

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي



١١

الجزء الثاني

الفيزياء

العلمي والصناعي



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

الفيزياء

الجزء الثاني

للمصف الأول الثانوي
العلمي والصناعي

المؤلفون

خديجة عبد اللطيف أبو اسليمة
محمد كايد صباح
أحمد سياعرة «مركز المناهج»

د. وائل قراعين
باسمة بلبيسي

د. عزيز شوابكة
سالم طنجير
رشا عمر «مركز المناهج»



قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين
تدريس كتاب الفيزياء للصف الأول الثانوي في مدارسها للعام الدراسي ٢٠٠٥ / ٢٠٠٦ م

■ الإشراف العام

رئيس لجنة المناهج: د. نعيم أبو الحمص
مدير عام مركز المناهج: د. صلاح ياسين

■ مركز المناهج

إشراف تربوي : د. عمر أبو الحمص

الدائرة الفنية

■ إشراف إداري: رائد بركات

■ تصميم: عبد الجبار دويكات

■ الإعداد المحوسب للطباعة: حمدان بحبوح

■ تحرير لغوي: تحسين يقين

■ تنضيد: أمينة سالم

■ تصميم الغلاف: كمال فحماوي

■ الفريق الوطني لمنهاج الفيزياء للمرحلة الثانوية

عزیز شوابكة «منسقاً» د. شحادة عبده

زاهر عطوه وحيد جبران

محمد مقدادي رشا عمر «المناهج» أحمد سياعرة «المناهج»

الطبعة الأولى التجريبية

٢٠٠٦ م / ١٤٢٦ هـ

© جميع حقوق الطبع محفوظة لوزارة التربية والتعليم العالي / مركز المناهج
مركز المناهج - حي المصيون - شارع المعاهد - أول شارع على اليمين من جهة مركز المدينة
ص. ب. ٧١٩ - رام الله - فلسطين
تلفون ٢٩٦٦٣٥٠ - ٢٩٧٠٠، فاكس ٢٩٦٦٣٧٧ - ٢٩٧٠٠
الصفحة الالكترونية: www.pcdc.edu.ps - العنوان الالكتروني: pcdc@palnet.com

رأت وزارة التربية والتعليم العالي ضرورة وضع منهاج يراعي الخصوصية الفلسطينية؛ لتحقيق طموحات الشعب الفلسطيني حتى يأخذ مكانه بين الشعوب. إن بناء منهاج فلسطيني يعد أساساً مهماً لبناء السيادة الوطنية للشعب الفلسطيني، وأساساً لترسيخ القيم والديمقراطية، وهو حق إنساني، وأداة تنمية للموارد البشرية المستدامة التي رسختها مبادئ الخطة الخمسية للوزارة.

وتكمن أهمية المنهاج في أنه الوسيلة الرئيسة للتعليم، التي من خلالها تتحقق أهداف المجتمع؛ لذا تولي الوزارة عناية خاصة بالكتاب المدرسي، أحد عناصر المنهاج؛ لأنه المصدر الوسيط للتعلم، والأداة الأولى بيد المعلم والطالب، إضافة إلى غيره من وسائل التعلم: الإنترنت، والحاسوب، والثقافة المحلية، والتعلم الأسري، وغيرها من الوسائط المساعدة.

أقرت الوزارة هذا العام (٢٠٠٥/٢٠٠٦)م تطبيق المرحلة السادسة من خطتها للمنهاج الفلسطيني، لكتب الصف الأول الثانوي (١١) بفروعه: العلمي، والعلوم الإنسانية، والمهني، والتقني، بالإضافة إلى تطوير بعض كتب المرحلة الأساسية (١٠-١)، وسيتبعها كتب منهاج الصف الثاني الثانوي (١٢) في العام القادم، وبها تكون وزارة التربية والتعليم العالي قد أكملت إعداد جميع الكتب المدرسية للتعليم العام للصفوف (١-١٢)، وتعمل الوزارة حالياً على توسيع البنية التحتية في مجال الشبكات والتعليم الإلكتروني، وعمل دراسات تقويمية وتحليلية لمناهج المراحل الثلاث، في جميع المباحث (أفقياً وعمودياً)؛ لمواصلة التطوير التربوي، وتحسين نوعية التعليم الفلسطيني.

وتعد الكتب المدرسية وأدلة المعلم التي أنجزت للصفوف الأحد عشر حتى الآن، وعددها يقارب ٣٥٠ كتاباً، ركيزة أساسية في عملية التعليم والتعلم، بما تشتمل عليه من معارف ومعلومات عُرضت بأسلوب سهل ومنطقي؛ لتوفير خبرات متنوعة، تتضمن مؤشرات واضحة، تتصل بطرائق التدريس، والوسائل والأنشطة وأساليب التقويم، وتتلاءم مع مبادئ الخطة الخمسية المذكورة أعلاه.

وتتم مراجعة الكتب وتنقيحها وإثراؤها سنوياً بمشاركة التربويين والمعلمين والمعلمات الذين يقومون بتدريسها، وترى الوزارة الطباعات من الأولى إلى الرابعة طباعات تجريبية قابلة للتعديل والتطوير؛ كي تتلاءم مع التغيرات في التقدم العلمي والتكنولوجي ومهارات الحياة. إن قيمة الكتاب المدرسي الفلسطيني تزداد بمقدار ما يبذل فيه من جهود، ومن مشاركة أكبر عدد ممكن من المتخصصين في مجال إعداد الكتب المدرسية، الذين يحدثون تغييراً جوهرياً في التعليم، من خلال العمليات الواسعة من المراجعة، بمنهجية رسختها مركز المناهج في مجالي التأليف والإخراج في طرفي الوطن الذي يعمل على توحيده.

إن وزارة التربية والتعليم العالي لايسعها إلا أن تتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى المؤسسات والمنظمات الدولية، والدول العربية والصديقة وبخاصة حكومة بلجيكا؛ لدعمها المالي لمشروع المناهج.

كما أن الوزارة لتفتخر بالكفاءات التربوية الوطنية، التي شاركت في إنجاز هذا العمل الوطني التاريخي من خلال اللجان التربوية، التي تقوم بإعداد الكتب المدرسية، وتشكرهم على مشاركتهم بجهودهم المميزة، كل حسب موقعه، وتشمل لجان المناهج الوزارية، ومركز المناهج، والإقرار، والمؤلفين، والمحرفين، والمشاركين بورشات العمل، والمصممين، والرسمين، والمراجعين، والطابعين، والمشاركين في إثراء الكتب المدرسية من الميدان أثناء التطبيق.

وزارة التربية والتعليم العالي

مركز المناهج

كانون ثاني ٢٠٠٦ م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على خاتم الأنبياء والمرسلين وبعد .

فإننا نقدم كتاب الفيزياء للصف الأول الثانوي العلمي إلى معلمينا وطلبتنا الأعزاء في فلسطين؛ ليكون مكماً لما ورد من مفاهيم فيزيائية في كتب العلوم العامة في المرحلة الأساسية؛ وذلك ترجمة للأهداف التي وضعت في خطة المنهاج الفلسطيني الأول كما وردت في الخطوط العريضة لمبحث الفيزياء، آمليين أن نكون قد وفقنا في تحقيق الأهداف المرجوة .

لقد اعتمدت بنية هذا الكتاب على اتجاهات حديثة في علم الفيزياء، تم فيها ربط غالبية فروع هذا العلم ضمن مفهوم واحد هو الطاقة .

يتضمن الجزء الثاني من كتاب الفيزياء وحدتين :

الوحدة الرابعة: استعرضت أساسيات الكهرباء الساكنة، ومفاهيم: الشحنة الكهربائية، والمجال والجهد الكهربائيين، والسعة والمواسعات الكهربائية وطرق توصيلها .

الوحدة الخامسة: استعرضت أساسيات الفيزياء الالكترونية، ومفاهيم المواد الموصلة وشبه الموصلة، وطرق تركيب الدوائر الالكترونية البسيطة، والتعريف بمكوناتها، كما عرضت شرحاً موجزاً عن الترانزستورات وطرق تركيبها وتوصيلها ومبدأ عملها .

وتضمنت كل وحدة عدة فصول، وقد ألحق بكل فصل أسئلة تقييمية إضافة إلى أسئلة ختامية في نهاية كل وحدة .

وقد جاءت لغة الكتاب مخاطبة الطالب ومشجعة على تفاعله مع المادة العلمية، عن طريق ربط معرفته السابقة باللاحقة، كما احتوى الكتاب على الكثير من الرسومات البيانية والأشكال التوضيحية والاستقصاءات وقضايا البحث والمناقشة، إضافة إلى نشاطات عملية وأمثلة، وأسئلة متنوعة؛ بهدف تعزيز المفاهيم العلمية، وربط المعرفة النظرية بالحياة العملية .

وقد تم استخدام الهوامش لإثراء المنهاج من خلال تعزيز المفاهيم برسوم توضيحية ومعلومات إضافية ونشاطات ذهنية متنوعة .

وبما أن هذه الطبعة من الكتاب تجريبية، فإننا نأمل من زملائنا المعلمين والمشرفين التربويين وطلبتنا الأعزاء تزويدنا بملاحظاتهم واقتراحاتهم ونقدمهم البناء؛ لرفع مستوى الكتاب وتحسينه في الطبعات القادمة .

المؤلفون

٢	الكهرباء السكنية
٣	الفصل الأول: الشحنة الكهربائية وقانون كولوم
١٤	الفصل الثاني: المجال الكهربائي
٣٤	الفصل الثالث: الجهد الكهربائي
٤٩	الفصل الرابع: السعة الكهربائية والمواسعات
٦١	أسئلة الوحدة:

الوحدة الرابعة

٦٤	الإلكترونيات الفيزيائية
٦٥	الفصل الأول: أشباه الموصلات
٧٦	الفصل الثاني: الثنائيات شبه الموصلة
٨٩	الفصل الثالث: الترانزستور
١٠٣	أسئلة الوحدة:
١٠٦	ملحق:
١١٠	المراجع:

الوحدة الخامسة

الكهرباء السكونية

الوحدة

٤



الشحنة الكهربائية وقانون كولوم



لا بد أنك لاحظت العديد من الظواهر الطبيعية المختلفة، مثل سماعك صوت فرقعة، أو مشاهدتك ومضة كهربائية عند نزعك لملابسك الصوفية، أو تمشيط شعرك، وقد تشعر بصدمة كهربائية عند ملامستك ليد باب، وقد عرفت أن هذه الظواهر تسببها تراكم شحنات كهربائية سكونية (شحنات كهروستاتيكية).

والكهربائية السكونية ظاهرة اكتشفت قبل الميلاد بنحو ٦٠٠ سنة، واليوم تعد الكهرباء واحدة من أهم مصادر الطاقة التي ساهمت في التقدم الحضاري والتكنولوجي الذي نعيشه، فهي تمكننا من إنتاج الحرارة، والضوء، والحركة، إضافة إلى العديد من التأثيرات الطبيعية الأخرى، ويمكن تفسير معظم الظواهر الطبيعية المرتبطة بالكهرباء باستخدام مدلولات الشحنة الكهربائية، وقوى التجاذب والتنافر بين الشحنات. وتلعب القوى الكهربائية بين الشحنات في المادة دوراً أساسياً في تحديد خواص المادة، فهي التي تتحكم في ترابط الإلكترونات والبروتونات في الذرة، كما أنها مسؤولة عن ترابط الذرات مع بعضها بعضاً لتكوين جزيئات المادة. فما المقصود بالشحنة الكهربائية؟ وكيف يمكن توليدها؟ وكيف تؤثر الشحنات الكهربائية على بعضها بعضاً؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

١. تتعرف مفهوم الشحنة الكهربائية.
٢. تتعرف أنواع الشحنة الكهربائية.
٣. تتوصل إلى مفهوم القوة الكهربائية.
٤. تتوصل إلى قانون كولوم.
٥. تطبق قانون كولوم في حل مسائل مختلفة.

لمحة تاريخية:

اكتشاف الكهرباء:



صورة البرق

هل تعلم:

إن شراة البرق تسخن الهواء حولها إلى درجة حرارة تقارب ٣٠٠٠٠٠٠ كس أي أعلى بخمس مرات من درجة حرارة سطح الشمس. هذه الحرارة العالية تسبب تمدد الهواء بسرعة كبيرة تفوق سرعة الصوت؛ مما يسبب قصف الرعود.



تجربة فرانكلين

هل تعلم:

إن داخل السيارة هو أكثر الأماكن أماناً من الصواعق لأن هيكل السيارة الفولاذي يمرر الكهرباء إلى سطح الأرض عن طريق سلسلة تصل بين جسم السيارة والأرض.

أدرك اليونانيون بعض الظواهر الكهربائية قديماً، فقد لاحظ (الفيلسوف طاليس ٦٠٠ ق.م) أنه عند حك قطعة من الكهرمان بقطعة قماش فإنها تجذب ريش الطيور والخيوط الصوفية أو القطنية. وكان العالم الإنجليزي وليام جلبرت (١٥٤٤م - ١٦٠٣م) من أوائل العلماء الذين تقصوا الظواهر الكهربائية ولاحظ أن هناك مواد أخرى تمتلك خاصية الجذب، واشتق جلبرت تسمية لقوة الجذب المجهولة هذه من لفظة إلكترو (اسم الكهرمان باليونانية) ونحن العرب حذونا حذوه باشتقاق كهرباء من كهرمان.

في عام ١٧٣٣م، وجد الكيميائي الفرنسي شارل دوفيه أن بعض الأجسام تتجاذب عند الحك، وبعضها الآخر يتنافر، لذلك جزم دوفيه بأن الكهرباء سيالاً من نوع ما، وأن هنالك نوعين منها، الأولى: تتولد عند حك الزجاج والبلور بالشعر أو الصوف؛ والثانية: تتولد عند حك الكهرمان بالحريز؛ وأن النوعين المختلفين يتجاذبان بينما النوعان المتماثلان يتنافران.

كان بنجامين فرانكلين أول من اقترح فكرة الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة في القرن الثامن عشر. كما بين أن البرق هو انتقال شحنات كهربائية ساكنة، عن طريق تطير طائرة ورقية في عاصفة رعدية وحصوله على شرر تفريغ كهربائي، وقد حالفه الحظ في تلك التجربة بالنجاة من الموت.

بين الإنجليزي ستيفن غراي (١٦٦٦م - ١٧٣٦م) أن بعض المواد توصل الكهرباء، وبعضها الآخر لا يوصلها. وقد استطاع نقل الكهرباء المتولدة من ذلك أنبوب زجاجي طوله أكثر من ١٠٠ متر. وقد دعيت الفلزات والمواد التي تمر فيها الكهرباء بسهولة موصلات، كما دعيت المواد الأخرى كالزجاج والكهرمان والريش والخشب التي تمنع مرور الكهرباء عبرها عازلات.

مفهوم الشحنة الكهربائية

تتكون المادة من ذرات، وتتكون الذرة من إلكترونات وبروتونات ونيوترونات، ومن المعلوم أن الذرة متعادلة كهربائياً (غير مشحونة)، فعدد البروتونات الموجبة في نواتها يساوي عدد الإلكترونات السالبة التي تدور حول النواة، وإذا فقدت الذرة بعضاً من إلكتروناتها اكتسبت شحنة موجبة، أما إذا اكتسبت عدداً من الإلكترونات أصبحت سالبة الشحنة. ولكل من هذه الجسيمات خواصها المميزة، ومن خواص هذه الجسيمات التي تعرفت عليها في دراستك السابقة، هي خاصية الكتلة (mass)، والشحنة (Charge) ويرمز لها بالرمز (e) وتقاس بالكولوم ويرمز له بالرمز (C).

خواص الشحنات الكهربائية

الشحنات الكهربائية نوعان موجبة وسالبة، فشحنة البروتون موجبة، وشحنة الإلكترون سالبة.

■ الشحنة مكتملة:

تتواجد الشحنات في الأجسام المادية المختلفة بكميات مساوية لمضاعفات شحنة الإلكترون، أي أن شحنة الأجسام مكتملة، فأشحنة كهربائية يمكن كتابتها على الشكل التالي:

$$q = n \cdot e, \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

حيث e : مقدار شحنة الإلكترون.

ولا يمكن لأي جسم أن يحمل أجزاءً من هذه الشحنة الأساسية، أي أن تكون شحنة جسم ما تساوي نصف أو خمسة أرباع شحنة إلكترون مثلاً.

هل تعلم:

قام العالم ميلكان بقياس شحنة الإلكترون بتجربة تعرف باسمه.

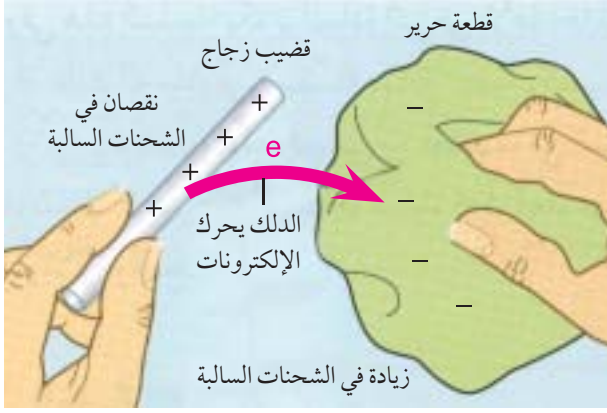
هل تعلم:

وجد العلماء أن البروتون والنيوترون يتكون كل منهما من ثلاث جسيمات تسمى بالكواركات تحمل شحنة مقدارها $\pm \frac{1}{3}e$ أو $\pm \frac{2}{3}e$ ولكنها لا يمكن أن توجد منفردة في الطبيعة. لذلك لا يمكن التعامل مع شحنتها كشحنة أساسية.

شحنة الإلكترون (e) السالبة ومقدارها 1.6×10^{-19} كولوم، ويساويها في المقدار شحنة البروتون ولكنها شحنة موجبة.

الشحنة الكلية للجسم: إذا تجمعت شحنات على جسم غير مشحون فإن هذا الجسم يحمل شحنة مقدارها حاصل الجمع الجبري للشحنات التي تجمعت عليه.

■ الشحنة محفوظة:



الشكل (١): إنتقال الشحنات الكهربائية

هناك العديد من الكميات الفيزيائية المحفوظة مثل الطاقة.

عند ذلك قضييب زجاج بقطعة حرير، تتولد شحنة موجبة على قضييب الزجاج، وفي نفس الوقت تتولد شحنة سالبة على قطعة الحرير مساوية في المقدار للشحنة الموجبة المتولدة على قضييب الزجاج، أي أن الإلكترونات انتقلت من قضييب الزجاج إلى قطعة الحرير، ويعتبر قضييب الزجاج وقطعة الحرير نظاماً وتكون الشحنة في هذا النظام محفوظة لاحظ الشكل (١)، أي أن الشحنة لا تأتي من العدم، ولا تذهب إلى العدم وإنما تنتقل من جسم إلى اخر في النظام.

توليد الكهرباء الساكنة:

هناك عدة طرق لشحن الأجسام بالشحنات الكهربائية:

١. شحن الأجسام بالدلك: عند ذلك مادتين مختلفتين تصبح ذرات المادتين قريبة من بعضها، مما يؤدي إلى إنتقال الإلكترونات من مادة إلى أخرى، وبذلك تصبح المادة التي فقدت إلكترونات مشحونة بشحنة موجبة والتي اكتسبت الإلكترونات مشحونة بشحنة سالبة، مثل ذلك قضييب زجاج بقطعة حرير، وذلك يعتمد على قوة ارتباط الإلكترونات بنواة الذرة. وتفاوت المواد في ميلها لفقدان الإلكترونات كما يبين الشكل (٢)، إذ أن قابلية المادة التي في أعلى السلسلة لفقد الإلكترونات أكبر من المادة التي تليها.

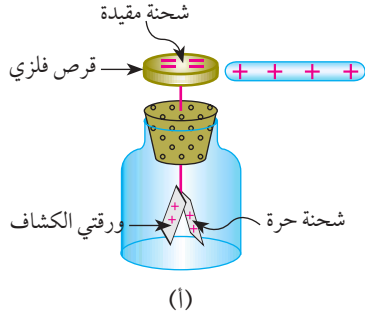
● سؤال

- أ. هل يمكن شحن قضييب من النحاس (مادة موصلة) بطريقة الدلك؟
 - ب. هل يمكن لجسم مشحون أن يشحن جسم آخر دون أن يلامسه؟
٢. شحن الأجسام بالتأثير (الحث): يتم شحن الأجسام الموصلة بالحث عن طريق تقريب جسم مشحون من جسم آخر غير مشحون، وللتعرف على كيفية شحن جسم موصل ما بطريقة الحث قم باجراء النشاط الآتي:

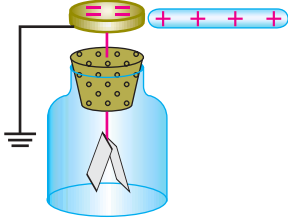


الشكل (٢): سلسلة الدلك الكهربائي

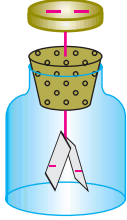
نشاط (١): شحن كشاف كهربائي بالحث:



(أ)



(ب)



(ج)

الشكل (٣): الشحن بالحث

المواد والأدوات:

قضيب زجاج تم شحنه بشحنة موجبة، كشاف كهربائي غير مشحون.

خطوات العمل:

١. قرب قضيب الزجاج المشحون من قرص الكشاف دون أن يلامسه.
٢. إلمس قرص الكشاف باليد بوجود المؤثر.
٣. ابع يدك أولاً ثم ابع القضيب المشحون (المؤثر).

في النشاط السابق عند تقريب قضيب الزجاج من قرص الكشاف الكهربائي يشحن قرص الكشاف (الطرف القريب) بشحنة سالبة مفيدة (مخالفة لشحنة قضيب الزجاج)، بينما تشحن ورقتا الكشاف بشحنة موجبة حرة، لاحظ الشكل (٣-أ)، وعند لمس قرص الكشاف باليد، شكل (٣-ب)، بوجود قضيب الزجاج تنتقل الشحنة السالبة من الأرض إلى الكشاف فيصبح الكشاف مشحون بشحنة سالبة حتى بعد إبعاد قضيب الزجاج، كما يبين الشكل (٣-ج).

