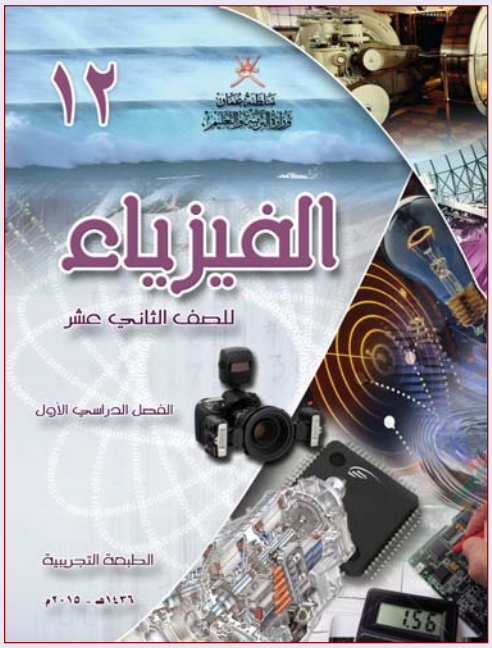
١٢
سلطنة عُمان
وزارة التربية والتعليم
الفيزياء
للصف الثاني عشر
الفصل الدراسي الأول
الطبعة التجريبية
١٤٣٦هـ - ٢٠١٥م

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم



الطبعة التجريبية
١٤٣٦هـ – ٢٠١٥م

حضرة صاحب الجلالة السلطان قابوس بن سعيد المعظم

الفيزياء
للصف الثاني عشر

جميع حقوق الطبع والنشر والتوزيع محفوظة لوزارة التربية والتعليم

لجنتا تأليف ومراجعة كتاب الفيزياء للصف الثاني عشر

أولاً: لجنة التأليف:

١- سعيد بن سالم الحارثي
٢- عفاف بنت علي اللواتية
٣- سعيد بن سعد الخروصي
٤- مياء بنت سعيد العزرية
٥- محمد بن خلفان العاصمي

ثانياً: لجنة المراجعة:

١- د.عصام بن صادق بن علي
٢- د. معتز بن سعيد البرواني
٣- سالم بن محسن الشقصي
٤- شمسة بنت جمعة الحميدية
٥- موسى علي العمايرة
٦- عاتكة بنت إبراهيم الكندية
٧- أمل بنت محمد اليعقوبية

إدخال البيانات:

خالد بن محمد بن صالح الفارسي

إعداد الصور والأشكال:

حميد بن ناصر الجابري

التدقيق اللغوي:

فاطمة بنت سيف الهاشلية

التصميم والإخراج:

بشرى الهادية

تمت عمليات إدخال البيانات والتدقيق اللغوي
بمركز إنتاج الكتاب المدرسي والوسائل التعليمية بالمديرية العامة لتطوير المناهج

المحتويات

الموضوع	الصفحة
المحتويات	٥
تقديم	٧
المقدمة	٨
الوحدة الأولى:	
الكهرباء والمغناطيسية	١٠
Electricity and Magnetism	
الفصل الأول: الكهرباء	١٢
Electricity	
(١-١) القوة الدافعة الكهربائية *Electromotive Force*	١٦
(١-٢) المقاومة وقانون أوم *Resistance and Ohm's law*	١٨
(١-٣) قوانين كيروتشوف *Kirchhoff's Law*	٢١
الاستكشاف (١): قانون حفظ الشحنة	٢٢
(١-٤) المكثفات *Capacitors*	٢٨
(١-٥) طرق توصيل المكثفات *Combinations of Capacitors*	٣٤
(١-٦) الطاقة المختزنة في المكثف المشحون *Energy Stored in Charged Capacitors*	٣٨
(١-٧) أشباه الموصلات *Semiconductors*	٤٠
(١-٨) أجهزة أشباه الموصلات *Semiconductor Devices*	٤١
الاستكشاف (٢): إشارات المرور	٤٦
أسئلة الفصل	٤٨
الفصل الثاني: الحث الكهرومغناطيسي	٥٤
Electromagnetic Induction	
(٢-١) القوة الدافعة الكهربائية المحتثة *Induced Electromotive Force*	٥٨
(٢-٢) قانون لنز *Lenz's Law*	٦٢
(٢-٣) القوة الدافعة التأثيرية المتولدة في موصل متحرك *EMF Induced in a Moving Conductor*	٦٦
(٢-٤) تطبيقات على الحث الكهرومغناطيسي *Applications of Electromagnetic Induction*	٦٨
الاستكشاف (١): تعرُّف مبدأ عمل المحرك الكهربائي	٧٥
الاستكشاف (٢): مبدأ عمل المحول الكهربائي	٧٧
أسئلة الفصل	٨٢

الموضوع	الصفحة
الوحدة الثانية:	
الموجات الميكانيكية والصوت	٨٨
Mechanical Waves and Sound	
الفصل الثالث: الموجات الميكانيكية	٩٠
Mechanical Waves	
(٣-١) حركة الموجات *Movement of Waves*	٩٤
الاستكشاف (١) : انتشار الموجات الميكانيكية	٩٤
(٣-٢) أنواع الموجات الميكانيكية *Types of Mechanical Waves*	٩٥
(٣-٣) خصائص الحركة الموجية *Characteristics of Wave Movement*	٩٦
(٣-٤) الموجات الميكانيكية ونقل الطاقة *Mechanical Wave and the Transfer of Energy*	١٠١
(٣-٥) انعكاس الموجات *Reflection of Waves*	١٠٢
الاستكشاف (٢): انعكاس الموجات المائية	١٠٣
(٣-٦) انكسار الموجات *Refraction of Waves*	١٠٦
(٣-٧) التداخل *Interference*	١٠٨
الاستكشاف (٣): تداخل الموجات المائية	١٠٩
(٣-٨) الموجات الموقوفة *Standing Waves*	١١١
(٣-٩) الحيود *Diffraction*	١١٣
الاستكشاف (٤): حيود الموجات	١١٤
أسئلة الفصل	١١٦
الفصل الرابع: الصوت	١٢٠
The Sound	
(٤-١) طبيعة الصوت *Nature of Sound*	١٢٤
الاستكشاف (١): كيف ينشأ الصوت	١٢٤
الاستكشاف (٢): انتقال الصوت	١٢٦
(٤-٢) سرعة الصوت *Speed of Sound*	١٢٧
(٤-٣) درجة الصوت وشدته *Sound Level and Loudness*	١٢٨
الاستكشاف (٣): تردد الصوت وشدته	١٢٨
(٤-٤) الموجات الكروية والموجات المستوية *Spherical waves and Plane Waves*	١٣٢
(٤-٥) ظاهرة دوبلر *Doppler Effect*	١٣٤
(٤-٦) الرنين في الأعمدة الهوائية *Resonance*	١٣٩
الاستكشاف (٤): الرنين	١٣٩
(٤-٧) تطبيقات على التقانات التي تستخدم مبادئ الصوت *Applications in Techniques that uses Sound Principles*	١٤١
أسئلة الفصل	١٤٥

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم

الحمد لله نحمده تمام الحمد، ونصلي ونسلم على خير خلقه سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين... وبعد

تحرص وزارة التربية والتعليم على تجويد العملية التعليمية من خلال إرساء قواعد منظومة تعليمية متكاملة تلبي احتياجات البيئة العمانية وتتناسب مع متطلباتها الحالية.

وبعد مراجعة النظام التعليمي للسلطنة وقياس مستوى أدائه وتحديد أهم التحديات التي تواجهه، قامت وزارة التربية والتعليم بإعادة ترتيب أولوياتها، وتنظيم جهودها لإحداث التطوير بما يتماشى مع توجهات السلطنة ورؤيتها المستقبلية، حيث جرى تطوير الأهداف العامة للتربية، والخطة الدراسية التي أولت اهتماما أكبر للمواد العلمية وتدريس اللغات، واستحدثت مواد دراسية جديدة لمواكبة المستجدات على صعيدي تكنولوجيا المعلومات واحتياجات سوق العمل من المهارات، هذا فضلا عن التطوير الذي أدخل على أساليب واستراتيجيات تدريس المناهج الدراسية التي أصبحت تعنى بالمتعلم باعتباره محور العملية التعليمية التعلمية.

إن النقلة النوعية التي نشهدها حاليا في العملية التعليمية أحدثت الكثير من التغييرات الجذرية ، فجاءت الكتب الدراسية متسمة بالحداثة والمرونة، والتوافق في موضوعاتها مع مستويات أبنائنا الطلبة والطالبات، وخصائص نموهم العقلي والنفسي، وثقافتهم الاجتماعية، واهتمت بالجوانب المهارية والفنية والرياضة البدنية تحقيقا لمبدأ أصيل من مبادئ فلسفة التربية في السلطنة الداعي إلى بناء الشخصية المتكاملة للفرد، وعززت دور المتعلم في عملية التعلم من خلال إكسابه مهارات التعلم الذاتي والتعلم التعاوني، ولم يعد الكتاب المدرسي –بما يحويه من معارف ومهارات وقيم واتجاهات– إلا دليلا يسترشد به الطالب للوصول إلى ما تختزنه مصادر المعلومات المختلفة كالمراجع المكتبية ومصادر التعلم الإلكترونية الأخرى من معارف، وعلى الطالب القيام بعملية البحث والتقصي للوصول إلى ما هو أعمق وأشمل. فإليكم أبنائي وبناتي الطلاب والطالبات نقدم هذا الكتاب راجين أن يجد عين الاهتمام منكم، ويكون لكم خير معين؛ لتحقيق ما نسعى إليه من تقدم ونماء هذا الوطن المعطاء تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان قابوس بن سعيد المعظم حفظه الله ورعاه.

والله ولي التوفيق ،،

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيـرة التربيـة والتعلـيم

المقدمة

عزيزي الطالب :

يسرنا أن نقدم لك كتاب الفيزياء للصف الثاني عشر ، ليأتي مكملاً لسلسلة العلوم التي درستها في مرحلة التعليم الأساسي والفيزياء للصف الحادي عشر، آملين أن نكون قد وفقنا في جعل موضوعاته أكثر يسرًا وسهولة، من خلال عرض المادة العلمية، عن طريق ربطها بالمفاهيم الفيزيائية في تسلسل واضح، متبعين الأسلوب العلمي في التفكير، ثم ربط تلك الموضوعات بالتطبيقات العملية في حياتنا اليومية.

لقد روعي في إعداد الكتاب طبيعة علم الفيزياء بصفته علمًا تجريبيًّا يبنى على الملاحظة الموجهة والقياس الدقيق. لذا فقد اعتُمِدت في عرض المادة العلمية أساليب متنوعة تستند إلى استراتيجيات التدريس، من خلال الاستكشافات والأسئلة الاستقصائية التي تثير الطالب وتهيئُه للموضوع قيد الدرس، فضلا عن الحوار المباشر مع الطالب لجعله محور العملية التعليمية التعلمية. وقد جاءت لغة الكتاب محفزة للطالب على التفكير ومشجعةً له على التفاعل المباشر مع المادة العلمية، وذلك من خلال طرح التساؤلات تحت عنوان " اختبر فهمك " . وللتبسيط والدقة والإثراء احتوى الكتاب العديد من الرسومات والأشكال التوضيحية، إضافة إلى الأمثلة المتنوعة والتطبيقات العملية التي من شأنها أن تثري موضوع الدرس وتربطه بالحياة والمجتمع والتقانة. كما ضمّ الكتاب جملة من المعلومات ذات العلاقة وردت تحت عنوان " معلومة تهمك"، وهي معلومات إثرائية ذات علاقة بموضوع الدرس غير خاضعة للتقويم والاختبارات.

لقد لعبت الفيزياء دورًا حيويا في جعل العالم يبدو مثل قرية صغيرة، لذلك قمنا بوضع عدد من المواقع العلمية التعليمية المقترحة الموجودة على الشبكة العالمية للاتصالات الدولية ليستفيد منها الطالب في إثراء معلوماته حول بعض موضوعات الكتاب.

يتكون كتاب الفيزياء من جزأين منفصلين، جزء للفصل الدراسي الأول يتكون من وحدتين هما: الكهرباء والمغناطيسية، والموجات الميكانيكية والصوت ، وجزء للفصل الدراسي الثاني يتكون أيضًا من وحدتين هما: الإشعاع الكهرومغناطيسي، وفيزياء الذرة، حيث تضمنت كل وحدة من هذه الوحدات فصلين مختلفين، وتضمن كل فصل عددا من البنود المترابطة، وانتهى بمجموعة من الأسئلة التي تعزز استيعاب الطالب لموضوعات الفصل.

الفصل الأول :

الكهرباء *Electricity*

الفصل الثاني:

الحث الكهرومغناطيسي

Electromagnetic Induction

الفصل الثالث:

الموجات الميكانيكية

Mechanical Waves

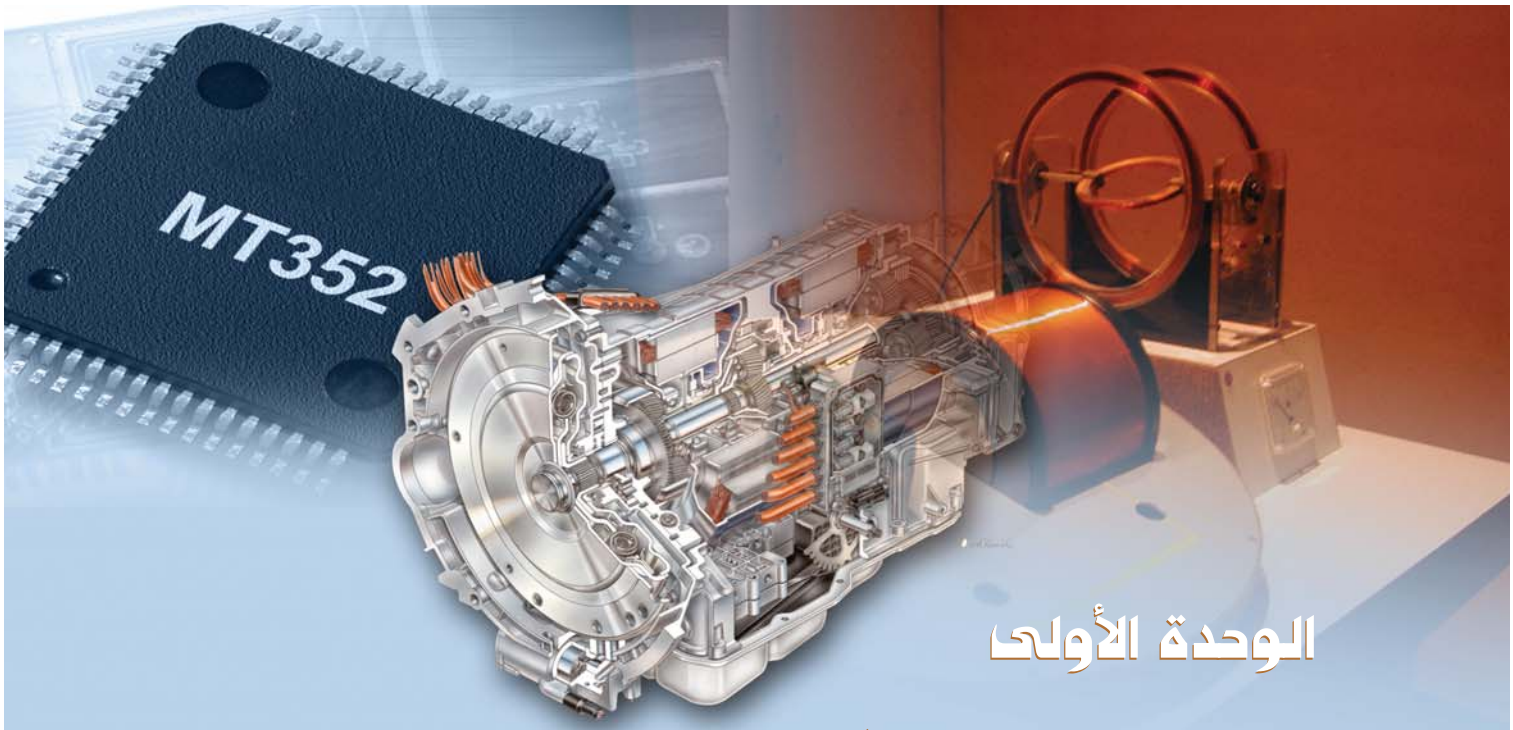
الفصل الرابع

الصوت *The Sound*

ونسأل الله عز وجل التوفيق والنجاح لنا ولكم لما فيه خير أمتنا وبلدنا الحبيب سلطنة عمان . .

والله ولي التوفيق

المؤلفون



الوحدة الأولى

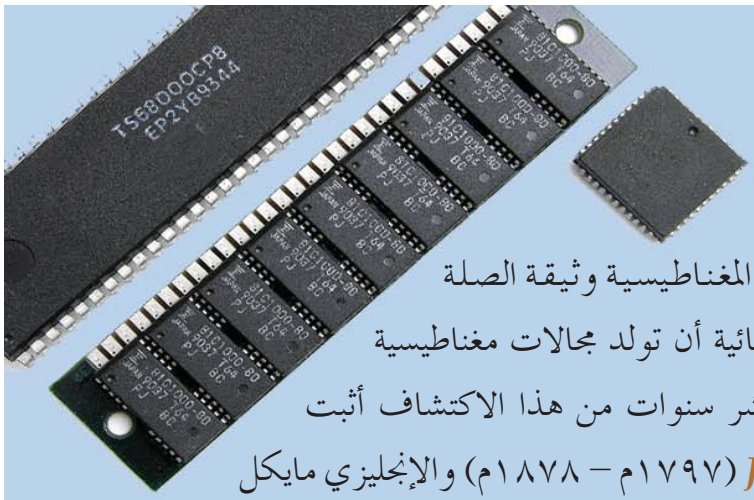
الكهرباء والمغناطيسية
Electricity and Magnetism

الفصل الأول: الكهرباء *Electricity*

الفصل الثاني: الحث الكهرومغناطيسي *Electromagnetic Induction*

المقدمة

لا شك أنه من الصعب علينا تصور العالم منذ أكثر من قرن عندما كان استخدام الكهرباء لا يزال في بداياته، ولم يكن الضوء الكهربائي متاحًا إلا لعدد قليل من الناس، أما الآلات والأجهزة الكهربائية التي اعتدنا عليها الآن فلم تكن موجودة بالمرة، وكانت المحركات البدائية والبطاريات مجرد فضول في بداياته. وتبدو المفارقة هائلة اليوم حيث تدخل الكهرباء بشكل أو بآخر في ما نستخدمه من آلات وبسبب هذا الانتشار الواسع للكهرباء كأداة مهمة، وجب أن يستوعبها جميع المتعلمين، واستكمالا لما درسته في الصفوف السابقة عن الكهرباء ستتعرف من خلال الفصل الأول من هذه الوحدة على المفاهيم الخاصة بالدوائر الكهربائية وقوانين كيروتشوف لتحليل تلك الدوائر ،كما ستتعرف على المكونات الإلكترونية كالمكثفات و الوصلات الثنائية (الدايود) و الترانزستور التي تدخل في تركيب معظم الأجهزة الإلكترونية.



لقد اكتشف العلماء في عام ١٨٢٠م أن المغناطيسية وثيقة الصلة بالتيارات الكهربائية، حيث يمكن للتيارات الكهربائية أن تولد مجالات مغناطيسية وهذا مادرسته في الصف الحادي عشر، وبعد عشر سنوات من هذا الاكتشاف أثبت العالمان الأمريكي جوزيف هنري ***Joseph Henry*** (١٧٩٧م – ١٨٧٨م) والإنجليزي مايكل فاراداي ***Michael Faraday*** (١٧٩١م– ١٨٦٧ م) كل على حدة أنه بالإمكان توليد تيار كهربائي من المجال المغناطيسي. وعرفت هذه الظاهرة بظاهرة الحث الكهرومغناطيسي ، وتلعب هذه الظاهرة دوراً هاماً في توليد الكهرباء الصناعية، وسيستعرض الفصل الثاني من هذه الوحدة هذه الظاهرة بالإضافة إلى بعض تطبيقاتها العملية كالمحرك الكهربائي والمولد الكهربائي والمحول الكهربائي.

وسوف تتمكن أثناء دراستك لهذه الوحدة من الإجابة عن الأسئلة التالية:

١– ما سبب احتفاظ جهاز النقال بالمعلومات كأرقام الهواتف أو الصور بعد فصل البطارية عنه؟

٢– كيف يمكن أن تعمل بعض الأجهزة الإلكترونية في المنزل (التي تحتاج إلى تيار مستمر) بالرغم من أن خطوط النقل تمدنا بتيار متردد؟

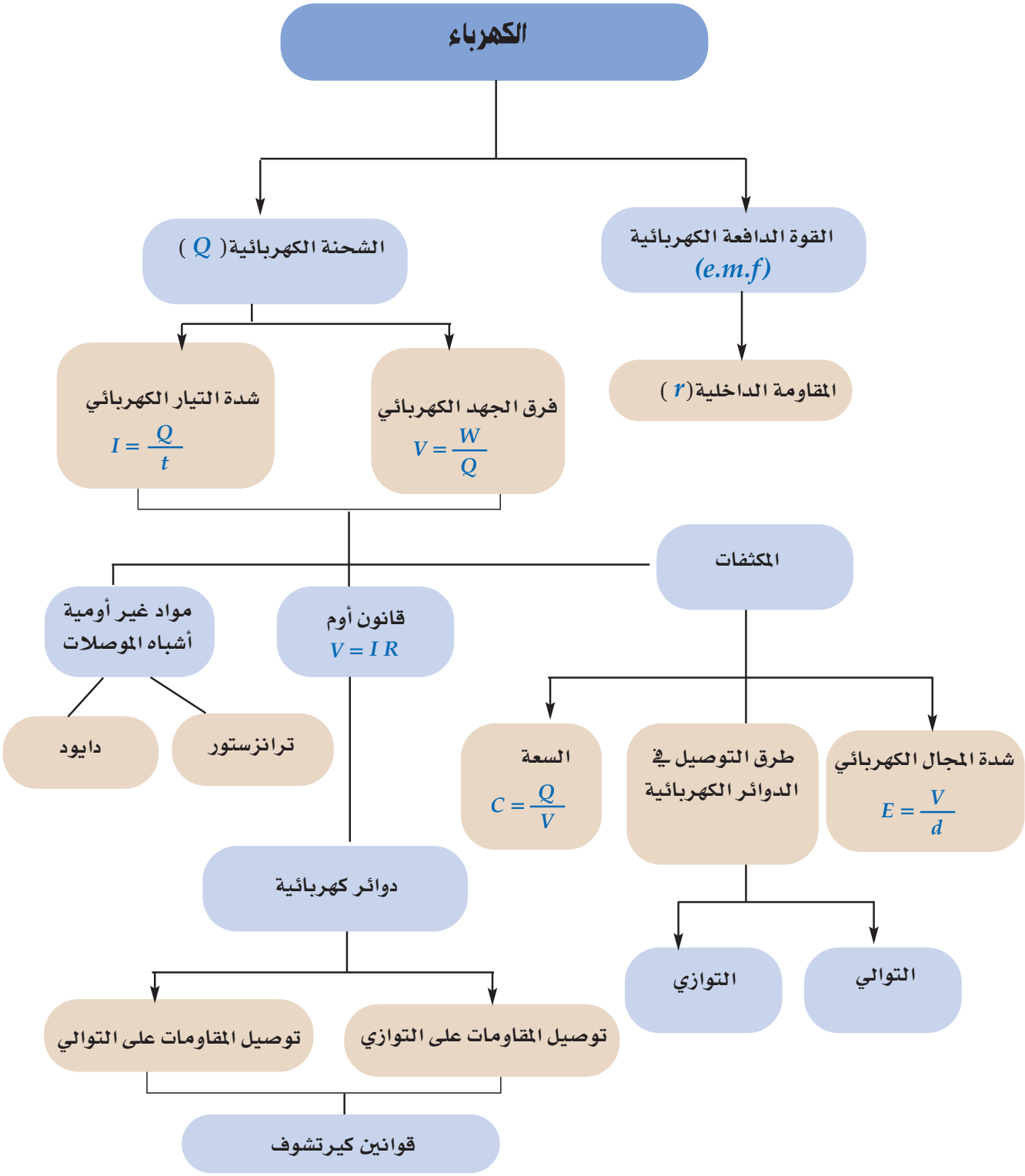
٣– كيف أمكن اختراع أجهزة إلكترونية صغيرة الحجم و متعددة الوظائف؟

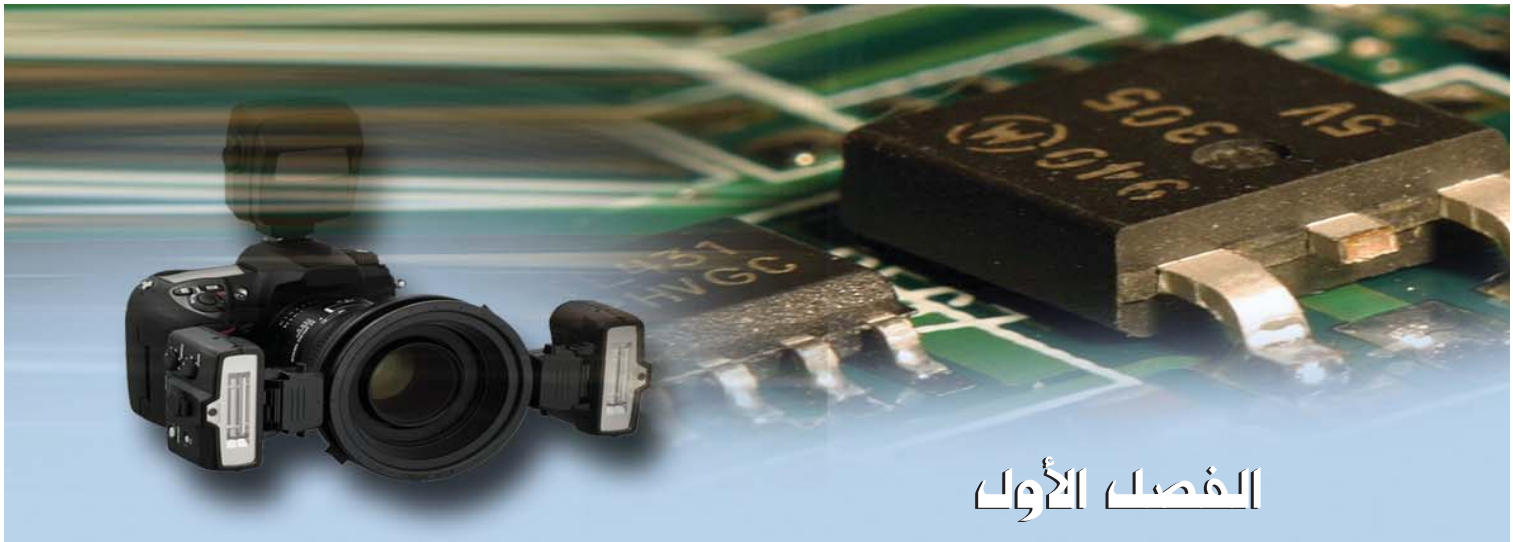
٤– ما الفرق بين المولد الكهربائي والمحرك الكهربائي؟

٥– كيف يمكن إمداد المصانع والمكاتب والمنازل بقيم مختلفة للجهد حسب الحاجة؟

خارطة مفاهيم

الفصل الأول


الكهرباء
الشحنة الكهربائية (Q)
القوة الدافعة الكهربائية
(e.m.f)
شدة التيار الكهربائي
$I = \frac{Q}{t}$
فرق الجهد الكهربائي
$V = \frac{W}{Q}$
المقاومة الداخلية (r)
المكثفات
مواد غير أومية
أشباه الموصلات
قانون أوم
$V = I R$
دايود
ترانزستور
السعة
$C = \frac{Q}{V}$
طرق التوصيل في
الدوائر الكهربائية
شدة المجال الكهربائي
$E = \frac{V}{d}$
دوائر كهربائية
التوازي
التوالي
توصيل المقاومات على التوالي
توصيل المقاومات على التوازي
قوانين كيرتشوف



الفصل الأول

الكهـــــرباء

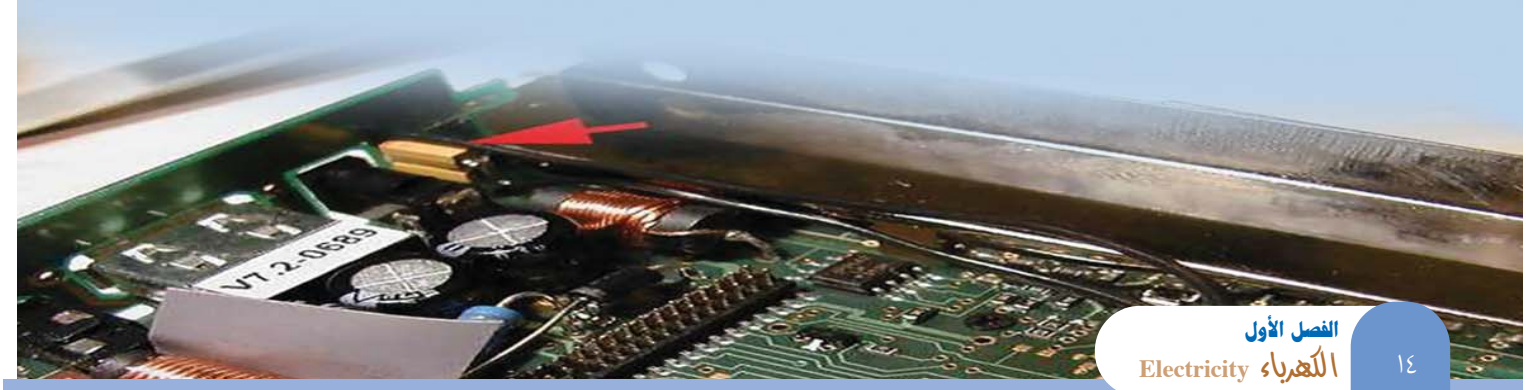
Electricity

مقدمة

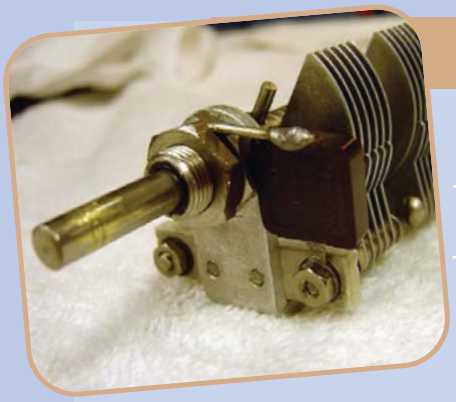
يرجع الفضل في التطور التكنولوجي الذي نشهده في عصرنا الحالي إلى الكهرباء. عُرفت الكهرباء منذ القدم، إلا أن الظواهر المرتبطة بها تمت دراستها في منتصف القرن التاسع عشر، كما تم تطوير النظريات المرتبطة بها في تلك الفترة.

أصبحت الكهرباء مرتبطة بحياتنا اليومية بشكل كبير، إذ نستخدمها داخل المنزل في الإنارة و في تشغيل جميع الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، كما أننا نستخدمها أيضًا خارج المنزل سواء في المدرسة أو النادي أو في السفر، ولولا الكهرباء لما فكر العلماء في اختراع وتطوير أجهزة إلكترونية تقوم بمختلف الوظائف المعقدة منها و البسيطة.

ولقد درست في الصف التاسع الأساسي الدوائر الكهربائية ومكوناتها، و تعرفت طرق توصيل تلك الدوائر، بالإضافة إلى بعض المفاهيم مثل فرق الجهد و شدة التيار. وفي هذا الفصل سوف تتعرف بعض المفاهيم الأخرى الخاصة بالدوائر الكهربائية و قوانين كيرتشوف لتحليل تلك الدوائر، كما ستتعرف على المكونات الإلكترونية كالمكثفات والوصلات الثنائية (الدايود) و الترانزستور التي تدخل في تركيب معظم الأجهزة الإلكترونية مثل الحاسب الآلي والهاتف النقال والكاميرا الرقمية و غيرها.



الموضوعات الرئيسة



١-١ القوة الدافعة الكهربائية	١-٥ طرق توصيل المكثفات
١-٢ المقاومة و قانون أوم	١-٦ الطاقة المختزنة في المكثف المشحون
١-٣ قوانين كيرتشوف	١-٧ أشباه الموصلات
١-٤ المكثفات	١-٨ أجهزة أشباه الموصلات

المصطلحات العلمية الجديدة

– سعة المكثف	*Capacitance*
– المكثف متوازي اللوحين	*Parallel Plates Capacitor*
– السماحية الكهربائية	*Permittivity*
– مواد شبه موصلة نقية	*Intrinsic Semiconductors*
– مواد شبه موصلة غير نقية	*Extrinsic Semiconductors*
– تطعيم	*Doping*
– شوائب	*Dopant*
– الوصلة الثنائية	*Diode*
– الوصلة الثنائية الضوئية	*Light Emitted Diode (LED)*
– التوصيل الأمامي	*Forward Biasing*
– التوصيل العكسي	*Reverse Biasing*
– مقوّم التيار	*Rectifier*
– تقويم نصف موجي	*Half-Way Rectifier*
– تقويم موجي كامل	*Full-Way Rectifier*
– تنعيم	*Smoothing*
– ترانزستور	*Transistor*
– الدوائر المتكاملة	*Integrated Circuits*

الاستكشافات

* الاستكشاف (١): قانون حفظ الشحنة
* الاستكشاف (٢): إشارات المرور

١-١ القوة الدافعة الكهربائية *Electromotive Force (e.m.f)*

سبق لك و أن درست طاقة الوضع الكهربائية ***electrical potential energy***، و علمت أنه إذا تحركت شحنة اختبارية موجبة (q) في نفس اتجاه حركة المجال الكهربائي فإنها تفقد طاقة وضع كهربائية، أما إذا تم تحريك الشحنة الاختبارية في عكس اتجاه المجال الكهربائي، فإنه لا بد من بذل شغل خارجي عليها يتحول إلى طاقة وضع كهربائية تكتسبها الشحنة، وبالتالي فإن الشغل المبذول في هذه الحالة يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية، أي أن:

$$W = \Delta PE = Eqd$$

حيث: E هو شدة المجال الكهربائي.

d هو المسافة بين مصدر المجال و الشحنة الإختبارية ، و المقدار Eq يساوي القوة الكهربائية التي يؤثر بها المجال الكهربائي على الشحنة الاختبارية .

تعتمد طاقة الوضع الكهربائية على مقدار الشحنة و على موقع تلك الشحنة من مصدر المجال. أما الجهد الكهربائي ***electrical potential*** فهو مفهوم يعبر عن تأثير المجال الكهربائي الناشئ من المصدر على شحنة كهربائية عند موضع معين داخل المجال و يساوي طاقة الوضع الكهربائية لشحنة معينة مقسومًا على مقدار تلك الشحنة:

$$Electical\ Potential\ (V) = \frac{PE}{q} = Ed$$

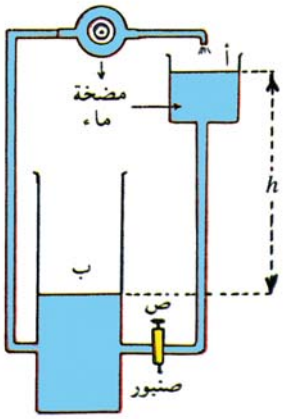
وبالتالي فإن كمية الجهد الكهربائي تعتمد فقط على موضع الشحنة بالنسبة إلى المصدر ولا تعتمد على مقدار الشحنة.

أما فرق الجهد الكهربائي ***electrical potential difference*** فهو يساوي التغير في طاقة الوضع الكهربائية لشحنة ما مقسومًا على مقدار تلك الشحنة:

$$Electical\ Potential\ difference = \frac{\Delta PE}{q}$$

إن هذا الفرق في الجهد الكهربائي هو الذي يؤدي إلى حركة الشحنات الكهربائية (الإلكترونات)، وبالتالي إلى تولد تيار كهربائي في الدائرة.

و غالبًا ما يتم تشبيه انسياب الشحنات في الدائرة الكهربائية بانسياب الماء في الأنابيب مثل حركة الماء بين مستودعين متصلين بأنبوب كما هو موضح في الشكل (١-١).



الشكل (١-١)

ينتقل الماء من المستودع (أ) إلى المستودع (ب) بسبب وجود فرق في مستوى الماء بين المستودعين، و يستمر الماء في الانتقال من المستودع (ب) إلى المستودع (أ) بسبب وجود المضخة التي تساعد في الحفاظ على فرق الارتفاع في مستوى الماء بين المستودعين، و لولا هذه المضخة لما تمكن الماء من الاستمرار في السريان، كذلك الحال بالنسبة إلى الشحنات الكهربائية، فهي تفقد جزءًا من طاقتها بشكل مستمر في أثناء حركتها بسبب مقاومة الأسلاك، لذا لا بد من تزويدها بالطاقة باستمرار عن طريق مصدر للطاقة الكهربائية (كالبطارية)، أي أن المصدر يعمل على توفير فرق في الجهد الكهربائي بين أي نقطتين في الدائرة نتيجة التغير في قيمة طاقة الوضع الكهربائية للشحنات، ولولا وجود هذا الفرق في الجهد الكهربائي لما تمكنت الشحنات من الاستمرار في الحركة في الدائرة الكهربائية، وبالتالي لن يمر تيار كهربائي في الدائرة.

معلومة تهمك

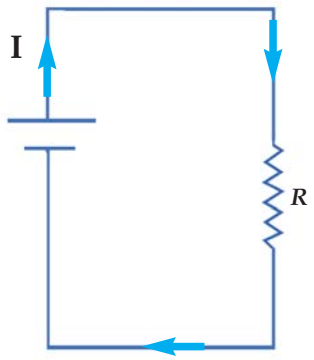
إن القوة الدافعة الكهربائية تعبّر عن معدل الطاقة الكهربائية المتحولة لوحدة الشحنات من مصدر الطاقة كالبطارية أو المولد الكهربائي إلى طاقة وضع للشحنات المتحركة. أما الجهد الكهربائي فيعبّر عن معدل تحول طاقة الحركة لوحدة الشحنات المتحركة إلى شغل مبذول داخل الدائرة الكهربائية. وحدة قياس كليهما هي الفولت $V = J/C$

وكثيرًا ما يكون مقدار الفرق في الجهد الكهربائي الذي يمده المصدر للدائرة الكهربائية هو ما يُسمى بالقوة الدافعة الكهربائية للمصدر، لذا يمكن تعريف القوة الدافعة الكهربائية للمصدر *(e.m.f)* بأنها " الطاقة الكهربائية الناتجة لوحدة الشحنات الكهربائية داخل المصدر" ، أو " مقدار الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنة الكهربائية دورة كاملة في دائرة كهربائية تحتوي على مصدر كهربائي " ويرمز لها بالرمز(ε) و تُقاس بوحدة الفولت **(V)** و هي تعادل وحدة جول/كولوم *(J/C)*، فعلى سبيل المثال إذا كانت بطارية قوتها الدافعة الكهربائية **12 V** فهي تنتج **12 J** من الطاقة الكهربائية لكل شحنة يتم تزويدها من البطارية للدائرة، فإذا كانت البطارية تزود طاقة لخمس شحنات كهربائية في الدائرة فإن مقدار الطاقة الكهربائية المنتجة من قبل البطارية تساوي $12 \times 5 = 60\ J$.

١ - ٢ المقاومة و قانون أوم Resistance and Ohm's Law

درست في الصف الحادي عشر أن التيار الكهربائي عبارة عن مقدار الشحنة الكهربائية المارة في مقطع من السلك خلال ثانية واحدة، و أن هذه الشحنات ما هي إلا إلكترونات.

وقد اصطلح على تعريف اتجاه التيار الكهربائي بأنه " حركة الشحنات الموجبة في موصل كهربائي " ، وبالتالي فإن اتجاه التيار في الدائرة الكهربائية يكون من القطب الموجب للبطارية إلى القطب السالب للبطارية كما هو موضح في الشكل (١-٢).



الشكل (١-٢)

عند انتقال الإلكترونات إلى الطرف الآخر في الدائرة الكهربائية فإنها تصطدم ببعضها بعضًا أثناء الانتقال، بالإضافة إلى أنها تصطدم بذرات الموصل نفسه، وبالتالي تلاقي هذه الإلكترونات عرقلة تقاوم حركتها، و تُعرف هذه العرقلة بالمقاومة ***resistance*** ، لذا فهي تفقد جزءًا من طاقة وضعها، بالإضافة إلى أن الطاقة التي تكتسبها الإلكترونات من مصدر الطاقة الكهربائية يتم فقدها عند مرورها بالمقاومة R ، و نتيجة للتغير في طاقة وضع الإلكترونات يتولد فرق في الجهد الكهربائي الذي يمكن حسابه من خلال العلاقة التالية:

$$R = \frac{V}{I} \qquad (١-١)$$

حيث : R هي المقاومة و تُقاس بوحدة الأوم Ω

V فرق الجهد الكهربائي و يُقاس بوحدة الفولت V

I شدة التيار الكهربائي و تُقاس بوحدة الأمبير A

وتُسمى العلاقة (١-١) بقانون أوم الذي سبق و أن درسته في الصف التاسع الأساسي، وينص على أن:

" تتناسب شدة التيار الكهربائي المار في دائرة كهربائية تناسبًا طرديًا مع فرق الجهد بين طرفي الموصل عند ثبات درجة الحرارة " ، أو بمعنى آخر أن مقاومة الموصل لا تعتمد على التيار المار فيه عند ثبوت درجة حرارة الموصل، وتعتمد مقاومة الموصل على ثلاث عوامل و هي:

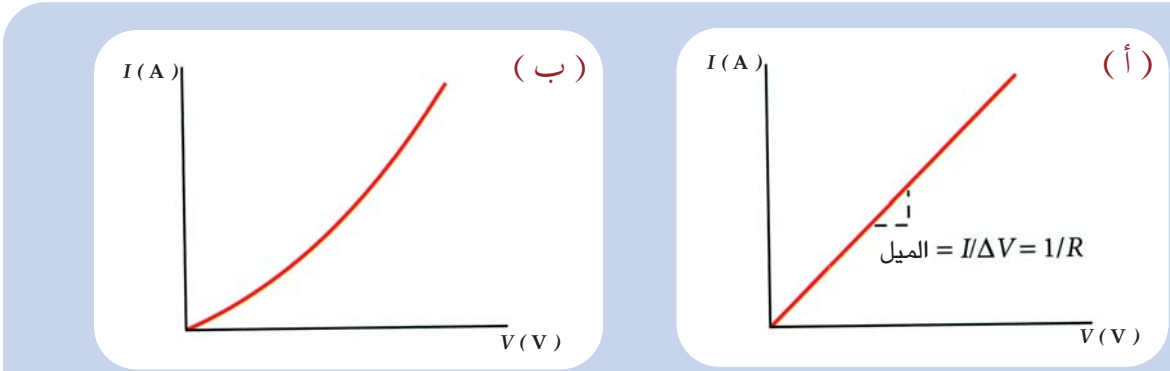
١ – طول الموصل حيث كلما زاد طول الموصل زادت مقاومته.

٢ – مساحة مقطع الموصل فكلما زادت مساحة المقطع فإن الالكترونـات تكتسب حرية أكبر في المرور، وبالتالي تقل مقاومة الموصل.

٣ – نوع مادة الموصل.

قانون أوم ليس قانونًا أساسيًّا كقانون حفظ الطاقة أو كقانون الجاذبية الكونية، و إنما ينطبق فقط على المواد التي تبقى مقاومتها ثابتة مهما اختلف التيار المار فيها عند ثبوت درجة الحرارة ، و تُسمى هذه المواد بالمواد الأومية .

ويتضح من الشكل (١–٣ أ) أن العلاقة بين شدة التيار وفرق الجهد بين طرفي الموصل للمواد الأومية هي علاقة طردية خطية ميلها ثابت، و بما أن مقلوب الميل يمثل المقاومة إذن فالمقاومة ثابتة.

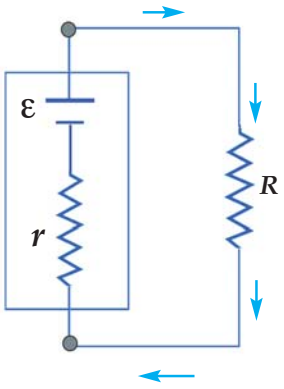


الشكل (١–٣): (أ) العلاقة بين شدة التيار و فرق الجهد للمواد الأومية

(ب) العلاقة بين شدة التيار و فرق الجهد للمواد غير الأومية

أما المواد التي تتغير مقاومتها بتغير التيار المار فيها فتُسمَّى مواد غير أومية، و يوضح الشكل (١–٣ ب) أن العلاقة بين فرق الجهد لطرفي الموصل و شدة التيار المار في المواد غير الأومية علاقة طردية غير خطية ميلها غير ثابت، و بما أن مقلوب الميل يُمثل المقاومة إذن فالمقاومة متغيرة.من الأمثلة على المواد الأومية معظم المعادن، أما المواد غير الأومية فمن الأمثلة عليها أشباه الموصلات، و سنقوم بدراسة هذه الأمثلة لاحقًا في هذا الفصل.

