١١
الجُزءُ
الثاني

بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم

الفيزياء

العلمي والصناعي

فريق التأليف:

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

مركز المناهج

أ. أحمد سياعرة (منسقاً)

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

الإشراف العام

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

الدائرة الفنية

إشراف فني	كمال فحماوي
تصميم فني	ابتهال صوالحة

تحكيم علمي	د. مؤيد أبو صاع
قراءة	أ. يوسف عودة
تحرير لغوي	أ. وفاء الجيوسي
رسومات	أ. سالم نعيم
متابعة المحافظات الجنوبية	د. سمية النخالة

الطبعة الثانية
٢٠١٩ م/ ١٤٤٠ هـ

جميع حقوق الطبع محفوظة ©

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم

مركز المناهج

حي الماصيون، شارع المعاهد
ص. ب 719 – رام الله – فلسطين
pcdc.edu.ps | pcdc.mohe@gmail.com
moehe.gov.ps | mohe.pna.ps | mohe.ps
.com/MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym
فاكس +970-2-2983250 | هاتف +970-2-2983280

تـقـديـم

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

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

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

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

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

وزارة التربية والتعليم

مركز المناهج الفلسطينية

كانون الأول / ٢٠١٧م

مـقـدمـة

إن اهتمام وزارة التربية والتعليم الفلسطينية بتطوير مناهج التعليم؛ وتحديثها في إطار الخطة العامة للوزارة؛ وسعيها الحثيث لمواكبةِ التطورات العالمية على الصُّعُد كافة، باستلهام واضح للتطوّر العلمي والتكنولوجي المتسارع، وبما ينسجم وتطلعاتنا للطالب الذي نطمح؛ ليغدو فاعلا، وباحثا، ومجربّا، ومستكشفا، ومتأملا.

في هذا الإطار؛ يأتي كتاب الفيزياء للصف الحادي عشر في إطار مشروع تطوير مناهج العلوم الهادف إلى إحداث تطوير نوعيٍّ في تعليم العلوم، وتعلّم كل ما يرتبط بها من محاور واكتساب ما تتطلبه من مهارات، وبما يوفّر الضمانات الكفيلة بأن يكون للطالب الدور الرئيس المحوريُّ في عملية التعلم والتعليم .

أما عن الكتاب الذي بين أيدينا، فقد توزعّت مادته بحيث يشتمل على سبعة فصول في موضوع طبيعة الضوء، الكهرباء السكونية، والفيزياء الطبية، وحرصنا على عرض المحتوى بأسلوب سلسٍ، وبتنظيمٍ تربوِّي فاعل؛ يعكس توجهات المنهج وفلسفتهُ، ويتمثل في دورة التعلم، حيث تم إستخدام المعادلة والقوانين بالحروف الإنجليزية ليخدم الطلبة الذين سيتابعون دراستهم الجامعية في المجالات العلمية.

اشتمل المحتوى على أنشطةٍ متنوعةِ المستوى تتَّسِمُ بإمكانية تنفيذ الطلبة لها، مراعِيَةً في الوقت نفسهِ مبدأ الفروق الفردية بينهم، مع الاهتمام بتضمين المحتوى صورا ورسومات إيضاحيّة معبّرة تعكسُ طبيعة الوحدة أو الدرس، مع تأكيد الكتاب في وحداتهِ ودروسهِ المختلفةِ على مبدأ التقويم التكوينيّ، والتقويم الواقعيّ .

وتستلهم فلسفةُ الكتاب أهميّة اكتساب الطالب منهجية علمية في التفكير والعمل، وتنمية مهاراته العقلية والعملية، ومنها: قراءة الصور، والكتابة والقراءة العلميّة، والرسم، وعملُ النماذج والتجارب، علاوة على اهتمامها بربط المعرفة بواقع حياة الطالب من جهة، وبالرياضيات من جهة أخرى، لجعل التكامل حقيقة واقعة، وهدفا قابلا للتحقق.

فريق التأليف

المحتويات

الوَحدةُ الثانية: الضوء

الفصل السابع: طبيعة الضوء	٣

الوَحدةُ الثالثة: الكهرباء السكونية

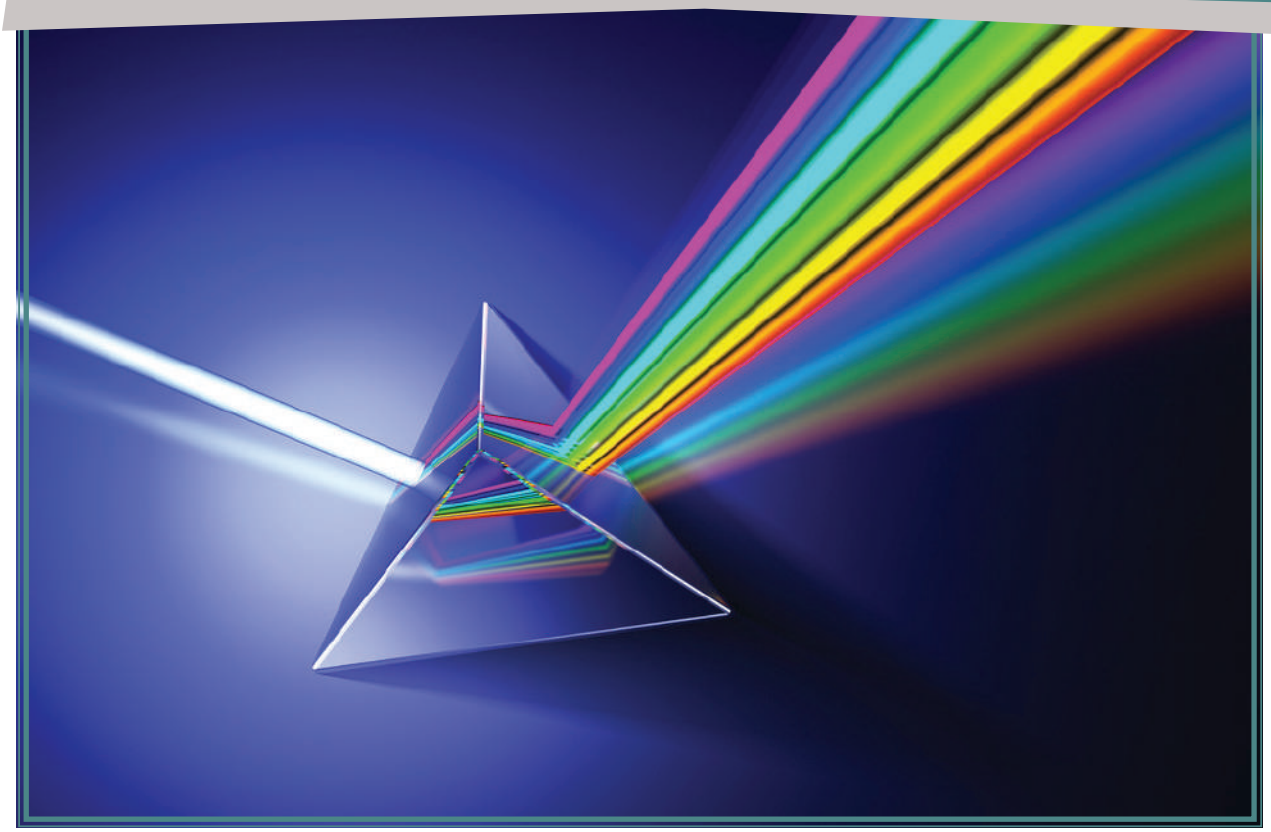
الفصل الثامن: الشحنة الكهربائيّة وقانون كولوم	٢٤
الفصل التاسع: المجال الكهربائي	٣٤
الفصل العاشر: الجهد الكهربائي	٤٨
الفصل الحادي عشر: السعة الكهربائية	٦١

الوَحدةُ الرابعة: الفيزياء الطبية

الفصل الثاني عشر: التشخيص بالأشعة والأمواج	٨٢
الفصل الثالث عشر: العلاج بالأمواج	٩٣

الوحدة الثانية

الضّوْء



ماذا لو كنتَ قادراً على رؤية أنواع الضَّوْء كافّة ؟

الفصل السابع

طبيعة الضَّوء

سبق أنْ درستَ الضّوء وعرفت أنّه المؤثّر الذي يؤثّر على العين فيسبب الإبصار، وللضّوء نظرياتٌ تفسّر طبيعته، فما طبيعة الضّوء؟ وهل يتكوّن من جُسيْمات أو موجات؟ وما نوع هذه الموجات؟ وكيف يمكن تفسيرُ سلوك الضّوء في ظواهرَ متعددة: كالانعكاس، والانكسار، والتداخل، والحيود؟

بعد دراستك لهذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها يتوقع منك أن:

- تحلّ مسائل على بعض خصائص الضّوء وتطبيقاته.
- تفسّر بعض الظواهر المتعلقة بتطبيقات الضّوء في مجالات متعددة.

1-7 الأمواج الكهرومغناطيسيّة Electromagnetic Waves:

تعلمت في الصفوف السابقة بعض خصائص الضّوء، كالانعكاس، والانكسار.

أناقش

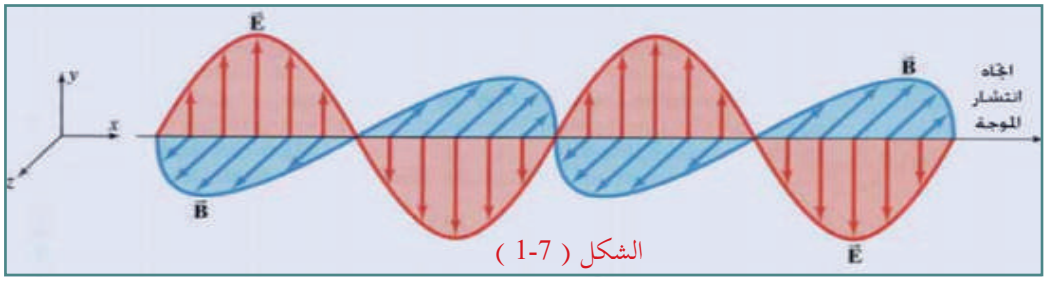
١- ما قوانين انعكاس الضوء؟

٢- ماذا يحدث للشعاع الضّوئي عند انتقاله من الهواء إلى الماء؟

٣- أذكرْ اثنين من التطبيقات الحياتيّة للضّوء.

افترض نيوتن نموذجاً للضّوء اعتبر فيه أنّ الضّوء جُسيْماتٌ متناهية في الصّغر. وكان هذا النموذج هو الأساس الذي اعتمد عليه العلماء في تفسير سلوك الضّوء مثل: الانعكاس والانكسار، ولكن هذا النموذج لم يفسّر التداخل والحيود. ثم اقترح العالم (هايجنز) نموذجاً موجيّاً للضّوء. واستطاع من خلاله إثبات وتفسير خاصيّتيّ الانعكاس والانكسار، ثم جاء بعده العالم (ينغ) والذي أثبت بالتجربة الطبيعة الموجيّة للضّوء، ولكن ما طبيعة هذه الأمواج؟ إذا هززتَ عصًا من طرفها في ماءٍ ساكن، فإنّك تولّد أمواجاً على سطح الماء. وبالمثل إذا هززتَ ساقاً فلزّيّاً مشحوناً بشحنة كهربائيّة في الفضاء، فإنّك تولّد أمواجاً كهرومغناطيسيّة. إنّ اهتزاز الساق المشحون يُنشئ تياراً كهربائيّاً متغيّراً، فيتولّد عنه مجالٌ مغناطيسيّ متغيّر. والمجال المغناطيسي المتغيّر يولّد مجالاً كهربائيّاً.

توصّل العالم (ماكسويل) إلى أنّ الضّوء موجاتٌ كهرومغناطيسيّة تتكوّن من مجاليْن متعامديْن: أحدهما كهربائيّ والآخر مغناطيسيّ، ويتعامدان مع اتّجاه انتشار الموجة، ولا تحتاج إلى وسطٍ ناقل؛ ولذلك يمكنها أنْ تنتشر في الفراغ بسرعةٍ تساوي (3×10^8 m/s) ، كما في الشكل (1-7).



الشكل (1-7)

وقد مرّ معك سابقاً العلاقة التي تربط بين التردّد وطول الموجة وسرعة انتشار الموجة.

$$c = \lambda f \qquad (7\text{-}1)$$

حيث c: سرعة الضوء في الفراغ.

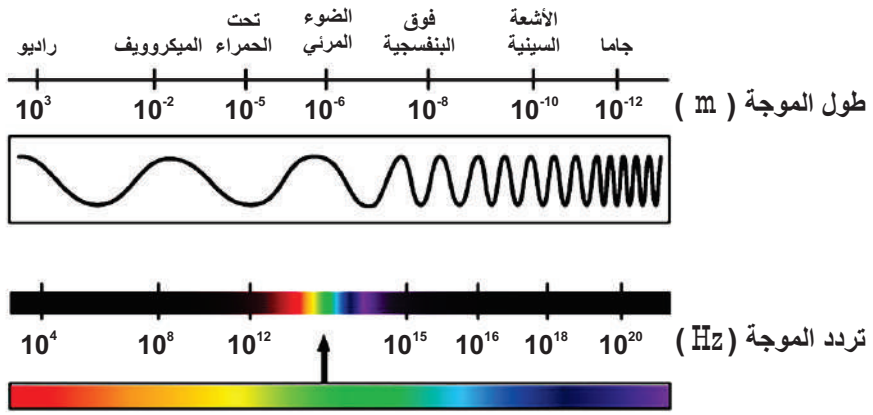
λ: الطول الموجي ويقاس بوحدة المتر.

f: التردد ويقاس بوحدة الهيرتز.

2-7 الطيْف الكهرومغناطيسيّ Electromagnetic Spectrum:

هناك الكثير من التطبيقات للأمواج الكهرومغناطيسيّة في حياتنا اليوميّة؛ كالهواتف الخلويّة، وأجهزة التحكم عن بعد، وأفران الميكروويف، وأبراج الهواتف الخلويّة، وغيرها. كذلك بثّ الإشارات من محطات الإذاعة، والتلفزة، والأقمار الصناعيّة التي تدور حول الأرض جميعها أمواج كهرومغناطيسيّة، ولكلٍّ منها الخصائص نفسها، إلّا أنّها تختلف في التردّد، والطول الموجي، والطاقة؛ حيث إنّ الطاقة تتناسب طرديّاً مع التردّد.

تُستخدَم كلمة الطيْف للتعبير عن مدًى معيّن من التردّدات، أو الأطوال الموجيّة، فالطيْف الكهرومغناطيسيّ يشمل ترددات مختلفة من الإشعاعات الكهرومغناطيسيّة التي يوضّحها الشكل (2-7).



الشكل (2-7)

ولكلّ منطقة من مناطق الطيْف الكهرومغناطيسي خصائص تميّزها عن بعضها البعض، وبناءً عليه نتجت تطبيقات مختلفة لهذه الأشعة، سنتعرف إلى بعضٍ منها:

أمواج الراديو:

تُستخدم في البث الإذاعيّ والتلفازيّ؛ حيث يمكن لهوائي فلزّي التقاطها؛ لأنّ أطوالها الموجيّة كبيرة.

أمواج الميكروويف:

تلي أمواج الراديو وتُستخدم في طهي الطعام وتسخينه في أفران الميكروويف، كما تُستخدم في الاتّصالات.

الأشعة تحت الحمراء:

يُسمّى الجزءُ ذو الطول الموجي الأكبر من الأشعة تحت الحمراء الأمواجَ الحراريّة؛ حيث تبعث الأجسام الساخنة أشعة تحت حمراء، ومنها جسم الإنسان الذي يُصدِر أمواجاً حراريّة تُستخدم في التصوير الحراري، حيث يتم استقبال الأشعة التي ترسلها الأجسام؛ ما يوضّح اختلاف حرارة الأجزاء المختلفة من الجسم، أمّا الجزء الأقصر منها فيُستخدم في التحكّم عن بعد، مثل: جهاز التحكّم عن بعد للتلفاز. وتتحسّس الأفاعي الحرارة المنبعثة من أجسام الكائنات الحيّة؛ ما يمكّنُها من مطاردة فريستها ليلاً.

الضّوء المرئي

ويشكّل أقلّ من واحد في المئة مليون من طيف الإشعاع الكهرومغناطيسي، وأهمّ ما يميّز هذا الجزء من الطيْف هو تمكُّن الإنسان من رؤيته، والضوء المرئي الذي يصلنا من الشمس مركّب من الألوان جميعها (أحمر، وبرتقالي، وأصفر، وأخضر، وأزرق، ونيلي، وبنفسجي).

الأشعة فوق البنفسجيّة

وهي أقصر في الطول الموجي من الضّوء المرئي وطاقتها أكبر، ويحتوي الطيْف الشمسي على هذه الأشعة، ويستطيع جزء قليل منها النفاذ من الغلاف الجوي للأرض، وتُستخدم في التصوير الفلكي للمجرات والنجوم. وللأشعة فوق البنفسجيّة استعمالاتٌ طبيّة، كحالات الأمراض الجلدية مثل الصدفيّة والبهاق. كما وتُستخدم في تعقيم الماء، وبعض المنتجات الغذائيّة، والدوائيّة، والعبوات الخاصّة.

الأشعة السينيّة

وهي أقصر في الطول الموجي من الأمواج فوق البنفسجيّة، وتمتاز بطاقتها العالية التي تمكّنها من اختراق الأنسجة الناعمة في أجسام الكائنات الحيّة، ولكنّها لا تنفذ من الأجسام الصُّلبة كالعظام؛ لذلك تُستخدم في تصوير العظام، وتُستخدم في تفتيش الحقائب داخل المطارات، وفي علاج الأورام السرطانيّة الخبيثة، والقضاء عليها. وبالرغم من طاقتها العالية إلا أنّها لا تخترق الغلاف الجوي للأرض؛ لسماكته.

أشعة جاما

هذه الأشعة ذات الطول الموجي الأقصر في الطيْف الكهرومغناطيسيّ، وذات الطاقة الأعلى؛ وذلك لأنّها تنتج من التصادمات النوويّة ومن العناصر المشعّة. تُستخدم في الطب لقتل الخلايا السرطانيّة ومنعها من النمو. وترجع قدرتها على تدمير الخلايا الحيّة إلى أنّها أشعة مؤينة؛ أي أنّها تُسبب التأيّن في الوسط الذي تمر به مسببة تأيّن الجزيئات فيه، وإذا حدث تأيّن للمادة الحيّة فإنّها تتضرر، وقد يؤدّي إلى موت الخليّة.

أناقش

- أيّ أمواج الطيْف الكهرومغناطيسيّ أعلى تردّداً؟ وأيّها أقلّ تردّداً؟
- أيّ لونٍ من ألوان الضّوء المرئي له أكبر طول موجي؟ وأيّها له أقصر طول موجي؟
- تغطّي الأمواج الصادرة عن محطات التلفزة والراديو مساحاتٍ واسعةً، بينما تغطي الأمواج الصادرة عن أبراج الهواتف الخلويّة مساحاتٍ أقلّ.

سؤال:

يُستخدم كلٌّ من الضّوء المرئي، والأشعّة تحت الحمراء، والأشعّة السينيّة في التصوير. من الشكل المقابل، ما الهدف من التصوير في كلّ حالة؟

3-7 التمثيل الرياضيّ للأمواج الكهرومغناطيسيّة Electromagnetic Wave Function:

تُمثَّل الأمواج الكهرومغناطيسيّة رياضيّاً باقترانٍ جيبي يوضّح تغيّر شدة المجال (الكهربائي والمغناطيسي) مع الزمن والإزاحة، في اتّجاه انتشار الموجة بالعلاقة الآتية:

$$E = E_m \sin(kx - \omega t) \qquad (7\text{-}2)$$

$$B = B_m \sin(kx - \omega t) \qquad (7\text{-}3)$$

حيث:

E: شدة المجال الكهربائي وتقاس بوحدة V/m.

B: شدة المجال المغناطيسي وتقاس بوحدة تسلا (Tesla).

E_m ، B_m : سعة المجالين الكهربائي والمغناطيسي.

k: العدد الموجي: عدد الأطوال الموجيّة في مسافة مقدارها متر واحد مضروباً بـ 2π، وتُحسب من العلاقة

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \qquad (7\text{-}4)$$

x: الموضع

t: الزمن

إنّ كلا المجاليْن يتغيّران في اتّجاهيْن متعامديْن، وكلاهما عموديّ على خط اتّجاه انتشار الموجة في الوسط، كما في الشكل(7-1)، والنسبة بين قيمة المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي للموجة عند أيّة لحظة تساوي سرعة الموجة عند تلك اللحظة في ذلك الوسط، وتساوي النسبة بين سعة موجة المجال الكهربائي وسعة موجة المجال المغناطيسي؛ أيّ أنّ سرعة الموجة في الفراغ أو الهواء تعطى بالعلاقة: $c = \frac{E_m}{B_m}$

سؤال:

ما العلاقة بين طول الموجة وترددها في وسطٍ ما؟

مثال: موجة كهرومغناطيسية، مجالها الكهربائي يُعطى بالعلاقة:

$$E = 5\sin\left(10^6 x - \omega t\right)$$

بوحدة (V/m) تنتشر في اتّجاه محور السينات الموجب في الهواء. جد:

1) سعة المجال الكهربائي　　2) طول الموجة　　3) التردد

4) الزمن الدوري　　5) معادلة المجال المغناطيسي لهذه الموجة.

الحل:

1: السعة $= 5\ V/m$

2: $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

$\lambda = 2 \times 3.14/1 \times 10^6 = 6.28 \times 10^{-6}\ m$

3: $c = f\lambda \Longrightarrow 3 \times 10^8 = f \times 6.28 \times 10^{-6}$

$f = 0.48 \times 10^{14}\ Hz$

4: $T = \frac{1}{f}$

$= 1/0.48 \times 10^{14} = 2.09 \times 10^{-14}\ s$

5: $c = \frac{E_m}{B_m}$

$3 \times 10^8 = 5/B_m \Longrightarrow B_m = 1.67 \times 10^{-8}\ Tesla$

$\omega = 2\pi f = 2 \times 3.14 \times 0.48 \times 10^{14} = 3.0 \times 10^{14}\ rad/s$

$B = 1.67 \times 10^{-8} \sin(1 \times 10^6\ x - 3 \times 10^{14}\ t)$

7- 4 بعض ظواهر الضّوء Light Phenomena:

نلاحظ من مشاهداتنا اليوميّة -وكما مرّ بك سابقاً- أنّ الضّوء يختلف في سلوكه في المواد من حيث النفاذيّة من مادة إلى أخرى، فينفذ معظمه في بعض الأوساط كالزجاج والماء، ويُمتص غالبيّته في موادَّ أخرى مثل المواد المعتمة، وينعكس غالبيته عن بعض السطوح كالمرايا، فما تفسير ذلك؟

تطلق الإلكترونات المهتزّة الأمواج الكهرومغناطيسيّة. وعند سقوط الضّوء على المادة تجبر بعض الإلكترونات فيها على الاهتزاز، وتنتقل هذه الاهتزازات من إلكترون إلى آخر في المادة. وهذا يشبه الطريقة التي ينتقل بها الصوت، كما في الشكل (7-3).

الشكل (7-3)

تسمح المواد الشفّافة مثل الماء والزجاج بمرور الضّوء المرئي من خلالها دون امتصاصٍ يذكر. ولكن، كيف يمرّ الضّوء في المواد الشفافة؟ للإجابة عن السؤال، تخيّل أنّ الإلكترونات في الذرّات كما لو أنّها متصلة بالأنوية في الذرات بنوابض، كما في الشكل (7-4)، وتبدأ أمواج الضّوء الساقطة العمل على اهتزاز الإلكترونات.

الشكل (7-4)

تشبه اهتزازات الإلكترونات في المادة اهتزاز الشوكة الرنّانة. فعند اهتزاز شوكة رنّانة تهتزّ شوكة رنّانة أخرى لها نفس التردّد الطبيعي (الرنين). وهكذا تفعل الإلكترونات في الذرات والجزيئات. إنّ للذرات والجزيئات معاملات مرونة مختلفة كالنابض. وللإلكترونات في الزجاج تردّد اهتزاز طبيعي في مدى تردد الأشعة فوق بنفسجية. وعليه يحدث الرنين في الزجاج عندما تسقط عليه الأشعة فوق البنفسجية. ويمكن أن تحتفظ الذرات المهتزة في الزجاج بطاقة الضوء فوق البنفسجي فترة زمنيّة مقدارها

(1×10^{-4} s)، تتعرض الذرة خلالها لمليون اهتزاز تقريباً. ثم تصطدم مع ذرات أخرى، وتتحول الطاقة الممتصة إلى طاقة حرارية، ولا يُعاد إطلاقها على هيئة ضوْء. وهكذا يصبح الزجاج غير شفّاف للأشعّة فوق البنفسجيّة؛ أي أنّ الزجاج يمتص الضّوء فوق البنفسجي.

وعند ترددات أقل، مثل تردد الضّوء المرئي تجبر الإلكترونات في الزجاج على الاهتزاز باتساعات منخفضة، وتحتفظ الذرات أو الجزيئات في الزجاج بالطاقة لزمن أقل، مع فرص قليلة للاصطدام مع الذرات أو الجزيئات المجاورة. وهناك القليل من الطاقة التي تتحول إلى أخرى حرارية. ويُعاد إطلاق طاقة الإلكترونات المهتزة كضوْء. ويصبح الزجاج شفّافاً لترددات الضوء المرئي جميعها. ويكون تردد الضّوء المنطلق من جزيء إلى جزيء آخر مماثلاً لتردد الضّوء الأصلي الذي أنتج الاهتزازات. ولكنّ هناك زمناً قليلاً يحدث فيه تأخير بين الامتصاص وإعادة الإطلاق. يقلّل زمن التأخير هذا معدل سرعة انتقال الضّوء خلال المادة.

إنّ أمواج الأشعة تحت الحمراء التي لها ترددات أقلّ من تلك التي للضّوء المرئي تهزّ الجزيئات في الزجاج، وبذلك تزداد طاقتها الحراريّة، وترتفع درجة حرارة المادة؛ ولهذا تُسمّى الأشعةُ تحت الحمراء أشعةً حرارية، أو أمواج حرارية. وبذلك يكون الزجاج شفافاً للضّوء المرئي، وغير شفاف للضوء فوق البنفسجي، أو الأشعة تحت الحمراء.

إنّ معظم المواد من حولنا معتمة؛ أي أنّها تمتص الضّوء دون إعادة إشعاعه بشكلٍ كامل. تُحوَّل طاقة الاهتزازات الناتجة عن سقوط الضوء على ذرات المواد إلى طاقةٍ حركيّةٍ مما يؤدي إلى إرتفاع درجة حرارتها.

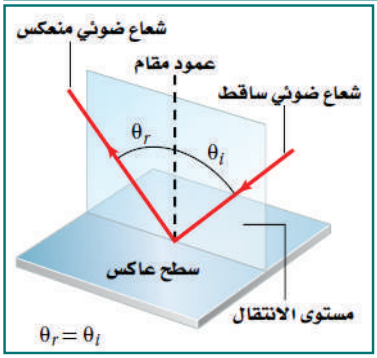
إنّ الفلزات معتمة للضّوء المرئي. ولا ترتبط الإلكترونات الخارجية في ذرات الفلزات بذرة معينة. وهي حرة الحركة تقريباً. وعند سقوط الضّوء على الفلز وبدء اهتزاز الإلكترونات الحرة، فإن طاقة هذه الاهتزازات لا تخترق المادة، بل تنعكس؛ ولهذا تكون الفلزات لامعة.

1-4-7 انعكاس الضّوء Reflection of Light:

أناقش

- ما الاتّجاه الذي ترتدّ فيه الكرة عند ضربها بقوة عموديّاً باتّجاه الأرض؟
- ما الاتّجاه الذي ترتدّ فيه الكرة إذا قُذِفت بشكلٍ مائل يصنع زاوية مع العمود المقام على السطح؟

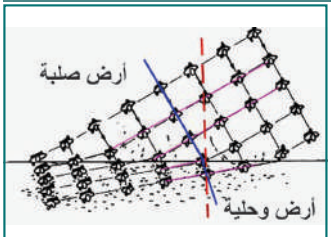
يوضّح الشكل (7-5) ما يحدث لشعاعٍ ضوْئيّ عند سقوطه على سطحٍ مستوٍ عاكس بزاوية θ_i، فإنّه سوف يرتد عن مساره بزاوية θ_r، وتخضع عمليّة الانعكاس لقانونيّ الانعكاس، اذكرْ نصيّ قانونيّ الانعكاس.



الشكل (7-5)

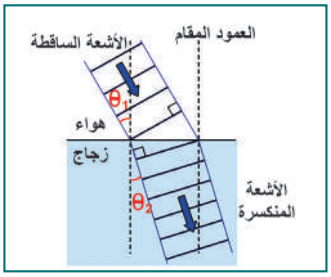
2-4-7 انكسار الضّوء Refraction of Light:

لمعرفة كيفيّة حدوث انحراف الضّوء وانكساره عندما ينتقل من وسط شفاف إلى آخر يختلف عنه في الكثافة الضوئية، انظر الشكل (7-6) الذي يفترض أنّ مجموعة من الجنود يسيرون في صفوفٍ وبسرعةٍ ثابتة على أرضٍ صُلبة، وبعد ذلك دخل الجنود منطقة طينيّة موحلة، واصلوا السير بالوتيرة نفسها (التردد نفسه)، ولكنّ غوْص أقدامهم في الوحل أدّى إلى تناقص طول خطواتهم فتقلّ سرعتهم (قلت سرعة الموجة)؛ ما يؤدي إلى تغيّر في اتّجاه حركة صفوف الجنود(انكسار)، في حين أنّ الجنود الموجودين في الصف نفسه، الذين ما زالوا يسيرون على الأرض الصُّلبة يواصلون المسير بالخطوات السابقة نفسها.



الشكل (7-6)

يوضّح الشكل (7-7) انتقال شعاع ضوْئي من الهواء إلى الزجاج، حيث نلاحظ أنّ الشعاع الضوئي ينحرف عن مساره عند الحد الفاصل بين الوسطيْن، ويطلق على انحراف الضّوء عن مساره عند انتقاله من وسطٍ شفّاف إلى وسطٍ شفّاف آخر بانكسار الضّوء، ولكن لماذا تحدث هذه الظاهرة؟

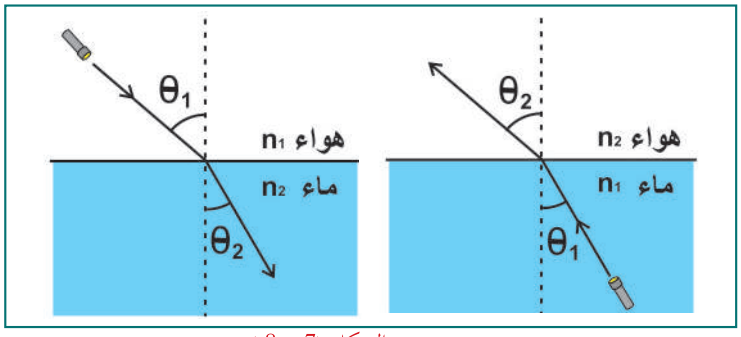


الشكل (7-7)

ينتقل الضوء في الأوساط البصريّة بسرعاتٍ مختلفة، فعلى سبيل المثال تكون سرعة الضّوء في الهواء (3×10^8 m/s) بينما سرعته في الزجاج (2.17×10^8 m/s) ولذلك فإنّه عند الحد الفاصل بين الوسطيْن سوف يحدث تغيّر مفاجئ لسرعة الضّوء؛ ما يؤدّي إلى انحراف الضّوء عن مساره مسبّباً الانكسار.

A-2-4-7 قانون سنل Snells Law:

هل تعتمد العلاقة بين زاوية السقوط والانكسار على سرعة الضّوء في الوسطيْن؟ بما أنّ عمليّة الانكسار تحدث بسبب التغيّر في سرعة الضّوء بين الوسطيْن، فإنّ العلاقة بين زاوية السقوط وزاوية الانكسار تعتمد على التغيّر في السرعة ، وكان العالم الدنماركي (سنل) 1621م هو أوّل من أثبت هذه العلاقة التي عُرفت بقانون سنل، وينصّ على أنّ: حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الأوّل في جيب زاوية السقوط يساوي حاصل ضرب معامل انكسار الوسط الثاني في جيب زاوية الانكسار.



الشكل (7 – 8)

العلاقة الرياضيّة لقانون سنل:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \qquad (7\text{-}4)$$

حيث:

θ_1: زاوية السقوط، θ_2 : زاوية الانكسار، كما في الشكل (7 – 8).

n_1: معامل الانكسار للوسط الأول، n_2: معامل الانكسار للوسط الثاني

n: معامل الانكسار ويعرف بأنّه: النسبة بين سرعة الضّوء في الفراغ وسرعته في الوسط الذي ينتقل فيه.

$$n = \frac{\text{سرعة الضوء في الفراغ}}{\text{سرعة الضوء في الوسط}} = \frac{c}{v}$$ وقيمته دائماً أكبر من 1، فسّرْ ذلك.

ويبيّن الجدول المجاور معامل الانكسار لبعض الأوساط الشفّافة.

معامل الإنكسار لبعض المواد عند الطول الموجي (589 nm)

المادة	n
الفراغ	1.0000
الهواء	1.0003
الماء	1.33
الزجاج	1.46 - 1.58
البلاستيك	1.5 - 1.7
الألماس	2.42

سؤال:

اكتب صيغة قانون سنل بدلالة:

أ- سرعة الضوء في الوسطين.

ب- طول موجة الضوء في الوسطين.

مثال: شعاع ضوْئي طوله الموجي 589 نانو متر، سقط من الهواء نحو شريحة زجاجيّة بزاوية 30° مع العمود المقام على السطح، فإذا كان معامل الانكسار للهواء = 1، وللزجاج = 1.52

احسب زاوية الانكسار.

الحل:

من قانون سنل: $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$

$$1 \times \sin 30 = 1.52 \times \sin \theta_2$$
$$\sin \theta_2 = 0.329$$
$$\theta_2 = 19.2^\circ$$

سؤال:

احسب طول موجة الضوء في الزجاج.

7-2-4- B الانعكاس الداخلي الكلي Total Internal Reflection:

فكر

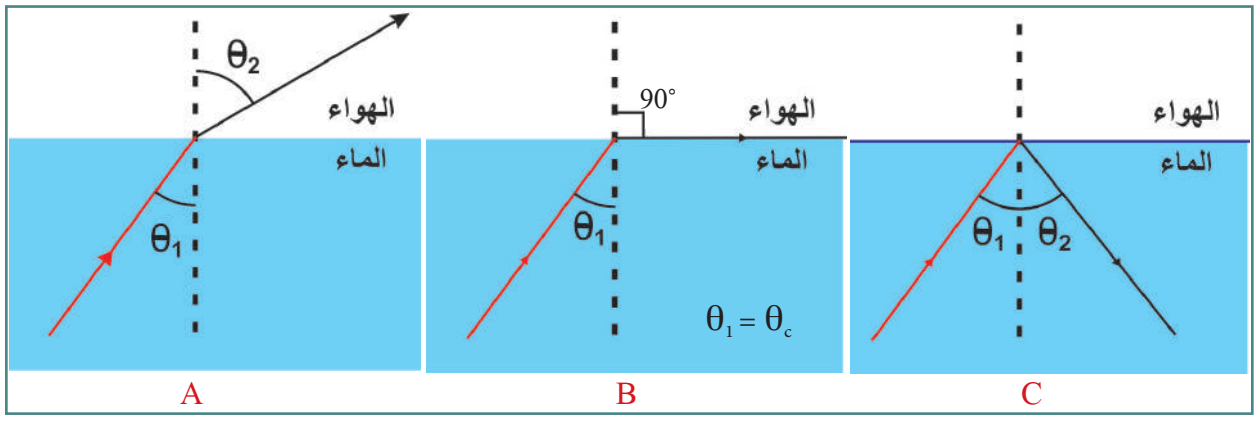
هل يمكن للأوساط الشفّافة أنْ تعمل عمل مرآة مستوية؟

عرفنا أنّه إذا سقط شعاع ضوئي من وسطٍ معامل انكساره كبير مثل الماء إلى وسطٍ آخر معامل انكساره أقل مثل الهواء، فإنّه ينكسر مبتعداً عن العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين؛ أي أنّ زاوية الانكسار تكون أكبر من زاوية السقوط $\theta_1 < \theta_2$ شكل (7- 9 - A).

