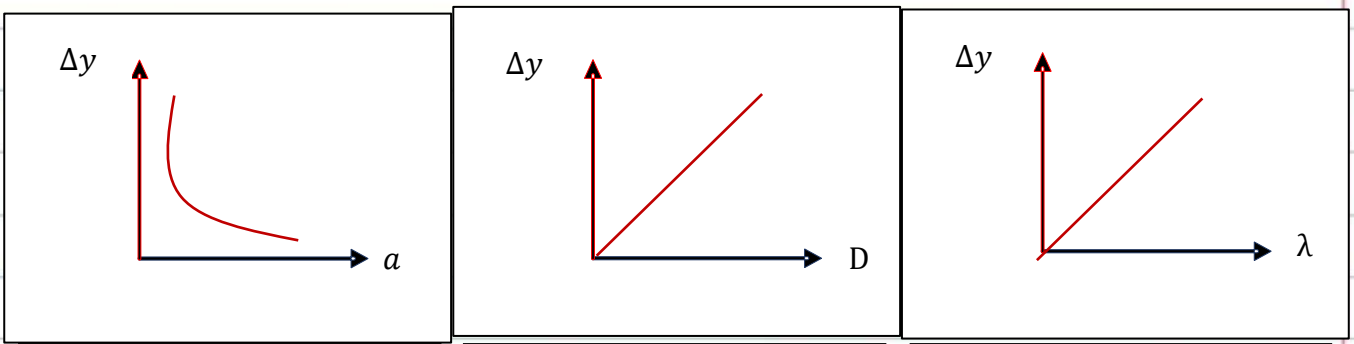
البعد الهدبي (Δy) : هو البعد بين مركزي هدبين متتالين من نفس النوع



عدد العوامل التي يتوقف عليها البعد الهدبي

1- طول الموجة 2- بعد الحاجز عن الشقين 3- المسافة بين الشقين

2- ارسم الخطوط والمنحنيات المعبرة عن تغير البعد بين مركزي هدبين متتاليين وكلا من



نتائج من تجربة الشق المزدوج ليونج

1- أكدت على الطبيعة الموجية للضوء (أثبتت الخواص الموجية للضوء) وبالتالي أكدت صحة نظرية هيجنز الموجية

2- سمحت بقياس الطول الموجي للضوء المستخدم

قارن بين التداخل البناء والتداخل الهدام

	التداخل البنائي	التداخل الهدمي
شرط الحدوث	أن يكون فرق المسير بين الموجات الضوئية اعداد صحيحة من طول الموجة	أن يكون فرق المسير بين الموجات الضوئية اعداد فردية من نصف طول الموجة
معادلة فرق المسير	$\delta = n\lambda$	$\delta = (2n+)\frac{\lambda}{2}$
نوع الهدب المتكون	مضيء	مظلم

علل لما يأتي تعليلا علميا سليما :

1- الهدب المركزي دائما هدب مضيء ولا يمكن أن يكون مظلم (معتم) :

لأنه فرق المسير بين الموجات المتداخلة عند المركز يكون يساوي الصفر حتما فالتداخل بنائي

almanahj.com/kw

2- لماذا استخدم يونغ شقين ولم يستخدم منبعين ضوئيين متماثلين

لكي تعمل الفتحتان كمصدرين ضوئيين يبعثان موجات متزامنة متفقة في الطور

ماذا يحدث للبعد بين أي هدبين متتاليين في تجربة شقا يونغ في الحالات التالية

1- استبدلنا الضوء بآخر طول موجته مثلي طول موجة الضوء المستخدم مع تثبيت باقي العوامل

الحدث: يزداد للمثلين

التفسير : لأن البعد الهدبي يتناسب طرديا مع طول الموجة

2- زدنا بعد الحاجز عن الشقين مع تثبيت باقي العوامل

الحدث: يزداد

التفسير : لأن البعد الهدبي يتناسب طرديا مع بعد الحاجز عن الشقين

3- زدنا المسافة بين الشقين مع تثبيت باقي العوامل

الحدث: يقل

التفسير : لأن البعد الهدبي يتناسب عكسيا مع المسافة بين الشقين

ملاحظات :

1- المسافة بين أي هدبين متتاليين مضيئين أو مظلمين (Δy) (البعد الهدبي) نستخدم العلاقة التالية $\Delta y = \frac{\lambda D}{a}$

2- المسافة بين هدب مضيء وهدب مظلم تالي تساوي $\frac{\Delta y}{2}$

3- لتحديد موقع الأهداب المضيئة على الحائل بالنسبة للهدب المضيء المركزي نستخدم العلاقة التالية

$x = \frac{n\lambda D}{a}$ $x = n\,\Delta y$

($n = 0,1,2,3,4,5, \dots\dots$) حيث

حيث الهدب المركزي $n = 0$ والأول $n = 1$ وهكذا

4- لتحديد موقع الأهداب المظلمة على الحائل بالنسبة للهدب المضيء المركزي نستخدم العلاقة التالية

$x' = \frac{(2n+1)\lambda D}{2a}$ $x' = \frac{(2n+1)\Delta y}{2}$

($n = 0,1,2,3,4,5, \dots\dots$) حيث

حيث الهدب المظلم الأول $n = 0$ و الثاني $n = 1$

والثالث $n = 2$ وهكذا

حل المسائل التالية :

المسألة الأولى : في تجربة الشق المزدوج ليونج كانت المسافة بين الفتحتين الضيقتين $(0.2)mm$ والمسافة بين الشقين والحائل $(1.5)m$ وطول الموجة للضوء المستخدم $(6\times10^{-7})m$ المطلوب