في الواقع أن البطارية أيضًا تفقد جزءًا من الطاقة، وذلك بسبب التفاعلات الكيميائية التي تحدث بداخلها، لذلك فهي لا تعتبر بطارية مثالية، ويرمز لهذا الفقد بالمقاومة الداخلية ***internal resistance (r)*** كما هو موضح في الشكل (١-٤)، لذا فإن الطاقة التي تكتسبها الإلكترونات من المصدر يتبدد جزء منها في المقاومة الخارجية R وجزء منها في المقاومة الداخلية للبطارية r أي أن :



الشكل (١-٤)

$$\varepsilon = V_R + Vr$$

$$\varepsilon = IR + Ir$$

اختبر فهمك (١):

١- أجرى سعيد تجربة عملية لدراسة العلاقة بين شدة التيار (I) وفرق الجهد (V) في المواد الأومية فتوصل إلى النتائج التالية:

فرق الجهد (V)	شدة التيار (I)
2	0.4
4	0.8
6	1.2
8	1.6
10	2.0
12	2.4

الجدول (١-١)

أ) احسب قيمة المقاومة R عندما يساوي فرق الجهد $4V$

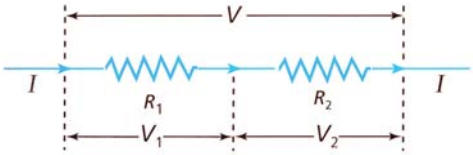
ب) ارسم العلاقة البيانية الموضحة في الجدول واحسب قيمة المقاومة.

معلومة تهمك

يصنع فتيل المصباح الكهربائي المتوهج من مادة التنجستن، وبالرغم من أن التنجستن من المعادن إلا أنه من المواد غير الأومية، فعندما يمر تيار كهربائي في الفتيل ترتفع درجة حرارته و تزداد مقاومته،وهو ما يؤدي إلى توهج السلك بضوء ساطع، ونظرًا لثبات فرق الجهد بين طرفي المصباح تقل قيمة التيار المار فيه بعد فترة وجيزة من توصيله بالمصدر.

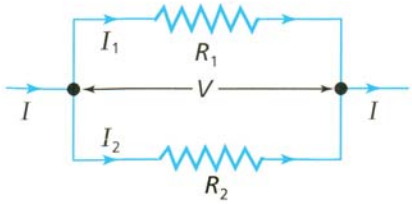
١ - ٣ قوانين كيرتشوف Kirchhoff's Laws

يوضح الشكل (١-٥) طريقتين لتوصيل الدوائر الكهربائية هما طريقة التوصيل على التوالي وطريقة التوصيل على التوازي، وقد علمت أن في طريقة التوصيل على التوالي كما هو موضح في الشكل (١-٥ أ) تُحسب المقاومة المكافئة (R) من العلاقة :



الشكل (١-٥ أ)

$$R = R_1 + R_2$$



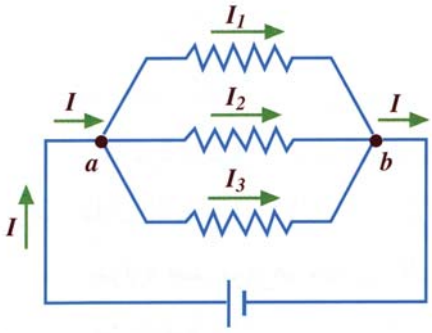
الشكل (١-٥ ب)

أما في طريقة التوصيل على التوازي-كما هو موضح في الشكل (١-٥ ب) يمكن حساب المقاومة المكافئة من العلاقة:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

يتبع التيار الكهربائي في طريقة التوصيل على التوازي أكثر من مسار، لذا فهي تُعتبر دوائر أكثر تعقيدًا من دوائر التوصيل على التوالي ، إذ يتطلب تحليلها قانونين أساسيين يُسميان بقوانين كيرتشوف.

* القانون الأول لكيرتشوف Kirchhoff's First Law



الشكل (١-٦) طريقة التوصيل على التوازي

هذا القانون يحقق قانون حفظ الشحنة الذي ينص على أن الإلكترونات لا تأتي من عدم، كما لا يمكن إلغاؤها عند أي نقطة، حيث عدد الشحنات في كل ثانية متساو ، و بالتالي فإن عدد الشحنات الداخلة إلى نقطة معينة في الدائرة يساوي عدد الشحنات الخارجة منه. و يعتبر هذا القانون مهمًّا في إيجاد قيم التيارات المارة في كل مسار من المسارات الممكنة في الدائرة.

لتعرُّف القانون الأول سندرس الشكل (١-٦) الذي يوضح ثلاث مقاومات موصلات على التوازي. نلاحظ أن هناك تيار I يدخل من النقطة (a) بينما يخرج منه ثلاثة تيارات يسلك كل منها مسارًا محددًا، و لو جمعنا التيارات الثلاثة سنحصل على نفس مقدار التيار الكلي I الداخل إلى النقطة (a) أي أن:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \qquad (١-٢)$$

وتُسمى هذه العلاقة بالقانون الأول لكيرتشوف الذي ينص على:

" إن مجموع التيارات الداخلة إلى نقطة ما في دائرة كهربائية لابد وأن يُساوي مجموع التيارات الخارجة من تلك النقطة ".

للتحقق من قانون كيرتشوف الأول قم بالاستكشاف التالي:

الاستكشاف (١): قانون حفظ الشحنة

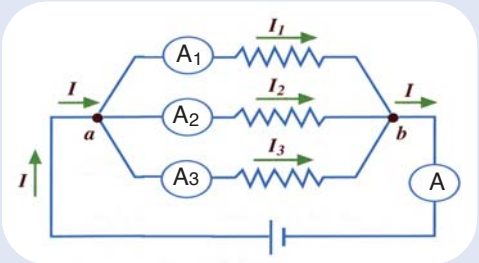
سؤال علمي: كيف يحقق قانون كيرتشوف الأول قانون حفظ الشحنة؟

الأدوات والمواد: مقاومات عدد (٣)، أميتر عدد (٤)، أسلاك، بطارية، مفتاح كهربائي.

الإجراءات:

١ – صل الدائرة الكهربائية كما هي موضحة في الشكل (١-٧).

٢ –سجل قراءة شدة التيار في كل أميتر.



الشكل (١-٧)

التحليل و التفسير:

١ – اجمع قيمة كل من I_1 و I_2 و I_3 و قارنهما بقيمة I ، ماذا تلاحظ؟

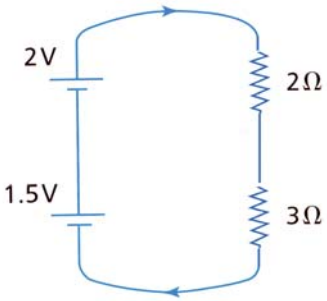
٢ – ماذا تستنتج من هذا الاستكشاف؟

* القانون الثاني لكيرتشوف *Kirchhoff's Second Law*

ويعتبر قانون كيرتشوف الثاني هو قانون حفظ الطاقة، حيث إن مجموع القوة الدافعة الكهربائية هو الطاقة الكهربائية المتحولة إلى طاقة وضع لكل شحنة في الدائرة الكهربائية، أما مجموع فروق الجهد فهو طاقة الحركة المتحولة من كل شحنة إلى شغل مبذول.

ويطلق على قانون كيرتشوف الثاني أحيانًا قانون المسار، ويقصد بالمسار أي مسار مغلق في دائرة كهربائية يبدأ من نقطة معينة، وتُسمى بنقطة البداية وينتهي عند نفس النقطة دون تغيير في الاتجاه.

ويوضح الشكل (١-٨) أبسط مسار مغلق في دائرة كهربائية، حيث إن المقاومة الكلية (المكافئة) تساوي 5Ω بافتراض أن البطارية مثالية، أي بإهمال المقاومة الداخلية لها، ومجموع القوة الدافعةالكهربائية في الدائرة يساوي $3.5\ V$ ، فإن شدة التيار المار في الدائرة يساوي: $I = V/R = 3.5/5 = 0.7\ A$



الشكل (١-٨)

والآن نحسب فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة:

فرق الجهد بين طرفي المقاومة 3Ω: $V_1 = 0.7 \times 3 = 2.1\ V$

فرق الجهد بين طرفي المقاومة 2Ω : $V_2 = 0.7 \times 2 = 1.4\ V$

إذًا مجموع فروق الجهد بين المقاومتين يساوي: $V = 2.1 + 1.4 = 3.5\ V$

نلاحظ أن مجموع القوة الدافعة الكهربائية ***(e.m.f)*** للمسار المغلق في الدائرة الكهربائية يساوي مجموع فروق الجهد لذلك المسار، و هذا ما يلخصه القانون الثاني لكيرتشوف الذي ينص على:

> **" أن المجموع الجبري للقوة الدافعة الكهربائية حول أي مسار مغلق يساوي المجموع الجبري لفروق الجهدحول ذلك المسار ".**

أي أن : $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 - IR_1 - IR_2 = 0$

أو: $\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = IR_1 + IR_2$ (١-٣)

أي بعبارة أخرى : أن المجموع الجبري لفروق الجهد حول أي مسار مغلق يساوي صفرًا.

عند تحليلك للدوائر الكهربائية لا بد من مراعاة الآتي:

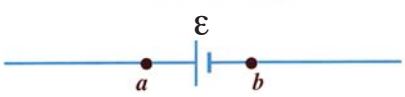
– تحديد رمز و اتجاه التيار في كل مسار مغلق في الدائرة الكهربائية.

–بما أن الشحنات تفقد طاقة خلال المقاومة إذًا سيحدث انخفاض في الجهد، سواء تحركت الشحنات من النقطة a إلى النقطة b خلال المقاومة الشكل (١-٩أ) أو عند الانتقال من النقطة b إلى a وستكون إشارته سالبة، أي أن الجهد يساوي $-IR$.

مقاومة : $a\ to\ b \rightarrow \Delta V = -IR$

(أ)

بطارية : $a\ to\ b \rightarrow \Delta V = -\varepsilon$



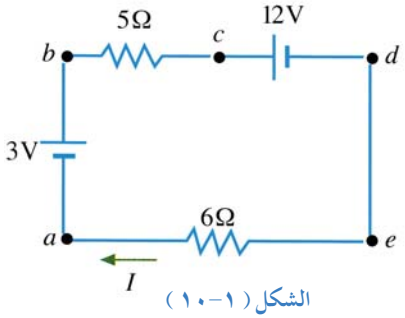
(ب)

الشكل (١-٩)

في حالة البطارية كما هو موضح في الشكل (١-٩ ب)، فعند الانتقال من النقطة ***a*** (أعلى جهد) إلى النقطة ***b*** (أقل جهد) يحدث انخفاض في الجهد يساوي ε_-، وعند الانتقال بالعكس تحدث زيادة في الجهد وتساوي ε_+ .

مثال (١):

أوجد التيار المار في الدائرة الموضحة بالشكل (١-١٠).



الشكل (١-١٠)

الحـــل:

إذا افترضنا أن اتجاه التيار كما هو موضح في الشكل (١-١٠)، و إذا بدأنا من النقطة (***a***) واتبعنا المسار ***abcdea*** المغلق فإن التغيرات في الجهد ستكون كالتالي:

$+3V$	$a \longrightarrow b$	الانتقال من الجهد الأقل إلى الجهد الأعلى خلال البطارية
$-I\,(5\,\Omega)V$	$b \longrightarrow c$	فقد في طاقة الوضع خلال المقاومة
$-12\ V$	$c \longrightarrow d$	الانتقال من الجهد الأعلى إلى الجهد الأقل خلال البطارية
$-I\,(6\,\Omega)\,V$	$e \longrightarrow a$	فقد في طاقة الوضع خلال المقاومة

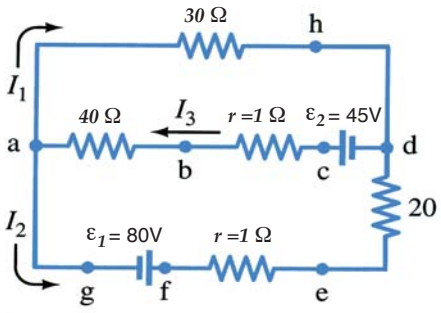
طبقًا للقانون الثاني لكيرتشوف فإن مجموع التغيرات في الجهد لا بد أن يساوي صفرًا

$$-I\,(6) - 12 - I\,(5) + 3 = 0$$
$$-11\,I = 9$$
$$I = -9/11\ A$$

إن حصولنا على قيمة سالبة للتيار يعني أن افتراضنا كان خاطئًا بخصوص اتجاه التيار، و أن الاتجاه الصحيح للتيار هو عكس اتجاه عقارب الساعة، إلاّ أن مقدار التيار يظل صحيحًا.

مثال (٢):

باستخدام قوانين كيرتشوف احسب التيارات المارة في كل مسار من مسارات الدائرة الموضحة في الشكل (١-١١).



الشكل (١-١١)

الحـــل:

لا بد من تحديد اتجاه التيارات في كل مسار و تسمية كل تيار في المسار كما هو موضح في الشكل (١-١١) وعنـد تحديد اتجاه I_1 وI_2 لا بد أن يكون اتجاه I_3 يتماشى مع قانون كيرتشوف الأول.

بناء على القانون الأول لكيرتشوف،وحسب ما هو موضح في الشكل (١-١١) فإن :

$$I_3 = I_1 + I_2 \qquad (1)$$

أولاً: المسار ***ahdcba*** وسنأخذ النقطة ***a*** كنقطة بداية. التغيرات في الجهد كالتالي: (بإمكانك اختبار أي مسار مغلق آخر)

$-I_1(30\ \Omega)\ V$	$a \longrightarrow h$	فقد في طاقة الوضع خلال المقاومة
$+45\ V$	$d \longrightarrow c$	الانتقال من الجهد الأقل إلى الجهد الأعلى خلال البطارية
$-I_3(1\ \Omega)\ V$	$c \longrightarrow b$	فقد في طاقة الوضع خلال المقاومة
$-I_3(40\ \Omega)\ V$	$b \longrightarrow a$	فقد في طاقة الوضع خلال المقاومة

حسب القانون الثاني لكيرتشوف:

$$-I_1(30) + 45 - I_3(1) - I_3(40) = 0$$
$$-30I_1 + 45 - 41I_3 = 0$$
$$\therefore I_3 = \frac{45 - 30\ I_1}{41} = 1.1 - 0.73\ I_1 \qquad (2)$$

ثانيًا: المسار ***ahdefga*** وسنبدأ أيضًا من النقطة ***a*** . تغيرات في الجهد كالتالي: (بإمكانك اختيار أي مسار مغلق آخر)

$-I_1(30\ \Omega)$	$a \longrightarrow h$	فقد في طاقة الوضع خلال المقاومة
$+ I_2(20\Omega)$	$d \longrightarrow e$	فقد في طاقة الوضع خلال المقاومة ولكن الإشارة الموجبة لأننا اتبعنا في المسار عكس اتجاه التيار الموضح في الشكل (١-١١)
$+I_2(1\Omega)\ V$	$e \longrightarrow f$	فقد في طاقة الوضع خلال المقاومة ولكن الإشارة الموجبة لأننا اتبعنا في المسار عكس اتجاه التيار الموضح في الشكل (١-١١)
$-80V$	$f \longrightarrow g$	الانتقال من الجهد الأعلى إلى الجهد الأقل خلال البطارية

إذن ستكون المعادلة كالتالي:

$$-30I_1 + (20 + 1)I_2 - 80 = 0$$
$$-30I_1 + 21I_2 - 80 = 0$$

$$I_2 = \frac{80 + 30I_1}{21} = 3.8 + 1.4I_1 \qquad (3)$$

بالتعويض عن قيمة I_1 و I_3 من المعادلتين (2) و (3) في المعادلة (1)

$$I_1 = I_3 - I_2 = 1.1 - 0.73I_1 - 3.8 - 1.4I_1$$
$$3.13\ I_1 = -2.7$$
$$I_1 = -0.86\ A$$

الإشارة السالبة تدل على أن الاتجاه الصحيح للتيار I_1 هو عكس الاتجاه الذي تم افتراضه في البداية لكن المقدار يظل صحيحًا.

بالتعويض عن قيمة I_1 في المعادلتين (2) و (3) نحصل على:

$$I_2 = 3.8 + 1.4(-0.87) = 2.6\ A$$
$$I_3 = 1.1 - 0.73(-0.87) = 1.7\ A$$

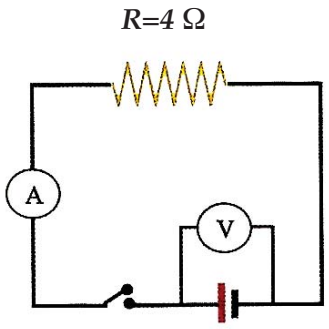
مثال (٣):

في الدائرة المبينة بالشكل (١-١٢)، إذا كانت قراءة الفولتميتر قبل إغلاق المفتاح تساوي 10 V وبعد إغلاق المفتاح أصبحت تساوي 8 V، بإهمال مقاومة أسلاك التوصيل. احسب:

أ) القوة الدافعة الكهربائية للبطارية (ε) .

ب) قراءة الأميتر عند إغلاق المفتاح.

ج) المقاومة الداخلية للبطارية (r) .



الشكل (١-١٢)

الحـــل:

أ) قراءة الفولتميتر قبل إغلاق الدائرة تساوي القوة الدافعة الكهربائية للبطارية

$$\therefore \varepsilon = 10 \text{ V}$$

ب) بعد إغلاق المفتاح $V_R = 8V$

$$\therefore I = \frac{V_R}{R} = \frac{8}{4} = 2\ A$$

ج) من قانون كيرتشوف الثاني

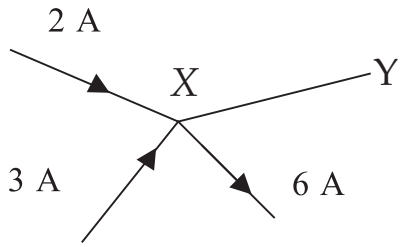
$$\varepsilon - V_R - Ir = 0$$

$$r = \frac{\varepsilon - V_R}{I} = \frac{10 - 8}{2} = 1\Omega$$

اختبر فهمك (٢):

١- في المثال (٢) احسب التيار المار في كل مسار من مسارات الدائرة عندما يكون المسار المغلق الثاني هو $abcdefga$

٢- الشكل أدناه يوضح مقدار و اتجاه ثلاثة تيارات تمر بالنقطة X . ما مقدار و اتجاه التيار المار في السلك XY؟



المقدار	الاتجاه
أ) 1 A	من X إلى Y
ب) 1 A	من Y إلى X
ج) 5 A	من X إلى Y
د) 5 A	من Y إلى X

١-٤ المكثفات Capacitors

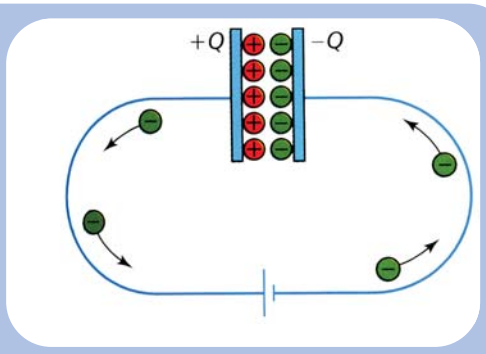
لعلك لاحظت أنه عند قطعك التيار الكهربائي عن أحد الأجهزة الكهربائية كجهاز الحاسب الآلي أو الراديو فإن المصباح الذي يدل على مرور التيار أو عدم مروره لا ينطفئ مباشرة بمجرد قطعك للتيار، و إنما ينطفئ تدريجيًّا. هل تساءلت عن السبب في حدوث ذلك ؟

هذا يدل على أن هناك طاقة كهربائية مخزونة في الجهاز، و أنه يتم إمداد الجهاز بهذه الطاقة لفترة من الزمن بعد انقطاع التيار الكهربائي. إن العنصر المسؤول عن تخزين الطاقة الكهربائية في الدائرة يُسمى بالمكثف، وببساطة يتكون من أي لوحين من مادة موصلة معزولين عن بعضهمابعضًا.

يرمز للمكثف في الدائرة الكهربائية بالرمز ⊣⊢ ولابد من التمييز بين رمز المكثف ورمز البطارية في الدائرة الكهربائية و هو ⊣⊢

الشكل (١-١٣) أشكال مختلفة للمكثفات

يكون المكثف في البداية متعادل الشحنة، وعند توصيل المكثف ببطارية في دائرة مغلقة كما هو موضح بالشكل (١-١٤)، فإن الإلكترونات تنتقل من الطرف السالب للبطارية إلى أحد اللوحين، وبسبب التنافر بين الإلكترونات في اللوحين ينتقل نفس المقدار من الإلكترونات من اللوح الآخر إلى الطرف الموجب للبطارية مخلفة وراءها شحنات موجبة، وتستمر عملية انتقال الإلكترونات حتى يتساوى فرق الجهد بين طرفي المكثَّف مع فرق الجهد للبطارية، عندها يكون المكثف قد تم شحنه، فعندما نقول إنه تم شحن المكثف بشحنة مقدارها Q فهذا يعني أن أحد اللوحين مشحون بشحنة $+Q$ واللوح الآخر مشحون بشحنة $-Q$ وكلتا الشحنتين متساوية في المقدار، و بالتالي يظل المكثف متعادل الشحنة.



الشكل (١-١٤)

* سعة المكثف Capacitance

تُعرَّف سعة المكثف بأنها النسبة بين الشحنة المختزنة على أحد اللوحين و فرق الجهد بينهما، ويُرمز لها بالرمز C ، أي أن:

$$C = \frac{Q}{V} \qquad (١-٤)$$

وتُقاس بوحدة كولوم/ فولت (C/ V) و سُميت هذه الوحدة بالفاراد F نسبة إلى العالم مايكل فارادي. إلاّ أن وحدة الفاراد كبيرة جدًا بالنسبة إلى السعة،فإذا كانت السعة مقدارها $1\ F$ فهذا يعني أن مقدار الشحنة المختزنة في كل لوح من لوحي المكثف يساوي $1C$ عندما يكون فرق الجهد بين طرفي المكثف $1V$. إن مقدار $1C$ كبير جدًّا خاصة إذا علمنا أن البرق يحمل معدل $1-20\ C$ ، لذا تستخدم وحدات أصغر من الفاراد مثل الميكروفاراد (μF) و النانوفاراد (nF) و البيكوفاراد (pF) بحيث:

$$1\ \mu F = 10^{-6}\ F$$

$$1\ nF = 10^{-9}\ F$$

$$1\ pF = 10^{-12}\ F$$

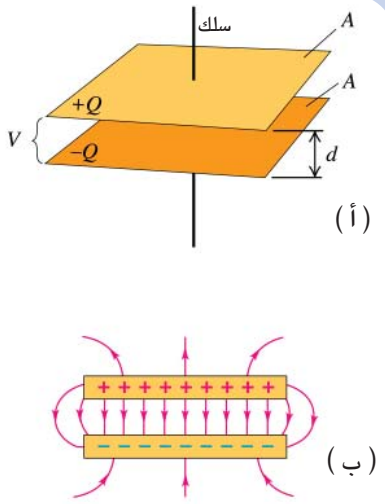
*المكثف متوازي اللوحين Parallel Plates Capacitor

عندما يتم شحن المكثف ذي اللوحين المتوازيين فإن الشحنة تتوزع بانتظام على مساحة سطح كل لوح من لوحي المكثف، كما يتولد مجال كهربائي منتظم في المنطقة ما بين اللوحين، كما هو موضح في الشكل (١- ١٥ ب)، ويُحسب من العلاقة:

$$E = \frac{Q}{\varepsilon A} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \qquad (١-٥)$$

حيث: σ هي كثافة الشحنة و تُعرف بأنها كمية الشحنة على وحدة المساحات من سطح الموصل.

A مساحة سطح كل لوح من لوحي المكثف.



الشكل (١-١٥)

(أ) مكثف متوازي اللوحين مشحون

(ب) مجال كهربائي منتظم بين اللوحين

ε هو مقدار ثابت يعتمد على نوع المادة العازلة بين اللوحين، ويُسمى بالسماحية الكهربائية للمادة العازلة ***permittivity*** و تُقاس بوحدة ***F/m*** . فإذا كانت المادة العازلة بين اللوحين عبارة عن فراغ أو هواء فإن السماحية الكهربائية يُرمز لها بالرمز ε_o وتساوي $8.85 \times 10^{-12}\ F/m$

إذا كانت المسافة بين لوحي المكثف تساوي ***d*** كما هو موضح في الشكل (١– ١٥ أ)، و بما أن المجال الكهربائي منتظم بين اللوحين، إذًا فرق الجهد الكهربائي بين اللوحين يساوي:

$$V = Ed = \frac{I}{\varepsilon}\frac{Qd}{A} \qquad (١-٦)$$

وبالتالي فإن السعة الكهربائية لمكثف متوازي اللوحين تساوي :

$$C = \varepsilon\frac{A}{d} \qquad (١-٧)$$

ويتضح من المعادلة (١–٧) أن سعة مكثف متوازي اللوحين تعتمد على عدة عوامل و هي:

١ – المساحة المشتركة بين اللوحين (A) .

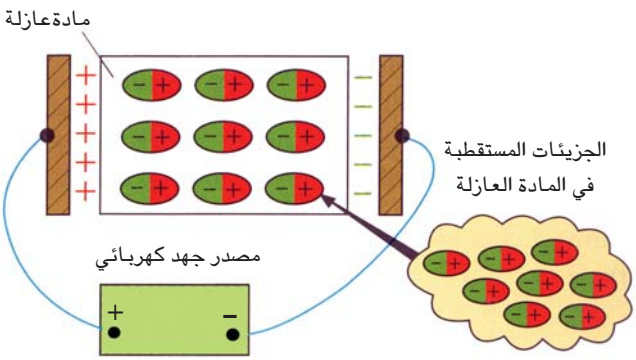
٢ – المسافة بين اللوحين (d).

٣ – السماحية الكهربائية للمادة العازلة (ε) .

قم بإجراء الدرس العملي (١) لدراسة العوامل التي تعتمد عليها سعة المكثف.

قد تتساءل: كيف تعمل المواد العازلة على زيادة سعة المكثف؟

إن المواد العازلة قد تكون هواءً أو مطاطًا أو زجاجًا أو ورقًا شمعيًّا، وعندما توضع المادة العازلة بين لوحي مكثف موصل ببطارية فإن كل جزئ من جزيئات المادة العازلة تحدث له عملية استقطاب في وجود المجال الكهربائي بين لوحي المكثف، أي أن إلكترونات المادة العازلة تنجذب قليلاً ناحية اللوح الموجب للمكثف كما هو موضح في الشكل (١–١٦)، وبالتالي تتكون عند أحد طرفي



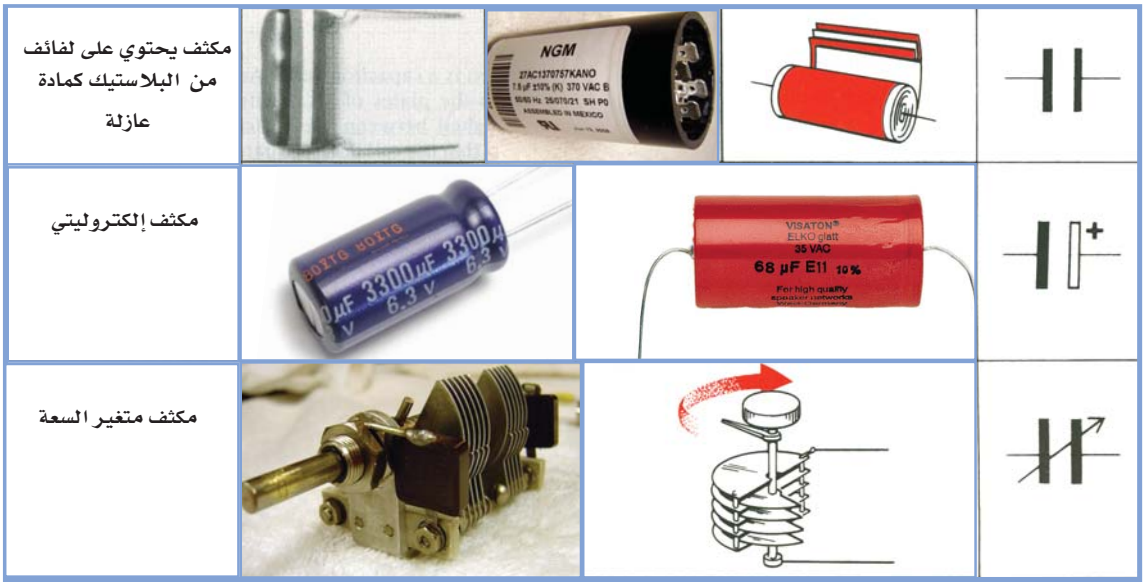
الشكل (١–١٦) المادة العازلة بين لوحي المكثف

المادة العازلة طبقة من الشحنات السالبة، بينما يفقد الطرف الآخر شحنات سالبة فتتكون طبقة من الشحنات الموجبة أمام اللوح السالب. تعمل طبقة الشحنات الموجبة في المادة العازلة التي تقابل اللوح السالب على جذب المزيد من الإلكترونات من البطارية إلى اللوح، و في نفس الوقت تعمل طبقة الشحنات السالبة في المادة العازلة التي تقابل اللوح الموجب على دفع الإلكترونات إلى البطارية، وهو ما يؤدي إلى تكوُّن المزيد من الشحنات السالبة على اللوح السالب و تكوُّن المزيد من الشحنات الموجبة على اللوح الموجب، وبالتالي تزداد الشحنة المختزنة على لوحي المكثف، أي أن سعة المكثف تزداد.

تختلف أنواع المكثفات باختلاف المادة العازلة الموجودة فيها كما هو موضح في الشكل (١- ١٧).

معلومة تهمك

يُصنع الكثير من المكثفات المتاحة تجاريًا من رقاقتين معدنيتين موضوعتين فوق بعضهما بعضًا بينهما غشاء رقيق من البلاستيك أو الشمع لمنع تلامس الرقاقتين المعدنيتين، ثم تُطوى الطبقات في أسطوانة يسهل تداولها.



الشكل (١-١٧) أنواع المكثفات حسب نوع المادة العازلة

مثال (٤):

مكثف متوازي اللوحين مساحة سطح كل لوح من لوحيه $60cm^2$ وهما معزولان بواسطة الهواء و تفصلهما مسافة $1.0\ mm$ احسب :

أ) سعة المكثف.

ب) مقدار الشحنة المختزنة على لوحي المكثف إذا كان فرق الجهد بين طرفيه يساوي $12\ V$

ج) شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف.

د) مساحة لوحي المكثف إذا أردنا رفع سعته إلى $1\mu F$.

الحل:

أ) $$C = \varepsilon_o \frac{A}{d}$$
$$= (8.85 \times 10^{-12}) \frac{60 \times 10^{-4}}{1.0 \times 10^{-3}} = 53pF$$

ب) $$Q = CV = (53 \times 10^{-12})(12) = 6.4 \times 10^{-10} C$$

ج) $$E = \frac{\Delta V}{d} = \frac{12}{1.0 \times 10^{-3}} = 1.2 \times 10^4\ V/m$$

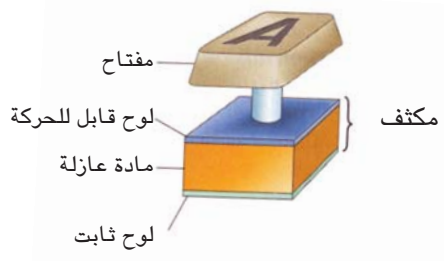
د) $$A = \frac{C\,d}{\varepsilon_o} = \frac{(1 \times 10^{-6})(1.0 \times 10^{-3})}{8.85 \times 10^{-12}} = 113\ m^2$$

وهي مساحة توازي تقريبًا نصف ملعب تنس أرضي.

تطبيقات حياتية:

تستخدم المكثفات في الومّاض *(flash)* المتصل بآلة التصوير الفوتوغرافية، حيث تعمل البطارية على شحن المكثف، ويفرغ المكثف شحنته عندما يتم الضغط على الزر لأخذ الصورة. من فوائد استخدام المكثف هنا أن الشحنة المختزنة يمكن أن تنتقل إلى أنبوب الومّاض بشكل سريع. كما تُستخدم المكثفات في أجهزة عديدة أخرى، فمثلاً بعض أنواع لوحات المفاتيح لجهاز الحاسوب، يحتوي على مكثفات في قاعدة الأزرار، كل زر من الأزرار متصل بلوح قابل للحركة في قاعدة الزر الذي يمثل أحد لوحي المكثف، بينما اللوح الثابت يكون أسفل منه، ويمثل اللوح الثاني للمكثف وتفصل بينهما مادة عازلة.

عندما تضغط على الزر في لوحة المفاتيح تقل المسافة بين اللوحين، فتتغير سعة المكثف. عندئذٍ تستطيع الدائرة الكهربائية الخارجية المتصلة بالأزرار تمييز الزر الذي تم ضغطه عندما تتغير سعة المكثف.



مثال (٥):

مكثف متوازي اللوحين مساحة سطح كل لوح من لوحيه هي $20\ cm^2$ وتفصلهما مسافة مقدارها $0.4\ mm$. إذا تم توصيل المكثف ببطارية قوتها الدافعة $220\ V$ ، فما مقدار الشحنة التي تسري إلى اللوحين؟

الحـــل:

$$C = \varepsilon_o \frac{A}{d}$$

$$= (8.85 \times 10^{-12}) \frac{20 \times 10^{-4}}{0.4 \times 10^{-3}} = 44.3\ pF$$

$$\therefore Q = VC = 220 \times 44.3 \times 10^{-12} = 9.75 \times 10^{-9}\ C$$

اختبر فهمك (٣):

١- في المثال (٤) إذا تم فصل اللوحين عن البطارية ثم غُمرا في الماء، فأي الكميات C ، Q ، V سوف تتغير؟

٢- إذا تم صنع مكثف بحيث إن أحد اللوحين كان كبيرًا و الآخر كان صغيرًا، فهل سيحتفظان بنفس المقدار من الشحنة؟ فسِّر إجابتك.

٣- أثبت أن وحدة قياس السماحية الكهربائية للمادة العازلة (ε) تساوي $C^2/N.m^2$

١-٥ طرق توصيل المكثفات Combinations Of Capacitors

يمكن توصيل المكثفات في الدوائر الكهربائية بطريقتين هما طريقة التوصيل على التوالي وطريقة التوصيل على التوازي، وسندرس الآن كيفية حساب السعة المكافئة في كلتا الطريقتين:

أولاً: توصيل المكثفات على التوازي Capacitors In Parallel

درست سابقًا طرق توصيل المقاومات في الدائرة الكهربائية، و علمت أنه عند توصيل المقاومات على التوازي فإن الجهد عبر كل مقاومة يساوي نفس جهد البطارية، كذلك بالنسبة إلى المكثفات الموصلة على التوازي فإن الجهد عبر كل مكثف سوف يكون نفس جهد البطارية، ولكن الشحنة تتوزع بينهما.

يوضح الشكل (١-١٨) مكثفين متصلين على التوازي، وبالتالي فإن مقدار الشحنة المختزنة على المكثف C_1 يُساوي:

$$Q_1 = C_1 V$$

و مقدار الشحنة المختزنة على المكثف C_2 يُساوي:

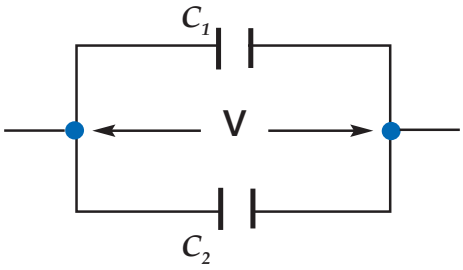
$$Q_2 = C_2 V$$

و بالتالي فإن الشحنة الكلية (Q) تساوي:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

$$CV = C_1 V + C_2 V$$

$$\therefore \quad C = C_1 + C_2 \qquad (١-٨)$$

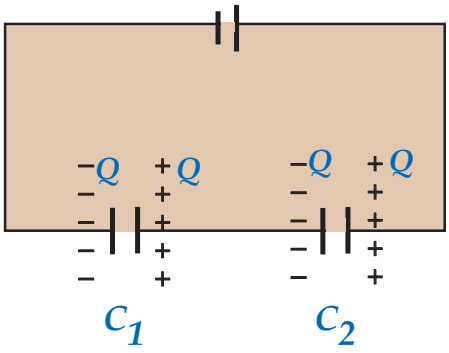


الشكل (١-١٨)

حيث C هي السعة المكافئة *combined capacitance*

ثانيًا: توصيل المكثفات على التوالي *Capacitors In Series*

يوضح الشكل (١-١٩) مكثفين متصلين على التوالي. يكون المكثف متعادل الشحنة في البداية ، وعندتوصيله ببطارية تنتقل الإلكترونات من الطرف السالب للبطارية إلى اللوح الأيسر للمكثف C_1 ، بالمقابل ينتقل عدد متساو من الإلكترونات من اللوح الأيمن للمكثف C_1 إلى اللوح الأيسر للمكثف C_2 ، والتالي سيغادر عدد متساو من الإلكترونات اللوح الأيمن للمكثف C_2 إلى البطارية، أي أن كلا المكثفين سيختزن مقدارًا متساويًا من الشحنة، و بما أن الجهد الكلي للدائرة (V) يساوي مجموع الجهود للمكثفين:



الشكل (١-١٩)

$$\therefore V = V_1 + V_2 = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

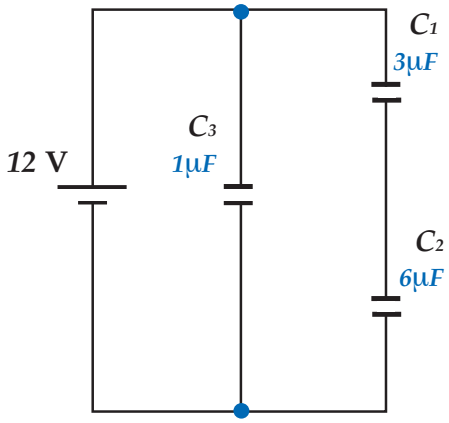
إذًا السعة المكافئة C تساوي:

$$\therefore V = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{I}{C} = \frac{I}{C_1} + \frac{I}{C_2} \qquad (٩-١)$$

مثال (٦):

يوضح الشكل (١-٢٠) مكثفين C_1 و C_2 موصلين على التوالي، تم توصيل المكثفين على التوازي بمكثف C_3.



الشكل (١-٢٠)

احسب

أ) السعة المكافئة.

ب) الشحنة المختزنة في كل مكثف.

الحـــل:

أ) المكثفان C_1 و C_2 موصلان على التوالي، إذًا السعة المكافئة لهما تساوي:

$$\frac{I}{C} = \frac{I}{C_1} + \frac{I}{C_2} = \frac{I}{3} + \frac{I}{6} = \frac{I}{2} \quad F^{-1}$$

$$\therefore \; C = 2 \; \mu F$$

والسعة المكافئة C موصلة على التوازي مع C_3 ، إذًا السعة المكافئة الكلية تساوي:

$$C_T = C + C_3$$
$$= 2 + 1 = 3 \; \mu F$$

ب) المكثف C_3 موصل على التوازي بالبطارية، وبالتالي فإن فرق الجهد بين طرفيه يساوي فرق الجهد بين طرفي البطارية و يساوي 12 V .

$$Q_3 = C_3 V = 1 \times 12 = 12 \; \mu C$$

الشحنة المختزنة في كل من المكثفين C_1 و C_2 = السعة المكافئة لهما × فرق الجهد

$$Q_{2,1} = C \times V = 2 \times 12 = 24 \; \mu C$$

أي أن مقدار الشحنة المختزنة في المكثف C_1 يُساوي $24 \; \mu C$ و المكثف C_2 يختزن نفس المقدار من الشحنة لأنهما متصلان على التوالي.

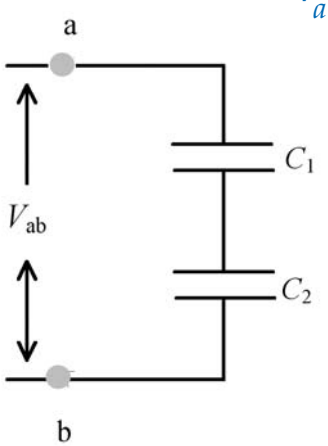
مثال (٧):

في الشكل (١-٢١) إذا كانت $C_1 = 6\mu F$ و $C_2 = 3\mu F$ و $V_{ab} = 18V$

فاحسب: أ) السعة المكافئة.

ب) مقدار الشحنة المختزنة في كل مكثف.

ج) فرق الجهد بين طرفي كل مكثف.



الشكل (١-٢١)

الحـــــل:

أ) السعة المكافئة تساوي:

$$\frac{I}{C} = \frac{I}{C_1} + \frac{I}{C_2} = \frac{I}{6} + \frac{I}{3}$$

$$\therefore \quad C = 2\ \mu F$$

ب) بما أن المكثفين موصلان على التوالي، إذًا مقدار الشحنة المختزنة في المكثف C_1 يُساوي مقدار الشحنة المختزنة على المكثف C_2 ويساوي:

$$Q = C\,V$$

$$= 2 \times 18 = 36\ \mu C$$

ج) فرق الجهد بين طرفي المكثف C_1 يساوي:

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{36}{6} = 6\ V$$

فرق الجهد بين طرفي المكثف C_2 يساوي:

$$V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{36}{3} = 12\ V$$

اختبر فهمك (٤):

١- ثلاثة مكثفات سعة كل منها $4\ \mu F$ احسب السعة المكافئة إذا كانت المكثفات :

أ) موصلة على التوازي في دائرة كهربائية.

ب) موصلة على التوالي في دائرة كهربائية.

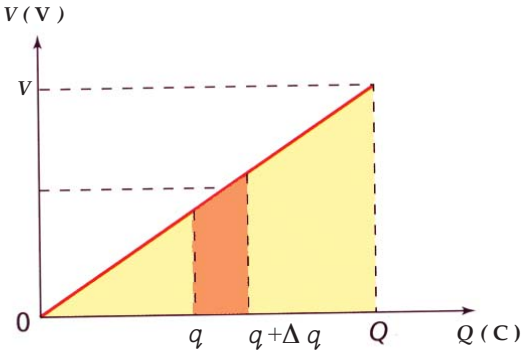
١-٦ الطاقة المختزنة في المكثف المشحون Energy Stored In Charged Capacitor

إن عملية شحن المكثف هي عملية نقل الشحنات من مصدر الطاقة إلى لوحي المكثف، و لا بد من بذل شغل من قِبل المصدر لنقل الشحنات منه إلى اللوحين. عندما تُستخدم البطارية لشحن مكثفٍ ما فإن كمية معينة من الطاقة الكيميائية تتحول إلى طاقة كهربائية، ويستهلك جزء من هذه الطاقة على شكل طاقة حرارية نتيجة المقاومة الداخلية للأسلاك، أما الجزء الآخر من الطاقة الكهربائية فيختزن في المكثف على شكل طاقة وضع. و لحساب مقدار طاقة الوضع المختزنة في المكثف سندرس مرحلة معينة في أثناء شحنه و هي عندما تزداد شحنة المكثف من q إلى $q + \Delta q$ عند فرق جهد مقداره V ، بمعنى آخر، عندما تزداد شحنة المكثف بمقدار Δq ، فإن الشغل اللازم بذله من قِبل المصدر لإمداد المكثف بهذا المقدار من الشحنة هو:

$$W = \Delta q V = \Delta PE$$

حيث PE هي طاقة الوضع.

يتضح من الشكل (١-٢٢) أن الشغل المبذول خلال الفترة التي تزداد فيها الشحنة من q إلى $q + \Delta q$ يُساوي المساحة تحت المنحنى خلال تلك الفترة، و بالتالي فإن الشغل المبذول أو الطاقة الكلية التي يتم إمداد المكثف بها تساوي المساحة الكلية تحت المنحنى، وهي تساوي مجموع مساحة المربعات تحت المنحنى، أي تساوي مساحة المثلث من الفترة 0 إلى Q ، أي أن :



الشكل (١-٢٢)
العلاقة البيانية بين فرق الجهد بين طرفي المكثف والشحنه المختزنه

$$PE = \frac{1}{2} QV \qquad (١٠-١)$$

وباستخدام العلاقة (١-٤) نحصل على صيغ مختلفة للطاقة، وهي :

$$PE = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \qquad (١١-١)$$

$$PE = \frac{1}{2} CV^2 \qquad (١٢-١)$$

مثال (٨)

مكثف سعته $3.0\ \mu F$ موصل ببطارية قوتها الدافعة الكهربائية $12\ V$. ما مقدار الشحنة المختزنة على كل لوح من لوحي المكثف؟ و ما مقدار الطاقة المختزنة فيه ؟

الحـــل:

مقدار الشحنة المختزنة هو:

$$Q = CV$$
$$= (3.0 \times 10^{-6})\ (12) = 36 \times 10^{-6}\ C$$

الطاقة المختزنة في المكثف هي:

$$PE = \frac{1}{2} \times CV^2$$
$$= \frac{1}{2}\ (3.0 \times 10^{-6})\ (12)^2 = 2.2 \times 10^{-4}\ J$$

اختبر فهمك (٥):

١- مكثف متوازي اللوحين يحمل شحنة مقدارها Q و تفصل بين لوحيه مسافة d ، إذا تم سحب اللوحين حتى أصبحت المسافة بينهما $2d$. فكيف سيؤثر ذلك على مقدار الطاقة المختزنة في المكثف؟

٢- باستخدام المعادلتين (١-٦) و (١-٧) أثبت أن طاقة الوضع المختزنة في المكثف يمكن أن تُعطى بالعلاقة:

$$PE = \frac{1}{2} \varepsilon_o E^2 Ad$$

لمزيد من المعلومات عن المكثفات قم بزيارة المواقع التالية على الشبكة العالمية للاتصالات الدولية:

www.howstuffworks.com/capacitor.htm

www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/pplate.html

١-٧ أشباه الموصلات Semiconductors

سبق وأن درست في الصف الحادي عشر الفرق بين المواد الموصلة و المواد العازلة، وعلمت أن الإلكترونات في المواد الموصلة حرة الحركة من ذرة إلى أخرى خلال المادة، أما في المواد العازلة فإن الإلكترونات ليس لها القدرة على الحركة بحرية خلال المادة. يُطلق على المواد بين المواد الموصلة والمواد العازلة أشباه الموصلات، ويعتبر السيلكون و الجرمانيوم من الأمثلة الشائعة على أشباه الموصلات في درجة حرارة الغرفة.