وعند زيادة زاوية السقوط فإنّ زاوية الانكسار تزداد إلى أنْ تصل قيمتها القصوى 90°، وتُسمّى زاوية السقوط في هذه الحالة الزاوية الحرجة، شكل (7 – 9- B).

ولكن، ماذا يحدث للشعاع الضوئي الساقط إذا زادت زاوية السقوط في الوسط ذي معامل الانكسار الأكبر عن الزاوية الحرجة؟

يلاحظ من خلال التجربة العملية أنّ الشعاع الضوئي لا ينتقل إلى الوسط الثاني ولكنه ينعكس في الوسط الساقط منه نفسه، بحيث تكون زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس، وتُسمّى هذه الظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي شكل (7 – 9- C).



شكل (7 – 9)

ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي:

ظاهرة ارتداد الأشعة الضّوئيّة عند سقوطها من وسطٍ معامل انكساره كبير إلى وسطٍ معامل انكساره أقل، عندما تكون زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة.

الزاوية الحرجة θ_c:

زاوية السقوط في الوسط ذي معامل الانكسار الأكبر، التي يقابلها زاوية انكسار مقدارها 90° في الوسط الذي معامل انكساره أقل.

وتعتمد قيمة الزاوية الحرجة لوسطٍ ما على معامل انكسار كلٍّ من وسطيّ السقوط والانكسار، وتحسب من قانون سنل:

$$n_1 \sin\theta_c = n_2 \sin\theta_2$$

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \sin 90$$

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1}$$

مثال: إذا كان معامل الانكسار للماء يساوي 1.33، فما مقدار الزاوية الحرجة بين الماء والهواء؟

الحل:

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \sin 90$$

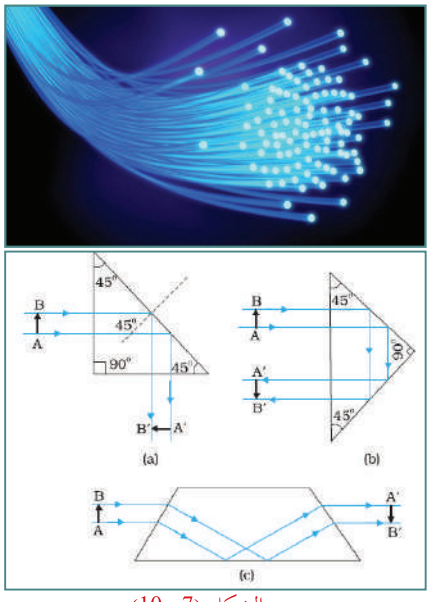
$$\sin\theta_c = 1/1.33$$

$$\theta_c = 48.8°$$

هذا يعني أنّ الشعاع الضّوئي الذي يعبر من الماء إلى الهواء بزاوية 48.8° تكون زاوية انكساره 90°.

إنّ ظاهرة الانعكاس الكلي يمكن ملاحظتها في العديد من الظواهر الحياتيّة كظاهرة السراب، فما المقصود بهذه الظاهرة؟ وما السبب في حدوثها؟

بعض التطبيقات العمليّة على عمليّة الانعكاس الداخلي الكلي



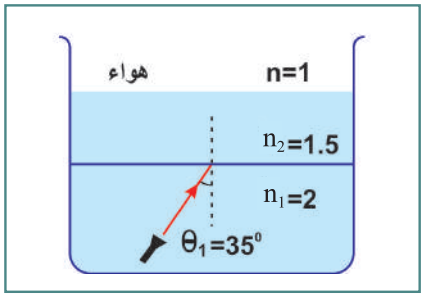
الشكل (7– 10)

- **الألياف الضوئيّة:** تُصنع هذه الألياف من قلبٍ زجاجيّ، أو بلاستيكيّ له معامل انكسارٍ عالٍ كما في الشكل المجاور، ثم تُغطّى بزجاجٍ له معامل انكسارٍ أقل، فعندما يدخل الضوء عبر الليف الضوئي سيعاني انعكاساً داخليّاً حتى يُنقل من طرف إلى آخر. وتُستخدم في مجال الاتصالات؛ حيث يحمل الضوء المعلومات خلال الألياف الضوئيّة، وتُستخدم في الطب في مجال المناظير التي تستخدم للتشخيص، وفي مجال الجراحة.
- **المنشور العاكس:** يُستخدم منشورٌ ثلاثيّ في كثير من الآلات البصرية، مثل البيروسكوب والتليسكوب، ويتم تغطية سطح المنشور بغشاءٍ رقيقٍ عاكس له معامل انكسار أقل من معامل انكسار الزجاج مثل الكريوليت. ويُستخدم لتغيير مسار الضّوء بمقدار 90° أو 180° ويُمكن استخدام مرآة مستوية تميل بزاوية 45° كما في الشكل (7– 10)، ولكن يفضّل المنشور العاكس على المرآة المستوية حيث

يكون الانعكاس في المنشور كليّاً، بمعنى أنّ 100 % من الأشعة الساقطة تنعكس بينما يصعب الحصول على مرآة تعكس 100 % من الأشعة الساقطة عليها.

سؤال:

سقط شعاعٌ ضوئيٌّ من مصباح موجود في قاع وعاء يحتوي طبقتين شفافتين من مادتين مختلفتين في معامل انكسارهما، حيث $n_1 = 2$، $n_2 = 1.5$ ، كما هو مبيّن في الشكل (7 -11). فإذا سقط شعاعٌ ضوئيّ من قاع الإناء بزاوية مقدارها 35° ، تتبع مسار الشعاع مبيّناً هل يمكن أنْ يخرج للهواء؟ اعتبر معامل الانكسار للهواء =1.

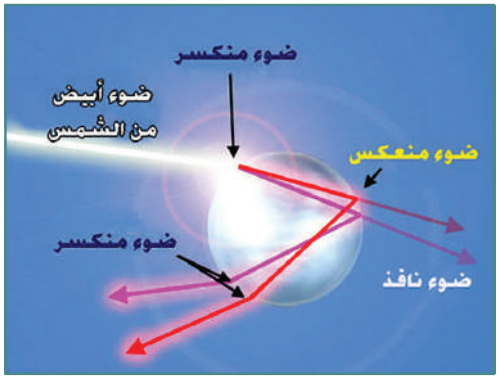


الشكل (7 -11)

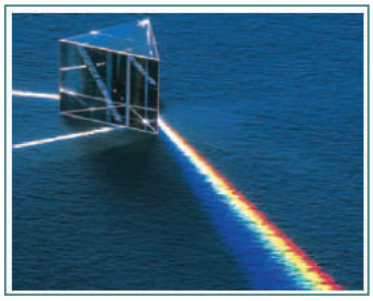
7- 4 - 2- C انكسار الضّوء في المنشور:

لعلك لاحظت ظهور قوس قزح في السماء في يوم ماطر، وعادة ما يظهر بعد سقوط المطر، أو خلاله بشرط شروق الشمس، فما السبب في ذلك؟

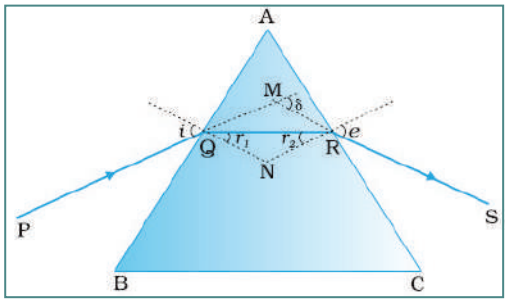
يحدث ذلك بسبب سقوط ضوْء الشمس على قطرات المطر حيث يمرّ الضوء خلال وسطين مختلفين هما: الهواء والماء، فعندما تخترق الأشعة الضوئية قطرة المطر تنكسر وتنعكس داخلها وتنكسر مرة أخرى خارجة منها. فيتحلل ضوْء الشمس الى ألوان الطيْف، حيث يتكوّن ضوْء الشمس من مجموعة من الألوان تُسمّى ألوان الطيْف، ولكلٍّ منها معامل انكسار خاص به، فتكون زاوية انكسار كلٍّ منها مختلفة عن زاوية انكسار الألوان الأخرى. ويمكن الحصول على ألوان الطيْف باستخدام منشور، فماذا يحدث إذا سقط شعاعٌ ضوْئيّ أبيض على أحد أوجه منشور ثلاثي؟



عندما يسقط شعاعٌ ضوْئيّ على أحد أوجه المنشور فإنّه ينكسر أوّلًا عند انتقاله من الهواء إلى داخل المنشور، ثم ينكسر مرة ثانية عند مغادرته المنشور إلى الهواء، مطلقاً ألوان الطيْف السبعة، ولكلٍّ منها زاوية انحراف تعتمد على الطول الموجي للّون، فكلما زاد الطول الموجي قلّ الانحراف.



ويوضّح الشكل (7- 12) شعاعاً ضوئيّاً سقط على أحد أوجه المنشور، ثم نفذ منحرفاً نحو قاعدة المنشور ، وهذا الانحراف في مسار الشعاع الضّوئي يُعبَّر عنه بزاوية الانحراف الكلي δ: الزاوية المحصورة بين امتداد الشعاع الساقط على المنشور وامتداد الشعاع الخارج من المنشور وتعتمد على الطول الموجي.

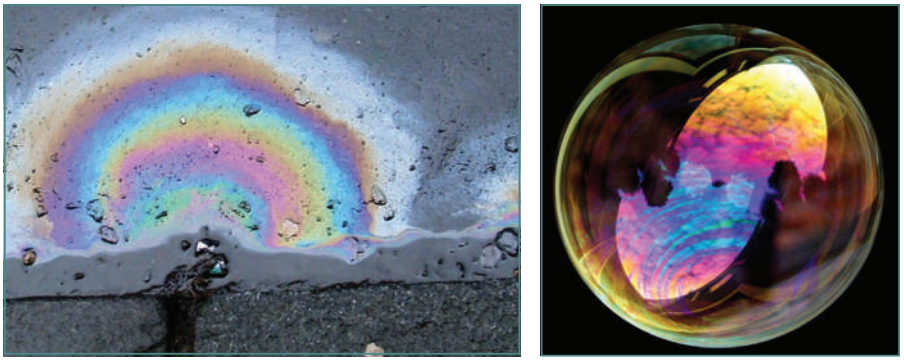


الشكل (7- 12)

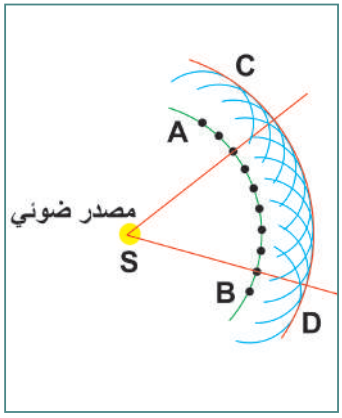
7-4-3 تداخل الضّوء

هل سبق أنْ شاهدت ألوان الطيْف التي كوّنتْها فقاعة صابون، أو غشاء زيتي عائم على سطح تجمُّعٍ مائيّ صغير في ساحة موقف السيارات، كما في الشكل (7- 13)؟ فهي لم تنتج بسبب تحلّل الضّوء الأبيض بوساطة منشور، فما السبب في ظهور هذه الألوان؟

يمكن تفسير ظهور هذه الألوان نتيجة حدوث التداخل البنّاء والهدّام للموجات الضّوئية، وتعرف هذه الظاهرة بالتداخل في الأغشية الرقيقة.


الشكل (7- 13)

مبدأ هايجنز



الشكل (7 - 14)

يُعدّ العالم الألماني (كريستيان هايجنز) أوّل من افترض النموذج الموجي للضّوء عام ١٦٧٨م، وقد تمّ تفسير انكسار الضوء عند انتقاله بين وسطين مختلفين باستخدام مبدأ هايجنز، وحسب هذا المبدأ: يمكن اعتبار جميع النقاط على مقدمة الموجة الضوئيّة وكأنها تمثل مصادرَ جديدةً لأمواجٍ ثانوية تنتشر في جميع الاتجاهات بعضها خلف بعض، وبسرعةٍ مساوية لسرعة الموجة الأصلية. وتكون مقدّمة الموجة الجديدة هي الغلاف للأمواج الصغيرة جميعها؛ أي المماس لها كلّها.

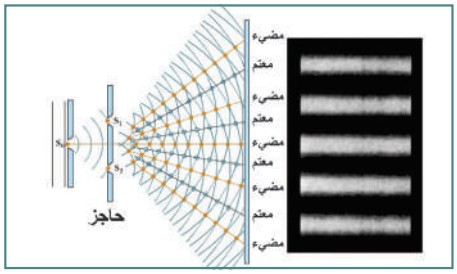
وتتكوّن مقدّمة الموجة المستوية من عدد غير محدود من المصادر النقطية التي تولّد جبهات لأمواج مستوية.

وكمثال على مبدأ هيجنز نأخذ مقدمة الموجة (AB)، كما في الشكل (7 - 14)، التي تنتقل بعيداً عن المصدر بالسرعة نفسها في جميع الاتّجاهات. ولنجد الموجة بعد مرور زمن (t) من المقدمة (AB).

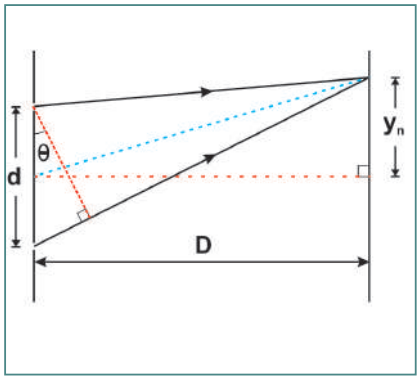
نرسم دوائر صغيرة نصف قطر كلٍّ منها يساوي (vt). إنّ مراكز هذه الدوائر هي النقاط الزرقاء على مقدمة الموجة الأصليّة (AB). وتمثّل الدوائر مويجات هيجنز (الوهمية). إنّ المماس لكلٍّ هذه الدوائر هو المنحنى (CD)، وهو الموقع الجديد لمقدمة الموجة.

وقد أثبت الفيزيائي الإنجليزي (توماس ينغ) عام 1801م أنّ للضوء خصائص موجيّة من خلال تجربة الشق المزدوج (تجربة ينغ).

تجربة الشق المزدوج



لتوليد ضوْءٍ متجانس من ضوء غير متجانس، وضع (ينغ) حاجزاً ضوئيّاً ذا شقٍّ ضيّق أمام مصدرٍ ضوئيّ أحادي اللون كما في الشكل المجاور، وبسبب صغر الشقّ نفذ الجزء المتجانس من الضّوء فقط، ثم حاد هذا الجزء بوساطة الشقّ فتولّدت مقدمات أمواج، وبسبب تماثل مقدّمات الموجة فإنّ أيّة نقطتين في مقدّمة الموجة تصلان إلى الحاجز ذي الشقّين متفقتيْن في الطور، وعند تداخل الضّوء الخارج من الشقّين وسقوطه على الشاشة لاحظ أنّ الضوء المتداخل لم ينتج عنه إضاءة منتظمة، وإنّما ولّد نمطاً مكوّناً من حزمٍ مضيئة، وأخرى معتمة تفصلها فراغات متساوية تقريباً، سمّاها (ينغ) أهداب التداخل، وقد فسّر (ينغ) وجود الحزم المضيئة كنتيجة للتداخل البنّاء، والحزم المعتمة كنتيجة للتداخل الهدّام، وكذلك يحدث للأمواج تداخل بناء عند النقطة الواقعة في منتصف الشاشة، وتُسمّى الهدب المركزي المضيء. وتتناسب المسافة بين حزم التداخل البنّاء والهدّام مع الطول الموجي للضّوء الساقط، وعكسيّاً مع المسافة الفاصلة بين الشقّين.



الشكل (7 - 15)

باستخدام الشكل (7 - 15) يحدث تداخل بنّاء للضّوء النافذ من الشقّين عند المواقع y_n على جانبيّ الهدب المركزي المضيء y_0، ويتم تحديد هذه المواقع باستخدام العلاقة: $y_n = \frac{n\lambda D}{d}$

حيث n = عدد صحيح ويساوي 0، 1، 2، 3، .....

y_n: بعد الهدب المضيء الذي رقمه n عن مركز الحاجز.

λ: الطول الموجي للضوء المستخدم.

d: المسافة بين الشقين.

D: المسافة بين الشقين والشاشة.

ويتولّد الهدب المركزي المضيء عند n = صفر.

مثال: إذا كان البعد بين الشقين في تجربة ينغ 15μm ، وكان الحاجز على بعد 3 m، وسقط عليه ضوْء أحادي طوله الموجي 4000 Å، ما البعد بين الهدب المركزي والهدب المضيء الذي يليه مباشرة؟

الحل:

$$y_n = \frac{n\lambda D}{d}$$

مطلوب حساب قيمة y عندما تكون $n = 1$

$$y_1 = \frac{\lambda D}{d}$$

$$y = 0.4 \times 10^{-6} \times 3 / 15 \times 10^{-6} = 0.08m$$

مثال: طُبّقت تجربة (ينغ) لقياس الطول الموجي للضوء الأحمر، فتكوّن الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى على بعد 21.1 mm من الهدب المركزي المضيء، فإذا كان البعد بين الشقيْن 0.0190 mm، ووضعت الشاشة على بعد 0.600 m منهما، فما الطول الموجي للضوء الأحمر؟

الحل:

$$y_n = \frac{n\lambda D}{d}$$

$$\lambda = \frac{y_1 d}{D}$$

$$\lambda = 2.11 \times 10^{-2} \times 1.90 \times 10^{-5} / 0.600$$
$$= 6.68 \times 10^{-7} \text{ m}$$

نشاط (7-1): قياس الطول الموجي لشعاع ليزر

المواد والأدوات: ليزر، وحامل عدد٢، وشريحة ذات شقين، وشاشة، ومسطرة.

الخطوات:

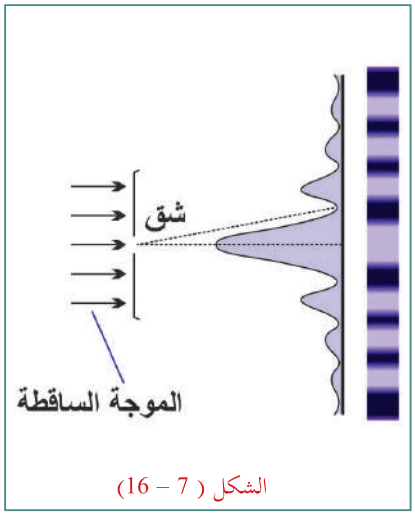
- ثبّت الشريحة ذات الشقين في وضع رأسي على حامل.
- ثبّت الليزر على حامل.
- ضع الشاشة على بعد مترين من الشريحة.
- أسقط ضوء الليزر على الشريحة، وراقب نمط التداخل الذي يحدث على الشاشة.
- قِس المسافة بين هدبين مضيئين متجاورين.
- احسب طول موجة الليزر بمعرفة المسافة بين هدبين متتاليين، وبمعرفة المسافة بين الشقين، والمسافة بين الشريحة والشاشة.

7-4-4 حيود الضّوء

يحدث الحيود الضوئي في الغلاف الجوي؛ حيث تنحرف الأشعة الضوئيّة عند اصطدامها بذرات الهواء المتواجدة حول مصدر الضوء، محدثةً حلقات ضوئيّة لامعة متتالية حول مصدر ضوء ساطع كالشمس أو القمر، وتبدو لنا تلك الحلقات حول القمر خصوصاً في وجود السحب الخفيفة أو الضباب.

حيود الضَّوء: انحناء مقدّمة موجات الضّوء نتيجة وجود عوائق أو فتحات صغيرة تمرّ من خلالها.

الحيود من الشريحة ذات الشقّ الواحد:



الشكل (7 – 16)

إذا سقط ضوْء أحاديّ اللون على شريحة ذات شقّ صغير، عرضه أكبر من الطول الموجي للضوء، فإنّ الضوء يحيد عن الحافة، ويتكوّن نمط حيود على الشاشة مكوّناً أهداباً مضيئة وأهداباً معتمة، حيث يكون هناك هدب مركزي عريض ومضيء مع أهداب أقلّ سُمكاً وأقلّ إضاءةً على كلا الجانبين، كما في الشكل (7 – 16).

ويلاحَظ أنّ عرض الهدب المركزي يتناسب طرديّاً مع طول الموجة، وعكسيّاً مع عرض الشقّ.

لذلك يكون الهدب المضيء المركزي في حالة استخدام الضّوء الأحمر أكثر عرضاً منه عند استخدام الضوء الأزرق، وذلك عندما يُستخدم شق له الاتساع نفسه.

إنّ مقارنة نمط حيود الشق الأحادي بنمط تداخل الشق المزدوج باستخدام شقوق لها العرض نفسه تُظهر أنّ جميع أهداب التداخل المضيئة لنمط تداخل الشق المزدوج متطابقة مع عرض الحزمة المركزية المضيئة لنمط حيود الشقّ الأحادي؛ وذلك لأنّ تداخل الشق المزدوج ينتج عن تداخل أنماط حيود الشق الأحادي للموجات الناتجة عن الشقين.

ويمكن حساب عرض الهدب المركزي من العلاقة:

$$y_0 = \frac{2\lambda D}{d}$$

الحيود يمكن استخدامه أيضاً في بعض التطبيقات التقنية، فهو يضع حدوداً أساسية لدرجة نقاء صور الكاميرا، والتليسكوب، والميكروسكوب.

مثال: يسقط ضوء أخضر أحادي اللون طوله الموجي (546 nm) على شق مفرد عرضه (5 μm)، إذا كان بُعد الشق عن الشاشة يساوي (75 cm)، فما عرض الهدب المركزي المضيء؟

الحل:

$$y_0 = \frac{2\lambda D}{d}$$

$$= 2 \times 546 \times 10^{-9} \times 75 \times 10^{-2} / 5 \times 10^{-6}$$

$$= 0.16\,\text{m}$$

نلاحظ أن: الهدب المركزي إتساعه يساوي 2.

نشاط (7 -2): قياس قطر شعرة باستخدام الليزر

المواد والأدوات: ليزر، وحاملان، وشريحة زجاجية، وشعرة، ولاصق، وشاشة، ومسطرة.

الخطوات:

- ثبّت الشعرة على الشريحة في وضع رأسي بواسطة اللاصق، وثبّتها على الحامل.
- ثبّت الليزر على الحامل.
- ضع الشاشة على بعد مترين تقريباً من الشريحة.
- أسقط ضوء الليزر على الشعرة، وراقب نمط الحيود الذي يحدث على الشاشة.
- قِس بالمسطرة عرض الهدب المركزي المتكوّن على الشاشة.

احسب قطر الشعرة بمعرفة كلٍّ من عرض الهدب المركزي، وطول موجة الليزر، والمسافة بين الشريحة والشاشة.

أسئلة الفصل:

1 عرّف كلًّا ممّا يأتي:

الأمواج الكهرومغناطيسية. الزاوية الحرجة. حيود الضوء.

2 اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1- أيّ الأمواج الآتية لها أعلى تردد؟

أ) أمواج الميكروويف. ب) أمواج الراديو. جـ) الأشعة السينيّة. د) أشعة جاما.

2- ما الظاهرة التي ينحرف فيها الشعاع عن مساره الأصلي عند انتقاله من وسط شفاف إلى آخر؟

أ) الحيود. ب) الانكسار. جـ) الانعكاس. د) التداخل.

3- عندما ينتقل شعاع ضوئي من الهواء بزاوية سقوط 30° إلى الزجاج الذي معامل انكساره 1.5، فما زاوية الانكسار في الزجاج؟

أ) 10° ب) 20° جـ) 30° د) 54°

4- أيّ ظواهر الضوء الآتية تُعدّ الألياف الضوئيّة تطبيقاً لها؟

أ) الحيود. ب) التداخل. جـ) الانعكاس الداخلي الكلي. د) الانكسار.

5- أيّ من العبارات الآتية صحيحة حول سرعة أشعة جاما وموجات الراديو في الفراغ؟

أ) أشعة جاما أسرع من موجات الراديو. ب) موجات الراديو أسرع من أشعة جاما.

جـ) لهما السرعة نفسها . د) تعتمد سرعتاهما على ترددتاهما.

6- يمرّ ضوء أحادي اللون خلال شقّ مفرد عرضه (0.01 cm)، ثم يسقط على شاشة تبعد مسافة (100 cm)، فإذا كان عرض الهدب المركزي المضيء (1.20 cm)، فما الطول الموجي للضوء بوحدة ميكروميتر؟

أ) 0.6 ب) 12 جـ) 24 د) 60

3 موجة كهرومغناطيسيّة مجالها الكهربائي على شكل اقتران جيبي يعطى بالعلاقة:

$$E = 100 \sin(2 \times 10^{7} x - 6 \times 10^{15} t) \quad (V/m)$$

تنتشر بالاتجاه الموجب لمحور السينات في الهواء، جد:

السعة، والتردد، والطول الموجي.

4 احسب الطول الموجي لكلّ من:

أ ـ محطة إذاعية تبث إرسالها على موجة ترددها (6 M Hz).

ب ـ أمواج الميكروويف ترددها 9×10^{9} Hz.

5 إذا سقط ضوء أبيض على شقوق باب شبكي يمنع دخول الحشرات فإنّه لا يرى نمط تداخل في ظلّ الباب على الجدار. فسّر ذلك.

أسئلة الوحدة

1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة للفقرات الآتية:

1. ما الأشعة التي تقع بين الطيف المرئي وأمواج الميكروويف وتُستخدم في التصوير الليلي؟
أ) الأشعة السينية. ب) الأشعة الفوق بنفسجية. جـ) الأشعة تحت الحمراء. د) أشعة جاما.

2. يسقط ضوء على شقين متباعدين بمقدار (19 µm) ، ويبعدان عن شاشة (80 cm)، فإذا كان الهدب المضيء ذو الرتبة الأولى يبعد (19 c m) عن الهدب المركزي المضيء، فإنّ الطول الموجي للضوء بوحدة الميكرومتر يساوي:

أ) 4 ب) 4.5 جـ) 5 د) 5.5

3. إذا كان معامل الانكسار لوسط شفاف 1.5 فإنّ مقدار سرعة الضوء في هذا الوسط نسبة إلى سرعة الضوء في الهواء يساوي:

أ) $\frac{1}{3}$ ب) $\frac{2}{3}$ جـ) 1 د) $\frac{3}{2}$

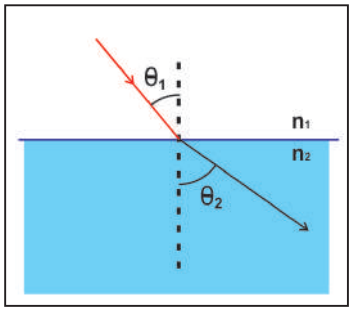
2 عرّف كلًّا ممّا يأتي:

قانون سنل. الانعكاس الداخلي الكلي. مبدأ هايجنز. التداخل.

3 علّل ما يأتي:

1- عادة لا تبدو ظاهرة الحيود واضحة للعين في الأمواج الضوئية.
2- يجب استخدام ضوء أحادي اللون لتكوين نمط التداخل في تجربة ينغ.

4 سقط شعاع ضوئي من الوسط الأول إلى الوسط الثاني كما في الشكل المجاور:



1- أيّ الوسطيْن له معامل انكسار أكبر؟

2- في أيّ الوسطيْن سرعة الضوء أكبر؟

3- هل يمكن أن يحدث انعكاس داخلي كلي لشعاع ضوئي ساقط من الوسط الأوّل على السطح الفاصل بين الوسطين؟ ولماذا؟

5 في تجربة شقي ينغ باستخدام الضوء الأبيض, اذا كان البعد بين الشقين (0.5 mm) ويشاهد نمط التداخل على شاشة تبعد (2.5 m). ظهر الضوء البنفسجي على بعد (2 mm) من الهدب المركزي بينما ظهر الأحمر على بعد (3.5 mm). احسب الطول التقريبي لموجة كل من الضوء البنفسجي والأحمر.

الوَحدةُ الثالثة

الكَهرباء السّكونيّة

للكَهرباء السكونيّة حضورٌ قويٌّ في ظواهرَ طبيعيّةٍ عديدة، وصناعاتٍ حديثة. كيف تفسّر ذلك؟

الكَهرباء السكونيّة Electrostatics

لعلك سمعتَ صوت فرقعة عند نزع ملابسك أو تمشيط شعرك، أو شاهدتَ ومضةً كهربائيّة عندما تأوي إلى فراشك ليلاً، وقد تشعر أيضاً بصدمة كهربائيّة خفيفة تصاحب ذلك. تشير هذه المشاهدات إلى وجود ظاهرة طبيعيّة تسمى الكهرباء. فما الكهرباء؟ وكيف تفسّر تولّد الشحنات الكهربائيّة على الأجسام؟ وعلى ماذا تعتمد القوة الكهربائيّة بين الشحنات؟ وما المجال الكهربائي الناشئ عنها؟ وما الجهد الكهربائي وما علاقته بالطاقة الكهربائيّة؟ وكيف يمكن تخزين الشحنات والطاقة في المواسع الكهربائي؟

بعد دراستك لهذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها يتوقع منك:

- توظيف المفاهيم العلمية في تفسير الظواهر الطبيعية التي تتعلق بالكهرباء السكونية.
- اكتساب مهارة التحليل الفيزيائي للمسائل المتعلقة بالكهرباء السكونية.
- تصميم مشروع حول استخدام الكهرباء السكونية في بعض الأجهزة مثل آلة النسخ والطابعة.

الفصل الثامن

الشحنة الكهربائيّة وقانون كولوم Electric Charge and Coulomb's Law

اكتشف الإغريق ظاهرة التكهرب قديماً عندما لاحظ الفيلسوف (طاليس) عام (600 ق.م.)، أنّه عند دلْك حجر العنبر (الكهرمان) بقطعة قماش من فراء الحيوانات، فإنها تجذب ريش الطيور، والخيوط الصوفيّة، والقطنيّة. فما المقصود بالتكهرب؟ وما الشحنة الكهربائية؟ وما أثرها في شحنات أخرى مجاورة؟

هذه الأسئلة وغيرها سوف تستطيع الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك أنْ:

- تتعرّف إلى مفهوم الشحنة الكهربائية وخصائصها.
- تذكر طرق التكهرب (الشحن)، وتفسرها.
- توضّح المقصود بتكمية الشحنة الكهربائية، وقانون حفظ الشحنة.
- تتعرّف إلى مفهوم القوة الكهربائية.
- تحلّ مسائل لحساب قوى التجاذب والتنافر بين الشحنات الكهربائيّة.

8 - 1 الشحنة الكهربائيّة وخصائصها

لقد مرّ تفسير ظاهرة التكهرب في محطات تاريخيّة مختلفة، ففي عام 1600م أوضح (جلبرت) أنّ الزجاج والشمع وغيرها ذات خواص شبيهة بخواص الكهرمان، وفسّر تكهربها من خلال انتقال نوع من الموائع بين الأجسام. وفي عام 1733م وجد (شارل دوفاي) تجاذب بعض الأجسام بعد دلكها وتنافر أجسام أخرى. واعتبر أنّ الكهرباء سيْلٌ متصل من نوعين من المادة، يتولّد أحدهما عند دلك الزجاج بالحرير، والآخر عند دلك الكهرمان بالصوف، وأنّ النوعيْن المختلفين يتجاذبان بينما المتماثلان يتنافران.

وفي عام 1897م اكتشف العالم (جوزيف طومسون) الإلكترون، كما تمكّن العالم (روبرت ميليكان) من قياس شحنته في عام 1909م. وتبيّن أنّ أصغر شحنة في الطبيعة هي شحنة الإلكترون؛ لذا سُمِّيت الشحنة الأساسية، ويرمز لها بالرمز e، وأنّ مقدارها هو ($1.6x10^{-19}$ C). وبما أنّ المادة التي تنتقل خلال عملية الشحن هي الإلكترونات التي لا يمكن تجزئتها؛ أي أنّ عددها صحيح، فإنّ شحنة أيّ جسم مشحون ليست كمية متصلة مثل الموائع كما ذكر سابقاً، بل هي عدد صحيح من مضاعفات شحنة الإلكترون. ويُعبَّر عن ذلك بتكمية الشحنة الكهربائية، وبالتالي فإنّ شحنة أيّ جسم:

$$q = \pm n e \ , n = 1,2,3,..... \qquad (8\text{-}1)$$

إنّ الشحنة الكهربائيّة خاصيّة فيزيائيّة لبعض الجُسيْمات الأوليّة كالبروتون والإلكترون وغيرها. وينشأ التكهرب بسبب فقدان أو اكتساب المادة للإلكترونات؛ أي لحدوث خلل في التعادل الكهربائي للمادة، وأن الشحنات المتشابهة تتنافر بينما المختلفة تتجاذب.

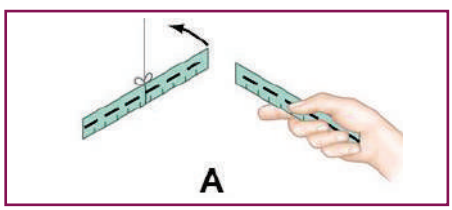
لتتعرف إلى الشحنة الكهربائيّة وعلاقتها بالمادة، قم بتنفيذ النشاط الآتي:

نشاط (8- 1): تنافر وتجاذب الأجسام المشحونة كهربائيّاً

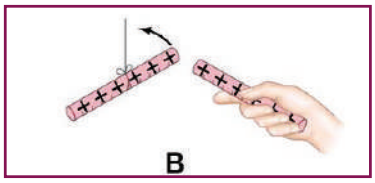
المواد والأدوات: ساق زجاجي عدد (٢)، ومسطرة بلاستيكية عدد (٢)، وقطعة صوف، وقطعة حرير، وحامل معدني، وخيط.

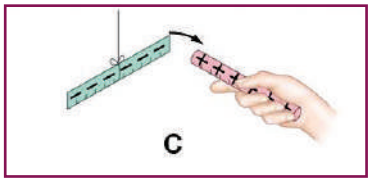
الخطوات: يوضّح الشكل (8-1) خطوات تنفيذ التجربة وذلك بعمل ما يأتي:

- علّقْ مِسطرة بلاستيكيّة مدلوكة بقطعة من الصوف بخيط في حامل، ثم قرّب منها مسطرة أخرى مدلوكة بقطعة من الصوف.



- علّق ساقاً زجاجيّاً مدلوكاً بقطعة من الحرير بخيط في حامل، ثم قرّب منه ساقاً آخر من الزجاج مدلوكاً بقطعة من الحرير.
- قرّب ساق الزجاج المدلوك بالحرير من المسطرة البلاستيكية المدلوكة بالصوف، والمعلقة في الخيط.





الشكل (8-1)

ماذا تلاحظ في كلٍّ من الحالات؟ وماذا تستنتج؟

دوّن مشاهداتك واستنتاجاتك في تقرير حول هذا النشاط.

يُظهر الشكل المجاور (8-2) كشّافاً كهربائيّاً الذي مرّ معك سابقاً.

أناقش

- ما استخدامات الكشّاف الكهربائي؟
- كيف تكشف عن شحنة جسمٍ ما؟
- هل يمكن معرفة نوع شحنة جسمٍ مشحون؟

الشكل (8-2)

سؤال

١- ما شحنة جسم فقد (100) إلكترون؟

٢- هل يمكن لجسم أنْ يحمل شحنة مقدارها (5×10^{-19} C)؟

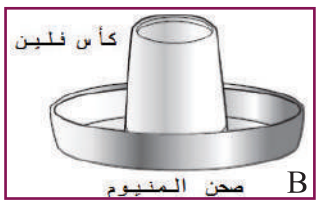
8-2 شحن الأجسام كهربائيّاً (التكهرب)

نشاط (8 - 2): طرق شحن الأجسام كهربائيّاً.