سؤال

فسر ماذا يحدث عند تلامس جسم مشحون مع جسم آخر غير مشحون.

لا تكفي عملية توليد الكهرباء بالدلك أو الحث لإنتاج كميات كبيرة من الشحنات الكهربائية، لذلك كانت الحاجة إلى أجهزة خاصة لإنتاج كميات كبيرة من الشحنات الكهربائية الضرورية لإجراء الدراسات والأبحاث في مجال فيزياء الجسيمات الدقيقة، ودراسة مكونات نواة الذرة، ومن أشهر هذه الأجهزة وأكثرها استعمالاً مولد فاندي غراف كما في الشكل (٤)، الذي يستخدم لتوليد جهد عالٍ قد يصل إلى ١٠٠ ألف فولت، ويتركب الجهاز من:

- كرة معدنية كبيرة مجوفة تستخدم لتخزين الشحنات المتولدة عليها.
- حزام (سير) مطاطي يدور حول بكرتين بوساطة محرك كهربائي، ويمكن إدارته يدوياً، ينقل الشحنات المتولدة إلى الكرة المعدنية.
- فرشتان معدنيتان تتصل الأولى بالكرة والثانية بالأرض.

طريقة عمله:

عند دوران الحزام المطاطي للمحرك حول البكرة السفلية واحتكاكه بها تكتسب البكرة شحنة كهربائية عن طريق الفرشاة المتصلة بالأرض وتنقلها إلى البكرة الثانية، ومن ثم تنتقل منها إلى السطح الخارجي للبكرة المعدنية عن طريق الفرشاة المعدنية المتصلة بها، ومع استمرار الدوران تتجمع كميات كبيرة من الشحنات على الكرة المعدنية فيزيد جهدها حتى يصل في بعض الأحيان إلى ١٠٠ ألف فولت إذا كان الجو جافاً ودرجة الحرارة مناسبة.

تعتمد قيمة الجهد الكهربائي المتولد على مساحة سطح الكرة إذ تزداد بزيادتها، كما يعتمد على الظروف الجوية المحيطة من حيث الرطوبة ودرجة الحرارة والضغط الجوي.

١-٢ قانون كولوم:

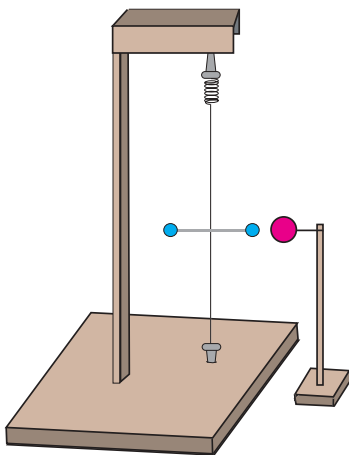
عرفت سابقاً أن الشحنات الكهربائية تتجاذب وتتنافر حسب أنواعها، أي أن هناك قوى متبادلة بين الشحنات الكهربائية تسمى بالقوة الكهربائية. هل يختلف مقدار هذه القوة باختلاف مقدار الشحنات الكهربائية أو البعد بينها؟ وهل يمكن إيجاد مقدار هذه القوة عملياً؟

للتعرف إلى العوامل التي تعتمد عليها القوة الكهربائية قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط(٢): العوامل التي تعتمد عليها القوة الكهربائية بين شحنتين نقطتين

المواد والأدوات:

قطع خشبية عدد ٣ بأبعاد مختلفة كما في الشكل المجاور، وزنبرك صغير طوله بحدود ٢سم، وقشة مص عدد ٢، وكرة بولسترين صغيرة عدد ٢، وكرة بولسترين كبيرة، وخيط نايلون رفيع أو سلك نحاس رفيع، وبرغي صغير عدد ٢، وأغو، ومسامير صغيرة، وورق ألومنيوم.



الشكل (٤): مولد فان دي غراف

خطوات العمل :

١. ركب القطع الخشبية كما في الشكل باستخدام مسامير صغيرة أو آغو .
٢. أثقب قشة المص من منتصفها بدبوس وأدخل الخيط ، ضع نقطة من الأغو على نقطة مرور الخيط من القشة .
٣. أكمل تركيب الجهاز حسب الرسم .
٤. غلف الكرات بورق المنيوم ، إذا لم يتوفر كرات بولسترين يمكن تغطية طرفي قشة المص بورق المنيوم .
(يفضل وضع الجهاز في مكان معزول عن التيارات الهوائية) .
٥. ادلك مسطرة بلاستيكية بقطعة صوف واشحن إحدى كرتي الجهاز .
٦. اشحن كرة البولسترين المثبتة على القاعدة المعزولة وقربها من الكرة السابقة ولاحظ ماذا يحدث .
(يمكن استخدام مولد فان دي غراف لشحن كرات الجهاز بشحنات مختلفة) .
٧. غير المسافة بين الكرة المشحونة الموجودة على القاعدة المعزولة وكرات الجهاز المشحونة ولاحظ ماذا يحدث . ماذا تستنتج؟



الشكل (٥) : ميزان اللي

يتضح من النشاط السابق أن القوة الكهربائية بين شحنتين تعتمد على مقدار كل من الشحنتين وعلى البعد بينهما ، حيث تزداد القوة الكهربائية بازدياد مقدار الشحنات الكهربائية وتقل بزيادة البعد بينهما . وقد وجد العالم شارل كولوم (Charle Coulomb) في عام ١٧٨٥م باستخدام جهاز يسمى ميزان اللي ، كما في شكل (٥) ، أن القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين نقطيتين لها الخصائص الآتية :

١. تتناسب القوة المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين طردياً مع حاصل ضرب كل من الشحنتين q_1 و q_2
أي أن : $q \propto q_1 \times q_2$
٢. تتناسب القوة عكسياً مع مربع المسافة بين الشحنتين q_1 و q_2
أي أن : $q \propto \frac{1}{r^2}$ حيث r : البعد بين الشحنتين .
٣. تكون القوة المتبادلة قوة تجاذب إذا كانت الشحنتان مختلفتين في النوع وتكون قوة تنافر إذا كانتا متشابهتين في النوع ، ويكون خط عمل هذه القوة على الخط الواصل بين الشحنتين أو على امتداده .

(تعرف الشحنة النقطية بأنها تلك الشحنة التي يمكن إهمال أبعادها أو تقريبها إذا قورنت بالمسافة بينها أو بين شحنات أخرى) .

وبناءً على ذلك فإن القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين نقطيتين تعطى بالعلاقة الرياضية الآتية :

$$ق = أ \frac{١٧٧ ٢٧٧}{ف٢} \dots \dots \dots (١)$$

ويسمى هذا القانون بقانون كولوم

أما ثابت التناسب أ فإن له مقداراً ثابتاً يعتمد على نوع الوسط الفاصل بين الشحنتين وعلى وحدة قياس كل من الشحنة والمسافة والقوة، وفي النظام الدولي للوحدات، تقاس الشحنة بالكولوم، والمسافة بالمتراً فتكون وحدة القوة بالنيوتن .

ويعطي الثابت بالعلاقة :

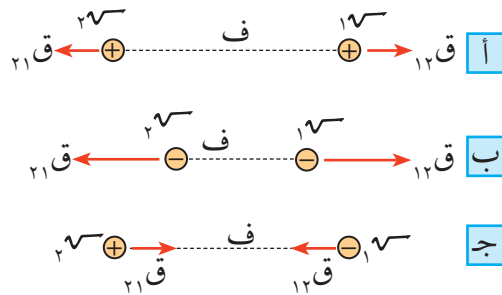
$$أ = \frac{١}{\epsilon \pi \epsilon} \dots \dots \dots (٢)$$

حيث ϵ : السماحية الكهربائية للوسط الموجود فيه الشحنتين الكهربائيتين، وتساوي $٨,٨٥ \times ١٠^{-١٢}$ كولوم^٢ / نيوتن م^٢ للفراغ أو الهواء، ويرمز له بالرمز ϵ ، فتصبح قيمة الثابت أ في الفراغ أو الهواء تساوي تقريباً ٩×١٠^٩ نيوتن م^٢ / كولوم^٢.

أي أن القوة الكهروستاتيكية المتبادلة بين أي شحنتين نقطيتين يفصل بينهما الفراغ أو الهواء تعطى بالعلاقة الآتية حسب قانون كولوم .

$$ق = \frac{١}{\epsilon \cdot \pi \epsilon} \times \frac{١٧٧ ٢٧٧}{ف٢} \times ٩ \times ١٠^٩$$

وحيث أن القوة الكهربائية التي درسها كولوم كانت بين شحنات نقطية ساكنة، فقد سميت هذه القوة بالقوة الكهروستاتيكية وتمثل بالأشكال الآتية :



تذكر أن القوة التي تؤثر بها كل شحنة على الأخرى هي كمية متجهة (أي أن لها مقداراً واتجاهاً)، حيث يعبر طول المتجه عن مقدار القوة، لاحظ الشكل (٥).

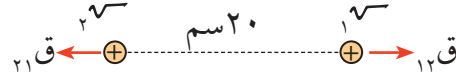
الشكل (٥) - الشحنات المتشابهة تتنافر والمختلفة تتجاذب

مثال (١):

احسب القوة التي تؤثر بها الشحنة $١٧٧ = ٥$ ميكروكولوم على الشحنة $٢٧٧ = ٢$ ميكروكولوم، وكذلك القوة التي تؤثر بها الشحنة ٢٧٧ على الشحنة ١٧٧ ، إذا كان البعد بين الشحنتين ٢٠ سم.

الحل:

- تؤثر q_2 على q_1 بقوة تنافر q_{12} فتحاول إبعادها عنها في الاتجاه الموضح في الشكل . وكذلك q_1 تؤثر على q_2 بقوة تنافر q_{21} لأن الشحنتين موجبتان .



يحسب مقدار هذه القوة من قانون كولوم .

$$q = \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$q_{12} = \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{9 \times 10^{-9} \times 2 \times 10^{-6}}{(0.2)^2}$$

$$q_{12} = \frac{9 \times 10^{-9} \times 2 \times 10^{-6}}{(0.2)^2} = 4.5 \times 10^{-10} \text{ نيوتن باتجاه اليمين}$$

وبما أن $q_{12} = q_{21}$ مقداراً وتعاكسها اتجاهاً فإن $q_{12} = -q_{21} = 2.25 \times 10^{-10}$ نيوتن باتجاه اليسار .

سؤال

- شحنتان موجبتان مقدار كال منهما 3 ميكرو كولوم على بعد 4 سم من بعضهما بعضاً، جد مقدار القوة الكهروستاتيكية التي يؤثران بها على شحنة ثالثة مقدارها 5 ميكرو كولوم في الحالات الآتية .
- إذا وضعت في منتصف المسافة بين الشحنتين على الخط الواصل بينهما .
 - إذا وضعت على بعد 10 سم من إحدى الشحنتين على امتداد الخط الواصل بينهما .

مثال (2):

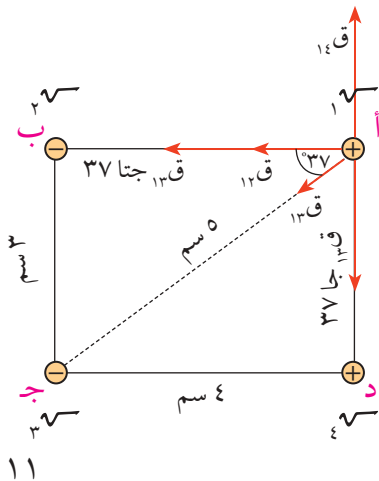
وضعت أربع شحنت نقطية q_1, q_2, q_3, q_4 على رؤوس مستطيل كما هو مبين في الشكل المجاور، جد القوة الكلية المحصلة التي تؤثر على الشحنة q_1 ، إذا كانت هذه الشحنت تساوي 1، 2، 3، 4 ميكرو كولوم على الترتيب .

الحل:

تؤثر على الشحنة q_1 قوى من الشحنت q_2, q_3, q_4 هي على الترتيب q_{12}, q_{13}, q_{14} وبالاتجاهات المبينة في الشكل . لحساب مقدار كل قوة على انفراد نستخدم قانون كولوم .

$$q_{12} = \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{9 \times 10^{-9} \times 1}{(0.2)^2}$$

$$q_{13} = \frac{9 \times 10^{-9} \times 2}{(0.4)^2}$$



لحساب المسافة بين الشحنتين q_1 ،
 q_2 ، نجد قطر المستطيل باستخدام
 نظرية فيثاغورس .
 أ ج = ٥ سم .

$$q_{12} = \frac{90}{8} = 11 \text{ نيوتن}$$

$$q_{13} = \frac{6^{-10} \times 3 \times 6^{-10} \times 1}{4^{-10} \times 25} \times 9 \times 10^9 = 9$$

$$q_{13} = \frac{270}{25} = 10,8 \text{ نيوتن}$$

$$q_{14} = \frac{6^{-10} \times 4 \times 6^{-10} \times 1}{4^{-10} \times 9} \times 9 \times 10^9 = 40 \text{ نيوتن}$$

ولإيجاد محصلة هذه القوى نجد محصلة القوى في الاتجاه الأفقي (س) . وكذلك محصلة القوى في الاتجاه الرأسي (ص) ، وذلك بتحليل القوى إلى مركبتين متعامدتين إحداهما باتجاه س والأخرى باتجاه ص .

$$\text{محصلة القوى بالاتجاه السيني} = q_{12} + q_{13} \text{ جتا } \theta$$

$$q_{ص} = 11 + 10,8 \times 0,8 = 19,64 \text{ نيوتن في الاتجاه السيني السالب .}$$

$$\text{محصلة القوى في الاتجاه الرأسي (ق ص)} = q_{14} - q_{13} \text{ جا } \theta = 40 - 10,8 \times 0,6 = 33,52 \text{ نيوتن}$$

$$q_{ح} = \sqrt{q_{ص}^2 + q_{ق}^2}$$

$$q_{ح} = \sqrt{(33,52)^2 + (19,64)^2} = \sqrt{1123,6 + 385,7} = \sqrt{1509} \approx 38,8 \text{ نيوتن}$$

ولايجاد اتجاه المحصلة نجد ظل الزاوية التي تميل بها عن محور السينات كما مر معك سابقاً .

$$\text{ظا } \theta = \frac{q_{ق}}{q_{ص}} = \frac{33,52}{19,64} = 1,7-$$

$$\theta = 120^\circ \text{ ، الزاوية التي تميل بها المحصلة عن محور السينات الموجب .}$$

اسئلة الفصل

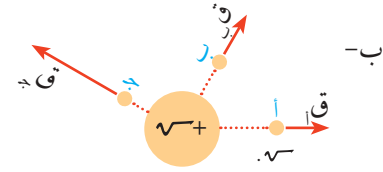
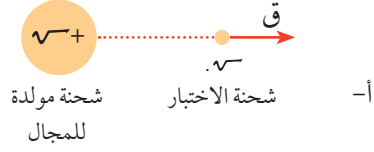
- س١: وضع المقصود بكل من : الشحنة النقطية ، ومبدأ تكميم الشحنة .
- س٢: تتكون ذرة الهيدروجين من إلكترون واحد يدور حول نواة تحوي بروتوناً واحداً ، فإذا علمت أن نصف قطر المدار الذي يتحرك فيه الإلكترون يساوي تقريباً ٢٨, ٥ × ١٠^{-١١} م . احسب القوة الكهربائية التي تؤثر بها النواة على الإلكترون ، علماً أن مقدار شحنة كل من البروتون والإلكترون = ١, ٦ × ١٠^{-١٩} كولوم .
- س٣: هل يمكن تطبيق قانون كولوم على جميع الأجسام المشحونة؟ فسر إجابتك .
- س٤: وضعت ثلاث شحنات نقطية على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه ٦٠ سم ، فإذا علمت أن $q_1 = q_2 = q_3 = ٦$ ميكروكولوم ، $q_3 = ٣$ ميكروكولوم . احسب مقدار القوة المحصلة المؤثرة على الشحنة q_3 .
- س٥: في الشكل المجاور ، أين يمكن وضع شحنة كهربائية ثالثة بحيث تصبح الشحنات الكهربائية الثلاث في حالة اتزان؟ ما نوع هذه الشحنة؟
- س٦: وزعت شحنة على كرتين صغيرتين متماثلتين ومتلامستين مما أدى إلى تنافرها وابتعادهما عن بعضهما بعضاً . إذا علمت أن قوة التنافر بينهما تساوي ٤ , ٠ نيوتن عندما يكون البعد بينهما ٢ متر ، فاحسب مقدار الشحنة على كل من الكرتين .
- س٧: يتكون جزيء كلوريد الصوديوم NaCl من أيون كلور وأيون صوديوم مرتبطين معاً . إذا علمت أن شحنة أيون الصوديوم (q_+) وشحنة أيون الكلور (q_-) ، وأن متوسط البعد بين مركزي الأيونين ٣, ٢ × ١٠^{-١٠} م ، جد قوة التجاذب بينهما؟
- س٨: يمثل الشكل المجاور بروتونين يقعان على استقامة واحدة مع إلكترون حدد:
- أ . اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة على البروتون الموجود في المركز من البروتون الآخر .
 ب . اتجاه القوة الكهربائية المؤثرة على البروتون الموجود في المركز من الإلكترون .
 ج . اتجاه القوة الكهربائية الكلية المؤثرة على البروتون الموجود في المركز .

تؤثر الأرض في الأجسام القريبة منها والواقعة في مجال تأثيرها، وتسبب في تسارعها نحوها، كما تؤثر الشحنات الكهربائية على بعضها البعض بقوة كهربائية دون أن يكون بينهما تماس، كيف يتم ذلك عن بعد، ما المقصود بالمجال الكهربائي؟ وكيف يؤثر المجال الكهربائي بقوة على شحنة موضوعة فيه؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

١. توضح المقصود بكل من: المجال الكهربائي، خطوط المجال الكهربائي، المجال الكهربائي المنتظم، التدفق الكهربائي، سطح غاوس.
٢. تحدد مميزات خطوط المجال الكهربائي.
٣. ترسم خطوط المجال الكهربائي لشحنات كهربائية مختلفة.
٤. تحسب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن شحنات نقطية.
٥. تعبر عن القوة الكهربائية بدلالة شدة المجال الكهربائي.
٦. تتعرف على المجال الكهربائي المنتظم.
٧. تعبر عن شدة المجال الكهربائي المنتظم رياضياً وبالرسم.
٨. تذكر نص قانون غاوس.
٩. تستنتج العلاقة بين التدفق الكهربائي وشدة المجال الكهربائي.
١. تطبق قانون غاوس في حالات خاصة.

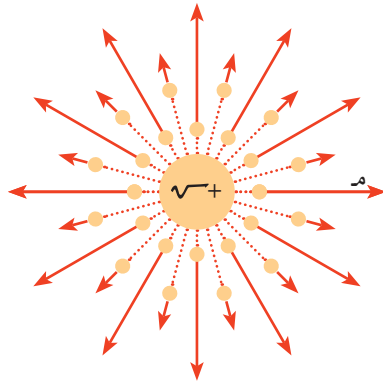
٢ - ١ المجال الكهربائي:



الشكل (١): القوة الكهربائية التي تؤثر بها ش عند نقاط مختلفة



الشكل (٢): المجال الكهربائي للشحنة (ش) عند النقطة (أ)



الشكل (٣): المجال الكهربائي لشحنة نقطية

نلاحظ أن الأجسام التي تقع بالقرب من سطح الأرض تتأثر بقوة جذب من الأرض فتجعلها تتسارع نحوها، ويقال أن هذه الأجسام تقع في مجال الجاذبية الأرضية، وقد استخدم لفظ المجال للتعبير عن المنطقة المحيطة بالأرض ويظهر فيها تأثير قوة الجاذبية الأرضية، وبالمثل فإن المنطقة المحيطة بالشحنة الكهربائية والتي يظهر فيها تأثير القوة الكهربائية تسمى بالمجال الكهربائي. وحسب وجهة النظر السائدة اليوم فإن الشحنة الكهربائية لا تبذل قوة مباشرة على شحنة ثانية، بل يتم ذلك عبر مجالها الكهربائي، حيث تعمل الشحنة الأولى على تعديل الحيز من حولها عن طريق إيجاد مجال كهربائي، ويقوم المجال الكهربائي ببذل قوة على الشحنة الثانية.

ولكي نستدل على وجود المجال الكهربائي في موضع ما بالقرب من شحنة نقطية، نستعين بشحنة صغيرة موجبة تسمى شحنة الاختبار q (test charge)، توضع في ذلك الموضع، وتقاس مقدار القوة الكهربائية المؤثرة فيها واتجاهها، لاحظ الشكل (١/أ)، ويتغير مقدار هذه القوة واتجاهها بتغير موقع النقطة، لاحظ الشكل (١/ب).

وبما أن القوة كمية متجهة تحدد بالمقدار والاتجاه فإن المجال الكهربائي عند أي نقطة أيضاً هو مجال متجه يحدد بالمقدار والاتجاه، ويكون إتجاه المجال بإتجاه القوة المؤثرة في (q). عند تلك النقطة، ويعبر عن مقداره وإتجاهه بسهم يدل على إتجاه المجال عند تلك النقطة لاحظ الشكل (٢).

يعبر عن مقدار المجال الكهربائي في نقطة بشدة المجال الكهربائي، تعرف شدة المجال الكهربائي في نقطة ما بأنها القوة التي يؤثر بها المجال على شحنة الاختبار الموضوعة في تلك النقطة مقسوماً على مقدار الشحنة.

$$\vec{m} = \frac{\vec{q}}{q} \dots \dots \dots (١)$$

حيث \vec{m} : شدة المجال الكهربائي.

\vec{q} : القوة الكهربائية مقاسه بوحدة (نيوتن).

q : شحنة الاختبار المتأثرة بالمجال، مقاسه بوحدة (كولوم).