من إحدى أهم خصائص أشباه الموصلات أنه يمكن التحكم في قدرتها على التوصيل عن طريق عوامل خارجية مثل تغيير كل من : درجة الحرارة و فرق الجهد و شدة الضوء المسلط عليها، كذلك فإن إضافة ذرات من مواد أخرى تُسمى بالشوائب ***dopant*** إلى مواد شبه موصلة نقية ***intrinsic semiconductors*** تساعد على التحكم في قدرتها على التوصيل، حيث تهدف كل هذه الطرق إلى زيادة عدد الإلكترونات الحرة في المواد شبه الموصلة، و بالتالي إلى زيادة قدرتها على التوصيل،فعلى سبيل المثال عند إضافة ذرات شائبة إلى مادة السيلكون (بمعدل ذرة واحدة شائبة لكل 10^6 ذرات سيلكون) فإن هذا يؤدي إلى زيادة قدرتها على التوصيل بمقدار سبع أو ثمان مرات، وتُسمى عملية إضافة ذرات شائبة إلى مواد شبه موصلة نقية بعملية التطعيم ***doping*** ويُطلق على المواد شبه الموصلة بعد عملية التطعيم مواد شبه موصلة غير نقية ***extrinsic semiconductors***.

كذلك تعتبر المواد شبه الموصلة حساسة جدًا لأي تغير في درجة الحرارة، فعند رفع درجة حرارتها بمقدار بسيط فإنه يؤدي إلى زيادة قدرتها على التوصيل بشكل كبير. و الجدير بالذكر أن المواد شبه الموصلة تعتبر مواد عازلة عند درجة حرارة الصفر المطلق (0^oK)، إلا أنه عند رفع درجة حرارتها بمقدار كاف فإنها تتحول من مواد عازلة إلى مواد شبه موصلة.

نتيجة لهذه الخصائص اعتمدت التطبيقات التقنية في عملها على أشباه الموصلات، وأصبحت هذه المواد هي الأساس لجميع أنواع الدوائر المتكاملة *integrated circuit* ، واستخدمت في تصميم أجهزة الحواسيب و أجهزة الاتصالات وفي صناعة مختلف الدوائر الكهربائية المعقدة والصغيرة في الحجم كصناعة الساعات.

معلومة تهمك

في درجة حرارة الغرفة يزداد عدد الإلكترونات الحرة في بلورة شبه الموصل غير النقية وبالتالي تزداد قدرتها على التوصيل، حيث يوجد إلكترون واحد حر لكل 10^7 من الذرات، بينما في بلورة شبه الموصل النقية يوجد إلكترون واحد حر لكل 10^{12} من الذرات.

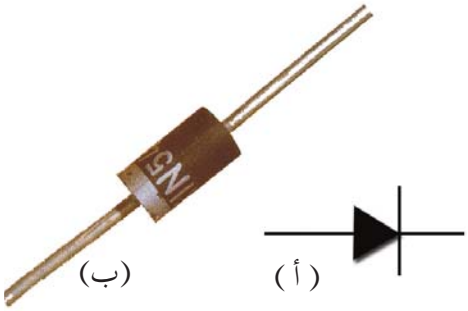
١-٨ أجهزة أشباه الموصلات *Semiconductor devices*

هل سبق لك و أن شاهدت مكونات جهاز التحكم عن بُعد للتلفاز؟ الشكل (١-٢٣) يوضح تلك المكونات التي معظمها عبارة عن أدوات مصنوعة من مواد شبه موصلة غير نقية، ولعلك لاحظت صغر حجم تلك الأدوات، وتعتبر هذه الصفة من أهم فوائد المواد شبه الموصلة، حيث أصبح من الممكن صناعة العديد من الأنظمة الإلكترونية المعقدة بحيث لا يتجاوز حجمها بضعة ملليمترات.من هذه الأدوات الوصلات الثنائية *diodes* و الترانزستور *transistor*

الشكل (١-٢٣) جهاز التحكم عن بُعد

* الوصلات الثنائية Diodes

يُرمز للوصلة الثنائية في الدوائر الكهربائية بالرمز الموضح في الشكل (١-٢٤ أ)، حيث يدل الخط المستقيم العمودي على الطرف السالب ويُسمى بالكاثود، ويُسمى الطرف الموجب بالأنود ، و يشير اتجاه السهم إلى اتجاه مرور التيار الكهربائي في الدائرة الكهربائية.



الشكل (١-٢٤)
(أ) رمز الوصلة الثنائية في الدائرة الكهربائية
(ب) صورة للدايود تم تكبيرها أربع مرات عن حجمها الطبيعي

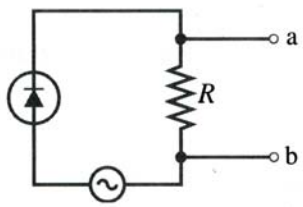
من مميزات الوصلة الثنائية أنها تسمح للتيار بالمرور في اتجاه واحد فقط، فإذا تم توصيل الطرف الموجب للوصلة بالطرف الموجب للبطارية و الطرف السالب للوصلة بالطرف السالب للبطارية ، فسيمر تيار كهربائي في الدائرة الكهربائية، وتُسمى هذه الطريقة بالتوصيل الأمامي ***forward biasing***. أما إذا تم توصيل الطرف الموجب للوصلة بالطرف السالب للبطارية والطرف السالب للوصلة بالطرف الموجب للبطارية ، فإن الوصلة في هذه الحالة لا تسمح للتيار بالمرور في الدائرة الكهربائية، وتُسمى هذه الطريقة بالتوصيل العكسي ***reverse biasing***.

* استخدامات الوصلة الثنائية

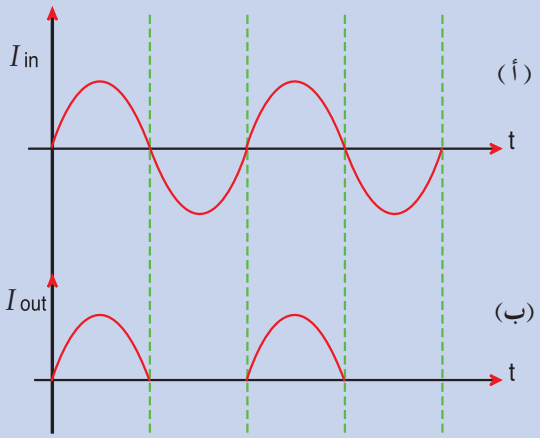
أولاً: مقوِّم للتيار المتردد Rectifier for AC current

نظرًا لأن الوصلة الثنائية تسمح بمرور التيار في اتجاه واحد فهي تُستخدم لتحويل التيار المتردد ***alternating current (ac)*** (يُغير اتجاهه كل نصف دورة) إلى تيار مستمر موحد الاتجاه ***direct current (dc)*** .

يوضح الشكل (١-٢٥) دائرة مبسطة لتقويم التيار المتردد. يمر تيار في الوصلة خلال النصف الموجب فقط من دورات التيار المتردد حيث تكون الوصلة في حالة توصيل أمامي، و بالتالي يمر تيار في المقاومة في تلك الفترة، أما في النصف السالب من دورة التيار المتردد فإن الوصلة تكون في حالة توصيل عكسي فلا يمر تيار كهربائي في المقاومة، و يوضح الشكل (١-٢٦ أ) تغير شدة التيار (تيار متردد) مع الزمن قبل عملية التقويم، بينما يتضح من الشكل (١-٢٦ ب) انعدام أنصاف الدورات السالبة بعد عملية التقويم، وتبقى فقط أنصاف الدورات الموجبة لذا تُسمى هذه العملية بالتقويم نصف الموجي ***half-way rectifier*** . و الجدير بالذكر أن هذه العملية لا تعطي تيارًا مستمرًّاو إنما تعطي نبضات موحدة الاتجاه.

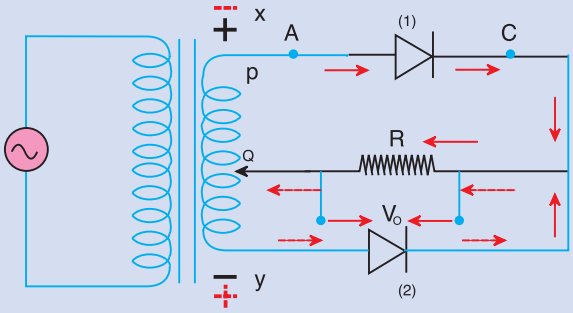


الشكل (١-٢٥)



الشكل (١-٢٦)
العلاقة بين شدة التيار والزمن
(أ) قبل عملية التقويم (ب) بعد عملية التقويم

وهناك طريقة أخرى أكثر فاعلية لتقويم التيار المتردد وهي التقويم الموجي الكامل ***full-way rectifier***، حيث يتم استخدام وصلتين أو أربع وصلات ثنائية. ويوضح الشكل (١- ٢٧) دائرة التقويم الموجي الكامل، وهي عبارة عن محول يوصل ملفه الابتدائي بمصدر للتيار المتردد، بينما يوصل الملف الثانوي بوصلتين ثنائيتين ومقاومة (ستتعرف تركيب المحول و طريقة عمله في الفصل الثاني من هذه الوحدة).



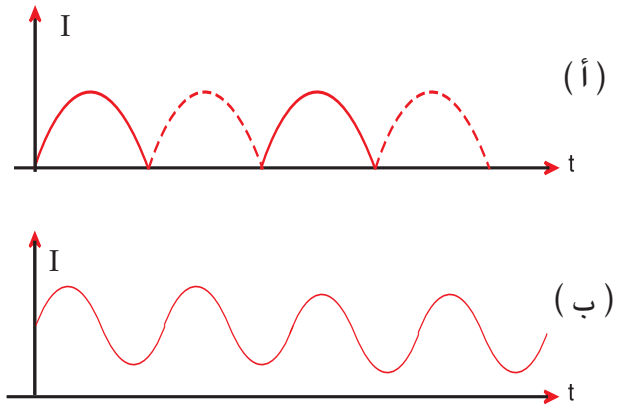
الشكل (١-٢٧)

في لحظة ما تكون الوصلة (1) في حالة توصيل أمامي بينما تكون الوصلة (2) في حالة توصيل عكسي، فيمر تيار خلال الوصلة (1) و لا يمر خلال الوصلة (2) و بالتالي يمر تيار في المقاومة، و في لحظة أخرى ستكون الوصلة (1) في حالة توصيل عكسي فلا يمر التيار من خلالها وستكون الوصلة (2) في حالة توصيل أمامي ويمر التيار من خلالها، وبالتالي سيستمر التيار في المرور خلال المقاومة، أي أنه سيسري بشكل مستمر في المقاومة دون انقطاع.

ويوضح الشكل (١- ٢٨ أ) تغير شدة التيار مع الزمن في هذه العملية.

يُضاف المكثف الكهربائي إلى دوائر التقويم الموجي الكامل على التوازي مع المقاومة، حيث يساعد في تنعيم الجهد الخارج، لذا تُسمى هذه العملية بالتنعيم ***smoothing*** و يوضح الشكل (١-٢٨ ب) شدة التيار في عملية التنعيم.

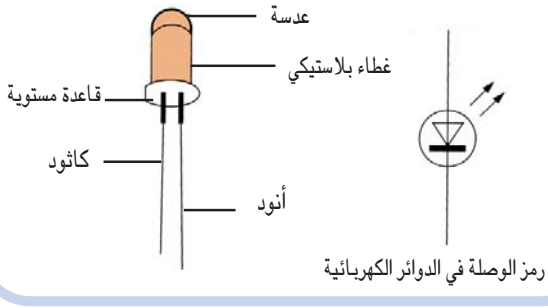
إن عملية تقويم التيار المتردد مهمة، و ذلك لأن معظم خطوط الجهد تم بناؤها للتيار المتردد،ومعظم الأجهزة الإلكترونية تحتاج إلى جهد مستمر لكي تعمل، لذا تدخل الوصلة الثنائية في تركيب جميع الأجهزة الإلكترونية تقريبًا كالراديو والتلفاز و الحاسب الآلي و غيرها.



الشكل (١-٢٨)

ثانيًا: الوصلة الثنائية الضوئية *Light Emitted Diode (LED)*

عبارة عن بلورة شبه موصلة من فوسفور–زرنخيد الجاليوم ***gallium arsenide phosphide*** وعندما يتم توصيلها توصيلاً أماميًّا فإنها تضئ باللون الأحمر أو الأصفر أو الأخضر حسب نوع الشوائب المضافة إليها، ويوضح الشكل (١–٢٩) وصلة ثنائية ضوئية ورمزها في الدوائر الكهربائية،حيث يمثل الطرف الأطول الأنود والطرف الأقصر الكاثود. تعمل الوصلة الثنائية عندما يكون فرق الجهد **2 V** وشدة التيار المار فيها ***10 mA*** وعادة يتم توصيل مقاومة على التوالي بالوصلة الثنائية الضوئية، وذلك للتحكم في تيار الوصلة و حمايتها من التلف.

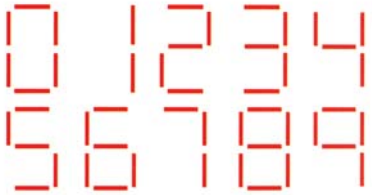


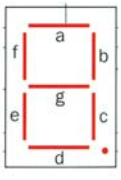
الشكل (١–٢٩)

تُستخدم الوصلة الثنائية الضوئية كمصباح مؤشر على أن الجهاز موصل بمصدر للطاقة الكهربائية، وتتميز عن المصباح ذي الفتيل بالمميزات التالية:

- **صغر الحجم** – **لا تتلف بسرعة**
- **تستجيب بشكل سريع** – **تحتاج إلى تيار صغير**

كما تستخدم في العديد من الأجهزة الإلكترونية التي تظهر فيها أرقام على الشاشة من ***0*** إلى ***9*** ، مثل الآلات الحاسبة و الساعات وأدوات القياس، حيث يتم توصيل سبع وصلات ضوئية بطرف كاثود مشترك أو عام بينما يكون لكل وصلة أنود منفصل كما هو موضح في الشكل (١–٣٠).





الشكل (١–٣٠)

الاستكشاف (٢): إشارات المرور

سؤال علمي: ما فكرة عمل إشارات المرور ؟

المواد والأدوات: مصدر جهد كهربائي(0 -12V)، وصلة ثنائية ضوئية، أسلاك، مقاومة $470\ \Omega$

الإجراءات:

١- صل الطرف الأقصر من الوصلة الثنائية الضوئية بالطرف السالب من مصدر الجهد الكهربائي.

٢- صل الطرف الآخر للوصلة بالمقاومة.

٣- قم بتوصيل الطرف الآخر للمقاومة بالطرف الموجب للمصدر.

٤- زد قيمة الجهد تدريجيًّا حتى تضئ الوصلة وسجل قيمة الجهد.

٥- اعكس توصيل طرفي الوصلة وقم بزيادة قيمة الجهد تدريجيًا ولاحظ ما يحدث.

٦- قم بتوصيل وصلتين ذو لونين مختلفين على التوازي بحيث تكون إحداهما موصلة توصيلا أماميا والأخرى عكسيا،لاحظ ما يحدث.

التحليل و التفسير:

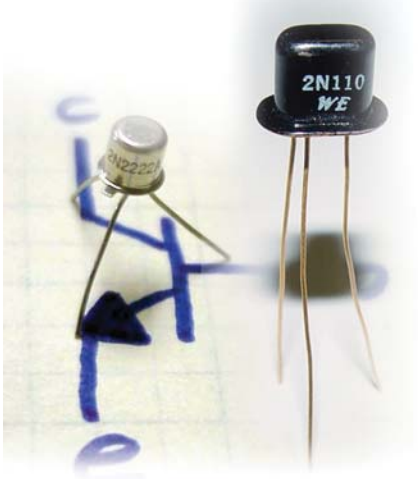
١- ما مقدار الجهد اللازم لإضائة الوصلة؟

٢- فسِّر ما لاحظته عند عكس توصيل طرفي الوصلة.

٣- كيف يمكن تفسير فكرة عمل إشارات المرور بناء على ملاحظاتك في حالة استخدام مصدر جهد متردد ؟

اختبر فهمك (٦):

-مصباح الكابح في السيارة يضئ أحيانًا بعد فترة زمنية قصيرة من الضغط على الكابح.بافتراض إذا تم استخدام الوصلات الثنائية الضوئية في مصباح كابح السيارة، و إذا علمت أن الوصلة الثنائية الضوئية أسرع في الإضاءة من المصباح العادي بمقدار $0.25\ s$. فصف تأثير هذه الإيجابية عند المرور في شارع عام مزدحم.



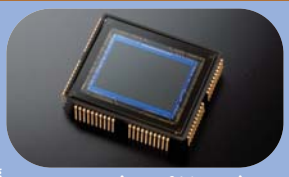
* الترانزستور Transistor

في عام ١٩٤٧م تمكن كل من د. جون باردن ***John Bardeen*** و د. والتر براتاين ***Walter prattain*** ود. ويليام جوكلي ***William Shockley*** من اختراع الترانزستور ، وكان أول مكوّن إلكتروني يتميز بصغر الحجم وقلة التكلفة وخفة في الوزن وأكثر فاعلية، و باكتشاف الترانزستور بدأ عصر الدوائر المتكاملة بحيث أصبح من الممكن دمج آلاف الترانزستورات في دائرة كهربائية واحدة يطلق عليها رقاقة ***chip***، وبفضل الترانزستور تم اختراع أجهزة إلكترونية صغيرة الحجم و خفيفة الوزن و تقوم بوظائف معقدة مثل جهاز الحاسوب الأكثر تطورًا والهاتف النقال.يُستخدم الترانزستور في الدوائر الكهربائية لعدة أغراض منها تكبير كل من التيار والقدرة والجهد، بالإضافة إلى استخدامه كمفتاح تحكم لمرور التيار أو عدم مروره في الدوائر الكهربائية.

الشكل (١-٣١أ) دائرة متكاملة

الشكل (١-٣١ب) ترانزستور

معلومة تهمك



في عام ١٩٧٤م احتوت أول رقاقة جهاز حاسوب على *6000* ترانزستور،أما الآن فيمكن أن تحتوي رقاقة الحاسوب على أكثر من *40* مليون ترانزستور.

لمزيد من المعلومات عن أشباه الموصلات قم بزيارة الموقع التالي على الشبكة العالمية للاتصالات الدولية:
www.al-jazirah.com/magazine/09092003/ax39.htm-24k

أسئلة الفصل

السؤال الأول: اختر الإجابة الصحيحة من بين البدائل المعطاة:

١- أي العبارات التالية تعبر عن القوة الدافعة الكهربائية *e.m.f* للمصدر؟:

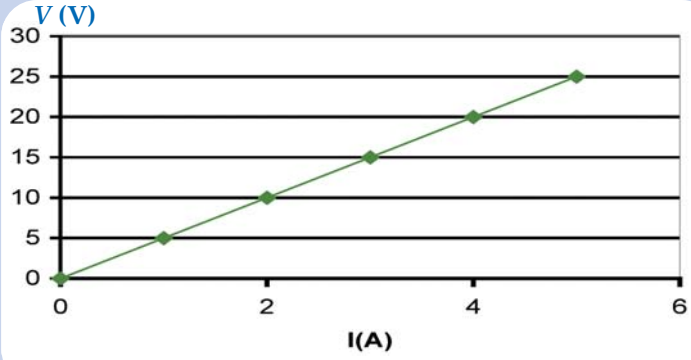
أ) الفرق بين الطاقة اللازمة لدفع وحدة الشحنات الكهربائية خلال المقاومة وبين الطاقة اللازمة لدفعها خلال المصدر.

ب) الطاقة المستخدمة لدفع وحدة الشحنات الكهربائية خلال جميع المقاومات في الدائرة الكهربائية.

ج) الطاقة المستخدمة لدفع وحدة الشحنات الكهربائية خلال المقاومة الداخلية للمصدر.

د) الطاقة الكلية المستخدمة لدفع وحدة الشحنات الكهربائية خلال الدائرة الكهربائية ككل.

٢- المنحنى البياني في الشكل (١-٣٢) يوضح نتائج تجربة لقياس مقاومة سلك.



الشكل (١-٣٢)

باستخدام المنحنى فإن مقاومة السلك بوحدة Ω تساوي:

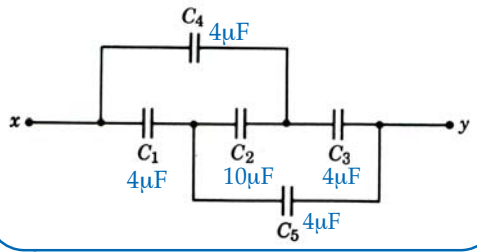
أ) 0.2 ب) 4.0 ج) 5.0 د) 80

٣- إذا زادت المسافة بين لوحي مكثف متوازي اللوحين إلى أربعة أضعاف فإن فرق الجهد بين اللوحين:

أ) يقل إلى الربع ب) يزداد بمقدار الربع ج) يزداد أربعة أضعاف د) يظل ثابتًا

٤- في الشكل (١- ٣٣) السعة المكافئة بوحدة μF تساوي:

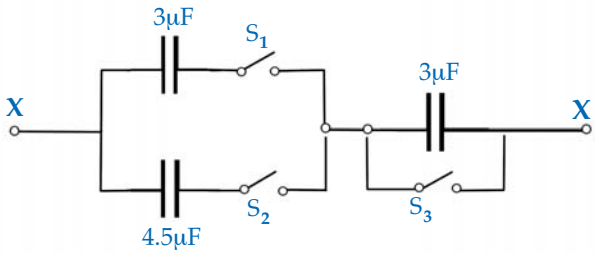
أ) 0.5 ب) 1.8 ج) 8.6 د) 9.6



الشكل (١-٣٣)

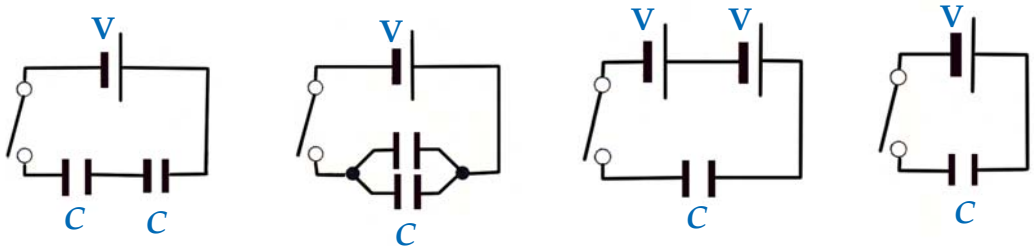
٥- الشكل(١-٣٤) يوضح دائرة كهربائية بحيث إن جميع المفاتيح الكهربائية مفتوحة، في أي الحالات التالية للمفاتيح الكهربائية (S_1, S_2, S_3) ستكون السعة المكافئة بين النقطتين X وY مساوية 1.5 F ؟

	S_1	S_2	S_3
أ)	مفتوح	مغلق	مفتوح
ب)	مغلق	مغلق	مفتوح
ج)	مغلق	مفتوح	مغلق
د)	مفتوح	مفتوح	مغلق



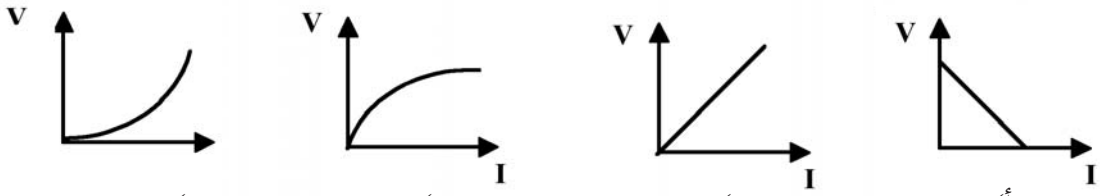
الشكل (١-٣٤)

٦- الأشكال أدناه توضح توصيلات مختلفة لمكثفات من نفس النوع متصلة ببطاريات متساوية في القوة الدافعة الكهربائية. أي من هذه التوصيلات تخزن أكبر مقدار من الطاقة عندما يكون المكثف مشحوناً؟:



أ) ب) ج) د)

٧- المنحنيات أدناه توضح العلاقة بين شدة التيار(I) و فرق الجهد (V) لأربعة أجهزة إلكترونية مختلفة، المنحنى الذي يوضح زيادة المقاومة بزيادة شدة التيار هو:



أ) ب) ج) د)

٨- أي العبارات التالية لا تعتبر من خصائص أشباه الموصلات ؟:

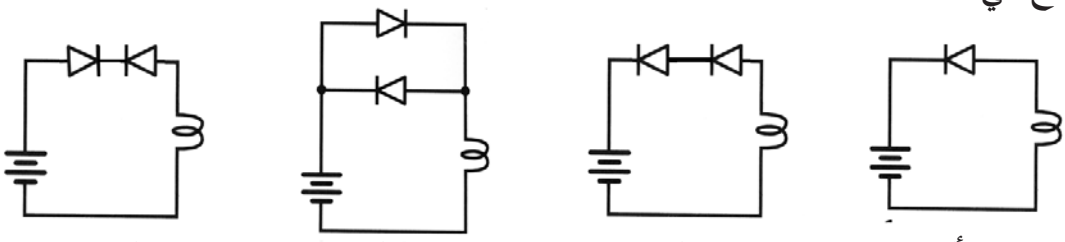
أ) تتغير مقاومتها بتغير درجة الحرارة.

ب) قدرتها على التوصيل تتغير باختلاف درجة الحرارة.

ج) تعمل عملية التطعيم على زيادة عدد الإلكترونات الحرة فيها.

د) يتناسب فرق الجهد بين طرفيها طرديًّا مع شدة التيار عند ثبوت درجة الحرارة.

٩- الدوائر الكهربائية أدناه توضح وصلات ثنائية متصلة ببطارية و مصباح. الدائرة الكهربائية التي سيضئ فيها المصباح هي :



أ) ب) ج) د)

١٠- في عملية التنعيم نحصل على تيار:

أ) ثابت الشدة و متغير الاتجاه.

ب) ثابت الشدة و ثابت الاتجاه.

ج) متغير الشدة و متغير الاتجاه.

د) متغير الشدة و ثابت الاتجاه.

السؤال الثاني: أجب عن الأسئلة التالية:

١– ما أوجه الشبه و الاختلاف بين البطارية و المكثف؟

٢– كيف يمكنك زيادة شدة المجال الكهربائي بين لوحي المكثف دون تغيير المسافة بين اللوحين؟

٣– لتفريغ المكثف من الشحنات يتم توصيله بالأرض. علل ذلك.

٤– شُحِن مكثف متوازي اللوحين ثم تم فصله عن المصدر، كيف ستتغير الطاقة المختزنة في المكثف إذا تضاعفت المسافة بين لوحيه ؟

٥– من الخطر أن تلمس طرف المكثف ذي الجهد العالي بعد فصله عن المصدر. علل ذلك، و كيف يمكن حمل المكثف بأمان دون خطورة؟

٦– أثبت أن وحدة قياس شدة المجال الكهربائي $V/m = N/C$

٧– تم توصيل وصلة ثنائية بمصدر تيار متردد تتغير قيمته من $-1.0\ mA$ إلى $+1.0\ mA$. إذا علمت أن وظيفة الوصلة هي تقويم التيار المتردد فكم ستتراوح قيمة التيار بعد تقويمه؟

٨– قارن بين المقاومة و الوصلة الثنائية من حيث:

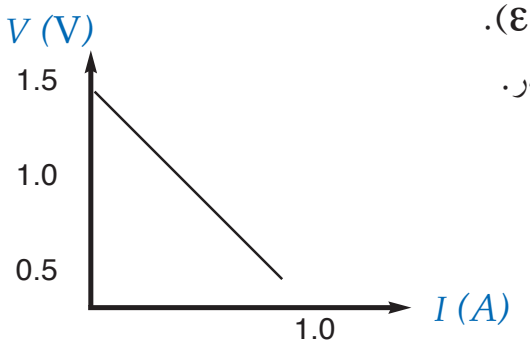
– طريقة التوصيل – الوظيفة – تأثير درجة الحرارة

السؤال الثالث: أجب عن الأسئلة التالية:

١– **الشكل (١–٣٥) يوضح العلاقة بين شدة التيار (I) و فرق الجهد (V) لمصدر طاقة كهربائية.**

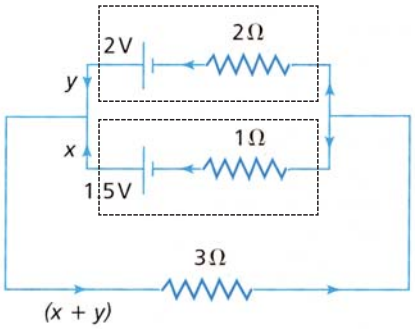
أ) ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية للمصدر (ε).

ب) أوجد مقدار المقاومة الداخلية (r) للمصدر.



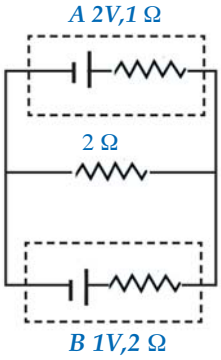
الشكل (١–٣٥)

٢- مصدران كهربائيان قوتهما الدافعة الكهربائية $2V$ و $1.5V$ مقاومتهما الداخلية 2Ω و 1Ω على الترتيب موصلان ببعضهما بعضًا على التوازي، و المصدران موصلان بمقاومة مقدارها $3\ \Omega$ كما هو موضح بالشكل (١-٣٦).
احسب التيار الذي يزود به كل مصدر.



الشكل (١-٣٦)

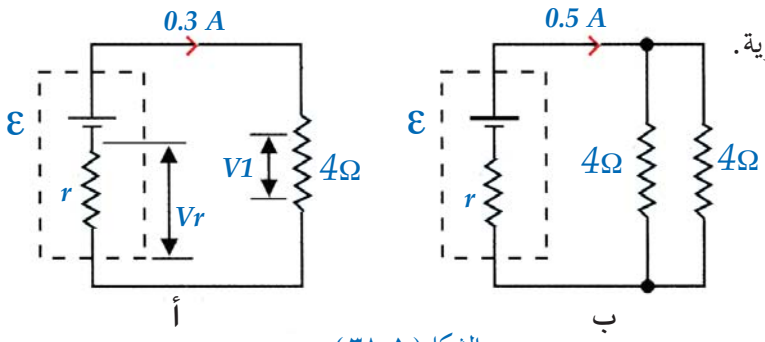
٣- في الدائرة الموضحة في الشكل (١- ٣٧) مصدر جهد كهربائي A قوته الدافعة الكهربائية تساوي $2V$ ومقاومته الداخلية تساوي 1Ω ومصدر جهد كهربائي آخر B قوته الدافعة الكهربائية $1\ V$ ومقاومته الداخلية 2Ω باستخدام قوانين كيرتشوف احسب التيار المار في المقاومة 2Ω الموصلة على التوازي بالمصدرين.



الشكل (١-٣٧)

٤- تيار مقداره $0.3\ A$ يسري من بطارية قوتها الدافعة الكهربائية $\mathcal{E}$ ومقاومتها الداخلية r متصلة بمقاومة R_1 مقدارها 4Ω كما هو موضح في الشكل (١-٣٨ أ). تم توصيل مقاومة أخرى مقدارها 4Ω على التوازي بالمقاومة R_1 وأصبح التيار المار من البطارية يساوي $0.5\ A$ كما هو موضح في الشكل (١-٣٨ ب). احسب:

أ) القوة الدافعة الكهربائية للبطارية.
ب) المقاومة الداخلية للبطارية.



الشكل (١-٣٨)

٥- قام أحمد بإجراء تجربة عملية لحساب شحنة مكثف متوازي اللوحين فحصل على النتائج الموضحة في الجدول (١-٢).

الزمن (t) (s)	0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
شدة التيار (I) (A)	15.0	5.5	2.0	0.7	0.3	0.1

الجدول (١-٢)

أ) ارسم العلاقة بين الزمن و شدة التيار بيانيًّا باستخدام ورق رسم بياني.
ب) استخدم المنحنى الذي حصلت عليه في (أ) لتقدير قيمة الشحنة المختزنة على لوحي المكثف.
ج) إذا علمت أن القوة الدافعة الكهربائية للمصدر تساوي $1.5\ V$ فاحسب سعة المكثف.

٦- إذا افترضنا أن الأرض و طبقة من السحاب ترتفع فوق الأرض بمسافة $800\ m$ تشكلان لوحي مكثف متوازي اللوحين.

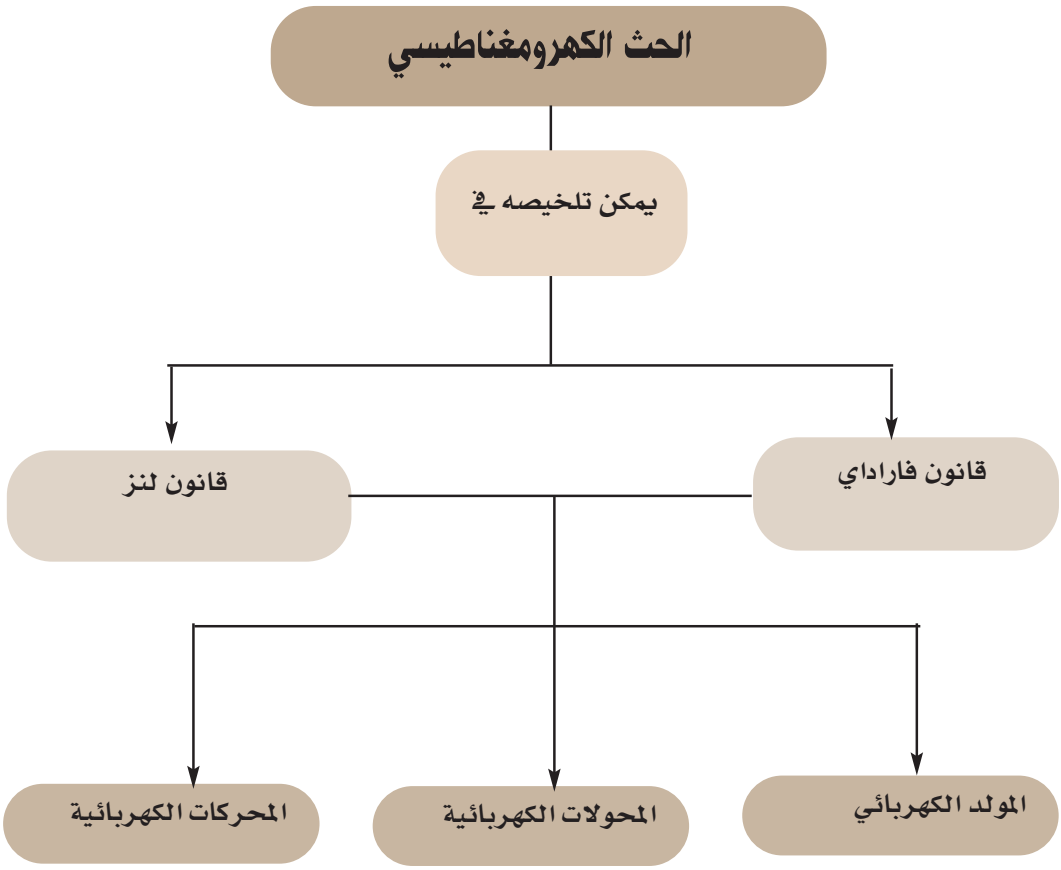
أ) إذا كانت مساحة طبقة السحاب تساوي $1 \times 10^6 m^2$ فاحسب سعة المكثف.
ب) إذا كان مقدار شدة المجال الكهربائي المسبب لظاهرة البرق يساوي $2 \times 10^6\ N/C$ فاحسب مقدار الشحنة المختزنة في السحاب.

٧- إذا كانت المسافة بين لوحي مكثف متوازي اللوحين في الفراغ تساوي $5\ mm$ ومساحة كل منهما $2\ m^2$ ، و تم توصيل اللوحين بمصدر جهد مقداره $10\ kV$ فاحسب:

أ) سعة المكثف.
ب) الشحنة المختزنة على كل لوح من لوحي المكثف.
ج) شدة المجال الكهربائي في المنطقة ما بين اللوحين.

خارطة مفاهيم

الفصل الثاني


الحث الكهرومغناطيسي
يمكن تلخيصه في
قانون فاراداي
قانون لنز
المولد الكهربائي
المحولات الكهربائية
المحركات الكهربائية

الفصل الثاني

الحث الكهرومغناطيسي
Electromagnetic Induction

مقدمة

لقد درست في الصف الحادي عشر طريقتين للتأثير المتبادل بين الكهربائية والمغناطيسية وهما:

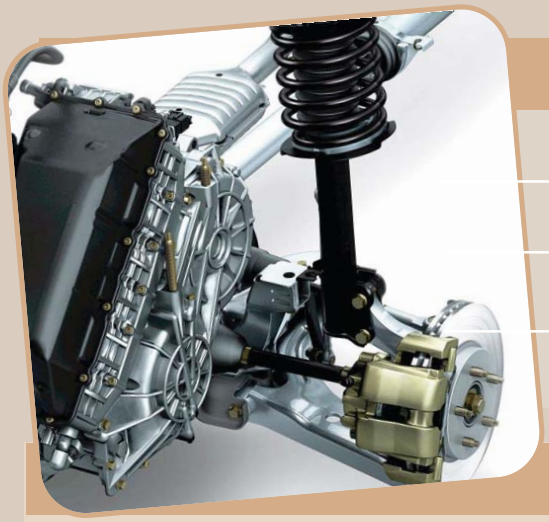
١- أن التيار الكهربائي يولد مجالا مغناطيسيا.

٢- يؤثر المجال المغناطيسي بقوة على التيار الكهربائي أو الشحنات الكهربائية المتحركة.

وقد اكتشفت هذه العلاقة بين الكهربائية والمغناطيسية خلال عامي (١٨٢٠م و ١٨٢١ م).

بدأ العلماء بعد ذلك يتساءلون " إذا كان التيار الكهربائي يولد مجالا مغناطيسيا، فهل من الممكن أن يولد المجال المغناطيسي تيارا كهربائيا ؟ "

وبعد عشر سنوات وجد العالم الأمريكي جوزيف هنري *Joseph Henry* (١٧٩٧م - ١٨٧٨م) والعالم الإنجليزي مايكل فاراداي *Michael Faraday* (١٧٩١م- ١٨٦٧ م) كل على حدة أنه بالإمكان توليد تيار كهربائي من المجال المغناطيسي. وسنستعرض في هذا الفصل هذه الظاهرة بالإضافة إلى بعض تطبيقاتها العملية - التي غيرت العالم - كالمحرك الكهربائي.



الموضوعات الرئيسة

٢–١ القوة الدافعة الكهربائية المحتثة

٢–٢ قانون لنز

٢–٣ القوة الدافعة التأثيرية المتولدة في موصل متحرك

٢–٤ تطبيقات على الحث الكهرومغناطيسي

المصطلحات العلمية الجديدة

– الفيض المغناطيسي	*Magnetic flux*
– المولد الكهربائي	*Generator*
– المبدلة	*Commutator*
– المحول الكهربائي	*Transformer*
– الحث المتبادل	*Mutual inductance*
– محول رافع للجهد	*Step-up transformer*
– محول خافض للجهد	*Step-down transformer*

الاستكشافات

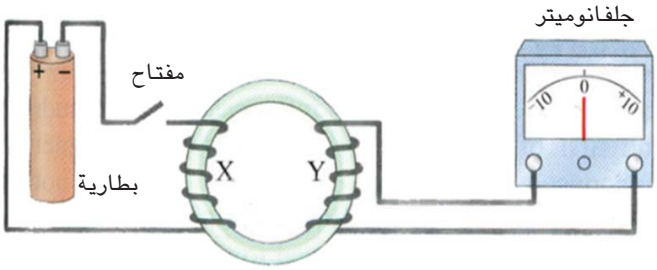
* الاستكشاف (١): تعرُّف مبدأ عمل المحرك الكهربائي

* الاستكشاف (٢): مبدأ عمل المحول الكهربائي

٢-١ القوة الدافعة الكهربائية المحتثة Induced (EFM)

في أثناء محاولات العالم فاراداي توليد تيار كهربائي من المجال المغناطيسي استخدم جهازا كالموضح في الشكل (٢- ١)، حيث تم توصيل الملف X ببطارية بينما الملف Y موصل بجلفانوميتر ليشير إلى وجود التيار الكهربائي ولكنه غير موصل ببطارية. إن التيار المار في الملف يولد مجالا مغناطيسيا تزداد شدته بواسطة القلب الحديدي الذي لف حوله السلك (تعلمت في الصف الحادي عشر أن شدة المجال المغناطيسي تزداد إذا وضعت قطعة من الحديد داخل الملف الحلزوني).

توقع فاراداي أن التيار الكهربائي المستمر القوي المار في X سيولد مجالا مغناطيسيا كبيرا كافيا لتوليد تيار في الملف Y الذي يشترك مع الملف X في القلب الحديدي نفسه.



الشكل (٢-١): تجربة فاراداي لتوليد قوة دافعة تأثيرية

ولكن العالم فاراداي لم يتوصل إلى أي نتيجة باستخدام التيار المستمر، إلا أنه لاحظ أن الجلفانوميتر ينحرف بشدة لحظة غلق الدائرة الكهربائية بواسطة المفتاح في الدائرة X ، كما أنه ينحرف بشدة أيضا في الاتجاه المعاكس لحظة فتح الدائرة X.

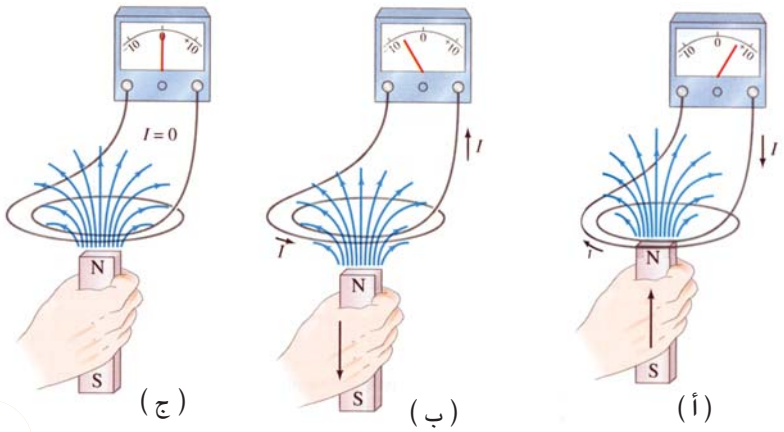
إن التيار الكهربائي المستمر المار في الدائرة X يولد مجالا مغناطيسيا منتظما لا يؤدي إلى توليد تيار في الملف Y.ولكن يتولد تيار في الملف Y لحظة غلق الدائرة X ولحظة فتحها.

استنتج فاراداي أنه على الرغم من أن المجال المغناطيسي المنتظم لا يولد تيارا كهربائيا في موصل، إلا أن المجال المغناطيسي المتغير يمكنه توليد تيار كهربائي، وهذا التيار يطلق عليه " التيار التأثيري " أو " التيار الحثي" *induced current*. عندما يتغير المجال المغناطيسي خلال الملف X يتغير المجال المغناطيسي خلال الملف Y أيضًا،فيظهر تيار في الملف وكأنَّ هناك قوة دافعة كهربائية في الملف Y، وبالتالي يمكن القول إن:

المجال المغناطيسي المتغير يولد قوة دافعة كهربائية

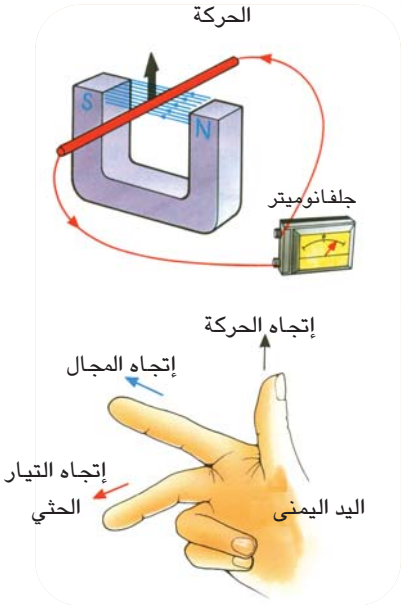
وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة " الحث الكهرومغناطيسي " *electromagnetic induction*.