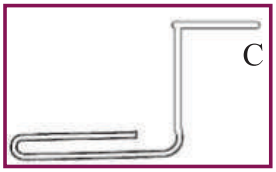
المواد والأدوات: صحن المنيوم عدد (2)، وكأس فلين عدد (2)، وصحن فلين، ومشبك ورق عدد (2)، وشريط ألمنيوم رقيق (4 cm × 5.0 cm)، وشريط لاصق.

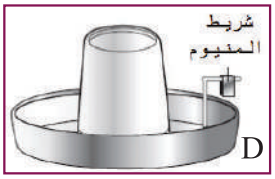
الخطوات:

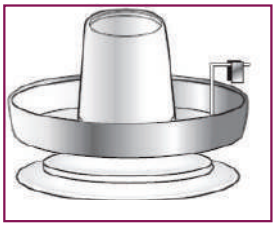
- ثبّتْ صحن فلين مقلوباً على سطح طاولة خشبية، كما في الشكل (8 - 3 - A).
- ثبت كأس الفلين في وسط صحن الألمنيوم بالشريط اللاصق، كما في الشكل (8 - 3 -B).
- اثنِ مشبك الورق، كما في الشكل (8 - 3 -C).
- ثبت مشبك الورق داخل صحن الألمنيوم بلاصق، ثم ضع على طرفه الأفقي شريط الألمنيوم، كما في الشكل (8 - 3 -D).
- امسك كأس الفلين، وضعْ صحن الألمنيوم فوق سطح الفلين المقلوب على سطح الطاولة، كما في الشكل (8 - 3 -E)، مراقباً شريط الالمنيوم.

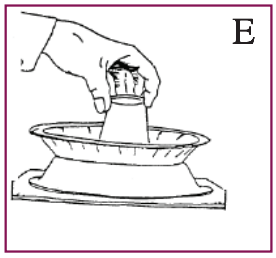


- كرّر الخطوة السابقة، لكن ادلك قاعدة صحن الفلين بقطعة الصوف هذه المرة، ثم قرّب منها صحن الألمنيوم.
- المس بإصبعك صحن الألمنيوم مراقباً شريط الالمنيوم.
- ارفع صحن الألمنيوم بعيداً.
- اجعل صحن الألمنيوم يلامس صحن المنيوم آخر مثبتاً عليه مشبك ورق وشريط المنيوم.





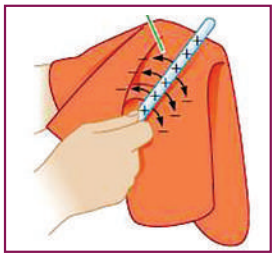




الشكل (8 - 3)

ما ملاحظاتك حول نتائج خطوات النشاط أعلاه؟ ماذا تستنتج من هذه الملاحظات؟

أ - الشحن بالدلك:

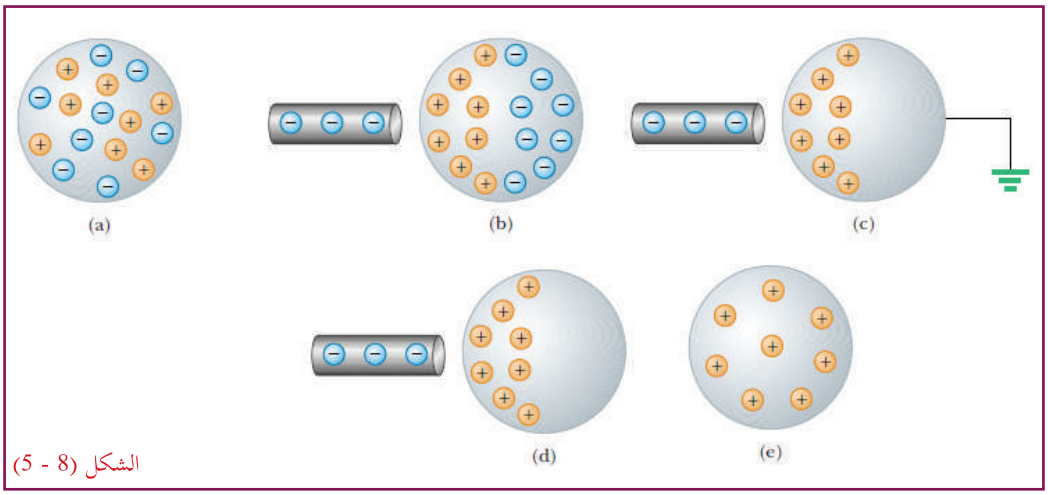


الشكل (8 – 4)

عند دلك جسميْن متعادلين من مادتين عازلتين مختلفتين تنتقل الإلكترونات من أحد الجسميْن إلى الآخر، وعدد الإلكترونات التي يفقدها أحد الجسمين يساوي تماماً عدد الإلكترونات التي يكتسبها الجسم الآخر، لذلك تكون شحنتاهما متساويتين مقداراً ومختلفتين نوعاً، مثل دلك ساق من الزجاج بقطعة من الحرير، فإنّ الزجاج يفقد بعضاً من إلكتروناته، فيصبح موجب الشحنة، في حين يكتسب الحرير هذه الإلكترونات، فيصبح سالب الشحنة، كما في الشكل (8 – 4).

ب - الشحن بالتأثير (الحث الكهروستاتيكي):

اكتشف الحث الكهروستاتيكي العالم البريطاني (جون كانتون) عام 1753 . وأهم ما يميّز هذا النوع من طرق الشحن أنّه يُستخدم لشحن المواد الموصلة، مثل النحاس. ويوضّح الشكل (8-5) كيف تتم إعادة توزيع الشحنات الكهربائيّة الحرة على جسم موصل متعادل، تحت تأثير جسم آخر مشحون بشحنة سالبة لدى اقترابهما. لاحظ أنّ وصل الجسم الموصل بالأرض يفرغه من الشحنات السالبة؛ ما يترك الجسم مشحوناً بشحنة موجبة في هذه الحالة.



الشكل (8 - 5)

شكل (8 - 5): الحث الكهروستاتيكي: هو إعادة توزيع الشحنة الكهربائية في جسم بتأثير شحنات مجاورة.

سؤال

كيف نشحن جسم بشحنة سالبة دائمة بطريقة الحث؟

ج - الشحن باللمس:

إذا اتصل (أو تلامس) جسم موصل مشحون مع موصل متعادل، فتتم إعادة توزيع الشحنات الحرة على الجسمَيْن؛ ما يؤدي إلى شحن الموصل المتعادل، وتكون شحنتاهما من النوع نفسه ، وهذا التوزيع يبقي المجموع الكلي للشحنات ثابتاً.

في طرق الشحن السابقة جميعها ، وفي نظام معزول يكون المجموع الجبري الكلي للشحنة ثابتاً خلال عمليّة الشحن. وهذا ما يُعرف بمبدأ حفظ الشحنة.

سؤال

فسّر « عند تقريب الغلاف البلاستيكي الخاص بتغليف الأطعمة من أوعية الطعام ينجذب اليها ويلتصق بها».

(3-8) قانون كولوم

نشاط (3-8): قانون كولوم

المواد والأدوات: مولّد فاندي غراف، وقطعة خشبية (20 cm,30 cm)، وحامل خشبي بشكل (L)، وكرتان ورقيتان صغيرتان، وصفيحة ألمنيوم رقيقة، ومسطرة، ومنقلة.

خطوات العمل:

- اربط كرة الورق بخيط، وثبّتها على الحامل، ثم غلّفها بصفيحة الألمنيوم.
- ضع كرة ورق ثانية لتكون ثابتة على حامل قابل للتحريك، وغلّفها بصفيحة الألمنيوم.

- اشحن كلًّا من الكرتين باستخدام مولّد فاندي غراف.
- قرّب الكرة الثانية من الأولى، ولاحظ تغيّر زاوية ميل خيط الكرة الأولى مع العمودي، وسجّل قيم الزاوية بتغيير المسافة بينهما. على ماذا تدل الزاوية؟
- خذ مسافة معينة بينهما، ثم قلّل شحنة إحدى الكرتين (كيف؟)، ولاحظ زاوية الميل.
- قلّل شحنة الكرة الثانية، ولاحظ زاوية الميل.

ماذا تستنتج؟ ما العلاقة بين قوة التنافر بين الكرتين والمسافة بينهما؟ ما العلاقة بين قوة التنافر ومقدار شحنة كلٍّ من الكرتين؟

تعرفت سابقاً أنّ الشحنات الكهربائيّة المتشابهة تتنافر، والشحنات المختلفة تتجاذب. وتُسمّى قوة التجاذب أو التنافر، القوة الكهربائية. وقد أجرى العالم (كولوم) في عام (1785) م سلسلة من التجارب باستخدام ميزان (اللي) الذي صنعه بنفسه، وقام بتحديد العوامل التي تعتمد عليها القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين نقطيتين. وقد استخدم في تجاربه كرات صغيرة مشحونة جعل البُعد بينها أكبر بكثير من أنصاف أقطارها، بحيث يمكن إهمال أبعاد الكرات وكأنّما تتمركز الشحنة في مركزها، وبذلك تُعامل كشحنات نقطية. دلت نتائج تجارب كولوم على أنّ القوة الكهربائية المتبادلة بين الشحنات الكهربائية الساكنة:

١. قوة تجاذب إذا كانت الشحنات مختلفة، وقوة تنافر إذا كانت الشحنات متشابهة.

٢. تتناسب طرديّاً مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين.

٣. تتناسب عكسيّاً مع مربع المسافة بين الشحنتين، ويكون اتّجاهها على امتداد الخط الواصل بين الشحنتين.

وتمثل هذه النتائج خصائص القوة الكهروستاتيكيّة، ومنها استطاع صياغة قانون يُعرف باسمه، قانون كولوم، ينصّ على أنّ: القوة المتبادلة (F) بين شحنتين نقطيتين (q_1 ، q_2) تفصل بينهما مسافة (r) تتناسب طرديّاً مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين، وعكسيّاً مع مربع المسافة بينهما. ويمكن التعبير عنه رياضيّاً بالعلاقة:

$$F = k \frac{q_1 \times q_2}{r^2} \qquad (8\text{-}2)$$

حيث k: ثابت تعتمد قيمته على طبيعة الوسط الذي توجد فيه الشحنات، فإذا كان الوسط فراغاً، فيُعبَّر عن هذا الثابت بالمقدار ($9 \times 10^9\ N.m^2/C^2$)، وغالباً ما يمكن اعتماد ذات القيمة للهواء، حيث يُعدّ الفارق بسيطاً، ويكتب على الصورة: $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$، حيث: ε_0 السماحية الكهربائية للفراغ.

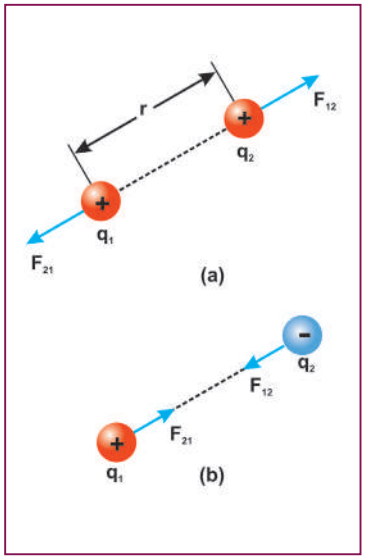
سؤال

احسب مقدار ε_0، وما وحدتها؟

وكما تعلم، فالقوة الكهربائية كمية متّجهة، والعلاقة السابقة تعطينا مقدار القوة. أمّا اتّجاهها، فيكون دائماً على امتداد الخط الواصل بين الشحنتين. فالشحنتان (q_1 ، q_2) في الشكل (8 – 6 – a) تؤثّر كلٌّ منهما في الأخرى بقوة تنافر، حيث F_{12} القوة التي تؤثّر بها الشحنة q_1 على q_2، و F_{21} القوة التي تؤثّر بها الشحنة q_2 على q_1 بالاتجاهات المبينة في الشكل (8 – 6 – b).

ما العلاقة بين مقدار واتّجاه كلٍّ من: F_{12}، F_{21} ؟

الكولوم: هو مقدار الشحنة التي ينقلها تيار كهربائي مقداره أمبير واحد في ثانية واحدة.



الشكل (8 - 6)

سؤال

عرّف الكولوم من خلال قانون كولوم.

من السهل تطبيق قانون كولوم على الشحنات النقطيّة؛ أيّ الحالات التي تكون فيها أبعاد الأجسام المشحونة صغيرة بالمقارنة بالمسافات بينها، حيث يمكن اعتبار الشحنات الكهربائيّة على الأجسام، كما لو كانت مركّزة في نقطة واحدة. أما إذا كانت الشحنات ممتدة فوق منطقة كبيرة، فيصعب تطبيق قانون كولوم بصورته العادية.

ممّا سبق نلاحظ أنّ قانون كولوم يُستخدم لحساب القوة المتبادلة بين شحنتين نقطيتين، بينما إذا وجدت عدد من الشحنات، فإنّ القوة الكليّة المؤثرّة في إحدى الشحنات تساوي محصّلة القوى المؤثّرة في تلك الشحنة من الشحنات الأخرى؛ أي أنّ:

$$\overrightarrow{F_1} = \overrightarrow{F_{12}} + \overrightarrow{F_{13}} + \ldots \qquad (8\text{-}3)$$

مثال1: شحنتان نقطيتان موجبتان في الهواء والمسافة بينهما (60 cm)، مقدار الأولى (4 μC)، ومقدار الثانية (9 μC)، احسب:

١) القوة التي تؤثّر بها الشحنة الأولى في الثانية.

٢) القوة التي تؤثّر بها الشحنة الثانية في الأولى.

الحل:

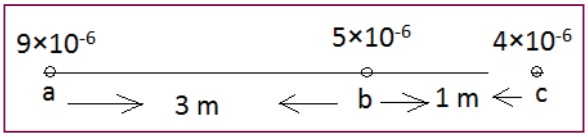
1: $F_{12} = k \dfrac{q_1 \times q_2}{r^2} = 9\times10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^{-6}/(0.6)^2 = 0.9\ N$ (تنافر)

2: $F_{21} = k \dfrac{q_1 \times q_2}{r^2} = 9\times10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 9 \times 10^{-6}/(0.6)^2 = 0.9\ N$ (تنافر)

ماذا تستنتج؟

مثال (2): ثلاث شحنات نقطية موزعة ومبيّنة قيمها بالكولوم، كما في الشكل. احسب مقدار واتّجاه القوة المؤثّرة في الشحنة الموضوعة عند النقطة (b).

الحل:



$$\overrightarrow{F_b} = \overrightarrow{F_{ab}} + \overrightarrow{F_{cb}}$$

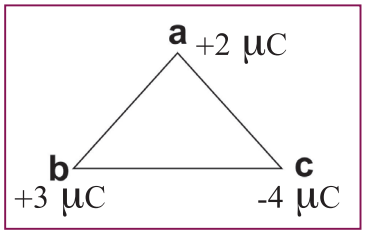
$F_{ab} = k\frac{q_a \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 9 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}/3^2 = 4.5 \times 10^{-2}$ N باتجاه اليمين (+x)

$F_{cb} = k\frac{q_c \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{-6}/1^2 = 18 \times 10^{-2}$ N باتجاه اليسار (-x)

لاحظ أنّ الشحنة (b) تؤثر فيها قوتان متعاكستان تقعان على استقامة واحدة؛ لذلك فإنّ:

$F_b = F_{cb} - F_{ab} = 18 \times 10^{-2} - 4.5 \times 10^{-2} = 1.35 \times 10^{-1}$ N باتجاه اليسار (-x)

مثال(3): abc مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه (20 cm)، وضعت على رؤوسه الشحنات (-4 , +3 , +2) ميكروكولوم على الترتيب، احسب محصّلة القوى المؤثرة في الشحنة الموضوعة عند (b).



الحل:

$$\overrightarrow{F_b} = \overrightarrow{F_{ab}} + \overrightarrow{F_{cb}}$$

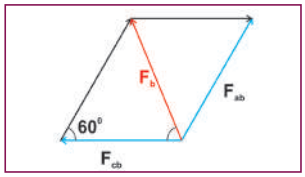
$F_{ab} = k\frac{q_a \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6}/(0.2)^2 = 1.35$ N (باتجاه ab)

$F_{cb} = k\frac{q_c \times q_b}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^{-6}/(0.2)^2 = 2.7$ N (باتجاه bc)

$F_b^2 = F_{ab}^2 + F_{cb}^2 + 2\,F_{ab}\,F_{cb}\cos 120 = (2.7)^2 + (1.35)^2 + 2 \times 2.7 \times 1.35 \times (-0.5)$

$= 7.29 + 1.8225 + 2 \times 2.7 \times 1.35 \times -0.5 = 9.113 - 3.645 = 5.5$

$F_b = \sqrt{5.5} = 2.34$N

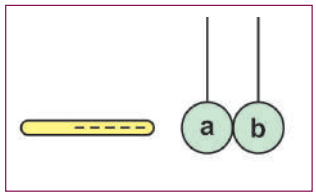


$\frac{F_b}{\sin 60} = \frac{F_{ab}}{\sin \alpha} \rightarrow \frac{2.34}{0.86} = \frac{1.35}{\sin \alpha} \rightarrow \alpha = 30°$

أسئلة الفصل:

1 اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1) يبيّن الشكل المجاور كرتين فلزّيتين (a , b) غير مشحونتين ومتلامستين. تم وضع موصل مشحون بشحنة سالبة بالقرب من الكرة (a) دون أن يلامسها. عند إبعاد الكرة (b) عن الكرة (a) فإنّ:



أ) الكرة (b) تشحن بشحنة موجبة، والكرة (a) تكون غير مشحونة.

ب) الكرة (b) تشحن بشحنة موجبة، والكرة (a) تشحن بشحنة سالبة.

جـ) الكرة (b) تشحن بشحنة سالبة، والكرة (a) تشحن بشحنة موجبة.

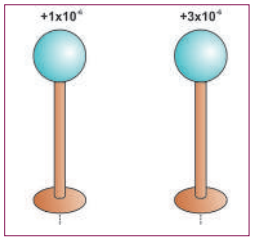
د) الكرة (a) تشحن بشحنة موجبة، والكرة (b) تكون غير مشحونة.

2) شحنتان نقطيتان، شحنة الأولى (2 q) والثانية (q). إنّ مقدار القوة التي تؤثّر بها الشحنة الأولى في الثانية تساوي:

أ) مثلي القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى. ب) نصف القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى.

جـ) أربعة أمثال القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى. د) القوة التي تؤثر فيها الثانية في الأولى.

3) يبيّن الشكل المجاور كرتين فلزيتين متماثلتين مشحونتين ومعزولتين، والمسافة بين مركزيهما(10 cm) . إذا لامست الكرة الأولى الكرة الثانية ثم أُبعدتا إلى المسافة نفسها ، فإنّ القوة المتبادلة بينهما بوحدة نيوتن تساوي:



أ) 1.4 ب) 1.8 جـ) 3.6 د) 14

4) إذا كانت القوة المتبادلة بين شحنتين نقطيتين متساويتين المسافة بينهما (r) تساوي (16N)، فإنّ القوة المتبادلة بينهما عندما تصبح المسافة بينهما (2r) تساوي (بوحدة نيوتن):

أ) 1 ب) 2 جـ) 4 د) 16

5) يبيّن الشكل المجاور شحنتين نقطيتين موضوعتين على خط مستقيم في النقطتين (a , b). إنّ أكبر قوة تنافر تكون بين الشحنات إذا كانت قيمهما:

أ) (- 2 q)، (- 4 q) ب) (- 2 q)، (+ 4 q)

جـ) (+ q)، (+ 7 q) د) (- q)، (- 4 q)

2 ما الفرق بين شحن موصل بالتأثير وشحنه باللمس؟

3 عندما ينجذب جسم باتجاه جسم مشحون، هل نستنتج أنّ الجسم المنجذب بالضرورة مشحون. فسّر ذلك.

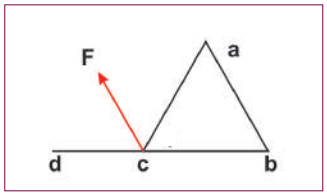
4 شحنتان كهربائيّتان نقطيتان متماثلتان تتنافران بقوة (10 N)، عندما كانت المسافة بينهما (50 cm) في الفراغ. جد:

أ. مقدار كلٍّ من الشحنتين.

ب. مقدار القوة المتبادلة بينهما، عند وضع الشحنتين في وسط سماحيته الكهربائية (10) أمثالها للهواء.

5 كرتان صغيرتان شُحنت كلٌّ منهما بشحنة موجبة، وكان مجموع شحنتيهما (50 μC)، فإذا أثّرت كلٌّ منهما في الأخرى بقوة مقدارها(0.9 N)، وكان البُعد بين الكرتين (2 m). احسب مقدار الشحنة على كلٍّ من الكرتين.

6 مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه (10 cm)، وُضعت الشحنات (q، -80 μC، +20 μC) على رؤوسه (a, b, c) على الترتيب. فإذا كانت محصلة القوى المؤثّرة في الشحنة الموضوعة في النقطة (c) تنصف الزاوية الخارجية (a c d)، كما هو مبيّن في الشكل. أوجد كلًّا من:



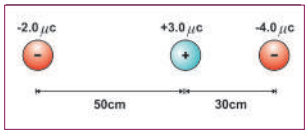
أ. الشحنة (q).

ب. محصّلة القوى (F).

7 (a b c d) مربع طول ضلعه (10cm)، وضعت على رؤوسه الشحنات(0.1, 0.5, -0.2, -0.3) ميكروكولوم على الترتيب. احسب محصّلة القوى المؤثّرة في الشحنة الموضوعة على الرأس (d).

8 وضعت أربع شحنات كهربائية (1, 5.12, 2.16, -10) ميكروكولوم على رؤوس المستطيل (a b c d) على الترتيب. إذا كان طول (ab = 8 cm)، (ad = 6 cm)، فاحسب القوة المؤثّرة في الشحنة الموضوعة في النقطة d.

9 وُضعت كرة صغيرة مشحونة بشحنة موجبة مقدارها 3μC، بين كرتين فلزيتين مشحونتين بشحنتين سالبتين، كما في الشكل، مقدار الأولى (4 μC)، وتبعد عنها (30 cm)، ومقدار الثانية (2 μC) وتبعد عنها (50 cm). ما محصّلة القوى المؤثّرة في الشحنة الموجبة؟



10 الكرة (a) تحمل شحنة موجبة مقدارها (12μC)، والكرة (b) تحمل شحنة سالبة مقدارها (3 μC)، والمسافة بينهما (1 m). أجب عمّا يأتي:

أ) أين يجب أنْ تُوضع الكرة (c) والمشحونة بشحنة سالبة مقدارها (8 μC) على امتداد الخط الواصل بين الكرتين لتكون محصّلة القوى المؤثّرة فيها صفراً؟

ب) أين يجب أنْ تُوضع الكرة (c) والمشحونة بشحنة موجبة مقدارها (1 μC) على امتداد الخط الواصل بين الكرتين لتكون محصّلة القوى المؤثّرة فيها صفراً؟

الفصل التاسع: المجال الكهربائي (Electric Field)

درست في الفصل السابق قانون كولوم الذي يحدّد القوة المتبادلة بين الشحنات الكهربائية، ولكن ما الذي يجعل شحنة كهربائية تتأثر بقوة عندما تقترب منها شحنة أخرى؟ هل من الممكن أنْ تُعزى هذه القوة إلى وجود مجال كهربائي ينشأ بسبب هذه الشحنات كما هو الحال في مجال الجاذبيّة؟ وكيف نعرّف هذا المجال؟ وما خطوط المجال؟ هذه الأسئلة وغيرها سوف تستطيع الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك أنْ:

- توضّح المقصود بكلٍّ من: المجال الكهربائي، والتدفق الكهربائي، وقانون جاوس.
- ترسم خطوط المجال الكهربائي لتوزيعات مختلفة من الشحنات.
- تحسب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنات نقطيّة وأجسام منتظمة.
- تتعرّف إلى المجال الكهربائي المنتظم وحركة شحنة نقطية فيه.
- تطبق قانون جاوس لحساب شدة المجال الكهربائي لتوزيعات متصلة ومتماثلة من الشحنات.

1-9 المجال الكهربائيّ (Electric Field)

تعرفت سابقاً أنّ الشحنات الكهربائية تؤثر بقوة في شحنة نقطية صغيرة تُسمَّى شحنة اختبار (q_0)، موضوعة بالقرب منها حسب قانون كولوم، وأن كلًّا من مقدار هذه القوة واتّجاهها يتغيّر بتغيّر موضع شحنة الاختبار بالنسبة للشحنة. إنّ الشحنات الكهربائيّة تولّد في الحيّز المحيط بها خاصيّة تظهر على شكل قوى كهربائية تُسمَّى المجال الكهربائي، وعند وضع شحنة أخرى في هذا الحيز؛ فإنّها تتأثر بهذا المجال على نحو ينسجم مع قانون كولوم.

وتُعرف شدة المجال الكهربائي (E) عند نقطةٍ ما بأنّها القوة التي يؤثّر بها المجال على وحدة الشحنات الموجبة الموضوعة في تلك النقطة. فإذا كانت قيمة شحنة الاختبار الموضوعة في نقطة معينة في المجال هي (q_0)، فتكون شدة المجال:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \qquad (9\text{-}1)$$

نلاحظ أنّ شدة المجال مرتبطة بالقوة فهي لذلك كمية متّجهة، ويكون اتّجاهها في نقطة ما باتّجاه القوة المؤثّرة في شحنة الاختبار الموجبة الموضوعة في تلك النقطة. وبالرجوع إلى المعادلة أعلاه فإنّ وحدة شدة المجال الكهربائي E هي N/C.

مثال (1): وضعت شحنة كهربائية مقدارها ($4\ \mu C$) في مجال كهربائي شدته ($6 \times 10^4\ N/C$). احسب القوة التي يؤثّر فيها المجال في الشحنة.

الحل:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \rightarrow \vec{F} = q_0\,\vec{E} = 4 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^4 = 0.24\ N$$

باتجاه المجال

إنّ هذه العلاقة تمكّننا من معرفة شدة المجال الكهربائي دون معرفة الشحنة أو الشحنات المولّدة له. فإذا كان المجال ناتجاً عن شحنة نقطية (q)، فإنّ مقدار القوة الكهربائية المتبادلة بين الشحنتين (q, q_0) يكون:

$$F = k\,\frac{q \times q_0}{r^2} \rightarrow E = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{k\,\frac{q \times q_0}{r^2}}{q_0} = k\,\frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r^2} \qquad (9\text{-}2)$$

حيث r: بُعد النقطة المطلوب حساب شدة المجال عندها عن الشحنة (q). ويكون اتّجاه المجال باتّجاه القوة المؤثّرة في شحنة الاختبار الموجبة (q_0)؛ أي مبتعداً عن الشحنة الموجبة، ومقترباً من الشحنة السالبة.

ولحساب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن عدد من الشحنات الكهربائيّة عند نقطة في مجالها المشترك نفترض أولاً وجود وحدة الشحنات الموجبة عند هذه النقطة، ثم نحسب شدة المجال الكهربائي عند النقطة لكلّ شحنة، فتكون شدة المجال الكلي الناتج تساوي محصّلة مجالات الشحنات عند تلك النقطة؛ لأنّ المجال الكهربائي كمية متجهة؛ أي أنّ:

$$\vec{E_1} = \vec{E_{21}} + \vec{E_{31}} + \vec{E_{41}} + \ldots \qquad (9\text{-}3)$$

مثال (2): ما مقدار شدة المجال الكهربائي الذي يؤثّر في إلكترون بقوة تساوي ثلاثة أمثال وزنه؟ علماً بأنّ كتلة الإلكترون تساوي (9.11×10^{-31} kg)، وشحنته تساوي (1.6×10^{-19} C)، وتسارع الجاذبيّة الأرضيّة هو ($9.8\ m/s^2$).

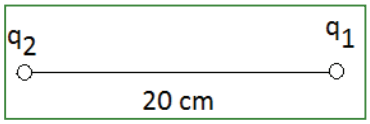
الحل:

$$3F_g = F_E$$

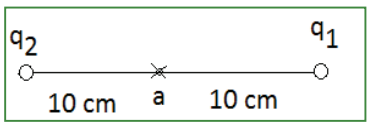
$$3mg = q_e E$$

$$E = \frac{3F_g}{q_e} = 3 \times m\ g/q_e = 3 \times 9.11 \times 10^{-31} \times 9.8/1.6 \times 10^{-19} = 1.674 \times 10^{-10}\ N/C$$

مثال (3): شحنتان كهربائيّتان موجبتان مقداراهما ($1\ \mu C$)، ($4\ \mu C$)، موضوعتان في الهواء والمسافة بينهما ($20\ cm$)، احسب:



1- شدة المجال الكهربائي عند منتصف المسافة بينهما.



2- القوة المؤثّرة في شحنة مقدارها (1×10^{-9} C) موضوعة في منتصف المسافة بينهما.

الحل:

1) $\vec{E_a} = \vec{E_{1a}} + \vec{E_{2a}}$

$$E_{1a} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{r_1^2} = 9 \times 10^9 \times 1 \times 10^{-6}/(0.1)^2 = 9 \times 10^5\ N/C \quad \text{باتجاه } (-x)$$

$$E_{2a} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{r_2^2} = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-6}/(0.1)^2 = 36 \times 10^5\ N/C \quad \text{باتجاه } (+x)$$

$$E_a = 36 \times 10^5 - 9 \times 10^5 = 27 \times 10^5\ N/C \quad \text{باتجاه } (+x)$$

2) $\vec{F} = q_0 \vec{E} = 1 \times 10^{-9} \times 27 \times 10^5 = 27 \times 10^{-4}$ N باتجاه المجال $(+x)$

2-9 خطوط المجال الكهربائي Electric Field Lines:

نشاط (9-1): تخطيط المجال الكهربائي

المواد والأدوات: مولد فان دي غراف، وحوض زجاجي، وزيت، وبذور ملوخية (بقلة، أو بقدونس، أو سميد)، وأسلاك توصيل، ودبوس، ولوحان فلزيان.

خطوات العمل:

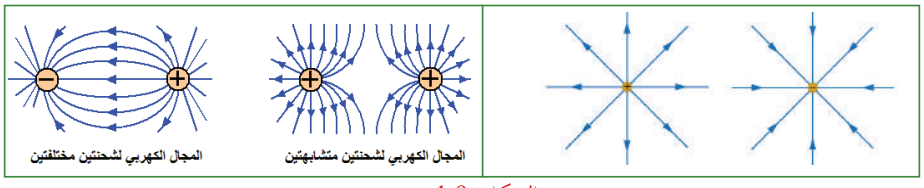
- ضع دبوساً صغيراً في الحوض الزجاجي، وصله بسلك معزول وطرف السلك الآخر بمولّد فان دي غراف.
- ضع كمية قليلة من الزيت في الحوض، ثم انثر البذور داخل الزيت. ماذا تشاهد؟
- ضع سلكين متوازيين داخل الحوض، ثم صِلهما مع مولد فان دي غراف. ماذا تشاهد؟
- ضع دبوسين صغيرين في الحوض الزجاجي، ثم صِلهما مع المولد. ماذا تشاهد؟
- ارسم خطوط المجال التي شاهدتها.

يمكن تمثيل المجال الكهربائي بخطوط تُسمّى خطوط المجال الكهربائي، وتدل على المسار الذي تسلكه شحنة الاختبار الموجبة عند تحركها في المجال بتأثير قوة المجال، ولخطوط المجال الكهربائي الخصائص الآتية:

يدل اتّجاه المماس لخط المجال الكهربائي عند أيّة نقطة على اتّجاه المجال الكهربائي عند تلك النقطة، وتكون خارجة من الشحنة الموجبة وداخلة إلى السالبة، ويتناسب عددها مع مقدار الشحنة.

تتناسب كثافة خطوط المجال الكهربائي طرديّاً مع شدة المجال الكهربائي (كثافة الخطوط: عدد خطوط المجال الكهربائي التي يقطع وحدة المساحة العمودية على اتّجاهها).

ويبيّن الشكل (9-1) خطوط المجال الكهربائي لبعض الشحنات الكهربائيّة.



الشكل (9-1)

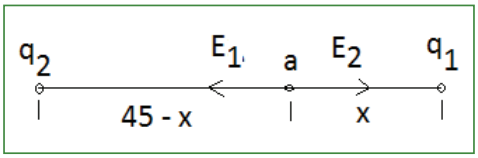
أناقش

- لا تتقاطع خطوط المجال الكهربائي.

مثال (4): شحنتان كهربائيتان نقطيتان موجبتان مقداراهما(3×10^{-6} C)، (12×10^{-6} C)، والمسافة بينهما (45 cm) في الهواء. ما بُعد النقطة التي تنعدم عندها شدة المجال الكهربائي عن الشحنة الأولى؟

الحل:

بما أنّ الشحنتين متماثلتان، فإنّ النقطة التي تنعدم فيها شدة المجال الكهربائي تقع بين الشحنتين وعلى الخط الواصل بينهما، كما في الشكل.



$$\vec{E_a} = \vec{E_1} + \vec{E_2} = 0 \rightarrow \vec{E_1} = -\vec{E_2}$$

$$9 \times 10^9 \times \frac{3\times10^{-6}}{x^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{12\times10^{-6}}{(45-x)^2} \Rightarrow \frac{1}{x^2} = \frac{4}{(45-x)^2}$$

وبأخذ جذريّ الطرفين، فإنّ:

$$\frac{1}{x} = \frac{2}{(45-x)} \Rightarrow x = 15 \text{ cm}$$

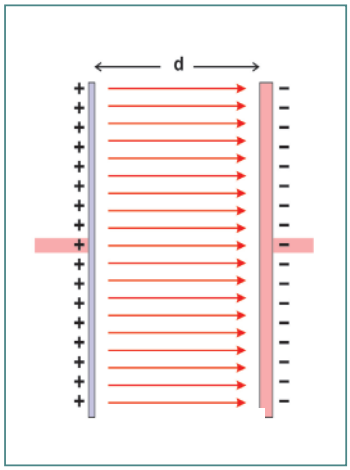
نشاط (9-2): تخطيط المجال الكهربائي المنتظم

باستخدام المواد والأدوات في النشاط السابق، ضع لوحين فلزيين متماثلين ومتوازيين في حوض الزيت المحتوي على البذور، ثم صِلهما بطرفيّ بطارية؛ بحيث تكون المسافة بينهما صغيرة بالنسبة لأبعاد اللوحين. ارسم خطوط المجال الكهربائي.

أناقش

- ما شكل خطوط المجال الكهربائي في النشاط السابق؟
- على ماذا يدل شكلها؟
- هل يختلف اتّجاه المجال الكهربائي من نقطة إلى أخرى؟
- هل تختلف كثافة خطوط المجال الكهربائي من نقطة إلى أخرى؟

9-3 حركة جسيم مشحون في مجال كهربائي منتظم Motion In Uniform E.Field:



لعلك لاحظت في النشاط السابق أنّ المجال الكهربائي منتظم في الحيز بين لوحين فلزيّين مشحونيْن بشحنتين متساويتين ومختلفتين في النوع.

عند وضع جُسيم مشحون كتلته (m) وشحنته q في مجال كهربائي منتظم (E)، فإنّه حسب القانون الثاني لنيوتن، يكتسب تسارعاً ثابتاً (a)، حيث:

$$\vec{F} = q\vec{E} = m\,\vec{a} \rightarrow \vec{a} = \frac{q\,\vec{E}}{m} \qquad (9\text{-}4)$$

وبالتالي يمكن وصف حركة الجُسيم وحسابها باستخدام معادلات الحركة بتسارع ثابت.

مثال (5): يتحرك إلكترون بين لوحين فلزيّين مشحونين بشحنتين متساويتين مقداراً، ومختلفتين نوعاً من السكون بين نقطتين المسافة بينهما (1 cm)، إذا كانت شدة المجال الكهربائي بينهما (1×10^4 N/C)، فاحسب:

١) القوة التي يؤثّر فيها المجال الكهربائي في الإلكترون، علماً بأنّ كتلة الإلكترون تساوي $(9.11 \times 10^{-31}\ kg)$، وشحنته $(1.6 \times 10^{-19}\ C)$.