ويكون للمجال الكهربائي قيمة محددة وإتجاه محدد في كل موضع

من المنطقة المحيطة بالشحنة الكهربائية، لاحظ الشكل (٣).

فكر:

لماذا تم استخدام شحنة اختبار صغيرة موجبة لتحديد المجال الكهربائي لشحنه عند نقطة ما؟

وحدة شدة المجال الكهربائي:

تقاس القوة الكهربائية في النظام الدولي للوحدات بوحدة (نيوتن) والشحنة الكهربائية بوحدة (كولوم)، وعليه تكون وحدة المجال الكهربائي (نيوتن/ كولوم).

٢ - ٢ خطوط المجال الكهربائي:

يمثل المجال الكهربائي في منطقة ما حول شحنة كهربائية عن طريق رسم خطوط القوى الكهربائية حول هذه الشحنة، ويعرف خط القوة بأنه المسار الذي تسلكه شحنة اختبار موجبة عند وضعها في نقطة في المجال، وترسم خطوط القوى بحيث تمثل في موضع ما مقدار واتجاه المجال الكهربائي، فعندما تكون الخطوط متقاربة تكون شدة المجال كبيرة، والعكس صحيح. وللتعرف على شكل هذه الخطوط وخصائصها قم بإجراء النشاط الآتي:

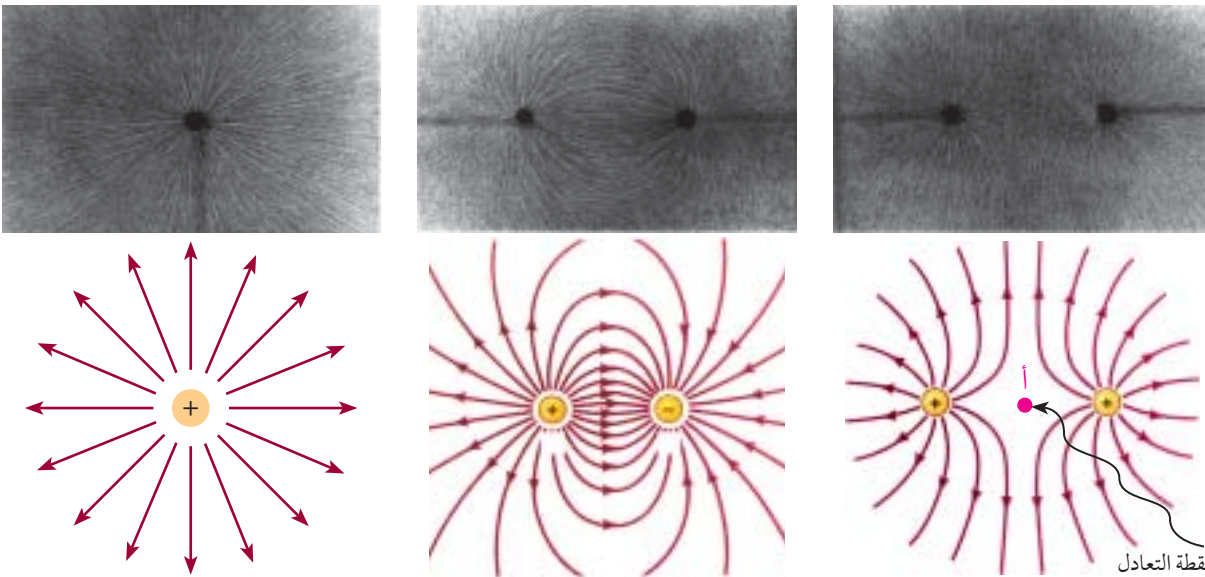
نشاط (١): تخطيط المجال الكهربائي لشحنات كهربائية مختلفة

المواد والأدوات:

زيت خروع، ومولد فان دي غراف، وكرات معدنية متشابهة، وسميد، وحوض زجاجي قليل العمق.

خطوات العمل:

١. ضع قليلاً من زيت الخروع في الحوض الزجاجي لتتكون طبقة زيتية بسُمك ١ سم تقريباً.
٢. اشحن كرتين معدنيتين باستخدام جهاز فان دي غراف.
٣. ضع الكرتين في الحوض الزجاجي المملوء بالزيت.
٤. رش دقائق خفيفة من السميد بين الكرتين. ماذا تلاحظ؟ فسر ملاحظاتك؟



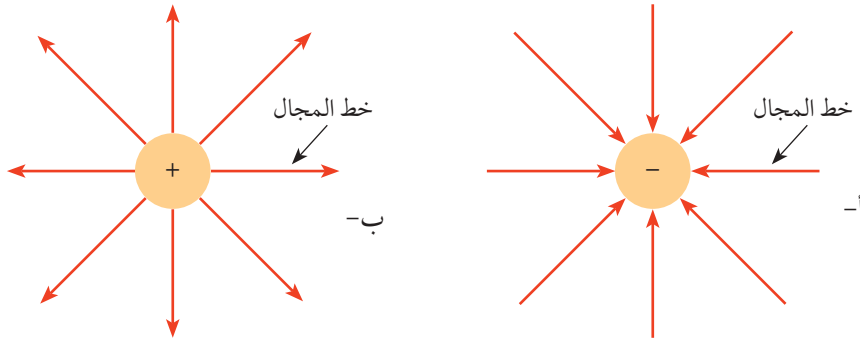
الشكل (٤): خطوط المجال الكهربائي لشحنات كهربائية مختلفة

في النشاط السابق اصطففت الدقائق الخفيفة ممثلة خطوط المجال الكهربائي كما في الشكل (٤)، وذلك لأن كل دقيقة شحنت بالتأثير ثم تحركت على سطح الزيت لتأخذ منحى خط المجال الكهربائي . ويمكن رسم الخطوط بتصوير مسار شحنة اختبار صغيرة توضع في مجال شحنة أخرى كبيرة بالنسبة لها (شحنة مولدة للمجال)، إذ ستأثر شحنة الاختبار بقوة كهربائية تدفعها مقتربة من الشحنة السالبة باتجاه مركزها كما في الشكل (٥/أ)، أو مبتعدة عنها كما في الشكل (٥/ب).



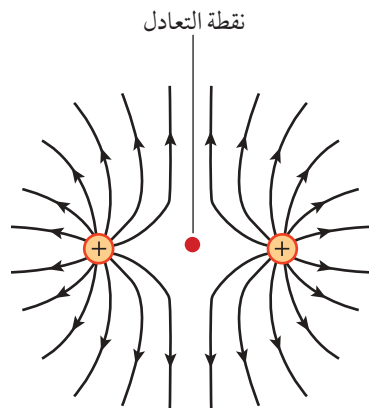
الشكل (٥): المسار الذي تسلكه q في مجال كهربائي لشحنة (أ) سالبة ، (ب) موجبة .

بمعنى آخر فإن متجه المجال الكهربائي في جميع النقاط المحيطة بالشحنة السالبة تتجه نحو الشحنة مباشرة كأنها داخلية فيها، وهذا ما يعرف بخطوط المجال الكهربائي كما في الشكل (٦/أ)، أو الشكل (٦/ب) إذ فيه تكون خطوط المجال الكهربائي تبدو كأنها خارجة من الشحنة .



الشكل (٦): خطوط المجال الكهربائي لشحنة سالبة (أ) وأخرى موجبة (ب).

يلاحظ من الشكل (٦) أن خطوط المجال الكهربائي تتباعد عن بعضها كلما ابتعدنا عن الشحنة، ويدلنا ذلك على أن شدة المجال الكهربائي تقل كلما ابتعدنا عن الشحنة المولدة للمجال .



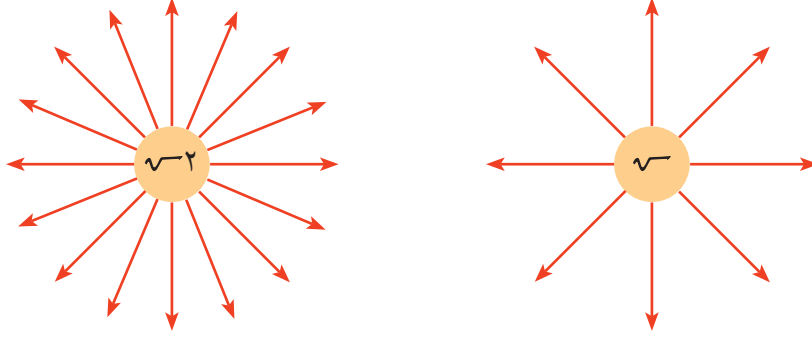
الشكل (٧): خطوط المجال الكهربائي لشحنتين موجبتين .

يلاحظ من الشكل (٧) أن خطوط المجال المنطلقة من إحدى الشحنتين الموجبة تنحني مبتعدة عن الشحنة الموجبة الأخرى بحيث تتكون نقطة خالية من خطوط المجال الكهربائي تسمى نقطة التعادل .

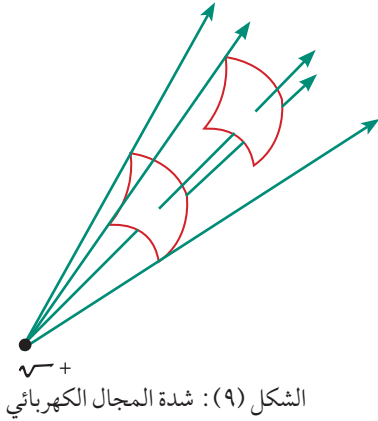
نقطة التعادل: هي النقطة التي ينعدم فيها المجال الكهربائي أي أن محصلة المجال عند تلك النقطة = صفر .

مميزات خطوط المجال الكهربائي :

١. تتناسب شدة المجال الكهربائي في نقطة ما تناسباً طردياً مع مقدار الشحنة المولدة للمجال ، ويمكن توضيح ذلك عن طريق رسم خطوط المجال في تلك المنطقة حيث أن عدد الخطوط المرسومة يمثل شدة المجال كما في الشكل (٨).

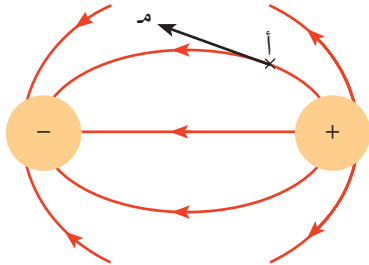


الشكل (٨) : شدة المجال الكهربائي تتناسب مع مقدار الشحنة المولدة للمجال .



الشكل (٩) : شدة المجال الكهربائي

٢. ترسم خطوط المجال بحيث يكون عددها الذي يقطع وحدة المساحة العمودية عليها (كثافة خطوط المجال) يتناسب مع شدة المجال الكهربائي . كما في الشكل (٩).



الشكل (١٠) : اتجاه المجال الكهربائي عند النقطة (أ)

٣. يدل اتجاه المماس لخط المجال عند أي نقطة على اتجاه المجال الكهربائي في تلك النقطة ، كما يبين الشكل (١٠).

٤. خطوط المجال تنطلق من الشحنة الموجبة وتسمى منبع (source) ، وتنتهي في الشحنة السالبة وتسمى بالمصرف (sink) ، كما يبين الشكل (١٠).
٥. خطوط المجال الكهربائي لا تتقاطع ، فسر ذلك .

٢ - ٣ حساب شدة المجال الكهربائي الناشئ عن عدة شحنات نقطية:

أولاً: شدة المجال الكهربائي لشحنة نقطية:

لإيجاد شدة المجال الكهربائي (\vec{M}) الناشئ عن شحنة نقطية (q)، عند نقطة مثل (أ) تبعد مسافة مقدارها (ف) عن الشحنة، كما في الشكل (١١)، نفترض وجود شحنة اختبار موجبة صغيرة مثل (q_0)، في النقطة (أ). ثم نحسب القوة التي تؤثر بها الشحنة (q) على شحنة الاختبار (q_0)، ونقسم القوة (\vec{F}) على (q_0) فنحصل على (\vec{M}).

$$q = \frac{q \cdot q_0}{F}$$

لايجاد قيمة (\vec{M}) نعوض (\vec{F}) في المعادلة (١).

$$\frac{\vec{F}}{q_0} = \vec{M}$$



الشكل (١١): شدة المجال الكهربائي لشحنة نقطية

$$\frac{q}{q_0} \cdot q_0 \times 9 = \frac{1}{f} \times \frac{q \cdot q_0}{F} \times 9 \times 9 = \vec{M}$$

$$\vec{M} = \frac{q}{f^2} \times 9 \times 9 \dots \dots \dots (٢)$$

ونلاحظ من المعادلة (٢) أن مقدار شدة المجال الكهربائي لا يعتمد على قيمة شحنة الاختبار (q_0)، وإنما يعتمد على قيمة الشحنة (q) (مصدر المجال) وعلى مربع المسافة (ف)، ويقل مقدار شدة المجال الكهربائي كلما ابتعدنا عن الشحنة المولدة للمجال، ويكون اتجاه المجال باتجاه القوة المؤثرة على شحنة الاختبار.

مثال (١):

جد مقدار شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة مثل (أ) تبعد مسافة مقدارها 3×10^{-3} م عن شحنة نقطية (q) مقدارها:

أ. $6 \mu\text{C}$ ميكروكولوم (μC).

ب. $-6 \mu\text{C}$ ميكروكولوم (μC).

$1 \mu\text{C} = 10^{-6}$ كولوم

$1 \text{ nC} = 10^{-9}$ كولوم

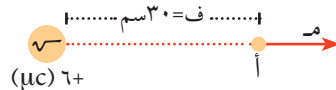
الحل:

أ. نجد مقدار شدة المجال الكهربائي بالتعويض في المعادلة (٢)

$$\vec{M} = \frac{q}{f^2} \times 9 \times 9 = \frac{6 \times 10^{-6}}{(3 \times 10^{-3})^2} \times 9 \times 9$$

$$= 6 \times 10^6 \text{ نيوتن/كولوم}$$

واتجاهه نحو اليمين، كما هو مبين في الشكل المجاور.

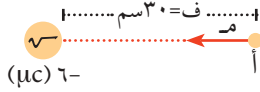


$$(ب) \quad m = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 10 \times 9 = \frac{6^{-1} \times 10 \times 6}{2(0,3)} \times 10 \times 9$$

$$= 10 \times 6 \text{ نيوتن/كولوم}$$

واتجاهه إلى اليسار، كما هو مبين في الشكل المجاور.

ونلاحظ هنا أن الاختلاف بين مجالي الشحنتين هو في الاتجاه فقط.

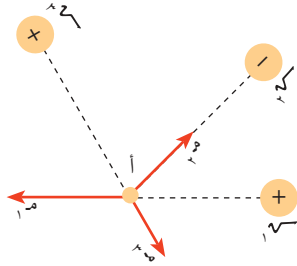


سؤال

احسب مقدار الشحنة النقطية التي تولد مجالاً مقداره 1 نيوتن/كولوم عند نقطة تبعد مسافة مقدارها 1 م عن الشحنة.

ثانياً: شدة المجال الكهربائي في نقطة بالقرب من عدة شحنات نقطية:

لحساب شدة المجال الكهربائي عند نقطة مثل أ، والنتيجة عن عدة شحنات نقطية، كما في الشكل (12)، فإننا نحسب المجال الناتج عن كل شحنة عند النقطة (أ) على انفراد، ثم نجمع المجالات جمعاً متجهياً.



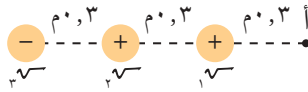
الشكل (12): محصلة المجالات الناشئة عن عدة شحنات نقطية

$$\vec{m} = \vec{m}_1 + \vec{m}_2 + \vec{m}_3$$

أي أن $\vec{m} =$ محصلة المجالات الناتجة من عدة شحنات نقطية.

مثال (2):

وضعت ثلاث شحنات نقطية (5، 4، -3) ميكروكولوم على استقامة واحدة وبالترتيب كما في الشكل المجاور، احسب شدة المجال الكهربائي عند النقطة أ.



الحل:

لإيجاد شدة المجال الكهربائي عند النقطة أ، نحسب المجالات الناشئة (م₁، م₂، م₃) عن الشحنات النقطية (3، 4، 5).

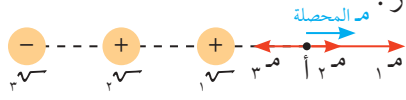
$$\text{باستخدام العلاقة} \quad m = \frac{\sqrt{3}}{2} \times 10 \times 9$$

$$m_1 = \frac{6^{-1} \times 10 \times 5}{2(0,3)} \times 10 \times 9 = 10 \times 5 \text{ نيوتن/كولوم، نحو اليمين.}$$

$$F_2 = \frac{10^{-9} \times 4}{(0,6)^2} \times 10 \times 9 = 10 \times 9 \text{ نيوتن/كولوم، نحو اليمين.}$$

$$F_3 = \frac{10^{-9} \times 3}{(0,9)^2} \times 10 \times 9 = 10 \times 3,3 \text{ نيوتن/كولوم، نحو اليسار.}$$

إذن: $F = F_1 - F_2 + F_3 = (المحصلة)$



$$= 10 \times 5,67 \text{ نيوتن/كولوم، نحو اليمين كما يبين الشكل.}$$

مثال (٣):

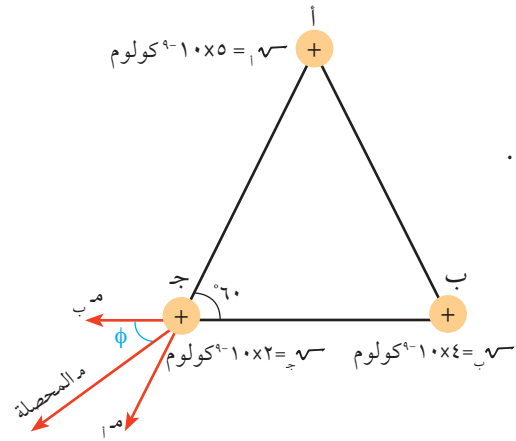
وضعت ثلاث شحنات نقطية على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه ١٠ سم كما في الشكل مقدارها (٥ ، ٤ ، ٢) نانوكولوم.

احسب:

أ. مقدار المجال الكهربائي واتجاهه عند النقطة ح.

ب. مقدار واتجاه القوة المؤثرة في الشحنة الموضوعة عند النقطة ح.

الحل:



تعمل الشحنات F_1, F_2, F_3 على توليد مجالات كهربائية

F_1, F_2, F_3 على الترتيب عند النقطة ح. كما في الشكل.

$$F_1 = \frac{10^{-9} \times 5}{(0,1)^2} \times 10 \times 9 = \frac{1\sqrt{3}}{2} \times 10 \times 9$$

$F_1 = 10 \times 45$ نيوتن/كولوم وبالاتجاه المبين في الشكل.

$$F_2 = \frac{10^{-9} \times 4}{(0,1)^2} \times 10 \times 9 = \frac{2\sqrt{3}}{2} \times 10 \times 9$$

$F_2 = 10 \times 36$ نيوتن/كولوم وبالاتجاه المبين في الشكل.

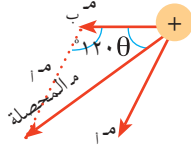
١. لإيجاد المجال المحصل نستخدم قانون محصلة متجهين يحصران بينهما زاوية

$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta}$$

$$= \sqrt{\frac{1}{4} \times 10 \times 36 \times 2 + 2(10 \times 36) + 2(10 \times 45)}$$

$$\approx 10 \times 70,3 \text{ نيوتن/كولوم.}$$

وباتجاه يصنع زاوية مقدارها θ مع محور السينات السالب ، حيث نجد مقدار θ بتطبيق قانون الجيوب الذي مر معك سابقاً .



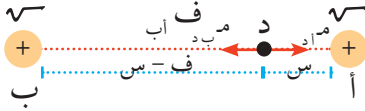
$$\frac{م_1}{\theta} = \frac{م_المحصلة}{\theta} =$$

$$\frac{210 \times 45}{\theta} = \frac{210 \times 70,2}{\theta}$$

$$\theta = \frac{0,87 \times 45}{70,2} = 0,557 = \theta = 33,7^\circ \text{ مع محور السينات السالب .}$$

مثال (٤):

في الشكل المجاور شحنتان موجبتان موجبتان قيمة كل منهما (q) بينهما مسافة (f) ، جد موقع النقطة التي ينعدم عندها المجال الكهربائي (نقطة التعادل).



الحل:

نفترض أن (d) هي نقطة التعادل وتبعد مسافة (s) عن نقطة أ ، و ($f - s$) عن نقطة ب . وهذا يعني (d) تقع تحت تأثير مجالين متساويين في المقدار ومتعاكسين بالاتجاه ، أي أن $م_المحصلة$ عند $d = 0$ صفر .

$$م_أ + (-م_ب) = \text{صفر} ، \quad م_أ = م_ب$$

$$\frac{q}{f_أ} \times 9 \times 10^9 = \frac{q}{f_ب} \times 9 \times 10^9$$

$$\frac{q}{s} \times 9 \times 10^9 = \frac{q}{(f-s)} \times 9 \times 10^9$$

$$\sqrt{s} = \sqrt{(f-s)}$$

$$s = (f - s)$$

$$2s = f ، \quad s = \frac{f}{2}$$

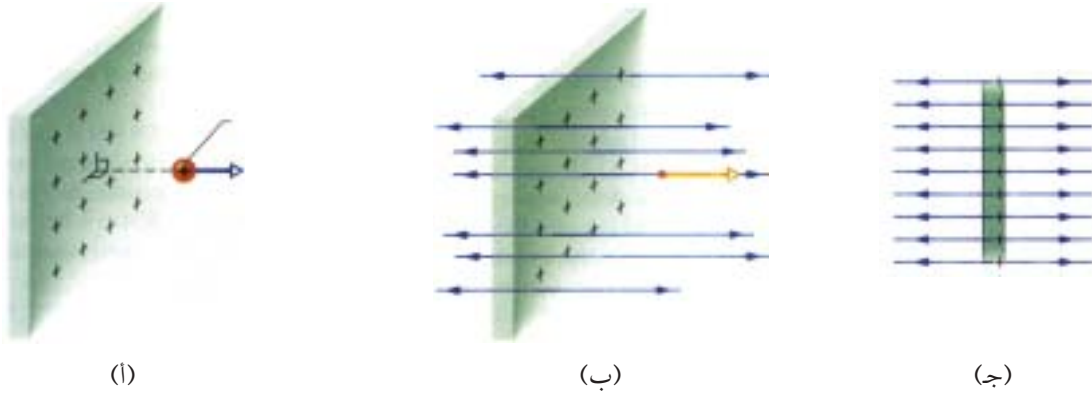
أي أن نقطة التعادل (d) تقع في منتصف المسافة بين الشحنتين .