قام فاراداي بعد ذلك بإجراء تجارب أخرى في الحث الكهرومغناطيسي ، حيث يوضح الشكل (٢-٢) مثالاً على إحدى هذه التجارب، حيث توضح التجربة أنه إذا تم تحريك مغناطيس بسرعة إلى داخل ملف دائري فإنه يتولد تيار في السلك، وإذا تم تحريك المغناطيس إلى خارج الملف فإنه يتولد تيار في الاتجاه المعاكس. علاوة على ذلك، إذا تم تثبيت المغناطيس دون تحريك، وتم تحريك الملف باتجاه المغناطيس أو بعيداً عنه فستتولد أيضًا في هذه الحالة قوة دافعة تأثيرية ويمر التيار في الملف.إن الحركة أو التغير هو المطلوب لتوليد قوة دافعة، ولا يهم إذا كان الملف هو الذي يتحرك أو المغناطيس.



الشكل (٢-٢)

إن اتجاه التيار التأثيري في سلك مستقيم يقطع خطوط المجال المغناطيسي يتوقف على اتجاه حركة السلك، كما يتوقف على اتجاه خطوط المجال المغناطيسي. وقد اهتم العالم الإنجليزي فلمنج *Fleming* بدراسة العلاقة بين هذه الاتجاهات ووضع قاعدة لتمثيلها سميت باسمه (**قاعدة اليد اليمنى لفلمنج**) وتنص على التالي: إذا جعلت أصابع اليد اليمنى (الإبهام والسبابة والوسطى) متعامدة على بعضها بعضًا كما في الشكل (٢-٣)، بحيث تشير الإبهام إلى اتجاه حركة السلك، والسبابة إلى اتجاه خطوط المجال المغناطيسي، ستكون الوسطى في اتجاه التيار المتولد بالتأثير (التيار المحتث).



الشكل (٢-٣)

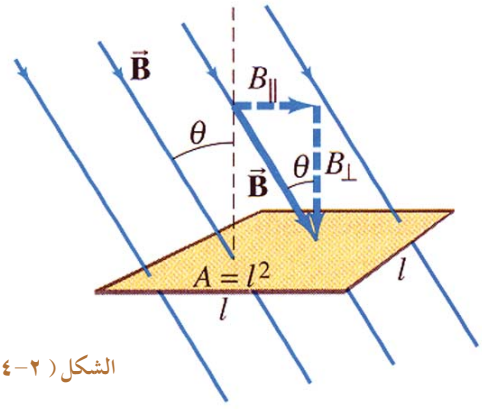
* قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي *Faraday's Law of Induction*

قام فاراداي باستكشاف العوامل المؤثرة على قيمة القوة الدافعة التأثيرية ***induced emf*** ، وقد وجد في البداية أنه كلما كان التغير في المجال المغناطيسي كبيرا كانت القوة الدافعة التأثيرية كبيرة. إلا أن القوة الدافعة التأثيرية لا تتناسب فقط مع معدل التغير في المجال المغناطيسي، ولكنها تعتمد أيضا على مساحة الملف والزاوية بين خطوط المجال المغناطيسي والعمودي على مستوى الملف، أي أنها تتناسب مع معدل التغير في الفيض المغناطيسي ***magnetic flux*** خلال الملف، حيث يُعرّف الفيض المغناطيسي بأنَّه عدد الخطوط المغناطيسية التي تعبر وحدة المساحات العمودية.ويرمز للفيض المغناطيسي بالرمز(Φ_B). إن الفيض المغناطيسي لمجال مغناطيسي منتظم خلال ملف مساحته A يعطى بالعلاقة:

$$\Phi_B = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA\cos\theta \qquad (٢-١)$$

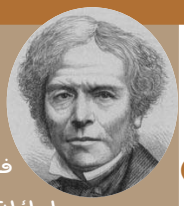
حيث (B) هي شدة المجال المغناطيسي و (A) هي مساحة الملف، و(θ) هي الزاوية بين اتجاه المجال المغناطيسي واتجاه العمود المقام على المساحة (متجه المساحة : $\vec{A}$).

يوضح الشكل (٢-٤) ملفًا مربع الشكل طول ضلعه(l) ومساحته($A=l^2$) عندما يكون مستوى الملف موازيا لاتجاه المجال المغناطيسي(أي أن الزاوية بين العمودي على المساحة واتجاه المجال المغناطيسي هي 90^o) فإنه لا توجد خطوط مجال مغناطيسي تخترق الملف، وبالتالي $\Phi_B = 0$



الشكل (٢-٤)

معلومة تهمك



ولد العالم الفيزيائي والكيميائي مايكل فاراداي في عام ١٧٩١م لعائلة من عشرة أطفال. وقد تلقى تعليما متواضعا في بداية حياته، ثم عمل في سن الرابعة عشرة في تجليد الكتب، وهو ما مكنه من قراءة العديد منها، كما أن شغفه بدراسة العلوم بعد ذلك كان السبب الرئيسي في تحقيقه العديد من الإنجازات المهمة، منها اكتشافه ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي التي أدت إلى اختراعات علمية عدة ، منها المحرك الكهربائي والمولد الكهربائي والمحول الكهربائي .

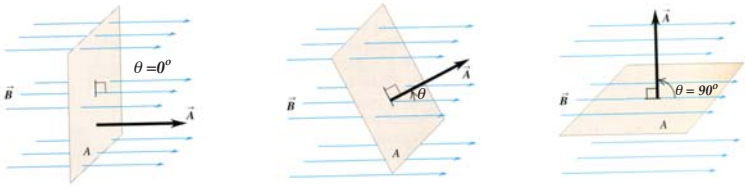
وذلك لأن $\cos 90^o = 0$. وعندما يكون مستوى الملف متعامداً مع المجال المغناطيسي(أي أن الزاوية بين العمودي على المساحة واتجاه المجال المغناطيسي هي 0^o) ، فإن عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق الملف تكون أكبر ما يمكن وبالتالي $\Phi_B = BA$ وذلك لأن $\cos 0^o = 1$

ويقاس الفيض المغناطيسي بوحدة [**تسلا . متر مربع** $(T.m^2)$]

وتدعى بالويبر (WB) **Weber** حيث:

$$1WB = 1T.m^2$$

والشكل (٢-٥) يوضح العلاقة بين الزاوية التي يصنعها العمودي على الملف ومقدار الفيض المغناطيسي.



الشكل (٢-٥)

مثال(١):

ملف مربع الشكل طول ضلعه **10 cm** موضوع في مجال مغناطيسي شدته **1.25 T**، ما أقصى قيمة وأدنى قيمة للفيض المغناطيسي الذي يمكن أن يخترق الملف؟

الحل:

من المعادلة (٢- ١)، فإن الفيض المغناطيسي يكون أكبر ما يمكن عندما تكون $\theta = 0^o$ وذلك عندما يكون مستوى الملف عموديًا على اتجاه المجال المغناطيسي ، أما أدنى قيمة للفيض المغناطيسي فتكون عندما يكون مستوى الملف موازيًا لاتجاه المجال المغناطيسي $\theta = 90^o$ ، وبالتالي فإن:

أقصى قيمة هي:

$$\Phi_B = BA\cos\theta = (1.25)(0.10)^2 \cos 0^o = 0.0125\ Wb$$

أقل قيمة هي **(0 Wb)** وذلك عندما تكون $\theta = 90^o$ حيث إن $\cos 90^o = 0$

وبالتالي

$$\Phi_B = BA\cos 90^o = 0Wb$$

بتعريفنا للفيض المغناطيسي، كما في المعادلة (٢-١)، يمكننا الآن كتابة نتائج تجارب فاراداي ، إذا تغير الفيض الذي يخترق الملف بقيمة مقدارها $\Delta\Phi_B$ خلال فترة زمنية قصيرة جدًّا ، فإن القوة الدافعة التأثيرية ($\mathcal{E}$) في تلك اللحظة هي :

$$\mathcal{E} = -\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} \qquad (٢-٢)$$

وعرفت هذه النتيجة " بقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي " ، وهو أحد القوانين الأساسية للحث الكهرومغناطيسي.

وإذا كان الملف يحتوي على N من اللفات فإن القوة الدافعة التأثيرية تصبح:

$$\mathcal{E} = -N\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} \qquad (٢-٣)$$

وتدل الإشارة السالبة في المعادلة السابقة على أن القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية تعمل عكس معدل التغير في الفيض المغناطيسي.

اختبر فهمك (١):

في المثال (١) أوجد الفيض المغناطيسي عندما يصنع العمودي على الملف زاوية مقدارها 35^o مع المجال المغناطيسي B.

٢-٢ قانون لنز *Lenz's law*

في المعادلة (٢-٣) نلاحظ وجود إشارة سالبة تدل على الاتجاه الذي تتخذه القوة الدافعة التأثيرية. إن التجارب أظهرت أن:

التيار المتولد من القوة الدافعة التأثيرية يتخذ اتجاهًا بحيث يكون مجاله المغناطيسي مقاومًا للتغير الأصلي في الفيض المغناطيسي.

وهو ما يعرف بقانون لنز. يجب أن تكون منتبهًا الآن إلى أننا نناقش مجالين مغناطيسيين منفصلين عن بعضهما وهما:

١- المجال المغناطيسي المتغير أو الفيض الذي يولد التيار التأثيري.

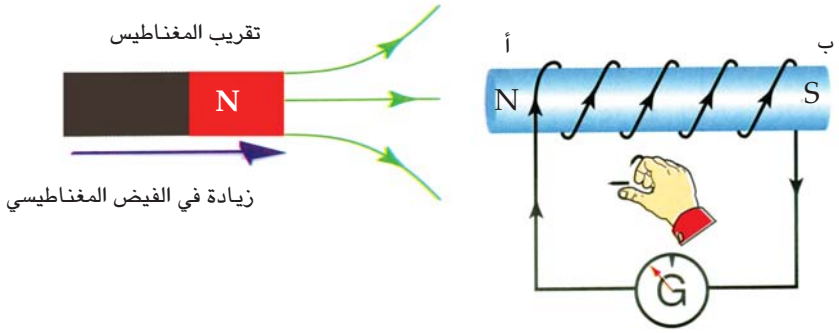
٢- المجال المغناطيسي التأثيري المتولد عن التيار التأثيري (لأن كل التيارات تولد مجالات مغناطيسية).

إن المجال الثاني يعاكس التغير في المجال الأول.

وحتى نفهم قانون لنز دعنا نتتبع الخطوات التالية:

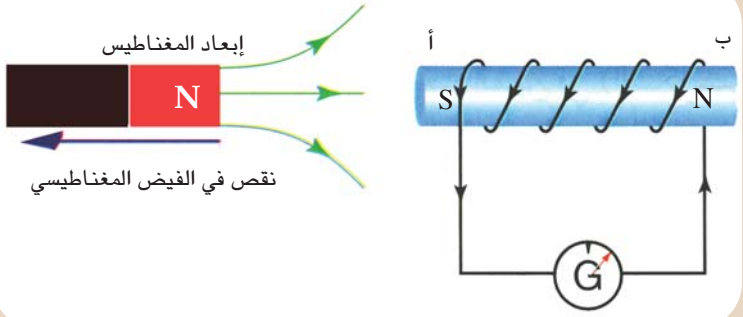
- عند تقريب القطب الشمالي لمغناطيس من ملف حلزوني كما في الشكل (٢- ٦) ستلاحظ أن مؤشر الجلفانومتر سينحرف في اتجاه معين، وعند إبعاده عن المغناطيس سينحرف في اتجاه آخر.

إن تقريب القطب الشمالي لمغناطيس من الطرف (أ) للملف سيعمل على زيادة الفيض المغناطيسي داخل الملف، وحسب قاعدة لنز سيقاوم الملف هذه الزيادة في الفيض، وتكون المقاومة بأن يتولد في الملف تيار حثي لينتج مجالا مغناطيسيا داخل الملف ، قطبه الشمالي عند الطرف (أ) ليتنافر مع المغناطيس المستقيم (تخيل أن الملف سيحاول إبعاد المغناطيس). ولتحديد اتجاه التيار الحثي الذي ولَّد هذا المجال اجعل إبهامك تشير إلى القطب الشمالي (عند الطرف أ) فتشير حركة أصابعك إلى اتجاه التيار في الملف (قاعدة اليد اليمنى الثانية).



الشكل (٢-٦)

أما عند إبعاد القطب الشمالي عن الطرف (أ) فيحدث نقصان في الفيض المغناطيسي داخل الملف كما هو موضح في الشكل (٢-٧). وحسب قانون لنز فإن الملف سيقاوم النقصان في الفيض، فيتولد في الملف تيار حثي ينتج مجالا مغناطيسيا لينشأ تدفق في الاتجاه نفسه، قطبه الجنوبي عند الطرف (أ)، والشمالي عند (ب)، فيتجاذب مع المغناطيس. (أي أن الملف سيصبح مغناطيسًاويحاول منعه من الابتعاد). وحسب قاعدة اليد اليمنى الثانية يكون اتجاه التيار كما في الشكل (٢-٧).



الشكل (٢-٧)

وهذا ما يفسر انحراف الجلفانومتر في اتجاهين مختلفين عند تقريب القطب الشمالي وعند إبعاده.

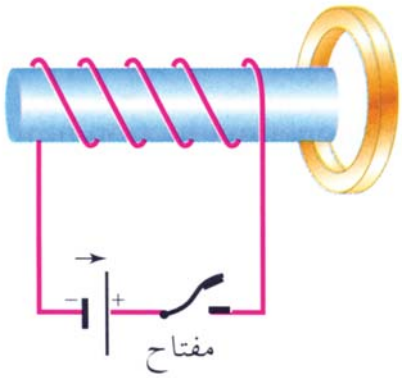
مثال (٢):

-حلقة دائرية موضوعة بالقرب من مغناطيس كهربائي كما في الشكل (٢- ٨)، حدد اتجاه التيار الحثي المتولد في الحلقة في الحالات التالية:

أ- لحظة إغلاق الدائرة الكهربائية

ب- بعد إغلاق المفتاح بعدة ثوان.

ج- عند فتح الدائرة الكهربائية.

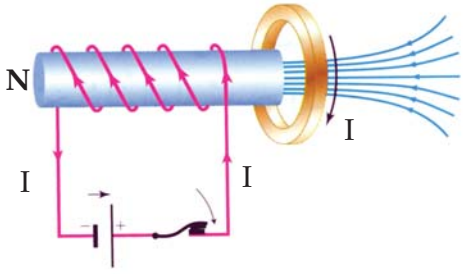


الشكل (٢-٨)

الحل:

١- كما درست في الصف الحادي عشر فإن سريان التيار الكهربائي في الدائرة يولد مجالاً مغناطيسيًّا في الملف الحلزوني في الاتجاه المبين في الشكل (٢-٩أ)، وحسب قاعدة قبضة اليد اليمنى الثانية (تخيل أنك تمسك ملفًّا حلزونيًّا معزولاً بيدك اليمنى. قم بلف أصابعك حول الملف باتجاه مرور التيار. إن إصبع الإبهام ستُشير إلى اتجاه القطب الشمالي للمغناطيس) فإن

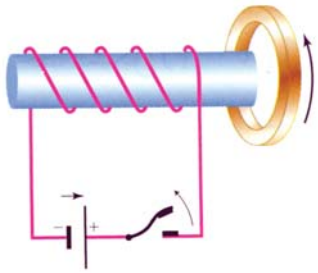
هذا يماثل تقريب قطب مغناطيسي جنوبي من الحلقة. وحسب قاعدة لنز ستقاوم الحلقة هذه الزيادة، وتكون المقاومة بأن يتولد في الحلقة تيار حثي ينتج مجالا مغناطيسيا قطبه الجنوبي في الطرف القريب من الدائرة، أي يتنافر المغناطيسان معًا. وحسب قاعدة (N - S) التي درستها في الصف الحادي عشر [إذا نظرت إلى أحد أوجه الملف وكان اتجاه التيار عكس اتجاه عقارب الساعة فإن هذا الوجه يعتبر قطبًا شماليًّا (N)، أما إذا كان اتجاه التيار في الوجه الذي تنظر إليه في نفس اتجاه عقارب الساعة فهو قطب جنوبي(S)] يكون اتجاه التيار الحثي في الحلقة كما في الشكل (٢- ٩أ).



الشكل (٢-٩أ)

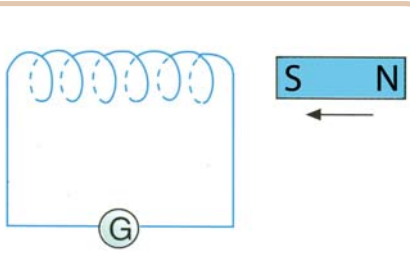
٢- بعد إغلاق الدائرة الكهربائية بعدة ثوان يصبح الفيض المغناطيسي في الحلقة ثابتًا، لذا يصبح التيار الحثي صفرا.

٣- فتح الدائرة الكهربائية يسبب نقصان التدفق المغناطيسي في الحلقة، ولمقاومة هذا التغير ينشأ تيار حثي في الاتجاه المبين في الشكل (٢-٩ب).

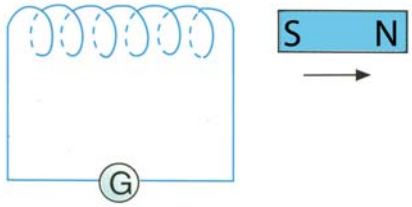

الشكل (٢-٩ب)

اختبر فهمك (٢):

استخدم قانون لنز لتحديد اتجاه التيار الحثي المار في الملف في الشكلين (٢-١٠أ) و (٢-١٠ب).



الشكل (٢-١٠أ)

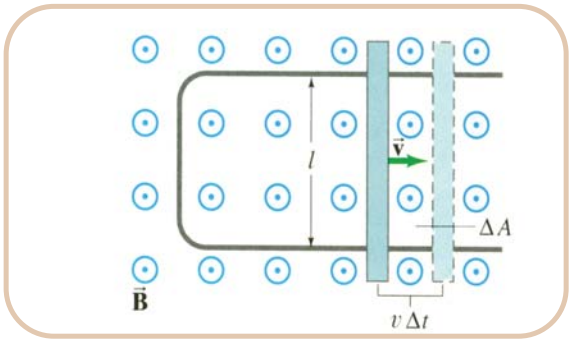


الشكل (٢-١٠ب)

ولمزيد من المعلومات عن ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي وقانون فاراداي ، قم بزيارة الموقع التالي على الشبكة العالمية للاتصالات الدولية:
www.hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/farlaw.html

٢-٣ القوة الدافعة التأثيرية المتولدة في موصل متحرك EMF Induced in a Moving Conductor

تعلم الآن أن المجال المغناطيسي المتغير يولد قوة دافعة تأثيرية، والطريقة الأخرى لتوليد قوة دافعة تأثيرية هو تغيير المساحة، كما هو موضح في الشكل (٢-١١)، وهذه الطريقة تساعدنا في توضيح طبيعة القوة الدافعة التأثيرية.



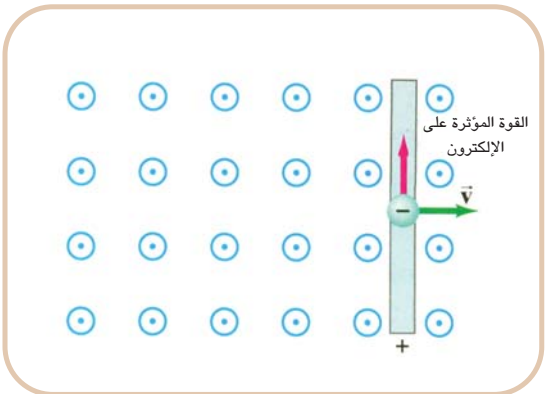
الشكل (٢-١١)

افترض أنَّ هناك مجالا مغناطيسيًّا منتظمًا عموديا على المساحة المحصورة بواسطة موصل على شكل حرف (U)، وموضوع فوق الموصل قضيب قابل للحركة طوله (l). إذا ترك القضيب ليتحرك بسرعة مقدارها (v) فإنه سيتحرك مسافة مقدارها $\Delta x = v\Delta t$ في زمن مقداره (Δt)، وبالتالي فإن المساحة ستزداد بمقدار $\Delta A = l\Delta x = lv\Delta t$ خلال الفترة (Δt)، وهو ما يؤدي إلى زيادة الفيض المغناطيسي الذي يخترق المساحة، وباستخدام قانون فاراداي فإن هناك قوة دافعة تأثيرية تعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = -\frac{B\,\Delta A}{\Delta t} = -\frac{Blv\Delta t}{\Delta t} = -Blv \qquad (٢-٤)$$

وتطبق المعادلة (٢-٤) إذا كانت كل من B,l,v متعامدة على بعضها بعضًا (وإذا لم تكن متعامدة فإننا نستخدم مركباتها المتعامدة على بعضها بعضًا). إن القوة الدافعة التأثيرية في موصل يتحرك في مجال مغناطيسي يطلق عليها أحيانًا " القوة الدافعة التأثيرية الحركية" ***motional emf***

يمكننا أيضا استنتاج العلاقة (٢-٤) دون استخدام قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي . لقد درست في الصف الحادي عشر أن الجسم المشحون الذي يتحرك في اتجاه متعامد مع المجال المغناطيسي B بسرعة مقدارها (v) سيتعرض لقوة مغناطيسية مقدارها ($F=qvB$) .



الشكل (٢-١٢)

وفي الشكل (٢-١١) عندما يتحرك القضيب في اتجاه اليمين بسرعة v فإن الإلكترونات في القضيب ستتحرك أيضًا بنفس السرعة ، وبما أن السرعة عمودية على المجال المغناطيسي فإن كل إلكترون سيتعرض لقوة مقدارها ($F=qvB$) يكون اتجاهها إلى أعلى الصفحة كما هو موضح في الشكل (٢-١٢).

وإذا لم يكن القضيب ملامسًا للموصل فإن الإلكترونات ستتجمع على الطرف العلوي من القضيب تاركة الطرف السفلي موجب الشحنة، لذلك لا بد من وجود قوة دافعة تأثيرية نتيجة لتكون فرق في الجهد بين طرفي القضيب. إذا كان القضيب ينزلق على الموصل كما في الشكل (٢- ١١) فإن التيار سيتحرك في الموصل في اتجاه عقارب الساعة (التيار الإصطلاحي). لحساب القوة الدافعة الكهربائية الحثية، فإننا نحدد الشغل اللازم لتحريك الشحنة q من أحد أطراف القضيب إلى الطرف الآخر.

$$W = F.d = (qvB)(l)$$

إن القوة الدافعة الكهربائية عبارة عن الشغل المبذول لوحدة الشحنات، وبالتالي:

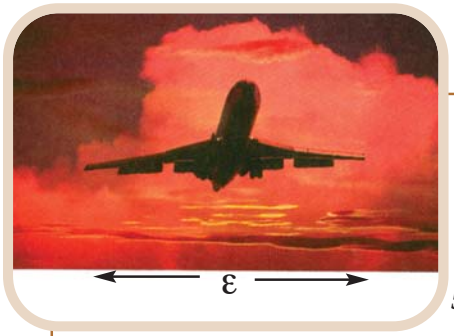
$$\varepsilon = \frac{W}{q} = \frac{qvBl}{q} = Blv$$

وهي نفس النتيجة التي حصلنا عليها باستخدام قانون فاراداي.

مثال(٣):

هل تنشئ الطائرة المتحركة قوة دافعة كهربائية كبيرة؟

تتحرك طائرة بسرعة $1000\ km/h$ كما في الشكل (٢-١٣) في منطقة ما حيث المجال المغناطيسي للأرض يكون عموديًّا تقريبًا ويساوي $5.0 \times 10^{-5}\ T$ ما فرق الجهد الكهربائي (القوة الدافعة الكهربائية) المتولد بين طرفي الجناح اللذين يبعدان عن بعضهما $70\ m$ ؟



الشكل (٢-١٣)

الحل:

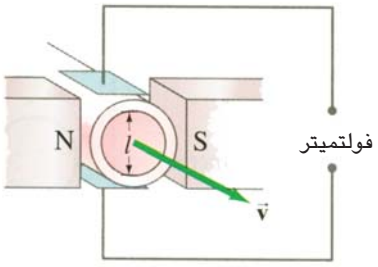
نفترض أن الأجنحة موصل طوله $70\ m$ يتحرك خلال المجال المغناطيسي للأرض. نستخدم المعادلة (٢-٤) لإيجاد القوة الدافعة الكهربائية:

$$\varepsilon = Blv = (5.0 \times 10^{-5})(70)(277.78) = 0.97\ V$$

وبالتالي فهي قيمة صغيرة.

مثال (٤):

إن معدل تدفق الدم في الشرايين الدموية لجسم الإنسان يمكن قياسه باستخدام الأدوات الموضحة في الشكل (٢- ١٤)، وذلك نظرا لاحتواء الدم على أيونات مشحونة. افترض أن قطر الشريان الدموي ***2.0 mm*** والمجال المغناطيسي ***0.08 T*** ، والقوة الدافعة الكهربائية الحثية المقاسة هي ***0.1 mV*** ، ما سرعة تدفق الدم؟



الشكل (٢-١٤)

الحل:

إن المجال المغناطيسي يتجه أفقيًّا من اليسار إلى اليمين (من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي). إن القوة الدافعة الكهربائية المتولدة تؤثر خلال عرض مقداره $l = 2.0\ mm$ من الشريان الدموي وهي عمودية على كل من B و v وبالتالي فإن v تساوي:

$$v = \frac{\varepsilon}{Bl} = \frac{(1.0 \times 10^{-4})}{(0.080)(2.0 \times 10^{-3})} = 0.63\ m/s$$

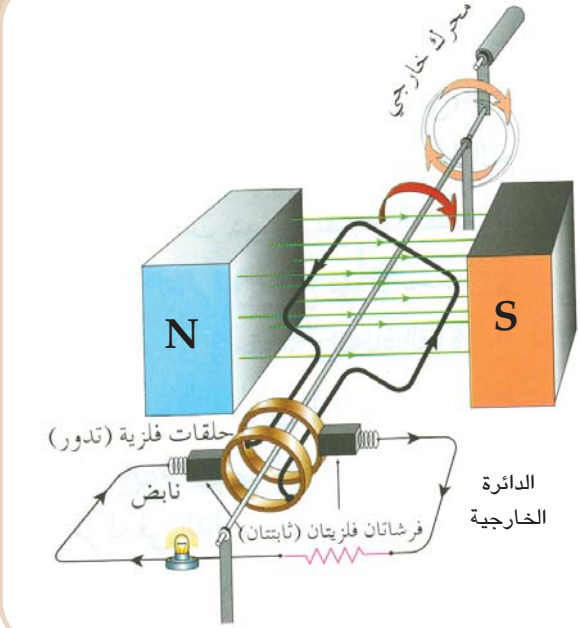
٢-٤ تطبيقات على الحث الكهرومغناطيسي
Applications of Electromagnetic Induction

ينطبق قانون فاراداي للقوة الدافعة الكهربائية المستحثة في ملف على أية طريقة من شأنها تغيير الفيض المغناطيسي خلال الملف. وستتناول هنا بعض التطبيقات العملية على ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي.

* المولد الكهربائي *Electric Generator*

من أهم التطبيقات على الحث الكهرومغناطيسي توليد الكهرباء باستخدام المولد الكهربائي وهو عبارة عن جهاز يعمل على تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية.

يوضح الشكل (٢-١٥) مولدًا كهربائيًّا بسيطًا يتكون من ملف مستطيل مثبت على محور يسمح للملف بالدوران موضوع بين قطبي مغناطيس. عند دوران الملف بفعل مؤثر خارجي يتغير المجال المغناطيسي الذي يخترق الملف، وبالتالي تتولد قوة دافعة كهربائية بين طرفي الملف. إن التيار المتولد لن يمر إلا إذا تم توصيل طرفي الملف بدائرة خارجية تحتوي على حمل خارجي (مصباح مثلا). وتسمح الحلقتان المنزلقتان بنقل القوة الدافعة التأثيرية المتغيرة المتولدة بين طرفي الملف إلى الدائرة الخارجية. إن كل حلقة متصلة بطرف واحد من أطراف الملف وتتصل كهربائيا بباقي مكونات الدائرة الخارجية بواسطة فرشاة من الكربون.

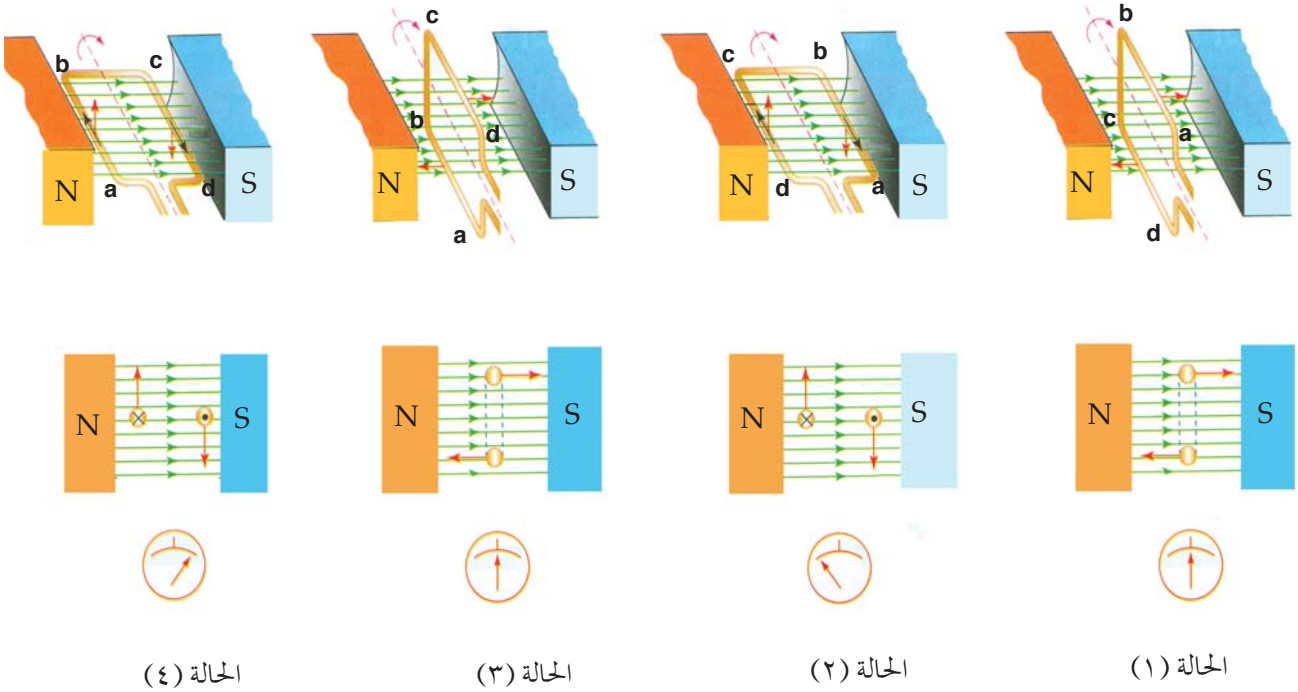


الشكل (٢-١٥)

وسنتتبع مراحل دوران الملف بالتفصيل كما هو موضح في الشكل (٢- ١٦).

- سنبدأ بالوضع العمودي الموضح في الحالة (١)، فعندما يتحرك الضلع *(ab)* لن يحدث قطع لخطوط المجال المغناطيسي لأنه يتحرك موازيا لهذه الخطوط ، وبالتالي ستصبح القوة الدافعة الكهربائية الحثية والتيار الحثي صفرًا.

- باستمرار دوران الملف فإن الضلع *(ab)* سيخترق خطوط المجال ويحدث تغير في الفيض المغناطيسي، وهو ما يؤدي إلى توليد قوة دافعة كهربائية حثية وتيار حثي في الاتجاه *(dcba)*، وذلك حسب قاعدة اليد اليمنى لفلمنج، وتزداد القوة الدافعة الحثية تدريجيًا إلى أن تصل إلى قيمتها العظمى بعد ربع دورة حيث يكون الملف موازيًا لخطوط المجال المغناطيسي كما يظهر في الحالة (٢).



الشكل (٢-١٦)

– باستمرار دوران الملف تقل القوة الدافعة الكهربائية الحثية حتى تنعدم عندما يصبح مستوى الملف عموديًّا على خطوط المجال المغناطيسي بعد نصف دورة، ويتبادل الضلعان *(ab)* و *(cd)* أماكنهما كما في الحالة (٣).

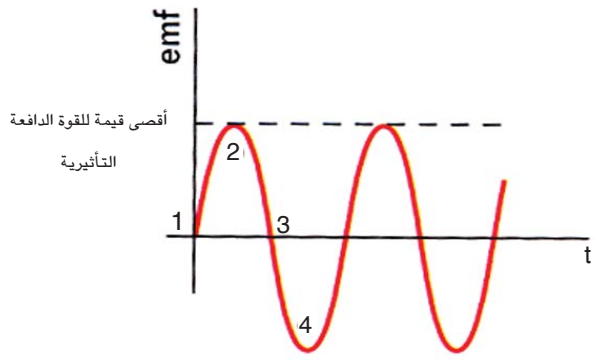
– باستمرار الدوران ينعكس اتجاه التيار الحثي في الملف ليصبح في الاتجاه ***(abcd)***، وتزداد القوة الدافعة الكهربائية الحثية حتى تصل إلى قيمتها العظمى بعد $\frac{3}{4}$ دورة كما في الحالة (٤).

– مع استمرار دوران الملف تقل القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف تدريجيًّا حتى تنعدم تمامًا عندما يصبح مستوى الملف عموديًّا على خطوط المجال كما في الحالة (١)، حيث يكون قد أتم دورة كاملة، ويكرر ذلك في كل دورة، ويسمى التيار الناتج بالتيار المتردد.

والرسم البياني الذي يوضح التغير في القوة الدافعة التأثيرية بالنسبة إلى الزمن عند دوران الملف موضح في الشكل (٢-١٧)، لاحظ التشابه بين هذا المنحنى والمنحنى الجيبي. إن المواضع المحددة على المنحنى تشير إلى اتجاه الملف بالنسبة إلى اتجاه المجال المغناطيسي في الشكل (٢-١٦). في الموضعين ١و ٣ تكون القوة الدافعة التأثيرية صفرًا، حيث إن هذه المواضع تعود إلى اللحظة التي يكون فيها مستوى الملف عموديًّا على اتجاه المجال المغناطيسي.

أما في الموضعين ٢و ٤ فتكون قيمة القوة الدافعة التأثيرية أكبر ما يمكن، وهذه المواضع تعود إلى اللحظة التي يكون فيها مستوى الملف موازيا لاتجاه المجال المغناطيسي.

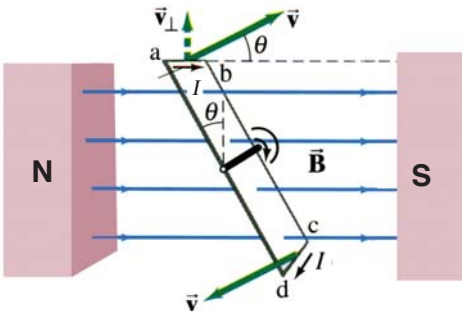
إن القوة الدافعة التأثيرية ناتجة من التغير المستمر في الزاوية θ **بين اتجاه خطوط المجال المغناطيسي والعمودي على مستوى الملف.**



الشكل (٢-١٧)

ويمكن قياس قيمة القوة الدافعة الكهربائية الناتجة من المولد الكهربائي باستخدام المعادلة (٢– ٤)، باستثناء أننا يجب أن نأخذ مركبة السرعة العمودية $(v_\perp)$ على B.

$$\varepsilon = Blv_\perp$$



الشكل (٢–١٨)

حيث l : طول الضلع (ab) أو (cd)

من الشكل (٢–١٨) يمكننا القول إن $v_\perp = v\sin\theta$ ، حيث θ هي الزاوية التي يصنعها العمودي على مستوى الملف مع اتجاه خطوط المجال المغناطيسي.

وبالتالي فإن القوة الدافعة المتولدة في الضلع (ab) تساوي:

$$\varepsilon = NBlv\sin\theta$$

إن القوة المتولدة في الضلع (cd) لها نفس المقدار والاتجاه وبالتالي يمكن جمعهما، وتصبح القوة الدافعة الكلية كالتالي:

$$\varepsilon = 2NBlv\sin\theta$$

حيث N: عدد لفات الملف

إذا كان الملف يدور بسرعة زاوية منتظمة مقدارها w ، تصبح $\theta = wt$ وبالتعويض عن قيمة v من المعادلة:

$v = wr = w\left(\frac{h}{2}\right)$ حيث h طول الضلع bc أو ad وبالتالي :

$$\varepsilon = 2NBw\, l\, \left(\frac{h}{2}\right) \sin wt = NB\, wA\, \sin wt \qquad (٢-٥)$$

حيث $A = hl$ مساحة الملف.

وهذه المعادلة تنطبق على جميع أشكال الملفات وليست فقط للملف المستطيل.

ونلاحظ من هذه المعادلة أن القوة الدافعة الناتجة من المولد الكهربائي هي قوة متغيرة جيبيًّا مع الزمن (قوة دافعة مترددة وتسمى أيضا الجهد المتردد)، ويمكننا كتابة المعادلة (٢–٥) بالصورة التالية:

$$\varepsilon = NB\, wA\sin wt = NB\, wA\sin 2\pi ft$$

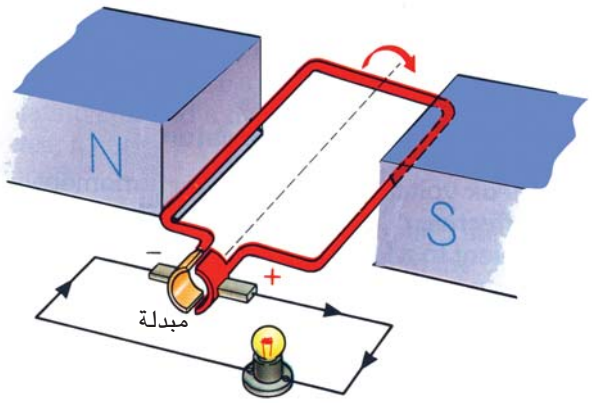
حيث f هو التردد.

وبالتالي فإن التيار الحثي الناشئ في المولد يكون متغيراً في المقدار والاتجاه؛ لذا يسمى التيار المتناوب أو التيار المتردد ***alternating current*** ويرمز له في الدوائر الكهربائية بالرمز (~). ويسمى المولد الكهربائي الذي ينتج التيار المتناوب مولد التيار المتناوب ***(AC generator)***، أي مصدر قوة دافعة كهربائية متناوبة.

هل يمكن تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر؟

لقد لاحظت أن التيار الناتج من المولد الكهربائي هو تيار متغير في القيمة والاتجاه، حيث إنه يعكس اتجاهه كل نصف دورة للملف، كما أن قيمته تتزايد من الصفر إلى أعلى قيمة ثم تبدأ بالتناقص حتى تصل إلى الصفر ثم تبدأ لتزداد مرة أخرى في الاتجاه المعاكس وهكذا. ولجعل التيار الناتج من الملف تيارا مستمرا يتم تغيير تركيب المولد قليلا.

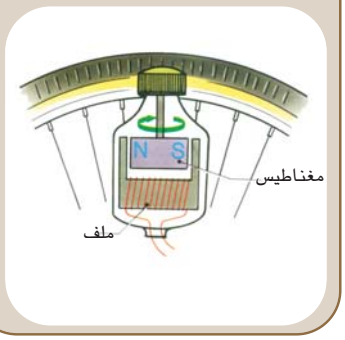
الشكل (٢-١٩) يوضح تركيب مولد التيار المستمر حيث يتم استبدال الحلقتين المعدنيتين المنزلقتين بحلقة واحدة مقسومة إلى نصفين، حيث يتصل كل نصف بطرف واحد من أطراف الملف وتسمى " المبدلة" ***commutator*** . وفي أثناء دوران الملف وعند النقطة التي يصل فيها التيار إلى الصفر ويكون على وشك عكس اتجاهه فإن كل نصف من المبدلة يبدأ بتغيير مكانه ليكون على اتصال بالفرشاة التي كانت سابقا متصلة بالنصف الآخر.



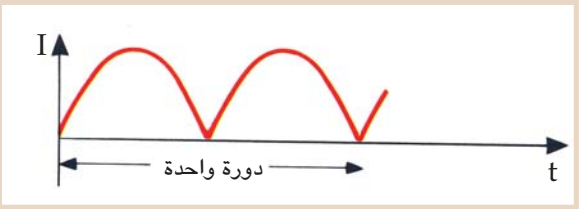
الشكل (٢-١٩)

تطبيقات حياتية : مولد الدراجة

يدير مولد الدراجة دولاب صغير مضرس يضغط على إطار عجلة الدراجة الخلفية . فعندما تتحرك الدراجة تدور العجلة ويدور معها دولاب المولد المضرس الذي يدير مغناطيسًا دائمًا قرب ملف ملفوف حول قلب حديدي . وبفعل تغير المجال المغناطيسي للمغناطيس الدائم ، تتولد الكهرباء في أسلاك الملف.

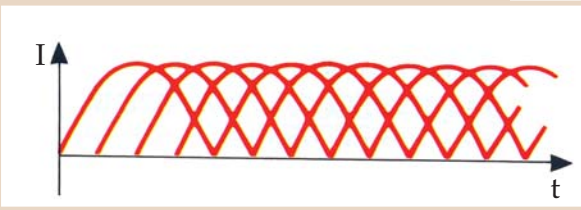


وبالتالي فإن التيار العكسي في الملف سيعكس اتجاهه، وبالتالي يكون التيار الناتج له نفس الاتجاه كما هو موضح في الشكل (٢- ٢٠أ).



الشكل (٢-٢٠) أ

وعلى الرغم من توحيد اتجاه التيار الناتج من المولد إلا أن قيمة التيار تتغير من الصفر إلى أقصى قيمة.ولتوحيد قيمة التيار الناتج يتم استخدام عدة ملفات للمحرك بدلا من ملف واحد حيث يرتبط كل ملف بمبدلة، ويكون التيار الناتج كما هو موضح في الشكل (٢-٢٠ب).

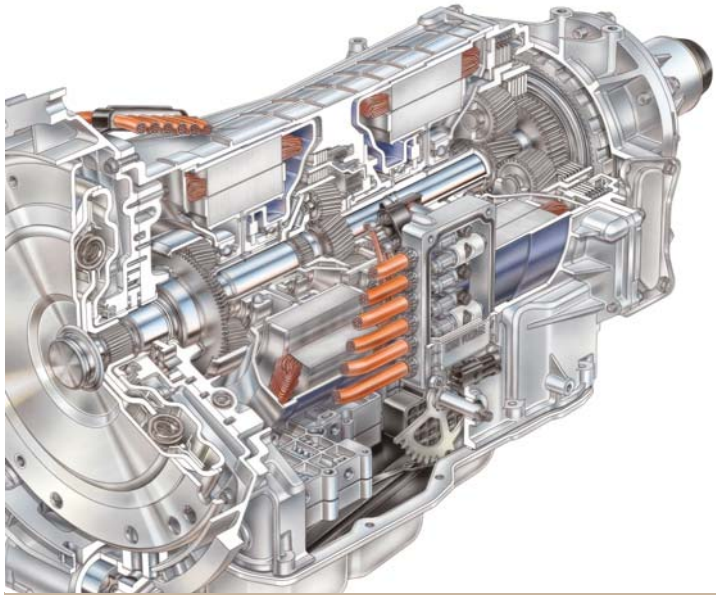


الشكل (٢-٢٠) ب

اختبر فهمك (٣):

مولد بسيط يتكون من ملف مربع الشكل عدد لفاته 320 **لفة وطوله** $21.0\ cm$ **، كم مقدار السرعة التي يجب أن يدور بها الملف في مجال مغناطيسي مقداره** $0.65\ T$ **حتى ينتج جهدًا قيمته القصوى** $120V$ **؟**

* المحرك الكهربائي *Electric Motor*



المحرك الكهربائي هو جهاز يقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية. وعوضًا عن توليد التيار الكهربائي باستخدام الملف المتحرك في مجال مغناطيسي فإنه يتم تزويد الملف بالتيار بواسطة مصدر للقوة الدافعة الكهربائية، وبالتالي سيتأثر الملف بقوة مغناطيسية تعمل على إدارته (كما درست في الصف الحادي عشر).

الاستكشاف (١): تعرُّف مبدأ عمل المحرك الكهربائي

سؤال علمي: ما مبدأ عمل المحرك الكهربائي ؟

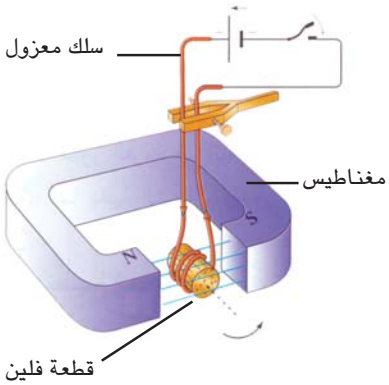
المواد والأدوات: سلك معزول– مغناطيس حذاء الفرس – بطارية – مفتاح – قطعة فلين.