٢) السرعة النهائية للإلكترون بعد قطعه تلك المسافة.

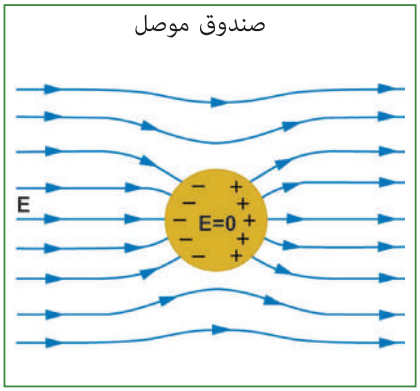
الحل:

1: $\vec{F} = q_0 E = 1.6 \times 10^{-19} \times 1 \times 10^{4} = 1.6 \times 10^{-15}\ N$ (بعكس اتجاه المجال)

2: $\vec{a} = \frac{F}{m} = 1.6 \times 10^{-15} / (9.11 \times 10^{-31}) = 1.8 \times 10^{15}\ m/s^2$

$$v^2 = v_0^2 + 2\,a\,x = 0 + 2\,(1.8 \times 10^{15})\,(0.01) = 36 \times 10^{12} \rightarrow v = 6 \times 10^{6}\ m/s$$

(4-9) تأثير المجال الكهربائي على المواد Effect of Electric Field on Materials:



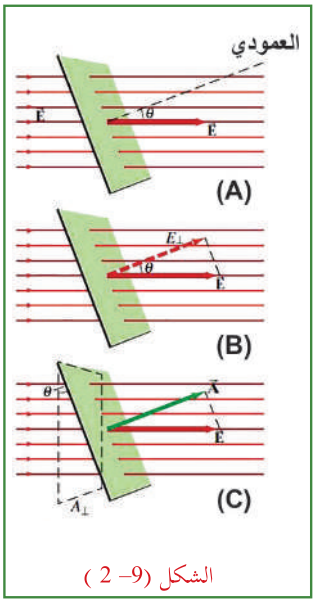
تحتوي الموصلات على إلكترونات حرة، وإذا وضُعت في مجالٍ كهربائيّ تتعرض هذه الشحنات إلى قوى كهربائية، فتتحرك داخل الموصل بعكس اتّجاه المجال المؤثّر منشئةً تياراً كهربائيّاً لحظيّاً، وتاركةً خلفها شحنات موجبة مساوية لشحنة الإلكترونات؛ ما يسبب ظهور مجال مضاد للمجال الخارجي يلغي أثر المجال الخارجي داخل الموصل. ويستفاد من هذه النتيجة في حماية الأجهزة الحسّاسة والدارات الإلكترونيّة من المجالات الكهربائية غير المرغوب فيها.

أمّا المواد العازلة فتكون الإلكترونات فيها غير حرة الحركة، وإذا وُضعت المادة العازلة في مجال كهربائي فإنّها لا تتأثر إلّا إذا كان المجال قويّاً، فيحدث لها استقطاب ؛ أي تتّجه الإلكترونات إلى طرف من العازل (مشكّلةً قطباً سالباً)، بينما تزيد الشحنة الكهربائية الموجبة في الطرف الآخر (مشكّلةً قطباً موجباً) فينشأ عنها مجال كهربائي ضعيف يعاكس اتّجاه المجال الخارجي.

(5-9) التدفّق الكهربائي وقانون جاوس Electric Flux & Gauss's Law:

تعرفت سابقا إلى كيفية حساب شدة المجال الكهربائي عند نقطة معينة في مجال شحنات نقطية، ولكن كيف يمكن حسابها في مجال موصل مشحون؟ لقد توصل (جاوس) إلى قانون يُعرف باسمه، يصف العلاقة بين توزيع الشحنة الكهربائيّة على الأجسام والمجال الكهربائي الناتج عنها. ويتضمّن هذا القانون مفهوم التدفق الكهربائي الذي يشير إلى عدد خطوط المجال الكهربائي المارة بشكل عمودي خلال مساحةٍ ما. ويُحسب التدفق الكهربائي (ϕ) لمجال كهربائي منتظم شدته (E) يمر خلال مساحة (A) كما في الشكل (9- 2 - A) رياضيّاً بالعلاقة:

$$\phi = \vec{E} \cdot \vec{A} = E\ A \cos\theta \qquad (9\text{-}5)$$



الشكل (9– 2)

حيث:

E: شدة المجال الكهربائي.

A: متجه المساحة، وهو متجه مقداره يساوي مساحة السطح واتّجاهه عمودي على السطح للخارج خصوصا إذا كان السطح مغلقاً.

θ: الزاوية المحصورة بين اتجاه شدة المجال الكهربائي والعمودي على المساحة.

ويمكن للتدفّق أنْ يُكتب بطريقة مكافئة:

$$\phi = E_\perp\ A = E\ A_\perp$$

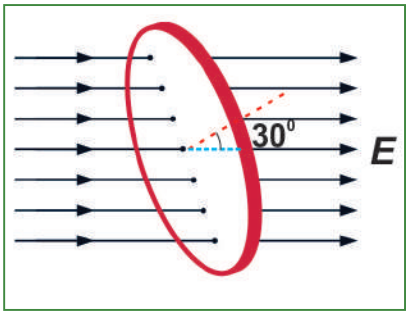
حيث:

$E_\perp$: مركبة شدة المجال الكهربائي باتجاه العمودي على المساحة

$(E \cos\theta)$ كما في الشكل (9– 2 – B)

$A_\perp$: مركبة متّجه المساحة باتّجاه شدة المجال الكهربائي $(A \cos\theta)$ شكل (9 – 2 – C)

ومن العلاقة السابقة (9-5) يمكن ملاحظة أنّ التدفق يكون موجباً إذا كانت خطوط المجال خارجة من السطح، وسالباً إذا كانت خطوط المجال داخلة فيه، وصفراً إذا كانت خطوط المجال موازية للسطح.



مثال (6): يبيّن الشكل المجاور قرصاً دائريّاً نصف قطره (10 cm)، موضوع في مجال كهربائي منتظم شدته $(2 \times 10^3\ N/C)$ ، بحيث تصنع خطوط المجال الكهربائي زاوية مقدارها (30°) مع متجه المساحة $(\vec{A})$. احسب:

1: التدفّق الكهربائي عبر القرص الدائري.

2: التدفّق الكهربائي عبر القرص الدائري عندما يدور القرص؛ بحيث تصبح خطوط المجال موازية لمستوى لقرص.

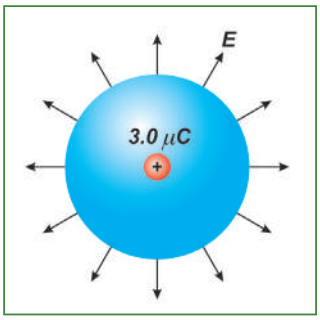
3: التدفّق الكهربائي عبر القرص الدائري؛ بحيث تصبح خطوط المجال عموديّة على مستوى القرص.

الحل:

1: $\phi = E\ A \cos\theta = 2 \times 10^3 \times (0.1)^2 \times 3.14 \times \cos 30° = 54\ N\ m^2/\ C$

2: $\phi = E\ A \cos\theta = 2 \times 10^3 \times (0.1)^2 \times 3.14 \times \cos 90° = 0$

3: $\phi = E\ A \cos\theta = 2 \times 10^3 \times (0.1)^2 \times 3.14 \times \cos 0° = 63\ N\ m^2/\ C$



مثال (7): يبيّن الشكل المجاور شحنة نقطية موجبة مقدارها (3 μC)، موضوعة في مركز كرة نصف قطرها (20 cm) في الهواء. ما التدفّق الكهربائي عبر سطح الكرة؟

الحل:

لإيجاد شدة المجال الناتج عن الشحنة النقطية عند سطح الكرة، فإنّ:

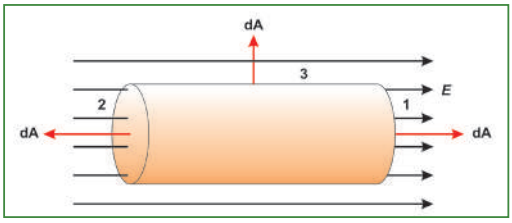
$$E = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times 3 \times 10^{-6} / (0.2)^2 = 6.75 \times 10^5 \text{ N/C}$$

وبما أنّ خطوط مجال الشحنة النقطية تكون عمودية على السطح، فإنّ (θ = صفرا):

$$\phi = E\, A \cos\theta = 6.75 \times 10^5 \times 4 \times 3.14 \times (0.2)^2 \cos 0 = 3.4 \times 10^5 \text{ N m}^2/\text{C}$$

سؤال

هل يتغيّر التدفق الكهربائي إذا كان نصف قطر الكرة (10 cm)؟ فسّر ذلك.



مثال (8): يبيّن الشكل المجاور أسطوانة طولها (L)، ونصف قطر قاعدتها (r)، موضوعة في مجال كهربائي منتظم شدته (E) في اتّجاه يوازي محور الأسطوانة. ما التدفق الكلي خلال سطح الأسطوانة؟

الحل:

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = E\, A_1 \cos 0 + E\, A_2 \cos 180^\circ + E\, A_3 \cos 90^\circ$$

$$= E\, A - E\, A + 0 = 0$$

لاحظ أنّ التدفّق الكلي عبر هذا السطح المغلق يساوي صفراً؛ لأنّ عدد خطوط المجال التي دخلت إليه يساوي عدد خطوط المجال التي خرجت منه. وتلاحظ في هذا المثال، أنّه لا توجد شحنات داخل السطح المغلق، فهل لذلك علاقة بالنتيجة التي حصلت عليها؟ وهل تتغيّر نتيجة المثال لو وجدت شحنات سالبة، أو موجبة داخل هذا السطح المغلق؟

بشكلٍ عام، إذا وجدت مجموعة من الشحنات النقطية داخل السطح المغلق في الفراغ أو الهواء، يكون

$$\phi_T = \frac{\sum Q}{\varepsilon_0}$$

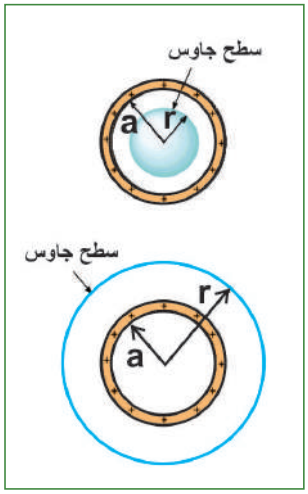
حيث:

ϕ_T: التدفّق الكهربائي الكلي عبر سطح مغلق.

$\sum Q$: المجموع الجبري للشحنات الكهربائية الموجودة داخل السطح المغلق.

وتُعرف هذه النتيجة بقانون جاوس، وينصّ على أنّ التدفق الكهربائي عبر أيّ سطحٍ مغلق يساوي مقدار الشحنة الكليّة المحصورة داخل ذلك السطح مقسوماً على السماحية الكهربائيّة للوسط.

من السهل استخدام هذا القانون لحساب المجال الكهربائي لحالات يكون فيها توزيع الشحنات الكهربائيّة على درجةٍ عالية من التماثل، مثل كرات مشحونة بشحنة منتظمة التوزيع، أو أسطوانات طويلة، أو سطوح مستوية ذات أبعادٍ كبيرة جداً. وفي كلّ الحالات يتم اختيار سطح جاوسي افتراضي بحيث يكون له التماثل نفسه لتوزيع الشحنات الكهربائية، وتكون شدة المجال (E) ثابتة على السطح كلّه، أو أجزاء منه، ويحتوي على شحنة داخله، ثم نطبّق قانون جاوس في الحل.



مثال (9): موصل كروي نصف قطره (a) يحمل شحنة كهربائية q، احسب شدة المجال الكهربائي على بعد (r) عن مركز الموصل، إذا كانت:

1) $a > r$ 2) $a = r$ 3) $a < r$

الحل:

إن أنسب سطح جاوس مغلق هو سطح كرة نصف قطرها (r)، ومركزها مركز الموصل.

1) $a > r$، وعلى اعتبار أن (A_2) هي سطح جاوس، فإنّ:

$$\phi_T = \vec{E} \cdot \vec{A} = \sum Q / \varepsilon_0 = 0 \;/\; \varepsilon_0 = 0$$

$$\vec{E} = 0$$

2) $a = r$، الكرة نفسها سطح جاوس، فإنّ:

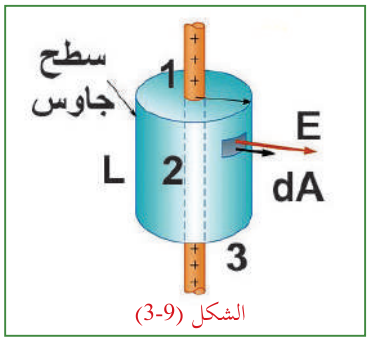
$$\phi_T = \vec{E}.\vec{A} = \sum Q/\varepsilon_0 \rightarrow E\ A \cos 0 = q/\varepsilon_0 \rightarrow E\ (4\ \pi)\ a^2 = q/\varepsilon_0$$

$$E = q\ /\ (4\ \pi\varepsilon_0)\ a^2$$

3) $a < r$، وعلى اعتبار أنّ (A_1) هي سطح جاوس، فإنّ:

$$\phi_T = \vec{E}.\vec{A} = \sum Q/\varepsilon_0 \rightarrow E\ A \cos 0 = q/\varepsilon_0 \rightarrow E\ (4\ \pi)\ r^2 = q/\varepsilon_0$$

$$E = q\ /\ (4\ \pi\varepsilon_0)\ r^2$$



الشكل (3-9)

مثال(10): سلك مستقيم لا نهائي الطول، ومشحون بشحنة موجبة موزّعة بانتظام على طوله وبكثافة طولية (λ)، علماً بأنّ (λ) هي الشحنة لوحدة الأطوال. جد شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد عن محور السلك مسافة (r).

الحل:

نختار سطح (جاوس) أسطوانة نصف قطرها (r) وطولها (L)، بحيث ينطبق محورها على محور السلك، كما في الشكل (3-9).

إنّ شدة المجال الكهربائي عند أيّة نقطة على السطح الجانبي لسطح جاوس تكون ثابتة في المقدار، واتّجاهها يكون عموديّاً على المساحة (موازية لمتجه المساحة). وبتطبيق قانون جاوس:

$$\phi_T = \vec{E} . \vec{A} = \sum Q/\varepsilon_0$$

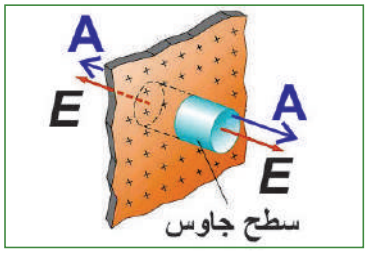
$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = E\ A_1 \cos 90^\circ + E\ A_2 \cos 0^\circ + E\ A_3 \cos 90^\circ$$

$$= 0 + E\ (2\ \pi\ r\ L) + 0 = \sum Q/\varepsilon_0$$

$$\rightarrow E\ (2\ \pi\ r\ L) = \lambda\ L/\ \varepsilon_0 \Rightarrow E = \lambda/(2\ \pi\ \varepsilon_0\ r)$$

مثال (11): صفيحة رقيقة من مادة عازلة مستوية وواسعة جداً، مشحونة بشحنة موجبة موزّعة بانتظام على مساحة الصفيحة، وبكثافة سطحيّة (σ)، حيث σ: الشحنة لكل وحدة مساحة. جد شدة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد عن الصفيحة مسافة (r).

الحل:



نرسم سطح جاوس على شكل أسطوانة تخترق الصفيحة ومحورها يتعامد معها، وتقع النقطة المراد حساب شدة المجال عندها على قاعدتها؛ أي أنّ ارتفاع الأسطوانة (2r)، كما في الشكل المجاور.

وتلاحظ أن سطح الأسطوانة الجانبي لا يسهم في التدفق؛ إذ إنّ خطوط المجال لا تخترقه، بل تعامد متجه المساحة عنده. غير أنّ خطوط المجال تخترق قاعدتي الأسطوانة بشكل عمودي على كلٍّ منهما، وبتطبيق قانون جاوس، نجد أنّ:

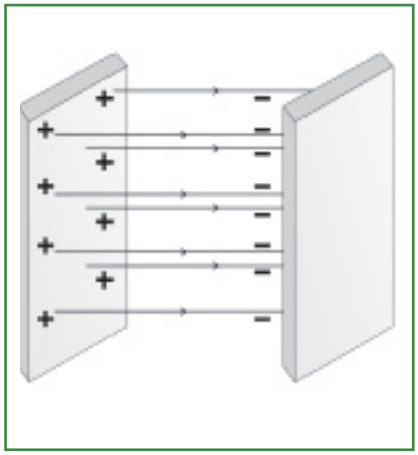
$$\phi = \vec{E} . \vec{A} = \sum Q/\varepsilon_0$$

$$\phi = \phi_1 + \phi_2 + \phi_3 = E\ A_1 \cos 0 + E\ A_2 \cos 0 + E\ A_3 \cos 90 = Q/\varepsilon_0$$

$$E\ A + E\ A + 0 = Q/\varepsilon_0 \Rightarrow 2\ E\ A = Q/\varepsilon_0 \Rightarrow E = \frac{Q}{2\ A\ \varepsilon_0} = \frac{\sigma\ A}{2\ A\ \varepsilon_0} = \frac{\sigma}{2\ \varepsilon_0}$$

سؤال

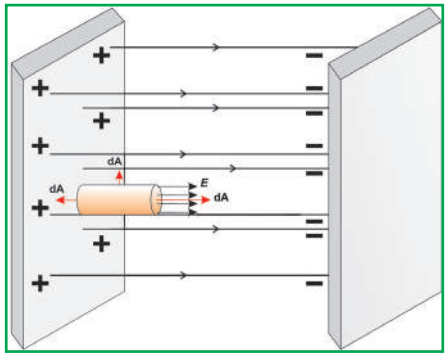
هل تعتمد شدة المجال عند أيّة نقطة بالقرب من الصفيحة على بُعد النقطة عن الصفيحة؟ فسّر إجابتك.



مثال (12): جد مقدار شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة تقع في الحيز بين لوحين متوازيين مشحونين بشحنتين متساويتين ومختلفتين.

الحل:

نفترض سطحاً جاوسياً على شكل أسطوانة مساحة قاعدتها A. إن التدفّق الكهربائي على السطح الجانبي يساوي صفراً، وبتطبيق قانون جاوس، فإنّ:



$$\phi = \vec{E} \cdot \vec{A} = \sum Q/\varepsilon_0$$

$$E\,A = Q/\varepsilon_0 \rightarrow E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

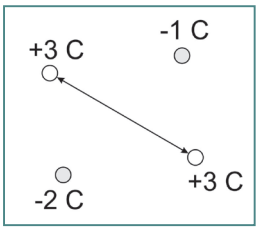
ماذا تستنتج؟

سؤال

بيّنْ أنّ شدة المجال الكهربائي خارج اللوحيْن تساوي صفراً.

أسئلة الفصل:

1 اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:



١) يبيّن الشكل المجاور أربع شحنات نقطيّة، موضوعة على رؤوس مربع طول ضلعه ($\sqrt{2}$ m). إنّ شدة المجال في مركز المربع هي:

أ) (9×10^9 N/C) باتجاه يصنع زاوية °(45) فوق المحور السيني الموجب(x+).

ب) (9×10^9 N/C) باتجاه يصنع زاوية °(45) أسفل المحور السيني السالب (x-).

جـ) (27×10^9 N/C) باتجاه يصنع زاوية °(45) فوق المحور السيني السالب(x-).

د) (27×10^9 N/C) باتجاه يصنع زاوية °(45) أسفل المحور السيني الموجب(x+).

2) نستنتج من قانون جاوس أنّه:

أ) إذا كانت الشحنة الكلية داخل سطح كروي تساوي صفراً، فإن شدة المجال الكهربائي داخل السطح الكروي لا تساوي صفراً.

ب) إذا كان التدفق الكهربائي خلال سطح كروي يساوي صفراً، فإن السطح الكروي لا يحتوي في داخله أيّة شحنة كهربائية.

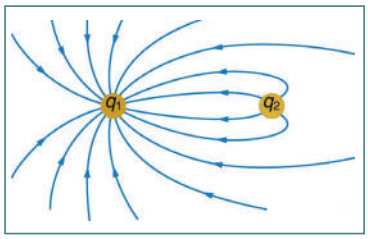
جـ) إذا كان التدفق الكهربائي خلال سطح كروي يساوي صفراً، فإن الشحنة الكلية داخل السطح الكروي تساوي صفراً.

د) لا توجد قوة بين الشحنات.

3) كرةٌ فلزّيّة سميكة وجوفاء، نصف قطرها الداخلي (9 cm)، ونصف قطرها الخارجي (10 cm) ومشحونة بشحنة موجبة مقدارها (10×10^{-6} C). إذا احتوت في مركزها على شحنة نقطيّة موجبة مقدارها (5×10^{-6} C)، فإنّ مقدار شدة المجال الكهربائي في نقطة تبعد عن المركز (20 cm) بوحدة N/C يساوي :

أ) 11.11×10^6 ب) 1.125×10^6 جـ) 3.375×10^6 د) 2.25×10^6

4) يبيّن الشكل المجاور خطوط المجال الكهربائي لشحنتين نقطيتين. العبارة الصحيحة التي تبيّن اتّجاه خطوط المجال، ومقدار الشحنات، ونوعها هي:



أ) q_1 سالبة، q_2 موجبة.

ب) q_1 أقل من q_2 من حيث المقدار.

جـ) مقدار شدة المجال الكهربائي متساوٍ في جميع النقاط المحيطة بالشحنتيْن.

د) إنّ أكبر مقدار لشدة المجال الكهربائي عند منتصف المسافة بين الشحنتيْن.

5) يتحرك جُسيم كتلته (6.7×10^{-27} kg)، وشحنته (3.2×10^{-19} C) بسرعة مقدارها (4.8×10^{5} m/s) باتّجاه المحور السيني الموجب. إذا دخل منطقة مجال كهربائي منتظم اتّجاهه بموازاة المحور السيني، فتوقف الجُسيم بعد قطعه مسافة (2 m) في المجال. ما مقدار شدة المجال الكهربائي بوحدة N/C؟

أ) $2x10^3$ ب) $1.5x10^3$ جـ) $1.2x10^3$ د) $3.5x\ 10^3$

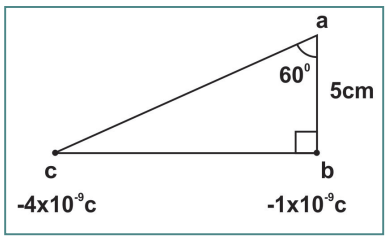
2 شحنتان نقطيتان مقدارهما (1×10^{-9} C ، -4×10^{-9} C) كولوم، والمسافة بينهما (12 cm) . احسب:

أ) شدة المجال الكهربائي عند منتصف المسافة بينهما.

ب) القوة الكهربائيّة المؤثّرة في شحنة نقطية سالبة مقدارها (1×10^{-12} C) موضوعة عند منتصف المسافة بينهما.

جـ) شدة المجال الكهربائي في نقطة تبعد (12 cm) عن الشحنة الأولى، و (24 cm) عن الشحنة الثانية، وعلى امتداد الخط الواصل بينهما.

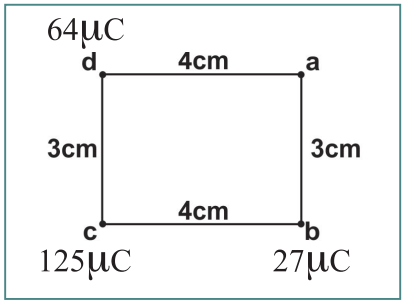
3 معتمداً على القيم المبيّنة في الشكل المجاور، أوجد شدة المجال الكهربائي في النقطة (a) .



4 معتمداً على القيم المبيّنة في الشكل المجاور، جد:

أ) شدة المجال الكهربائي في النقطة (a).

ب) مقدار واتّجاه القوة المؤثّرة في شحنة نقطية موجبة مقدارها (30×10^{-6} C) عند وضعها في النقطة (a).

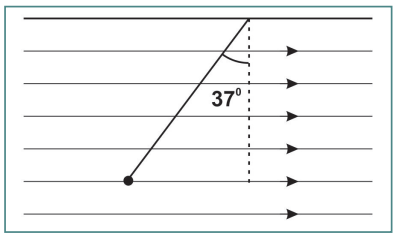


5 شحنتان نقطيتان موضوعتان في الهواء عند نقطتين المسافة بينهما (10 cm)، جد موضع نقطة التعادل في الحالات الآتية:

أ) $q_1 = -9\ \mu C$ ، $q_2 = +4\ \mu C$.

ب) $q_1 = +9\ \mu C$ ، $q_2 = +4\ \mu C$.

6 علقت كرة مشحونة كتلتها (10 mg) في مجال كهربائي منتظم شدّته ($3 \times 10^3\ N/C$)، فانحرف الخيط عن الوضع الرأسي بزاوية (37°) كما في الشكل المجاور . ما مقدار شحنة الكرة؟ وما نوعها؟



7 موصل أسطواني أجوف لا نهائي نصف قطره (5 cm)، مشحون بشحنة موزّعه عليه بانتظام، فإذا كانت كثافة الشحنة الطوليّة عليه (λ) تساوي ($5 \times 10^{-10}\ C/m$). احسب:

أ) شدة المجال الكهربائي على بُعد (2 cm) عن محور الأسطوانة.

ب) شدة المجال الكهربائي على سطح الأسطوانة.

جـ) شدة المجال الكهربائي على بُعد (10 cm) عن محور الأسطوانة.

الفصل العاشر

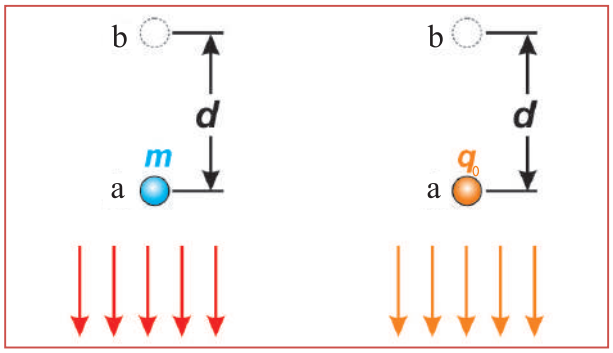
الجهد الكهربائي (Electric Potential)

تعرفتَ في الفصل السابق إلى أنّ الشحنات الكهربائيّة تولّد مجالاً كهربائياً في الحيز المحيط بها، يُعبَّر عنه من خلال القوة المؤثّرة في شحنة اختبار موضوعة في هذا الحيز. وتعلمتَ سابقاً أنّ القوى تبذل شغلاً ميكانيكيّاً فتغيّر طاقة الجسم. ولكن، كيف يتولّد عن المجال الكهربائي جهدٌ كهربائيٌّ وطاقة وضْع كهربائيّة؟ وما المقصود بالجهد الكهربائيّ؟ وعلى ماذا يعتمد الجهد الكهربائيّ لموصلٍ مشحون؟ وما العلاقة بين الجهد الكهربائي في نقطةٍ ما والمجال الكهربائي في تلك النقطة؟ وما الشغل اللازم لتحريك شحنة كهربائية بين نقطتين في المجال الكهربائي؟

هذه الأسئلة وغيرها سوف تستطيع الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك أن تكون قادراً على أن:

- توضّح المقصود بكلٍّ من: طاقة الوضع الكهربائية، والجهد الكهربائي.
- تحسب الجهد الكهربائي الناشئ عن شحنات نقطيّة وعن كراتٍ فلزيّة مشحونة.
- تحسب فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجالٍ كهربائيّ منتظم.
- ترسم سطوح تساوي الجهد لتوزيع من الشحنات.

(1-10) طاقة الوضع وفرق الجهد الكهربائيّيْن E.Potential Energy & E.Potential:



الشكل (10-1)

تعلمُ أنّ الأجسام المادية في مجال الجاذبيّة الأرضيّة تمتلك طاقة وضع تختلف بتغير موضعها في المجال. وكذلك الحال بالنسبة للشحنات الكهربائيّة، فهي تمتلك طاقة وضعٍ كهربائيّة حسب موضعها في المجال الكهربائيّ. وكما أنّه يلزم بذل شغلٍ لرفع جسم إلى أعلى بسرعةٍ ثابتة في مجال الجاذبيّة الأرضيّة، فإنّه يلزم بذل شغل لتحريك شحنة كهربائيّة موجبة بسرعةٍ ثابتة بين نقطتين ضد قوة المجال الكهربائي.

ففي الشكل (10-1- B) تقوم قوة خارجية تساوي قوة المجال الكهربائي وتعاكسها في الاتّجاه بنقل شحنة (q_0) من (a) إلى (b) بسرعة ثابتة. فتبذل القوة الخارجية شغلاً كهربائياً (W)، والشغل المبذول في نقل الشحنة يزيد من طاقة الوضع الكهربائيّة لتلك الشحنة في الموقع (b)، ويزداد بزيادة الشحنة المنقولة بين النقطتين، ويُسمّى التغيّرُ في طاقة الوضع الكهربائيّة لوحدة الشحنات الموجبة عند انتقالها بين نقطتين في المجال الكهربائي فرقَ الجهد الكهربائي بين النقطتين، ويساوي التغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة مقسوماً على مقدار الشحنة؛ أي أنّ:

$$\Delta V = \frac{\Delta U}{q_0} \qquad (10\text{-}1)$$

ومن العلاقة (1) نجد أنّ الجهد الكهربائي كميّة قياسيّة؛ لأنّه ناتج عن قسمة كميّتين غير متجهتين هما: طاقة الوضع (الشغل) والشحنة. ويقاس في النظام العالمي للوحدات بوحدة (جول/كولوم)، وتُدعى هذه الوحدة بالفولت. ويعرّف الفولت بفرق الجهد بين نقطتين، تكون المقاومة الكهربائية بينهما 1 اوم، ويسري تيار كهربائي مقداره 1 امبير.

سؤال

عرّف الفولت من المعادلة (10-1).

وبما أنّ شغل القوة الخارجيّة (W_{ext}) يساوي التغيّر في طاقة الوضع في الأنظمة المحافظة؛ فإنّ:

$$W_{ext\ a\to b} = +\Delta U = U_b - U_a \qquad (10\text{-}2)$$

$$\frac{W_{ext\ a\to b}}{q_0} = \frac{U_b - U_a}{q_0} = \frac{U_b}{q_0} - \frac{U_a}{q_0} \Rightarrow V_{ba} = V_b - V_a = \Delta V$$

وبالتالي فإنّ:

$$W_{ext\ a \rightarrow b} = q\ V_{ba} \qquad (10\text{-}3)$$

حيث (V_b) الجهد الكهربائي للنقطة b، و (V_a) الجهد الكهربائي للنقطة a. فإذا تحرّرت الشحنة من القوة الخارجية تعود إلى موقعها عند النقطة (a) بفعل القوة الكهربائية؛ إذ تتحرّر طاقة الوضع الكهربائيّة المخزّنة فيها على شكل طاقة حركيّة، تماماً كما تسقط الكرة من ارتفاعٍ معيّن نحو الأرض بفعل الجاذبيّة.

ونلاحظ أنّ المعادلة (10-3) تعطي فرق الجهد بين موضعيْن، فإذا اعتبرنا النقطة (a) بعيدة جداً (في الما لانهاية)، فإنّ المجال الكهربائيّ لا يؤثّر في شحنة اختبار موضوعة عندها بأيّة قوّة كهربائيّة؛ ما يعني أنّ طاقة الوضع الكهربائيّة عندها تكون صفراً، وكذلك يكون الجهد؛

وهكذا تصبح العلاقة (10-3) السابقة على النحو:

$$V_b = \frac{U_b}{q} - 0 = \frac{U_b}{q}$$

وعلى نحو عام، فالجهد الكهربائيّ عند نقطة مقيساً بالنسبة إلى جهد يساوي صفراً في الما لانهاية، يُعرف بأنّه الشغل المبذول من قبل قوة خارجية لنقل وحدة الشحنات الموجبة من ما لانهاية إلى تلك النقطة بسرعةٍ ثابتة. وتُحسب طاقة الوضع الكهربائيّة من العلاقة الآتية:

$$U_b = q\ V_b \qquad (10\text{-}4)$$

مثال(1): شحنة كهربائية نقطية مقدارها (3.2×10^{-19} C)، موضوعة عند النقطة (a) التي جهدها (10 V)، جد ما يأتي:

1- طاقة الوضع الكهربائية للشحنة في النقطة (a).
2- الشغل اللازم لنقل الشحنة من موقعها عند النقطة (a) إلى النقطة (b) التي جهدها (20 V).
3- التغيّر في طاقة وضع الشحنة عند نقلها من (a) إلى (b).

الحل:

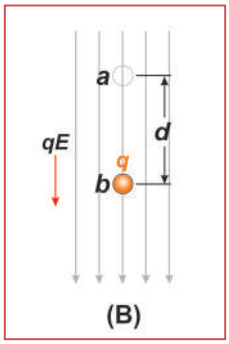
1: $U_a = q\ V_a = 3.2 \times 10^{-19} \times 10 = 32 \times 10^{-19}$ J

2: $W_{ext\ a \rightarrow b} = q\ V_{ba} = q\ (V_b - V_a) = 3.2 \times 10^{-19}\ (20 - 10) = 32 \times 10^{-19}$ J

3: $\Delta U = U_b - U_a = q\ V_b - q\ V_a = q\ (V_b - V_a) = q\ V_{ba}$

$= 3.2 \times 10^{-19}\ (20 - 10) = 32 \times 10^{-19}$ J

(10-2) فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائيّ منتظم E.Potential & E.Field:



إذا وُضعت شحنة كهربائية موجبة (q) في مجال كهربائي منتظم، كما في الشكل المجاور، فإنّها تتحرك إزاحة (d) مع اتّجاه المجال بفعل القوة الكهربائيّة التي تنجز شغلاً موجباً؛ لأنّ اتّجاه قوة المجال يكون باتجاه الإزاحة. وبما أنّ قوة المجال الكهربائيّ قوة محافظة، فإنّ:

$$W_{field\ a \longrightarrow b} = -\Delta U = -(U_b - U_a) = U_a - U_b = q V_a - q V_b = q (V_a - V_b)$$

$$W_{field\ a \longrightarrow b} = q V_{ab} \qquad (10\text{-}5)$$

وبما أنّ الشحنة موجبة، فإنّ: ($U_a > U_b$) ، والنقص في طاقة الوضع الكهربائيّة يظهر على شكل زيادة في الطاقة الحركيّة للشحنة، أي أنّ:

$$W_{field\ a \longrightarrow b} = +\Delta KE = (KE_b - KE_a)$$

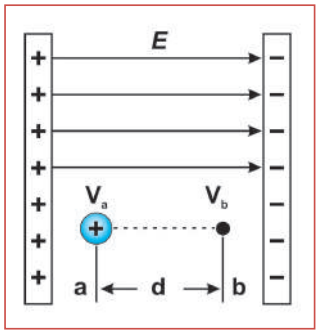
وبما أنّ الشغل موجب، فإنّ: ($KE_b > KE_a$)

$$W_{field\ a \longrightarrow b} = \vec{F}_{field} \cdot \vec{d} = q \vec{E} \cdot \vec{d} = q\ E\ d_{ab}\ \cos\theta_{ab} = q\ V_{ab}$$

ومنها نجد أنّ:

$$V_{ab} = E\ d_{ab} \cos\theta_{ab} \qquad (10\text{-}6)$$

حيث θ_{ab}: الزاوية بين اتّجاه المجال (E) والإزاحة (d_{ab}).



مثال (2): تحرّك بروتون شحنته (1.6×10^{-19} C)، وكتلته (1.67×10^{-27} kg) من السكون من النقطة (a) إلى النقطة (b)، وتفصل بينهما مسافة (50 cm) في مجال كهربائي منتظم شدّته (8×10^4 V/m) كما في الشكل، جد ما يأتي:

1) فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين a، b (V_{ba}).