سؤال

في المثال السابق ، هل توجد نقطة تعادل إذا كانت إحدى الشحنتين سالبة؟

٢ - ٤ المجال الكهربائي المنتظم:

يبين شكل (١٣) جزءاً من صفيحة لانهائية رقيقة عليها توزيع منتظم من شحنات كهربائية موجبة . لو وضعنا شحنة اختبار صغيرة عند أي نقطة بجانب الصفيحة كما في الشكل (١٣/أ)، فإنها ستتأثر بمجموعة قوى من الشحنات الموزعة بانتظام على الصفيحة بحيث يكون اتجاه محصلة هذه القوى عمودياً على مستوى الصفيحة ويتجه بعيداً عنها، حيث أن القوى المؤثرة في بقية الاتجاهات تلغي بعضها بعضاً بسبب التماثل في توزيع الشحنة .



الشكل (١٣): المجال الكهربائي المنتظم .

ويكون متجه المجال الكهربائي عند أي نقطة في المنطقة المحيطة بالصفيحة من الجهتين عمودياً على مستوى الصفيحة ويتجه بعيداً عنها كما في الشكل (١٣/ب). ولأن الشحنة موزعة بانتظام على الصفيحة فقيم المجال عند جميع النقاط لها نفس المقدار والاتجاه، (لاحظ توازي خطوط المجال الكهربائي الذي يدل على أن للمجال الكهربائي نفس القيمة عند جميع النقاط) كما في الشكل (١٣/ج)، فالمجال في هذه الحالة لا يعتمد على بُعد النقطة التي حُسب المجال عندها عن الصفيحة .

تخطيط المجال الكهربائي المنتظم

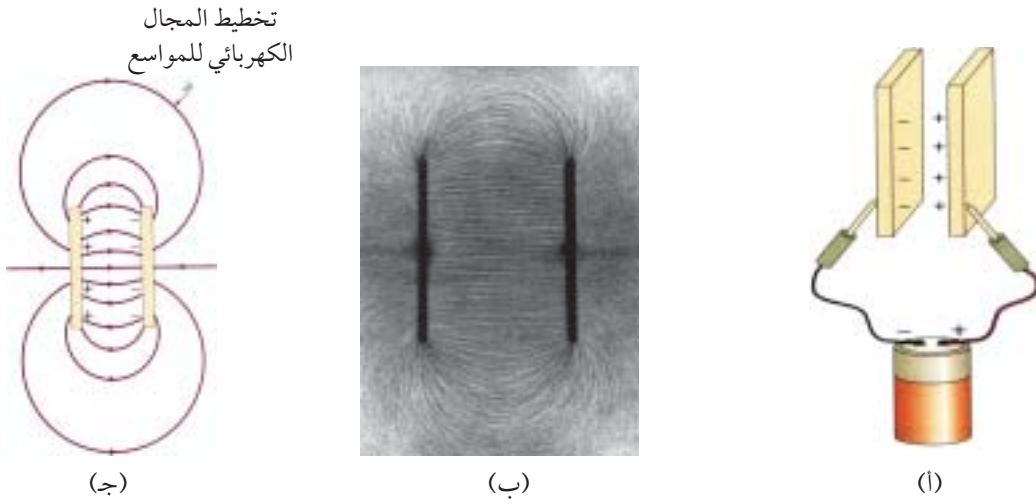
للتعرف على خطوط المجال المنتظم نقوم بالنشاط الآتي :

نشاط (٢) تخطيط المجال الكهربائي المنتظم

أرجع إلى النشاط رقم (١)، واستبدل الكرات المعدنية بصفيحتين معدنيتين من الألمنيوم متوازيتين، وصل كل طرف من أطراف مصدر فرق الجهد مع صفيحة من الصفيحتين كما في الشكل (١٤/أ).

تلاحظ أن الدقائق الخفيفة قد اصطفت بين الصفيحتين بشكل خطوط متوازية عمودية على الصفيحتين كما في الشكل (١٤/ب).

الشكل (١٤/ج) يبين نظاماً لصفيحتين معدنيتين رقيقتين وواسعتين ومتوازيتين تحمل الأولى شحنة موجبة موزعة على سطحها بانتظام، بينما تحمل الثانية شحنة سالبة مساوية للأولى موزعة أيضاً على سطحها بانتظام لاحظ أن المجال الكهربائي بين هاتين الصفيحتين هو مجال كهربائي منتظم، إذ يتجه فيه خطوط المجال الكهربائي من الصفيحة الموجبة إلى الصفيحة السالبة، وفي الخارج تكون شدة المجال الكهربائي صفر.

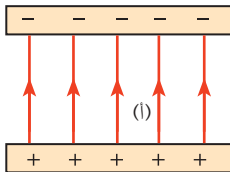


الشكل (١٤): تخطيط المجال الكهربائي المنتظم

مميزات المجال الكهربائي المنتظم:

١. تكون خطوط المجال الكهربائي المنتظم متوازية والبعد بين كل خطين منها متساوي.
٢. شدة المجال المنتظم لها نفس المقدار عند جميع النقاط بين الصفيحتين.

مثال (٥):



صفيحتان متوازيتان مشحونتان بشحنتين متساويتين في المقدار ومختلفتين في النوع كما في الشكل المجاور، وضعت شحنة مقدارها $3 \mu\text{C}$ في نقطة (أ) بين اللوحين فإذا كانت شدة المجال في تلك النقطة 4×10^4 نيوتن/كولوم، فجد مقدار القوة الكهروستاتيكية التي تتأثر بها الشحنة.

الحل:

$$q = m \cdot v$$

$$q = m \cdot v$$

$$q = 1.6 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^8 \times 4 = 1.92 \times 10^{-10} \text{ نيوتن}$$

وهي القوة الكهروستاتيكية التي تتأثر بها الشحنة عند نقطة (أ).

مثال (٦):

جسم كتلته ١٠ غم يحمل شحنة سالبة مقدارها ٢٠ ميكروكولوم، تحرك من السكون بتأثير مجال كهربائي منتظم مقداره 10×10^3 نيوتن/كولوم مسافة ١٠ سم. احسب:

١. القوة التي يؤثر بها المجال في الجسم.
٢. الشغل الذي بذله المجال على الجسم.
٣. السرعة النهائية للجسم.
٤. الطاقة الحركية للجسم. ماذا تستنتج؟

الحل:

١. القوة المؤثرة في الجسم المشحون:

$$q = m \cdot v$$

$$1.6 \times 10^{-19} \times 200 = 1.6 \times 10^{-19} \times 20 \times 10^3 \times 10 = 3.2 \times 10^{-16}$$

$$= 2, 0 \text{ نيوتن باتجاه معاكس لاتجاه المجال الكهربائي لأن الشحنة سالبة.}$$

٢. الشغل الذي بذله المجال على الجسم

$$W = q \cdot V \cdot \cos \theta$$

$$= 2, 0 \times 10^{-19} \times 10 \times 10^3 \times \cos \theta \text{ جتا صفر حيث } \theta = 0 \text{ صفر}$$

$$= 0, 02 \text{ جول}$$

٣. لحساب سرعة الجسم النهائية نحسب تسارعه من قانون نيوتن الثاني

$$F = m \cdot a$$

$$a = \frac{F}{m} = \frac{0, 02}{0, 01} = 2 \text{ م/ث}^2$$

وبتطبيق معادلة الحركة $E^2 = E_1^2 + 2 + T$ ف، فإن

$$= \text{صفر} + 2 \times 20 \times 10 \times 10^{-10}$$

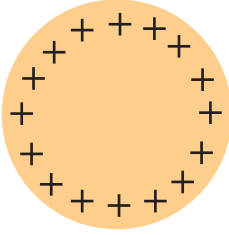
$$= 4$$

$$E = \sqrt{4} = 2 \text{ م/ث}$$

$$4. \text{ الطاقة الحركية: } \text{ط ح} = \frac{1}{2} E^2 = \frac{1}{2} \times 0.01 \times 4 = 0.02 \text{ جول}$$

أي أن الطاقة الحركية للجسم تساوي الشغل الذي بذله المجال، ما يعني أن الشغل المبذول استهلك في زيادة سرعة الجسم وإكسابه طاقة حركية، وهذا يتفق مع مبرهنة (الشغل - الطاقة).

٢ - ٥ التدفق الكهربائي وقانون غاوس:



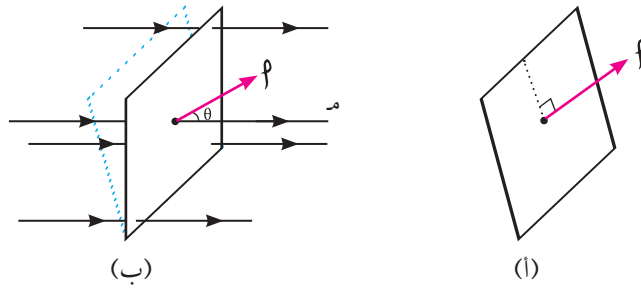
الشكل (١٥): توزيع متصل ومتماثل من الشحنات

تعلمت سابقاً كيفية حساب المجال الكهربائي لتوزيع معين من الشحنات النقطية باستخدام قانون كولوم، لكن إذا كان لدينا توزيع متصل من الشحنات الكهربائية ذات التماثل العالي سواءً على شكل توزيع طولي أو سطحي أو حجمي كما في الشكل (١٥)، فإننا نستخدم طريقة أخرى لحساب المجال الكهربائي باستخدام «قانون غاوس» الذي يعتمد على مفهوم التدفق الكهربائي الناتج من المجال الكهربائي أو الشحنة الكهربائية.

أولاً: التدفق الكهربائي

يُعرف تدفق المجال الكهربائي من سطح ما مساحته (أ) بأنه حاصل ضرب شدة المجال (م) \times مساحة السطح الفعلية العمودية على المجال، ويرمز له بالرمز (Φ) .

تمثل مساحة سطح ما بكمية متجهه (P) ومقدارها يساوي القيمة العددية لمساحة السطح واتجاهها هو اتجاه العمود على ذلك السطح لاحظ الشكل (١٦/أ).



الشكل (١٦): تدفق المجال الكهربائي

ويعتمد تدفق المجال الكهربائي (Φ) على الزاوية التي يميل بها سطح معين عن اتجاه خطوط المجال الكهربائي كما يبين الشكل (١٦/ب)، ورياضياً يمثل التدفق الكهربائي بالعلاقة:

$$\overline{P} \cdot \overline{m} = \Phi$$

$$\Phi = P_m \cos \theta$$

وذلك لأن المساحة الفعلية التي يسقط عليها المجال بشكل عمودي هي ($P \cos \theta$). حيث:

\overline{m} : شدة المجال الكهربائي في نقطة تبعد مسافة f عن سطح مشحون.

\overline{P} : مساحة السطح الذي تخترقه خطوط المجال.

θ : الزاوية بين خطوط المجال الكهربائي، والعمود على السطح.

الشكل (١٦/ب) يمثل مجالاً كهربائياً منتظماً (m) يخترق سطحاً مساحته (P) ومستواه يميل بزاوية θ على اتجاه خطوط المجال الكهربائي.

وعندما تكون الزاوية بين خطوط المجال الكهربائي والعمودي على السطح (P) تساوي صفراً

$$\text{فإن } \Phi = P_m \cos 0 = P_m$$

أما إذا كانت $\theta = 90^\circ$ أي أن مستوى السطح موازياً لخطوط المجال الكهربائي، فإن التدفق الكهربائي = صفر

$$\Phi = P_m \cos 90^\circ = 0$$

تلاحظ من علاقة التدفق أعلاه أن وحدة التدفق في النظام الدولي هي نيوتن م^٢/كولوم.

مثال (٧):

مجال كهربائي منتظم مقداره 4×10^4 نيوتن/كولوم يقطع سطحاً مستويًا مساحته 5 سم^2 ، أوجد تدفق المجال

الكهربائي من السطح، إذا كانت الزاوية بين خطوط المجال والعمود المقام على السطح $= 60^\circ$.

الحل:

$$\Phi = P_m \cos \theta$$

$$\Phi = P_m \cos 60^\circ = 4 \times 10^4 \times 5 \times 10^{-4} \times \frac{1}{2} = 10 \text{ نيوتن م}^2/\text{كولوم}$$

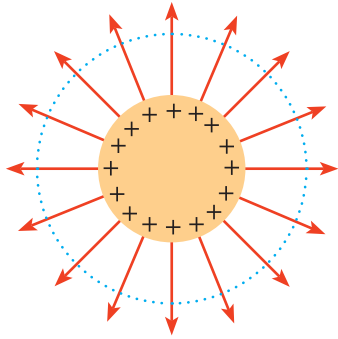
قانون غاوس:

يمثل الشكل (١٧) سطحاً كروياً مغلقاً، يحيط بشحنة موجبة بداخله، وهو سطح وهمي على درجة عالية من التماثل، حيث قيمة شدة المجال عند كل نقطة من نقاط السطح الكروي متساوية وتتجه عمودياً إلى خارج السطح. وقد ربط العالم الألماني غاوس مقدار التدفق الكهربائي عبر هذا السطح بمقدار الشحنة الكهربائية الموجودة بداخله من خلال علاقة تعرف باسم قانون غاوس، وسمي هذا السطح المغلق بسطح غاوس.

وقد وجد أن التدفق الكهربائي عبر سطح مغلق يرتبط بالشحنة المحصورة بداخله بالعلاقة الرياضية:

$$\frac{\Psi}{\epsilon} = \Phi \quad \text{وإذا كان الوسط المحيط بالشحنة هو الفراغ أو الهواء فإن:}$$

$$\frac{\Psi}{\epsilon_0} = \Phi \quad \text{..... (٣)}$$



الشكل (١٧): سطح غاوس

وبما أنه تم إختيار سطح غاوس بحيث تكون خطوط المجال الكهربائي موازية للعمودي عليه ($\theta = 0$ صفر) فإن: $\frac{\Psi}{\epsilon} = \Phi$ جتا صفر

وهذه هي الصيغة الرياضية لقانون غاوس $\frac{\Psi}{\epsilon} = \Phi$ حيث:

Φ : التدفق الكهربائي من سطح غاوس المغلق.

Ψ : الشحنة الكلية المسببة للمجال الكهربائي المتواجدة داخل سطح غاوس.

ϵ : شدة المجال الكهربائي على سطح غاوس.

Φ : مساحة سطح غاوس.

ϵ_0 : نفاذية الفراغ أو الهواء.

قانون غاوس: التدفق الكهربائي عبر سطح مغلق يساوي مقدار الشحنة الكلية داخل ذلك السطح (١٧)

$$\frac{\Psi}{\epsilon_0} = \Phi \quad \text{ورياًياً } \epsilon_0$$

ولتوضيح مفهوم التدفق وقانون غاوس قم بإجراء النشاط الآتي:

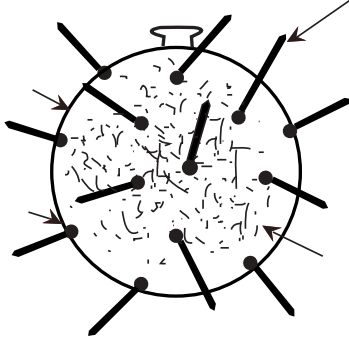
نشاط (٣): قانون غاوس

المواد والأدوات:

بالون، وبرادة حديد (٢٠ غم)، وقمع بلاستيكي، وأقراص مغناطيسية، وأقلام رصاص، ولحام بلاستيكي، وكرتون مقوى، ومشرب، ومبراة.

خطوات العمل :

١. املاً البالون بالكمية المذكورة من برادة الحديد باستخدام القمع البلاستيكي .
٢. انفخ البالون ليصبح بحجم مناسب .
٣. اصنع عدداً من الأسهم لتمثل الشحنات الكهربائية باستعمال قطع من أقلام رصاص طول القطعة ٣سم ، اجعل رأس القلم مديباً وألصق مغناطيس على الطرف الثاني من القلم/ يجب تركيب جميع المغناطيسات باتجاه واحد .
٤. وزع الأقلام بشكل متجانس على البالون . سوف تنجذب برادة الحديد إلى المغناطيس فتلتصق الأقلام على سطح البالون .
٥. رأس الأقلام على البالون تمثل توزيع الشحنة على سطح البالون وتمثل خطوط المجال الكهربائي . لاحظ الشكل .

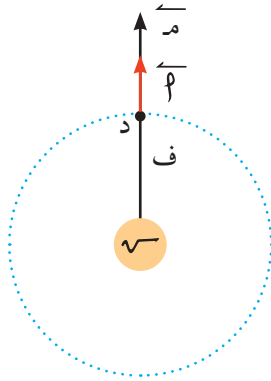


مثال (٨):

احسب شدة المجال الكهربائي (م) عند نقطة (د) التي تبعد مسافة (ف) عن شحنة نقطية (ص)، باستخدام قانون غاوس .

الحل:

نفرض وجود سطح غاوس تخيلي شكله كروي يمر بالنقطة ف ، أي نصف قطره يساوي ف ويحيط بالشحنة ش . كما في الشكل .



أن قيمة شدة المجال الكهربائي على سطح غاوس ثابتة (لماذا)؟ واتجاهه دائماً عمودياً على السطح نحو الخارج (لماذا)؟

وبتطبيق قانون غاوس

$$\frac{Q}{\epsilon_0} = \Phi$$

$$Q = \epsilon_0 \Phi$$

$$\frac{Q}{\epsilon_0} = \Phi$$

$$Q = \epsilon_0 \Phi = \epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

وهذه النتيجة هي نفسها التي توصلنا إليها باستخدام قانون كولوم .

$$Q = \epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

مثال (٩):

موصل كروي نصف قطره (نق) مشحون بشحنة كهربائية موزعة عليه بانتظام ، احسب شدة المجال الكهربائي عند نقطة (د) التي تبعد مسافة ف عن مركز الموصل . إذا كانت :

- أ . (ف < نق) خارج الموصل الكروي .
ب . (ف > نق) داخل الموصل الكروي .

الحل:

بما أن الشحنة موزعة بانتظام على سطح الموصل الكروي ، فإن مقدار شدة المجال ثابت عند جميع النقاط الواقعة على أي سطح كروي تخيلي مركزه هو نفس مركز الموصل الكروي . كما في الشكل . يعتمد مقدار شدة المجال في نقطة على بعد تلك النقطة عن مركز الموصل الكروي المشحون ، بناءً على ذلك نتخيل سطحاً غاوسياً مغلقاً كروياً متحدداً في المركز مع الموصل ويمر بالنقطة المراد إيجاد شدة المجال عندها والتي تبعد (ف) عن مركز الموصل لاحظ الشكل . لاحظ أن متجه المسافة أ يكون موازياً دائماً لاتجاه (م) أي أن جتا $\theta = 0$ ، وأن مساحة سطح غاوس الافتراضي تساوي $\pi ٤ ف^٢$

وبتطبيق قانون غاوس

$$\frac{q}{\epsilon_0} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

أ . عند نقطة ص

$$\frac{q}{\epsilon_0} = (\pi ٤ ف ص^٢) E$$

$$E = \frac{q}{\pi ٤ ف ص^٢ \epsilon_0}$$

ب . عند نقطة س $ف س > نق$

نختار سطح غاوس افتراض كروي الشكل مركزه مركز الموصل ،

ونصف قطره (ف) كما في الشكل .

وبتطبيق قانون غاوس

$$\frac{q}{\epsilon_0} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

$E = 0$ صفر حيث أنه لا توجد شحنة داخل سطح غاوس الافتراضي (لماذا؟)

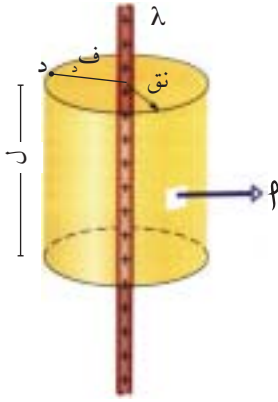
يلاحظ من هذه النتيجة أن المجال الكهربائي داخل الموصل الكروي يساوي صفرًا .

تلاحظ من هذه النتيجة أن الموصل الكروي تصرف ، بالنسبة للنقاط الواقعة خارجه ، تصرف شحنة نقطية موضوعة في المركز .

سؤال

هل المجال الكهربائي داخل جميع الموصلات يساوي صفرًا مهما كان شكلها؟

مثال (١٠):



سلك معدني مستقيم لانتهائي الطول، يحمل شحنة موجبة كثافتها الطولية (الشحنة على وحدة الأطوال: λ كولوم/م)، موزعة عليها بانتظام كما هو مبين في الشكل. أوجد شدة المجال الكهربائي عند نقطة (د) تبعد (ف) عن محور السلك.

الحل:

يكون المجال الناتج عن الشحنة المنتظمة على السلك المستقيم باتجاه أنصاف الأقطار المتعامدة مع محور السلك، لاحظ الشكل، ومن ثم فإن سطح غاوس المناسب، هو سطح أسطواني متحد في المحور مع السلك، على فرض أن طول السطح الأسطواني (ل) ونصف قطر مقطعة (ف).
(ف).