الإجراءات:

١– ركب الدائرة كما في الشكل (٢-٢١).

٢– أغلق المفتاح ولاحظ ما يحدث.

٣– اعكس أقطاب البطارية كي ينعكس اتجاه التيار، ولاحظ ما يحدث.



الشكل (٢-٢١)

التحليل والتفسير:

١– ماذا حدث عند إغلاق الدائرة الكهربائية في الخطوة (٢)؟ فسر ذلك.

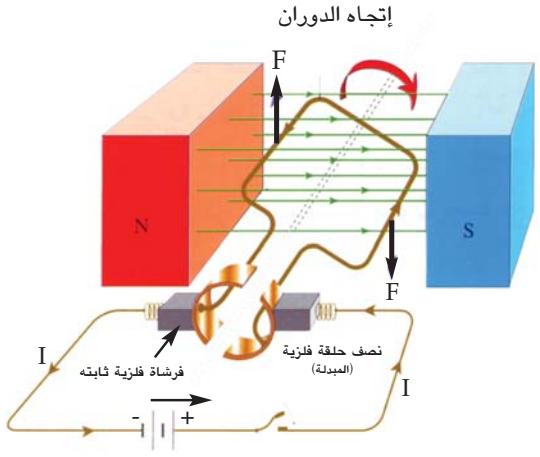
٢– ماذا حدث عند عكس اتجاه التيار في الخطوة ٣؟

معلومة تهمك

ليس بالغريب أن يكون تركيب المحرك الكهربائي مشابها لتركيب المولد الكهربائي ، أما الغريب حقيقة فهو أن اختراع فاراداي للمولد الكهربائي كان عام ١٨٣١م إلا أن المحرك الكهربائي لم يدخل الساحة حتى عام ١٨٧٣ م وحدث ذلك عن طريق المصادفة عندما أخطأ أحد الفنيين في أحد المعارض المنعقدة في فيينا في التوصيل بين مولدين كهربائيين، وكان نتيجة هذا الخطأ انه عند تشغيل المولد الأول تحرك الملف في المولد الثاني بسرعة عالية، أي أن الطاقة الكهربائية الواردة من المولد الأول تحولت إلى طاقة حركية في المولد الثاني، وهذا الخطأ وضع البشرية على الطريق الصحيح لإطلاق الحركة من الكهرباء .

تركيب المحرك الكهربائي

إن تركيب المحرك الكهربائي مشابه لتركيب المولد الكهربائي (مولد التيار المستمر)، حيث يوضع ملف مستطيل الشكل من سلك نحاسي معزول بين قطبي مغناطيس، ويتصل طرفا الملف بالمبدلة التي تلامس فرشاتين من الكربون متصلتين بقطبي بطارية. الشكل (٢- ٢٢) يوضح رسما تخطيطيًّا لمحرك كهربائي بسيط.



الشكل (٢-٢٢)

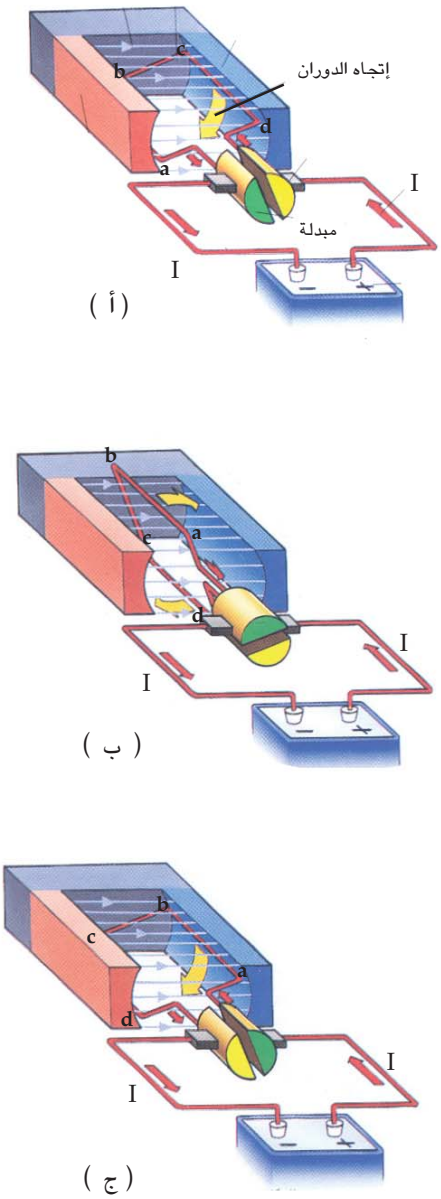
طريقة عمل المحرك الكهربائي:

لنتتبع طريقة عمل المحرك الكهربائي على الشكل (٢-٢٣):

– إن مرور التيار في الملف بالاتجاه *(dcba)* سيجعله يتأثر بقوة مغناطيسية (كما درست سابقًا). ويكون اتجاه هذه القوة عموديًّا للأعلى على الضلع *(ab)* حسب قاعدة اليد اليمنى، بينما يكون اتجاه القوة عموديًّا للأسفل على الضلع *(cd)* ، لذا سيدور الملف باتجاه عقارب الساعة، وتدور معه المبدلة كما في الشكل (٢-٢٣ أ).

– عندما يصبح الملف عموديًّا على خطوط المجال المغناطيسي، تفقد الفرشتان الموصولتان بالبطارية اتصالهما بالمبدلة، ، فيتوقف مرور التيار في الملف ولا يتأثر بقوة مغناطيسية. غير أن الملف يجتاز هذه النقطة بفعل قصوره الذاتي فيستمر بالدوران. (**الشكل ٢-٢٣ب**).

– عندما يعود التماس بين الفرشاتين والمبدلة بعد تبديل أماكنهما يكون الضلعان *(ab)* و *(cd)* قد تبادلا المواقع أيضًا، فيعكس اتجاه التيار في كل منهما وتنعكس القوة المغناطيسية حسب قاعدة اليد اليمنى ويستمر دوران الملف باتجاه عقارب الساعة كما هو موضح في الشكل (٢-٢٣ ج).



الشكل (٢-٢٣)

تطبيقات حياتية : كاشف المعدن

عند عبورك من بوابة كاشف المعدن (بوابة أمنية) فأنت تعبر ملفًا يحمل تيارا كهربائيا ضعيفا، ويوجد مجال مغناطيسي في الفتحة التي تعبر منها، وأي تغير في هذا المجال يتم كشفه بواسطة الملف، فإذا كنت تحمل معدنًا معك (كالمفاتيح مثلاً) داخل الملف فسوف تغير المجال المغناطيسي الذي يحدث بدوره تغيرا في التيار المار في الملف، وهو ما يؤدي إلى إطلاق صافرة الإنذار..

* المحول الكهربائي Transformer

إن أحد أهم التطبيقات على ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي هو المحول الكهربائي ***transformer*** ، وهو جهاز يقوم بتحويل الجهد المتردد إلى جهد متردد آخر (منخفض أو مرتفع)، ففي جهاز التلفزيون العادي يغير المحول الجهد المتردد الداخل إلى الجهاز ومقداره ***240 V*** إلى جهد أعلى مقداره ***15,000 V*** والذي يلزم لتشغيل أنبوبة الصور بالجهاز. كما أن جرس الباب العادي يحتاج إلى جهد يبلغ ***9V*** ، لذا لا بد من محول للحصول على هذا الجهد المنخفض.

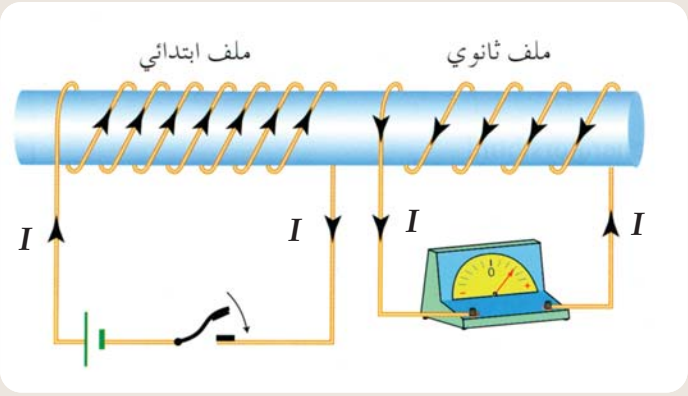
ولا يمكن استعمال المحولات لتحويل الجهود الخاصة بالتيار المستمر، نظرًا لأهمية حدوث فيض مغناطيسي دائم التغير.

الاستكشاف(٢): مبدأ عمل المحول الكهربائي

سؤال علمي: ما مبدأ عمل المحول الكهربائي؟

المواد والأدوات:

قطعة من الحديد المطاوع – سلكان معزولان – بطارية – جلفانومتر – مفتاح كهربائي.



الشكل (٢-٢٤)

الإجراءات:

١- اصنع مغناطيسًا كهربائيًّا وذلك بلف أحد السلكين عدة لفات حول الطرف الأيسر لقطعة الحديد، وصل طرفيه بالبطارية والمفتاح.

٢- لف السلك الثاني حول الطرف الأيمن لقطعة الحديد عددًا أقل من اللفات، ثم صل طرفيه بطرفي الجلفانومتر، كما في الشكل (٢-٢٤).

٣- سم الملف المتصل بالبطارية " الملف الابتدائي " والملف المتصل بالجلفانومتر " الملف الثانوي ".

٤- اغلق المفتاح الكهربائي في دائرة الملف الابتدائي، ولاحظ ما يحدث لمؤشر الجلفانومتر لحظة إغلاق المفتاح.

٥- استمر بمراقبة المؤشر لفترة زمنية معينة ولاحظ ما يحدث.

٦- قم بفتح المفتاح وراقب مؤشر الجلفانومتر ولاحظ ما يحدث.

التحليل والتفسير:

١- فسر ما حدث لحظة فتح المفتاح الكهربائي ولحظة غلقه.

٢- في هذا الاستكشاف قمت باستخدام مصدر للتيار المستمر ، هل يمكن عمليًّا استخدام نفس المصدر في المحولات الكهربائية؟ فسِّر إجابتك.

يتكون المحول من قلب حديدي يلتف حوله ملفان، أولهما هو الابتدائي ويحتوي على (N_p لفة)، وثانيهما الثانوي وبه (N_s لفة). ويتصل الملف الابتدائي عادة بمصدر للتيار المتردد، فيعمل التيار المتغير على توليد فيض مغناطيسي متغير، ويخترق هذا الفيض المتغير القلب الحديدي ليصل إلى الملف الثانوي. وفي الملف الثانوي سيعمل المجال المغناطيسي المتغير على توليد قوة دافعة متغيرة. وهذا التأثير يطلق عليه الحث المتبادل ***mutual inductance*** ، وستختلف قيمة القوة الدافعة المستحثة في الملف الثانوي عن قيمتها في الملف الابتدائي حسب عدد اللفات في كل ملف.

ومن قانون فاراداي فإن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة أو الجهد (V) في الملف الثانوي هي:

$$V_s = N_s \frac{\Delta \phi_B}{\Delta t}$$

حيث N_s : عدد لفات الملف الثانوي و $\frac{\Delta \phi_B}{\Delta t}$ هو معدل التغير في الفيض المغناطيسي.

كما أن الجهد الابتدائي (V_p) يرتبط بمعدل التغير في الفيض المغناطيسي خلاله:

$$V_p = N_p \frac{\Delta \phi_B}{\Delta t}$$

حيث N_p : عدد لفات الملف الابتدائي.

نقسم المعادلتين السابقتين معتبرين أنه لا يوجد فقد في الفيض المغناطيسي خلال الملف ، نجد أن :

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \qquad (٦-٢)$$

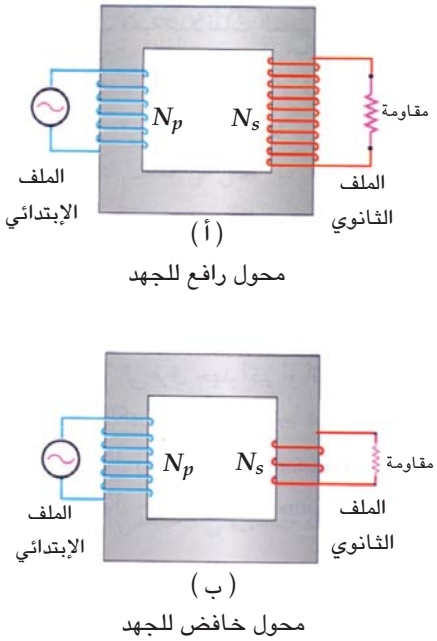
ومعادلة المحول تخبرنا كيف يرتبط جهد الملف الثانوي بجهد الملف الابتدائي، فإذا كان عدد لفات الملف الثانوي أكثر من عدد لفات الملف الابتدائي($N_s > N_p$) فإن المحول يعرف بالمحول الرافع للجهد ***step -up transformer***، أما إذا كان عدد لفات الملف الابتدائي أكثر من الثانوي ($N_p > N_s$) فإن المحول يعرف بالمحول الخافض للجهد ***step-down transformer***، كما يوضحه الشكل (٢-٢٥).

وعلى الرغم من أن الجهد المتردد يمكن رفعه أو خفضه باستخدام المحول ، إلا أنه حسب قانون حفظ الطاقة فإن القدرة الناتجة لا يمكن أن تكون أكبر من القدرة الداخلة إلى المحول. إن أفضل المحولات تصميمًا يمكن أن تصل كفاءته إلى أكثر من 99% ، وبالتالي فإن القليل من الطاقة سيضيع على شكل حرارة، فإذا اعتبرنا أن القدرة الداخلة مساوية للقدرة الخارجة (محول مثالي)، وحيث إن $(P=IV)$ فسنحصل على:

$$I_p V_p = I_s V_s$$

أو:

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \qquad (٢-٧)$$

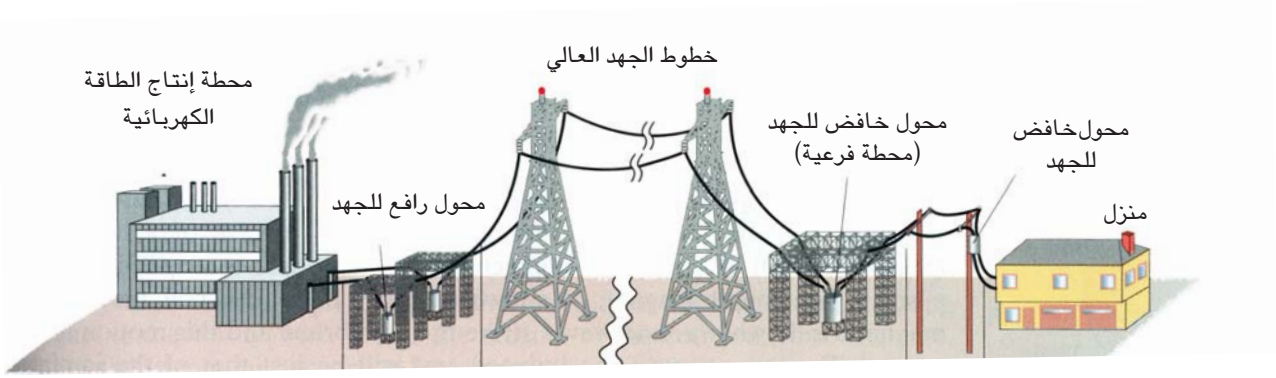


الشكل (٢-٢٥)

– نقل القدرة الكهربائية

إن إحدى المشاكل التي تواجه نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية من محطات توليد الطاقة إلى محطات الاستهلاك (المنازل والمصانع..إلخ) هي فقد القدرة على شكل طاقة حرارية (I^2R) في شبكة الكابلات الكهربائية. إن أحد الحلول لهذه المشكلة هو استخدام كابلات سميكة جدًّا حتى تكون المقاومة (R) صغيرة (حيث إن مقاومة الموصل تتناسب طرديًّا مع طوله وعكسيًّا مع مساحة مقطعه، كما تعتمد أيضًا على نوع مادته)، ولكن تطبيق ذلك يتم في حدود معينة، حيث إنه كلما كانت الكابلات سميكة كان الوزن المطلوب تدعيمه أثقل وبالتالي تكلفة إنشائه أكبر.

أما الحل الآخر فهو تقليل التيار المطلوب نقله، وذلك باستخدام محول رافع للجهد عند المنطقة التي يبدأ منها نقل التيار، وعند نقطة استقبال التيار يمكن زيادة التيار مرة ثانية باستخدام محول خافض بالقرب من محطة الاستقبال كما هو موضح في الشكل (٢– ٢٦).



الشكل (٢–٢٦)

مثال (٥):

يستخدم محول رافع للجهد لتشغيل أنبوبة أشعة المهبط بجهد قدره $20\ kV$ ، فإذا وصل المحول بمصدر تيار كهربائي متردد جهده $240\ V$ فاحسب:

أ) النسبة بين عدد لفاته (النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي إلى عدد لفات الملف الابتدائي).

ب) إذا كان أقصى تيار يمر بالملف الابتدائي يساوي $2A$ فأوجد التيار المار في الملف الثانوي.

الحل:

أ- من المعادلة (٢-٦) نجد أن:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$\frac{N_s}{N_p} = \frac{20 \times 10^3}{240} = 83.3$$

ب- من المعادلة (٢- ٧) نجد أن:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

$$\frac{I_p}{I_s} = 83.3$$

$$\frac{2}{I_s} = 83.3$$

$$I_s = \frac{2}{83.3} = 0.024\ A$$

اختبر فهمك (٤):

يستخدم محول كهربائي في جهاز راديو لخفض الجهد الناتج من المصدر في المنزل ومقداره $240\ V$ إلى $9.0\ V$، فإذا كان الملف الثانوي لهذا المحول يحتوي على 30 لفة ويعمل الراديو على تيار شدته $400\ mA$ فاحسب:

أ- عدد لفات الملف الابتدائي.

ب- التيار في الملف الابتدائي.

ج- القدرة الخارجة.

أسئلة الفصل

السؤال الأول: اختر الإجابة الصحيحة من بين البدائل المعطاة:

١- أي من الإجراءات التالية لن يُولِّد قوة دافعة كهربائية؟

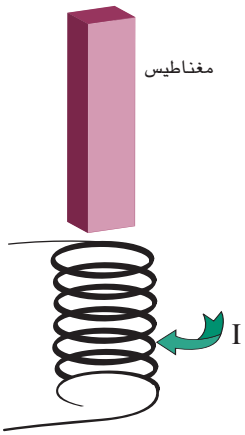
أ- تعليق مغناطيس ساكن داخل ملف.

ب- إدارة ملف في مجال مغناطيسي

ج- إدارة مغناطيس حول ملف ثابت.

د- تحريك قضيب مغناطيسي خلال قطعة مستقيمة من المعدن.

٢- في الشكل (٢- ٢٧) ما الذي يجب فعله لتوليد تيار في الملف في اتجاه عقارب الساعة؟



الشكل (٢-٢٧)

أ- إمَّا تحريك القطب الشمالي للمغناطيس إلى الأسفل داخل الملف، وإمَّا تحريك القطب الجنوبي للمغناطيس إلى الأعلى خارج الملف.

ب- إما تحريك القطب الجنوبي للمغناطيس إلى الأسفل داخل الملف، أو تحريك القطب الشمالي للمغناطيس إلى الأعلى إلى خارج الملف.

ج- تحريك أي من قطبي المغناطيس إلى الأسفل إلى داخل الملف.

د- تحريك أي من قطبي المغناطيس إلى الأعلى إلى خارج الملف.

٣- أي من الإجراءات التالية لن يزيد من القوة الدافعة الكهربائية الناتجة من المولد الكهربائي:

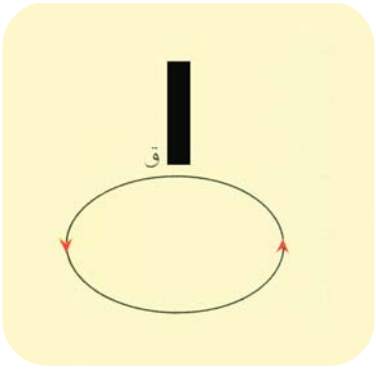
أ- إدارة الملف بسرعة أكبر.

ب- زيادة قوة المغناطيس في المولد.

ج- زيادة عدد لفات الملف.

د- تقليل مساحة المقطع العرضي للملف.

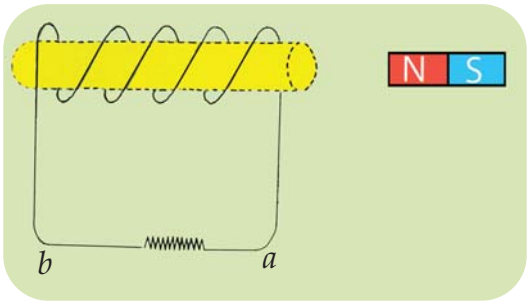
٤- في الشكل (٢- ٢٨) يتولد في الحلقة المعدنية تيار تأثيري في الاتجاه المبين بالرسم إذا كان القطب (ق) للمغناطيس:



الشكل (٢-٢٨)

أ- جنوبيًّا ويتحرك مقتربًا من الحلقة.
ب- شماليًّا ويتحرك مبتعدًا عن الحلقة.
ج- شماليًّا ويتحرك مقتربًا من الحلقة.
د- جنوبيًّا ولا يتحرك.

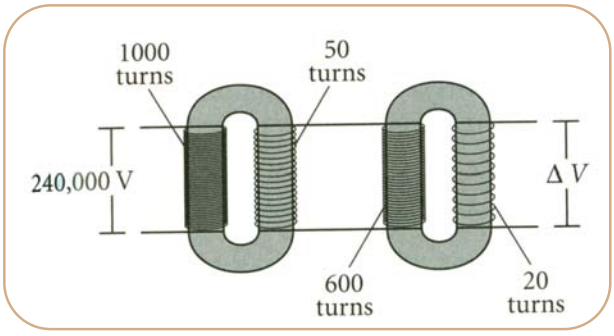
٥- في الشكل (٢ -٢٩)رسم مغناطيس في مستوى الصفحة موضوع بحيث يكون طرفه الشمالي بالقرب من ملف حلزوني متصل بمقاومة، فإذا أدير المغناطيس نصف دورة حول محور بحيث يتبادل القطبان موضعيهما، فإن تياراً تأثيريا سوف يتولد في دائرة الملف بحيث يكون اتجاهه في المقاومة (R):



الشكل (٢-٢٩)

أ- من (b) إلى (a) خلال نصف الدورة.
ب- من (a) إلى (b) خلال نصف الدورة.
ج- من (a) إلى (b) خلال ربع الدورة الأولى ثم ينعكس اتجاهه خلال الربع الثاني.
د- من (b) إلى (a) خلال ربع الدورة الأولى ثم ينعكس اتجاهه خلال الربع الثاني.

٦- الشكل(٢-٣٠) يوضح زوجًا من المحولات موصلاً على التوالي، ما نوعا المحولين (من اليسار إلى اليمين)؟



الشكل (٢-٣٠)

أ- كلاهما محوِّلان خافضين للجهد.
ب- كلاهما محوِّلان رافعين للجهد.
ج- الأول محول خافض للجهد، والثاني محول رافع للجهد.
د- الأول محول رافع للجهد، والثاني محول خافض للجهد.

٧- في الشكل السابق ما فرق الجهد الكهربائي الناتج من الملف الثانوي في المحول على اليمين؟

أ- 400 V ب- 12000 V ج- 160000V د- 360000V

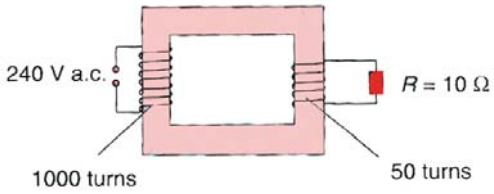
٨ -يوضح الشكل (٢- ٣١) محولاً مثاليًّا موصلاً بمصدر قوته الدافعة ***240 V*** . يتكون الملف الابتدائي من ***1000*** لفة بينما يتكون الملف الثانوي من ***50*** لفة ويتصل بمقاومة حمل مقدارها 10Ω ما مقدار التيار المار في المقاومة؟

أ- 1.2 A

ب- 24A

ج- 48 A

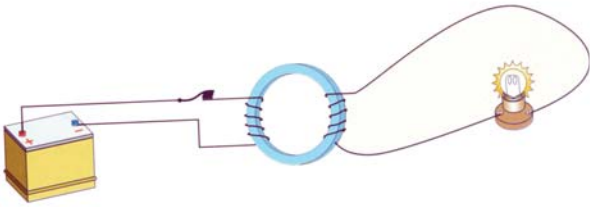
د- 120 A

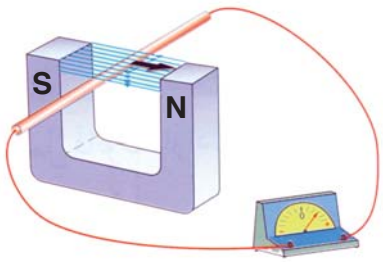


الشكل (٢- ٣١)

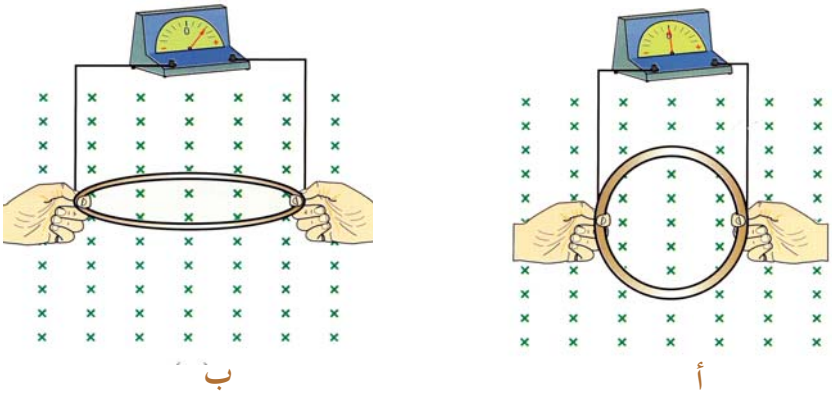
السؤال الثاني: أجب عن الأسئلة التالية :

١- وضح الخطأ الوارد في كل من الشكلين التاليين:





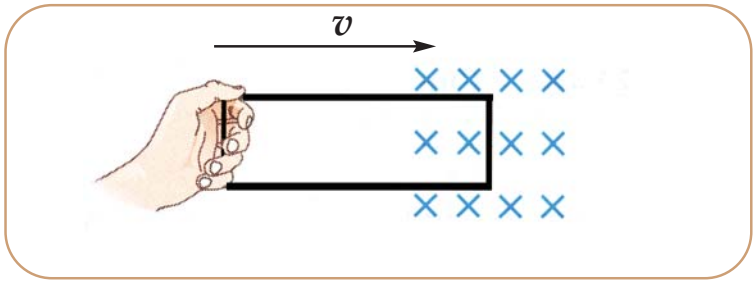
٢- ملف دائري يتصل بجلفانومتر وضع في مجال مغناطيسي كما هو موضح في الشكل (٢- ٣٢)، فسر سبب انحراف مؤشر الجلفانومتر كما في الشكل (٢- ٣٢ب).



الشكل (٢- ٣٢)

٣- اشرح كيف يوضح قانون لنز مبدأ حفظ الطاقة.

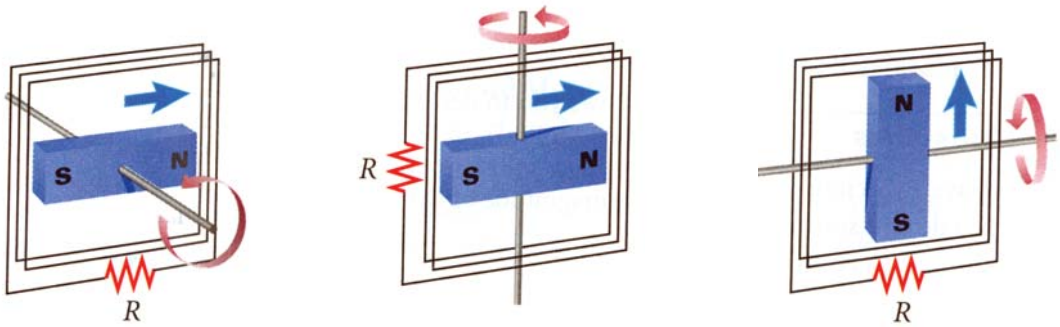
٤- الملف المستطيل في الشكل(٢- ٣٣) يُدفع إلى داخل مجال مغناطيسي يتجه إلى الداخل، في أي اتجاه سيكون التيار التأثيري؟



الشكل (٢- ٣٣)

٥- وضع قضيبان مغناطيسيان متماثلان بجانب بعضهما بعضا بحيث إن القطب الشمالي لأحدهما بجانب القطب الجنوبي للآخر. إذا دُفع المغناطيسان باتجاه ملف متصل بجلفانومتر فهل تتوقع أن ينحرف مؤشر الجلفانومتر؟ فسر إجابتك.

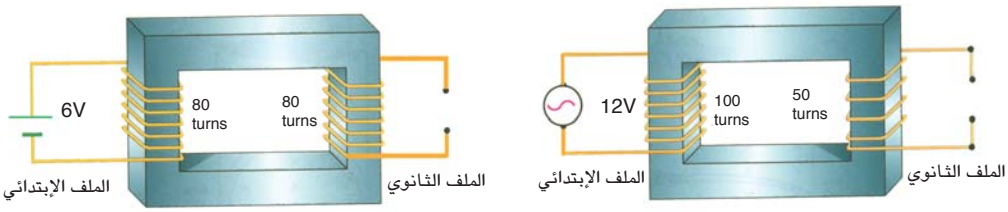
٦- وضع مغناطيس بشكل عمودي على محور دوراني، ثم وضع المغناطيس في مركز ملف. في أي من الأوضاع الموضحة في الشكل (٢- ٣٤) يمكن استخدام هذه الأداة كمولد كهربائي؟ وضح إجابتك.



(أ) (ب) (ج)

الشكل (٢- ٣٤)

٧- يوضح الشكل (٢- ٣٥) محولين كهربائيين، معتمدًا على البيانات الموضحة على الشكل، احسب فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الملف الثانوي، واذكر نوع كل محول:

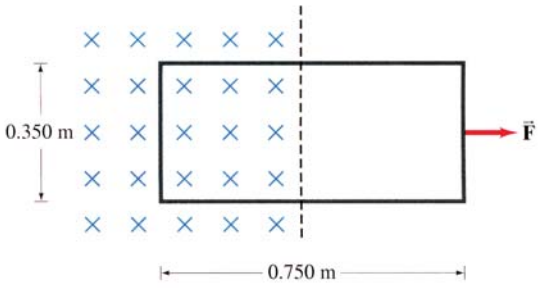


الشكل (٢- ٣٥)

السؤال الثالث: أجب عن الأسئلة الآتية:

١- يتغير الفيض المغناطيسي في ملف مكون من لفتين من سلك من *50Wb-* إلى *38 Wb* خلال *0.42 s*، ما قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف؟

٢- ملف مستطيل مكون من لفة واحدة أبعاده موضحة في الشكل (٢- ٣٦)، وضع جزء منه في منطقة مجال مغناطيسي منتظم شدته ***0.55 T*** ، فإذا كانت المقاومة الكلية للملف تساوي ***0.23Ω*** فاحسب القوة اللازمة لتحريك الملف من المجال المغناطيسي (إلى اليمين) بسرعة ثابتة مقدارها ***3.4 m/s*** (بإهمال الجاذبية).



الشكل (٢- ٣٦)

٣- محول مثالي خافض للجهد يعمل على فرق للجهد للملف الابتدائي *240 V* فإذا كانت النسبة بين عدد لفات الملف الثانوي إلى الملف الابتدائي ($N_s : N_p$) هي *(1:4)* وشدة التيار في الملف الابتدائي *2A* فأوجد:

أ- فرق الجهد بين طرفي الملف الثانوي.

ب- شدة التيار في الملف الثانوي.

ج- القدرة الكهربائية الناتجة.

٤- إذا كان جهاز تشغيل الأقراص المدمجة يحتاج إلى *22 V* ليعمل، ويمكن استخدام محول كهربائي لتشغيل الجهاز على تيار المنزل بجهد *220 V* ، وكان عدد لفات الملف الابتدائي للمحول *500* لفة، فكم يكون عدد لفات الملف الثانوي؟

٥- تم نقل قدرة كهربائية مقدارها *100 kW* بين طرفي مدينة ما داخل زوج من خطوط النقل باستخدام جهد مقداره *12000 V* :

أ- أوجد شدة التيار المار في كل من خطي النقل.

ب- إذا كانت مقاومة أي من خطي النقل *10Ω* فما التغير الحادث للجهد عند نهاية كل من خطي النقل؟

ج- ما مقدار القدرة المفقودة على شكل حرارة داخل خطي النقل؟

د- وضح أهمية رفع الجهد باستخدام المحولات قبل نقل القدرة الكهربائية داخل خطوط النقل عبر مسافات طويلة.

الوحدة الثانية

الموجات الميكانيكية والصوت
Mechanical Waves and Sound

الفصل الثالث:	الموجات الميكانيكية *Mechanical Waves*
الفصل الرابع:	الصوت *The Sound*

المقدمة

الاهتزاز أو الحركة المتذبذبة من الظواهر التي نراها أو نشعر بها في حياتنا اليومية، كاهتزاز بندول الساعة أو اهتزاز السيارة في أثناء الحركة.

والاهتزاز هو أحد أشكال طاقة الحركة الميكانيكية التي يمكن أن تنتقل خلال الوسط على شكل موجة ميكانيكية من الجسم المهتز إلى الهواء كموجات الصوت مثلاً.

ومن أشكال الموجات الميكانيكية في الطبيعة الموجات المائية كتلك التي نراها على شاطىء البحر. وفي هذه الوحدة سوف تتعرف المفهوم العلمي للموجات الميكانيكية، وستدرس بعضًا من خصائصها وأحد أنواعها وهي الموجات الصوتية مع ما يرافق ذلك من ظواهر علمية. وسوف ندعم ذلك بالعديد من التطبيقات الميكانيكية التي تظهر وتوضح هذه الظواهر الموجية كالانعكاس والانكسار والرنين الصوتي وظاهرة دوبلر.

وفي هذه الوحدة سوف تجيب عن التساؤلات التي ربما تتبادر إلى ذهنك يومًا ما مثل:

١. لماذا لا ينتقل الطائر الرابض في بحيرة ما من مكانه مع حركة الموجة ؟

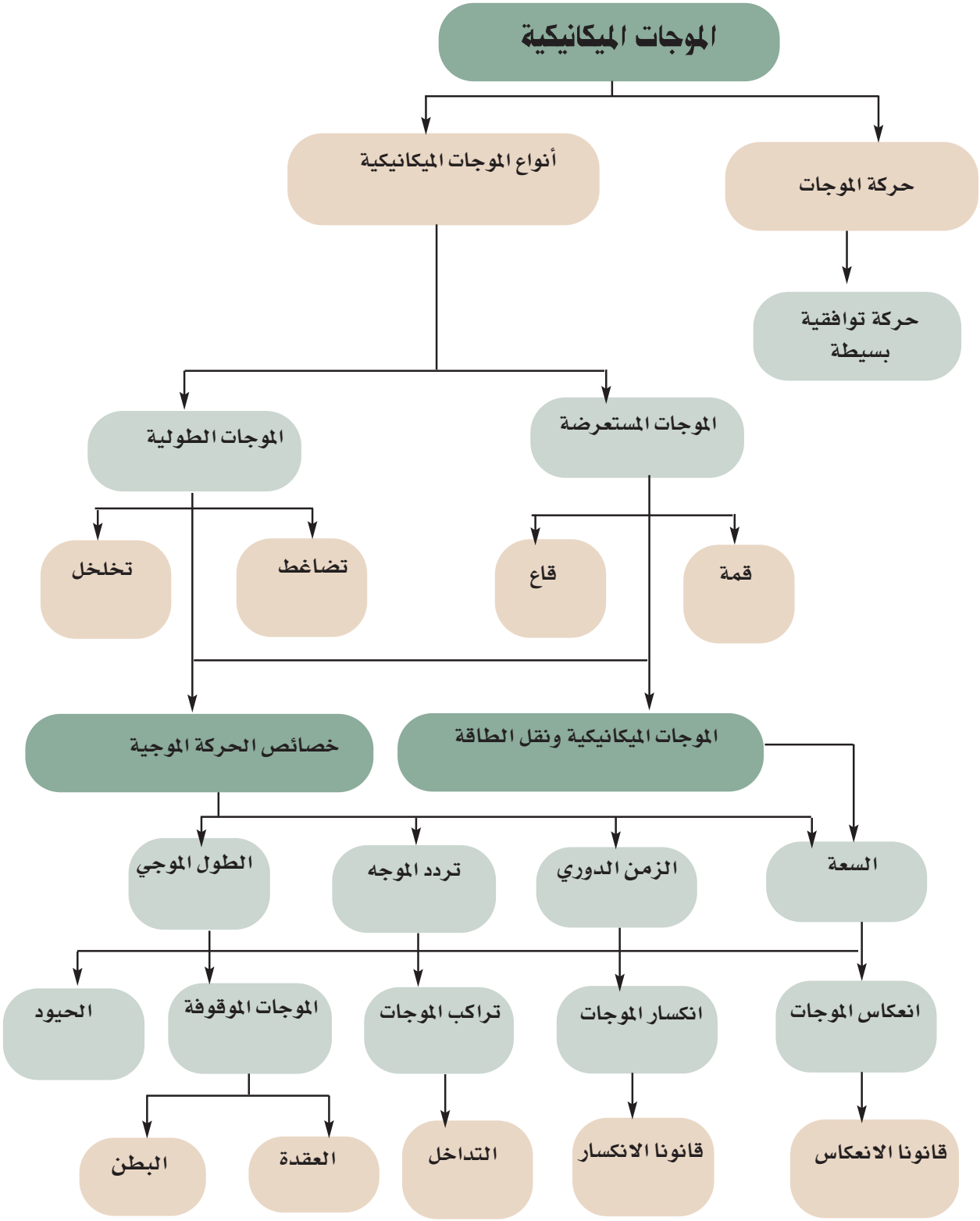
٢. ما سبب تمييزنا بين الأصوات المختلفة إذا تحدث أكثر من شخص واحد في نفس الوقت ؟

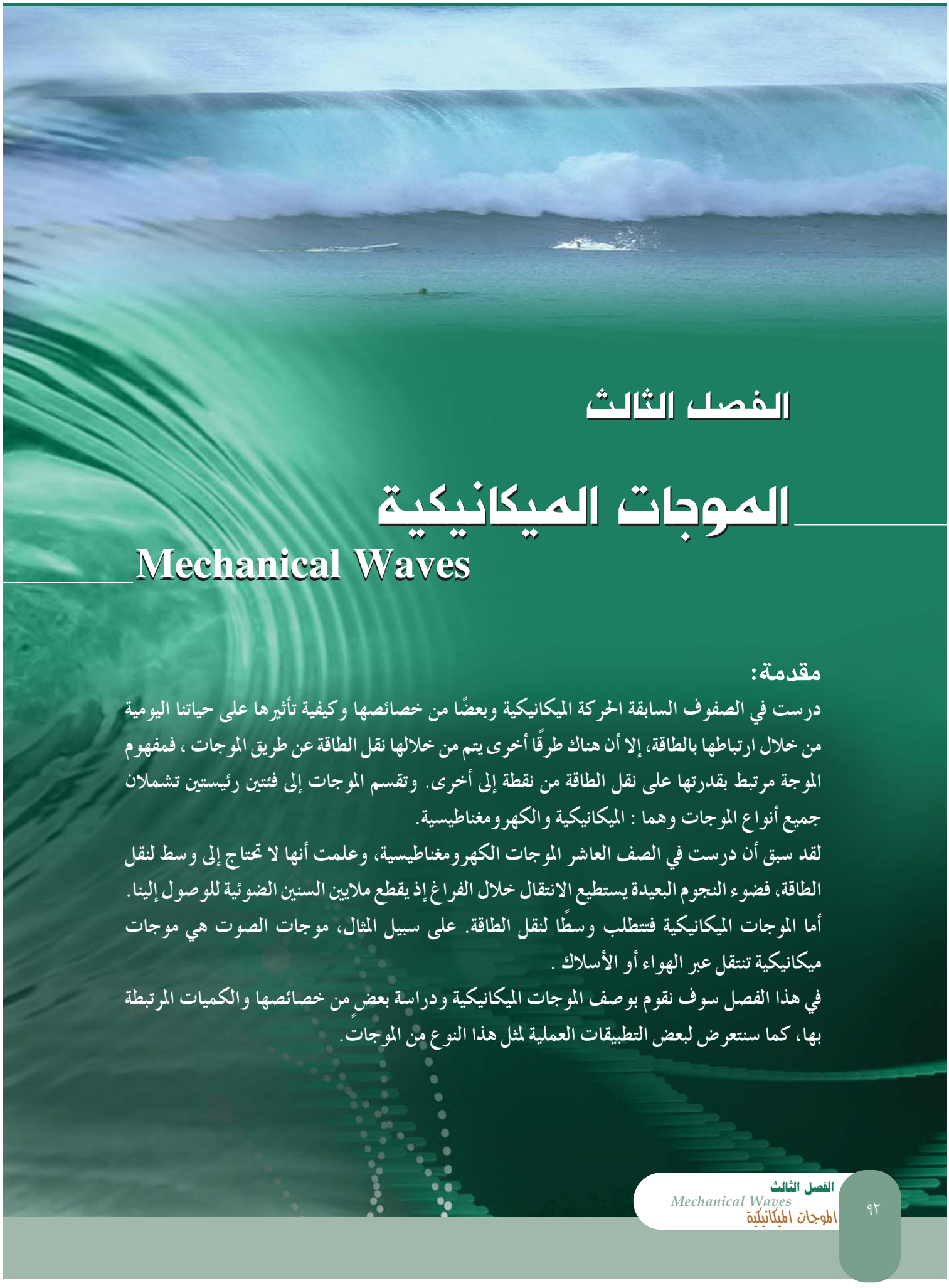
٣. لماذا يكون صوت الجرس اليدوي الصغير أكثر حدة من الجرس اليدوي الكبير ؟

٤. كيف يتولد صوت نحلة العسل عند اقترابها من الأزهار ؟

خارطة مفاهيم

الفصل الثالث


الموجات الميكانيكية
حركة الموجات
أنواع الموجات الميكانيكية
حركة توافقية بسيطة
الموجات المستعرضة
الموجات الطولية
قمة
قاع
تضاغط
تخلخل
الموجات الميكانيكية ونقل الطاقة
خصائص الحركة الموجية
السعة
الزمن الدوري
تردد الموجه
الطول الموجي
انعكاس الموجات
انكسار الموجات
تراكب الموجات
الموجات الموقوفة
الحيود
قانونا الانعكاس
قانونا الانكسار
التداخل
العقدة
البطن



الفصل الثالث

الموجات الميكانيكية
Mechanical Waves

مقدمة:

درست في الصفوف السابقة الحركة الميكانيكية وبعضًا من خصائصها وكيفية تأثيرها على حياتنا اليومية من خلال ارتباطها بالطاقة، إلا أن هناك طرقًا أخرى يتم من خلالها نقل الطاقة عن طريق الموجات ، فمفهوم الموجة مرتبط بقدرتها على نقل الطاقة من نقطة إلى أخرى. وتقسم الموجات إلى فئتين رئيستين تشملان جميع أنواع الموجات وهما : الميكانيكية والكهرومغناطيسية.

لقد سبق أن درست في الصف العاشر الموجات الكهرومغناطيسية، وعلمت أنها لا تحتاج إلى وسط لنقل الطاقة، فضوء النجوم البعيدة يستطيع الانتقال خلال الفراغ إذ يقطع ملايين السنين الضوئية للوصول إلينا. أما الموجات الميكانيكية فتتطلب وسطًا لنقل الطاقة. على سبيل المثال، موجات الصوت هي موجات ميكانيكية تنتقل عبر الهواء أو الأسلاك .

في هذا الفصل سوف نقوم بوصف الموجات الميكانيكية ودراسة بعضٍ من خصائصها والكميات المرتبطة بها، كما سنتعرض لبعض التطبيقات العملية لمثل هذا النوع من الموجات.

الوحدة الثانية
الموجات الميكانيكية والصوت
Mechanical Waves and Sound

الموضوعات الرئيسة

٣ – ١ حركة الموجات.

٣ – ٢ أنواع الموجات.

٣ – ٣ خصائص الحركة الموجية.

٣ – ٤ الموجات الميكانيكية ونقل الطاقة.

٣ – ٥ انعكاس الموجات.

٣ – ٦ انكسار الموجات.

٣ – ٧ التداخل.

٣ – ٨ الموجات الموقوفة.

٣– ٩ الحيود.

المصطلحات العلمية الجديدة

– تراكب الموجات *superposition of Waves*

– التداخل *Interference*

– الموجات الموقوفة *Standing Waves*

الاستكشافات

الاستكشاف(١): انتشار الموجات الميكانيكية.