2) الشغل الذي تبذله قوة المجال في نقل البروتون من النقطة (a) إلى النقطة (b).

3) التغيّر في طاقة وضع البروتون عند انتقاله من النقطة (a) إلى النقطة (b).

4) سرعة البروتون في النقطة (b).

5) الشغل الذي تبذله قوة خارجيّة في نقل الشحنة من (b) إلى (a) بسرعة ثابتة.

الحل:

1: $V_{ba} = E\ d_{ba} \cos\theta_{ba} = 8 \times 10^4 \times 50 \times 10^{-2} \times \cos 180 = -4 \times 10^4$ V.

2: $W_{field\ a \longrightarrow b} = F_{fiald} . d = q\ E\ d \cos 0 = 1.6 \times 10^{-19} \times 8 \times 10^4 \times 50 \times 10^{-2} \times 1 = 6.4 \times 10^{-15}$ J

ويمكن الحل باستخدام المعادلة (5-10)، بيّن ذلك.

3: $\Delta U = U_b - U_a = q\ V_b - q\ V_a = q\ (V_b - V_a) = q\ V_{ba}$

$= 1.6 \times 10^{-19} \times (-4 \times 10^4) = -6.4 \times 10^{-15}$ J

بما أنّ قوة المجال قوة محافظة، فإنّه يمكن استخدام مبدأ حفظ الطاقة الميكانيكيّة؛ أي أنّ:

4: $U_a + KE_a = U_b + KE_b$

$U_a + 0 = U_b + KE_b$

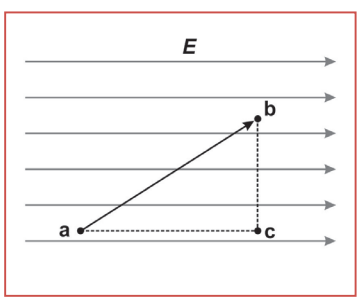
$KE_b = U_a - U_b = q\ V_a - q\ V_b = q\ (V_a - V_b) = q\ V_{ab}$

$= 1.6 \times 10^{-19} \times (4 \times 10^4) = 6.4 \times 10^{-15}$ J

$\frac{1}{2}\ m\ v_b^2 = 6.4 \times 10^{-15} = \frac{1}{2} \times 1.67 \times 10^{-27}\ v_b^2 \Longrightarrow v_b = 2.77 \times 10^6$ m/s

استخدم نظرية الشغل والطاقة لحساب سرعة البروتون.

5: $W_{ext\ b \longrightarrow a} = +\Delta U = q\ V_{ab} = 1.6 \times 10^{-19} \times 4 \times 10^4 = 6.4 \times 10^{-15}$ J



لاحظ الزيادة في طاقة حركة البروتون بفعل الشغل المبذول من قوة المجال عليه، تساوي النقص في طاقة الوضع الكهربائية للبروتون.

إنّ النقاط الواقعة على السطح الواصل بين (b) و (c) في الشكل متساوية في الجهد؛ لذا يُدعى سطح تساوي الجهد كما سيأتي لاحقاً. وبما أنّه لا يوجد فرق في الجهد بين النقاط الواقعة على سطح تساوي الجهد؛ لذا لا يوجد تغيّر في طاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة عبر هذا السطح؛ أي أنّ القوة الكهربائيّة لا تبذل شغلاً عند انتقال الشحنة عبر هذا السطح. وبما أنّ:

$$V_c = V_b \Longrightarrow V_{ac} = V_{ab}$$

كما يمكنك أنْ تلاحظ أنّ الشحنة الموجبة تتحرك على نحو حرّ في المجال الكهربائي المنتظم من الجهد العالي (V_a) إلى الجهد المنخفض (V_c) باتّجاه خطوط المجال الكهربائي.

أما بالنسبة للشحنة السالبة، فإنّ طاقة الوضع الكهربائيّة تزداد عندما تتحرّك باتّجاه المجال تحت تأثير قوة خارجية، وتقل عندما تتحرك باتجاه معاكس لاتجاه المجال (تحت تأثير قوة المجال) ويمكن التعبير عن الطاقة بوحدة الإلكترون فولت (eV) ويساوي (1.6×10^{-19} J).

الإلكترون فولت: الطاقة الحركيّة التي يكتسبها الإلكترون عندما يتسارع بين نقطتين فرق الجهد بينهما فولت واحد.

(3-10) الجهد الكهربائي الناشئ عن شحنات نقطيّة Electric Potential due to Point charges:

عرفتَ أنّ خطوط المجال الكهربائي للشحنة النقطية تنتشر في الفضاء المحيط بالشحنة، وإذا كان المجال الكهربائي ناشئاً عن شحنة نقطية، فإنّ الجهد الكهربائي عند النقطة (a) والناتج عن الشحنة النقطية (q) الموضوعة في الفراغ أو الهواء يُعطى بالعلاقة الآتية:

$$V_a = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r} \qquad (10\text{-}7)$$

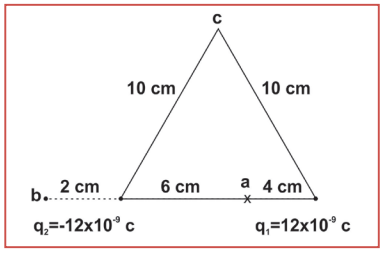
وكما تعلم فالجهد كميّة قياسيّة؛ لذا نعوّض الشحنة بإشارتها سواء أكانت موجبة أم سالبة عند استخدام هذه العلاقة.

وإذا كانت النقطة (a) المراد حساب الجهد عندها، واقعة بالقرب من شحنات نقطية أخرى، فإنّ جهدها الكهربائي هو المجموع الجبري للجهود الناتجة عن كلٍّ من هذه الشحنات؛ أي أنّ:

$$V_a = V_{q1} + V_{q2} + V_{q3} + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$V_a = 9 \times 10^9 \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} \right) \qquad (10\text{-}8)$$

مثال (3): يبيّن الشكل المجاور شحنتين نقطيتين (q_1, q_2) موضوعتين في الهواء، والمسافة بينهما(10 cm).



1) ما مقدار الجهد الكهربائي في النقط (a, b, c)؟

2) ما الشغل اللازم لنقل شحنة مقدارها (5 μC) من c إلى a.

الحل:

$$1:\ V_a = 9 \times 10^9 \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left(\frac{12 \times 10^{-9}}{0.04} + \frac{-12 \times 10^{-9}}{0.06} \right)$$

$$= 9\ (300 - 200) = 900\ V$$

$$V_b = 9 \times 10^9 \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left(\frac{12 \times 10^{-9}}{0.12} + \frac{-12 \times 10^{-9}}{0.02} \right)$$

$$= 9\ (100 - 600) = -4500\ V$$

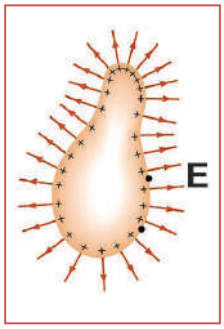
$$V_c = 9 \times 10^9 \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left(\frac{12 \times 10^{-9}}{0.1} + \frac{-12 \times 10^{-9}}{0.1} \right)$$

$$= 9\ (120 - 120) = 0$$

$$2:\ W_{ext\ c \longrightarrow a} = q\ (V_a - V_c) = 5 \times 10^{-6} (\ 900 - 0\ ) = 4500 \times 10^{-6}\ J$$

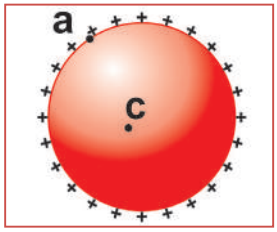
(4-10) الجهد الكهربائي لموصل كروي مشحون E.Potential Of Charged Sphere:

تعرفت سابقاً أنّ شدة المجال الكهربائي داخل الموصل المشحون تساوي صفراً، وأنّ الشحنات تتوزّع على السطح الخارجي وتستقرّ عندما يتساوى الجهد الكهربائي في جميع النقاط على السطح. أمّا عند نقطة خارجه قريبة من سطح الموصل، فتكون شدة المجال $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ واتّجاهه عموديّاً على سطح الموصل؛ لأنّه لو وجدت لشدة المجال مركّبة أفقية عند سطح الموصل، فإنها ستسبب حركة للشحنات، وهو ما يتعارض مع حقيقة كون الشحنات مستقرة (ساكنة) على السطح.



ويبيّن الشكل أنّ توزيع الشحنات على سطح الموصل غير منتظم؛ لأن السطح غير منتظم، فالشحنات تتباعد عن بعضها قدر المتاح، وتكون الكثافة السطحية للشحنة عند الرؤوس المدبّبة أكبر ما يمكن. ويمكن الحصول على توزيع منتظم من الشحنات إذا قمنا بشحن موصل كروي، فالشحنات تتوزّع على سطحه الخارجي بانتظام؛ إذ إنّ سطحه منتظم.

هذا بالنسبة لشدة المجال، فماذا عن الجهد الكهربائي داخل الموصل الكرويّ المشحون؟ وما فرق الجهد بين النقطتين a، c في الشكل المجاور؟



بما أنّ شدة المجال الكهربائي داخل الموصل المشحون تساوي صفراً، فإنّ:

$$V_{ac} = E\ d_{ac}\ \cos\theta_{ac} = 0$$

$$V_a - V_c = 0$$

$$V_a = V_c$$

وهذا يعني أنّ الجهد عند أيّة نقطة داخل الموصل ثابت، ويساوي قيمته عند سطح الموصل.

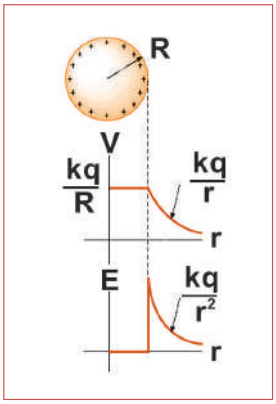
مرّ بك أنّه يمكن النظر إلى الموصل الكروي المشحون كما لو أنّ الشحنة نقطية تتركز في مركزه؛ لذا يكون الجهد في الفراغ أو الهواء، والناتج عن هذه الشحنة داخل الموصل الكروي وعلى سطحه ثابتاً، ويُعطى بالعلاقة:

$$V = \frac{1}{4\pi\ \varepsilon_0} \times \frac{q}{R} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{R} \qquad (10\text{-}9)$$

حيث R : نصف قطر الموصل الكروي.

أمّا على بُعد (r) من مركز الموصل، حيث: $R < r$، فإنّ الجهد الناتج عن الشحنة النقطية المتمركزة في مركز الموصل الكروي تساوي: $V = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{r}$

ويبيّن الشكل المجاور رسماً بيانيّاً للمجال والجهد الناتج عن موصلٍ كرويّ مشحون.



أما إذا وُجد موصل كروي مشحون بالقرب من موصل كروي آخر مشحون، فإنّ المجال الناشئ عن الشحنات الموجودة على سطح أحد الموصلين تؤثّر في الشحنات الموجودة على السطح الآخر، والعكس صحيح؛ لذا يكون الجهد عند نقطة على سطح أحد الموصلين هو جهد مطلق من الشحنات الموجودة على سطحه، وجهد حثي من الشحنات الموجودة على السطح الآخر؛ أي أنّ:

$$V_1 = V_{1\text{مطلق}} + V_{2\text{حثي}} = 9 \times 10^9 \times \frac{q}{R} + 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{r_2} \qquad (10\text{-}10)$$

مثال(4): كرتان نصفا قطريْهما (R_1= 2 cm, R_2= 3 cm)، والمسافة بين مركزيْهما (30 cm)، تحمل الأولى شحنة كهربائية مقدارها (10×10^{-9} C)، والثانية شحنة (-3×10^{-9} C)، احسب:

1: جهد نقطة تقع في منتصف المسافة بينهما.

2: الجهد الكلي لكلٍّ منهما.

3: مقدار الشحنة على الكرة الأولى بعد وصلها بالأرض.

الحل:

1) $V = V_1 + V_2$

$$V = 9 \times 10^9 \left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} \right) = 9 \times 10^9 \left(\frac{10 \times 10^{-9}}{0.15} + \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.15} \right)$$

$$= 600 - 180 = 420V$$

2) $V_1 = V_{1\text{مطلق}} + V_{1\text{حثي}} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{R_1} + 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{r_2}$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{10 \times 10^{-9}}{0.02} + 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.3} = 4500 - 90 = 4410V$$

$$V_2 = V_{2\text{مطلق}} + V_{1\text{حثي}} = 9 \times 10^9 \times \frac{q_2}{R_2} + 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{r_1}$$

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.03} + 9 \times 10^9 \times \frac{10 \times 10^{-9}}{0.3} = -900 + 300 = -600V$$

3) $V_1 = V_{1\text{مطلق}} + V_{2\text{حثي}}$

$$0 = 9 \times 10^9 \times \frac{q_1}{0.02} + 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-9}}{0.3}$$

$$0 = 450 \times 10^9 \, q_1 - 90$$

$$\Rightarrow q_1 = 0.2 \times 10^{-9} \, C$$

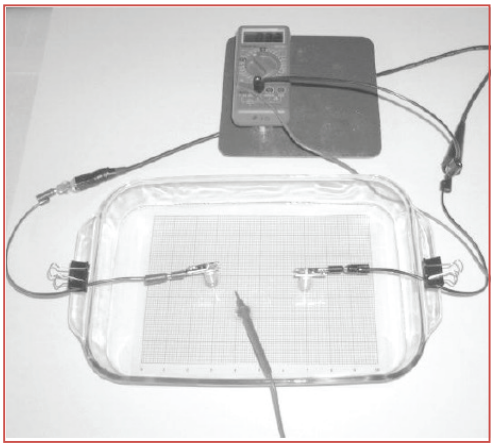
(5-10) سطوح تساوي الجهد Equipotential Surfaces:

نشاط (10- 1):

المواد والأدوات: مصدر فرق جهد، ووعاء زجاجي شفاف، ومحلول كهرلي، وأقطاب معدنية متصلة بكرات معدنية صغيرة، وصفيحتان، وفولتميتر، وورق بياني.

خطوات العمل:

- ضع المحلول الكهرلي في الوعاء الزجاجي إلى عمق(4-6 mm)، وضع الورق البياني أسفل الوعاء من الخارج.
- قم بتوصيل الأقطاب في الدارة، بحيث تتصل بها الكرات المعدنية وفق الشكل المجاور.



- ثبّت مزود الجهد على (6V)
- حرّك الطرف الحر للفولتميتر، وحدّد إحداثيات 5 نقاط لها قيمة الجهد نفسه (تمثل سطح تساوي الجهد الأول).
- كرّر الخطوة السابقة لقيم أخرى للجهد.
- ارسم سطوح تساوي الجهد على ورق بياني وفق الإحداثيات التي حصلت عليها.
- كرّر الخطوات السابقة مستخدماً كرة معدنية وصفيحة.
- كرر الخطوات السابقة مستخدماً صفيحتين متوازيتين.
- ارسم خطوط المجال الكهربائي في كلّ حالة.

عرفت أنّ سطح تساوي الجهد هو سطح تكون للجهد عند أيّة نقطة واقعة عليه قيمة ثابتة.

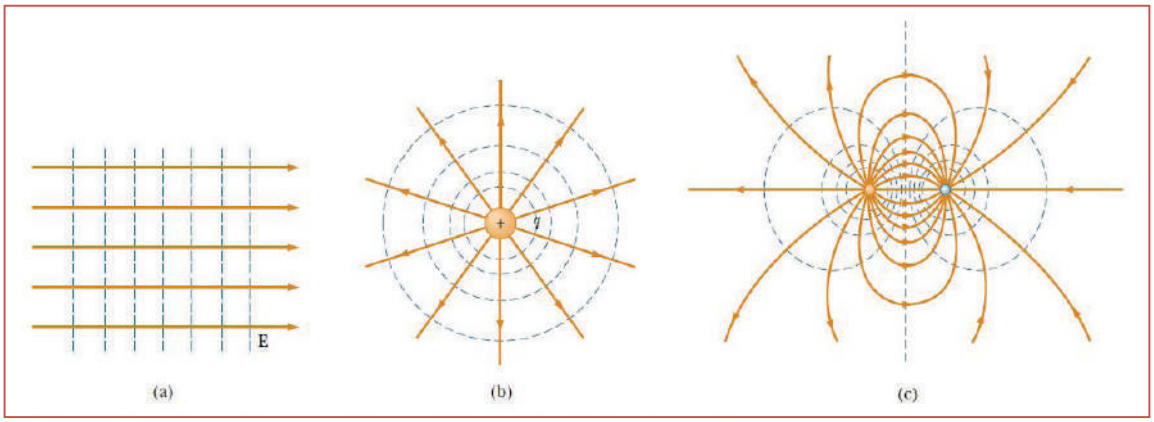
سطوح تساوي الجهد: المحل الهندسي لجميع النقاط المتساوية في الجهد الكهربائي.

أي أنّ: ($\Delta V = 0$) بين أيّة نقطتين على السطح. هذا ويوجد ترابط بين سطوح تساوي الجهد وخطوط المجال الكهربائي، حيث وُجد أنّ خطوط المجال الكهربائي عند أيّة نقطة على سطح تساوي الجهد تكون عموديّة عليه.

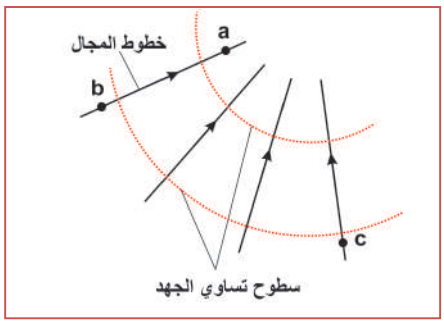
ويبيّن الشكل أدناه سطوح تساوي الجهد لتوزيعاتٍ عِدّة من الشحنات؛ إذ تبدو على شكل سطوح كروية تحيط بشحنة نقطية أو موصل كروي، وتلاحظ أنّ سطوح تساوي الجهد لا تتقاطع، فلو تقاطعت لكان للجهد أكثر من قيمة عند نقطة التقاطع، وهذا يتعارض مع تعريف سطح تساوي الجهد. ومن الملاحظ أيضاً أنّ سطوح تساوي الجهد متعامدة مع خطوط المجال الكهربائي؛ فبما أنّ الشغل اللازم لنقل شحنة على سطح تساوي الجهد يساوي صفراً؛ لذا:

$$V_{ab} = E\, d_{ab} \cos \theta_{ab} = 0$$

ويكون ذلك صحيحاً عندما : $\theta = 90$؛ أي عندما يتعامد خط المجال (E) مع الإزاحة (d)، كما هو مبيّن في الشكل الآتي:



مثال (5): تحرك إلكترون من النقطة (a) إلى النقطة (b) على سطحي تساوي الجهد، فبذل المجال الكهربائي عليه شغلاً مقداره (3.94×10^{-19}J). جد ما يأتي:



1) V_{ba}

2) V_{ca}

3) V_{cb}

الحل:

1: $W_{field\ a \rightarrow b} = -\Delta U$

$$\Delta U = -W_{field\ a \rightarrow b} = -3.94 \times 10^{-19}\text{J}$$

$$\Delta V_{ab} = \frac{\Delta U}{q} \rightarrow V_b - V_a = V_{ba} = \frac{-3.94 \times 10^{-19}}{-1.6 \times 10^{-19}} = 2.46\ \text{V}$$

2: $V_{ca} = V_c - V_a = V_b - V_a = V_{ba} = 2.46\ \text{V}$

3: $V_{cb} = V_c - V_b = V_b - V_b = 0$

أسئلة الفصل:

1 اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1) سطوح تساوي الجهد عبارة عن سطوح:

أ) تكون شدة المجال الكهربائي عليها ثابتة في المقدار والاتّجاه.

ب) تكون الشحنة الكهربائية عليها ثابتة في المقدار والاتّجاه.

جـ) يلزم شغل لتحريك شحنة نقطية ما بين نقطتين عليها.

د) يمكن أن تتحرك عليها الشحنة بسرعة ثابتة دون الحاجة إلى بذل شغل للتغلب على قوة المجال الكهربائي.

2) إذا تحركت شحنة نقطية موجبة حرّة من السكون باتّجاه خطوط المجال الكهربائي، فإنّها تنتقل إلى نقطة:

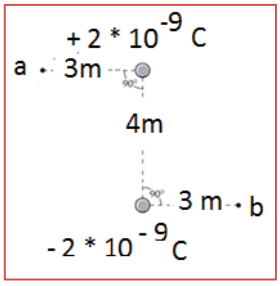
أ) أقلّ جهداً، وتقلّ طاقة الوضع الكهربائية للشحنة فيها.

ب) أقلّ جهداً، وتزداد طاقة الوضع الكهربائية للشحنة فيها.

جـ) أعلى جهداً، وتقلّ طاقة الوضع الكهربائية للشحنة فيها.

د) أعلى جهداً، وتزداد طاقة الوضع الكهربائيّة للشحنة فيها.

3) إنّ فرق الجهد بين النقطتين a، b (V_{ab}) في الشكل المجاور يساوي (بوحدة فولت):



أ) 4.8 ب) 6

جـ) 7.2 د) 8.4

4) شحنت كرة فلزية نصف قطرها (20 cm) بشحنة موجبة مقدارها (3 μC). إنّ مقدار الشغل المبذول في نقل شحنة نقطية موجبة مقدارها (25 μC) من مالانهاية إلى مركز الكرة يساوي (بوحدة جول J):

أ) 2.7 ب) 3.4 جـ) 4 .3 د) 5.4

5) كرة فلزّية نصف قطرها (5 cm)، وتحمل شحنة موجبة موزّعة عليها بانتظام مقدارها (0.25×10^{-9}C)، النقطة (a) في مركز الكرة، والنقطة (b) تبعد (15 cm) من مركز الكرة. ما مقدار فرق الجهد بين النقطتين a، b (بوحدة فولت V)؟

أ) 15 ب) 23 جـ) 30 د) 45

6) الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية موجبة مقدارها(6 μC) من نقطة ما على سطح تساوي جهد (5 V) إلى نقطة أخرى على سطح تساوي جهد (6V)، ثم إعادتها مرة أخرى إلى النقطة نفسها على سطح تساوي الجهد (5 V) يساوي (بوحدة جول J):

أ) صفراً ب) 3×10^{-5} جـ) 6×10^{-5} د) 6×10^{-6}

2 فسّر ما يأتي:

١ - سطوح تساوي الجهد متعامدة مع خطوط المجال الكهربائي.

٢- نقطة قريبة من شحنات كهربائيّة عِدّة وجهدها صفر.

٣- شدة المجال الكهربائي داخل الموصل تساوي صفراً.

٤- لا يعني كون شدة المجال الكهربائي عند نقطة فيه تساوي صفراً أنّ جهد هذه النقطة يساوي صفراً.

3 كرة موصلة نصف قطرها (3 cm)، موضوعة في الهواء، وتحمل شحنة كهربائيّة سالبة مقدارها (5×10^{-8} C). احسب:

أ) جهد الكرة.

ب) فرق الجهد بين نقطتين تبعدان (10 cm)، (15 cm) عن مركز الكرة على الترتيب.

4 وُصل لوحان فلزّيان متوازيان إلى فرق جهد مقداره (6000 V)، والمسافة بينهما (2 cm). أجب عما يأتي:

أ) ما مقدار شدة المجال الكهربائي عند نقطة تقع في الحيّز بينهما؟

ب) ما مقدار الطاقة الحركيّة التي يكتسبها إلكترون يتسارع من السكون في الحيّز بين اللوحين.

جـ) إذا قلّت المسافة بينهما إلى النصف مع بقاء فرق الجهد ثابتاً، فهل تتغير الإجابات في الفرعين السابقين؟ وضّح إجابتك.

5 تحرّك بروتون شحنته (1.6×10^{-19}C)، وكتلته (1.67×10^{-27} kg) من السكون من نقطة (a) عند اللوح الموجب إلى النقطة (b) عند اللوح السالب في الحيّز بين لوحيْن متوازييْن مشحونيْن بشحنتيْن مختلفتيْن، تفصل بينهما مسافة (4 cm). إذا كانت شدة المجال الكهربائي بين اللوحين (625 N/C)، جد:

أ) فرق الجهد الكهربائي بين النقطتين a، b.

ب) التغيّر في طاقة وضع البروتون عند انتقاله بين اللوحيْن.

جـ) سرعة البروتون بعد قطعه هذه الإزاحة.

6 كرتان نصفا قطريْهما (1 cm)، (2 cm) على الترتيب، والمسافة بين مركزيْهما (36 cm). الأولى مشحونة بشحنة (10×10^{-9} C) ، وتحمل الثانية شحنة مقدارها (-1.67×10^{-9} C)، احسب:

أ) جهد نقطة تقع في منتصف المسافة بينهما.

ب) الجهد الكلي للكرة الأولى.

جـ) مقدار الشحنة على الكرة الثانية بعد وصلها بالأرض.

7 شحنتان نقطيتان مقداراهما (2 μC)، (4 μC)، وتفصل بينهما في الهواء مسافة (20 cm). احسب:

أ) الشغل اللازم لجعل المسافة بينهما (10 cm).

ب) الشغل اللازم لوضع شحنة موجبة مقدارها (1 μC) على بُعد (10 cm) من كلتيهما، بعد تقريبهما من بعضهما البعض.

8 اقرأ كل عبارة من الآتية ثم أضع إشارة (✓) في المكان المناسب:

الرقم	العبارة	دائماً	أحياناً	نادراً
	أستطيع تعريف المفاهيم الجديدة التي تعلمتها في في هذا الفصل.			
	أستطيع حل المسائل بسهولة في هذا الفصل.			
	أستطيع تفسير الظواهر والتطبيقات في في هذا الفصل.			

الفصل
الحادي عشر

السعة الكهربائية (Electric Capacitance)

تعلمت سابقاً أنّه إذا شُحن موصل معزول بشحنة كهربائيّة فإنّ جهد الموصل يزداد بمقدار معيّن يتناسب مع مقدار الشحنة التي شُحن بها. والسؤال المطروح: إذا تساوت جهود موصلاتٍ عِدة (كروية مثلًا) مختلفة الحجم فهل تكون الشحنات عليها متساوية؟ وما النسبة بين الشحنة الكهربائيّة على الموصل وجهده؟ وما المواسع الكهربائي؟ هذه الأسئلة وغيرها سوف تستطيع الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، ويُتوقَّع منك أن تكون قادراً على أن:

- توضّح السعة الكهربائيّة لموصلاتٍ مختلفة.
- تتعرّف إلى المواسعات الكهربائيّة وتطبيقاتها.
- توضّح أثر المادة العازلة على سعة المواسع.
- تحسب السعة المكافئة لمواسعات موصولة معاً.

(1-11) السعة الكهربائيّة Electric Capacitance:

لتتعرف مفهوم السعة الكهربائية، نفّذ النشاط الآتي:

نشاط (1-11): السعة الكهربائيّة

المواد والأدوات: موصلان كرويّان مختلفان في الحجم، ومولّد فان دي غراف، وكشّاف كهربائي، ومادة عازلة.

خطوات العمل:

- ضع الموصليْن على مادة عازلة، ثم اشحنهما باستخدام مولّد فاندي غراف.
- صل الموصليْن معاً لفترة من الوقت، ثم افصلهما.
- قرّب قرص الكشاف بكلٍّ من الموصلين على حدة، ولاحظ انفراج ورقتيْه.
- أيّهما أدّى إلى انفراجٍ أكبر للورقتين؟ ماذا تستنتج من ذلك؟

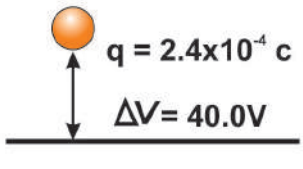
لعلك لاحظت أنّه بالرغم من تساوي جهديّ الموصلين إلّا أنّ الموصل الأكبر يحمل شحنة أكبر بدليل الانفراج الأكبر للورقتين، وبالتالي فإن لديه القدرة على تخزين كميّة أكبر من الشحنات.

فإذا قمت بشحن موصل كروي، فإنّ جهد الموصل يزداد، ولكنّ النسبة بين شحنة الموصل وجهده ثابتة لا تعتمد على مقدار الشحنة أو مقدار الجهد، وهذه النسبة تُعرف بالسعة الكهربائيّة للموصل؛ أي أنّ:

$$C = \frac{q}{V} \qquad (11\text{-}1)$$

وتُقاس السعة الكهربائية بوحدة (C/V)، وتُسمّى هذه الوحدة (فاراد F) وهي سعة موصل يحمل شحنة مقدارها كولوم واحد وجهده فولت واحد.

والفاراد وحدة قياس كبيرة؛ ولذلك تستخدم أجزاؤها: الملي فاراد، والميكروفاراد، والنانو فاراد، والبيكو فاراد.



مثال (1): تولّد فرقٌ في الجهد بين كرة فلزّية صغيرة والأرض مقداره (40 V)، عندما شُحنت بشحنة موجبة مقدارها (2.4×10^{-6} C). ما السعة الكهربائية للكرة؟

الحل:

$$C = \frac{q}{V} = \frac{2.4\times10^{-6}}{40} = 6 \times 10^{-8} = 0.06\ \mu F$$

مثال(2): موصل كروي نصف قطره R= 1m، احسب سعته في الهواء.

الحل:

$$C = \frac{q}{V} = \frac{q}{\frac{1}{4\pi\ \varepsilon_0} \times \frac{q}{R}} = 4\pi\ \varepsilon_0 R = 4 \times 3.14 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 1$$

$$= 111.156 \times 10^{-12}\ F$$

سؤال

ما العوامل التي تعتمد عليها سعة الموصل الكروي المعزول؟

(2-11) المواسع الكهربائي:

تُستخدم المواسعات في الكثير من التطبيقات العمليّة، فهي تُستخدم في وحدات التصوير الفوتوغرافي (فلاش)، وفي أجهزة توليد أشعة الليزر، وفي أجهزة الاستشعار في الوسادة الهوائيّة في السيارات، وفي دارات أجهزة الراديو والتلفاز، وفي دارات توحيد اتّجاه التيار المستمر.

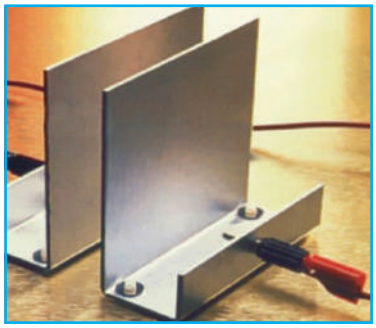
ولتتعرف مبدأ عمل المواسع نفّذ النشاط الآتي:

نشاط (2-11):

المواد والأدوات: لوحان موصلان، ومولّد فان دي غراف، وكشّاف كهربائي، وأسلاك توصيل، وحامل عازل.

خطوات العمل:

- ثبّت أحد اللوحين بالحامل العازل، ثمّ صل هذا اللوح بقرص كشاف كهربائي بسلك.
- اشحن هذا اللوح مستخدماً مولّد فان دي غراف، ولاحظ انفراج الورقتين.
- قرّب من اللوح الأول لوحاً آخر معزولاً وغير مشحون. ماذا تلاحظ؟ فسّر ذلك.
- صل اللوح الثاني بالأرض. فسّر ما تلاحظه.
- إذا أردنا أن نعيد الورقتين إلى ما كانتا عليه قبل تقريب اللوح الثاني، فهل نحتاج إلى زيادة شحنة اللوح المشحون أم إنقاصها؟



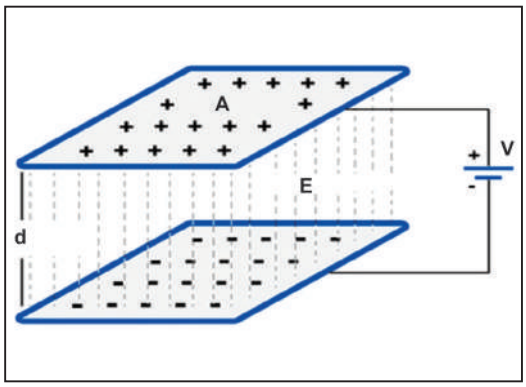
نستنتج من النشاط السابق أنّ جهد الموصل يقلّ عندما نقرّب منه موصلاً مماثلاً ومعزولاً وموصولاً بالأرض. وسبب ذلك هو أنّ الشحنة المتكوّنة على الموصل المشحون بالتأثير تنقص الجهد على الموصل الأوّل، لماذا؟ لذلك يلزم لإعادته إلى الجهد الأوّل إضافة شحنات أخرى عليه؛ أي أنّه امتلك القدرة على تخزين كميّة أكبر من الشحنات. وبالتالي فإنّ النظام المكوّن من موصلين مشحونين بشحنتين مختلفتيْن نوعاً، بينهما مادة عازلة، لديه القدرة على تخزين الشحنات الكهربائية وهذا النظام يُسمّى المواسع الكهربائي.

اخترع العالم (بيتر فان) (1746م) أداة لتخزين الشحنات الكهربائيّة في المجال الكهربائي عُرفت بقارورة ليدن، وتطوّرت هذه الأداة بحيث أصبحت أقل حجماً ووزناً، وتُعرف الآن بالمواسع الكهربائي.

المواسع الكهربائي يقوم بتخزين الطاقة الكهربائيّة والشحنات الكهربائية لفترة من الزمن على شكل مجال كهربائي، لاسترجاعها عند الحاجة إليها.

ويُشحن المواسع بوصل أحد الموصلين بالقطب الموجب للبطارية، ويوصل الموصل الآخر بالأرض أو بالطرف السالب للبطارية. وتستخدم المواسعات في الدارات الكهربائية بهدف تخزين الشحنات الكهربائيّة.

والآن ما الذي يجري أثناء عمليّة الشحن؟ إذا وصل المواسع بمصدر للجهد مثل البطارية، فإنّ الطرف الموجب للبطاريّة يعمل على سحب الإلكترونات الحرة من لوح المواسع المتصل به، فيشحن ذلك اللوح بشحنة موجبة (+q) لفقده عدداً من الإلكترونات، وتنتقل الإلكترونات خلال البطارية ومن القطب السالب إلى اللوح الآخر المتصل به، فيشحن ذلك اللوح بشحنة سالبة (q -)، لكسبه العدد نفسه من الإلكترونات. وهكذا ترى أنّ الإلكترونات تنتقل من اللوح الموجب للمواسع إلى البطارية، ومن القطب السالب للبطارية إلى اللوح السالب للمواسع. ولوجود المادة العازلة في المواسع، فإنّ الإلكترونات لا تمر خلال المادة العازلة، بل تتركز على اللوح السالب. وهكذا يبدو وكأنّ تياراً كهربائيّاً لحظيّاً يسري في الدارة لا يلبث أن يتوقّف عند تساوي كلٍّ من جهد الشحنات الموجبة على لوح المواسع الموجب، وجهد القطب الموجب للبطارية، وكذلك تساوي جهد الشحنات السالبة على لوح المواسع السالب وجهد القطب السالب للبطارية؛ أي أنّ عمليّة الشحن تتوقف عندما يصبح فرق الجهد بين لوحي المواسع مساوياً لفرق الجهد بين قطبيّ البطارية، ويظهر عندها المواسع وكأنّه مصدر جهد مساوٍ في الجهد للمصدر الشاحن في الدارة.



وتُعرف سعة المواسع بأنّها: النسبة بين مقدار الشحنة الكهربائية على أحد موصليْه وفرق الجهد بينهما.

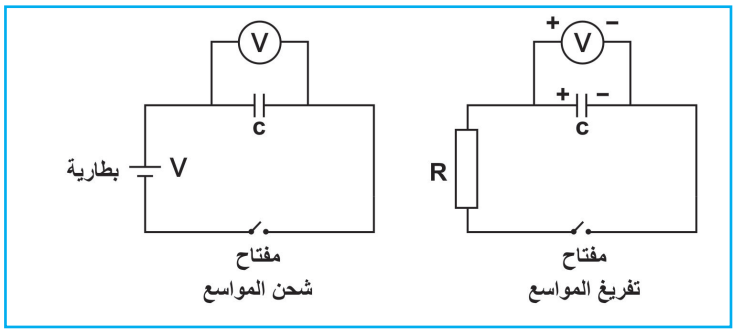
أي أنّ: $C = \frac{q}{\Delta v}$

حيث q: الشحنة على أحد الموصلين.