التدفق الكلي عبر الأسطوانة = التدفق عبر القاعدتين للأسطوانة + التدفق عبر السطح الجانبي.

$$= \text{صفر (لماذا)} + \text{مأجتا } \theta$$

$$= \text{صفر} \quad \theta: \text{حيث}$$

وبتطبيق قانون غاوس:

$$\frac{\sqrt{}}{\epsilon_0} = P_m$$

$$\text{حيث: } \sqrt{} \text{ (شحنة السلك)} = \text{كثافة الشحنة الطولية} \times \text{طول السلك}$$
$$L \times \lambda =$$

$$P \text{ (مساحة سطح غاوس)} = \text{المساحة الجانبية للأسطوانة}$$

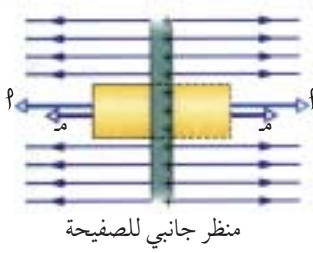
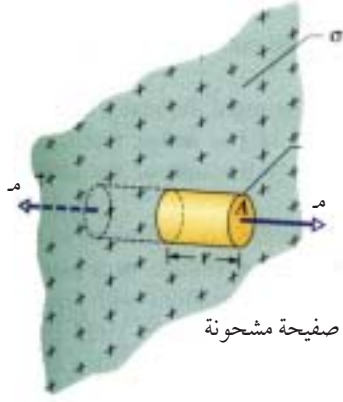
$$= 2\pi r L$$

$$\frac{\sqrt{}}{\epsilon_0} = P_m$$

$$\frac{L \times \lambda}{L \times 2\pi r \epsilon_0} =$$

$$= \frac{\lambda}{2\pi r \epsilon_0} \text{ نيوتن / كولوم}$$

مثال (١١):



صفحة غير موصلة رقيقة (لانهاية) تحمل شحنة منتظمة كثافتها السطحية σ كولوم/م² (الشحنة على وحدة المساحة) لاحظ الشكل . احسب شدة المجال الكهربائي عند نقطة (د) على بعد (ف) من سطح الصفحة .

الحل:

إن خطوط المجال الكهربائي عمودية على سطح الصفحة ، وخارجة منه ، لأن الشحنة موجبة ، حيث أن المجال على يمين الصفحة يماثل المجال على يسارها ، و سطح غاوس المناسب هو أسطواني الشكل يقطع الصفحة من الناحيتين لاحظ الشكل .

سطح غاوس أسطواني مغلق يخترق الصفحة عمودياً عليها .
التدفق عبر سطح غاوس :

$$\Phi = \Phi_1 \text{ (عبر السطح الجانبي للأسطوانة)} + \Phi_2 \text{ (عبر القاعدة الأولى)} + \Phi_3 \text{ (عبر القاعدة الثانية)} .$$

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 = \Phi$$

$$\Phi_2 = \Phi$$

$$\Phi_2 = \frac{\sqrt{\quad}}{\epsilon_0} \text{ حيث ش } \rho \sigma$$

$$\frac{\sigma}{\epsilon_0 \cdot 2} = \frac{\rho \sigma}{\rho \epsilon_0 \cdot 2} = \rho$$

سؤال

إذا لم تكن الصفحة رقيقة وكانت تحمل شحنة كثافتها السطحية σ على كل من وجهيها . جد قيمة المجال الكهربائي عند نقطة تبعد مسافة ف عن الصفحة .

اسئلة الفصل

س ١ وضح المقصود بالمجال الكهربائي لشحنة كهربائية . واذكر العوامل التي يعتمد عليها المجال الكهربائي لشحنة كهربائية عند نقطة ما .

س ٢ ماذا نقصد بقولنا أن المجال الكهربائي لشحنة كهربائية عند نقطة يساوي 3×10^{-10} نيوتن/كولوم؟

س ٣ ما مقدار شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة تقع على بعد 200 سم عن شحنة نقطية موجبة مقدارها 400 ميكروكولوم في الهواء؟

س ٤ ما مقدار شدة المجال الكهربائي واتجاهه عند نقطة تقع في منتصف المسافة بين شحنتين نقطيتين الأولى -300 ميكروكولوم، والثانية $+750$ ميكروكولوم والبعد بينهما 50 سم؟

س ٥ مثل المجال الكهربائي للشحنات الكهربائية الآتية :

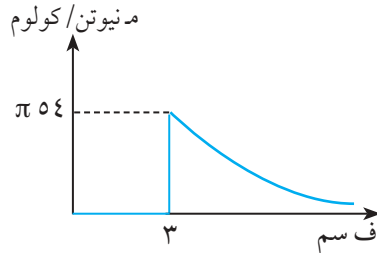
أ- شحنة كهربائية سالبة مقدارها $(-v)$.

ب- شحنة كهربائية موجبة مقدارها $2-v$.

س ٦ وضعت ثلاث شحنات نقطية $(3, -6, 4)$ ميكروكولوم على رؤوس مثلث متساوي الأضلاع طول ضلعه 1 م، جد مقدار المجال الكهربائي عند الشحنة 3 ميكروكولوم، ثم احسب القوة المؤثرة في تلك الشحنة .

س ٧ احسب شدة المجال الكهربائي عند أحد رؤوس مربع طول ضلعه $2\sqrt{2}$ م عند وضع ثلاث شحنات نقطية متماثلة قيمة كل منها 100 ميكروكولوم على الرؤوس الثلاث الأخرى للمربع .

س ٨ شحنتان نقطيتان 5×10^{-10} كولوم، 2×10^{-10} كولوم البعد بينهما 20 سم، أين يمكن وضع شحنة ثالثة v بحيث تتزن الشحنات الثلاث وتبقى في مواقعها؟ ما نوع الشحنة v ، وما مقدارها؟



س ٩ الشكل المجاور يمثل العلاقة بين المجال الكهربائي والبعد عن

مركز كرة فلزية مشحونة، جد:

أ. كثافة الشحنة السطحية للكرة .

ب. شدة المجال عند 10 سم .

س ١٠ شحنة نقطية مقدارها $7, 17 \times 10^{-10}$ كولوم موضوعة في مركز سطح كروي مساحته 1000 سم^٢، احسب التدفق من جزء مساحته 50 سم^٢ .

يعتبر الجهد الكهربائي من أهم الكميات الفيزيائية التي تصف المجال الكهربائي ، حيث يحدد الجهد الكهربائي لنقطة ما في المجال الكهربائي بالنسبة إلى نقطة أخرى اتجاه حركة الشحن الموجبة بين هاتين النقطتين . وكما أن الجسم الساقط في مجال الجاذبية الأرضية يسقط من النقطة الأعلى ارتفاعاً إلى النقطة الأقل ارتفاعاً ، فإن الشحنة الموجبة في المجال الكهربائي تندفع من النقطة الأعلى جهداً إلى النقطة الأقل جهداً .
إذا تلامس جسمان مشحونان فكيف تنتقل الشحنة من جسم إلى الآخر؟ وما الذي يحدد مسار الشحنات من أحدهما إلى الآخر؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل ، وستكون قادراً على أن :

- ١ . تتعرف مفهوم الجهد الكهربائي .
- ٢ . تجد قيمة جهد نقطة في مجال شحنات كهربائية .
- ٣ . تتعرف فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين .
- ٤ . تتوصل إلى جهد موصل كروي مشحون .
- ٥ . تشتق العلاقة الرياضية بين فرق الجهد بين نقطتين وشدة المجال المنتظم .
- ٦ . تطبق قوانين الجهد في حل مسائل مختلفة .

انتقال الشحنات الكهربائية

عند وصل إنائين مختلفين في الارتفاع عن مستوى سطح الأرض في كل منهما سائل ، فإن السائل ينتقل من الإناء الأعلى ارتفاعاً إلى الإناء المنخفض ، وكذلك الحال بالنسبة للأجسام الموجودة على ارتفاعات مختلفة عن سطح الأرض ، فإنها تتجه نحو الأرض عندما تتاح لها حرية الحركة . كذلك بالنسبة للشحنات الكهربائية فإنها تنتقل من جسم مشحون إلى آخر . فكيف يتم ذلك ؟

■ للإجابة على هذا السؤال قم بإجراء النشاط الآتي :

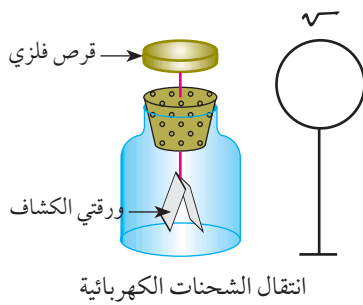
نشاط (١): انتقال الشحنات الكهربائية

المواد والأدوات :

كرة معدنية محملة على عازل - كشاف كهربائي - قطعة قماش .

خطوات العمل :

- ١ . قرب الكرة المعدنية إلى قرص الكشاف الكهربائي للتأكد من خلوها من الشحنات الكهربائية . كما في الشكل .
 - ٢ . اشحن الكرة المعدنية بديلها بقطعة القماش دون أن تلامسها بيدك أو أي جسم موصل آخر .
 - ٣ . قرب الكرة المعدنية من قرص الكشاف الكهربائي دون ملامسته ، ماذا يحدث لورقتي الكشاف ؟
 - ٤ . لامس الكرة المعدنية بالأرض أو المسها بيدك .
 - ٥ . قرب الكرة المعدنية من قرص الكشاف مرة أخرى .
- فسر ملاحظتك .



لقد انفرجت ورقتا الكشاف في المرة الأولى ، ولم تنفرجا في المرة الثانية ، كيف تفسر ذلك ؟ إن الشحنة الكهربائية التي على الكرة انتقلت إلى الأرض فأصبحت الكرة غير مشحونة . أن انتقال الشحنات بين الكرة والأرض يشبه تماماً انتقال الحرارة بين الجسم الساخن والجسم البارد عند تلامسهما ويشبه انتقال السائل من منطقة مرتفعة إلى منطقة منخفضة .

طاقة الوضع الكهربائي (Electric Potential Energy):

عند رفع جسم كتلته (ك) في مجال الجاذبية الأرضية من سطح الأرض الى نقطة على ارتفاع (ل)، فإنه يكتسب مقداراً من الطاقة يساوي (ك حل)، ويكتسب الجسم هذه الطاقة نتيجة لوضعه بالنسبة لسطح الأرض تسمى طاقة الوضع الميكانيكية أو الطاقة الكامنة، وتساوي الشغل المبذول لنقل الجسم من سطح الأرض الى تلك النقطة، على اعتبار أن طاقة عند سطح الأرض تساوي صفرًا. وبالمثل عند وضع شحنة كهربائية (ص) في مجال كهربائي (م) فإن الشحنة تكتسب مقداراً من الطاقة يعتمد على وضعها بالنسبة للشحنة المولدة للمجال يسمى باسم طاقة الوضع الكهربائية.

أي أن تحريك شحنة في مجال كهربائي يغير من طاقة الوضع الكهربائية لتلك الشحنة، فإذا حركنا شحنة الاختبار الموجبة باتجاه معاكس للمجال فإننا نبذل عليها شغلاً خارجياً فتزداد طاقة وضعها أما إذا تحركت الشحنة باتجاه المجال فإن الشحنة ستبذل شغلاً فتقل طاقة وضعها، وتعتمد طاقة الوضع الكهربائية لشحنة في نقطة ما على مقدار هذه الشحنة وعلى مقدار الجهد الكهربائي عند تلك النقطة، فما الجهد الكهربائي؟ وكيف نجد قيمته رياضياً؟

فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين:

إذا وضعت شحنة كهربائية موجبة حرة الحركة في مجال كهربائي عند النقطة (د) مثلاً، فإنها ستتحرك مع المجال الكهربائي وتمر بالنقطة (هـ)، أي أن المجال الكهربائي (م) يبذل شغلاً على الشحنة في تحريكها من النقطة (د) إلى النقطة (هـ) $(\psi_{د-هـ})$ ، ومن مبرهنة الشغل والطاقة:

$$(\psi_{د-هـ}) = -\Delta(\psi_{ش})$$

$$= -(\psi_{د} - \psi_{هـ})$$

$$= \psi_{هـ} - \psi_{د} \quad (1)$$

والآن إذا أردنا تحريك هذه الشحنة بين النقطتين (د) و (هـ) بعكس

اتجاه المجال الخارجي المؤثر وبسرعة ثابتة لاحظ الشكل (ب/ 2)، فإنه لا بد من التأثير عليها بقوة مساوية للقوة التي يؤثر بها المجال الكهربائي عليها ولكن تعاكسها في الاتجاه (ق = م - ص)، أي لا بد من بذل شغل عليها مساوياً للشغل الذي يبذله المجال، هذا الشغل الذي يبذل على الشحنة يخزن فيها على شكل طاقة وضع كهربائية.

ويعرف خارج قسمة الشغل المبذول في تحريك شحنة كهربائية تبين نقطتين (د، هـ) على الشحنة المنقولة (ص)، بأنه فرق الجهد بين النقطتين (د، هـ) أي أن:

$$V_{د-هـ} = \frac{W_{د-هـ}}{q} = \frac{\psi_{د} - \psi_{هـ}}{q} \quad (2)$$

اصطلح العلماء على اعتبار الجهد الكهربائي قي نقطة في المالانهاية يساوي صفرأ كمنقطة مرجعية حتى تتمكن من حساب جهد أي نقطة بالاعتماد عليها، فإذا اعتبرنا النقطة د تقع في المالانهاية، فتصبح العلاقة (١٠) كالآتي:

$$ح_د = ح_ه - ح_و = ح_و - صفر$$

فكر: لماذا تم اعتبار طاقة الوضع في المالانهاية تساوي صفرأ. (٣)

ومن هذه العلاقة يمكن أن نعرّف الجهد الكهربائي في نقطة ما مثل (ب)، بأنه الشغل المبذول في تحريك وحدة الشحنات الكهربائية من المالانهاية إلى تلك النقطة دون إحداث إي تغيير في طاقتها الحركية.

وحدة الجهد الكهربائي:

ويتضح من تعريفنا للجهد الكهربائي بأن وحدته هي وحدة طاقة مقسومة على شحنة أي جول/ كولوم، وتسمى هذه الوحدة بالفولت (Volt) ويرمز بالرمز (V).

سؤال

- عرّف الفولت.
- ما الفرق بين الجهد الكهربائي لنقطة ما وطاقة الوضع الكهربائية لشحنة ما عند تلك النقطة.

مثال (١):

١. احسب الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية موجبة (٧) قدرها ٤ ميكروكولوم من النقطة (أ) التي جهدها ٤٠ فولت إلى النقطة (ب) التي جهدها ٦٠ فولت بسرعة ثابتة.
٢. احسب طاقة الوضع الكهربائية للشحنة في كل من الموضعين أ و ب.
٣. جد الفرق في طاقة الوضع بين النقطتين.

الحل:

$$١. ح_ب = ح_ب - ح_أ = \frac{ش_أ-ب}{٧} = \frac{ش_ب-أ}{٧}$$

$$ش_أ-ب \times ٧ = ش_ب-أ \times ٧$$

$$٤ \times ١٠^{-٦} \times ٨ = ١٠^{-٦} \times ٤٠ \times ٦$$

٢. طاقة الوضع الكهربائية عند النقطة أ:

$$ش_أ = ٧ \times ٤ \times ١٠^{-٦} = ٢,٨ \times ١٠^{-٥} \text{ جول}$$

$$ش_ب = ٧ \times ٦ \times ١٠^{-٦} = ٤,٢ \times ١٠^{-٥} \text{ جول}$$

$$ش_ب - ش_أ = ٧ \times ٢ \times ١٠^{-٦} = ١,٤ \times ١٠^{-٥} \text{ جول}$$

$$ش_ب - ش_أ = ٧ \times ٤ \times ١٠^{-٦} - ٧ \times ٦ \times ١٠^{-٦} = -١,٤ \times ١٠^{-٥} \text{ جول}$$

٣. الفرق في طاقة الوضع الكهربائية (Δ ط و) بين النقطتين أ و ب

$$\Delta \text{ ط و} = (\text{ط و})_ب - (\text{ط و})_أ$$

$$= ٤, ٤ - ١٠ \times ٢ - ٤ - ١٠ \times ١, ٦ - ٤ - ١٠ \times ٨ = ٠ \text{ جول}$$

تلاحظ أن الشغل اللازم لنقل شحنة نقطية يساوي التغير في طاقة وضع تلك الشحنة.

٣ - ٢ فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين في مجال كهربائي منتظم:

يمثل الشكل (٢) شحنة كهربائية موجبة (q) تتحرك بخط مستقيم من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) في مجال كهربائي منتظم (m) وبسرعة ثابتة تحت تأثير قوة كهروستاتيكية مقدارها ($q \cdot m$).

الشغل الذي تبذله هذه القوة يساوي

$$\text{الشغل} = \vec{q} \cdot \vec{F}$$

$$\text{الشغل} = q F \cos \theta$$

حيث:

$$\vec{q} = q \cdot \vec{m}$$

F : المسافة التي تتحركها الشحنة في المجال.

θ : تمثل الزاوية بين اتجاه q و F

$$\text{إذن الشغل} = q m F \cos \theta$$

$$W = \frac{\text{الشغل}}{\text{الشحنة}} = \frac{q \cdot \text{ش}}{q}$$

$$W = q \cdot V$$

$$\text{إذن: } V = \frac{W}{q} = m F \cos \theta \dots \dots \dots (٤)$$

$$\text{لكن: } \theta = 0 \text{ = صفر في الشكل (٢).}$$

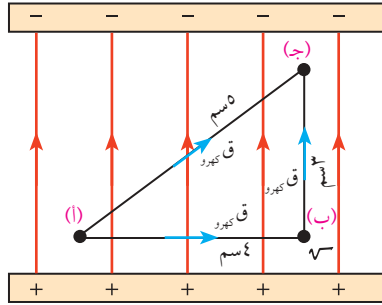
$$\text{إذن: } V = m F \dots \dots \dots (٥)$$

نستنتج من هذه العلاقة أن فرق الجهد بين صفيحتين متوازيتين ومشحونتين يساوي حاصل ضرب المجال المنتظم بينهما x البعد بين الصفيحتين.

لاحظ أن وحدة المجال الكهربائي من المعادلة (٥) تساوي فولت/ متر.

مثال (٢):

الشكل المجاور يبين ثلاث نقاط أ، ب، ح، في مجال كهربائي منتظم شدته ٢٠٠ فولت/ متر، يتجه نحو محور الصادات الموجب .



الشغل المبذول لنقل شحنة بين نقطتين في مجال كهربائي

احسب:

الشغل المبذول لنقل شحنة مقدارها 4×10^{-6} كولوم من النقطة أ إلى النقطة ج.

أ. عبر المسار أ ب ج

ب. عبر المسار أ ج

الحل:

$$\text{أ. الشغل}_{\text{أ ب ج}} = \text{الشغل}_{\text{أ ب}} + \text{الشغل}_{\text{ب ج}}$$

$$= \text{م} \cdot \text{ف} \cdot \text{جتا } \theta$$

$$= \text{م} \cdot \text{ف} \cdot \text{جتا } 90^\circ + \text{م} \cdot \text{ف} \cdot \text{جتا } 37^\circ$$

$$= 200 \times 4 \times 10^{-6} \times 0 + 200 \times 4 \times 10^{-6} \times 0,6 = 0,48 \times 10^{-3} \text{ جول}$$

$$= 0,48 \times 10^{-3} \text{ جول}$$

$$\text{ب. الشغل}_{\text{أ ج}} = \text{م} \cdot \text{ف} \cdot \text{جتا } \theta$$

$$= 200 \times 4 \times 10^{-6} \times 0,8 = 0,64 \times 10^{-3} \text{ جول}$$

$$= 0,64 \times 10^{-3} \text{ جول}$$

سؤال

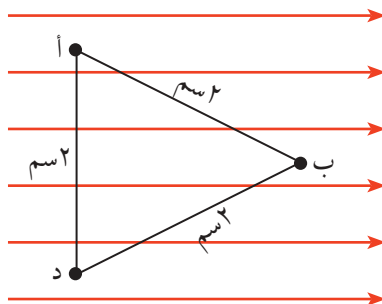
يوضح الشكل المجاور مجالاً كهربائياً منتظماً مقدارها ١٠ فولت/ م، والنقاط أ، ب، د واقعة في المجال، والخط أ د عمودي على خطوط المجال، كما هو موضح في الشكل .

احسب:

الشغل المبذول لنقل شحنة كهربائية موجبة مقدارها 2×10^{-9} كولوم من النقطة أ إلى النقطة ب عبر المسار .

أ. من أ ← ب مباشرة

ب. من أ ← د ← ب



٣ - ٣ حساب الجهد الكهربائي:

أولاً: لشحنة نقطية:



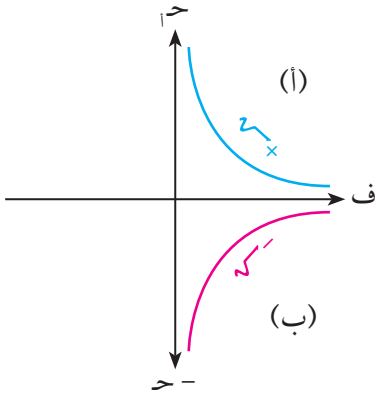
الشكل (٣): الجهد عند نقطة أ بالقرب من شحنة نقطية

تعطى قيمة الجهد الكهربائي عند نقطة مثل (أ) تبعد مسافة (ف) عن شحنة نقطية (q)، لاحظ الشكل (٣)، بالعلاقة الآتية:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r} \quad \text{وإذا كان الوسط المحيط بالشحنة هو الفراغ أو الهواء، فإن:}$$

$$V = \frac{1}{9 \times 10^9} \times \frac{q}{r}$$

$$V = \frac{1}{9 \times 10^9} \times \frac{q}{r} \quad \text{..... (٦)}$$



الشكل (٤): علاقة الجهد الكهربائي لشحنة نقطية مع المسافة

ويمكن تمثيل العلاقة بيانياً كما في الشكل (٤).

نلاحظ من الشكل (٤/أ) ازدياد قيمة الجهد كلما اقتربنا من الشحنة في حالة الشحنة الموجبة، وبالمقابل فإن الجهد يتناقص في الشكل (٤/ب) (أي يصبح أكثر سالبة) كلما اقتربنا من مركز الشحنة السالبة.

مثال (٣):

أوجد الجهد الكهربائي لنقطة على بُعد 8×10^{-1} م من بروتون شحنته 6×10^{-19} كولوم.