الاستكشاف(٢): انعكاس الموجات المائية.

الاستكشاف(٣): تداخل الموجات المائية.

الاستكشاف(٤): حيود الموجات.

٣-١ حركة الموجات Movement of Waves

من أبسط الطرق لتوضيح حركة الموجات تحريك الطرف الحر لحبل مثبت من أحد طرفيه إلى أعلى وإلى أسفل، كما هو مبين في الشكل (٣ -١ أ)، حيث تتولد نبضة (اضطراب) تتحرك بسرعة محددة إلى الطرف المثبت من الحبل.

وإذا استمر تحريك الحبل بشكل منتظم فإن سيلاً من النبضات (الاضطرابات) سوف يتولَّد و يتحرك من الطرف الحر للحبل إلى الطرف الآخر الشكل (٣ -١ب).

كما ستلاحظ أن جزيئات الحبل (الوسط) لا تنتقل من مكانها وإنما تهتز في نفس موقعها إلى أعلى وإلى أسفل بانتظام، أي تتحرك حركة دورية، وتسمى الموجات الناتجة عن هذه الحركة بـ " الموجات الميكانيكية "، وتعرف بأنها:

الشكل(٣-١أ)

الشكل(٣-١ب)

تلك الموجات التي تحتاج إلى وسط ناقل لينتقل عبره الاضطراب، وتكون قادرة على حمل الطاقة دون نقل للمادة .

ولإيجاد العلاقة بين حركة انتشار الموجة والحركة الدورية لجزيئات الوسط سوف نقوم بالاستكشاف التالي:

الاستكشاف (١): انتشار الموجات الميكانيكية.

سؤال علمي: كيف تنتشر الموجات الميكانيكية في وسط ما ؟

المواد والأدوات : حوض زجاجي، قطعة صغيرة من الفلين، ماء.

معلومة تهمك

النوع الوحيد من الموجات غير الميكانيكية في الطبيعة هو الموجات الكهرومغناطيسية .

الإجراءات :

١. املأ الحوض الزجاجي بالماء.

٢. ضع قطعة الفلين في وسط الحوض.

٣. احدث موجة داخل الحوض ولاحظ حركة انتشارها.

٤. لاحظ حركة قطعة الفلين.

التحليل والتفسير :

١. كيف تنتشر الموجة في الوسط ؟

٢. كيف تتحرك قطعة الفلين في الوسط؟

إن حركة جزيئات الوسط (كالماء) هي حركة توافقيه بسيطة تشبه حركة الكتلة المرتبطة بنابض والتي تتذبذب جيئةً وذهاباً حول موضع الاتزان، حيث تتناسب قوة الإرجاع طرديًا مع الإزاحة، وهو ما يعرف بقانون هوك.

اختبر فهمك (١):

صف المقصود بقولنا '' إن الموجات الميكانيكية هي حركة جسيمات وسط تتحرك حركة توافقية بسيطة''.

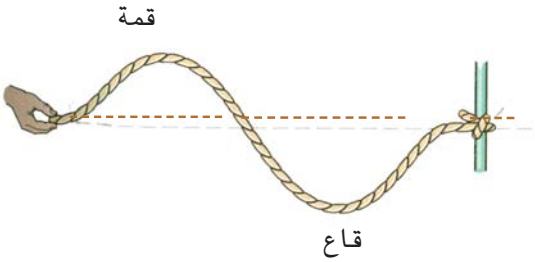
٣ - ٢ أنواع الموجات الميكانيكية *Types of mechanical waves*

تنقسم الموجات الميكانيكية إلى نوعين رئيسين هما:

* الموجات المستعرضة *Transverse Waves*:

وهي الموجات التي يكون فيها اتجاه حركة جزيئات الوسط عموديًا على اتجاه انتشار الموجة.

ومن الأمثلة عليها تلك الموجات التي تظهر على حبل مهتز كما بالشكل(٣-٢أ). وتظهر الاهتزازات في هذا النوع من الموجات على شكل قمم وقيعان.



الشكل(٣-٢أ)

انتشار موجة مستعرضة على حبل مهتز

وتعرف القمة *crest* : بأنها أعلى نقطة تصلها الموجة أعلى موضع الاتزان.

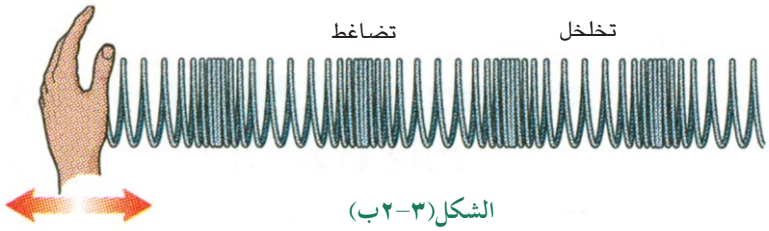
ويعرف القـاع *trough* : بأنه أدنى نقطة تصلها الموجة أسفل موضع الاتزان.

ويقصد بموضع الاتزان هنا ذلك الموضع الذي تساوي فيه محصلة القوى المؤثرة على الجسم صفرًا.

* الموجات الطولية *Longitudinal waves* :

وهي الموجات التي يكون فيها اتجاه حركة جزيئات الوسط موازيًا لاتجاه انتشار الموجة.

وتظهر الاهتزازات في هذا النوع من الموجات على شكل تضاغطات وتخلخلات، ومن الأمثلة على الموجات الطولية الموجات المتولدة في الزنبرك انضغاطًا وانبساطًا كما هوموضح في الشكل(**٣-٢ب**)، والموجات الصوتية في وسط ما.



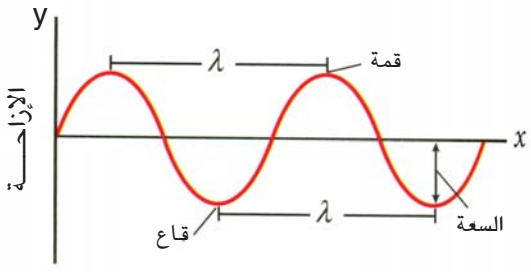
الشكل(٣-٢ب)

انتشار نبضة على شكل موجة طولية عند طرق زنبرك أفقيًّا إلى الداخل وإلى الخارج

٣-٣ : خصائص الحركة الموجية *Characteristics Of Wave Movement*

يوضح الشكل (٣-٣) حركة موجات مستعرضة متولدة على حبل. يُلاحظ أن هذه الحركة عبارة عن حركة دورية أي أنها تتولد بشكل دوري خلال الوسط.ولدراسة هذه الحركة فإننا نأخذ في الاعتبار عددًا من الخصائص يمكن أن توصف من خلالها. الشكل (٣-٤) يوضح بعضًا من هذه الخصائص التي يمكن أن نوجزها كالتالي:

الشكل(٣-٣)



الشكل(٣ – ٤)

الطول الموجي (λ) *wavelength* : المسافة التي تقطعها الموجة الكاملة خلال الاهتزازة الواحدة على طول اتجاه انتشار الموجة.
أو هو : المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين.

تردد الموجة (*f*) *frequency* : عدد الموجات الميكانيكية التي يحدثها المصدر في وحدة الزمن، ويقاس بوحدة الهيرتز (*Hz*)، حيث أن واحد هيرتز يعني أن موجة واحدة تولدت في الثانية الواحدة.

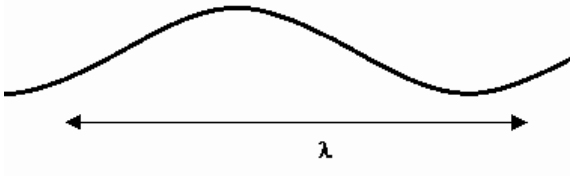
الزمن الدوري (*T*) *period* :الزمن اللازم لعمل اهتزازة واحدة كاملة، ويمكن أن يعرف أيضًا بأنه الزمن الذي تستغرقه موجة كاملة (طولها الموجي λ) لتخطِّي نقطة معينة.

السعة *(A) amplitude* : أكبر إزاحة تصل إليها الموجة بعيدًا عن موقع الاتزان.

وتنتشر الموجات في الوسط المحيط بالمصدر، وتُعرف سرعة انتشارها بأنها: المسافة التي تقطعها الموجة في وحدة الزمن،

أي أن:

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



الشكل(٣ – ٥أ)

فإذا ما تحركت موجة مسافة مقدارها طول موجي واحد في زمن دوري مقداره T ، كما في الشكل (٣–٥ أ) فإن سرعة الموجة يمكن التعبير عنها بالعلاقة:

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

وكما درست في الصف الحادي عشر فإن العلاقة بين الزمن الدوري (T)، والتردد (f) يمكن تمثيلها بالعلاقة:

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

أي أن :

$$v = \lambda f \qquad (٣ - ١)$$

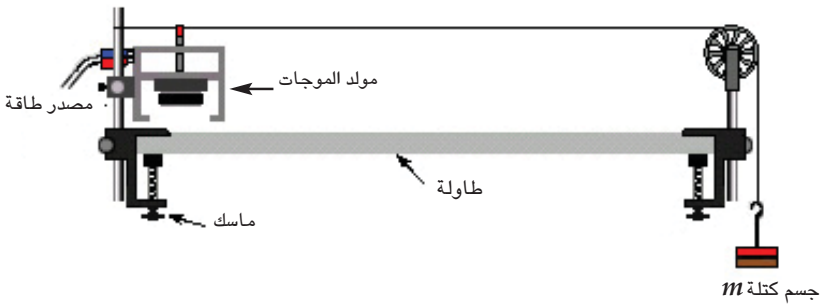
وتنطبق هذه المعادلة على أي موجة ميكانيكية.

وطبقًا للمعادلة (٣ – ١) فإن أي زيادة في التردد يُرافقها نُقصان في الطول الموجي والعكس صحيح ، وذلك حتى تبقى السرعة ثابتة، لأن سرعة الموجة ثابتة في الوسط الواحد طالما لم يحدث أي تغير في خصائص الوسط (مثل تغير درجة الحرارة)، وتختلف سرعة الموجة بانتقالها من وسط إلى آخر وذلك لاختلاف خصائص الوسط.

فمثلا ، عند العزف على آلات موسيقية مختلفة فإن الموجات الصوتية الصادرة من تلك الآلات تصل إلى أذنك في نفس اللحظة، حتى وإن اختلفت الترددات والأطوال الموجية للموجات الصوتية الصادرة من آلة إلى أخرى.

وعند انتقال موجة ميكانيكية على حبل مشدود كما في الشكل (٣–٥ ب)، فإن سرعة انتشارها (v) يمكن أيضا أن تعطى بعلاقة بسيطة وهي:

$$v = \sqrt{\frac{T_f}{\mu}}$$



الشكل(٣ – ٥ب)

حيث: T_f هي قوة الشد في الحبل ، μ كتلة وحدة الأطوال أي

$$\mu = \frac{m}{l}$$

مثال (١) :

لنفترض أن موجة مائية قادمة نحو الشاطئ بسرعة مقدارها **1.5 m/s** وطولها الموجي **2 m** .ما مقدار تردد هذه الموجة؟

الحـــل :

بما أن سرعة الموجة $v = 1.5\ m/s$ ، وطولها الموجي $\lambda = 2\ m$

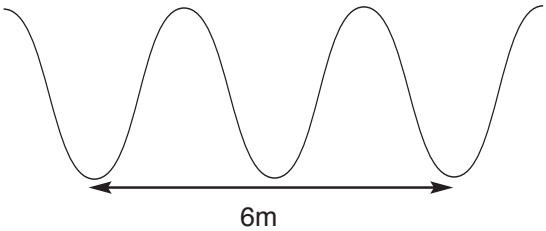
من المعادلة (٣ – ١)

$$v = \lambda f$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1.5}{2} = 0.75\ s^{-1} = 0.75\ Hz$$

مثال (٢) :

تتحرك موجة على حبل خلال زمن مقداره (**t**) كما هو مبين في الشكل(٣ – ٦). ما الطول الموجي لهذه الموجة؟ وإذا كان التردد **4 Hz** ، فما سرعة الموجة؟



الشكل(٣ – ٦)

الحـــل :

يمثل السهم المسافة بين ثلاثة قيعان متتالية، أي الطول الموجي لموجتين،أي أن :

$$2\lambda = 6m$$

وحيث إن λ هي المسافة بين قاعين متتاليين

$$\therefore \lambda = 3\ m$$

$$v = \lambda f = (3)(4) = 12\ m/s$$

اختبر فهمك (٢):

١. إذا هززت طرف حبل صعودًا ونزولاً ثلاث مرات كل ثانية ، فما قيمة كل من:

أ – الزمن الدوري للموجات التي تشكلت على الحبل ؟

ب– التردد؟

٢. عند مضاعفة التردد لموجة متكونة على خيط ماذا يحدث لكل من :

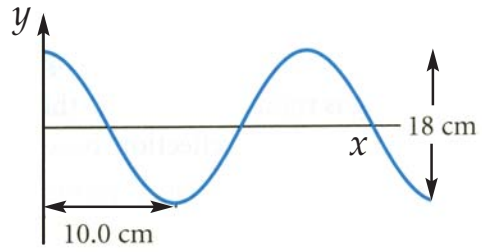
أ – الطول الموجي؟

ب– سرعة الموجة؟

٣. تتحرك موجة في الاتجاه الموجب للمحور (x) بتردد مقداره $25\ Hz$ كما هو مبين في الشكل (٣-٧) . أوجد القيم التالية لهذه الموجة:

أ.السعة.　　ب. الطول الموجي.

ج. الزمن الدوري.　　د. السرعة.



الشكل(٣ – ٧)

٣ - ٤ الموجات الميكانيكية ونقل الطاقة *Mechanical Wave and the Transfer of Energy*

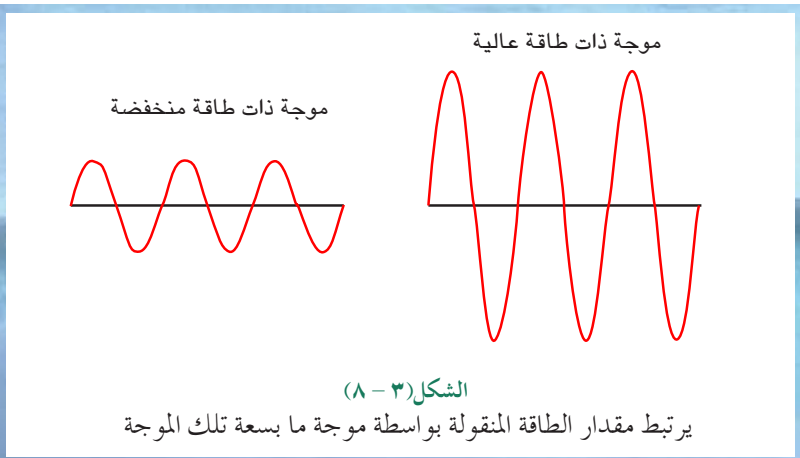
عندما نسقط حجرًا في بركة ماء تتشكل موجات على سطح الماء وتكتسب جزيئاته قدرًا معينًا من الطاقة نتيجة حركتها، وبما أن الموجة تنتشر إلى أجزاء مختلفة من البركة فإن الطاقة كذلك تنتشر عبر البركة. وهكذا فإن الموجات المتكونة تعمل على نقل الطاقة من مكان إلى آخر في البركة، في حين إن جزيئات الماء تظل ثابتة في نفس موقعها، أي أن الطاقة تستطيع أن تنتقل عن طريق اهتزاز جزيئات الوسط.

إن مقدار الطاقة التي تحملها موجة ما مرتبط باتساع الموجة، فموجة ذات طاقة عالية تتميز بسعة عالية ؛ وموجة ذات طاقة منخفضة تكون منخفضة السعة. وكما نوقش سابقاً فإن سعة الموجة تشير إلى أكبر إزاحة ممكنة للجسيم داخل الوسط من موضع الاتزان.

ويمكن توضيح العلاقة بين الطاقة والسعة كالتالي : إذا شُدَّ زنبرك في اتجاه أفقي للأمام والخلف فسرت خلاله نبضة فإن مقدار الإزاحة يعتمد على القوة التي يبذلها الشخص لتحريك جزيئات الوسط بعيدًا عن موضع اتزانها، فالموجة الأكثر طاقة هي تلك التي بُذل في توليدها شغل أكبر حيث ($W=F.\ d$) ، فزيادة الشغل تعني إزاحة أكبر للجزيئات، أي سعة أكبر، وبالتالي فإن الطاقة التي تُنقل بواسطة موجة ميكانيكية لا تتأثر بالطول الموجي أو التردد أو سرعة الموجة، ولكنها تتأثر بسعة تلك الموجة، كما هو موضح في الشكل(٣ – ٨).

معلومة تهمك

موجات تسونامي موجات ميكانيكية انتقلت عبر المياه ناقلة الطاقة من موقع الزلزال إلى الشواطئ البعيدة، وكذلك بالنسبة إلى الأعاصير فإن الموجات الحاملة للطاقة تنتقل عبر الماء من مركز الإعصار لتضرب شواطئ تبعد عنه مئات الكيلومترات.



الشكل(٣ – ٨)
يرتبط مقدار الطاقة المنقولة بواسطة موجة ما بسعة تلك الموجة

إن الطاقة (E) المنقولة بواسطة موجة ميكانيكية تتناسب طرديًّا مع مربع سعة الموجة (A^2) ،

أي أن $E \alpha A^2$

فمثلاً، إذا فرضنا أن ثابت التناسب بين E و A^2 يساوي الواحد الصحيح، وكانت سعة معينة تعطي $1\ J$، وإذا أصبحت السعة ضعفًا فإن الطاقة المحمولة تصبح $2^2 \times 1 = 4\ J$ ، وإذا أصبحت السعة 3 أضعاف فإن الطاقة المحمولة تصبح $3^2 \times 1 = 9\ J$ ، وهكذا.

إن هذا ينطبق على مختلف الموجات الميكانيكية كتلك التي تتولد بواسطة الزنبرك أو البندول البسيط وغيرها، إلا أن سعة الموجة تتقلص تدريجيا مع مرور الوقت و تتبدد طاقتها، وهو ما يعرف بـ " المضاءلة" ***damping***.

وهذا يدلنا على أن المعادلة $E \alpha A^2$ لا تنطبق كمقدار إلا على المسافات القصيرة نسبيا.

اختبر فهمك (٣):

١. تتحرك موجتان خلال حاوية لغاز خامل. الموجة A سعتها $1\ cm$ والموجة B سعتها $2\ cm$. الطاقة المنقولة عن طريق الموجة B مقارنة بالطاقة المنقولة عن طريق الموجة A يجب أن تكون:

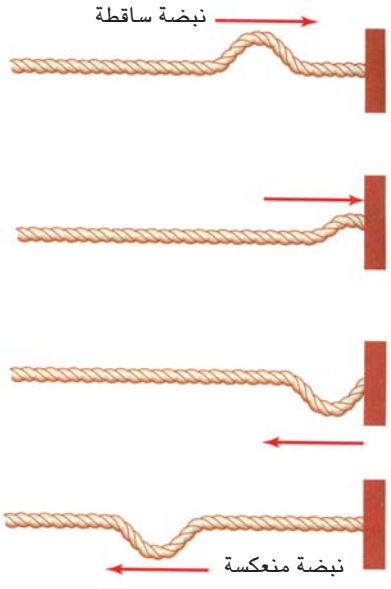
أ. ربعها　　ب. نصفها　　ج. ضعفها　　د. أربعة أضعافها

٣ - ٥ انعكاس الموجات *Reflection Of Waves*

إن الموجات التي تحدثنا عنها حتى الآن هي موجات مسافرة، أي تلك التي تتحرك دون عائق، ودون أن تصطدم بأي شيء من شأنه أن يوقفها أو يغير من حركتها. والسؤال هو : ماذا يحدث لحركة الموجة عندما تصطدم بحاجز؟

عندما تتحرك نبضة على حبل فإن كل نقطة على الحبل ستتحرك إلى الأعلى ثم تعود إلى موقعها.

لنفرض الآن أن النبضة المسافرة على الحبل اصطدمت بحاجز ثابت كما في الشكل (٣-٩).



الشكل(٣ – ٩)

عندما تصل النبضة إلى الحاجز فإن الحبل يؤثر بقوة على الحاجز (قوة الفعل) ، كما يؤثر الحاجز بدوره أيضًا بقوة رد الفعل على الحبل، تكون مساوية ومعاكسة في الاتجاه لقوة الفعل (قانون نيوتن الثالث)، وهو ما يؤدي إلى انعكاس الموجة .

الاستكشاف (٢) : انعكاس الموجات المائية.

سؤال علمي: ماذا يحدث لحركة الموجة عندما تصطدم بحاجز؟

المواد والأدوات : حوض الموجات المائية، حاجز مستقيم، ورقة بيضاء، دبوس، مسطرة (عدد ٢).

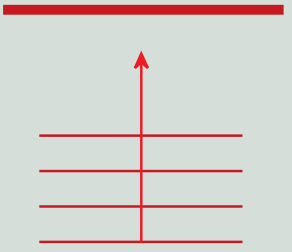
الإجراءات :

١. هيئ حوض الموجات المائية للعمل.

٢. ضع حاجزًا مستقيمًا صلبًا في منتصف حوض الموجات المائية.

٣. ولِّد موجة دائرية بلمس سطح الماء بطرف الدبوس المدبب. راقب سقوط الموجة على الحاجز وسجل ملاحظاتك.

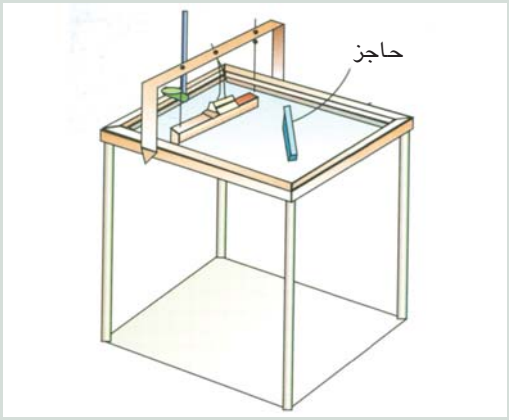
٤. انتظر حتى يهدأ سطح الماء ومن ثم قم بتوليد موجات مستقيمة داخل الحوض، وذلك بلمس سطح الماء بحافة المسطرة عدة مرات متتالية (**الشكل ٣ – ١٠**) .



الشكل (٣ – ١٠)

٥. راقب ما يحدث لهذه الموجات عندما تصطدم بالحاجز المستقيم وسجل ملاحظاتك.

٦. غير وضع الحاجز بحيث يصنع زاوية مع اتجاه انتشار الموجات وسجل ملاحظاتك. (**الشكل ٣ – ١١أ**).



الشكل (٣ – ١١أ)

٧. ضع الورقة البيضاء أسفل الحوض بحيث تظهر عليها حركة الموجات الناتجة داخل حوض الموجات.

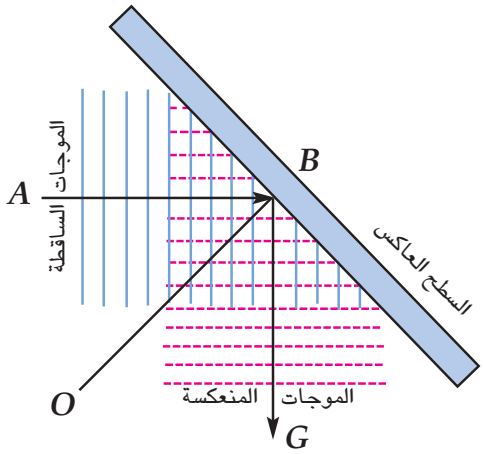
٨. ارسم خطًّا يمثل الحاجز.

٩. حرك مسطرة على الورقة بحيث تنطبق حافتها على إحدى الموجات الساقطة، وارسم خطًّا يمثل مسار تلك الموجة نحو الحاجز *(AB)*.

١٠–ارسم عمودًا على السطح العاكس من نقطة السقوط.

١١– بنفس الطريقة في الخطوة (٩) ارسم خطًّا يمثل الموجات المنعكسة *(BG)*.

١٢– قس الزاوية *(ABO)* والزاوية *(GBO)* ثم دون نتائجك، الشكل(٣ – ١١ب) يمثل نـاتج خطوات هذا الاستكشاف.



الشكل(٣ – ١١ب)

التحـليل والتفسـير :

١– ما شكل الموجات المرتدة من اصطدام موجات دائرية بحاجز مستقيم ؟

٢– ما شكل الموجات المرتدة من اصطدام موجات مستقيمة تسقط عموديًّا على حاجز مادي ؟

٣– ما شكل الموجات المرتدة من اصطدام موجات مستقيمة تسقط بزاوية على حاجز مادي ؟

٤– ما العلاقة بين الزاوية *(ABO)* والزاوية *(GBO)* ؟

تعرف الزاوية المحصورة بين اتجاه الموجات الساقطة والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس بـ "زاوية السقوط ***incident angle*** " .

كما تعرف الزاوية المحصورة بين اتجاه الموجات المنعكسة والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس بـ " زاوية الانعكاس ***reflective angle*** " .

وبالرجوع إلى نتائج الاستكشاف السابق نجد أن :

زارية السقوط θ_i = زاوية الانعكاس θ_r

ويُعرف هذا القانون بـ " القانون الأول للانعكاس *first law of reflection* "

ومن الملاحظ أيضًا أن :

الموجات الساقطة والموجات المنعكسة والعمود المقام من نقطة السقوط على السطح العاكس كلها تقع في مستوى واحد عمودي على السطح العاكس.

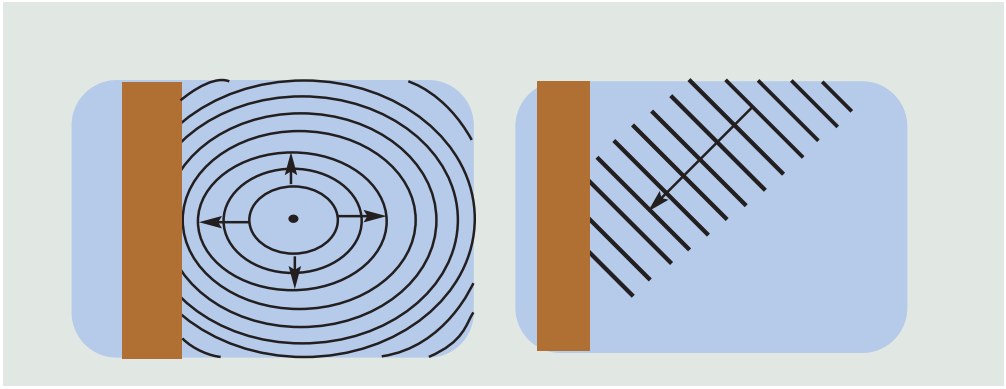
ويمثل هذا نص " القانون الثاني للانعكاس *second law of reflection* "

اختبر فهمك (٤):

١. وضح مدى إمكانية تطبيق قانوني الانعكاس إذا كان السطح العاكس غير منتظم.

٢. قارن بين ظاهرة الصدى وانعكاس الموجات الميكانيكية.

٣. الشكل(٣ - ١٢) يوضح أمواجًا ميكانيكية ساقطة على أسطح مستوية، ارسم الموجة المنعكسة مبينًا اتجاهها في كل حالة.

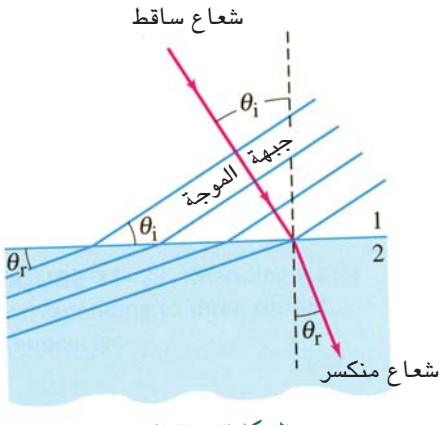


(أ) (ب)

الشكل(٣ - ١٢)

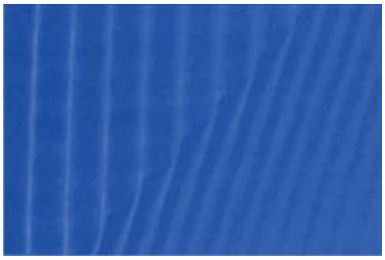
٣ - ٦ انكسار الموجات *Refraction Of Waves*

عند اصطدام أي موجة بحاجز ما فإن بعضًا من طاقتها ينعكس وبعضًا منها ينفذ أو يتم امتصاصه، ولقد لوحظ من خلال العديد من التجارب انحراف الموجات عن مسارها عند انتقالها من وسط إلى وسط آخر مختلف في الكثافة، كما هو مبين في الشكل (٣ - ١٣)، وذلك بسبب اختلاف سرعتها في الوسطين، وتعرف هذه الظاهرة بـ " **الانكسار**".



الشكل(٣ - ١٣)

إن أحد الأمثلة على هذه الظاهرة هو ما يحدث في الموجات المائية؛ إذ تنخفض سرعتها نتيجة انتقالها من المياه العميقة إلى المياه الضحلة وتنكسر كما هو موضح بالشكل (٣-١٤).

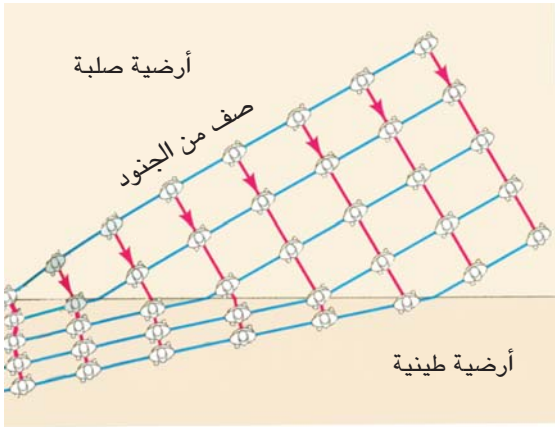

الشكل(٣ - ١٤)

ولتفسير ذلك نحلل ما يحدث في الشكل (٣ - ١٣). إن سرعة الموجة في الوسط 2 أقل من سرعتها في الوسط 1. وفي هذه الحالة. نلاحظ انحراف اتجاه الموجة أو تحركها مقتربة من العمود المقام على الحد الفاصل بين الطرفين.

وتعرف الزاوية المحصورة بين اتجاه الموجات المنكسرة والعمود المقام على الحد الفاصل بـ " زاوية الانكسار *refractive angle*"

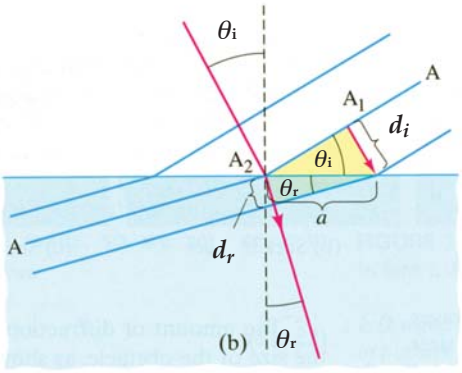
ويرمز لها بالرمز (θ_r)، وتكون في هذه الحالة أقل من زاوية السقوط (θ_i).

ولتفسير ظاهرة الانكسار واستنتاج العلاقة الرياضية بين زاوية السقوط وزاوية الانكسار، دعونا نتخيل أن كل جبهة موجة كأنها صف من الجنود يسيرون في أرضية صلبة (الوسط1) ثم ينتقلون إلى أرض طينية (الوسط 2) كما يوضحه الشكل(٣-١٥)، وبالتالي تتباطأ حركتهم.



الشكل(٣ - ١٥)

إن الجنود الذين يصلون إلى الطين أولاً تتباطأ حركتهم أكثر وبالتالي ينحني الصف كما هو مبين في الشكل(٣-١٥)، نعتبر جبهة الموجة هي A كما يوضحها الشكل(٣-١٦)، فإذا تحرك الجزء A_1 مسافة قدرها $(d_i = v_1 t)$ ، نجد في الوقت نفسه (t) أن الجزء A_2 يتحرك مسافة قدرها $(d_r = v_2 t)$ ، ويشتركان في الضلع a وبالتالي فإن:



الشكل (٣ - ١٦)

$$\sin\theta_i = \frac{d_i}{a} = \frac{v_1 t}{a} \qquad (1)$$

$$\sin\theta_r = \frac{d_r}{a} = \frac{v_2 t}{a} \qquad (2)$$

وبقسمة المعادلتين (1) على (2) نجد أن

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2} = \text{مقدار ثابت} \qquad (٣-٢)$$

وهذا المقدار الثابت يسمى معامل الانكسار النسبي بين الوسطين " *relative refractive index* " ويرمز له بالرمز n_{12} وتعرف النتيجة التي حصلنا عليها بـ " القانون الأول للانكسار "، وينص على:

إن الموجات عندما تنتقل من وسط إلى آخر فإنها تعاني انكسارًا، بحيث إن النسبة بين جيب زاوية السقوط وجيب زاوية الانكسار تساوي مقدارًا ثابتًا يسمى معامل الانكسار النسبي بين الوسطين الأول والثاني.

وتنطبق العلاقة(٣-٢) أيضًا في حالة انتقال الموجة إلى وسط تكون سرعتها فيه أكبر من الوسط الأول. إلا أنه ينبغي أن نلاحظ في هذه الحالة أن $\theta_r > \theta_i$ أي أن الموجات المنكسرة تتحرك مبتعدة عن العمودي على الحد الفاصل.

معلومة تهمك

الموجات الزلزالية يحدث لها عدة إنكسارات داخل الأرض حيث إنها تتحرك خلال صخور مختلفة الكثافة وبالتالي تكون السرعة مختلفة.

أما القانون الثاني للانكسار فينص على أن:

اتجاه الموجات الساقطة واتجاه الموجات المنكسرة والعمود المقام على السطح الفاصل من نقطة السقوط كلها تقع في نفس المستوى عموديًا على السطح الفاصل .

مثال(٣) :

هزة أرضية تُولد موجة تمر عبر حد صخري حيث زادت سرعتها من $6.5\ km/s$ إلى $8.0\ km/s$ ، فإذا سقطت هذه الموجة على الحد الصخري بزاوية قدرها 30^o ، فاحسب زاوية الانكسار.

الحـــل :

$$\sin 30^o = 0.50$$

وبتطبيق المعادلة (٣–٢)

$$\frac{\sin\theta_i}{\sin\theta_r} = \frac{v_1}{v_2}$$

نجد أن:

$$\sin\theta_r = \frac{(8.0)}{(6.5)}(0.50) = 0.62$$

$$\therefore \theta_r = 38^o$$

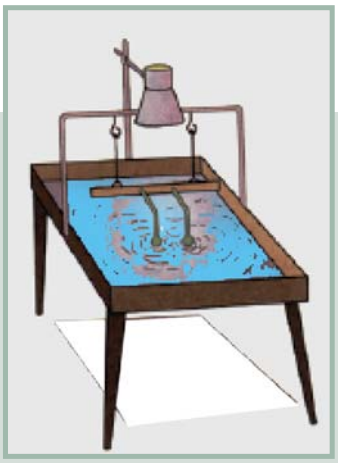
٣ -٧ التداخـــل *Interference*

عندما يصطدم جسمان كسيارتي تصادم في ملاعب الأطفال مثلا، كما هو مبين في الشكل(٣–١٧)، فان كلاً منهما يرتد إلى الوراء في اتجاه مختلف، إذ لا يمكن أن يشغلا الفراغ نفسه في الوقت نفسه، ولذلك فإن الأطفال يضطرون إلى تغيير اتجاه حركتهم. وهذا ينطبق على جميع الأجسام المادية، فأي جسمين ماديين لا يمكن أبداً أن يشغلا الفراغ نفسه في الوقت نفسه.

الشكل(٣ – ١٧)

أما عندما تلتقي موجتان ببعضهما بعضًا فإنهما لا ترتدَّان إلى الوراء، كما يحدث للأجسام المادية، فمثلاً إذا كنت تنصت بتمعن إلى موسيقى صادرة من آلات مختلفة فإنه يمكنك التمييز بين الأصوات المختلفة الصادرة من هذه الآلات، فصوت البوق مختلف عن صوت الناي، حتى وإن عزفا في الوقت نفسه، فالموجات الصوتية الصادرة من الآلتين يمكنها أن تمر في المكان نفسه وفي اللحظة نفسها. ويحدث الشيء نفسه عندما تستمع لعدة أشخاص يتحدثون في الوقت نفسه حيث بإمكانك أن تميز بين صوت هذا وذاك؛ لأن الموجات الميكانيكية ليست كالأجسام المادية. إن عبور الموجات فوق بعضها بعضًا دون أن يطرأ عليها أي تغيير يعرف بـ " **تراكب الموجات** ***Superposition of Waves*** "، ونتيجة لتراكب الموجات هذا تحدث ظاهرة تعرف بـ " **التداخل** ***Interference*** ".

الاستكشاف(٣) : تداخل الموجات المائية.



الشكل(٣ – ١٨)

سؤال علمي: ماذا يحدث عند التقاء قطارين من الموجات يتفقان في التردد والسعة؟

المواد والأدوات : حوض الموجات المائية، مصدران مهتزان متماثلان ، ورقة بيضاء

الإجراءات :

١. هيئ حوض الموجات المائية للعمل.

٢. ضع المصدرين المهتزين المرتبطين بمحرك في الحوض.

٣. أدر المحرك بحيث يهتز المصدران في الوقت نفسه.

٤. راقب ظلال الموجات على الورقة تحت الحوض، (الشكل٣-١٨).

الشكل(٣ – ١٩)

التحليل والتفسير :

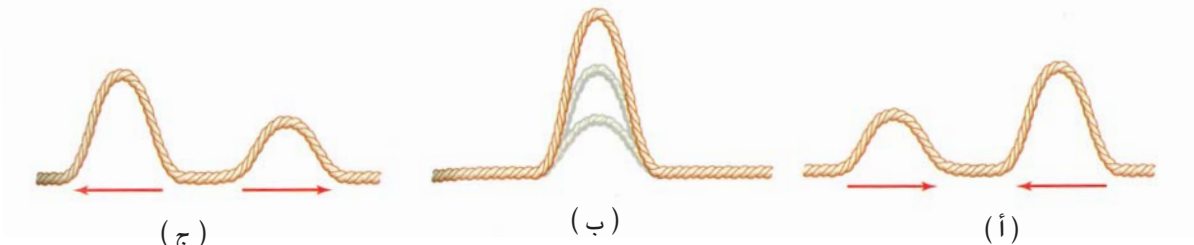
١. ما الخصائص المشتركة للموجات المتولدة من المصدرين؟

٢. ما شكل الموجات الناتجة من التقاء الموجات المتولدة في الحوض؟

يوضح الشكل (٣- ١٩) مجموعتين من الموجات المائية تتحرَّكان إلى الخارج مبتعدتين عن مركزي مصدريهما، لتمران عبر بعضها بعضًا بحيث تزداد شدَّتهما في مناطق معينة وتتناقص في مناطق أخرى ، أي أن هناك نوعين من " التداخل " وهما:

التداخل البناء *Constructive Interference*:

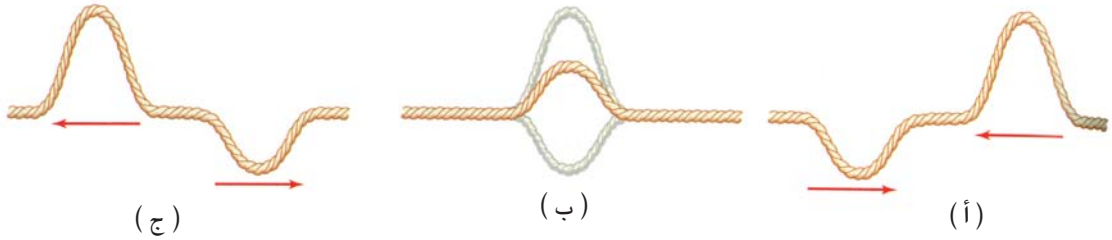
ينتج من تراكب موجتين أو أكثر إزاحتاهما لهما نفس الاتجاه بحيث يشكل مجموع سعتيهما إزاحة عظمى تمثل سعة الموجة الناتجة، كما بالشكل(٣ – ٢٠) .



الشكل(٣ – ٢٠)

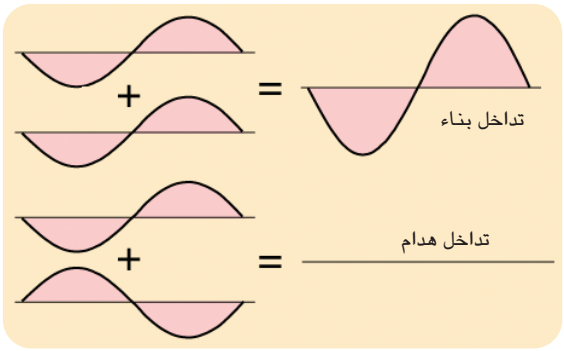
التداخل الهدام *Destructive Interference* :

ينتج من تراكب موجتين أو أكثر تكون إزاحة إحداهما عكس إزاحة الأخرى، بحيث تشكل محصلة سعتيهما أقل إزاحة لتمثل سعة الموجة الناتجة، كما هو موضح بالشكل(٣– ٢١).



الشكل(٣ – ٢١)

ويلخص الشكل (٣–٢٢) حالات التداخل :

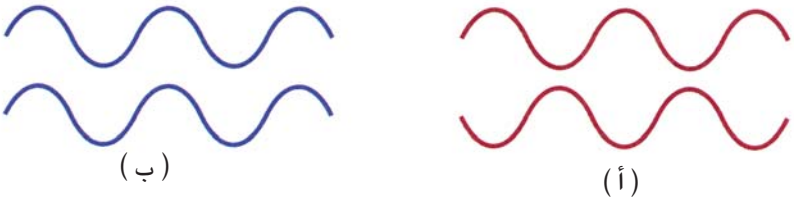


الشكل(٣ – ٢٢)

ويمكنك معرفة المزيد عن تداخل الموجات من خلال رجوعك إلى الشبكة العالمية للاتصالات الدولية (*Internet*):
http ://www.kettering.edu/~drussell/Demos/superposition/superposition.html

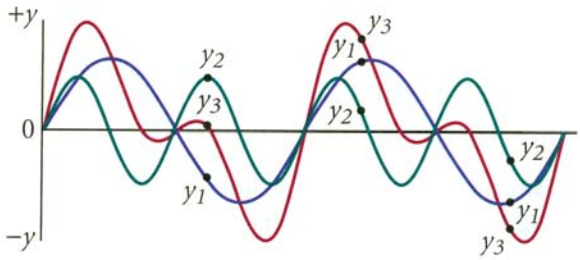
اختبر فهمك (٥):

١. باستخدام مفهوم تداخل الموجات ارسم الموجة الناتجة من التقاء موجتين في كل حالة من الحالات المبينة في الشكل(٣-٢٣).

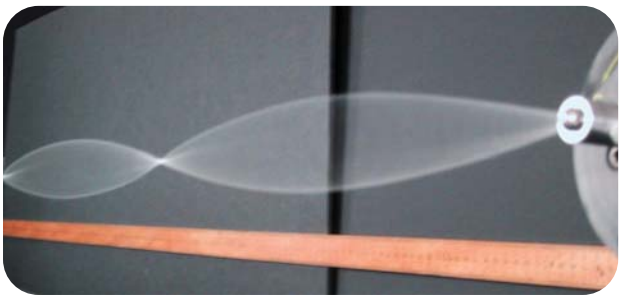


الشكل(٣ – ٢٣)

٢. أي من الموجات الثلاث المبينة في الشكل(٣-٢٤) تعتبر موجة محصلة التداخل للموجتين الأخريين؟



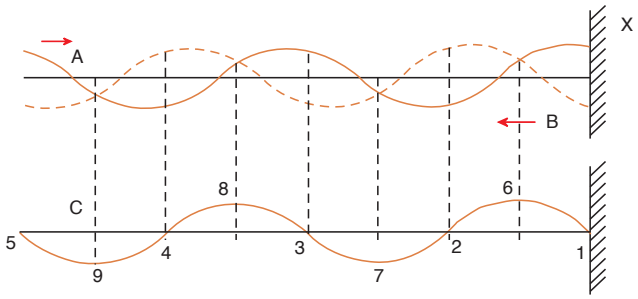
الشكل(٣ – ٢٤)



٣-٨ الموجات الموقوفة Standing Waves

لنفترض أن خيطًا مربوطًا من أحد طرفيه بدعامة ثابتة ويتم تحريكه من الطرف الآخر بشكل منتظم إلى أعلى وإلى أسفل. إن هذه الحركة تولد موجات مسافرة ذات خصائص معينة تتميز بها كالتردد ، طول الموجة ، والسعة على طول الخيط. عندما تصل الموجات إلى الطرف الآخر فإنها ترتد منعكسة بنفس خصائصها باتجاه الموجات الصادرة، و يتكون نمط من الموجات على الخيط يسمى الموجات الموقوفة.