Δv : فرق الجهد الكهربائي بين الموصلين.

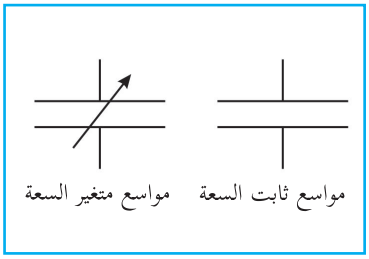
C: سعة الموصل وهي دائماً موجبة، لماذا؟

وإذا فُصل مصدر الجهد فإنّ المواسع يصبح مصدراً للجهد، فعند لمس المواسع يصبح خطراً كخطر المصدر نفسه، ويؤدّي إلى صدمة كهربائيّة. ولتلافي الخطر يُفرغ المواسع المشحون بتوصيل مقاومة بين طرفيه، وتصاحب عملية التفريغ شرارة تعتمد على سعة المواسع وفرق الجهد بين طرفيه.



نشاط (3-11):

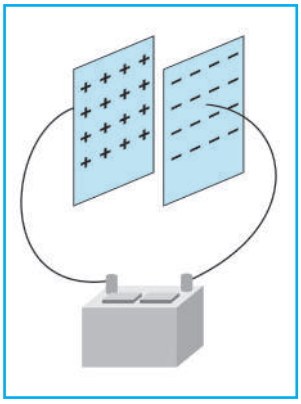
اشحن مواسع وقم بفصل مصدر فرق الجهد، ثم فرّغ هذا المواسع، وسجّل ملاحظاتك.



للمواسعات الكهربائيّة أشكال مختلفة، فمنها الكروي، والأسطواني، وذو اللوحين المتوازيين، وقد تكون مواسعة المواسع ثابتة أو متغيّرة، ويُرمز للمواسع الثابت السعة ومتغير السعة في الدارات الكهربائية كما في الشكل.

(3-11) المواسع ذو اللوحيْن المتوازيين Parallel Plate Capacitor:

يتألف من لوحين متوازيين، مساحة كلٍّ منهما (A)، أحدهما مشحون بشحنة موجبة (Q) والآخر مشحون بشحنة سالبة مماثلة (-Q)، وتفصل بينهما مادة عازلة. وإذا كانت المسافة (d) صغيرة جداً بالمقارنة بأبعاد اللوحين، فإنّ المجال الكهربائي بين اللوحين يكون منتظماً. وباستخدام قانون جاوس يمكن إثبات أنّ شدة المجال الكهربائي المنتظم بين لوحيّ المواسع تساوي:



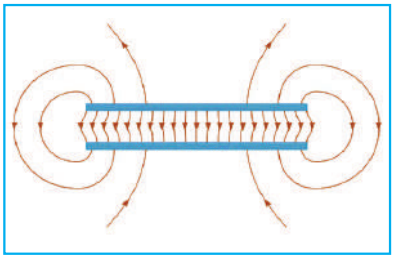
$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 A}$$

بما أنّ المجال الكهربائي منتظم فإنّ: $V = E\,d = \frac{Q}{\varepsilon_0 A}\,d$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{Qd}{\varepsilon_0 A}} = \frac{\varepsilon_0 A}{d} \qquad (11\text{-}2)$$

اعتماداً على العلاقة السابقة، ما العوامل التي تعتمد عليها سعة المواسع ذي اللوحين المتوازيين؟

مثال (3): مواسع ذو لوحين متوازيين مساحة كلٍّ من لوحيْه $(2 \times 10^{-4}\ m^2)$ والمسافة $(1 \times 10^{-3}\ m)$. جد:



1: سعة المواسع في الهواء.

2: مقدار الشحنة على اللوح الموجب عند وصل المواسع بقطبيّ بطارية جهدها (3 V).

3: شدة المجال الكهربائي بين لوحيّ المواسع.

الحل:

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 2 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-3}} = 1.77 \times 10^{-12}\ F$$

$$Q = CV = 1.77 \times 10^{-12} \times 3 = 5.31 \times 10^{-12} C$$

$$E = \frac{V}{d} = \frac{3}{1\times10^{-3}} = 3 \times 10^{3}\ V/m$$

أفكر

ما العلاقة بين فرق الجهد بين لوحيّ مواسع مشحون والمسافة بين لوحيه؟ صمّم نشاطاً للتحقّق من إجابتك.

سؤال

مواسع ذو لوحين متوازيين مساحة كلٍّ منهما ($100\ cm^2$) والبعد بينهما في الهواء ($1\times10^{-3}\ m$)،
احسب: - سعة المواسع.
- شحنة المواسع إذا وصل إلى فرق جهد مقداره (120 V).
- مساحة كلٍّ من لوحيّ المواسع حتى تصبح سعته (1 F).

(4-11) تأثير العازل على سعة المواسع

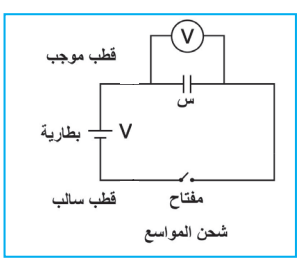
لتتعرف إلى تأثير المادة العازلة على سعة المواسع، نفّذ النشاط الآتي:

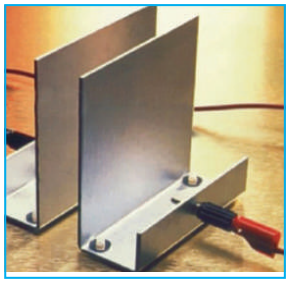
نشاط (4-11):

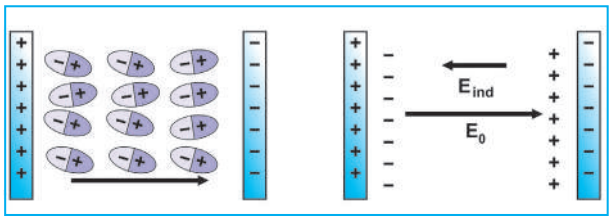
المواد والأدوات: لوحان موصلان متماثلان، وبطارية، وكشاف كهربائي، ومادة عازلة.

خطوات العمل:

- كوّنْ مواسعاً من لوحين فلزيّين متماثلين، ثم احسب مساحة كلٍّ من لوحيّ المواسع، وقس المسافة بين اللوحين، ثم احسب سعة المواسع.
- اشحن اللوحين بشحنتين متساويتين ومختلفتين بوصلهما بقطبيّ بطارية قوتها الدافعة الكهربائية (6 v) فترة زمنية.
- صل لوحي المواسع بالفولتميتر
- (اختر المدى DC: 20V)، كما في الشكل المجاور، ثم سجل قراءة الفولتميتر.
- ادخل مادة عازلة بين لوحيّ المواسع. ثم سجل قراءة الفولتميتر.
- ماذا تلاحظ؟ وكيف تفسّر ذلك؟ وماذا تستنتج؟







عند وضع مادة عازلة بين لوحيّ مواسع، فإنّ جزيئاتها تقع تحت تأثير قوة المجال الكهربائي المتولد بين لوحيّ المواسع، فتتحرك الإلكترونات بعكس اتّجاه المجال (نحو اللوح الموجب)، بينما تتأثر الشحنات الموجبة بقوة باتّجاه المجال (نحو اللوح السالب). وبما أنّ الإلكترونات في المادة العازلة غير حرّة، إلا أنّها تتعرض لإزاحات جانبيّة نحو اللوح الموجب. وكذلك يحدث إزاحات للشحنات الموجبة نحو اللوح السالب. ونتيجة لهذه الإزاحات تتكوّن طبقات من الشحنات على المادة العازلة، إحداهما موجبة باتّجاه اللوح السالب، والأخرى سالبة باتّجاه اللوح الموجب. وينتج عن ذلك مجال كهربائي اتّجاهه بعكس اتجاه المجال الأصلي بين لوحيّ المواسع فيضعفه، وبذلك يقلّ فرق الجهد بين لوحيّ المواسع، فإذا كان المواسع مفصولاً عن البطارية، فيقل الجهد إلى ($V = \frac{V_0}{K}$) ،وتثبت الشحنة وتزداد سعة المواسع، حيث K ثابت العازلية للمادة. أمّا إذا كانت البطارية موصولة مع المواسع عند وضع المادة العازلة، فإنّ الجهد يقلّ عن القوة الدافعة للبطارية، فتشحن البطارية لوحيّ المواسع بشحناتٍ إضافيّة تزيد من جهد المواسع حتى يتساوى بالقوة الدافعة للبطارية. وفي هذه الحالة تزداد السعة لزيادة الشحنة($Q = KQ_0$) . وفي كلتا الحالتين تزداد سعة المواسع بمقدار يتناسب مع ثابت العازلية للمادة العازلة. ويبيّن الجدول الآتي ثابت العازليّة لبعض المواد العازلة:

جدول ثابت العازلية (K) عند درجة حرارة (20 C)

المادة	K	المادة	K
الفراغ	1	مايكا	6 - 3
الهواء	1.00059	زجاج	10 – 5
تفلون	2.1	جرمانيوم	16
بوليثيلين	2.25	جلسرين	42.5
بنزين	2.28	ماء	80.4

نستنتج ممّا سبق أنّ: $K = \frac{C}{C_0}$

K : ثابت العازلية للمادة العازلة.

أي أنّ: $K = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$ ، وأنّ:

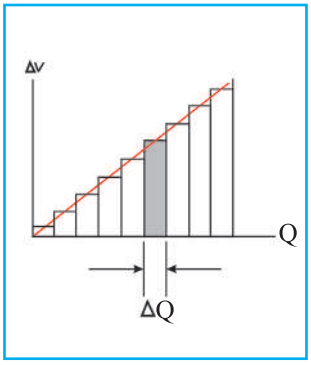
$$C = K\, C_0 \qquad (11\text{-}3)$$

وبذلك فإنّ المادة العازلة الموضوعة بين لوحيّ المواسع تزيد سعة المواسع عدداً من المرات يساوي ثابت العازليّة لهذه المادة.

(5-11) الطاقة الكهربائيّة لمواسع مشحون E.Energy In Charged Capacitor:

عرفت أنّ طاقة وضع كهربائيّة تختزن في المواسع عند شحنه، ويتطلب شحن المواسع زمناً تنمو خلاله الشحنة عليه، ومع نمو الشحنة يزداد جهد المواسع. فما طبيعة التناسب بين شحنة المواسع وجهده؟ وما مقدار الطاقة المختزنة في المواسع؟

إذا أخذنا مواسعاً غير مشحون وبدأنا في شحنه، فإنّ جهده يزداد خطيّاً بزيادة كميّة الشحنة التي يكتسبها، حيث ($Q \propto V$). وإذا رسمنا العلاقة البيانيّة بين الشحنة على المواسع وفرق الجهد بين لوحيه، نحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل، كما في الشكل. فإذا كانت الشحنة على المواسع في لحظةٍ زمنيةٍ ما خلال عملية شحنه (Q) وجهده (V)، فإنّه يلزم شغل (تقوم به البطارية) لإضافة مزيد من الشحنات على المواسع. ويُخزّن هذا الشغل في المواسع على شكل طاقة وضع كهربائية في المجال الكهربائي بين لوحيّ المواسع.



وإذا كانت الشحنة النهائيّة للمواسع هي (Q)، وفرق الجهد بين لوحيْه هو (V)، فإنّ:

الطاقة الكهربائية المختزنة في المواسع (U) = الشغل المبذول في عملية الشحن (W)

= المساحة تحت المنحنى

$$W = \frac{1}{2} Q V \qquad (11\text{-}4)$$

ويمكن كتابة هذه العلاقة بأشكال أخرى، اعتماداً على العلاقة: $C = \frac{Q}{V}$، كما يأتي:

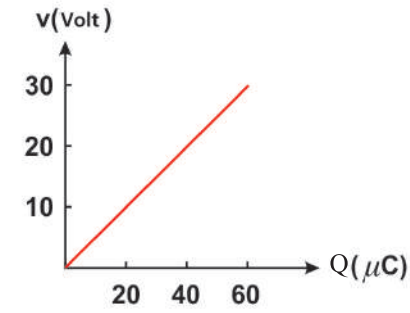
$$U = \frac{1}{2} Q V = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

مثال (4):

المنحنى في الشكل المجاور، يمثّل العلاقة بين شحنة مواسع وفرق الجهد بين لوحيه أثناء شحنه، معتمداً على بيانات الشكل، احسب:

١: الطاقة الكهربائية المختزنة في المواسع عندما يكون جهده (30 V).

٢: مواسعة المواسع.



الحل:

المساحة تحت المنحنى = W

$$U = \frac{1}{2} \times 60 \times 10^{-6} \times (30) = 900 \times 10^{-6}\ J$$

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{1}{\text{الميل}} = \frac{1}{\frac{30 - 0}{(60 \times 10^{-6} - 0)}} = 2 \times 10^{-6}\ F$$

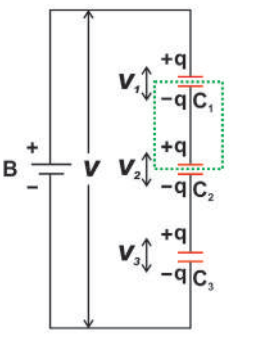
أناقش

تخزن الطاقة في دارة فلاش الكاميرا في مواسع، والذي يتكون من موصلين متماثلين تفصل بينهما مسافة صغيرة، ومشحونين بشحنتين متساويتين ومختلفتين. إذا تضاعفت كمية الشحنة على الموصلين، ما مقدار الزيادة في الطاقة المخزّنة فيه؟

(11-6) شبكة المواسعات Capacitor Network:

عندما توجد مواسعات عدة موصولة معاً في دارة كهربائيّة، فإنّه أحياناً يمكن استخدام مواسع واحد سعته تكافئ سعة المواسعات في الدارة. وتعتمد السعة المكافئة على الطريقة التي تُوصل بها المواسعات معاً، وهذا يقلّل من العناصر في الدارة، ويسهّل عمليّة الحسابات فيها. ومن هذه التوصيلات:

(11- 6- A): التوصيل على التوالي



يبيّن الشكل المجاور ثلاثة مواسعات موصولة على التوالي مع بطارية، تقوم البطارية بشحن لوح المواسع (C_1) المتصل بالقطب الموجب للبطارية بشحنة موجبة (+ q)، ولوح المواسع (C_3)المتصل بالقطب السالب للبطارية بشحنة سالبة (- q). وينشأ بالحث الكهربائي على الألواح الأخرى شحنات متساوية في المقدار، وكلٌّ منها (q)، إلّا أنّها تكون (+ q) على أحد لوحيّ كلّ مواسع، بينما (- q) على اللوح الآخر. وبذلك تكون شحنة المواسعات متساوية، وتساوي شحنة المواسع المكافئ.

أمّا بالنسبة لفرق الجهد الذي تولّده البطاريّة بين طرفيّ المجموعة، فإنّه يتوزع على المواسعات؛ أي أنّ:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \Rightarrow \frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

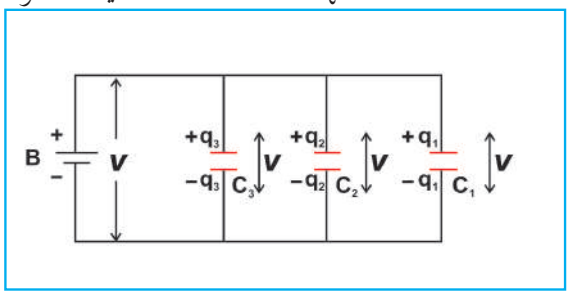
$$\Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \qquad (11\text{-}5)$$

سؤال

أثبت أنّ المواسعة المكافئة لمجموعة مواسعات موصولة على التوالي تكون أقلّ من أيّة مواسعة في هذه المجموعة.

(B -6-11) : التوصيل على التوازي

يبيّن الشكل المجاور مواسعات موصولة على التوازي، حيث تُوصل الألواح ذات الشحنة السالبة معاً وذات الشحنة الموجبة معاً، وفي هذا التوصيل يكون فرق الجهد بين طرفيّ كلّ مواسع مساوياً لفرق الجهد بين طرفيّ أيّ مواسع آخر، في حين لا تتساوى الشحنات على المواسعات لاختلاف سعاتها. أمّا الشحنة الكليّة فتكون مساوية لمجموع الشحنات على المواسعات، أي أنّ:



$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

$$C\,V = C_1\,V_1 + C_2\,V_2 + C_3\,V_3$$

وبما أنّ: $V = V_1 = V_2 = V_3$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \qquad (11\text{-}6)$$

أي أنّ المواسعة المكافئة لمجموعة من المواسعات الموصولة على التوازي هي مجموع سعاتها.

أفكر

عند توصيل بطارية مع مجموعة مواسعات، فإنّ الطاقة المختزنة في المواسعات تكون أكبر في حالة التوصيل على التوالي، أم التوصيل على التوازي بالبطارية نفسها؟

مثال (5): لديك ثلاثة مواسعات، سعاتها (3 μ F)، (9 μ F)، (6 μ F)على الترتيب. احسب السعة المكافئة في حالة:

أ) التوصيل على التوالي.

ب) التوصيل على التوازي.

الحل:

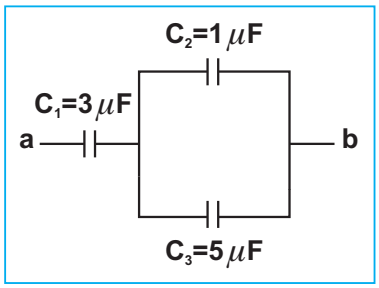
أ- التوصيل على التوالي:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{9} = \frac{6 + 3 + 2}{18} = \frac{11}{18}$$

$$C = \frac{18}{11} = 1.64\ \mu F$$

ب- التوصيل على التوازي:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 3 + 6 + 9 = 18\ \mu F$$



مثال (6): يبين الشكل مجموعة من المواسعات الموصولة معاً، فإذا كانت شحنة المواسع (C_1) تساوي (30×10^{-6}C). فاحسب ما يأتي:

1) المواسعة المكافئة للمجموعة.

2) فرق الجهد بين النقطتين (a, b).

الحل:

1: C_2، C_3 موصولة على التوازي:

1) $$C_{2,3} = C_2 + C_3 = 1\ \mu F + 5\ \mu F = 6\ \mu F$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{2,3}} + \frac{1}{C_1} \rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{1+2}{6} = \frac{3}{6} = \frac{1}{2} \Rightarrow C = 2\ \mu F$$

$$q_1 = q_{2,3} \Rightarrow 30 \times 10^{-6}\,C = q$$

2) $$V_{ab} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_{2,3}} = \frac{30 \times 10^{-6}}{3 \times 10^{-6}} + \frac{30 \times 10^{-6}}{6 \times 10^{-6}} = 10 + 5 = 15V$$

المشاريع

١: قياس شحنة جسم مشحون باستخدام مواسع وفولتميتر.

٢: قارورة ليدن (ليدن جار).

٣: توظيف الكهرباء السكونية في دهان السيارات.

٤: كيفيّة تحكُّم فرق الجهد الكهربائي على بوابة أحد أنواع ترانزستورات تأثير المجال (FET) في شدة التيار المار فيه.

بحث: يوجد أنواع من الترانزستورات تُسمّى ترازستورات تأثير المجال الكهربائي، التي تُستخدم في تحكُّم فرق الجهد الكهربائي في شدة التيار الكهربائي المار فيه. ابحث في ذلك.

أسئلة الفصل:

1 اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1) عندما تتضاعف مساحة لوحيّ مواسع ذي اللوحين المتوازيين مشحون ومعزول، فإنّ:

أ) شدة المجال بين اللوحين تتضاعف. ب) فرق الجهد بين اللوحين يقل إلى النصف.

جـ) شحنة كلٍّ من اللوحين تقل إلى النصف. د) كثافة الشحنة السطحيّة لكلٍّ من اللوحين تتضاعف.

2) عند وضع مادة عازلة بين لوحيّ مواسع موصول بطرفيّ بطارية، فإن كلًّا من:

أ) السعة وفرق الجهد بين اللوحين والشحنة على اللوح الموجب يزداد.

ب) السعة وفرق الجهد بين اللوحين والشحنة على اللوح الموجب يقل.

جـ) السعة والشحنة على اللوح الموجب تقل، بينما فرق الجهد بين اللوحين يبقى ثابتاً.

د) السعة والشحنة على اللوح الموجب تزداد، بينما فرق الجهد بين اللوحين يبقى ثابتاً.

3) وُصل مواسع ذو لوحين متوازيين ببطارية ثم فُصلت عنه. عند وضع مادة عازلة بين لوحيْه، فإنّ:

أ) السعة وفرق الجهد بين لوحيْه والشحنة على كلٍّ من لوحيْه تزداد.

ب) السعة وفرق الجهد بين لوحيْه والشحنة على كلٍّ من لوحيْه تقل.

جـ) السعة تزداد وفرق الجهد بين لوحيْه يقل، والشحنة على كلٍّ من لوحيْه لا تتغيّر.

د) السعة والشحنة على كلٍّ من لوحيْه تزداد، وفرق الجهد بين لوحيْه لا يتغيّر.

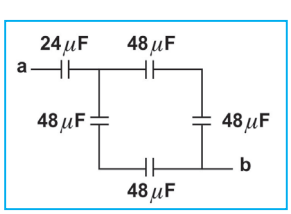
4) مواسع ذو لوحين متوازيين مشحون بشحنة مقدارها (4×10^{-6} C). إذا كانت مساحة كلٍّ من لوحيْه ($0.2\ m^2$)، والمسافة بينهما (0.01 m) ، ما فرق الجهد بين لوحيْه بوحدة الفولت؟

أ) 4×10^{-2} ب) 1×10^{2} جـ) 2.2×10^{4} د) 3×10^{4}

5) مواسع ذو لوحين متوازيين سعته (100 pF)، عند وضع مادة عازلة ثابت العازليّة لها(k=5)، فإنّ سعة المواسع بوحدة «بيكوفاراد» تساوي:

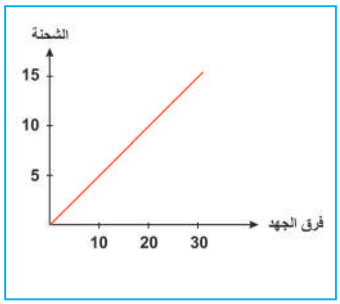
أ) 50 ب) 100 جـ) 200 د) 500

6) يبيّن الشكل المجاور مجموعة مواسعات، موصولة بين النقطتين (a, b). ما مقدار السعة المكافئة لمجموعة المواسعات بوحدة μ F ؟



أ) 20 ب) 36 جـ) 16 د) 27

2 يبيّن الشكل المجاور، منحنى الشحنة على مواسع (بوحدة الميكروكولوم) خلال عملية شحنه مع الجهد (بوحدة فولت). أجب عمّا يأتي:



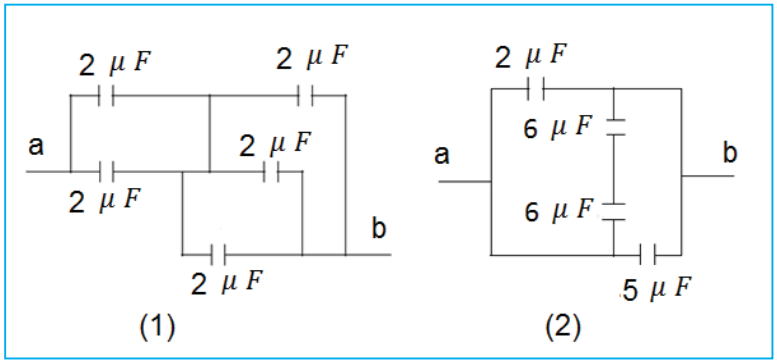
أ) ماذا يمثّل ميل الخط المستقيم؟

ب) ما سعة المواسع؟

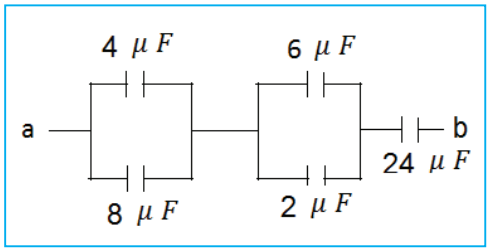
جـ) ماذا تمثّل المساحة تحت المنحنى؟

د) ما الشغل اللازم لشحن المواسع إلى جهد مقداره (20 V)؟

3 احسب السعة المكافئة لمجموعة المواسعات بين النقطتين (a, b) في الشكلين الآتيين.



4 في الشكل المجاور، إذا كان فرق الجهد بين (a, b) يساوي (12 V)، فاحسب:



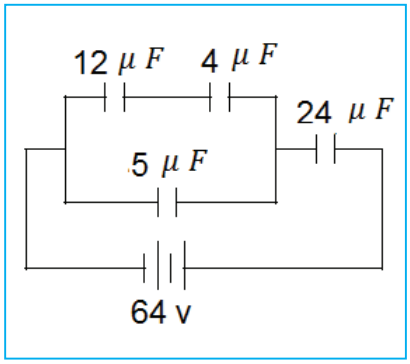
أ) السعة المكافئة لمجموعة المواسعات.

ب) شحنة كلّ مواسع.

جـ) فرق الجهد بين لوحيّ كلّ مواسع.

د) الطاقة المختزنة في كلّ مواسع.

5 في الشكل المجاور، جد:



أ) السعة الكهربائيّة المكافئة لمجموعة المواسعات في الدارة.

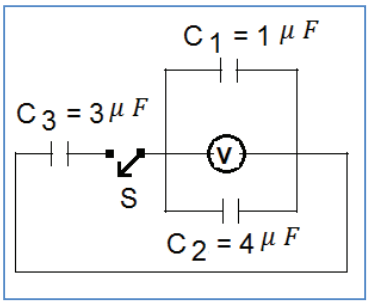
ب) شحنة كلّ مواسع.

جـ) فرق الجهد الكهربائي بين لوحيّ كلّ مواسع.

د) الطاقة المختزنة في كلّ مواسع.

هـ) الطاقة المختزنة في مجموعة المواسعات.

6 يبيّن الشكل ثلاثة مواسعات C_1، C_2، مشحونين، والمواسع C_3 غير مشحون. فإذا كانت قراءة الفولتميتر (V) والمفتاح (S) مفتوح تساوي (20 V). احسب:



أ) شحنة المواسع C_1 قبل غلق المفتاح.

ب) قراءة الفولتميتر (V) بعد غلق المفتاح.

7 مواسعان سعتاهما (6، 4) ميكروفاراد على الترتيب، وُصلا معاً على التوالي، ثم وُصلا بفرق جهد قدره (20 V):

أ) احسب شحنة كليهما وجهده.

ب) إذا فُصلا عن المصدر، ثم أُعيد وصلهما معاً، حيث اتّصل لوحاهما الموجبان معاً، واللوحان السالبان معاً، فاحسب جهد وشحنة كلٍّ منهما.

8 اقرأ كل عبارة من الآتية ثم أضع إشارة (✓) في المكان المناسب:

الرقم	العبارة	دائماً	أحياناً	نادراً
	أستطيع تعريف المفاهيم الجديدة التي تعلمتها في في هذا الفصل.			
	أستطيع حل المسائل بسهولة في هذا الفصل.			
	أستطيع تفسير الظواهر والتطبيقات في في هذا الفصل.			

أسئلة الوحدة

1 اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1) (a, b, c) ثلاث كرات فلزّية متماثلة، إذا كانت الكرتان (a, b) مشحونتين بشحنتين موجبتين ومتساويتين، والمسافة بينهما (d)، والقوة المتبادلة بينهما (F). إذا لامست الكرة (c) غير المشحونة الكرة (a) أوّلاً، ثم لامست الكرة (b)، ثم أبعدت عن الكرتين (a, b)، فإنّ مقدار القوة المتبادلة بين الكرتين (a, b) يصبح:

أ) $\frac{F}{4}$ ب) $\frac{3F}{4}$ جـ) $\frac{F}{8}$ د) $\frac{3F}{8}$

2) كرتان فلزّيتان متماثلتان، الأولى تحمل شحنة موجبة مقدارها (5 μC) ، والثانية تحمل شحنة سالبة مقدارها (1 μC) ، والمسافة بينهما (d). إذا تلامست الكرتان معاً، ثم أُبعدتا إلى المسافة (d) نفسها ، فإنّ النسبة بين القوة المتبادلة بينهما بعد التلامس إلى القوة المتبادلة بينهما قبل التلامس هي:

أ) 1 : 1 ب) 4 : 5 جـ) 9 : 5 د) 5 : 1

3) إذا وُضعت شحنة نقطيّة (q) في مركز سطح كروي (سطح جاوس)، فإنّ التدفق خلال السطح الكروي يتغيّر عندما:

أ) تُستبدل الكرة بمكعب له حجم الكرة نفسها.

ب) تُستبدل الكرة بمكعب حجمه نصف حجم الكرة.

جـ) تتحرك الشحنة إلى نقطة أخرى داخل السطح الكروي.

د) تتحرك الشحنة إلى نقطة أخرى خارج السطح الكروي.

4) وُضعت أربع شحنات كهربائية نقطية متماثلة على رؤوس مربع. إنّ النقطة التي تنعدم فيها شدة المجال الكهربائي هي نقطة:

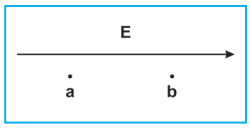
أ) تقع على أحد رؤوس المربع. ب) تقع في منتصف أحد أضلاع المربع.

جـ) تقع في مركز المربع. د) تقع على امتداد أحد أضلاع المربع.

5) إذا كانت الكثافة السطحيّة للشحنة على موصل كروي أجوف نصف قطره (2 cm) هي: ($4 \times 10^{-9}\ c/m^2$)، ما مقدار التدفّق الكهربائي خلال سطحٍ كرويٍّ وهميّ متحد معه في المركز، ونصف قطره (4 cm) بوحدة ($N.\ m^2/C$)؟

أ) 1.7 ب) 2.8 جـ) 2.3 د) 4

6) حُرِّك إلكترون من النقطة (a) إلى النقطة (b) باتّجاه خط المجال الكهربائي. العبارة الصحيحة هي:



أ) شغل قوة المجال موجب، وتزداد طاقة وضع الإلكترون عند انتقاله من (a) إلى (b).

ب) شغل قوة المجال سالب، وتزداد طاقة وضع الإلكترون عند انتقاله من (a) إلى (b).

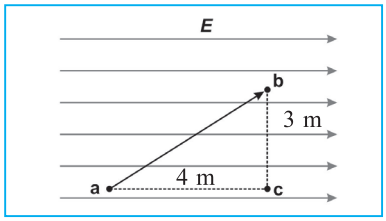
جـ) شغل قوة المجال موجب، وتقل طاقة وضع الإلكترون عند انتقاله من (a) إلى (b).

د) شغل قوة المجال سالب، وتقل طاقة وضع الإلكترون عند انتقاله من (a) إلى (b).

7) يتحرّك إلكترون كتلته (9.1×10^{-31} kg) وشحنته (-1.6×10^{-19} C) من السكون من النقطة (a) في مجال كهربائي منتظم إلى النقطة (b). إذا أصبحت سرعته (5×10^{6} m/s) في (b)، فإنّ فرق الجهد بين النقطتين ab (V_{ab}) يساوي:

أ) - 71 v ب) + 71 v جـ) - 26 v د) +26 v

8) حُرِّكت شحنة نقطية موجبة مقدارها (1 μC) من (a) إلى (b) في مجال كهربائي منتظم، كما في الشكل المجاور. إنّ طاقة الوضع الكهربائية للشحنة:



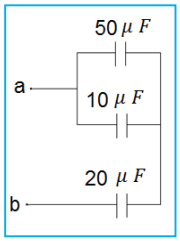
أ) تزداد بمقدار (12×10^{-6} J)

ب) تقل بمقدار (12×10^{-6} J).

جـ) تقل بمقدار (9×10^{-6} J).

د) تزداد بمقدار (10.8×10^{-6} J).

9) يبيّن الشكل المجاور مجموعة مواسعات (مقدرة بالميكروفاراد) موصولة بين النقطتين (a, b) فرق الجهد بينهما (50 V). ما مقدار الطاقة المختزنة في مجموعة المواسعات بوحدة جول؟



أ) 48×10^{-3} ب) 27×10^{-3}

جـ) 37×10^{-3} د) 19×10^{-3}

10) وُصل مواسع مشحون سعته (15 μF) ، وفرق الجهد بين طرفيّة (40 V) بطرفيّ مواسع آخر غير مشحون سعته (25 μF). ما مقدار فرق الجهد بين طرفيّ المواسع الثاني (بوحدة فولت)؟

أ) 12 ب) 15 جـ) 18 د) 21

11) وُصل مواسع ذو لوحين متوازيين بطرفيّ بطارية، ثم فصلت عنه، عند مضاعفة المسافة بين لوحيّ المواسع، فإنّ:

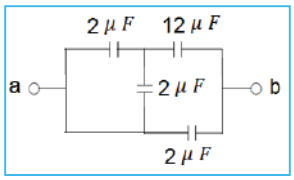
أ) سعة المواسع تتضاعف.

ب) الكثافة السطحية للشحنة على كلّ لوح تتضاعف.

جـ) الطاقة المختزنة في المواسع تتضاعف.

د) شدة المجال الكهربائي بين اللوحين تتضاعف.

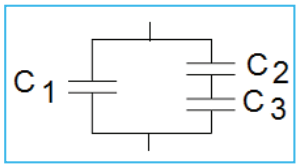
12) يبيّن الشكل أربع مواسعات موصولة بين النقطتين (a, b). إنّ السعة المكافئة لمجموعة هذه المواسعات تساوي:



أ) (3 μF)　　ب) (4 μF)

جـ) (5 μF)　　د) (18 μF)

13) وُصل مواسع C_1 مشحون بشحنة مقدارها (4×10^{-8} C) بمواسعين (C_2, C_3) غير مشحونين، كما في الشكل المجاور. إذا أصبحت الشحنة على C_1 بعد التوصيل (1×10^{-8} C)، ما مقدار الشحنة على كلٍّ من (C_2, C_3)



أ) $q_2 = (3 \times 10^{-8}\ C)$, $q_3 = (3 \times 10^{-8}\ C)$

ب) $q_2 = (2 \times 10^{-8}\ C)$, $q_3 = (2 \times 10^{-8}\ C)$

جـ) $q_2 = (1 \times 10^{-8}\ C)$, $q_3 = (3 \times 10^{-8}\ C)$

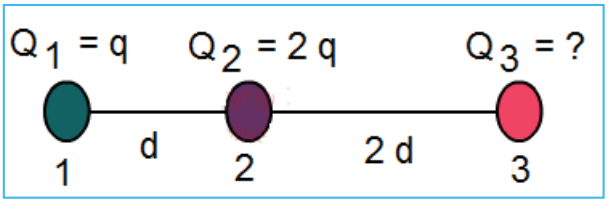
د) $q_2 = (1 \times 10^{-8}\ C)$, $q_3 = (1 \times 10^{-8}\ C)$

2 كرتان معدنيتان متماثلتان ومعزولتان، نصف قطر كلٍّ منهما (2 cm)، على الأولى شحنة ($+1 \times 10^{-11}$ C) وعلى الثانية شحنة (-10×10^{-11} C)، والمسافة بينهما (10 cm)، احسب :

أ. القوة المتبادلة بينهما.

ب. القوة المتبادلة بينهما، إذا وصلت الكرة الموجبة بالأرض، ثم فصلت عنها، ثم تلامست الكرتان ووُضعتا على البُعد نفسه بعد أن فُصلتا.

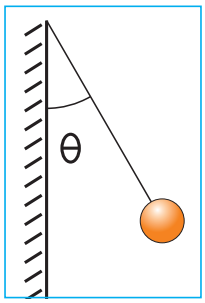
3 يبيّن الشكل المجاور ثلاث كرات مشحونة. أوجد مقدار الشحنة على الكرة الثالثة التي تجعل الكرة الثانية متّزنة.