الحل:

$$V = \frac{1}{9 \times 10^9} \times \frac{6 \times 10^{-19}}{8 \times 10^{-1}} = 8,1 \text{ فولت}$$

$$V = \frac{1}{9 \times 10^9} \times \frac{q}{r}$$

ثانياً- لمجموعة من الشحنات النقطية:

لحساب الجهد الناتج عن مجموعة من الشحنات النقطية، كما في الشكل (٥)، نحسب الجهد الناتج عن كل شحنة على حدة، متجاهلين وجود الشحنات الأخرى، ثم نجمع قيم هذه الجهود جمعاً حسابياً لأن الجهد كمية غير متجهة.

أي الجهد الكلي = الجهد الناتج عن الشحنة الأولى + الجهد الناتج عن الثانية + ...

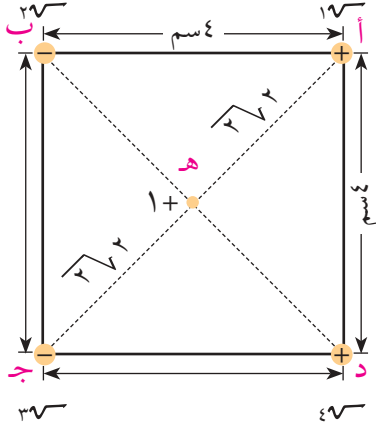
$$V = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + \dots \quad \text{..... (٧)}$$

الشكل (٥): جهد نقطة ب بالقرب من عدة شحنات نقطية

مثال (٤):

احسب الجهد الكهربائي عندا لنقطة (هـ) التي تقع في مركز مربع تقع على رؤوسه أ، ب، ج، د الشحنات النقطية التالية (١٠، ٢٠-، ٥، ١) ميكروكولوم على الترتيب، كما هو مبين في الشكل .

الحل:



$$ح_د = ح_أ + ح_ب + ح_ج + ح_د$$

$$ح_د = \frac{1}{ف} \times ١٠ \times ٩ + \frac{1}{ف} \times ٢٠ \times ٩ + \frac{1}{ف} \times ٥ \times ٩ + \frac{1}{ف} \times ١٠ \times ٩$$

حيث جميع الشحنات لها نفس البعد عن النقطة هـ.

$$ح_د = \frac{1}{٢\sqrt{٢}} \times ١٠ \times ٩ + \frac{1}{٢\sqrt{٢}} \times ٢٠ \times ٩ + \frac{1}{٢\sqrt{٢}} \times ٥ \times ٩ + \frac{1}{٢\sqrt{٢}} \times ١٠ \times ٩$$

$$ح_د = -١٢,٨٥ \times ١٠ \text{ فولت}$$

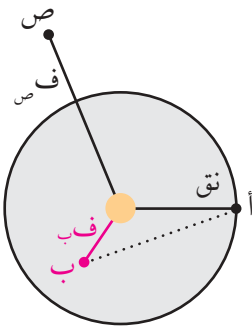
ثالثاً : الموصل الكروي المشحون:

لقد تم اعتبار شحنة الموصل الكروي في الفصل السابق كأنها متجمعة في مركز الموصل (تشبه الشحنة النقطية)، وعليه فإن الجهد الكهربائي عند أي نقطة على سطح موصل كروي مشحون ومعزول، وموضوع في الفراغ أو الهواء يُعطى بالعلاقة:

$$ج = \frac{ص}{نق} \times ٩ \times ١٠ \times ٩ \dots \dots \dots (٨)$$

حيث $ص$: شحنة الموصل الكروي، $نق$: نصف قطره
أما إذا كانت النقطة تقع على بُعد (ف) من مركز الموصل كما في الشكل (٦)، بحيث أن $ف < نق$ ، فإن الجهد الكهربائي يُعطى بالعلاقة:

$$ج_ص = \frac{ص}{ف} \times ٩ \times ١٠ \times ٩ \dots \dots \dots (٩)$$



الشكل (٦): الجهد الكهربائي داخل موصل

ولكن ماذا عن الجهد الكهربائي بداخل الموصل الكروي المشحون، أي عند $ف > نق$ ؟
لو أردنا نقل شحنة من النقطة (أ) على سطح الموصل إلى النقطة (ب) بداخل الموصل، لاحظ الشكل (٦)، فإن الشغل اللازم لنقل الشحنة من أ إلى ب يساوي

$$\text{ش } 1 = \sqrt{3} \text{ ج } 1$$

$$= \text{م ش ف جتا } \theta$$

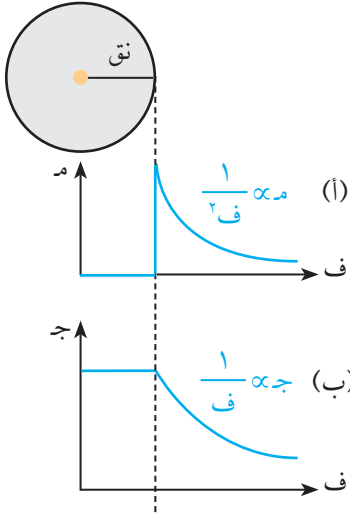
$$= \text{صفر}$$

حيث م بداخل الموصل = صفر

$$\text{إذا ج } 1 = \text{صفر}$$

$$\text{إذا ج } 1 = \text{ج } 1$$

نستنج من ذلك أن الجهد عند أي نقطة داخل الموصل يساوي الجهد على سطحه .



الشكل (٧): المجال والجهد الكهربائيان لموصل كروي مشحون

ويبين الشكل (أ/٧) العلاقة بين المجال الكهربائي في نقطة وبعد تلك النقطة عن سطح موصل كروي مشحون ، ويبين الشكل (ب/٧) العلاقة بين الجهد الكهربائي في نقطة وبعد تلك النقطة عن سطح موصل كروي مشحون .

مثال (٥):

كرة موصلة نصف قطرها ٢ سم موضوعة في الهواء وتحمل شحنة كهربائية مقدارها 6×10^{-9} كولوم، احسب:

١. جهد الكرة.
٢. جهد نقطة ص التي تبعد مسافة مقدارها ١٠ سم عن مركز الكرة.

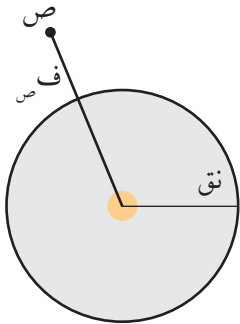
الحل:

$$1. \text{ جهد الكرة} = \frac{V_{\text{كرة}}}{r_{\text{كرة}}} \times 9 \times 10^9 =$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times 6}{2 \times 10 \times 2} = 27 \times 10^7 \text{ فولت .}$$

$$2. \text{ جهد النقطة ص} = \frac{V_{\text{كرة}}}{r_{\text{ص}}} \times 9 \times 10^9 =$$

$$= \frac{9 \times 10^9 \times 6}{2 \times 10 \times 10} = 54 \times 10^7 \text{ فولت .}$$



رابعاً: جهد موصل كروي بالقرب من موصلات أخرى:

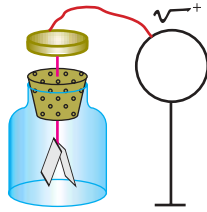
إذا كان الموصل موجوداً في مجال شحنات كهربائية أخرى فإن جهده سيتأثر بها، وللتعرف على مدى تأثير هذه الشحنات على جهد الموصل قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (٢): الجهد الكلي لموصل مشحون موجود بالقرب من موصلات أخرى مشحونة

المواد والأدوات:

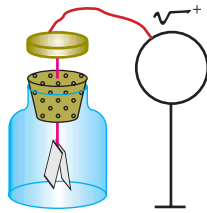
كشاف كهربائي، ثلاث كرات معزولة ومشحونة كل منها على حامل، وسلك نحاسي رفيع.

خطوات العمل:



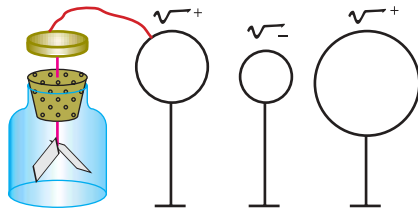
(أ)

١. ضع الكرة الأولى بالقرب من الكشاف الكهربائي وصل الكرة بقرص الكشاف كما في الشكل (أ)، ماذا تلاحظ.



(ب)

٢. ضع الكرة الثانية بالقرب من الكرة الأولى دون أن تلامسها ولاحظ الشكل (ب).



(ج)

٣. ضع الكرة الثالثة بالقرب من الكرتين الأولى والثانية كما في الشكل (ج).

٤. ابعد احدى الكرات نهائياً ولاحظ ما يحدث لورقتي الكشاف في كل حالة، فسر ذلك.

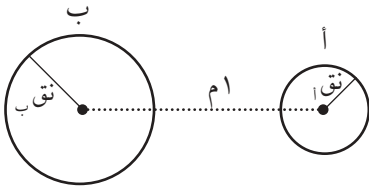
بامكانك استخدام مولد فان دي غراف لشحن الكرة الأولى.

يتضح من النشاط السابق أن جهد الموصل يتأثر بشحنات الموصلات الأخرى القريبة منه، أي أن: الجهد الكلي للموصل المشحون يساوي جهده بفعل شحنته، ويسمى الجهد المطلق، مضافاً إليه الجهد بفعل الشحنات الأخرى المحيطة به، ويسمى الجهد الحثي (التأثيري) أي أن:

الجهد الكلي للموصل = الجهد المطلق + الجهد الحثي.

مثال (٦):

وضعت كرة معدنية أ نصف قطرها ٥ سم وتحمل شحنة مقدارها 5×10^{-9} كولوم بالقرب من كرة معدنية ب أخرى نصف قطرها ١ سم، وتحمل شحنة مقدارها 2×10^{-9} كولوم، فإذا كانت المسافة بين مركزيهما متراً واحداً.



احسب:

١. الجهد الكهربائي على سطح كل من الكرتين.

٢. فرق الجهد بين الكرتين: ج_{أ ب}.

الحل:

١. جهد الكرة (أ) = جهدا المطلق + جهدا الحثي

ف_{أ ب}: البعد بين مركزي الكرتين

$$\frac{\sqrt{ب}}{ف_{أ ب}} 9 \times 10^9 + \frac{\sqrt{أ}}{نقأ} 9 \times 10^9 =$$
$$\frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-9}}{1} + \frac{9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-9}}{2 \times 10 \times 5} =$$
$$= 18 + 900 = 918 \text{ فولت.}$$

جهد الكرة ب = جهدا المطلق + جهدا الحثي

$$\frac{\sqrt{أ}}{ف_{أ ب}} 9 \times 10^9 + \frac{\sqrt{ب}}{نقأ ب} 9 \times 10^9 =$$
$$\frac{9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-9}}{1} + \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-9}}{2 \times 10 \times 1} =$$
$$= 45 + 1800 = 1845 \text{ فولت.}$$

٢. فرق الجهد بين الكرتين = الجهد الكلي للكرة أ - الجهد الكلي للكرة ب

$$= 1845 - 918 = -927 \text{ فولت.}$$

سؤال

كرتان موصلتان نصف قطر الأولى ٢ سم، والثانية ١٠ سم، شحنت الأولى بشحنة مقدارها ٣ ص والثانية ٣ ص ووضعنا بحيث كان البعد بين مركزيهما ٣٠ سم، فأصبحت القوة المتبادلة بينهما ٧, ٢ نيوتن.

إحسب:

١. شحنة كل من الكرتين.

٢. جهد كل منهما.

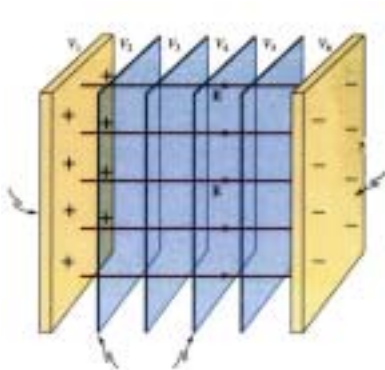
٣ - ٤ سطوح تساوي الجهد:

عرفت أنه عند توصيل موصلين مختلفين في الجهد الكهربائي فإن الشحنات الكهربائية الموجبة تنتقل من الموصل ذي الجهد الأعلى إلى الموصل ذي الجهد المنخفض، ويستمر انتقال الشحنات حتى يتساوى جهد الموصلين، ومن هنا ندرك أنه لا يمكن أن توجد نقطتان مختلفتان في الجهد الكهربائي على سطح موصل واحد أو عدة موصلات متصلة مع بعضها.

تشكل مجموعة النقاط التي لها نفس الجهد سطحاً يسمى بسطح الجهد، وقد يكون هذا السطح خيالياً أو حقيقياً، حيث لا يبذل أي شغل عند نقل أي شحنة بين نقطتين على هذا السطح، لماذا؟ لاحظ الشكل (٨) الذي يمثل خطوط تساوي الجهد لأجسام مشحونة مختلفة، نستنتج من هذا الشكل أن:

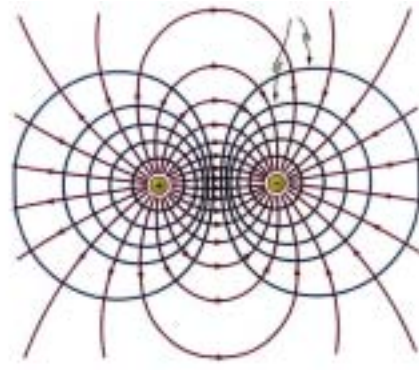
١. سطوح تساوي الجهد متعامدة مع خطوط المجال الكهربائي، لاحظ الشكل (٨/ أ / ج)، لأنها لو لم تكن متعامدة، لكان هناك مركبة للمجال الكهربائي باتجاه سطح تساوي الجهد، حيث تعمل هذه المركبة على تحريك الشحنات الكهربائية الموجبة في اتجاهها، أي أن هناك انتقال للشحنة من نقطة إلى أخرى، ما يعني أن هناك فرق جهد بين هاتين النقطتين وهذا يتنافى مع تعريف سطح الجهد.

٢. سطوح تساوي الجهد لا تتقاطع، لماذا؟



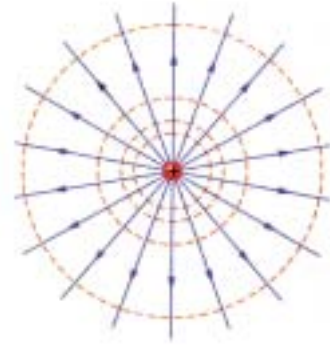
سطوح تساوي الجهد بين صفيحتين مشحونتين بشحنتين متساويتين مقدارا، ومختلفتين نوعا

(ج)



سطوح تساوي الجهد لموصلين كرويين مختلفين في نوع الشحنة ولهما نفس المقدار

(ب)



سطوح تساوي الجهد لشحنة نقطية موجبة

(أ)

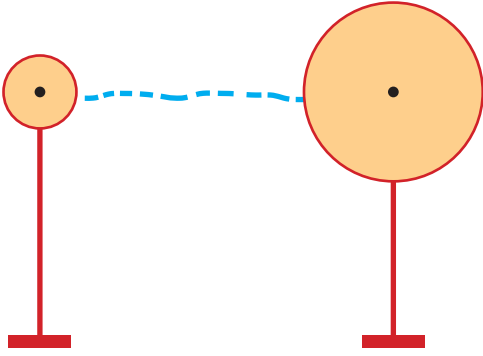
الشكل (٨): سطوح تساوي الجهد

٣- ٥ توزيع الشحنة على الموصلات:

تتوزع الشحنة على السطوح الكروية بانتظام، وذلك بسبب تماثل هذه السطوح، ونقول أن كثافة الشحنة على السطح متساوية، وتعرّف كثافة الشحنة السطحية (σ) بأنها كمية الشحنة على وحدة المساحة من سطح الموصل، وعليه تكون كثافة الشحنة السطحية (σ) لموصل كروي نصف قطره (نق) وشحنته ψ

$$\sigma = \frac{\psi}{\pi \times \text{نق}^2}$$

والآن إذا تلامس سطحان كرويان مختلفان كما في الشكل (٩)، فكيف تتوزع الشحنة على سطحيهما؟



إذا تلامس موصلان فإن الشحنات الكهربائية تنتقل من الموصل ذي الجهد الأعلى إلى الموصل ذي الجهد الأقل، ويستمر انتقال الشحنات حتى يتساوى جهدا الموصلين، فإذا تلامس موصلان كرويان نصف قطر الأول نق_1 ، والثاني نق_2 فإن الشحنة تتوزع عليهما بحيث:

الشكل (٩): توزيع الشحنة على الموصلات

ج_١ = ج_٢ وبتعويض علاقة الجهد

$$\frac{\psi_1}{\text{نق}_1} \times 9 \times 10^9 = \frac{\psi_2}{\text{نق}_2} \times 9 \times 10^9$$

$$\frac{\psi_1}{\text{نق}_1} = \frac{\psi_2}{\text{نق}_2}$$

أي أن الشحنة الكلية على كل من الموصلين تتناسب طردياً مع نصف قطره كل منهما.

وبالتعويض عن الشحنة في المعادلة السابقة بكثافة الشحنة نجد أن:

$$\psi = \text{كثافة الشحنة السطحية} \times \text{مساحة الموصل}$$

$$\psi_1 = \sigma_1 \times \pi \times \text{نق}_1^2$$

$$\psi_2 = \sigma_2 \times \pi \times \text{نق}_2^2$$

حيث: σ_1 كثافة الشحنة السطحية على الموصل الذي نصف قطره نق_1 .

σ_2 كثافة الشحنة السطحية على الموصل الذي نصف قطره نق_2 .

$$\frac{\pi \times r_2^2 \times \epsilon \times \sigma_2}{r_2} = \frac{\pi \times r_1^2 \times \epsilon \times \sigma_1}{r_1}$$

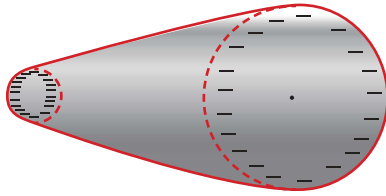
$$r_2 \times \sigma_2 = r_1 \times \sigma_1$$

$$\frac{r_2 \sigma_2}{r_1} = \frac{r_1 \sigma_1}{r_2}$$

أي أن:

$$\sigma_1 r_1 = \sigma_2 r_2 = \text{عدد ثابت}$$

ماذا تستنتج من ذلك؟



الشكل (١٠): توزيع الشحنة على الرؤوس المدببة

عند تلامس موصلين كرويين مشحونين، فإن الشحنة تتوزع بينهما بحيث تتناسب كثافة الشحنة (σ) عكسياً مع نصف قطر كل منهما، وبناءً على ذلك نستطيع تفسير لماذا تكون كثافة الشحنة على الأجزاء المدببة ذات التحذب الكبير من الأسطح المعدنية أكبر منها على الأجزاء المستوية ذات التحذب الصغير، كما بين الشكل (١٠).

ويستفاد من هذه الخاصية في تطبيقات واسعة في الحياة العملية، مثل أجهزة توليد الجهد العالي، ومانعات الصواعق.

سؤال

بيّن أثر الرؤوس المدببة في تفريغ الشحنة الكهربائية ومن ثم بيّن كيفية عمل مانعة الصواعق.

اسئلة الفصل

س ١ وضح المقصود بكل مما يلي :

- ١ . الجهد الكهربائي .
- ٢ . فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين .
- ٣ . سطوح تساوي الجهد .

س ٢ وضح كيف يكون الجهد الكلي لموصل كروي مشحون يساوي صفراً .

س ٣ احسب قيمة الشحنة النقطية التي تولد جهداً مقداره + ٩٠ فولت في نقطة تبعد عنها ١٠ سم .

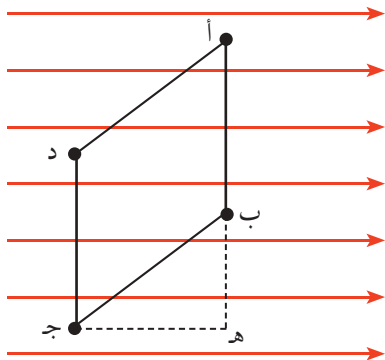
س ٤ احسب فرق الجهد بين نقطتين في مجال كهربائي إذا كان الشغل المبذول لنقل شحنة كهربائية مقدارها ٤ كولوم بين هاتين النقطتين = ٢٨ جولاً .

س ٥ كرتان معدنيتان لهما نفس الحجم أحدهما مجوفة والأخرى مصمتة شحنتا بنفس المقدار من الشحنة . هل يوجد فرق في توزيع الشحنات على جسمي الكرتين؟ وضح ذلك .

س ٦ موصلان كرويان، نصف قطر الأول ١٠ سم، ونصف قطر الثاني ٥٠ سم، فإذا شحن الأول بشحنة مقدارها ٢٠ ميكروكولوم، والثاني بشحنة مقدارها ٢٥ ميكروكولوم، احسب :
 أ . جهد كل من الموصلين ، على فرض أنهما بعيدان جداً عن بعضهما .
 ب . جهد كل منهما، إذا وصل الموصلان بسلك رفيع طويل ، ثم فصلا بعد ذلك .

س ٧ يوضح الشكل المجاور مجالاً كهربائياً منتظماً مقداره ١٠ فولت/ متر والنقاط أ ، ب ، ج ، د واقعة في المجال .

فإذا كان طول أ ب = ٥ سم = ب هـ = ٣ سم ، ج هـ = ٤ سم ، احسب :



١ . الشغل المبذول في نقل شحنة كهربائية مقدارها 6×10^{-9} كولوم من أ إلى د .

٢ . مقدار التغير في طاقة وضع بروتون عند نقله من (ب) إلى (د) .

٣ . الشغل الذي تبذله قوة خارجية في تحريك البروتون عبر المسار أ ب ج د .