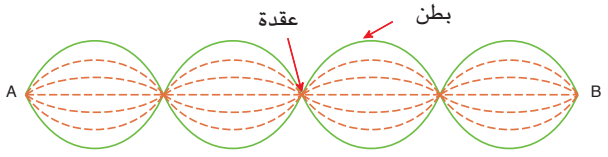
ويوضح الشكل (٣- ٢٥ أ) ما يحدث عند التقاء وتراكب الموجتين، حيث يمثل المنحنى *(A)* الموجات المسافرة، ويمثل المنحنى *(B)* الموجات المنعكسة، ويلاحظ أن الموجات المنعكسة ترتد بتغير مقداره نصف دورة (مقلوبة)، ويمثل المنحنى *(C)* ناتج هذا التراكب وهو مجموعة من التداخلات الهدامة، مثل النقاط 1,2,3 والبناءة مثل النقاط 6,7,8 بالتناوب مُشكّلةً موجات موقوفة كما يوضحها الشكل (٣-٢٥ ب).



الشكل(٣ - ٢٥أ)

وتعرف الموجة الموقوفة : بأنها نمط موجي مستقر يتكون نتيجة تداخل موجتين لهما نفس التردد ، الطول الموجي ، والسعة تتحرَّكان في اتجاهين متعاكسين .

ويلاحظ من الشكل(٣-٢٥ ب) أن مناطق التداخل الهدام التي تكونت على الخيط تشكل نقاطًا دائمة السكون تعرف بالعقد وتُعرف العقدة ***node*** بأنها:



الشكل(٣ - ٢٥ب)

نقطة في الموجة الموقوفة تساوي فيها الإزاحة صفرًا.

كما نلاحظ أن مناطق التداخل تشكل نقاطًا تتحرك حركة ترددية، سعتها ضعف سعة الموجة الأصلية، وتعرف بالبطون، ويُعرف البطن ***antinode*** بأنه:

نقطة بين عقدتين في الموجة الموقوفة تكون فيها الإزاحة أكبر ما يمكن.

وفي الأمواج الموقوفة فإن الطول الموجي (λ) للموجات المسافرة أو الموجات المنعكسة عبارة عن: المسافة بين ثلاث عقد متتالية، ويمكن حسابه أيضًا من العلاقة: $\lambda = \frac{2L}{n}$ ، حيث (L) يمثل طول الحبل.

ولإثبات ذلك عمليا قم بتنفيذ الدرس العملي رقم (٢) في الكراس العملي.

اختبر فهمك (٦):

١. تكونت موجة موقوفة على خيط طوله (L) مربوط بين دعامتين كما بالشكل(٣-٢٦)، الطول الموجي لهذه الموجة يساوي:

الشكل(٣ – ٢٦)

(أ) L (ب) $2L$ (ج) $3L$ (د) $4L$

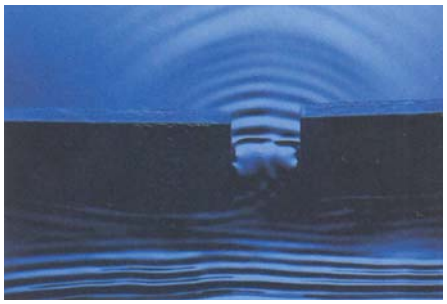
٢. اذكر ثلاثة من الأطوال الموجية التي يمكن أن تتكون عندها أمواج موقوفة في حبل طوله $3.5\ m$ مثبت من طرفيه.

٣. في الموجات الموقوفة هل يمكن لموجة ما أن تلغي موجة أخرى بحيث تُساوي السعة صفرًا ؟ اشرح ذلك.

٣ - ٩ الحيود *Diffraction*

لعلك لاحظت أنه يمكنك الاستماع إلى صوت شخص ما يتحدث من وراء الأبواب بالرَّغم من أنه لا يمكنك رؤية الشخص.هل تساءلت عن سبب ذلك؟ إن ذلك يعود إلى قدرة موجات الصوت على الانعطاف والانحناء حول الزوايا وحافات الأبواب.

وبطريقة مماثلة يمكن لموجات الماء الانعطاف حول العوائق والحواجز المختلفة، ويمكن ملاحظتها بسهولة كما هو مبين في الشكل (٣-٢٧).



الشكل(٣ -٢٧)

وتسمى هذه الظاهرة بـ "**الحيود** ***diffraction***" وتُعرف بأنها :

انحراف الموجات عن اتجاه انتشارها الأصلي حول حافة حاجز أو حافتي فتحة صغيرة.

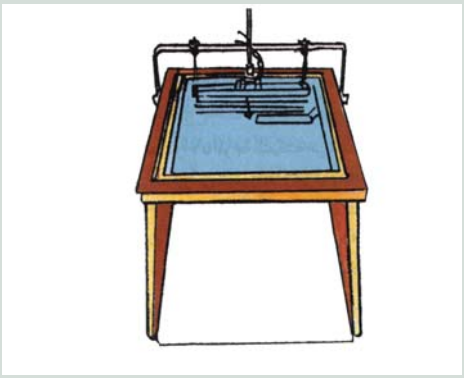
معلومة تهمك

ظاهرة الحيود تحدث لجميع أنواع الموجات بما فيها موجات الضوء، إلا أنه ولصغر الطول الموجي للضوء (يتراوح بين $400\ nm$ و $750\ nm$) فإن انحناءها يكون صغيرًا جدًا بحيث تصعب ملاحظته بسهولة، ولذلك يجب أن تكون الفتحة صغيرة جدا (أقل من $1\ mm$) لتتناسب مع الطول الموجي للضوء المستخدم حتى تمكن مشاهدته، (وهذا ما سندرسه بتفصيل أكثر في الفصل الدراسي الثاني) .

الاستكشاف (٤) : حيود الموجات.

سؤال علمي: ماذا يحدث لحركة الموجات عندما تصطدم بحافة حاجز؟

المواد والأدوات : حوض الموجات المائية، حاجز مستقيم (عدد ٢)، ورقة بيضاء .



الشكل(٣ -٢٨)

الإجراءات :

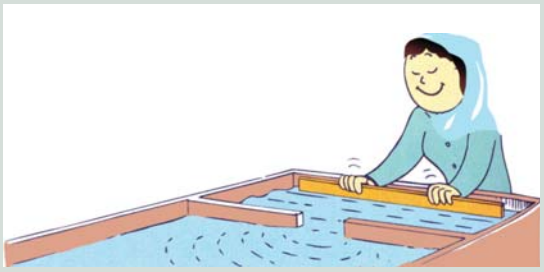
١. ضع حاجزًا مستقيمًا صلبًا في منتصف حوض الموجات المائية.

٢. ضع الورقة البيضاء أسفل الحوض.

٣. انتظر حتى يهدأ سطح الماء ومن ثم قم بتوليد موجات مستقيمة داخل الحوض كما بالشكل (٣-٢٨).

٤. راقب ما يحدث لهذه الموجات عندما تصطدم بحافة الحاجز المستقيم على الورقة البيضاء ، وسجل ملاحظاتك.

٥. كرر الخطوتين ١ و ٢ وذلك بإسقاط موجات مستقيمة على فتحة بين حاجزين يقعان على خط مستقيم ، ويمكن ذلك باستخدام مولد الموجات داخل حوض الموجات المائية، أو بالتحريك المستمر للمسطرة إلى أعلى وإلى أسفل كما بالشكل (٣-٢٩).



الشكل(٣ -٢٩)

٦. راقب حركة الموجات الناتجة داخل حوض الموجات على الورقة البيضاء، وسجل ملاحظاتك.

٧. كرر الخطوتين ٤ و ٥ وفي كل مرة غير طول الفتحة بين الحاجزين.

ملاحظة : يمكنك تنفيذ هذا الاستكشاف باستخدام "**جهاز العرض العلوي *Over Head Projector***" .

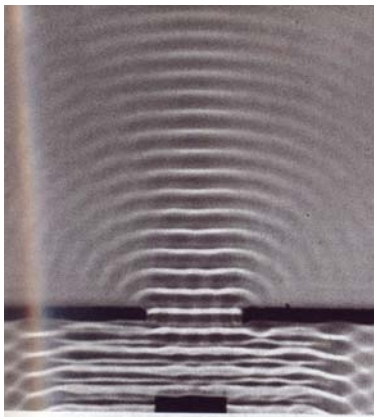
التحليل والتفسير :

١. ما شكل الموجات الناتجة بعد اصطدام الموجات المستقيمة بحافة الحاجز داخل الحوض ؟

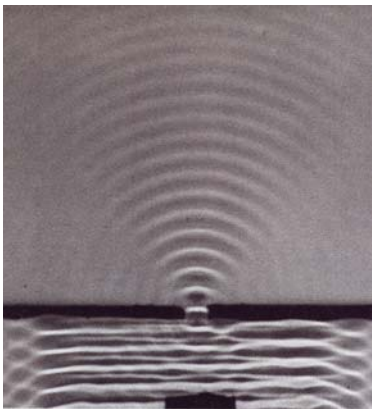
٢. ما شكل الموجات الناتجة بعد عبورها فتحة بين حاجزين يقعان على خط مستقيم ؟

٣. ما العلاقة بين شكل الموجات الناتجة في حوض الموجات المائية وطول الفتحة بين الحاجزين؟

يبين الشكل(٣-٣٠) حيود الموجات المائية عندما تعبر شقًا ضيقًا بين حاجزين، ونلاحظ من الشكل أن الموجات تتحرك في خط مستقيم ثم تحيد عن خط سيرها بعد عبورها للشق، ويظهر الانحناء بوضوح أكبر كلما قل اتساع الشق.



الشكل(٣-٣٠ أ)
الموجات المائية عندما تعبر شقًا عريضًا



الشكل(٣-٣٠ ب)
الموجات المائية عندما تعبر شقًا ضيقًا

لمزيد من المعلومات عن ظاهرة الحيود قم بزيارة الموقع التالي على الشبكة العالمية للاتصالات الدولية
http://www.schoo1arabia.net/ayn_alfezia/ksa2s_aldo2/a7yod.htm

أسـئلة الفصـل

السؤال الأول : اختر الإجابة الصحيحة من بين البدائل المعطاة :

١ .يمكن أن نصف حركة جزيئات الوسط الناقل للموجات الميكانيكية المتولدة من متذبذب ما بأنها دورية، إذا كانت الموجات عبارة عن:

أ– نبضه مسافرة ذات سرعة ثابتة.

ب– سلسلة من النبضات المسافرة على فترات غير منتظمة.

ج– سلسلة من النبضات المسافرة على فترات منتظمة .

د– نبضة مسافرة بسرعات مختلفة في نفس الوسط.

٢ . تولدت موجات في وسط مرن، فإذا ضوعف تردد هذه الموجات فإن خصائص هذه الموجة تتغير كالآتي:

أ– الطول الموجي ينقص إلى النصف وتبقى السرعة ثابتة.

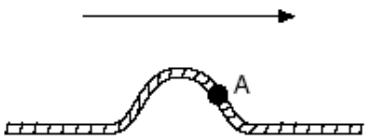
ب–الطول الموجي يبقى ثابتا والسرعة تزداد إلى الضعف.

ج– يقل كلٌ من الطول الموجي والسرعة إلى النصف.

د– قيمة كلٌ من الطول الموجي والسرعة تظل ثابتة.

٣ . يبين الشكل المقابل نبضة تتحرك على حبل.

السهم الذي يدل على اتجاه حركة النقطة A في هذه اللحظة هو:



(أ) (ب) (ج) (د)

٤. يبين الشكل (٣-٣١) المسافة بين نقطتين A و B تتحركان على موجات مسافرة.

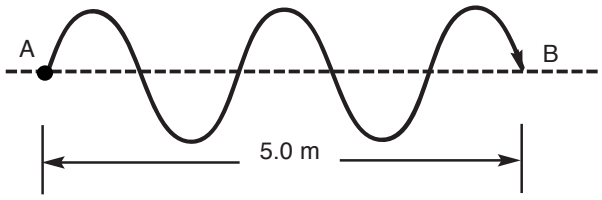
الطول الموجي لهذه الموجات هو:

أ- $1.0\ m$

ب- $2.0\ m$

ج- $5.0\ m$

د- $4.0\ m$



الشكل (٣-٣١)

٥. تكونت موجتان متماثلتان على حبلين، وكانت النسبة بين ترددتهما ($f_1 : f_2$) تساوي 2:1 فإذا كانت الموجتان تتحركان بالسرعة نفسها فإن النسبة بين أطوالهما الموجية ($\lambda_1 : \lambda_2$) هي:

أ- $2:1$ ب- $1:2$ ج- $4:1$ د- $1:4$

٦. قمَّتان متتاليتان لموجة مستعرضة تبعدان عن بعضهما بعضًا مسافة $1.20\ m$ ، فإذا مرت ثماني قمم خلال نقطة ما كل $12\ s$ فإن سرعة الموجة تساوي:

أ- $0.667\ m/s$

ب- $1.80\ m/s$

ج- $0.800\ m/s$

د- $9.60\ m/s$

٧. موجة مائية سعتها $2.5\ m$ ونتيجة لتغير فجائي في الأحوال الجوية أصبحت سعة الموجة $5.0\ m$ ، كمية الطاقة المنقولة عن طريق الموجة :

أ- تقل للنصف

ب- تتضاعف

ج- تتضاعف أربع مرات

د- تظل ثابتة

٨. إذا كان الطول الموجي لموجات موقوفة يساوي (λ) فإن المسافة بين عقدتين متتاليتين تساوي:

أ- λ

ب- $\frac{\lambda}{2}$

ج- $\frac{\lambda}{4}$

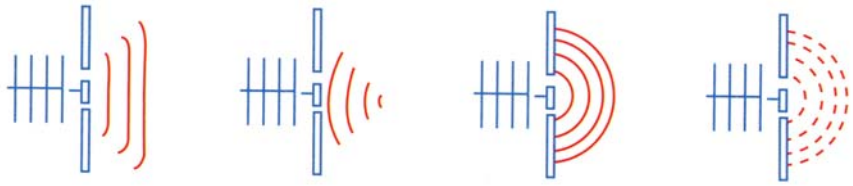
د- 2λ

٩- عندما يعترض عائق مادي طريق أمواج مسافرة فإن الظاهرة المتكونة عند حافته تسمى:

أ. انعكاس　　ب. انكسار

ج. تداخل　　د. حيود

١٠- النمط الموجي المتكون في حوض الموجات المائية نتيجة اصطدام موجات مستقيمة بحاجز مادي به شقّان صغيران يمثله الشكل:



(أ)　(ب)　(ج)　(د)

السؤال الثاني : أجب عن الأسئلة الآتية:

١- ما الخصائص التي تشترك فيها جميع الموجات؟

٢- الشكل (٣-٣٢) يوضح نبضة لموجة مسافرة على زنبرك .

أ- في أي اتجاه تكون حركة جزيئات الوسط المتذبذب؟

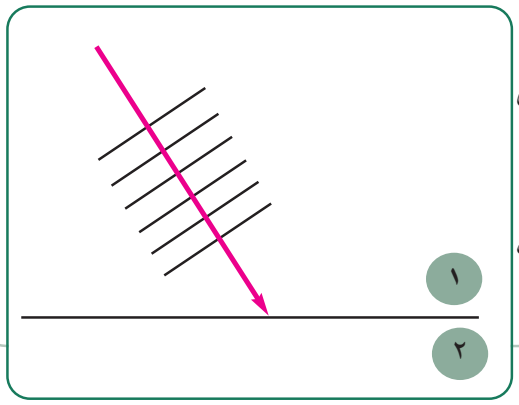
ب- ما نوع الموجة الميكانيكية المتكونة؟

الشكل (٣-٣٢)

٣-بفرض أن موجات مسافرة تعبر مسافة مساوية لطولها الموجي خلال دورة كاملة، استنتج العلاقة بين سرعة الموجة والتردد والطول الموجي.

٤-هل يمكن لآثار الزلازل المتكونة في وسط المحيطات الانتقال إلى الشواطئ البعيدة؟ كيف؟

٥- أكمل الرسم في الشكل (٣-٣٣)، علمًا بأن سرعة الموجات في الوسط الثاني أكبر منها في الوسط الأول.



الشكل (٣-٣٣)

السؤال الثالث : أجب عن الأسئلة الآتية:

١– في رحلة تعليمية وقف طالبان على مسافة $8m$ من بعضهما بعضًا، يدرسان عمليًّا حركة ثعبان، ووصفا الحركة بأنها حركة موجية ذات مسافة رأسية مقدارها $23\ cm$ من القاع إلى القمة، وتتردد بمقدار $2.4\ Hz$ والمسافة الأفقية بين إحدى القمم وأقرب قاع لها تساوي $48\ cm$ ،أوجد :

أ – السعة.

ب– الطول الموجي.

ج– الزمن الدوري.

د– سرعة الموجة .

٢– يرفرف الطائر الطنان بضرب الهواء بجناحيه بمعدل يبلغ حوالي 70 هزة في الثانية الواحدة.

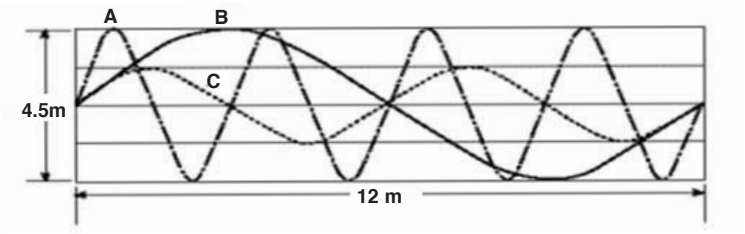
أ. ما تردد الموجات الناتجة بوحدة الـ Hz ؟

ب. بافتراض أن الموجات تتحرك بسرعة $350\ m/s$ ، ما الطول الموجي لها؟

٣– اهتزت شوكتان ترددتاهما هي $256\ Hz$ و $512\ Hz$ على التوالي، أي من الشوكتين تكون سرعة الموجات الناتجة عنها أكبر في الهواء؟

٤–جهاز متذبذب يرسل سلسلة من النبضات سعتها $24\ cm$ خلال حبل مربوط في نهايته. بفرض أن الموجات تنعكس دون تضاؤل في سعتها. أوجد سعة الموجة الموقوفة المتكونة على الحبل.

٥– ثلاث موجات A,B,C تتحرك في نفس الوسط في مسار طوله $12\ m$ في زمن قدره $2\ s$ كما هو مبين في الشكل(٣–٣٤)، أدرس الشكل جيدًا ثم أجب عن الأسئلة التي تليه:



الشكل (٣–٣٤)

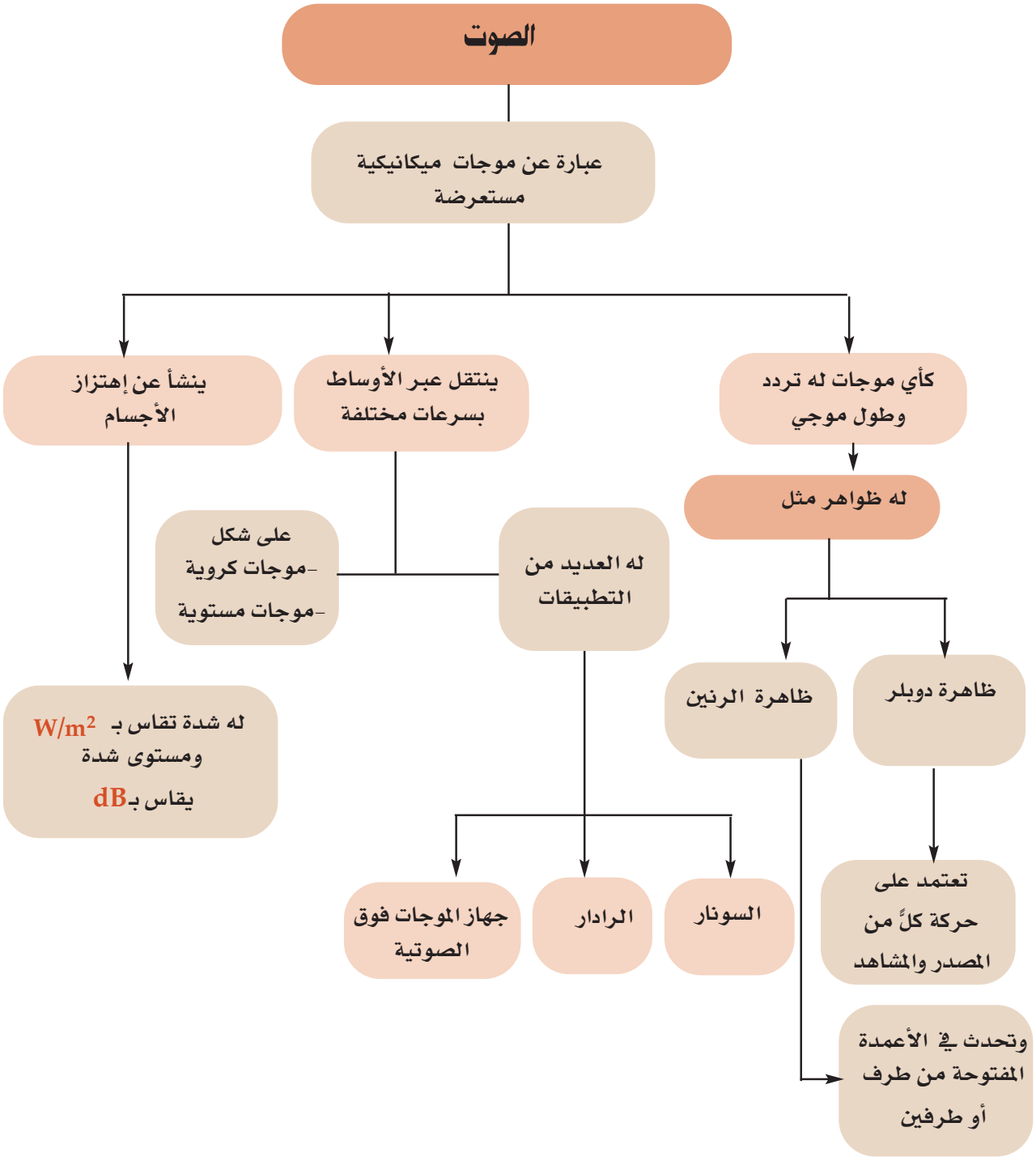
أ– ما سعة الموجة C ؟

ب– ما الزمن الدوري للموجة A؟

ج– ما سرعة الموجة B ؟

خارطة مفاهيم

الفصل الرابع


الصوت
عبارة عن موجات ميكانيكية مستعرضة
كأي موجات له تردد وطول موجي
ينتقل عبر الأوساط بسرعات مختلفة
ينشأ عن إهتزاز الأجسام
له ظواهر مثل
له العديد من التطبيقات
على شكل
-موجات كروية
-موجات مستوية
ظاهرة دوبلر
ظاهرة الرنين
تعتمد على حركة كلٍّ من المصدر والمشاهد
وتحدث في الأعمدة المفتوحة من طرف أو طرفين
السونار
الرادار
جهاز الموجات فوق الصوتية
له شدة تقاس بـ W/m^2 ومستوى شدة يقاس بـ dB

الفصل الرابع

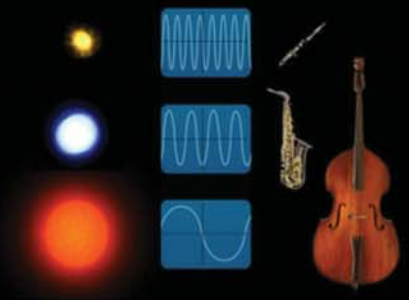
الصـــــوت

The Sound

مقدمة

لقد تعلمت في الفصل السابق الحركة الموجية ، وتعرفت مجموعة من الخصائص التي تميزها ، وفي هذا الفصل سوف تتعرف الصوت كمثال على هذه الحركة.إن دراسة الصوت مهمة لأنها تزودنا بوسيلة قيمة جدًّا لإثراء وتقوية معلوماتنا عن الحركة الموجية عمومًا. وسوف نجد أن كثيرًا من المبادئ والأفكار التي سوف نتناولها هنا هي تطبيقات عملية للحركة الموجية وخصائصها.

إن الصوت شكل من أشكال الطاقة ، وفي هذا الفصل سوف تدرس طبيعة الصوت و سرعته في الأوساط المختلفة ، كما ستقارن بين الموجات المستوية والموجات الكروية ، وتتطرق إلى ظاهرة دوبلر وظاهرة الرنين في الأعمدة الهوائية المرتبطين بالصوت،كما ستوظف المعلومة العلمية في التقانات الحديثة، حيث سنتعرف بعض التقانات الحديثة التي تعتمد على الموجات الصوتية مثل الرادار و السونار وجهاز الألتراساوند .



الموضوعات الرئيسة

٤-١ طبيعة الصوت
٤-٢ سرعة الصوت
٤-٣ درجة الصوت وشدته
٤-٤ الموجات الكروية والموجات المستوية
٤-٥ ظاهرة دوبلر
٤-٦ الرنين في الأعمدة الهوائية
٤-٧ تطبيقات على التقانات التي تستخدم مبادئ الصوت

المصطلحات العلمية الجديدة

حدة الصوت	*Pitch*
شدة الصوت	*Intensity*
عتبة السمع	*Threshold of Hearing*
حد الألم	*Threshold of Pain*
الموجات الكروية	*Spherical Waves*
الموجات المستوية	*Plane Waves*
جبهة الموجة	*Wave Front*
الحاجز الصوتي	*Sound Barrier*
الرنين	*Resonance*
الألتراساوند	*Ultrasound*
السونار	*Sonar*
الرادار	*Radar*

الاستكشافات

الاستكشاف (١): كيف ينشأ الصوت؟

الاستكشاف (٢): انتقال الصوت

الاستكشاف (٣):: تردد الصوت وشدته

الاستكشاف (٤): الرنين

٤-١ طبيعة الصوت *Nature of Sound*

الشكل (٤-١)
صوت آلة العود ينشأ عن اهتزاز الأوتار

هل شاهد يومًا ما عازف عود أو عازف جيتار يقوم بالعزف على آلته؟ لقد تساءلت حتمًا من أين يأتي الصوت الذي يصدر من تلك الآلة ؟ ضع أصابعك في حنجرتك من الخارج وقم بإصدار صوت ، لاحظ أنك سوف تحس باهتزازات تصدر من حنجرتك.والآن قم بإجراء الاستكشاف التالي.

الاستكشاف (١): كيف ينشأ الصوت؟

سؤال علمي : هل يحدث الصوت نتيجة اهتزاز المصدر؟

المواد و الأدوات: شوكة رنانة –كأس ماء

الإجراءات:

١– خذ شوكة رنانة واطرقها فوق الطاولة ثم قرب طرفها من كأس بها ماء بحيث يلامس طرف الشوكة سطح الماء.

٢– أطرق الشوكة الرنانة مرة أخرى ثم ضع مقبضها على سطح الطاولة.

التحليل والتفسير:

١– ماذا تلاحظ على سطح الماء؟

٢– ما السبب في حدوث هذا الاضطراب على سطح الماء؟

٣– ماذا حدث عند وضع مقبض الشوكة فوق سطح الطاولة؟

٤– فسر سبب صدور الصوت الذي سمعته.

إن ما شاهدته من خلال الاستكشاف السابق يوضح أن الصوت ينشأ عن اهتزاز الأجسام فالشوكة الرنانة تصدر صوتا عند طرقها نتيجة اهتزاز أطرافها ، وإن ما يقوم به عازف العود أو الجيتار هو إحداث اهتزازات في الأوتار لكي يحدث الصوت ، كما ينشأ صوتك نتيجة اهتزاز الأحبال الصوتية التي توجد في الحنجرة.

إن الصوت عبارة عن مجموعة من الذبذبات الناتجة عن التغييرات التي تحدث في ضغط الهواء ، ابتداء من مصدر الصوت حتى طبلة الأذن.فعندما يتحدث الإنسان (أو يعزف على آلته الموسيقية) تهتز جزيئات الهواء الملاصقة للفم أو لمصدر الصوت اهتزازات مُحدثةً تغيراً في ضغط الهواء الذي ينتقل بالتالي عن طريق التضاغطات والتخلخلات إلى مكان استقبال هذه الاهتزازات .

* انتقال الموجات الصوتية :

لقد درست في الفصل السابق أن الموجات إما أن تكون موجات مستعرضة وإما موجات طولية حيث تكون حركة اهتزاز جزيئات الوسط فيها في نفس اتجاه انتشار الموجة كما يوضح الشكل(٤-٢)، ويعتبر الصوت أفضل مثال على الموجات الطولية.

الشكل (٤-٢) يكون اتجاه انتشار الموجة في نفس اتجاه حركة الجزيئات في الموجات الطولية

إن هذه الموجات تنتج عنها موجات تنتقل من مصدر الصوت إلى آذاننا عبر وسط مادي قد يكون صلبًا أو سائلاً أو غازيًا وبدونه لا يمكن أن تنتقل هذه الموجات ، ولنتأكد من ذلك دعنا نقوم بالاستكشاف التالي:

الاستكشاف (٢): انتقال الصوت

الشكل (٤-٣)

سؤال علمي : هل ينتقل الصوت في الفراغ؟

المواد و الأدوات: جهاز مفرغة الهواء

الإجراءات:

١-تفحص جهاز مفرغة الهواء وتعرف مكوناته.

٢- قم بتشغيل الجرس داخل المفرغة.

٣- غطَّ الجرس بواسطة الناقوس. هل تسمع صوت الجرس؟

٤- قم بسحب الهواء من داخل الناقوس بواسطة آلة التفريغ. هل ما زلت تسمع صوت الجرس؟

التحليل و التفسير:

١- ماذا تلاحظ على الجرس عند تشغيله؟

٢- هل يصدر الجرس الصوت دون أن يهتز ولماذا؟

٣- ماذا حدث لصوت الجرس عند وضع الناقوس؟فسر ذلك.

٤- ماذا لاحظت على صوت الجرس عند سحب الهواء؟فسر ذلك.

من الاستكشاف يتبين لنا أن الصوت لا ينتقل في الفراغ وإنما يحتاج إلى وسط مادي لينتقل خلاله، فهو ينتقل عبر الهواء كما ينتقل عبر مواد أخرى، فالسوائل تنقل الصوت أيضا حيث يمكننا أن نسمع صوت ارتطام حجرين تحت سطح الماء كذلك نستطيع سماع الصوت المنتقل عبر المواد الصلبة ؛ فنستطيع سماع صوت القطار القادم عند وضع الأذن على قضبان سكة الحديد.

اختبر فهمك (١):

١- بماذا تفسر عدم قدرة رواد الفضاء على التخاطب بشكل مباشر في الفضاء الخارجي؟

٢- لماذا لا تنتقل موجات الصوت في الفراغ مثل موجات الضوء ؟

٤-٢ سرعة الصوت Speed of Sound

تختلف سرعة الصوت باختلاف المواد التي ينتقل خلالها. فهي تعتمد على درجة الحرارة و نوع المادة؛ على سبيل المثال سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة 0^oC تساوي $331\ m/s$، ووجد أن سرعة الصوت تزداد لنفس المادة بزيادة درجة الحرارة بمعدل $0.6\ m/s$ لكل ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجة مئوية واحدة، أي أن سرعة الصوت في الهواء عند أي درجة حرارة تحسب على النحو التالي:

$$v = (331 + 0.6\ T)\ m/s$$

وعليه فإن سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة $20\ ^oC$

$$v = [\ 331 + (0.6 \times 20\ )\ ]\ m/s = 343\ m/s \qquad (٤-١)$$

كذلك فإن سرعة الصوت تختلف باختلاف المادة التي ينتقل من خلالها. تأمل الجداول (٤-١ أ،ب،ج) التي توضح سرعة الصوت خلال المواد المختلفة (الصلبة –السائلة –الغازية).

الغازات	
المادة	السرعة (m/s)
الهيدروجين	1286
الهيليوم	972
الهواء	331

الجدول (٤-١) أ

السوائل	
المادة	السرعة (m/s)
الجليسرين	1904
الماء	1493
الكحول الإيثيلي	1143

الجدول (٤-١) ب

المواد الصلبة	
المادة	السرعة (m/s)
الماس	12000
الذهب	3240
المطاط	1600

الجدول (٤-١) ج

لاحظ أن سرعة الصوت في المواد الصلبة أكبر منها في المواد السائلة والمواد الغازية (جميع السرعات أخذت عند درجة حرارة 0^oC)

$$v_{solids} > v_{liquids} > v_{gases}$$

اختبر فهمك (٢):

١-أطلقت سفينة صفارتها فارتدت الموجات الصوتية من صخور الشاطئ وعادت إليها بعد مرور $5.45\ s$. احسب بعد السفينة عن الشاطئ علما بأن سرعة الصوت في الهواء $331\ m/s$ عند درجة $0^{\circ}C$؟

٢- أين تكون سرعة الصوت أكبر في الهواء قرب سطح البحر أم على جبل ارتفاعه $1200\ m$ عن سطح الأرض؟

معلومة تهمك

إذا نظرنا إلى سرعة الصوت في المواد المختلفة وسرعة الضوء التي تبلغ $3 \times 10^8\ m/s$ سنعرف سبب سماعنا لصوت الرعد بعد ضوء البرق وذلك بسبب اختلاف السرعة بينهما.

و يمكن معرفة الفارق الزمني بين رؤية البرق وسماع الرعد و تقدير بعد مصدر الصوت عنا فكل فارق زمني قدره خمس ثوانٍ يعني أن المصدر يبعد $1600\ m$. فإذا سمعنا صوت الرعد بعد مرور عشر ثواني من مشاهدة ضوء البرق فهذا يعني أن السحاب يبعد عنا مسافة $2 \times 1600 = 3200m$

٣-٤ درجة الصوت وشدته
Sound Level and Loudness

يميز الإنسان الأصوات من خلال ترددها فنقول (صوت حاد وصوت غليظ) وشدتها فنقول(صوت عالٍ وصوت منخفض). إن التردد والشدة موضوعان مختلفان ولكي نتعرف عليهما نقوم بالاستكشاف التالي:

الاستكشاف (٣): تردد الصوت وشدته

سؤال علمي : ماذا نعني بتردد الصوت وشدة الصوت؟

المواد و الأدوات : علبة رنين–مجموعة من الشوكات الرنانة ذات الترددات المختلفة– مكبر صوت (ميكروفون).

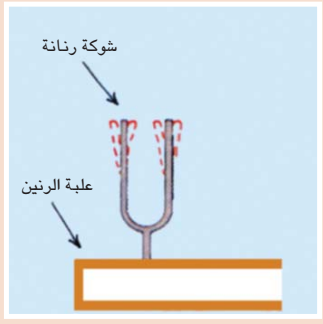
الإجراءات:

١– أطرق الشوكة الرنانة و ضعها فوق علبة الرنين . ماذا تلاحظ؟

٢– بدل الشوكة بشوكة ذات تردد أكبر وكرر الخطوة (١) .

٣– استمر في تغيير الشوكة الرنانة في كل مرة.سجل ملاحظاتك.

٤– تحدث مع زملائك مرة باستخدام مكبر الصوت اليدوي وأخرى بدونه .



الشكل (٤-٤)

التحليل والتفسير:

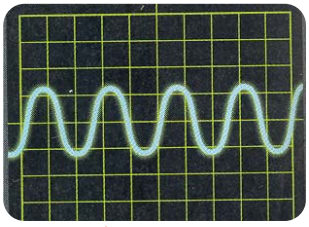
١– ماذا تلاحظ عند تغيير الشوكة الرنانة؟

٢– أي الأصوات كان أكثر حدة؟

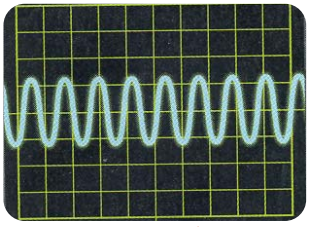
٣– أي الأصوات كان أعلى باستخدام المكبر أم بدونه؟

في الاستكشاف السابق تلاحظ أن تغيير الشوكة الرنانة بشوكة ذات تردد عالٍ يُصاحبه زيادة في حدة الصوت *Pitch* وهذا يعني أن هناك علاقة بين التردد وحدة الصوت كما هو موضح في الشكلين (٤-٥ أ-ب).

وتعتبر درجة الصوت *Sound Level* الخاصية التي تميز من خلالها الأذن بين الأصوات من حيث الحدة والغلظة، وتقاس بوحدة الهرتز *Hertz* ، ويكون شكل الموجة الجيبية كالتالي:

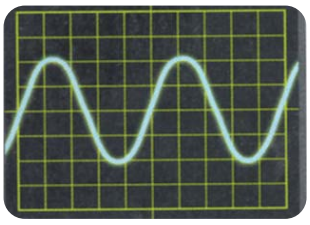


الشكل (٤-٥أ)
التردد منخفض (صوت غليظ)

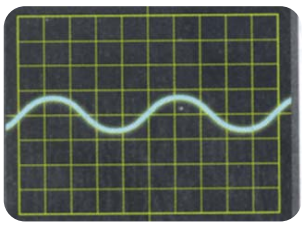


الشكل (٤-٥ب)
التردد عالي (صوت حاد)

وكذلك تشاهد من خلال الاستكشاف أن استخدام مكبر الصوت يزيد من شدة الصوت .ويوضح الشكلان (٤-٦أ-ب) أنه كلما زادت سعة الموجة دل ذلك على شدة الصوت الصادر من المصدر.وتعتبر شدة الصوت ***intensity*** الخاصية التي تميز الأذن من خلالها الأصوات العالية والمنخفضة.



الشكل (٤-٦أ)
السعة عالية (صوت قوي)



الشكل (٤-٦ب)
السعة منخفضة (صوت ضعيف)

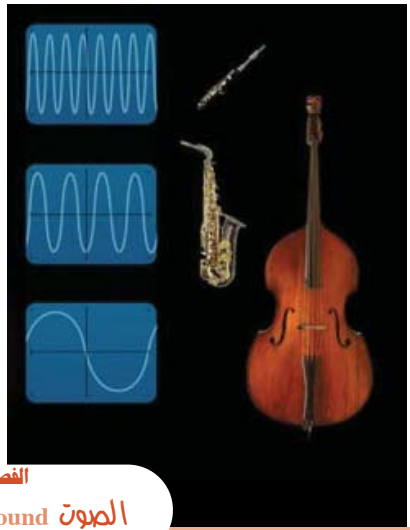
وتعرف الشدة ***(I)*** بأنها عبارة عن الطاقة ***(E)*** التي تحملها الموجة في الثانية الواحدة عبر وحدة المساحة ***(A)*** العمودية على اتجاه انتشار الموجة وبالتالي

$$I = \frac{E}{A \times t}$$

بما أن القدرة هي الطاقة المنتجة في الثانية :

$$\therefore \quad I = \frac{P}{A} \qquad (٤-٢)$$

وتقاس شدة الصوت بوحدة الوات لكل متر مربع W/m^2



* شدة الصوت ومستوى شدة الصوت

استُخدم تدريج لوغريتمي لقياس مستوى شدة الصوت بوحدة ***Bel*** نسبة إلى العالم جراهام بيل ***Graham Bell*** (١٨٤٧م – ١٩٢٢م)مخترع الهاتف، وتستخدم وحدة البيل مقسومة على ١٠ لتعرف بوحدة الديسيبل ***Decibel (dB)*** حيث إن:

$$10\ dB = 1\ bel$$

ويمكن حساب مستوى شدة الصوت B بوحدة الديسيبل dB من خلال العلاقة التالية:

$$B\ (dB) = 10 \log \frac{I}{I_o} \qquad (٣-٤)$$

حيث I_o تمثل شدة الصوت في أدنى مستوى يمكن للأذن سماعه ، وقُدر بأنه يساوي $1 \times 10^{-12}\ W/m^2$ و I هي شدة الصوت المراد حساب مستواه بوحدة الديسيبل فمثلاً لو كانت شدة الصوت تساوي $1 \times 10^{-10}\ W/m^2$ فإن:

$$B\ (dB) = 10 \log \frac{1 \times 10^{-10}}{1 \times 10^{-12}} = 10 \log 100 = 20dB$$

إن الحد الحرج للسماع يسمى عتبة السمع ***threshold of hearing*** ويساوي $0dB$ وهذا يعادل $1 \times 10^{-12}\ W/m^2$ بينما الحد الأعلى للسماع أو ما يسمى بحد الألم ***threshold of pain*** يساوي $120\ dB$ او $1 \times 10^{-10}\ W/m^2$

معلومة تهمك

تستطيع الأذن البشرية سماع الأصوات التي يقع ترددها في المدى من $20\ Hz$ إلى $20000\ Hz$ ويختلف هذا المدى من شخص لآخر ويقل هذا المدى للأعمار فوق الأربعين حيث يقل مدى الترددات العالية التي تستطيع الأذن سماعها إلى $10000Hz$ كما أن بعض الحيوانات مثل الكلب يستطيع سماع الترددات التي تصل إلى $50000\ Hz$ والخفاش يسمع الترددات التي تصل إلى $100000\ Hz$.

والجدول التالي يبين شدة الصوت بوحدة W/m^2 ومستوى شدة الصوت بوحدة dB لبعض الأصوات:

الصوت	مستوى الصوت dB	شدة الصوت W/m^2
حد السماع	0	1×10^{-12}
حفيف الأشجار	10	1×10^{-11}
الهمس المنخفض	20	1×10^{-10}
الهمس	30	1×10^{-9}
طنين البعوضة	40	1×10^{-8}
المحادثة العادية	50	1×10^{-7}
مكيف الهواء	60	1×10^{-6}
مكنسة كهربائية	70	1×10^{-5}
زحمة مرور	80	1×10^{-4}
آلة قص الحشائش	90	1×10^{-3}
قطار مترو الأنفاق	100	1×10^{-3}
بوق تنبيه من مسافة 1m	110	1×10^{-1}
عتبة الألم	120	1×10^{0}

الجدول (٤-٢)

اختبر فهمك (٣):

١- هل توجد علاقة بين سرعة الصوت وشدته أو نوعه ؟ فسر ذلك.

٢- أذن المؤذن لصلاة الفجر فكانت شدة صوته عبر المكبر تساوي $1 \times 10^{-2}\ W/m^2$ أوجد مستوى الشدة لصوته.

٤-٤ الموجات الكروية والموجات المستوية *Spherical Waves and Plane Waves*

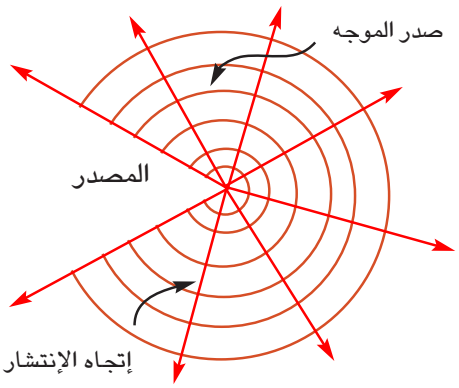
هناك أشكال مختلفة من الموجات ، فقد تكون موجة مستوية ، وقد تكون موجة كروية ، وسنتناول هذه الموجات في السطور القادمة.

أولاً: الموجات الكروية

عندما نسقط حجرًا في بركة ماء فإننا نشاهد الموجات التي تتكون بفعل اهتزاز جزيئات الوسط. وتكون هذه الموجات على شكل حلقات تنتشر على صورة اضطراب فوق سطح الماء كما هو موضح في الشكل (٤-٧). كذلك عندما يضغط سائق السيارة على بوق التنبيه في سيارته فإن الصوت الصادر يكون عبارة عن موجات تضاغط وتخلخل تنتشر في كل الاتجاهات، لذلك فشكل الموجات هو كروي، ولذلك تسمى بالموجات الكروية.

الشكل (٤-٧)

وتمثل الموجات الكروية بسلسلة من الأقواس الدائرية التي يكون مركزها المصدر كما في الشكل (٤-٨) ، وتمثل الأقواس أسطحًا، ويسمى كل سطح بجبهة (صدر) الموجة *wave front* لأنه يمثل مقدمة الموجة الآتية من المصدر، وتمثل المسافة بين قوس وآخر الطول الموجي الذي درسته في الفصل السابق. كما يوضح الشكل (٤-٨) خطوطًا خارجة من مركز الموجة باتجاه انتشارها. تسمى هذه الخطوط بالأشعة *rays*.