4 كرتان صغيرتان تزن كلٍّ منهما ($\sqrt{3} \times 10^{-5}$ N)، عُلِّقتا من نقطة ثابتة بخيطين دقيقين من الحرير، طول كلٍّ منهما (5 cm)، وشُحِنتا بشحنتين متساويتين فتنافرتا حتى أصبحت الزاوية بين الخيطين (60°) أوجد مقدار كلٍّ من الشحنتين.

5 كرتان موصلتان متحدتا المركز، نصف قطر الأولى ((10 cm)، ونصف قطر الثانية (15 cm)، الكرة الداخليّة تحمل شحنة موجبة مقدارها (1.5×10^{-9}C)، والخارجية مشحونة بشحنة سالبة مقدارها (3×10^{-9} C) احسب شدة المجال الكهربائي في النقاط التي تبعد عن مركز الكرتين (5 cm) ، (12 cm)، (20 cm).

6 كرة صغيرة مشحونة كتلتها (m) وشحنتها (q)، عُلِّقت بخيط حرير، كما في الشكل المجاور، فعمل الخيط زاوية (θ) عند الاتّزان مع صفيحة مستوية لانهائيّة وسميكة ومثبتة بشكلٍ رأسي، ومشحونة بشحنة موزّعة عليها بانتظام، كثافتها السطحية (σ). أثبت أنّ:



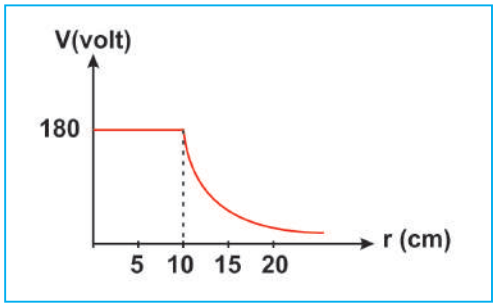
$$\sigma = \varepsilon_0 \, m \, g \tan \theta / q$$

7 يتحرّك بروتون شحنته (1.6×10^{-19} C) في مجال كهربائي منتظم شدّته (500 V/m)، فإذا قطع مسافة (4 cm) في المجال ، فاحسب :

أ) الشغل المبذول على البروتون.

ب) التغيّر في طاقة الوضع الكهربائية للبروتون.

8 الشكل المجاور يبيّن العلاقة بين الجهد الكهربائي لموصل كروي مشحون والبعد عن مركز الموصل، جد:



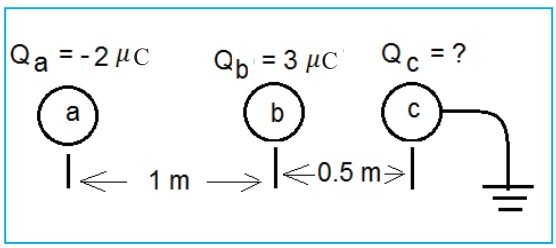
أ) نصف قطر الموصل.

ب) شدة المجال الكهربائي داخل الموصل.

جـ) شدة المجال الكهربائي على سطح الكرة.

د) فرق الجهد بين نقطتين تبعدان عن مركز الموصل (5 cm)، (20 cm).

9 ثلاث كرات موصلة: (a, b, c)، نصف قطر كلٍّ منها (1 cm)، الكرتان (a, b) مشحونتان، بينما تتصل الكرة الثالثة بالأرض كما في الشكل. احسب:

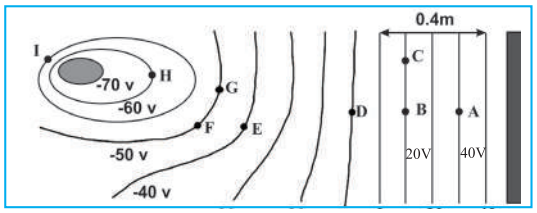


أ) شحنة الكرة (c).

ب) جهد الكرة (a).

جـ) النقطة بين a, b التي إذا وضعت فيها الكرة (c) وهي موصولة بالأرض، تفقد شحنتها.

10 يبيّن الشكل المجاور سطوح تساوي الجهد بين جسم بيضوي مشحون بشحنة سالبة، ولوح فلزّي مشحون بشحنة موجبة. معتمداً على القيم المبيّنة في الشكل، جد:



أ. فرق الجهد بين النقطتين (B، E).

ب. اتّجاه المجال الكهربائي عند النقطة (B).

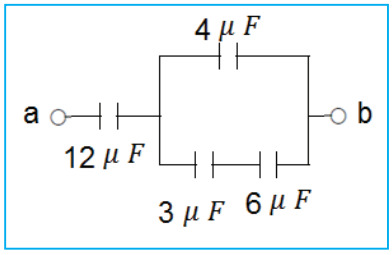
جـ. الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية سالبة مقدارها (1 Cμ) من النقطة (A) إلى النقطة (E).

د. الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية سالبة مقدارها (1 Cμ) من النقطة (B) إلى النقطة (D) ثم إلى النقطة (C).

هـ. شدة المجال الكهربائي في النقطة (A).

11 وُصل مواسع ذو لوحين متوازيين إلى قطبي بطارية فرق الجهد ثابت بين قطبيها. عند تقريب اللوحين من بعضهما مع بقاء الاتّصال مع البطارية، ماذا يحدث لكلٍّ من السعة، الجهد، الشحنة، وشدة المجال بين لوحيْه؟

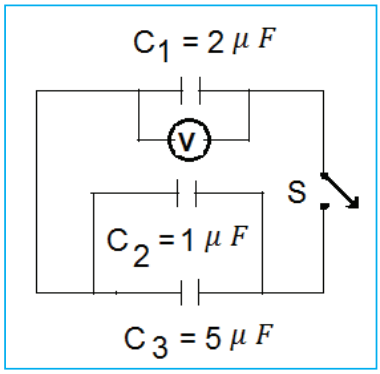
12 يمثّل الشكل المجاور مجموعة من المواسعات المشحونة. احسب:



أ) السعة المكافئة لمجموعة المواسعات.

ب) شحنة المواسع الذي سعته (4 μF)، علماً بأنّ فرق الجهد بين لوحيّ المواسع الذي سعته (3 μF) يساوي (8 V).

13 في الشكل المجاور، المواسع (C_1) مشحون والمواسعين (C_2, C_3) غير مشحونين. إذا كانت قراءة الفولتميتر تساوي (20 V)والمفتاح (S) مفتوح، فاحسب:



أ) قراءة الفولتميتر بعد إغلاق المفتاح (S).

ب) الطاقة المختزنة في المواسع الذي سعته C_3 والمفتاح مغلق.

الوَحدةُ الرابعة

الفيزياء الطبيّة (Medical Physics)

أسهمت الفيزياء في تطوّر الطبّ التشخيصي والعلاجي، كيف ترى مستقبل هذا التطوّر؟

الفيزياء الطبية (Medical Physics)

الفيزياء الطبيّة: أحد فروع الفيزياء التطبيقيّة الذي يربط بين علوم الطب ومفاهيم الفيزياء، ويعتمد على تطبيق المبادئ العلمية الفيزيائيّة في تشخيص الأمراض وعلاجها؛ ما يسهم في إنتاج الأجهزة الطبية وتوظيفها وتطويرها في مجالات عدة، مثل: التصوير الطبي، والعلاج بالإشعاع، وغيرها. فكيف توظّف الفيزياء الطبيّة في العلاج؟ وما أثرها في الإنسان والبيئة؟ وما دورها في التشخيص والعلاج؟

بعد دراستك لهذه الوحدة والتفاعل مع أنشطتها يتوقع منك:

- معرفة مجالات استخدام الفيزياء الطبيّة في التشخيص، والعلاج.
- التعرّف إلى مبدأ عمل كلٍّ من: المنظار الطبي، وجهاز الطرد المركزي، والرنين المغناطيسي، والإشعاع في المجال الطبّي.
- إعداد بحث حول استخدام بعض الأجهزة الطبيّة في التشخيص والعلاج.

الفصل
الثاني عشر

التشخيص بالأشعّة والأمواج

تُوظَّف مبادئ الفيزياء في تشخيص بعض الأمراض التي لا تظهر أعراضها على جسم الإنسان مثل النزيف الدماغي، أو بعض الأورام، أو الكسور، أو حالة الفقرات وغيرها. ولكن كيف يمكننا استخدام الإشعاعات في تشخيص الأمراض تمهيداً لعلاجها؟ هل تعرف أحداً أُصيب بقرحة المعدة؟ أو آخر حقنوه بمادة مشعّة ليتم تصويره بعدها على جهاز التصوير البوزتروني PET؟ هذه الأسئلة وغيرها يتوقع منك الإجابة عنها بعد دراستك هذا الفصل، وأن تكون قادراً على أن:

- توضّح مبدأ عمل بعض الأجهزة الطبيّة مثل: الرنين المغناطيسي، والطرد المركزي، وغيرها.
- تتعرّف إلى أهمية الأجهزة الطبيّة في تشخيص بعض الأمراض.
- تتجنّب الأضرار الناتجة عن أجهزة التصوير الطبّي.
- تكتب تقريراً عن استخدام بعض الأجهزة الطبيّة في التشخيص.

(1-12) التشخيص الطبّي Medical Diagnoses:

يُستخدم التصوير الطبي بشكل واسع في تشخيص حالة العظام والفقرات والمفاصل، وتوضيح ما بها من عيوب كالكسور وغيرها، كما يُستخدم في معرفة ما إذا كان هناك نزيف أو أورام في الدماغ، أو بقية أعضاء الجسم، إضافة إلى الكثير من الأمراض التي يعاني منها الإنسان، وقبل عصر الأشعة اضْطُّر الأطبّاء إلى إجراء عمليات جراحيّة استكشافية فقط لمعرفة ما الذي يعاني منه المريض.

أناقش

- عدد أشكالاً أخرى للتصوير الطبّي التي قد تطلب من المرضى لتشخيص مرضهم.
- اربط أنواع التصوير الطبّي في الفرع الأول مع نوع الفحص المطلوب.
- ما نوع التصوير الطبّي المستخدم في فحص الجنين في رحم أمه.

كثير من الناس حولنا قاموا بعمل صورة أشعة سينيةX-Ray للأسنان، أو لكسرٍ في رجله، ومنهم من عمل أشعة تصوير طبقي CT Scan، أو ربما صورة باستخدام جهاز الرنين المغناطيسي MRI لتشخيص بعض الأمراض مثل: أمراض الشرايين والدماغ، ومرض السرطان الذي انتشر في العقود الأخيرة.

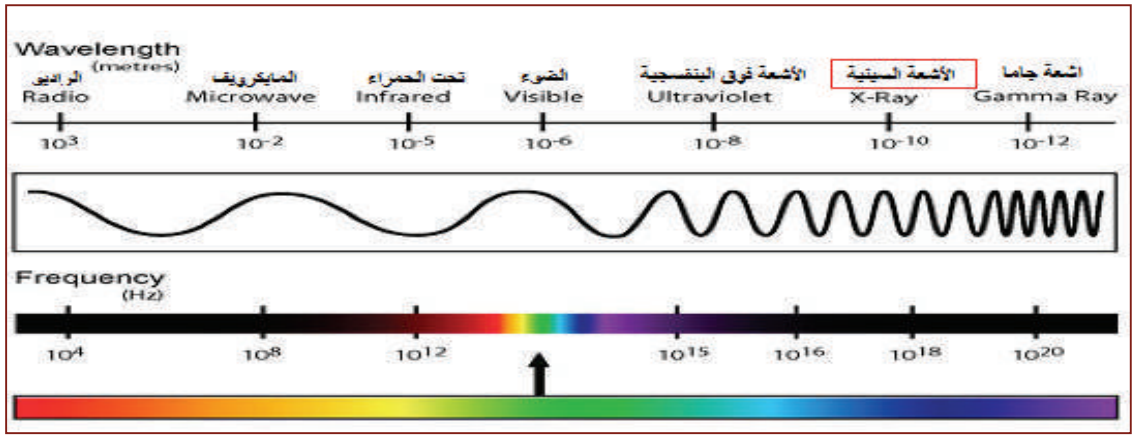
تختلف فحوص التصوير الطبي باختلاف المرض أو العضو المراد تشخيصه، فالأشعة السينيّة لها نصيب الأسد في العديد من فحوص الأشعة؛ حيث إنّها تُستخدم في تشخيص الأعضاء الداخلية لجسم الإنسان، والموجات فوق الصوتيّة تستخدم الصوت للرؤية داخل جسم المريض، كذلك الحال في الرنين المغناطيسي الذي يوظّف الخواص المغناطيسية المتواجدة في جسم الإنسان بشكل طبيعي لرؤية ما في داخله دون جراحة.

وقد أدّت الحاجة الملحّة إلى الدقة في طرائق التشخيص والعلاج إلى التطور المستمر للتقنيات والأدوات الفيزيائيّة المستخدمة في علم الفيزياء الطبيّة، وتطوَّر التصوير الطبي بأشكاله؛ ما أسهم بشكل كبير في مساعدة الأطباء في تشخيص الأمراض وعلاجها، وتحسُّن الصحة العامة للإنسان.

للأشعة المستخدمة في التصوير الطبّي طاقة يمكن التحكُّم بها، حيث يتم إجراء الفحوص التشخيصيّة بأقلّ طاقة ممكنة؛ وذلك لتقليل خطر الأشعة على المريض؛ ولذلك فهي آمنة جداً لدرجة كبيرة، وتُعدّ فحوص الأشعة من أهم طرق التشخيص جنباً إلى جنب مع التحليل المختبري، والكشف الإكلينيكي، والتاريخ المرضي؛ ولذلك لا داعي للقلق من هذه الفحوص عندما يرى الطبيب ضرورة إجرائها.

(2-12) الأشعة السينيّة X- Rays:

تعرفت سابقاً أنّ الأشعة السينيّة هي نوع من الموجات الكهرومغناطيسيّة، وتمتاز بقصر طولها الموجي وترددها العالي؛ ما يجعلها قادرة على اختراق الأنسجة.

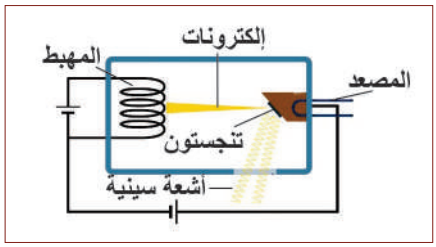


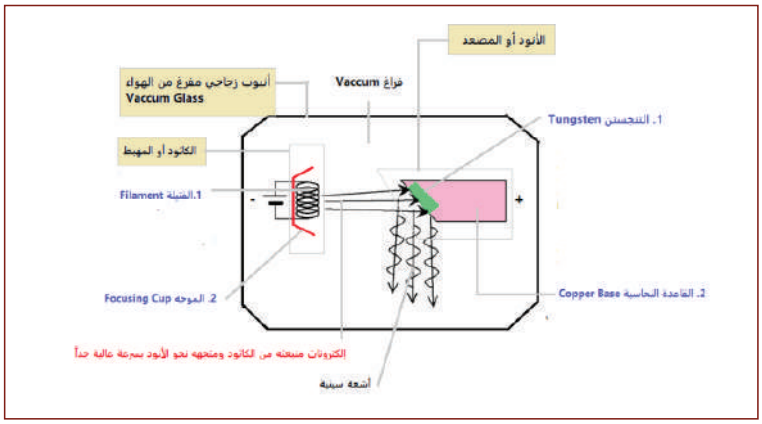
أناقش

- من هو مكتشف الأشعة السينية؟
- ما مدى تردد الأشعة السينية؟
- تأمل صورة أخذت بالأشعة السينية، ما الألوان المستخدمة فيها؟
- هل من خطورة عند التعرّض للأشعة السينيّة؟
- ما طول موجة سينية ترددها ($2x10^{17}Hz$)؟

إنتاج الأشعة السينيّة X-Ray Production

يتم الحصول على الأشعة السينية داخل أنبوبة الأشعة (x-ray tube) الموضّح في الشكل المجاور.





رسم توضيحي يوضّح مكونات أنبوبة الأشعة الداخلية، وكيفية إنتاج الأشعة السينية

مكوّنات أنبوبة الأشعة:

1. **أنبوب زجاجي مفرّغ من الهواء:** توجد بداخله جميع أجزاء أنبوبة الأشعة الداخلية الأخرى، ويكون مفرّغاً تماماً من الهواء؛ لأن وجود الهواء يؤثّر في إنتاج الأشعة السينية.
2. **المهبط (الكاثود):** سالب الشحنة، ووظيفته إنتاج الإلكترونات التي تسهم في إنتاج الأشعة السينية، ويتكون من جزأين رئيسين:

أ. الفتيلة: عندما يتعرض المهبط إلى فرق جهد كهربائي (الطاقة اللازمة لجعل الإلكترونات تتحرك من القطب السالب إلى القطب الموجب) فتسخن الفتيلة وتتحرر الإلكترونات منطلقةً بسرعة عالية نحو المصعد. ويكون فرق الجهد في الأشعة التشخيصية ما بين (20-150 kV) وكلما زاد فرق الجهد زاد عدد الإلكترونات المنبعثة من الفتيلة.

ب. الموجّه: وظيفته توجيه الإلكترونات نحو المصعد.

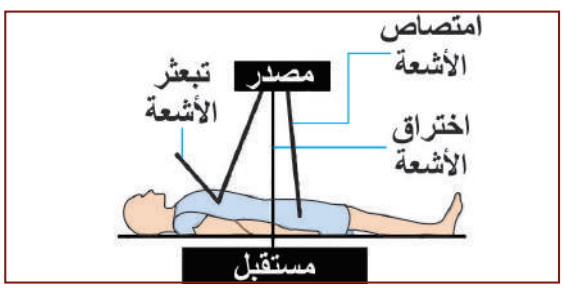
3. **المصعد (الأنود):** موجب الشحنة، وهو الجزء الذي ينتج الأشعة السينية، ويتكون المصعد من جزأين:

أ. التنجستون: وظيفته إنتاج الأشعة السينية، ولكن كيف يتمّ ذلك؟ الإلكترونات القادمة من المهبط تتوجه نحو التنجستون بسرعة عالية وطاقة حركية كبيرة فعندما تصطدم بالتنجستون يحدث توقف مفاجئ للإلكترونات وتتحول الطاقة الحركية إلى نوعين آخرين من الطاقة هما أشعة سينية وطاقة حرارية. تقريباً 2٪ من الطاقة الحركية تتحول إلى أشعة سينية، و٪ 98 تتحول إلى طاقة حرارية.

ب. القاعدة النحاسية: وظيفتها امتصاص الطاقة الحرارية من التنجستون.

العوامل التي يمكن من خلالها التحكم بالأشعة الخارجة من أنبوب الأشعة السينية:

1. فرق الجهد بين المهبط والمصعد خلال إنتاج الأشعة. وهو يتحكم بطاقة الأشعة السينيّة فكلما زاد فرق الجهد زادت طاقة الأشعة، وكلما زادت طاقة الأشعة السينيّة زادت قدرتها على اختراق الأجسام.
2. شدة التيار: كلما زادت شدة التيار الكهربائي زادت الإلكترونات المنبعثة من المهبط إلى المصعد؛ ما يؤدّي إلى زيادة كمية الأشعة السينيّة.
3. مدة إنتاج الأشعة: كلما زادت مدة إنتاج الأشعة زادت معها كميّة الأشعة.



ماذا يحدث للأشعة السينيّة عندما تدخل جسم الإنسان (التفاعل مع جسم الإنسان) عندما تدخل الأشعة السينية لجسم الإنسان فإنّها:

1. تخترق جسم المريض نحو مستقبل الأشعة.
2. تُمتص في جسم المريض.
3. تتشتت؛ لذا يُنصح بعدم التواجد بجانب المريض أثناء تصويره بالأشعة السينية؛ لهذا يُستخدم الرصاص كدرعٍ واقٍ من الأشعة السينية.

كيف يتمّ تكوين صورة الأشعة السينيّة على الفيلم؟

تُوجَّه الأشعة السينية الخارجة من أنبوبة الأشعة (x-ray tube) نحو جسم المريض أو الجزء المراد تصويره، فتخترق جسم المريض لتصل إلى مستقبل الأشعة (الفيلم) لتتكون الصورة مع ملاحظة أنّ:

1. صورة الأشعة: عبارة عن لونيْن أبيض وأسود مع تدرج الرمادي بينهما.
2. من خواص الأشعة السينيّة أنّها تجعل الصورة سوداء. فكلما زاد وصول الأشعة لمستقبل الأشعة (الفيلم) زاد السواد في الصورة.
3. أنسجة جسم الإنسان ذات الكتلة أو العدد الذري القليل تسمح بمرورٍ أكثر للأشعة؛ ما يجعلها تظهر في صورة الأشعة سوداء أو غامقة.
4. أنسجة جسم الإنسان ذات الكتلة أو العدد الذري الكبير تسمح بمرور كميّةٍ قليلة من الأشعة؛ ولذلك فهي تظهر بيضاء أو فاتحة اللون في الصورة. على سبيل المثال العظام تظهر بيضاء في صورة الأشعة؛ لأنّ كتلتها عالية فهي تمتص الأشعة، أو تبعثرها والقليل من الأشعة يصل إلى مستقبل الأشعة.

في هذه الصورة، من الواضح أنّ الرئة سوداء لعدم وجود مقاومة للأشعة السينيّة التي تجعل من فيلم الأشعة أسود، على عكس العظام التي يكون لونها أبيض؛ لأنها تمتص كميّة أكبر من الأشعة. أما بقية الأنسجة فهي تأخذ تدرج الرمادي في صورة الأشعة.

(3-12) الأمواج فوق الصوتيّة Ultrasound Waves:

تعرفت سابقاً إلى الموجات الميكانيكية الطوليّة، ومن ضمنها الأمواج الصوتية التي تنتج عن جسمٍ مهتزّ، وتسبب حاسة السمع.

أناقش

- ما تردد الأمواج المسموعة بالنسبة للإنسان؟
- هل يمكنك كسر كأس من الكريستال بوساطة أمواج صوتية؟
- على ماذا تعتمد طاقة الموجة الصوتية؟

تُسمّى الموجات التي يزيد ترددها عن (20 kHz) الموجات فوق الصوتية، وتُستخدم الأمواج فوق الصوتية في التصوير الطبي، وتعتمد فكرة استخدام الأمواج فوق الصوتية على ما يأتي:

1. يرسل جهاز الأمواج فوق الصوتية أمواجاً صوتيةً بترددات عالية تتراوح بين (1-5 MHz) على صورة نبضاتٍ متتالية تُوجَّه إلى جسم الإنسان من خلال مِجسٍّ خاص.
2. تخترق الأمواج جسم الإنسان لتصطدم بمكونات الجسم المختلفة مثل السوائل، والجلد والعظام.
3. ينعكس جزء من الأمواج عن الحدود الفاصلة بين مكوّنات جسم الإنسان وتعود إلى المجسّ، بينما تستمر باقي الأمواج فوق الصوتية التي تردُّدُها أعلى من تردّد الصوت لتخترق طبقات أعمق في جسم الإنسان فتصطدم مع أجزاء الجسم المتفاوتة في كثافتها فتنعكس، وترتد إلى شاشة تلفزيونيّة يمكن رؤيتها. وبذلك يميّز الكبد إن كان متليفاً أو طبيعياً، والمرارة إن كانت ملتهبة أم طبيعية، والطحال ما حجمه، وما تكوينه؟
4. يلتقط المجسّ الأمواج فوق الصوتية المنعكسة تباعاً عن طبقات جسم الإنسان التي اخترقها، ويغذّي بها جهاز الأمواج فوق الصوتيّة.
5. يقوم جهاز الأمواج فوق الصوتيّة بحساب المسافة بين المجسّ وطبقة الجلد، أو العضو الذي انعكست عنه الأمواج فوق الصوتيّة مستخدماً معدل سرعة تلك الأمواج في جسم الإنسان والتي تبلغ 1540 m/s ، ومستخدماً الزمن اللازم لعودة الأمواج فوق الصوتية للمجس التي تكون في حدود الميكروثانية.

بحث: ابحث في كيفيّة توظيف بعض الكائنات الحية كالخفاش والحيتان للأمواج فوق الصوتية أثناء حركتها.

يُظهِر جهاز الأمواج فوق الصوتيّة العلاقة بين المسافة وشدة الإشارة المنعكسة عن جسم الإنسان لتكوِّنَ توزيعاً ثنائيّ الأبعاد للمسافة والشدة التي تعبّر عن الصورة التي نشاهدها على جهاز الأمواج فوق الصوتية، والموضّحة في الشكل الآتي:

صورة أمواج فوق صوتية لجنين في الأسبوع الثاني عشر، ويظهر على اليمين الرأس والعنق، وباقي الجسم على اليسار.

سلبيّات استخدام الأمواج فوق الصوتيّة

بالرغم من أنّه لم تُسجَّل أيّة حالات مرضيّة في كلٍّ من الإنسان أو الحيوان الذي تعرّض لفحوصات بوساطة جهاز الأمواج فوق الصوتية إلّا أنّه يُنصح باستخدامها كلّما استدعت الضرورة فقط؛ وذلك تفادياً لتعريض أجزاء من جسم الإنسان للطاقة الصوتية الناتجة عن الأمواج فوق الصوتية التي تُمتص بسهولة في الماء الموجود في الأنسجة الحية؛ ما يسبّب ارتفاعاً موضعياً في درجة الحرارة للمناطق المعرضة للأمواج فوق الصوتية، لماذا؟

سؤال

ما مجالات استخدام الأمواج فوق الصوتية؟

(4-12) التصوير بالرنين المغناطيسي MRI Magnetic Resonance Imaging :

أحد تقنيّات التصوير الطبي التي تعتمد على الخواص المغناطيسيّة للمواد في جسم الإنسان، وتُعدّ هذه التقنية أفضل طريقة لرؤية ما بداخل الجسم البشري دون جراحة. يقدّم التصوير بالرنين المغناطيسي ميزة تصوير مواضع في الجسم يتعذّر تصويرها باستخدام الطرق الأخرى، ويتمّ استخدام أمواج الراديو المدمجة بمجال مغناطيسي مقوى بدلاً من الأشعة السينيّة؛ حيث تمتص أنسجة الجسم الطاقة من أمواج الراديو، ثم تطلقها بنسقٍ يتفاوت تبعاً لنوع النسيج، أو العضو، وحسب نوع المرض.

نشاط: (1-12)

المواد والأدوات: بالونان، وحاملان، وخيط.

الخطوات:

1- انفخ كلًّا من البالونين، وعلقهما كبندولين متجاورين.

2- اسحب أحد البالونين واتركه يهتزّ بشكلٍ حر.

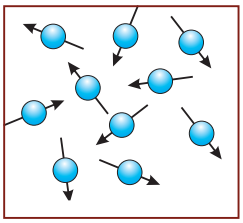
3- راقب حركة البالون الآخر بعد ما يتوقف البالون الأوّل عن الحركة، ماذا تلاحظ؟

أناقش

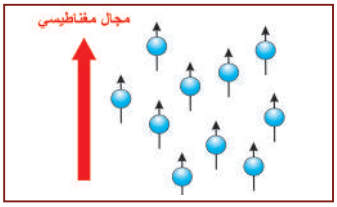
- قارن بين الصدى والرنين، موضّحاً شروط حدوث كلٍّ منهما.
- اذكر تطبيقات لظاهرة الرنين في الحياة اليومية.
- في أيّ المواد (صُلبة، سائلة، غازية) تكون سرعة الصوت أكبر، ولماذا؟

تعتمد فكرة الرنين المغناطيسي على تحفيز البروتونات في ذرات العناصر الموجودة في الجسم على إطلاق إشارة، ومن ثم التقاطها، وتحديد موقعها في الجسم، وعرضها على تدرُّجٍ من الألوان الرمادية يشير إلى قوة الإشارة، والتدرّج يكون باختلاف الأنسجة الموجودة بالجسم.

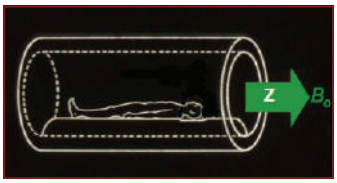
بما أنّ 70 بالمائة من جسم الإنسان يتكون من الماء، حيث إنّ جزيء الماء الواحد H_2O يتكوّن من ذرتيّ هيدروجين وذرة أكسجين، فالهيدروجين يتواجد في جسم الإنسان بعددٍ أكبر بكثير، ووجود بروتون واحد في النواة الذريّة يعطيه قوة أكثر من بقية العناصر على إصدار الإشارات المستخدمة في الرنين المغناطيسي، ومن الممكن استخدام بروتونات ذرات أخرى كالكربون والصوديوم.



المجال المغناطيسي للبروتون الناتج عن الحركة المغزليّة له محدود وصغير جداً، وهو ما لا يجعل البشر مغانط رغم وجود الظاهرة المغناطيسيّة، لكنّ جسم الإنسان يحتوي على العديد من بروتونات الهيدروجين، ومع ذلك لا يوجد لها أيّ تأثيرٍ يُذكر؛ ويعود السبب إلى أنّها مبعثرة الاتّجاهات ويلغي بعضها بعضاً. يمكننا وصف هذا بطريقة علميّة بقولنا: إنّ مجموع العزم المغناطيسي للبروتونات يساوي صفراً.



عند وضع هذه البروتونات تحت مجال مغناطيسي خارجي يصبح أغلب هذه البروتونات في اتّجاه المجال المغناطيسي الخارجي، وعدد أقل من البروتونات عكس هذا المجال فتلغي البروتونات المتعاكسة في الاتّجاه تأثيرها وتتبقّى البروتونات القليلة التي في اتّجاه المجال المغناطيسي الخارجي، هذه البروتونات المتبقية هي التي تستخدم في أخذ إشارة الرنين المغناطيسي.

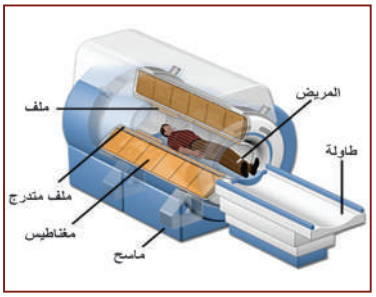


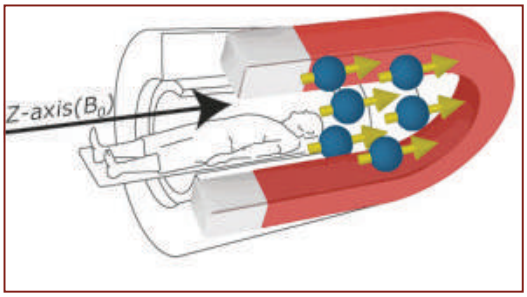
في الرنين المغناطيسي علينا دائما تصوُّر تأثير البروتونات كحزمة وليست منفردة، البروتون الواحد لا يعطي إشارة ذات قيمة؛ لأن مجاله المغناطيسي محدود وصغير؛ لذلك في الرنين المغناطيسي نتعامل فقط مع المحصّلة المغناطيسيّة وهي مجموع قوة جميع المجالات المغناطيسيّة للبروتونات.

المجال المغناطيسي الخارجي (الرئيسي) = مجال مغناطيس جهاز الرنين.

ويكون اتّجاه المجال المغناطيسي الخارجي باتّجاه Z في الشكل أدناه.

مبدأ عمل جهاز الرنين المغناطيسي





يتكوّن الجهاز من مغناطيس كهربائي لولبي ضخم للقيام بتشكيل مجال مغناطيسي حول المريض ينتج مجالاً مغناطيسيّاً شدته 2 تسلا.

ويتمّ أخذ إشارة الرنين المغناطيسي في مراحل عدة:

1. الاتّزان: عند وضع البروتونات في مجال مغناطيسي رئيس (خارجي) يكون مجموع محصّلتها المغناطيسيّة موازياً للمجال الرئيس، ويُسمّى المغنطة الطولية، وتدور حول خطوط مجالها المغناطيسي بتردد معيّن يعتمد على قوة المجال المغناطيسي الخارجي.

2. الاستثارة: يمكن استثارة البروتونات بوساطة أمواج الراديو، وهي عبارة عن طاقة يتم إعطاؤها لهذه البروتونات بحيث تكون قادرة على تغيير اتّجاه محصّلتها المغناطيسية من المغنطة الطولية إلى المغنطة العرضية. ويتم إرسالها بتردد محدد بحيث تستثير البروتونات التي تمتلك التردد نفسه فقط في ظاهرة تُسمّى الرنين، أما البروتونات التي ليس لها تردد أمواج الراديو نفسه لا يحدث لها أي استثارة، وبهذا يمكننا استثارة البروتونات المرغوبة وذلك بمعرفة ترددها.

3. أمواج الراديو: عبارة عن طاقة مرسلة نحو البروتونات التي لديها تردد هذه الأمواج نفسه سوف تكتسب الطاقة، وتكون قادرة على توجيه طاقتها في اتجاه مخالف للمجال المغناطيسي الرئيس. بعد إيقاف موجات الراديو سوف تخسر البروتونات الطاقة التي اكتسبتها وتعود إلى وضعها الطبيعي من حالة الاستثارة إلى حالة الاتزان. والطاقة التي تخسرها البروتونات أثناء عودتها إلى وضعها الطبيعي هي إشارة الرنين المغناطيسي.

4. الاسترخاء: يتم الاسترخاء بعد إيقاف أمواج الراديو، وذلك بعودة البروتونات إلى حالة الاتزان، وهذا يؤدي إلى ارتفاع المغنطة الطوليّة، وخسارة المغنطة العرضيّة؛ بسبب خسارة البروتونات للطاقة التي اكتسبتها من أمواج الراديو فتعود إلى حالتها الطبيعية وهذه الخسارة في الطاقة هي إشارة الرنين المغناطيسي.

جهاز الرنين المغناطيسي

يُستخدم الرنين المغناطيسي للتشخيص، مثل:

1- تصوير الأوردة والشرايين.

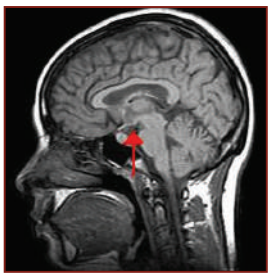
2- تصوير التغيّرات العصبية في الدماغ.

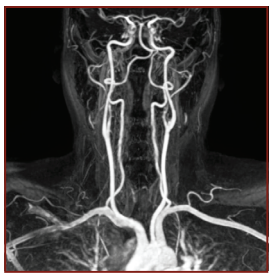
3- توضيح الأنسجة وسوائل الجسم.

4- وضع الخطط العلاجيّة القائمة على العلاج الإشعاعي.

5- تصوير أمراض متنوعة تشمل أورام الدماغ، والجلطات، والسرطانات، وأمراض القلب، والجهاز الهضمي، إضافة إلى الأربطة والأوتار والمفاصل.

قبل الفحص بالرنين المغناطيسي يجب مراجعة التاريخ المرضي، والتأكّد بشكل تام من عدم وجود جراحات سابقة، أو حوادث أدّت إلى تواجد معادن في الجسم مثل الشظايا؛ خوفاً من تحركها نتيجة تأثرها بالمجال المغناطيسي.





عند التصوير بالرنين المغناطيسي يشعر المريض بالخوف من الأماكن المغلقة، ومن الأصوات العالية الناتجة خلال الفحص، إضافة إلى احتماليّة تأثّر الأنسجة والأعضاء.

جهاز الطرد المركزي

نحن نعلم أنّ للأجسام قصوراً ذاتيّاً، حيث تميل الأجسام المتحركة إلى الاستمرار في الحركة في سرعة ثابتة وفي خط مستقيم؛ ولذلك يميل الجسم المتحرك في مسارٍ دائري إلى الخروج عن مساره عند كلِّ نقطة ليتحرك بسرعةٍ ثابتة وفي خطٍّ مستقيم، غير أنَّ القوّة التي تسحبه في اتّجاه المركز (القوة المركزية) تجبره على الاستمرار في مساره الدائري. ويمكن أن نستنتج أنّ الدفع إلى الخارج لا توجد قوة تسبّبه، إنّما هو ناتج عن القصور الذاتي للأجسام.