إننا نحكم على وعائين ونقول أن أحدهما أكبر من الآخر من حيث الحجم إذا كان يستوعب كمية أكبر من المادة، فهل نستطيع القول بأن الموصلات تتفاوت في مقدار الشحنات التي تحملها؟ وما الذي يحدد ذلك؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادراً على أن:

١. تعرف كل من المفاهيم والمصطلحات الآتية: السعة الكهربائية، الفاراد، المواسع الكهربائي، الطاقة الكامنة في مواسع مشحون، المواسع المكافئ لمجموعة من المواسعات، توصيل المواسعات على التوالي، توصيل المواسعات على التوازي.
٢. تذكر العوامل التي تعتمد عليها سعة الموصل.
٣. تفسر أثر وضع مادة عازلة بين لوحَي المواسع على سعته.
٤. تذكر بعضاً من القوانين المتعلقة بسعة بعض أنواع المواسعات.
٥. تحل مسائل حسابية بسيطة على السعة.
٦. تميز بين توصيل المواسعات على التوالي وتوصيلها على التوازي.

٤ - ١ السعة الكهربائية:

يُعد الوعاء أوسع من الآخر إذا كان يتسع لكمية أكبر من المادة، وتُعد الغرفة أوسع من المجاورة لها إذا كانت تتسع لعدد من الأشخاص مثلاً أكثر من الأخرى، وكذلك في مجال الكهرباء فإن الموصلات تختلف في استيعابها للشحنات الكهربائية، فإذا كان الموصل يستوعب كمية كبيرة من الشحنة نقول أن السعة الكهربائية للموصل كبيرة. ولتعرف مفهوم السعة الكهربائية قم بإجراء النشاط الآتي:

نشاط (١): السعة الكهربائية

المواد والأدوات:

موصلان كرويان مختلفان في الحجم، جهاز فان دي غراف، كشاف كهربائي، مادة عازلة.

خطوات العمل:

١. ضع الموصلين على مادة عازلة ثم اشحنهما باستخدام جهاز فان دي غراف.
٢. صل الموصلين معاً حتى يتساوى جهديهما، ثم افصلهما عن بعضهما.
٣. أجعل كلا الموصلين يلامس قرص الكشاف، ولاحظ انفراج ورقتي الكشاف في الحالتين، أي الموصلين أدى إلى انفراج الورقتين أكثر؟ ماذا تستنتج من ذلك؟

ستلاحظ من هذا النشاط أنه بالرغم من تساوي جهدي الموصلين، إلا أن الموصل ذي الحجم الأكبر أدى إلى انفراج ورقتي الكشاف بشكل أكبر، أي أن الشحنة التي يحملها أكبر من الموصل الآخر. إذ أن نستطيع أن نقول أنه كلما ازداد حجم الموصل ازداد استيعابه للشحنات الكهربائية، أي قدرته على تخزينها، أي أن سعته أكبر، وبناءً عليه تكون السعة الكهربائية مقياساً لقدرة الجسم على تخزين الشحنات الكهربائية. وإذا أردنا رفع جهد موصل كروي مثلاً، فإننا نحتاج إلى شحنة بشحنة أكبر، حيث يطلق على كمية الشحنة اللازمة لرفع جهد جسم ما بمقدار واحد فقلت اسم السعة الكهربائية لذلك الجسم (س)، أي أن:

$$C \propto Q$$

$$C = \text{ثابت} \times Q$$

حيث هذا الثابت يمثل السعة الكهربائية أي أن

$$C = \frac{Q}{V} \dots \dots \dots (1)$$

حيث ج: جهد الموصل، V : شحنة الموصل

من خصائص سعة الأجسام:

١. أنها دائماً موجبة، لماذا؟
٢. ثابتة في المقدار للجسم الواحد.
٣. تعتمد على الأبعاد الهندسية للجسم، والوسط الذي يوجد فيه.

في النظام الدولي للوحدات تكون وحدة السعة الكهربائية هي وحدة شحنة مقسومة على وحدة جهد، أي كولوم/ فولت . وتسمى هذه الوحدة باسم الفاراد (F) ، وهذه الوحدة كمية كبيرة جداً لذلك نستخدم وحدات عملية للسعة ومنها المايكروفاراد (μF) ، ويساوي 10^{-6} فاراد، والنانوفاراد (nF) ، ويساوي 10^{-9} فاراد .

سؤال

وضح المقصود بالفاراد .

مثال (١):

احسب السعة الكهربائية لموصل كروي نصف قطره (نق) ومشحون بشحنة مقدارها (q) وجهده يساوي (ح)؟

الحل:

بالرجوع إلى العلاقة (١)

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

$$C = \frac{q}{\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \times \frac{q}{r}}$$

$$C = 4\pi\epsilon_0 \times r \quad (2)$$

لاحظ أنّ سعة الموصل الكروي تعتمد على الأبعاد الهندسية للموصل أي (نق)، كما أنها تعتمد على الوسط الذي يوجد فيه الموصل .

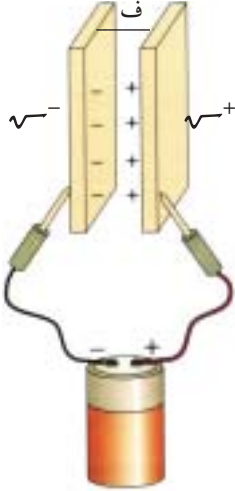
٤ - ٢ المواسع الكهربائي:



الشكل (١): مواسع مختلفة

يستخدم المواسع الكهربائي لتخزين الشحنات الكهربائية لاستخدامها حين الحاجة إليها، ويوجد في أشكال متعددة، وبشكل عام يتكون من موصلين معزولين كهربائياً بينهما مادة عازلة، كما يمكن أن يتكون من موصل واحد فقط . لاحظ الشكل (١)، وأبسط صورة له يتكون من لوحين متوازيين يفصل بينهما مادة عازلة إما الهواء أو الورق أو الزجاج . . . ، ويرمز له بالرمز $(+ -)$ ، وبدل على مواسع سعته ثابتة، أما إذا كانت سعته متغيره فيرمز له بالرمز $(+ \rightarrow)$.

المواسع ذو الصفيحتين المتوازيتين:

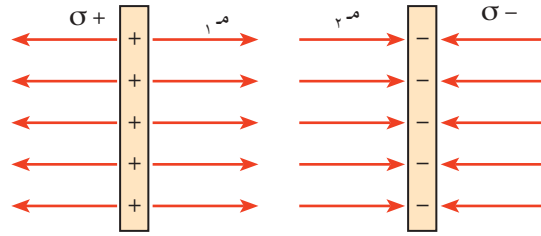


الشكل (٢): المواسع ذو اللوحين المتوازيين

الشكل (٢) يمثل مواسعاً ذا صفيحتين فلزيتين متوازيتين مساحة كل منهما (أ) والبعد بينهما ف، عند شحن المواسع تحمل كل صفيحة منهما شحنة مساوية في المقدار للأخرى وتعاكسها في النوع، وتكون كثافة الشحنة السطحية على الصفيحة الأولى ($\sigma+$)، وعلى الصفيحة الثانية ($\sigma-$).

ولحساب سعة المواسع المبين في الشكل (٢)، نحسب المجال الكهربائي بين لوحية.

لإيجاد المجال في المنطقة الواقعة بين الصفيحتين، نحسب المجال الناتج عن كل صفيحة على حدة، متجاهلين وجود الصفيحة الأخرى، ثم نجد محصلة المجالين معاً. لاحظ الشكل (٣).



الشكل (٣)

باستخدام قانون جاوس نجد أن المجال الناتج عن الصفيحة الموجبة (E_1) يساوي المجال الناتج عن الصفيحة السالبة (E_2)، والمجالان يؤثران بنفس الاتجاه في النقطة (ب) (بين الصفيحتين) حيث:

$$E_1 = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \text{ باتجاه } E_1$$

المجال الكلي بين الصفيحتين (م) = $E_1 + E_2$

$$= \frac{\sigma}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{2\sigma}{\epsilon_0} \text{ ، أي من الصفيحة الموجبة إلى السالبة.}$$

أما بالنسبة لفرق الجهد بين طرفي الصفيحتين فيعطي بالعلاقة :
 $C = \frac{Q}{V}$ ، وبالتعويض بقيمة المجال الكهربائي .

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\sigma \cdot A}{V} \quad \text{وحيث أن} \quad \sigma = \frac{Q}{A}$$

فإن $C = \frac{\sigma \cdot A}{V} = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{Q}{\epsilon_0 \cdot A}} = \epsilon_0 \cdot A$ إذا كان الوسط بين الصفيحتين هو الفراغ أو الهواء .

إذاً تعطى سعة المواسع ذي اللوحين المتوازيين بالعلاقة :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{\sigma \cdot A}{\frac{Q}{\epsilon_0 \cdot A}} = \epsilon_0 \cdot A$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d} \quad (3)$$

تلاحظ من هذه النتيجة أن سعة المواسع تعتمد على :

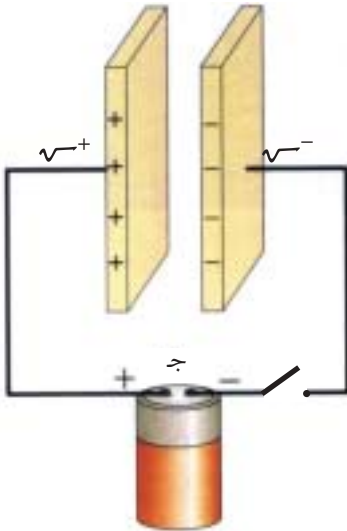
١ . مساحة الصفيحة الواحدة (أ) .

٢ . البعد بين الصفيحتين (ف) .

٣ . ثابت نفاذية الوسط ، الفراغ في هذه الحالة (ε) .

ولا تتأثر سعة المواسع بزيادة ϵ أو نقصانها ، تماماً كسعة خزان الماء التي تبقى ثابتة في المقدار سواء أكان خزان الماء فارغاً أم مملوءاً بالماء .

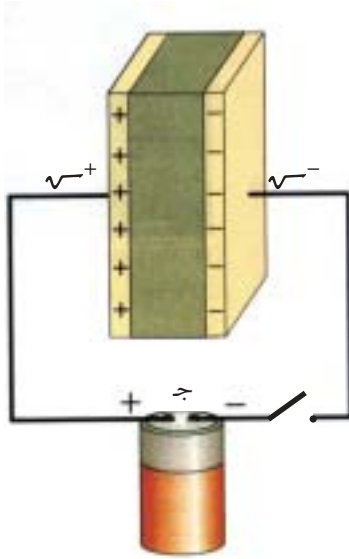
شحن المواسع:



الشكل (٤) : شحن المواسع

عند إغلاق المفتاح في الدارة شكل (٤) يبدأ التيار الكهربائي بالسريان ، حيث تنتقل الالكترونات من الصفيحة المتصلة بالقطب الموجب عبر البطارية إلى الصفيحة المتصلة بالقطب السالب فتصبح الأولى موجبة الشحنة والثانية سالبة الشحنة . وتستمر عملية الشحن حتى يتولد فرق جهد على المواسع يساوي ويعاكس فرق الجهد على البطارية ، عندها يتوقف تدفق الالكترونات ونقول بأن المواسع قد شحن .

تأثير العازل على سعة المواسع:

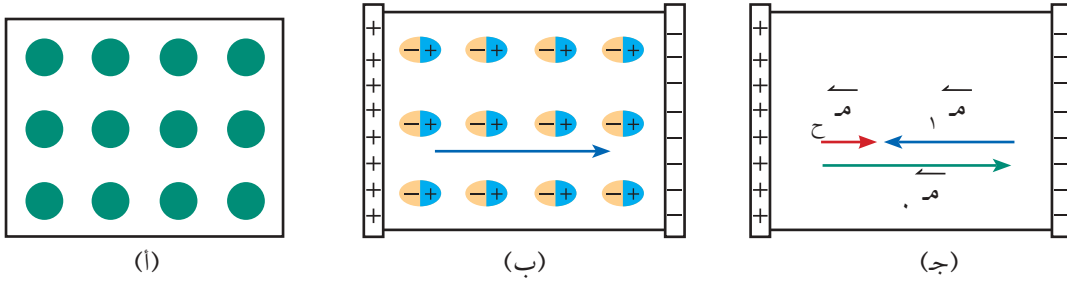


إذا وضعت مادة عازلة بين لوحي المواسع كما في الشكل (٥)، فإن سعة هذا المواسع تزداد، لأن $\epsilon < \epsilon_0$ ، وتزداد السعة عدداً من المرات يساوي ثابت العازلية لهذه المادة.

$$\frac{\epsilon}{\epsilon_0} = \delta \text{ حيث ثابت العازلية}$$

الشكل (٥): مواسع تفصل بين لوحيه مادة عازلة

ويتبادر إلى أذهاننا السؤال التالي وهو، كيف تعمل المادة العازلة على زيادة سعة المواسع؟ وللإجابة على هذا السؤال: عند وضع المادة العازلة بين لوحي المواسع فإن جزيئات هذه المادة المتعادلة كهربياً تقع تحت تأثير المجال الكهربائي (M_1) المنتظم الموجود بين لوحي المواسع، وهذا المجال يؤثر على الشحنات الموجبة الموجودة في المادة العازلة فيحركها جانبياً باتجاه المجال كما في الشكل (٦).

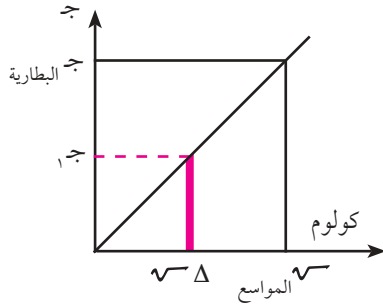


الشكل (٦): تأثير المادة العازلة على سعة المكثف

بينما تنزاح إلكترونات المادة العازلة جانبياً بعكس اتجاه المجال، الشكل (٦/ب)، نتيجة لذلك يتولد في المادة العازلة مجال كهربائي تأثيري (M_2) تجاهه عكس اتجاه المجال الأصلي (M_1)، الشكل (٦/ج)، فتصبح محصلة المجالين (M_3) أقل من المجال الأصلي، وذلك يقلل فرق الجهد بين اللوحين وبالتالي تزداد سعة المواسع.

الطاقة المخزنة في المواسع:

عند بداية شحن المواسع يكون فرق الجهد بين طرفي المواسع يساوي صفراً، وتتم عملية شحن المواسع بوصل طرفيه ببطارية إذ يعمل فرق الجهد للبطارية على تحريك الإلكترونات من صفيحة المواسع المتصلة بالقطب الموجب ونقلها للقطب السالب، ويلزم بذل شغل لاتمام عملية النقل، ويخزن هذا الشغل في المواسع على شكل طاقة وضع كهربائية، وباستمرار عملية الشحن يزداد تراكم الشحنة على صفيحتي المواسع مما يؤدي لزيادة فرق الجهد بين طرفيه.



الشكل (٧): العلاقة بين شحنة المواسع وجهده

وتستمر عملية الشحن حتى يصبح فرق الجهد بين طرفي المواسع مساوياً لفرق الجهد بين طرفي البطارية، وعندئذ يكون المواسع قد شُحن أي تحمل كل صفيحة من الصفيحتين شحنة مساوية للأخرى في المقدار ومعاكسة لها في النوع، أي $(+q, -q)$ وبناءً على العلاقة $(S = C \cdot V)$ فإن العلاقة بين شحنة المواسع وجهده علاقة خطية، لاحظ الشكل (٧).

إنّ المساحة المظللة في الشكل (٧) تمثل مساحة مثلث طول قاعدته شحنة المواسع وارتفاعه هو جهد المواسع، وهي عبارة عن الشغل المبذول في شحن المواسع.

$$\text{أي أن الشغل} = \frac{1}{2} C V^2$$

وبما أنّ الشغل المبذول في شحن المواسع يخزن على شكل طاقة وضع كهربائية.

$$\text{أي أن ش} = ط$$

$$ط = \frac{1}{2} C V^2$$

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

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

حيث س : سعة المواسع ، V : شحنة المواسع ، C : جهد المواسع .

مثال (٢):

مواسع سعته ٨ ميكروفاراد متصل مع مصدر جهد فرق الجهد بين طرفيه (١٠٠ فولت)، فإذا علمت أن المسافة بين لوحية ١ مم، والوسط العازل بينهما هو الهواء. فاحسب:

- الطاقة المخزنة فيه.
- شحنته العظمى.
- المجال الكهربائي بين لوحية.

أ. الطاقة المخزنة في المواسع

$$ط = \frac{1}{2} س ح^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 8 \times 10^{-6} \times (100)^2 = 4 \times 10^{-2} \text{ جول.}$$

ب. شحنة الواسع $ص$ العظمى.

$$ص = س ح = 8 \times 10^{-6} \times 100 = 8 \times 10^{-4} \text{ كولوم}$$

ج. المجال الكهربائي بين لوحيه

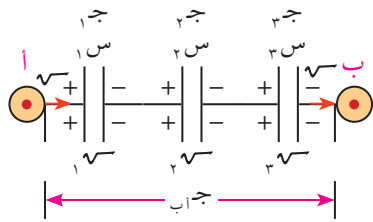
$$م = \frac{ج}{ف} = \frac{100}{8 \times 10^{-2}} = 1250 \text{ فولت/متر}$$

٣-٤ توصيل المواسعات:

عند توصيل مجموعة من المواسعات في دائرة كهربائية، فإنه يمكننا أن نستبدل هذه المجموعة بمواسع واحد يكافئ هذه المجموعة، أي له نفس سعة مجموعة المواسعات معاً.

هناك طريقتان أساسيتان لتوصيل المواسعات في الدارات الكهربائية هما التوصيل على التوالي (in series) والتوصيل على التوازي (in parallel).

أولاً- التوصيل على التوالي:



الشكل (٨): توصيل المواسعات على التوالي

الشكل (٨) يمثل ثلاثة مواسعات س_١، س_٢، س_٣، موصوله على التوالي مع بطارية فرق الجهد بين طرفيها يساوي (ح) بمعنى آخر فرق الجهد بين النقطتين أ، ب يساوي (ح)، وهذا التوصيل يجعل فرق الجهد بين طرفي المواسعات س_١، س_٢، س_٣، يساوي ح_١، ح_٢، ح_٣، على الترتيب حيث $ح = ح_١ + ح_٢ + ح_٣$

وانطلاقاً من مبدأ حفظ الشحنة فإن مجموع الشحنات (الإلكترونات) المنقولة من البطارية يجب أن يساوي مجموع الشحنات (الإلكترونات) المنقولة إليها . أي أن جميع المواسعات الموصولة معاً على التوالي شحنت بشحنة متساوية أي أن :

$${}_3q = {}_2q = {}_1q = q$$

وحيث أن $\frac{q}{s} = C$ إذاً

$$\frac{q}{s} + \frac{q}{s} + \frac{q}{s} = \frac{q}{s_m}$$

أي أن :

$$\frac{1}{s_3} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_1} = \frac{1}{s_m}$$

وبشكل عام :

$$\frac{1}{s_n} + \dots + \frac{1}{s_3} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_1} = \frac{1}{s_m}$$

حيث : ن عدد المواسعات .

s_m : السعة المكافئة للمواسعات معاً .

ثانياً- التوصيل على التوازي:

يمثل الشكل (9) مجموعة مواسعات موصولة معاً على التوازي ، حيث أن أطرافها موصولة مباشرة مع طرفي البطارية ، أي أن فرق الجهد بينها متساوياً ويساوي فرق الجهد بين طرفي البطارية بينما تتوزع الشحنة الكهربائية (الإلكترونات) المنتقلة من القطب السالب إلى القطب الموجب على المواسعات الثلاثة حسب سعتها ، أي أن :

$${}_3q + {}_2q + {}_1q = q$$

وحيث أن $q = Cs$

$$C_3 s_3 + C_2 s_2 + C_1 s_1 = C s_m$$

وبما أن $C_1 = C_2 = C_3 = C$

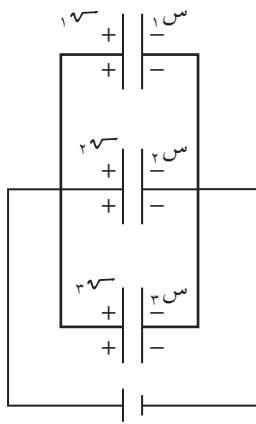
$$s_3 + s_2 + s_1 = s_m$$

وبشكل عام :

$$s_n + \dots + s_2 + s_1 = s_m$$

حيث : ن عدد المواسعات

s_m : السعة المكافئة لمجموعة مواسعات موصولة معاً على التوازي .



الشكل (9) : توصيل المواسعات على التوازي

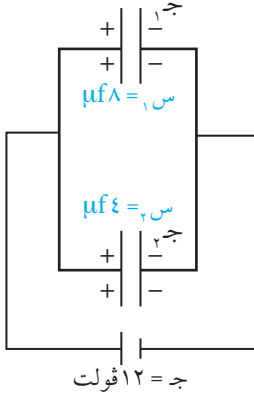
مثال (٣):

مواسعان سعتهما $4 \mu f$ و $8 \mu f$ ، وصلا على التوازي ثم على التوالي مع بطارية 12 فولت، احسب:

١. شحنة كل منهما عند التوصيل على التوازي.
٢. جهد كل منهما عند التوصيل على التوالي.