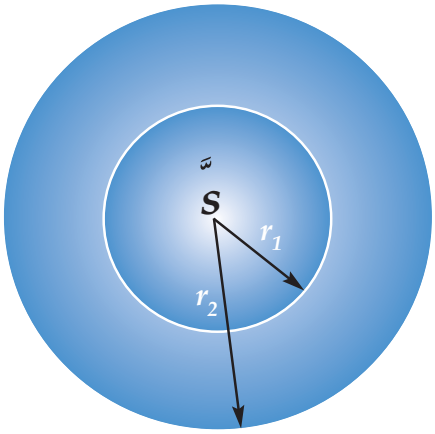


الشكل (٤-٨)

وتنطلق هذه الموجات بسرعة ثابتة إذا كان الوسط متجانسًا دون أن تنتقل إلى وسط آخر. إن هذه الموجة تحمل طاقة وبما أن الطاقة محفوظة فإن الطاقة الكلية المحمولة في كل قوس تساوي الطاقة الكلية المحمولة في أي قوس آخر مع الفارق الذي يتمثل في أن الطاقة في الأقواس الأكبر (الأكثر بعدًا من المصدر) موزعة على مساحة أكبر ، وتكون هذه الطاقة متساوية في كل حلقة ، بمعنى أنها متساوية في جميع الاتجاهات ، فإذا كان E هو متوسط الطاقة المنبعثة بواسطة المصدر فإن القدرة المحمولة ($p = \frac{E}{t}$) ثابتة في كل قوس ، لأن الطاقة محفوظة فإذا كان طول نصف قطر القوس (r) فإن مساحته ($4\pi r^2$) وبالتالي يمكن حساب الشدة على مسافة r من المصدر من العلاقة:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

ولأن P ثابتة لا تتغير يمكن حساب الشدة عند مسافة r_1 و r_2 من خلال:



الشكل (٤-٩)

$$I_1 = \frac{P}{4\pi r_1^2}$$

و

$$I_2 = \frac{P}{4\pi r_2^2}$$

وبالتالي :

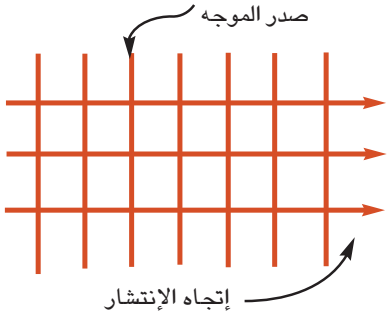
$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$$

(٤-٤)

ومنه نستنتج أن الشدة تتناسب عكسيًّا مع مربع المسافة عن مصدر الموجة ، وبالتالي فكلما بعدنا عن مصدر الموجة نلاحظ أن شدتها تقل إلى أن تختفي ، وهذا يفسر عدم قدرتنا على سماع الأصوات القادمة من مصدر بعيد.

ثانياً: الموجات المستوية

الآن دعنا نتخيل موجة صوتية قادمة من مصدر بعيد ،سنجد أن نصف قطرها يزداد إلى أن تصل إلى مرحلة نجد فيها أن جبهة كل موجة أصبحت موازية تقريبًا للجبهة المجاورة لها وكأنها مستوية ، وبالتالي يمكن اعتبار أن جبهة الموجة أصبحت مستوى مثل الصفحة التي أمامك ويقال عنها حينئذ إنها موجة مستوية *plane wave* كما يوضحها الشكل (٤-١٠).



الشكل (٤-١٠)

مثال (١) :

تصدر سفينة إشارة صوتية بمتوسط قدرة مقدارها $770\ W$. أوجد شدة الصوت على الميناء الذي تبعد السفينة عنه بمقدار $6\ Km$.

الحـــل:

$$I = \frac{P}{4\ \pi\ r^2}$$

$$I = \frac{770}{4\ \pi\ (\ 6000\ )^2}$$

$$I = 1.702 \times 10^{-6}\ W/m^2$$

٤-٥ ظاهرة دوبلر *Doppler Effect*

الشكل (٤-١١)

تعد ظاهرة دوبلر من الظواهر الفيزيائية التي نلاحظها حينما يمر مصدر الصوت مسرعاً بجانبنا. فعندما تمر سيارة الشرطة وهي تصدر صوتاً من خلال جهاز التنبيه فإنك تلاحظ أن الصوت يكون حاداً عندما تقترب منك وبعد أن تمر السيارة من جانبك يبدأ تردد الصوت في التناقص ويصبح أقل حدة (غليظ) . تعرف هذه الظاهرة بظاهرة دوبلر نسبة إلى العالم الفيزيائي النمساوي كريستيان يوهان دوبلر ***Christan Joham Doppler*** (١٨٠٣م – ١٨٥٣م) الذي أطلق هذه النظرية في عام ١٨٤٢م وأثبت حدوثها لموجات الضوء والصوت.

و يمكن تعريف ظاهرة دوبلر على إنها إزاحة للتردد نتيجة للحركة النسبية بين المصدر والمشاهد. فعندما يكون المصدر مقترب من المشاهد يكون التردد المقاس أعلى من التردد الأصلي أي مزاح ناحية الترددات الأعلى بينما يكون التردد أقل من التردد المقاس أي مزاح ناحية الترددات الأقل إذا كان المصدر مبتعدا عن المراقب وظاهرة دوبلر تعتمد على السرعة النسبية بين المصدر والمشاهد.

ولفهم ظاهرة دوبلر دعنا نشرح ما يحدث في الحالات التالية:

الحالة الأولى :عندما يكون المشاهد متحرك والمصدر الصوتي ثابت

إذا أخذنا التردد f والطول الموجي λ وسرعة الصوت v وسرعة المشاهد (السامع للصوت) v_o ،فعندما يكون المشاهد ساكن والمصدر ساكن فإن تردد الصوت المسموع سيساوي تردد الصوت الخارج من المصدر.

وعندما يتحرك المشاهد نحو الصوت كما في الشكل (٤-١٢) فإن سرعة الموجات v_T بالنسبة للمراقب ستكون

$$v_T = v + v_o$$

وبما أن $f' = \frac{v}{\lambda}$

إذاً سيكون تردد موجة الصوت المسموع

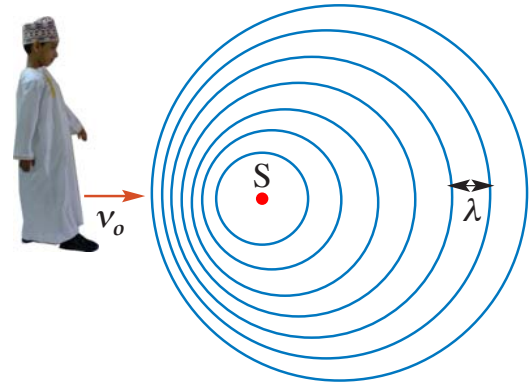
$$f' = \frac{v + v_o}{\lambda} \quad (١)$$

ويسمى f' بالتردد الظاهري

وبما أن $\lambda = \frac{v}{f}$

وبالتعويض عن قيمة λ في المعادلة (١) نحصل على

$$f' = \left(1 + \frac{v_o}{v}\right) f \quad (٤-٥)$$



الشكل (٤-١٢)

أما عندما يتحرك المشاهد بعيداً عن مصدر الصوت كما في الشكل(٤-١٣) فإن سرعة الموجات بالنسبة للمشاهد ستكون

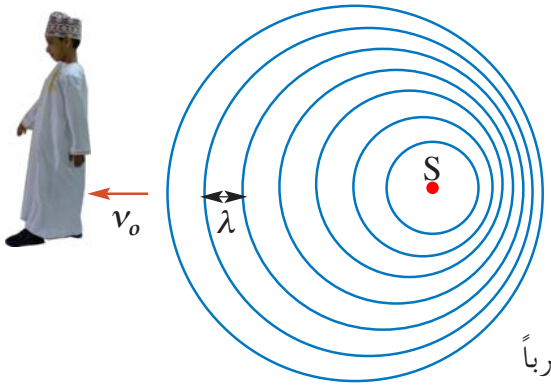
$$v_T = v - v_o$$

وبالتالي سيكون التردد

$$f' = \frac{v - v_o}{\lambda} \quad (٢)$$

وبالتعويض عن قيمة λ في المعادلة (٢) نحصل على

$$f' = \left(1 - \frac{v_o}{v}\right) f \quad (٤-٦)$$



الشكل (٤-١٣)

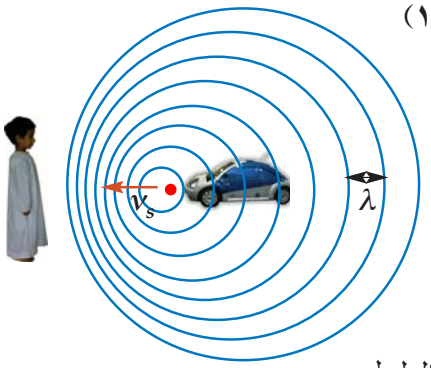
وعموما فإن التردد الظاهري الذي يسمعه المشاهد عندما يتحرك مقترباً ومبتعداً من المصدر الساكن يعطى بالعلاقة :

$$f' = \left(1 \pm \frac{v_o}{v}\right) f$$

حيث تكون الإشارة موجبة عند اقتراب المشاهد من المصدر وسالبة عند ابتعاد المشاهد من المصدر.

الحالة الثانية : عندما يكون المشاهد ثابت والمصدر الصوتي متحرك

عندما يتحرك مصدر الصوت مقترباً من المشاهد كما في الشكل (٤-١٤) فإن الطول الموجي λ سوف يقصر بمقدار المسافة التي يقطعها المصدر نحو المشاهد خلال الزمن اللازم لإصدار موجة واحدة أي خلال زمن دوري واحد T .عليه يكون الطول الموجي



الشكل (٤-١٤)

$$\lambda' = \lambda - \Delta\lambda \qquad (١)$$

حيث λ' الطول الموجي الناتج و λ الطول الموجي الأصلي و $\Delta\lambda$ التغيير في الطول الموجي الأصلي

$$\Delta\lambda = \frac{v_s}{f}$$

وبالتعويض عن قيمة التغير في الطول الموجي في المعادلة (١)

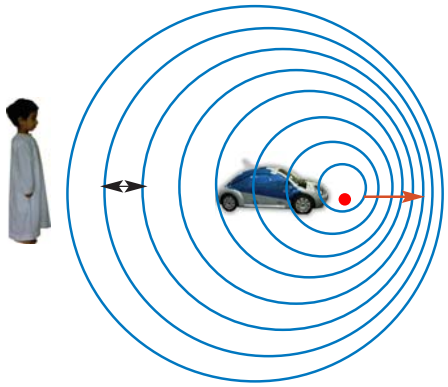
$$\lambda' = \lambda - \frac{v_s}{f}$$

وبالتالي فان التردد الظاهري المسموع من قبل المشاهد الثابت والمصدر يتحرك نحوه سوف يصبح

$$f' = \frac{v}{\lambda'} = \frac{v}{v - \frac{v_s}{f}} = \frac{v}{\frac{v}{f} - \frac{v_s}{f}}$$

وبالتالي

$$f' = \left[\frac{1}{1 - \frac{v_s}{v}}\right] f \qquad (٤-٧)$$


الشكل (٤-١٥)

حيث v سرعة الصوت في الوسط و v_s سرعة مصدر الصوت

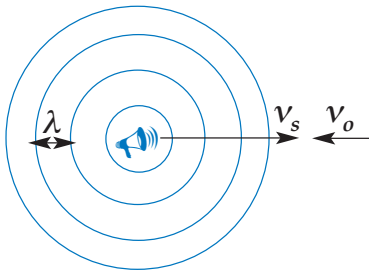
ويلاحظ من المعادلة أن التردد يزداد عندما يتحرك المصدر باتجاه المشاهد، أما عندما يتحرك المصدر بعيداً عن المشاهد الساكن كما في الشكل(٤-١٥) فإن الطول الموجي للموجه المسموعة يكون أكبر من الطول الموجي الصادر وبالتالي يقل التردد الظاهري حسب المعادلة:

$$f' = \left[\frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}}\right] f \qquad (٨-٤)$$

وتصبح الصيغة العامة

$$f' = \left[\frac{1}{1 \pm \frac{v_s}{v}}\right] f$$

الحالة الثالثة : عندما يكون المشاهد ومصدر الصوت في حالة حركة .

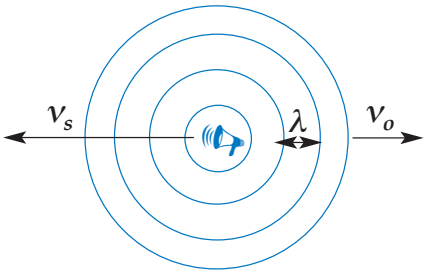


الشكل (٤-١٦)

في هذه الحالة إذا كان كلاً من المشاهد والمصدر يتجهان نحو بعضهما كما في الشكل (٤-١٦) فإن التردد الظاهري يعطى بالعلاقة

$$f' = \left[\frac{v + v_o}{v - v_s}\right] f \qquad (٩-٤)$$

أما إذا كان كلاً من المشاهد والمصدر يبتعدان عن بعضهما كما في الشكل(٤-١٧) فإن التردد الظاهري يعطى بالعلاقة



الشكل (٤-١٧)

$$f' = \left[\frac{v - v_o}{v + v_s}\right] f \qquad (١٠-٤)$$

حيث: v_o سرعة المشاهد، v_s سرعة المصدر، v سرعة الصوت في الوسط

مثال (٢):

يحلق صقر مبتعداً عن مشاهد باتجاه جبل بعيد بسرعة مقدارها $15\ m/s$ مطلقاً صوتاً حاداً تردده $800\ Hz$، فإذا كانت سرعة الصوت في الهواء تساوي $340\ m/s$ فاحسب تردد صوت الصقر الذي يسمعه المراقب.

الحـــل :

$$f' = \left[\frac{1}{1 + \frac{v_s}{v}}\right] f$$

$$f' = \left[\frac{1}{1 + \frac{15}{340}}\right] \times 800 = 766\ Hz$$

اختبر فهمك (٤):

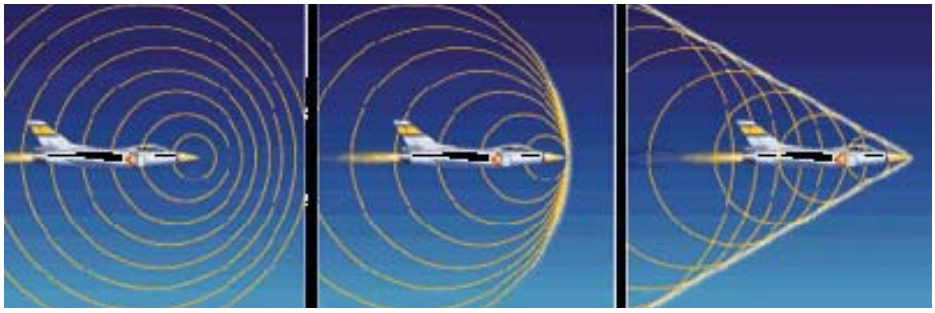
١- هل يحدث أي تأثير عندما يتحرك المشاهد ومصدر الصوت معاً في نفس الاتجاه وبنفس السرعة؟ فسر إجابتك.

٢- إذا هبت رياح هل يتأثر تردد الصوت الصادر من مصدر صوتي باتجاه شخص يقف على مسافة أمام مصدر الصوت.وهل يتغير الطول الموجي؟

حاجز الصوت *Sound Barrier*

يعتبر اختراق الطائرة لحاجز الصوت من التطبيقات على ظاهرة دوبلر فعندما تقترب سرعة الطائرة من سرعة الصوت في الهواء (*340 m/s*) تبدأ الطائرة في الاهتزاز والتأرجح، وبزيادة سرعة الطائرة حتى تصل لسرعة الصوت يزداد الاهتزاز بدرجة خطيرة تكاد أن تؤدي إلى نزع أجنحتها، وما أن تزيد سرعتها عن سرعة الصوت حتى يعود لها الاستقرار و يتوقف الاضطراب ونقول أن الطائرة قد اجتازت جداراً غير مرئي في الهواء يسمى الحاجز الصوتي .

وتفسير هذه الظاهرة أن الصوت ينتقل على شكل موجات من التضاغطات والتخلخلات المتتالية تنتشر بسرعة الصوت، وعندما تطير الطائرة بسرعة أقل من سرعة الصوت فإن الصوت الصادر من الطائرة يسبق رؤية الطائرة نفسها .



الشكل (٤-١٨) لاحظ كيف تزيد سرعة الطائرة إلى أن تساوي سرعة صوتها ثم تزيد إلى أن تخترق حاجز الصوت

ولكن عندما تتساوى سرعتها مع سرعة الصوت تتراكم موجات التضاغطات أمامها مكونة ما يشبه الحائط ، وعندما تزيد السرعة عن سرعة الصوت فإنها تخترق هذا الحائط المرتفع كما في الشكل (٤-١٨) ولحظة الاختراق للحاجز يسمع الناس صوت انفجار شديد.

وعندما تنجح الطائرة في اختراق حاجز الصوت تصبح منطلقة بسرعة تزيد عن سرعة الصوت ولا تؤثر عليها موجات الصوت بأي حال من الأحوال لأن الطائرة تتركها وراءها كما في الشكل (٤- ١٩).

الشكل (٤-١٩)

٤-٦ الرنين في الأعمدة الهوائية *Resonance*

الاستكشاف (٤): الرنين

سؤال علمي : كيف تحدث ظاهرة الرنين؟

المواد و الأدوات: شوكة رنانة – مخبار به ماء – أنبوب زجاجي مفتوح من الطرفين – حامل– مسطرة

الإجراءات:

١– ضع المخبار في الحامل ثم قم بإدخال الأنبوب بداخله.

٢– أطرق الشوكة الرنانة ثم قربها من فوهة الأنبوب.

٣– قم برفع الأنبوب من المخبار بالتدريج.

٤– توقف عن رفع الأنبوب عند سماعك للصوت الصادر منه.

٥– قس المسافة من بداية سطح الماء إلى نهاية الأنبوب.

٦– استمر في رفع الأنبوب حتى تسمع الصوت مرة أخرى ثم قم بقياس الطول مرة ثانية .

التحليل والتفسير:

١– ماذا نسمي هذه الظاهرة؟

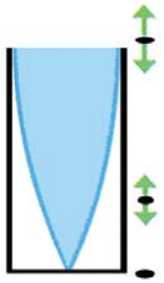
٢– لماذا لم تحدث هذه الظاهرة إلا عند طول معين؟

٣– ماذا تتوقع أن يحدث إذا غيرنا تردد الشوكة الرنانة؟

سبق وأن درست في الفصل السابق الموجات الموقوفة والتي هي عبارة عن تراكب الموجات الساقطة والموجات المنعكسة ، وكما شاهدت في الاستكشاف السابق ففي الأعمدة الهوائية وعندما تتكون هذه الموجات وعند أطوال معينة لعمود الهواء يحدث تضخم للصوت أو ما يعرف بظاهرة الرنين .

وسوف تقتصر دراستنا للرنين في هذا الفصل على الرنين في الأعمدة الهوائية المفتوحة من طرف واحد فقط.

ماذا يحدث داخل الأنبوبة لكي يحدث الرنين؟



الشكل (٤-٢٠)

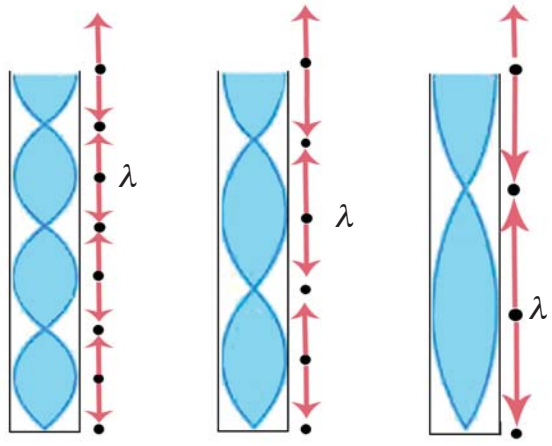
– عندما نقرب الشوكة الرنانة من فوهة الأنبوب يتحرك فرع الشوكة مسبباً موجة من التضاغطات والتخلخلات وعندما تصل للطرف المغلق فإنها تنعكس مرتدة وتتراكب الموجتان الساقطة والمنعكسة مكونة موجة موقوفة بعقدة عند الطرف المغلق وبطن عند الطرف المفتوح كما هو موضح بالشكل(٤-٢٠) وتحدث ظاهرة الرنين عندما تبلغ الإزاحة أقصى قيمة لها وبالتالي سيكون أقصر طول للعمود يمكن أن يحدث رنيناً هو المسافة بين عقدة وبطن متتاليين (ربع طول موجي)ويطلق عليها النغمة الأساسية (الرنين الأول) $L = \frac{\lambda}{4}$

– تتكرر الظاهرة مرة أخرى عند زيادة طول الأنبوبة بحيث يمكن أن تتحقق الشروط السابقة وستحدث النغمة التوافقية الأولى (الرنين الثاني) عندما يبلغ طول عمود الهواء $L_2 = 3\ \frac{\lambda}{4}$ وستكون النغمة التوافقية الثانية (الرنين الثالث) عند $L_3 = 5\ \frac{\lambda}{4}$ وهكذا.

ويوضح الشكل (٤-٢١) مجموعة من الأطوال الموجية التي يحدث عندها الرنين .

ويمكن إعطاء العلاقة بين طول عمود الهواء والطول الموجي الذي يحدث عنده الرنين بالمعادلة :

$$L_n = n\ \frac{\lambda}{4} \qquad (٤-١١)$$



الشكل (٤-٢١)

حيث n عدد صحيح فردي

ويكون فرق المسافة بين كل طولين يحدث بهما رنين هو $\frac{\lambda}{2}$

وبناء على ما سبق فإن شروط حدوث الرنين في العمود الهوائي المفتوح من طرف واحد هي:

١- يجب أن يتكون بطن للموجة الموقوفة عند نهاية الطرف المفتوح وعقدة عند الطرف المغلق .

٢- يجب أن يكون أقصر طول عمود هوائي يحدث عنده رنين هو ربع طول موجي $\frac{\lambda}{4}$.

مثال (٣):

أوجد تردد النغمة التوافقية الأولى (الرنين الثاني) لأنبوب مفتوح من طرف طوله عند تلك النغمة $2.45\ m$ تتحرك بداخله موجة صادرة من شوكة رنانة إذا علمت أن سرعة الصوت في الهواء $345\ m/s$.

الحـل:

$$L_n = n\ \frac{\lambda}{4}$$

$$\lambda = \frac{4L_n}{n}$$

و بما أن

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

$$f = n\ \frac{v}{4L_n}$$

$$f = (3)\ \frac{345}{4\ x\ 2.45} = 106\ Hz$$

٤-٧ تطبيقات على التقانات التي تستخدم مبادئ الصوت

Applications in Techniques that uses Sound Principles

لقد استفاد الإنسان كثيراً من خصائص الصوت فصنع مجموعة من الأجهزة التي حلت له مشاكل وصعوبات كان يواجهها في السابق ولكنها أصبحت أموراً بسيطة من خلال دراسته وتعرفه على الصوت ومن هذه الأجهزة:

* جهاز الموجات فوق الصوتية *Ultrasound*

هي تكنولوجيا تستخدم الموجات فوق الصوتية في التصوير الطبي ذات ترددات أكبر من ***20 kHz*** أي أكبر من الترددات التي تسمعها أذن الإنسان. وتعتمد فكرة عمل تلك الأجهزة الطبية على الموجات فوق الصوتية التي تسقط على الجسم وتنعكس عنه مثل ما يقوم به الخفاش أيضاً حيث يطير في الليل مستعينا بالموجات فوق الصوتية التي يحدثها لتسقط على الأجسام أمامه وتنعكس عنها ويسمعها فيحدد مساره دون الحاجة إلى حاسة الإبصار ليستدل على الطريق أثناء الطيران. كما تستخدم الحيتان في البحر الأمواج فوق الصوتية وتستخدمها الغواصات البحرية كجهاز رادار يعمل في أعماق المحيطات لكشف الغواصات المعادية. وتعتمد فكرة استخدام الأمواج فوق الصوتية على الأحداث التالية:

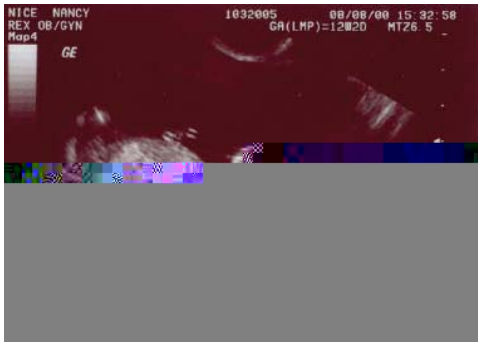
١- يرسل جهاز الموجات فوق الصوتية الموضح في الشكل (٤-٢٢) موجات بترددات صوتية عالية تتراوح بين ***(1 - 5) MHz*** على صورة نبضات توجه إلى جسم الإنسان من خلال مجس خاص.

٢- تخترق الموجات فوق الصوتية جسم الإنسان لتصطدم بالفواصل والحدود الموجودة بين مكونات الجسم المختلفة مثل السوائل الموجودة بين طبقات الجلد.

٣- جزء من الموجات فوق الصوتية تنعكس عن الحدود الفاصلة بين مكونات جسم الإنسان وتعود إلى المجس بينما تستمر باقي الأمواج فوق الصوتية لتخترق طبقات أعمق في جسم الإنسان لتصل إلى حدود فاصلة أخرى وتنعكس عنها وترتد إلى المجس.

كث ١ . . . . -ك ١ . . . . -ك ×شك يث( )ك ث ٠ك كث لغواصل صل- عن طبقات

٥- يقوم جهاز الأمواج فوق الصوتية بحساب المسافة بين المجس وطبقة الجلد أو العضو الذي انعكست عنه الموجات فوق الصوتية مستخدما سرعة تلك الموجات في جسم الإنسان والتي تبلغ ***1540m/s*** ومستخدماً الزمن اللازم لعودة الموجات فوق الصوتية للمجس والتي تكون في حدود المايكروثانية أي $10^{-6}s$.



شكل (٤ - ٢٣)
صورة أمواج فوق الصوتية لجنين في الأسبوع الثاني عشر

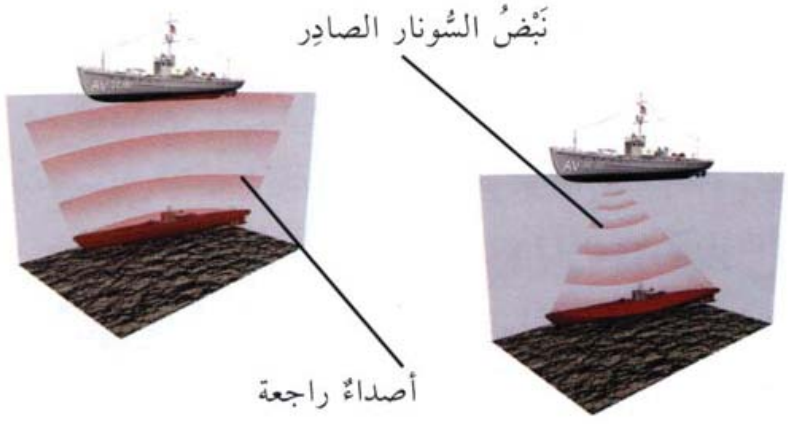
٦- يظهر جهاز الموجات فوق الصوتية العلاقة بين المسافة وشدة الإشارة المنعكسة من جسم الإنسان لتكون توزيع ثنائي الأبعاد للمسافة والشدة والتي تعبر عن الصورة التي نشاهدها على جهاز الأمواج فوق الصوتية والموضحة في الشكل (٤-٢٣).

معلومة تهمك

بعض الكائنات الحية لديها سونار ولكن سونار طبيعي مثل الحيتان والدلافين، حيث وجد أن هذه الكائنات ترسل أصواتاً وتستقبل صدى أصوات ومن خلال هذا الصدى تتعرف على الأماكن التي تحاول الدخول فيها لتجد فيها الطعام وتتعرف على نوعية المكان باستخدام الصوت .

* السونار *Sonar*

هو جهاز أو نظام استشعار يستخدم صدى الصوت. يقوم السونار بإرسال نبضة ***pulse*** من الصوت عالية التردد. وبعد إرسال هذه النبضة يحسب الوقت إبتداءاً من خروج النبضة وحتى رجوعها إلى الجهاز.يستخدم السونار غالباً في عمل خرائط لقاع المحيط ، حيث أننا نعلم أن سرعة الصوت في الماء تقدر بحوالي ***1450 m/s*** وبمعرفة الوقت الذي تستغرقة الموجه ذهاباً وعودة نستطيع أن نحدد عمق المنطقة. يقوم السونار بإرسال نبضة كهربائية ترسل من خلال جهاز حيث يقوم بتغيير هذه النبضة الكهربائية إلى نبضة أو إشارة صوتية. وبعد التحويل ترسل هذه الإشارة إلى داخل البحر حيث تصطدم بالقاع وترجع لنا على شكل صدى ***echoe*** فيستقبلها جهاز الاستقبال ***receiver*** وبعد ذلك يتم حساب العمق من خلال الصدى القادم من الخارج أي من خارج الجهاز، الشكل (٤-٢٤).



الشكل (٤-٢٤)

* الرادار Radar

يعتبر الرادار من الأجهزة الشائعة الاستخدام في مختلف مجالات حياتنا. فهو يستخدم في المطارات لتعقب حركة الطائرات وتوجيهها خلال رحلاتها الجوية وأثناء الإقلاع والهبوط. كما يستخدم لضبط السائقين الذين يتجاوزون السرعة القانونية المسموح السير بها. و يستخدم أيضاً في الملاحة البحرية لتوجيه السفن والغواصات، وأيضاً في وكالات الفضاء لرسم خرائط الكواكب ومراقبة مسارات الأقمار الصناعية، و يلعب الرادار دوراً هاماً في معرفة الأحوال الجوية واكتشاف العواصف والأعاصير هذا بالإضافة إلى استخدامه في المعارك الحربية وتوجيه القذائف والصواريخ. لذا فإن الرادار من الأجهزة التقنية التي لا يمكن الاستغناء عنها.

يعمل الرادار على نفس مبدأ ارتداد الصوت عند اصطدامه بحاجز ولكن المشكلة التقنية التي سوف تواجهنا عند صنع جهاز رادار يعمل بالصوت هي أن مدى موجات الصوت لا يتعدى $2\ km$ وهذا مدى قصير جداً مقارنة بالعمل المنتظر منه لذلك تستخدم موجات الراديو وهي نوع من الموجات الكهرومغناطيسية التي تتميز بتردد منخفض وطول موجي كبير وكذلك فهي تسافر إلى مسافات بعيدة.

ولكي نتعرف على كيفية عمل الرادار نأخذ مثالاً على ذلك الرادار الذي يقوم بتعقب الطائرات في الجو والمستخدم في مراكز التحكم في المطارات كما في الشكل (٤-٢٥) حيث يثبت جهاز إرسال موجات الراديو لنظام الرادار على محرك يدور بصورة منتظمة ويرسل موجات الراديو في جميع الاتجاهات، حيث يطلق جهاز الإرسال موجات الراديو في صورة نبضات قوية بينما يرصد جهاز الاستقبال الصدى المرتد عن الأجسام التي من الممكن أن تصطدم بها نبضات موجات الراديو. ويعمل جهاز الاستقبال على قياس المدة الزمنية التي استغرقها الصدى للوصول- سرعة موجات الراديو تساوي $3 \times 10^8\ m/s$ - لذا يستطيع الرادار تحديد مواقع الطائرات بدقة عالية.

الشكل (٤-٢٥)

أسئلة الفصل

السؤال الأول :- اختر الإجابة الصحيحة من بين البدائل المعطاة:

١ – خاصية تستطيع بها الأذن أن تميز بين الأصوات من حيث القوة والضعف :

أ– شدة الصوت　　ب– تردد الصوت　　ج– مستوى شدة الصوت　　د– الرنين

٢ – تكون سرعة الصوت في المواد :

أ– الصلبة أكبر من المواد السائلة　　ب– السائلة أكبر من المواد الصلبة

ج– الغازية أكبر من المواد الصلبة　　د– الغازية أكبر من المواد السائلة

٣ – الظاهرة التي يحدث خلالها تقوية وضعف لصوت المصدر المتحرك أثناء اقترابه أو ابتعاده عن مصدر ساكن هي:

أ– الانعكاس　　ب– دوبلر　　ج– الصدى　　د– الحيود

٤ – حسب ظاهرة دوبلر وعندما تقترب منك دراجة نارية فإن الصوت الذي تسمعه يكون:

أ– قوي وغليظ　　ب– غليظ وضعيف

ج– حاد وقوي　　د–ضعيف وحاد

٥ – سيارة تتحرك بسرعة $25\ m/s$ **تصدر صوت من بوقها بتردد** $300\ Hz$ **وسرعة الصوت في الهواء** $340\ m/s$ **فإن التردد الظاهري المسموع أثناء اقتراب السيارة من شخص واقف بوحدة الهرتز :**

أ– 275　　ب– 278.6　　ج– 300　　د– 323.8

٦- في السؤال السابق التردد الظاهري المسموع أثناء ابتعاد السيارة من شخص واقف بوحدة Hz :

أ- 279.4 ب- 300 ج- 325 د- 350

٧- إذا كان أقصر طول عمود هوائي مفتوح من طرف واحد يحدث عنده رنين يساوي $\frac{1}{4}\lambda$ فإن طول العمود الذي يحدث عنده الرنين الثاني يساوي :

أ- $\frac{3}{4}\lambda$ ب- λ ج- $\frac{4}{3}\lambda$ د- 4λ

٨- عند استخدام شوكة رنانة ترددها $512\ Hz$ كان أقصر طول عمود هوائي مغلق يحدث عنده رنين يساوي $16.5\ cm$ فإذا استخدمت شوكة أخرى ترددها $480\ Hz$ فإن طول عمود الهواء الذي سيحدث عنده الرنين عندئذ بوحدة cm:

أ- 15.5 ب- 17.6 ج- 62 د- 70.4

٩- إذا كان طول أقصر عمود هوائي مفتوح من طرف واحد يحدث عنده رنين يساوي $20\ cm$ فإن طول عمود الهواء الذي يصدر الرنين الثالث:

أ- 100 ب- 60 ج- 40 د- 4

السؤال الثاني أجب عن الأسئلة الآتية:

١-علل لما يلي :

أ- صوت المرأة يكون عادة أكثر حدة من صوت الرجل .

ب - حدوث الرنين في الأعمدة الهوائية المفتوحة من طرف واحد .

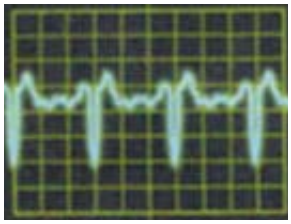
ج -استخدام الموجات فوق الصوتية في تشخيص بعض الأمراض العضوية.

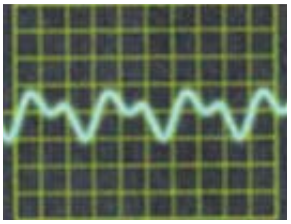
٢–فسر كيف تساعد ظاهرة دوبلر الحوت في تحديد فيما إذا كانت هناك سمكة تتحرك نحوه أو بعيدة عنه؟

٣ – اشرح تجربة عملية لتعيين تردد شوكة رنانة (مجهولة التردد) باستخدام عمود هوائي مفتوح من طرف واحد وبمعلومية سرعة الصوت في الهواء .

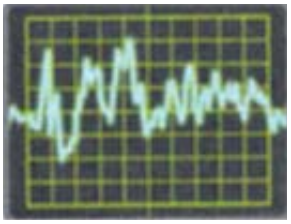
٤– ابحث عن استخدامات أخرى لجهاز الموجات فوق الصوتية ولجهاز السونار في عدة مجالات علمية غير المذكورة معك.

٥– أجب عن الأسئلة التالية من خلال الأشكال(٤–٢٧ أ–ب–ج–د) :


أ


ب

ج


د

أ– في أي شكل كان الصوت مزعج؟ ولماذا؟

ب– أي شكل يشير إلى أن الصوت حاد؟

ج– أي شكل يشير إلى أن سعة الصوت منخفضة؟

د– في أي شكلين يدل الرسم على أن لهما نفس مصدر الصوت؟

السؤال الثالث أجب عن الأسئلة الآتية:

١- طرقت شوكة رنانة عند فوهة أنبوب رأسي يحوي ماء إلى منسوب يمكن تعديله فإذا حدث رنينين متتاليين عند منسوبين متتاليين للماء البعد بينهما $40\ cm$ عندما كانت سرعة الصوت داخل الأنبوب $340\ m/s$، أوجد تردد الشوكة الرنانة بوحدة Hz.

٢- سيارة تسير بسرعة $20\ m/s$ مقتربة من شخص يقف ساكناً فتطلق صوتاً للتنبيه تردده $320\ Hz$ فإن كانت سرعة الصوت في الهواء $340\ m/s$ أوجد تردد الصوت الذي يسمعه الشخص بوحدة Hz .

٣- مصدر صوتي متحرك بسرعة $37.5\ m/s$ وأثناء مروره أمام سامع حدث هبوط في تردد الصوت المسموع مقداره $72\ HZ$ ، فإذا علمت أن سرعة الصوت في الهواء $340\ m/s$ ، احسب تردد صوت المصدر.

٤- سيارة إسعاف تسير بسرعة $10\ m/s$ مقتربة من نقطة تقاطع فتطلق صوتاً من بوقها للتنبيه $300\ Hz$ فإذا كان تردد صوت بوقها $300\ Hz$ وسرعة الصوت في الهواء $340\ m/s$ فإذا علمت أن السامع واقف عند نقطة التقاطع فأحسب:-

أ - التردد الظاهري المسموع أثناء اقتراب سيارة الإسعاف من السامع.

ب - التردد الظاهري المسموع أثناء ابتعاد سيارة الإسعاف من السامع.

٥- ما المسافة التي يقطعها الصوت خلال 4 s عبر :

أ- الماء عند درجة حرارة $38\ C^{o}$

ب- الزجاج عند درجة حرارة $-10\ C^{o}$

علماً أن سرعة الصوت في الماء $1482\ m/s$ وفي الزجاج $4540\ m/s$

ارتباط الفيزياء بالمهن
Physics on The Job

يتم استخدام التقانة المعتمدة على تطبيق المبادئ والقوانين الفيزيائية في مختلف المهن والوظائف.كذلك يتطلب الكثير من المهن المعرفة العلمية الدقيقة لعلم الفيزياء بفروعه المتعددة، و فيما يلي نعرض بعض هذه المهن على سبيل المثال وليس الحصر:

فني هندسة إلكترونيات:

يقوم هذا الفني بإصلاح وصيانة الأجهزة ذات التقنية العالية كالماسحات الضوئية وأجهزة الليزر والروبوتات ، حيث يقوم باختبار هذه الأجهزة باستخدام أدوات إلكترونية مثل الملتيميتر وجهاز الاسلوسكوب. ويعمل فني هندسة الإلكترونيات في المستشفيات ومجالات واسعة في التعليم والمصانع ذات التقنية العالية.

عازف الجيتار:

يقوم عازف الجيتار بتغيير تردد آلته الوترية من خلال تغيير الشد في الحبل أو تغيير طول الحبل، فهو يقوم بشد هذه الأوتار من خلال مفاتيح خاصة توضع في رقبة الجهاز، فعند زيادة الشد يزداد التردد حيث العلاقة بين التردد (f) وقوة الشد T_f طردية ، وعند العزف يقوم الموسيقار بإنتاج النغمات الموسيقية المتباينة من خلال تحريك أصابعه على طول العنق ، وبذلك يتغير طول الجزء المهتز ، وبالتالي يتغير التردد، ويقوم عازف الجيتار المحترف بإنتاج النغمات الموسيقية الرائعة بإحداثه اضطرابات متتابعة من خلال تحريك يده اليسرى بسرعة على هذه الأوتار.

قائمة المراجع

المراجع الأجنبية:

1. *Paul G.Hewitt, John Suchocki, Leslie A.Hewitt, Conceptual Physics Science-Exploration, 1st edition, Addison Wesley, San Francisco, 2003.*

2. *Alan Hirsch, David Martindale, Charles Stewart, Maurice Barry, Physics 12, Thomson Nelson, Canada, 2003.*

3. *Paul W. Zitzewitz, Ph.D., Physics Principles and problems, Glencoe McGraw-Hill, New York, 1999.*

4. *Charles Chew, Leong See Cheng, Comprehensive Physics For IGCCE Level science, 2nd edition, Times Media Private limited, Singapore, 2000.*

5. *Raymond A. Serway, Jerry S. Faughn, Holt Physics, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1999.*

6. *Raymond A. Serway, Jerry S. Faughn, College Physics, 4th edition, Saunders college publishing, Fort Worth, 1995.*

7. *Tom Duncan, Advanced Physics, 4th edition, John Murray publishers, London, 1987.*

8. *H. D.Young, Physics, 8th edition , Addison Wesley, 1992.*

9. *Salters Horners , Advanced Physics AS, Heinemann,2000.*

10. *Jim Breithaupt, Understanding Physics for Advanced Level, Stanley Thornes, Forth edition, UK, 2000.*

قائمة المراجع

المراجع الأجنبية:

11. Tom Duncan, Heather Kennett, IGCSE Physics, Hodder Murray, 2002.

12. Charles Chew, Chow Siew Foong, Ho Boon Tiong, Education, 2007.

13. Ken Dobson and Martin Roberts, Nelson Science Physics, United Kingdom: Nelson Thorens, second edition, 2002.

14. Dobson, Grace and Lovett, Physics, London: Hyper Collins Publishers, second edition, 2002.

15. Douglas C. Giancoli, Physics Principles with Applications, sixth edition, Pearson education International, 2005.

16. John Avison, The World of Physics, United Kingdom: Thomas Nelson and sons, second edition, 1989.

17. Holt Science & Technology Physical science, Holt, Rinehart and Winston, New York, 2001.

18. John D Cutnell, Kenneth W & Others Physics, USA1992.

قائمة المراجع

المراجع العربية:

١. أ. د. علي سالم، د. مجدي العشري، د. محمد عصمت فارس، الفيزياء العملية، جامعة التحدي، الطبعة الأولى ١٩٩٣م، ليبيا.

٢. د. محمد الدبس وآخرون، الموسوعة العلمية الشاملة ، أكاديميا، بيروت لبنان،٢٠٠٦م.

٣. أحمد شفيق الخطيب،الموسوعة العلمية الميسرة، مكتبة لبنان،الطبعة الأولى ١٩٩٨م.

٤. ف. بوش، أساسيات الفيزياء، الدار الدولية للنشر والتوزيع، الطبعة السادسة، ١٩٩٤م.

٥. بوش ، أساسيات الفيزياء ، الدار الدولية للإستثمارات الثقافية ، ٢٠٠٥ .

٦. بوش، جيرد، أساسيات الفيزياء، الدار الدولية للاستثمارات الثقافية، الطبعة الأولى، مصر، ٢٠٠١م

٧. دز غازي ياسين القيسي، أساسيات الميكانيكا وخواص المادة، دار المسيرة، الطبعة الأولى، ٢٠٠٧ .

٨. الفيزياء للصف العاشر، المملكة الأردنية الهاشمية، وزارة التربية والتعليم، إدارة الكتب والمناهج الدراسية، الطبعة الأولى، ٢٠٠٦م.

٩. خواص المادة والحركة الموجية، مطبعة كلية العلوم بجامعة بغداد، الطبعة الأولى ١٩٨٧ .

١٠. الدغمة محمد و المز وغي فرج، أساسيات الكهرباء والمغناطيسية، الكويت: مكتبة الفلاح للنشر والتوزيع، الطبعة الأولى، ٢٠٠٠م.

قائمة المراجع

Websites:

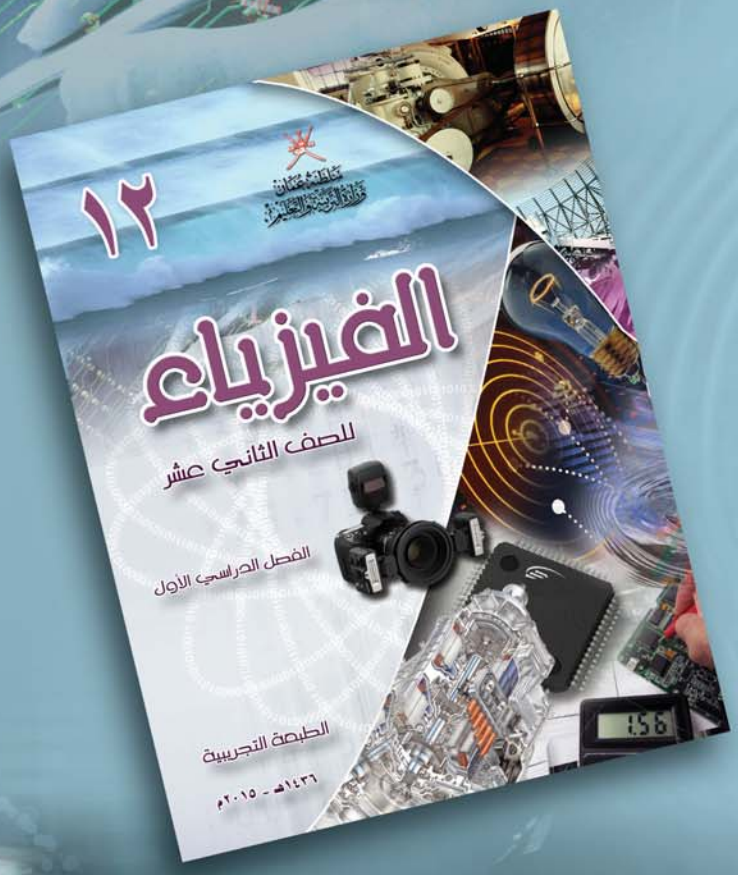
1. *http://ar.wikipedia.org/wiki*

2. *http://www.hazemsakeek.com/Physics_Lectures/Electrostatic/GP2_Problems_3.htm*

3. *http://www.kettering.edu/~drussell/Demos/superposition/superposition.html*

4. *http://www.schoolarabia.net/ayn_alfezia/ksa2s_aldo2/al7yod.htm*

تم بحمد الله



www.moe.gov.om

عزيزي الطالب محافظتك على الكتاب المدرسي قيمة حضارية

طبع بمزون للطباعة والنشر والإعلان ش.م.م هاتف: ٢٤٨١٧٠٠٤