1- البعد الهدبي

$$\Delta y=\frac{\lambda D}{a}=\frac{6\times10^{-7}\times1.5}{0.2\times10^{-3}}=4.5\times10^{-3}m$$

2- بعد الهدب المضيء الثاني عن الهدب المركزي

$$x_2=\frac{n\lambda D}{a}=\frac{2\times6\times10^{-7}\times1.5}{0.2\times10^{-3}}=9\times10^{-3}m \quad \text{أو} \quad x_2=n\,\Delta y=2\times4.5\times10^{-3}=9\times10^{-3}m$$

3- بعد الهدب المظلم الرابع عن الهدب المركزي

$$x'_4=\frac{(2n+1)\,\lambda\,D}{2a}=\frac{(2\times3+1)6\times10^{-7}\times1.5}{2\times0.2\times10^{-3}}=0.01575m$$

4- البعد بين مركز الهدب المظلم الرابع ومركز الهدب المضيء الثاني

$$x=x'_4-x_2=0.01575-9\times10^{-3}=6.75\times10^{-3}m$$

المسألة الثانية :في تجربة يونج كانت المسافة بين الشقين $(0.05)\ cm$ والمسافة بين لوح الشقين والحائل تساوي $(5)\ m$ إذا كان الهدب السادس المضيء يبعد عن الهدب المركزي $(3)\ cm$ أحسب:

1- احسب الطول الموجي للضوء المستخدم

$$x_6=\frac{n\lambda D}{a}\Rightarrow0.03=\frac{6\times\lambda\times5}{0.0005}\Rightarrow\lambda=5\times10^{-7}m$$

2- المسافة بين هدبين متتاليين مضيئين

$$\Delta y=\frac{\lambda D}{a}=\frac{5\times10^{-7}\times5}{0.0005}=5\times10^{-3}m$$

المسألة الثالثة (11) مراجعة الكتاب :في تجربة الشق المزدوج لتوماس يونج كانت المسافة بين الفتحتين الضيقتين $(1\times10^{-4})\ m$ والمسافة بين الشقين والحائل تساوي $(1)\ m$ والمسافة بين هدبين مضيئين متتاليين $(6)\ mm$ أحسب الطول الموجي للضوء أحادي اللون المستخدم

مراجعة الدرس 1-1

أوّلًا – عرّف انكسار الضوء، واكتب قانوني الانكسار.

ثانيًا – عرّف انعكاس الضوء، واكتب قانوني الانعكاس.

رابعًا – اكتب الشروط الواجب توفرها في تجربة الشقّ المزدوج ليونج لحدوث ظاهرة التداخل.

خامسًا – إذا كان معامل الانكسار للماء $\frac{4}{3}$ وسرعة الضوء في الفراغ تساوي $c = (3 \times 10^8)\text{m/s}$، أُحسب سرعة الضوء في الماء.

سادسًا – إنّ معامل الانكسار المطلق للماء يساوي 1.33 ومعامل الانكسار المطلق للزجاج يساوي 1.54. أُحسب معامل انكسار الزجاج بالنسبة إلى الماء.

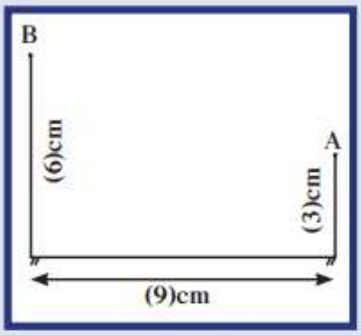
سابعًا – سقط شعاع ضوئي على سطح زجاجي بزاوية سقوط 30°. أُحسب زاوية الانكسار، علمًا أنّ معامل الانكسار المطلق للزجاج يساوي 1.5.

ثامنًا – أُرسِل شعاع ضوئي من النقطة A التي تبعد عن سطح مرآة مستوية (3)cm، ليصل إلى النقطة B التي تبعد عن السطح (6)cm بعد انعكاسه. علمًا أنّ المسافة بين مسقط النقطتين على المرآة تساوي (9)cm (شكل 142):

(أ) أُحسب زاوية السقوط وزاوية الانعكاس.

(ب) وضّح بالرسم البياني ظاهرة الانعكاس.

تاسعًا – في تجربة الشقّ المزدوج لتوماس يونج، كانت المسافة الفاصلة بين الفتحتين الضيقتين $(2 \times 10^{-4})\text{m}$ والمسافة بين الشقّ المزدوج والحائل (1)m والمسافة بين هدبين متتاليين مضيئين $(2.5 \times 10^{-3})\text{m}$. أُحسب الطول الموجي للضوء أحادي اللون المُستخدَم.



(شكل 142)

موقع المناهج الكويتية
almanahj.com/kw

8. سقط شعاع ضوئي على السطح الفاصل بين وسطين شفّافين مختلفين بزاوية (60°)، وكانت الزاوية المحصورة بين الشعاع المنكسر والسطح الفاصل (60°). أُحسب معامل الانكسار النسبي بين هذين الوسطين.

تحقق من فهمك

ضع علامة (✓) في المربع الواقع أمام أنسب إجابة في كلّ ممّا يلي:

4. سقط شعاع ضوئي بزاوية (40°) على سطح زجاجي معامل انكساره المطلق (1.5)، فإنّ زاوية انكسار الشعاع تساوي:

☐ 25.3 ☐ 74.6

☐ 30.6 ☐ 20

تحقق من معلوماتك

4. ما هي الظاهرة الفيزيائية التي تؤكّد الطبيعة الموجية للضوء؟

5. أُكتب قانوني انكسار الضوء.