تستعمل في المختبرات أجهزة تُسمّى أجهزة الطرد المركزيّة ، وهي على أنواعٍ متعددة لكن الغرض منها واحد وهو فصل الدم أو المواد السائلة إلى أجزائها الرئيسة؛ وذلك لاستخدام كلِّ واحدٍ على حدة، أو دراسته وتحليله.

بعض أجهزة الطرد المركزيّة الكهربائيّة تصل سرعتها من 3 إلى 10 ألاف دورة بالدقيقة، وتُستخدم في فصل مكونات الدم لمعرفة عدد كريات الدم البيضاء والحمراء، وهذا النوع لا يوجد فيه منظّم سرعة. وبعضها هائلة السرعة وتصل إلى 51 ألف دورة بالدقيقة، وقد مكّنت هذه السرعة العلماء من فصل المكوّنات الدقيقة جداً للخلية وبشكلٍ نقيّ، وتتميّز بإمكانيّة التحكّم في درجة حرارة غرفة الدوران، وتفريغها من الهواء؛ لتقليل الاحتكاك به للحدّ من الحرارة الناتجة عن الدوران السريع. وتتميّز بوجود تحكُّم في سرعة الدوران أثناء التوقُّف، وأنها ثقيلة جداً وبالتالي تكون ثابتة ونسبة الارتجاج معدومة تماماً.

أسئلة الفصل:

1 وضح المقصود بكلٍّ من:
أ - التصوير بالرنين المغناطيسي.
ب- الرنين.
جـ - الأمواج فوق صوتية.
د - الطرد المركزي.

2 علّل:
أ- تجرى الفحوص التشخيصية بأقل طاقة ممكنة للأشعة.
ب- يُفضل استخدام أشعة الأمواج فوق الصوتية على استخدام الأشعة السينيّة في فحص أمراض النساء والحمل والولادة.
جـ- استخدام رونتجن مصدر جهد كهربائي عالٍ في جهاز توليد الأشعة السينية .
د- الأشعة السينية أشعة مؤينة للأوساط المادية.

3 أ- ما وظيفة المغناطيس الكهربائي في جهاز الرنين المغناطيسي؟
ب- وضّح خطوات اخذ إشارة الرنين المغناطيسي.

4 يُستخدم الرنين المغناطيسي للتشخيص، اذكر أربعة من مجالات استخدامه.

5 رغم عدم وجود خطر التأين الإشعاعي إلّا أنّ هناك بعض الأخطار الناجمة عن استخدام الرنين المغناطيسي. اذكرها.

6 وضّح آليّة عمل الأمواج فوق الصوتية.

7 عدّد استخدامات الأشعة السينية في المجال الطبي.

8 عدّد العوامل التي يتوقّف عليها امتصاص ونفاذ الأشعة السينية.

9 وضّح مخاطر الأشعة السينية، موضّحاً الطرق المتبعة لتفادي تلك المخاطر.

الفصل
الثالث عشر

العلاج بالأمواج

تعرّفتَ في الفصل السابق إلى التقنيات الحديثة المستخدمة في تشخيص الأمراض؛ ما يساعد في وضع الخطط العلاجية الصحيحة، فالأشعة التشخيصية تهدف إلى تشخيص العرض الطبي، كتشخيص كسرٍ في العظام، أمّا استخدامات الأمواج للعلاج فلها دور كبير في علاج الأورام، ورتق شبكيّة العين، وتفتيت الحصى وغيرها. ففي كلتا الحالتين يتم استخدام الأشعة، ولكن يختلف الهدف، فما الطرق والتقنيّات الحديثة المستخدمة في العلاج؟ وما الأجهزة والمواد المستخدمة في ذلك؟ ويُتوقَّع منك بعد دراستك هذا الفصل أن تجيب عن هذه الأسئلة وغيرها، وأن تكون قادراً على أن:

- توضّح مبدأ عمل بعض الأجهزة الطبية في العلاج مثل: المنظار.
- تتعرّف إلى استخدامات الأمواج المختلفة في العلاج.
- تكتب تقريراً عن استخدام بعض الأجهزة الطبية والأمواج في العلاج.

(13- 1) المنظار الطبي Medical Endoscope:

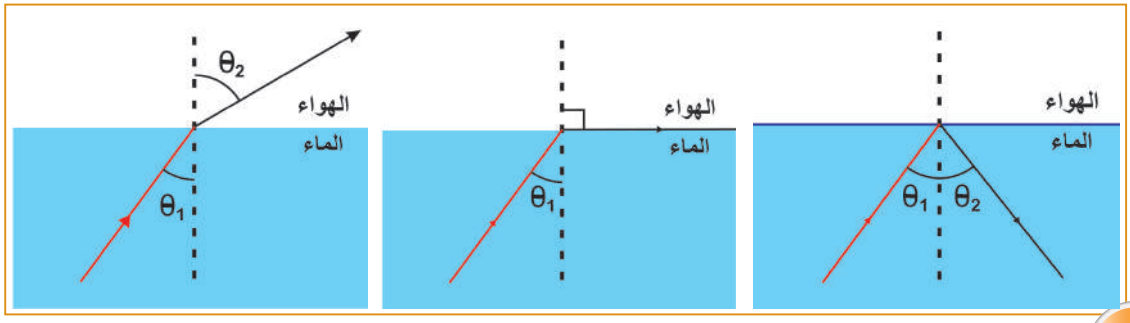
نشاط (13- 1): الألياف الضوئية

المواد والأدوات: عبوة بلاستيكية، وضَوْء ليزر، وماء.

الخطوات:

1- أحدِثْ فتحتين متقابلتين في العبوة على ارتفاع 5 cm من قاعدتها.
2- املأ العبوة بالماء.
3- سلّط ضوْء الليزر من إحدى الفتحتين وباتجاه الأخرى.
4- راقب مسار شعاع الليزر. ماذا تلاحظ؟

تعرّفت سابقاً إلى ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي.



أناقش

- ما المقصود بالزاوية الحرجة؟
- ما الزاوية الحرجة لزجاج معامل انكساره 1.5؟
- إذا انتقل شعاع ضوْئيّ من الزجاج - في الفرع الثاني- إلى الهواء بزاوية سقوط 53°، فما المسار الذي يسلكه؟
- ماذا تُسمّى الظاهرة في الفرع الثالث؟

مبدأ عمل المنظار الضّوْئي

يعتمد عمل المنظار الضوئي على ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلّي حيث يُستخدم لنقل الصورة أنبوب خاص، مصنوع سطحه الداخلي وسطحه الخارجي من مادتين تحقّقان شرط الانعكاس الداخلي الكلي، ومع تكرار عملية الانعكاس الداخلي الكلي على جدار الدليل الموجي الناقل للصور أو للإضاءة، يتمّ انتقال الأشعة الضوئية من طرف الدليل إلى الطرف الآخر، وبذلك تنتقل الصورة من نقطة البداية إلى نقطة النهاية سواء كان المسار بين النقطتين مستقيماً أو منحنياً.

وتُستخدم لذلك الألياف البصرية وهي أداة موجية من مادة عازلة كهربيّاً ، يمكن أنْ ينتشر داخلها الشّعاع الضوئي نتيجة ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي؛ وتكون الألياف الضوئيّة عادة مرنةً ورقيقةً جداً، وأسطوانية الشكل مصنوعة من مواد منفذة وشفافة مثل: الزجاج والبلاستيك.

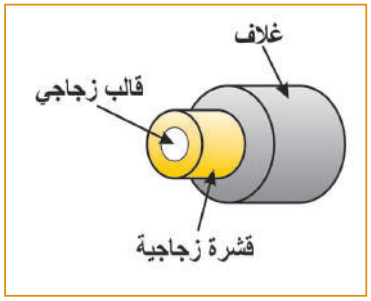
تركيب الألياف الضوئيّة

إذا نظرت عن قرب لأحد هذه الألياف الضوئيّة ستجد أنّه يتكوّن من:

1. القالب: وهو قلب من الزجاج الفائق النقاء يمثل المسار الذي ينتقل من خلاله الضوء.
2. القشرة الزجاجيّة: وهي المادة الخارجية التي تحيط بالقلب الزجاجي، وهي مصنوعة من زجاج يختلف معامل انكساره عن معامل انكسار الزجاج الذي يُصنع منه القلب، ويعكس الضوء باستمرار؛ ليظل داخل القالب الزجاجي.
3. الغلاف الواقي: وهو غلاف بلاستيكي يحمي القلب من الضرر .

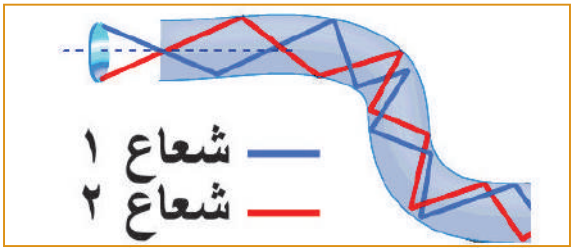
مئات أو ربما الآلاف من هذه الألياف الضوئيّة تصطف معاً في حزمة؛ لتكوّن الحبل الضوْئي الذي يُحمى بغطاء خارجي.

الألياف الضوئية يمكن أن تُقسم بصفةٍ عامّة إلى نوعيْن أساسيين:



1. الألياف الضوئية ذات النمط الأحادي: تنتقل من خلالها إشارة ضوئيّة واحدة فقط في كلِّ ليفةٍ ضوئية من ألياف الحزمة.
2. الألياف الضوئية ذات النمط المتعدد: وبها يتم نقل العديد من الإشارات الضوئية من خلال الليفة الضوئية الواحدة.

وبصفة عامّة، تتكوّن الألياف الضوئية من قلب أسطواني الشكل محاط بغلاف، ويكون معامل الانكسار لمادة القلب الأسطواني n_1 دائماً، أكبر من معامل انكسار مادة الغلاف n_2.



شعاعان من ضوء الليزر ينتقلان عبر الألياف الضوئية عن طريق الانعكاس على سطحه؛ لأن زاوية السقوط أكبر من الزاوية الحرجة.

التنظير الداخلي: طريقة تشخيصيّة تتم من خلال النظر إلى الأسطح الداخلية للأعضاء عن طريق إدخال أنبوب داخل الجسم. من الممكن أن يكون الجهاز مزوّداً بأنبوبٍ صُلب أو مرن، ولا يزوّد فقط بصور بصرية للأعضاء بغرض الفحص أو التصوير، بل أيضاً من الممكن أخذ عيّنات، أو التقاط أجسام غريبة.

تُعدّ عمليات التنظير غير مؤلمة بشكل نسبي، وعلى الأكثر تسبب إزعاجاً طفيفاً فقط عند التنظير لفحص الجهاز الهضمي.

المنظار الضوئي للألياف الضوئية: أداةٌ تستخدمُ تقنية الألياف الضوئية، لنقل الصورة من مكان لا يمكن رؤيته مباشرة، مثل المكونات الداخلية لجسم الإنسان، أو الأجزاء الداخلية لمحرك طائرة أو سيارة؛ ففي هذه الحالات تُدخَل ألياف رفيعة ومرنة على سبيل المثال داخل القنوات الدموية؛ للمساعدة في تشخيص حالة الأوعية، أو للمساعدة في تنفيذ جراحة دقيقة.

ويتكون المنظار بشكل عام من:

1. أنبوب صلب أو مرن.

نظام إيصال الضوء الذي يُستخدم في تسليط الضوء على العضو أو التجويف المراد فحصه، عادة ما يكون مصدر الضوء خارج الجسم، ويتم نقل الضوء إلى الجسم عبر نظامٍ من الألياف الضوئية.

2. عدسة تنقل المشهد للناظر(الطبيب) من خلال الألياف الضوئية.
3. قناة إضافية للسماح بدخول أيّة أدوات طبية قد يحتاج إليها الطبيب.

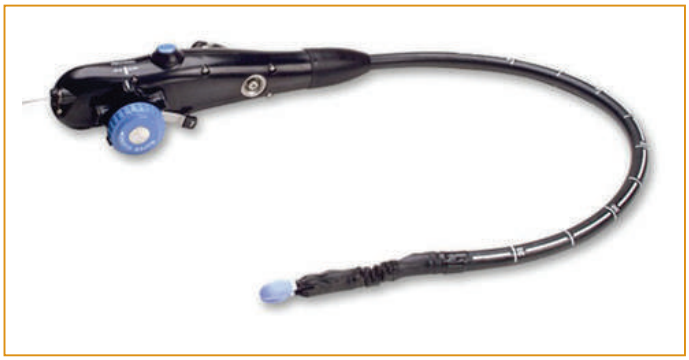
ويُطلق على المنظار الضوئي للألياف الضوئية، اسم آخر يعبّر عن استخدامه في رؤية ما هو خفيّ داخل الأجسام، أو الأماكن المغلقة وهو إندوسكوب، ويُعدُّ المجال الطبي أهمّ مجال لاستخدام المنظار الضوئي للألياف الضوئية، سواء لغرضيّ الاستكشاف والتشخيص، أو لإجراء الجراحات الدقيقة. فقد تمكّن الأطباء باستخدامه من التشخيص الدقيق للعديد من الحالات المرضية الصّعبة، وإجراء عمليّات جراحية ناجحة، كان يصعب تنفيذها بالأساليب الجراحية التقليدية. إضافة إلى سرعة التئام الجُرح؛ ما يقلّل فترة بقاء المريض في المستشفى، ويمنح مكانه لمعالجة مريضٍ آخر.

كلُّ هذا لا يعني أنّ المنظار الضوئي للألياف الضوئية هو الوسيلة المثلى، أو الوحيدة المناسبة لنقل الصورة، ولكنّه قد يكون الوسيلة المناسبة في أحوال خاصّة لا تصلح فيها الوسائل الأخرى، وفي بعض الأحوال قد تتزاوج أكثر من وسيلة في منظومة موحّدة لتنفيذ مَهمّة خاصّة، مثل استخدام كاميرا تلفزيونيّة صغيرة مع المنظار، أو استخدام تركيبة من العدسات المكبّرة معه. ولكن يظلّ الحجم المناسب للمكوّنات الإضافيّة هو القيْد الحاكم عند تصميم مثل هذه المنظومة.

ويتغيّر اسم المنظار طبقاً للمنطقة التي تُستكشف، أو التي يجري تنفيذ الجراحة فيها؛ فالمنظار الذي يدخل إلى الجسم من خلال فتحة في البطن يُسمّى لاباروسكوب، وهو يُستخدم في جراحات أمراض النساء، وجراحات الصدر. أما المنظار الذي يتعامل مع الأمعاء والجهاز الهضمي فيُسمّى الجاستروسكوب، بينما يُسمّى المنظار الذي يتعامل مع المفاصل أرثوسكوب.

فظهرت أنواع متعددة من المناظير الخاصّة، مثل مناظير الأوعية الدموية، ومناظير المسالك البولية، ومناظير العمود الفقري؛ وكل هذه الجراحات لا تتطلب حجز المريض أكثر من ليلة واحدة بالمستشفى.

ويتركّز تطور المنظار الضوئي للألياف الضوئية حول خفض قطر الجزء من المنظار، الذي يُدخل في جسم الإنسان، بحيث يُسمح بحركة المنظار داخل الأوعية الدموية، وتصوير جدرانها الداخلية ومحتوياتها، والوصول من خلالها إلى تجاويف أعضاء أخرى، مثل القلب والكبد؛ إضافة إلى ذلك يسير التطور نحو تطويع هذا النوع من المناظير، لتصبح أداة معاونة لجراحات الليزر الدقيقة، وأصبح من الممكن حالياً استخدام عدسات شيئية ذات معامل انكسار متدرّج، لا يزيد قطرها على 0.25 مليمتر، وتقدّم صوراً دقيقة عالية الوضوح، تناسب تلك الجراحات الحديثة.



(13 – 2) الأمواج فوق الصوتية المركّزة High-Intensity Focused Ultrasound:

الموجات فوق الصوتية المركّزة عالية الشدة (High-Intensity Focused Ultrasound) وتختصر (HIFU - هايفو) تطبّق عملية الـ هايفو عادة بمساعدة إحدى طرق التصوير الطبي؛ ليتمكن الفريق الطبي من تخطيط العلاج بدقة واستهداف البقعة المراد علاجها قبل أن تطلق عليها الموجات فوق الصوتية العلاجية. وتُستخدم فيها الحرارة العالية لعلاج الأمراض، وقد تشمل تدخُّل جراحي بسيط، أو دون أي تدخل جراحي لتسليط الطاقة الصوتية العلاجية داخل الجسم، وتُستخدم طرقٌ عدّة إلى جانب الـ «هايفو» للعلاج: كإيصال الدواء، وإيقاف النزيف، وتفتيت الحصى، وغيرها من العمليّات.

طريقة الاستخدام

يتمّ تدمير الجزء المصاب في النسيج من خلال تركيز الأمواج فوق الصوتية عليه، فيتم امتصاص جزء منها على شكل طاقة حرارية يتم تسليطها على الجزء المصاب لفترة زمنية معينة لرفع درجة حرارته، وتُسمّى الجرعة الحرارية، وتكون درجة الحرارة المستخدمة ما بين (60-85C)، ولا يتم رفع درجة الحرارة أكثر من ذاك؛ خوفاً من غليان السوائل داخل النسيج، كما تُستخدم الموجات فوق الصوتية في تفتيت الحصى في كلتا الكليتين بدون جراحة.

(13 – 3) العلاج بالأشعّة

تعرفت سابقاً إلى أشعة الطيْف الكهرومغناطيسي وخواصها، واستخدامها في تشخيص الأمراض، فما دورها في العلاج؟

أناقش

قارن بين الأشعة السينية، وأشعة غاما، والأشعة فوق البنفسجية من حيث:

- التردد.
- الطول الموجي.
- الطاقة.
- القدرة على الاختراق.

أشعة جاما

تُستخدم أشعة جاما في الطب لقتل الخلايا السرطانية ومنعها من النمو، حيث تنفذ أشعة جاما في الجلد وتعمل على تأيين الخلايا وهذا يسبب قتل تلك الخلايا، وتُستخدم في مجال الطب لدراسة: أمراض المخ، والكبد، والكلى، والبنكرياس، والغدد الدرقية، وغيرها.

الأشعة السينيّة

تُستخدم الأشعة السينية على نطاق واسع في علاج السرطان، فهي تقتل الخلايا السرطانية بمعدل أعلى من قتلها الخلايا العادية. ويمكن تعريض الورم السرطاني لجرعة محدودة من الأشعة السينية. وفي حالات كثيرة تدمّر الأشعة السينية الورم، ولكنها تتلف الأنسجة السليمة القريبة منه بدرجة أقل. وتؤدّي الأشعة السينية أغراضًا أخرى في الطب، فهي تُستخدم لتعقيم المعدات الطبية مثل: القفازات الجراحية اللدنة، أو المطاطية، والمحقنات. فهذه المعدات تتلف عند تعرضها للحرارة الشديدة؛ ولذا فلا يمكن تعقيمها بالغليان.

الأشعة فوق البنفسجية

ينجم اليرقان عن تراكم مادة البيليروبين في الدم، والبيليروبين هو مادة تنتج عن تفكك مادة أخرى تعرف باسم الهيم، ويتم معالجته باستخدام الأشعة فوق البنفسجية التي تعمل على تحليل البيليروبين إلى نواتج يتم إفرازها بسهولة.

مشروع

قم بزيارة أحد عيادات الأسنان، واكتب تقريراً حول استخدام الأشعة في تبييض الأسنان.

أسئلة الفصل:

1 وضّح المقصود بكلٍّ من:

1- الألياف الضوئية.
2- الانعكاس الكلي الداخلي.
3- التنظير الداخلي.
4- الهايفو.

2 علّل:

- يعدّ زجاج السيليكا من أكثر المواد المستخدمة في تصنيع الألياف الضوئية شيوعاً.
- تستخدم أشعة جاما في علاج مرض السرطان.

3 عدّد خواص الألياف الضوئية المستخدمة في المنظار الطبي.

4 وضّح مميزات استخدام الإندوسكوب في المجال الطبي.

5 « التصوير الجامي» من التقنيات الطبية الحديثة، أجب عن الأسئلة الآتية:

- ما مبدأ عمل كاميرا جاما؟
- اذكر استخداماً لأشعة جاما في المجال الطبي.
- وضّح أثر أشعة جاما في الخلايا.

6 اقرأ كل عبارة من الآتية ثم أضع إشارة (✓) في المكان المناسب:

الرقم	العبارة	دائماً	أحياناً	نادراً
	أستطيع تعريف المفاهيم الجديدة التي تعلمتها في في هذا الفصل.			
	أستطيع حل المسائل بسهولة في هذا الفصل.			
	أستطيع تفسير الظواهر والتطبيقات في في هذا الفصل.			

أسئلة الوحدة

1 ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة في كلٍّ ممّا يأتي:

1: أكثر العناصر استخداماً في تصوير الرنين المغناطيسي:
أ) الكربون. ب) الهيدروجين. جـ) النيتروجين. د) الأكسجين.

2: في أنبوب لتوليد الأشعة السينية يمكن تسريع الإلكترونات بين المهبط والمصعد:
أ) بزيادة درجة حرارة سلك التسخين. ب) بإنقاص الجهد على دارة التسخين.
جـ) بزيادة الجهد بين المصعد والمهبط. د) بإنقاص فرق الجهد بين المهبط والمصعد.

3: أقصر طول موجي لفوتون الأشعة السينية في أنبوب توليدها يعتمد على:
أ) كتلة مادة الهدف ونوعها. ب) درجة حرارة سلك التسخين.
جـ) عدد الالكترونات التي تصل إلى الهدف. د) فرق الجهد بين المهبط والمصعد.

4: في الليف الضوئي يكون معامل انكسار مادة القلب:
أ) أكبر أو أصغر من مادة الغلاف اعتماداً على زاوية السقوط.
ب) أقل من معامل انكسار مادة الغلاف.
جـ) مساوياً لمعامل انكسار مادة الغلاف.
د) دائما أكبر من معامل انكسار مادة الغلاف.

5: العالم الذي اكتشف الأشعة السينية:
أ) بور. ب) طومسون. جـ) رونتجن. د) رذرفورد.

6: الأشعة السينية لا تستطيع النفاذ من:
أ) الخشب. ب) الرصاص. ج) الزجاج. د) البلاستيك.

7: الطول الموجي للأشعة السينية يقارب:
أ) طول كائن حي وحيد الخلية. ب) سمك ورقة من كتاب الفيزياء.
جـ) طول حشرة مثل النحلة. د) نصف قطر الذرة.

٨: تفاعل الأشعة مع المادة يعتمد على جميع مايلي ما عدا:
أ) كثافة المادة. ب) كتلة المادة. جـ) العدد الذري للمادة. د) حالة المادة.

9: أيّ من الآتية ليست من خصائص الأشعة السينيّة؟
أ) لا تنحرف عند مرورها داخل مجال مغناطيسي. ب) موجات كهرومغناطيسية منخفضة التردد.
جـ) أشعة مؤينة للهواء الذي تمر من خلاله. د) لا تعاني انكساراً عند نفاذها من الزجاج.

10: من خصائص الأشعة السينية أنها ذات تردد:
أ) عالٍ وطول موجي كبير. ب) عالٍ وطول موجي قصير.
جـ) منخفض وطول موجي كبير. د) منخفض وطول موجي قصير.

11: أيّ من الآتية يُستخدم للوقاية من مخاطر الأشعة السينية؟
أ) يرتدي المريض قميصاً قطنياً أبيض. ب) لا يتم تصوير الأعضاء التي لا تحوي عظاماً.
جـ) يتم التصوير في أماكن ضيّقة ومغلقة . د) يرتدي العاملون قمصاناً من الرصاص.

12: من خواص الأشعة السينية التي أدت إلى استخدامها في المجال الطبي:
أ) اختراق الأجسام. ب) التأين والإثارة. جـ) الانتقال في خطوط مستقيمة. د) كلُّ ما ذكر صحيح.

13: مصدر الأشعة السينية في أنبوب الأشعة هو:
أ) المصعد. ب) الفتيلة. جـ) موجة الإلكترون. د) الغطاء الزجاجي للأنبوب.

14: مصدر الإلكترونات في أنبوب الأشعة السينية هو:
أ) المصعد. ب) الفتيلة. جـ) الدوار. د) محول الضغط العالي.

15: أيّ ممّا يأتي صحيح للحصول على صورة بالأشعة السينية واضحة لعضو في جسم الإنسان لا يحوي عظاماً؟
أ) يُحقن جسم الإنسان بمادة غير ضارة (سائل ملون).
ب) تقليل شدة الأشعة السينية المستخدمة في التصوير.
جـ) زيادة شدة الأشعة السينية المستخدمة في التصوير.
د) لا يمكن الحصول على صورة للعضو.

2 علّل: أ. حقن الجسم المراد تصويره بالأشعة السينية بمواد غير ضارة.
ب. ارتداء العاملين في قسم الأشعة السينيّة في المشافي مرايل رصاصيّة.
جـ. لا تستطيع الأشعة السينية النفاذ من خلال العظام.

3 عدّد مجالات استخدام الأمواج فوق صوتية.

4 يكثر استخدام أجهزة الطرد المركزي في المختبرات الطبية، أجب عن الأسئلة الآتية:
1- ما الغرض من استخدامها؟
2- ما مبدأ عملها؟
3- اذكر أنواعها.

5 اذكر ثلاثاً من خواص الأشعة السينية.

6 وضّح بالرسم تركيب الليف الضوئي، مبيّناً وظيفة كلّ جزء.

7 قارن بين الأورثوسكوب والإندوسكوب من حيث الغرض من الاستخدام.

8 المنظار الضوئي للألياف الضوئية يعد من المعدات الطبية الحديثة:

1- ما أهم التطورات التي يسعى العلماء إلى إدخالها عليه؟

2- اذكر عدداً من أنواعها.

3- اذكر ثلاثة من مخاطر استخدامها.

9 من مخاطر الأشعة السينية أنّها يمكن أنْ تسبب إتلافاً للأنسجة الحية في الحيوانات والنبات.

1- أذكر وسيلتين يمكن استخدامهما للحدّ من مخاطر الأشعة السينية.

2- رتّب تنازلياً أنواع الأشعة حسب أطوالها الموجية:

3- في الشكل المجاور صورة لكائن حي تم التقاطها باستخدام الأشعة السينية، أجب عمّا يأتي:

- ما الخاصيّة التي تمتاز بها الأشعة السينية، التي ساعدت على التقاط هذه الصورة؟
- ما التغيّر الذي سيحدث لصورة الكائن لو تم التقاطها بكاميرا تصوير فوتوغرافي؟

10 من خلال دراستك الأشعة السينية والأمواج فوق الصوتية، أجب عن الأسئلة الآتية:

1- ما الأشعة السينية؟

2- هل الأشعة السينية ضارة؟

3- وضّح طريقة التصوير بالأمواج فوق الصوتية.

4- كيف يتميّز التصوير بالأمواج فوق الصوتية عن التصوير باستخدام الأشعة السينية؟ هل هناك أيّ مخاطر مرتبطة بالأمواج فوق الصوتية على الأم أو الجنين؟

11 أ- أيّهما أفضل: استخدام الأشعة السينية أم الأمواج الصوتية في فحص أمراض النساء والحمل والولادة، ولماذا؟

ب- هل يشكّل التصوير بالرنين المغناطيسي خطراً على المرأة الحامل؟

12 اقرأ كل عبارة من الآتية ثم أضع إشارة (✓) في المكان المناسب:

الرقم	العبارة	دائماً	أحياناً	نادراً
	أستطيع تعريف المفاهيم الجديدة التي تعلمتها في في هذه الوحدة.			
	أستطيع حل المسائل بسهولة في هذه الوحدة.			
	أستطيع تفسير الظواهر والتطبيقات في في هذه الوحدة.			

قائمة المراجع والمصادر

1. الخطيب، أحمد شفيق وآخرون (2004). الموسوعة العلمية المعاصرة، مكتبة لبنان ناشرون، لبنان.
2. العارف، صفاء (2001). فيزياء الأشعة التشخيصية. الحامد للنشر والتوزيع، الأردن.
3. David Halliday and Resnick (2014). Fundamentals of Physics ,10th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
4. Glenco, (2005). Physics Principles and Problems, 5th ed., McGraw Hill, USA.
5. Serway, Jewett, (2014). Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics, 10th ed., Thomson-Brooks, California.
6. Dan Bruni, Greg Dick, Jacob Speijer, Charles Stewart (2012), Physics 12, Nelson Education Ltd., Canada.
7. Suzanne, Amador Kane (2009). Introduction to Physics in Modern Medicine, 2nd ed., Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA.
8. Physics Principles With Applications Douglas C.Giancoli.

المشروع

شكل من أشكال منهج النشاط؛ يقوم الطلبة (أفراداً أو مجموعات) بسلسلة من ألوان النشاط التي يتمكنون خلالها من تحقيق أهداف ذات أهمية للقائمين بالمشروع.

ويمكن تعريفه على أنه: سلسلة من النشاط الذي يقوم به الفرد أو الجماعة لتحقيق أغراض واضحة ومحددة في محيط اجتماعي برغبة ودافعية.

ميزات المشروع

1. قد يمتد زمن تنفيذ المشروع لمدة طويلة ولا يتم دفعة واحدة.
2. ينفّذه فرد أو جماعة.
3. يرمي إلى تحقيق أهداف ذات معنى للقائمين بالتنفيذ.
4. لا يقتصر على البيئة المدرسية وإنما يمتد إلى بيئة الطلبة لمنحهم فرصة التفاعل مع البيئة وفهمها.
5. يستجيب المشروع لميول الطلبة وحاجاتهم ويثير دافعيّتهم ورغبتهم بالعمل

خطوات المشروع

أولاً: اختيار المشروع: يشترط في اختيار المشروع ما يأتي:

1. أن يتماشى مع ميول الطلبة ويشبع حاجاتهم.
2. أن يوفّر فرصة للطلبة للمرور بخبرات متنوعة.
3. أن يرتبط بواقع حياة الطلبة ويكسر الفجوة بين المدرسة والمجتمع.
4. أن تكون المشروعات متنوعة ومترابطة وتكمل بعضها البعض ومتوازنة، لا تغلّب مجالاً على الآخر.
5. أن يتلاءم المشروع مع إمكانات المدرسة وقدرات الطلبة والفئة العمرية.
6. أن يُخطّط له مسبقاً.

ثانياً: وضع خطة المشروع

يتم وضع الخطة تحت إشراف المعلم حيث يمكن له أن يتدخّل لتصويب أي خطأ يقع فيه الطلبة.

يقتضي وضع الخطة الآتية:

1. تحديد الأهداف بشكل واضح.
2. تحديد مستلزمات تنفيذ المشروع، وطرق الحصول عليها.
3. تحديد خطوات سير المشروع.
4. تحديد الأنشطة اللازمة لتنفيذ المشروع، (شريطة أن يشترك جميع أفراد المجموعة في المشروع من خلال المناقشة والحوار وإبداء الرأي، بإشراف وتوجيه المعلم).
5. تحديد دور كل فرد في المجموعة، ودور المجموعة بشكل كلّي.

ثالثاً: تنفيذ المشروع

مرحلة تنفيذ المشروع فرصة لاكتساب الخبرات بالممارسة العملية، وتعدّ مرحلة ممتعة ومثيرة لما توفّره من الحرية، والتخلص من قيود الصف، وشعور الطالب بذاته وقدرته على الإنجاز حيث يكون إيجابياً متفاعلاً خلّاقاً مبدعاً، ليس المهم الوصول إلى النتائج بقدر ما يكتسبه الطلبة من خبرات ومعلومات ومهارات وعادات ذات فائدة تنعكس على حياتهم العامة.

دور المعلم

1. متابعة الطلبة وتوجيههم دون تدخّل.
2. إتاحة الفرصة للطلبة للتعلّم بالأخطاء.
3. الابتعاد عن التوتّر مما يقع فيه الطلبة من أخطاء.
4. التدخّل الذكي كلما لزم الأمر.

دور الطلبة

1. القيام بالعمل بأنفسهم.
2. تسجيل النتائج التي يتم التوصل إليها.
3. تدوين الملاحظات التي تحتاج إلى مناقشة عامة.
4. تدوين المشكلات الطارئة (غير المتوقعة سابقاً).

رابعاً: تقويم المشروع: يتضمن تقويم المشروع الآتي:

1. الأهداف التي وضع المشروع من أجلها، ما تم تحقيقه، المستوى الذي تحقّق لكل هدف، العوائق في تحقيق الأهداف إن وجدت وكيفية مواجهة تلك العوائق.
2. الخطة من حيث وقتها، التعديلات التي جرت على الخطة أثناء التنفيذ، التقيّد بالوقت المحّدد للتنفيذ، ومرونة الخطة.
3. الأنشطة التي قام بها الطلبة من حيث، تنوّعها، إقبال الطلبة عليها، توافر الإمكانات اللازمة، التقيد بالوقت المحدد.
4. تجاوب الطلبة مع المشروع من حيث، الإقبال على تنفيذه بدافعيّة، التعاون في عملية التنفيذ، الشعور بالارتياح، إسهام المشروع في تنمية اتجاهات جديدة لدى الطلبة.

يقوم المعلم بكتابة تقرير تقويمي شامل عن المشروع من حيث:

- أهداف المشروع وما تحقّق منها.
- الخطة وما طرأ عليها من تعديل.
- الأنشطة التي قام بها الطلبة.
- المشكلات التي واجهت الطلبة عند التنفيذ.
- المدة التى استغرقها تنفيذ المشروع.
- الاقتراحات اللازمة لتحسين المشروع.

تم بحمد الله

لجنة المناهج الوزارية:

د. صبري صيدم	أ. ثروت زيد	د. شهناز الفار
د. بصري صالح	أ. عزام أبو بكر	د. سمية نخالة
م. فواز مجاهد	أ. عبد الحكيم أبو جاموس	م. جهاد دريدي

اللجنة الوطنية لوثيقة العلوم:

أ.د. عماد عودة	د. جواد الشيخ خليل	د. حاتم دحلان	د. خالد السّوسي
د. رباب جرّار	د. سعيد الكردي	د. صائب العويني	د. عدلي صالح
أ.د. عفيف زيدان	د. محمد سليمان	د. محمود الأستاذ	د. محمود رمضان
د. مراد عوض الله	د. معمر شتيوي	د. معين سرور	د. وليد الباشا
د.إيهاب شكري	د.خالد صويلح	د.سحر عودة	د.عزيز شوابكة
د.فتحية اللولو	أ. أحمد سياعرة	أ. أماني شحادة	أ. أيمن شروف
أ. إيمان الريماوي	أ. ابراهيم رمضان	أ. جنان البرغوثي	أ. حسن حمامرة
أ. حكم أبو شملة	أ. خلود حمّاد	أ. رشا عمر	أ. رياض ابراهيم
أ. صالح شلالفة	أ. عفاف النجّار	أ. عماد محجز	أ. غدير خلف
أ. فراس ياسين	أ. فضيلة يوسف	أ. محمد أبو ندى	أ. مرام الأسطل
أ. مرسي سمارة	أ. مي اشتية	أ. ياسر مصطفى	أ.سامية غبن
أ. بيان المربوع	د. رولى أبو شمة	أ. محمود نمر	أ. زهير الديك
أ. أسماء بركات	أ. عايشة شقير	أ. جمال مسالمة	

المشاركون في ورشة عمل مناقشة كتاب الفيزياء للصف الحادي عشر/ الجزء الثاني

بسام عيد	محمدبشارات	سفيان صويلح	كفاح أبو الرب
أيوب دويكات	محمدعوايصة	د.رولى أبو شمة	علا شتية
سمر مناع	عماد محجز	أيمن شروف	د. عدلي صالح
عبد المجيد جبشة	مظفرعطعوط	ربى دراغمة	عبد الرحمن حجاجلة
مرسي سمارة	رائدأحمد	عيسى اسعيد	أحمد سياعرة
سمعان عطا الله	محمدأبوندى	شعبان صافي	جهاد حرز الله
محمد فياض	عطاف الزمار	لبنى عودة	فداء الشويكي
خلود الخولي	ياسر حسين	حمدالله أبوصفط	سمير أبو ناصر
سعيد عيسى			