الحل:

١. المواسعات C_1 ، C_2 موصولان على التوازي.



$$C_1 + C_2 = C_m$$

$$12 \mu f = 4 + 8 = C_m$$

بما أن C_1 ، C_2 موصولان على التوازي، فإن:

$$C_1 = C_2 = C_3 = 12 \text{ فولت}$$

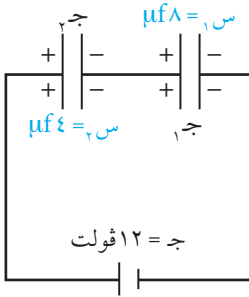
شحنة المواسع الأول $Q_1 = C_1 V_1$

$$= 8 \times 10^{-6} \times 12 = 96 \times 10^{-6} \text{ كولوم}$$

شحنة المواسع الثاني $Q_2 = C_2 V_2$

$$= 4 \times 10^{-6} \times 12 = 48 \times 10^{-6} \text{ كولوم}$$

٢. عند وصل المواسعان معاً على التوالي.



$$\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{1}{C_m}$$

$$\frac{3}{8} = \frac{1}{4} + \frac{1}{8} = \frac{1}{C_m}$$

$$C_m = \frac{8}{3} \mu f$$

أ. نحسب أولاً شحنة المواسع المكافئ Q_m

$$Q_m = C_m V_m = \frac{8}{3} \times 10^{-6} \times 12 = 32 \times 10^{-6} \text{ كولوم}$$

ب. بما أن C_1 ، C_2 موصولان على التوالي فإن شحنتيهما متساوية

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_m = 32 \times 10^{-6} \text{ كولوم أي:}$$

$$C_1 = \frac{Q_1}{V_1} = \frac{32 \times 10^{-6}}{8} = 4 \text{ فولت}$$

$$C_2 = \frac{Q_2}{V_2} = \frac{32 \times 10^{-6}}{4} = 8 \text{ فولت}$$

اسئلة الفصل

- س ١ مواسع ذو لوحين متوازيين ، المسافة بين لوحيه (ف) ومساحة كل لوح (أ) ويفصل الهواء بين لوحية ، ماذا يحدث لسعته في الحالات الآتية :
- أ . انقاص المسافة (ف) .
- ب . مضاعفة مساحة كل لوح بحيث تصبح (٢أ) .
- ج . مضاعفة فرق الجهد بين اللوحين .
- س ٢ شحن مواسع باستخدام بطارية ، ثم فصلت البطارية ، ثم وضعت مادة عازلة بين لوحى المواسع ، أشرح ماذا يحدث لكل من :
- أ . شحنة المواسع .
- ب . سعة المواسع .
- ج . فرق الجهد بين لوحى المواسع .
- د . المجال الكهربائي بين لوحى المواسع .
- هـ . الطاقة المخزونة في المواسع .
- س ٣ احسب الطاقة الكامنة في مواسع سعته 4×10^{-6} فارد وفرق الجهد بين لوحيه 1200 فولت .
- س ٤ أثبت أن السعة المكافئة لمجموعة من المواسعات الموصولة معاً على التوالي أقل من سعة أصغر المواسعات سعة ، أثبت ذلك لمواسعين .
- س ٥ وصل مواسع سعته ١ ميكروفاراد على التوالي مع مواسع آخر سعته ٢ ميكروفاراد ، ثم وصلت المجموعة إلى مصدر قدرة جهده ١٠٠ فولت :
- أ . احسب الشحنة وفرق الجهد على كل مواسع .
- ب . إذا فصل المواسعان أحدهما عن الآخر وعن المصدر ، ثم أعيد توصيلهما على التوازي بحيث يتصل اللوحان الموجبان معاً والسالبان معاً ، فاحسب الشحنة والطاقة لكل منهما .
- س ٦ أ . ماذا يحدث للشحنة على لوحى مواسع إذا زاد فرق الجهد بينهما إلى الضعف؟
- ب . ما فائدة توصيل المواسعات على التوالي وعلى التوازي؟
- ج . فسر بطريقة علمية لماذا يكون الجهد الكهربائي لصفحة من الزنك ملفوفة على بعضها أكبر من جهدها الكهربائي عند فردها على شكل سطح مستو .

س٧ . أ. اشرح هذه العبارة: إن مجموع الشحنات على لوح المواسع = صفرًا دائماً.
ب. صفيحتان من القصدير أبعاد الواحدة منها ٢٠ سم × ٣٠ سم تفصلها صفيحة من المايكا سمكها ١٢,٠ ملم. احسب السعة الكهربائية لها؟ علماً أن ثابت العزل للمايكا = ٤ وأن سماحية الهواء ٨,٨٥ × ١٠^{-١٢} كولوم^٢/نيوتن م^٢.

س٨ . أ. استنتج العلاقة الرياضية التي تعطي طاقة المواسع ذي اللوحين المتوازيين بدلالة سعته و فرق الجهد بين لوحية.
ب. شحن مواسع سعته ٢,٥ ميكروفاراد حتى أصبح جهده ١٠٠ فولت، ثم فصل عن المصدر الكهربائي، ووصل قطباه بقطبي مواسع آخر سعته ١٠ ميكروفاراد، احسب:
١. فرق الجهد الحاصل بين طرفي المجموعة.
٢. الطاقة الكلية المخزونة فيهما.
٣. قارن بين: الطاقة الكلية للمواسعين وطاقة المواسع الأول قبل توصيله بالمواسع الثاني.

اسئلة الوحدة

س ١

ضع دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة :

١. ما العامل الذي لا يتوقف عليه مقدار القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين نقطيتين .

- أ. نوع كل من الشحنتين
 ب. مقدار كل من الشحنتين
 ج. نوع الوسط الفاصل بين الشحنتين .
 د. المسافة بين الشحنتين .

٢. في الشكل المجاور إذا كانت القوة المؤثرة على الشحنة



(١٧) تساوي (ق) نيوتن باتجاه الشرق فإن القوة المؤثرة على (٢٧) تساوي بالنيوتن .

- أ. ٣ ق غرباً
 ب. ٣ ق شرقاً
 ج. ٣ ق غرباً
 د. ٣ ق شرقاً .

٣. إذا كان مقدار المجال الكهربائي في النقطة (أ) يساوي ١٦



نيوتن/ كولوم فإن مقدار المجال في نقطة تبعد (٢) عن الشحنة يساوي :

- أ. ٤ نيوتن/ كولوم
 ب. ٩ نيوتن/ كولوم
 ج. ١٦ نيوتن/ كولوم
 د. ١٢ نيوتن/ كولوم .

٤. يتحرك بروتون باتجاه اليمين، فإذا دخل مجالاً كهربائياً باتجاه محور السينات الموجب، إن سرعة البروتون :

- أ. تتناقص
 ب. تتزايد
 ج. تبقى ثابتة
 د. تتغير بعشوائية .

٥. وضعت الشحنتان ١٧ ، ٢٧ في مجال كهربائي منتظم، كما في الشكل ان اتجاه حركة الشحنتين :

- أ. الموجبة لليمين، السالبة ليسار
 ب. الموجبة ليسار، السالبة لليمين
 ج. كلاهما لليمين
 د. كلاهما ليسار .

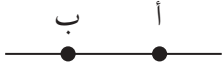
٦. وضعت شحنة داخل موصل كروي فكان التدفق عبر سطح هذه الكرة $\Phi = 6 \times 10$ نيوتن

م/٢ كرلوم، وإذا وضعت تلك الشحنة داخل مكعب طول ضلعه ١٠ سم، فإن مقدار التدفق عبر المكعب بوحدته (نيوتن م/٢ كولوم) تساوي :

- أ. 1×10
 ب. $14, 3 \times 10$
 ج. 6×10
 د. 3×10

٧. وضعت شحنة مقدارها س في مركز مكعب فكم فكم يكون التدفق عبر أحد أوجه المكعب .

- أ. $\frac{\sqrt{s}}{6}$
 ب. $\frac{\sqrt{s}}{6}$
 ج. $\frac{\sqrt{s}}{3}$
 د. $\frac{\sqrt{s}}{4}$



٨. في الشكل التالي إذا كان جهد النقطة أ، ٥ فولت، وجهد النقطة ب، ٧ فولت، فإن اتجاه المجال الكهربائي يكون من :

أ. من أ إلى ب ب. من ب إلى أ

ج. عمودي على الخط الواصل بين أ و ب وباتجاه الأعلى .

د. عمودي على الخط الواصل بين أ و ب وباتجاه الأسفل .

٩. الشكل أعلاه، عند تحرك شحنة سالبة من (أ) إلى (ب) فإن :

أ. طاقة وضعها تقل ب. طاقة وضعها تزداد

ج. الشغل المبذول سالب د. طاقة وضعها تبقى ثابتة

١٠. إذا كان الشغل اللازم لنقل شحنة من النقطة (أ) إلى النقطة (ب) في مجال كهربائي يساوي 2×10^4 س

جول فإن التغير في طاقة وضع الشحنة عند انتقالها من (ب) إلى (أ) يساوي بوحدة (جول).

أ. -2×10^4 ب. 2×10^4 ج. -صفر د. 4×10^3

١١. المجال الكهربائي على بُعد ٢ ملم من صفيحة رقيقة لا نهائية مشحونة بكثافة الشحنة السطحية لها

(σ) كولوم/م^٢ يساوي .

أ. $\frac{\sigma}{\epsilon}$ ب. $\frac{\sigma}{\epsilon_f}$ ج. $\frac{\sigma}{\epsilon_a}$ د. $\frac{\sigma}{\epsilon \cdot 2}$

س٢ وضعت صفيحة من الورق عرضها ٤ سم وسمكها ٥، 1×10^{-3} سم بين صفيحتين معدنتين عرض كل منهما مساو لعرض صفيحة الورق، فتكون مواسع سعته ٢ ميكروفاراد. احسب طول شريط الورق المطلوب إذا علمت أن ثابت العازلية للورق ٥، ٢؟

أ. اذكر العوامل التي تعتمد عليها سعة المواسع ذي اللوحين المتوازيين .

ب. لإيجاد سعة مواسع كهربائي، أحضر طالب مكثفاً آخر سعته ٤ ميكروفاراد وشحنه من مصدر يعطي ٦٠ فولتاً. ثم وصل طرفي المواسعين معاً، وقاس فرق الجهد بين الطرفين فكان ١٥ فولت، أحسب سعة المواسع المجهول .

س٤ وضع جسيم صغير شحنته -5×10^{-9} كولوم في مجال كهربائي منتظم فأثر عليه المجال بقوة مقدارها 20×10^{-9} نيوتن لأسفل . أوجد :

١. شدة المجال الكهربائي واتجاهه .

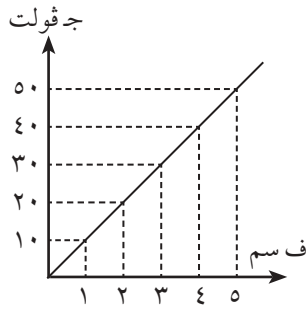
٢. تسارع الجسيم إذا كانت كتلته 2×10^{-27} كجم (مهملتا تأثير الجاذبية الأرضية).

س٥ لوحان معدنيان متوازيان المسافة العمودية بينهما ٢ سم ومشحونان بشحنتين مختلفتين . إذا كانت شدة المجال الكهربائي بينهما منتظمة وأطلق إلكترون من السكون من اللوح السالب فتحرك حتى اصطدم باللوح الموجب خلال زمن قدره 1×10^{-8} ثانية فأوجد :

أ. شدة المجال الكهربائي بين اللوحين .

ب. سرعة الإلكترون لحظة اصطدامه باللوح الموجب ، علماً بأن $k_e = 9 \times 10^9 \text{ كجم}^{-1}$.

أ ، ب نقطتين بين صفيحتين تفعان على أحد خطوط المجال الكهربائي يتغير فرق الجهد بينهما بتغير المسافة حسب الرسم البياني الآتي ، وذلك في مجال كهربائي منتظم ناشئ عن صفيحتين معدنيتين متوازيتين مشحونتين بشحنتين مختلفتين في النوع ومتساويتين في المقدار والبعد بينهما ٥ سم .



إحسب :

أ. المجال الكهربائي المنتظم .

ب. القوة الكهربائية المؤثرة في شحنة مقدارها ٢ ميكروكولوم عند وضعها في المجال .

ج. الشغل المبذول في نقل شحنة مقدارها ٢ ميكروكولوم من النقطة ب إلى النقطة أ باتجاه المجال .

في الشكل : الموصل (أ) يحمل شحنة مقدارها 4×10^{-6} كولوم والموصل (ب) يحمل شحنة مقدارها

2×10^{-6} كولوم موزعة على سطحه بانتظام حيث $نق_1 = نق_2 = ١$ سم أوجد :

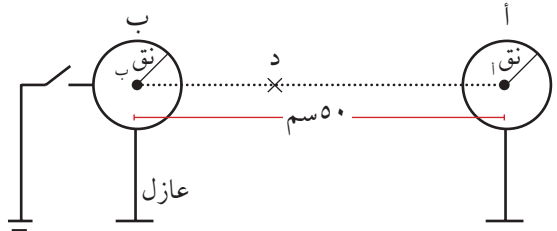
أ. الجهد الكهربائي على سطح الكرة (أ) والمفتاح مفتوح .

ب. بعد إغلاق المفتاح أوجد :

١. الشحنة التي تظهر على سطح الكرة (ب) .

٢. شدة المجال الكهربائي عند نقطة (د) .

التي تبعد ٢٠ سم عن مركز الكرة (ب) .



س٨ في الشكل المجاور : س_١ = ١٠ ميكروفاراد ، س_٢ = ١٠ ميكروفاراد ، س_٣ = ٥ ميكروفاراد .

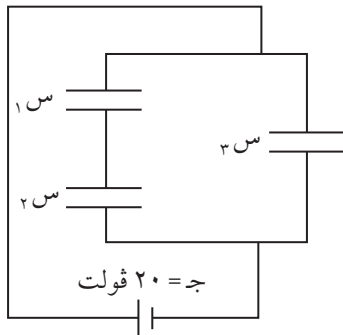
احسب :

أ. السعة المكافئة للمواسعات الثلاثة .

ب. الشحنة على كل مواسع .

ج. فرق الجهد بين طرفي كل مواسع .

د. الطاقة المخزونة في كل مواسع .



الالكترونيات الفيزيائية

الوحدة

٥



اول ترانزستور تم صناعته

أشباه الموصلات



عناصر الكترونية قديمة وحديثة

أحدث استخدام المواد شبه الموصلة ثورة في عالم الالكترونات والتكنولوجيا التي تعتمد عليها، حيث استخدمت هذه المواد في تصنيع العناصر الأساسية في الدارات الالكترونية كالثنائيات والترانزستورات والتي حلت محل الصمامات المفرغة وتفوقت عليها في كثير من الخصائص العملية، وفيما بعد أصبحت هذه المواد هي الأساس لتصنيع الدارات المتكاملة والمعالجات الميكروية (Microprocessors) والخلايا الشمسية وغيرها .

- ما المواد شبه الموصلة؟ وما الخصائص الفيزيائية لها؟ وما الفرق بينها وبين المواد الصلبة الأخرى؟ هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الاجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادرا على أن:
1. تقارن بين المواد الموصلة والعازلة وشبه الموصلة من حيث: مقاومتها النوعية - تأثير درجة الحرارة على مقاومتها للتيار الكهربائي - عدد الالكترونات الحرة في كل منها .
 2. تقارن بين كل من حزمتي التكافؤ والتوصيل وفجوة الطاقة في المواد العازلة وشبه الموصلة والموصلة .
 3. توضح المقصود بكل من المفاهيم الآتية: حزمة التكافؤ- حزمة التوصيل - فجوة الطاقة- طبقة النفاذ- الانتشار- حاجز الجهد .
 4. توضح المقصود بأزواج (الثقوب- الالكترونات) في المادة شبه الموصلة .
 5. تشرح مفهوم عملية التطعيم وأثره على مقاومة المادة شبه الموصلة .
 6. تقارن بين المادة شبه الموصلة غير النقية من النوع الموجب والمادة شبه الموصلة غير النقية من النوع السالب من حيث: نوع الشوائب المستخدمة - الحاملات الأكثرية والأقلية للشحنة في كل منهما .
 7. تشرح التركيب الفيزيائي للوصلة الثنائية م- س .
 8. تشرح الفرق بين عملية الانحياز الامامي والانحياز العكسي للوصلة الثنائية .

١ - ١ الخواص الكهربائية للمواد الصلبة

يمكن تقسيم المواد الصلبة من حيث خواصها الكهربائية إلى ثلاثة أقسام :

١. مواد جيدة التوصيل للتيار الكهربائي (Conductors) : مثل النحاس والألمنيوم والفلزات الأخرى .
٢. مواد عازلة أو رديئة التوصيل للتيار الكهربائي (Insulators) : مثل المطاط والزجاج والميكا .
٣. مواد شبه موصلة (Semiconductors) : مثل السليكون والجرمانيوم والكربون والسليسيوم والغالسيوم وسلفيد الرصاص .

وتتميز المواد شبه الموصلة عن غيرها من المواد الأخرى بما يلي :

١. مقاومتها النوعية أكبر بكثير من المقاومة النوعية للمواد الموصلة وأقل بكثير من المقاومة النوعية للمواد العازلة .
٢. مقاومتها تقل مع ارتفاع درجة الحرارة على عكس المواد الموصلة التي تزداد مقاومتها مع ارتفاع درجة الحرارة .
٣. عدد الإلكترونات الحرة في المواد شبه الموصلة أقل منها في المواد الموصلة وأكثر منها في المواد العازلة .

والجدول التالي يبين المقاومة النوعية والمعامل الحراري لمجموعة من المواد الموصلة والعازلة وشبه الموصلة :

نوع المادة	اسم المادة	المقاومة النوعية (أوم متر)	المعامل الحراري /س
مواد موصلة	الفضة	$1,59 \times 10^{-8}$	0,0061
	النحاس	$1,68 \times 10^{-8}$	0,0068
	الألمنيوم	$2,65 \times 10^{-8}$	0,00429
	التنجستون	$5,6 \times 10^{-8}$	0,0045
مواد شبه موصلة	الكربون (الجرافيت)	$3-60 \times 10^{-5}$	-0,0005
	الجرمانيوم	$1-5000 \times 10^{-3}$	-0,05
	السليكون	$1-60 \times 10^{-1}$	-0,07
مواد عازلة	الزجاج	$1-1000 \times 10^9$...
	الكوارتز	$5,7 \times 10^{17}$...
	المطاط القاسي	$1-100 \times 10^{13}$...

المقاومة $\rho = \frac{l}{A}$
حيث :
ل = طول الموصل
أ = مساحة مقطعه
 ρ = المقاومة النوعية

■ المعامل الحراري : مقدار الزيادة أو النقص في المقاومة لكل درجة سلسيوس .
■ المقاومة ذات المعامل الحراري الموجب تزداد مقاومتها مع زيادة درجة الحرارة، بينما ذات المعامل الحراري السالب تقل مقاومتها مع زيادة درجة الحرارة .

جدول رقم (١) : المقاومة النوعية والمعامل الحراري لبعض المواد عند ٢٠ س

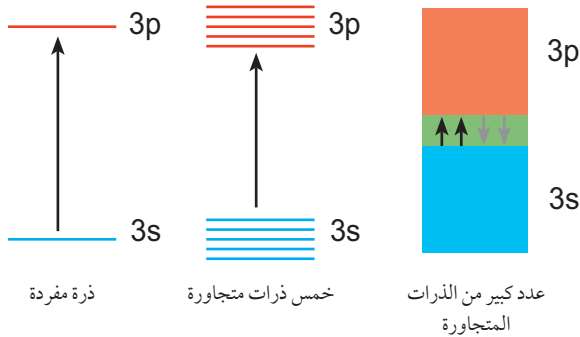
٢ - ١ نظرية أحزمة الطاقة Band Theory of solids

يمكن تفسير الفروق الفيزيائية بين المواد الموصلة والعازلة وشبه الموصلة حسب نظرية أحزمة الطاقة في المواد الصلبة حيث تشكل هذه النظرية الأساس لفهم ظواهر التوصيل الحراري والكهربائي في المواد الصلبة .
من المعروف أن كل ذرة تحتوي على عدد من الالكترونات السالبة الشحنة ، وتوزع هذه الالكترونات حول أنوية الذرات في مدارات رئيسية ، وكل مدار من هذه المدارات يتسع لعدد محدد من الالكترونات ، فالمدار الأول يتسع للكترونين والثاني ٨ الكترونات والثالث ١٨ الكترون حسب القانون :

$$ع = ٢ ن^٢$$

حيث (ع) : عدد الالكترونات في المدار و **(ن) :** يمثل رقم المدار الرئيسي

ويحتوي كل مدار رئيسي على مستويات فرعية للطاقة تعطى الرموز f,d,p,s ، وكل مستوى من هذه المستويات الفرعية يتسع لأعداد محددة من الالكترونات ، فالمستوى s يتسع ٢ الكترون ، و p يتسع ٦ الكترونات و d يتسع ١٠ الكترونات و f يتسع ١٤ الكتروناً ، ويكون للالكترون في كل من هذه المستويات طاقة محددة ، ويمكن للالكترونات فقط الانتقال بين مستويات الطاقة المحددة هذه ولا يمكنها أن توجد بين هذه المستويات ، ويمكن تشبيه ذلك بدرجات السلم ، فعند الصعود أو الهبوط يمكن الاستراحة على كل درجة ولكن ليس بين الدرجات .



الشكل (١) : تكون أحزمة الطاقة في المواد الصلبة

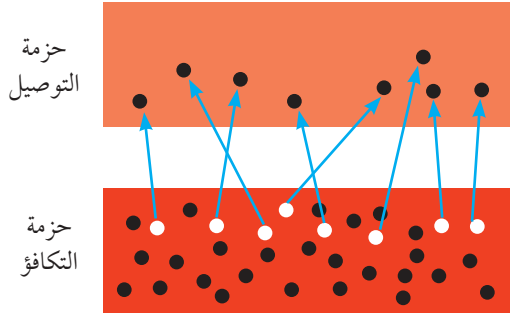
وعندما تكون الذرات المنفردة بعيدة عن بعضها البعض تمتلك كل واحدة منها مستويات طاقة متشابهة ، وإذا أصبحت ذرتان قريبتين من بعضهما بعضاً فإن الالكترونات تتأثر في كل ذرة بالقوى الكهربائية للذرة المجاورة ، وعندها لا نستطيع أن نعتبر أن الالكتران تابع لإحدى الذرتين فقط ، وتصبح مستويات الطاقة للذرتين المتداخلتين مستويات مشتركة بفوارق ضئيلة

بينها ، حيث تشترك الذرتان بالالكتران المتواجد في أي مستوى طاقة فيهما ، وعندما يوجد عدد أكبر من الذرات المتقاربة يصبح لدينا أعداداً متزايدة من مستويات الطاقة المتداخلة والقريبة من بعضها البعض (٣ ذرات : ٣ مستويات ، ٤ ذرات : ٤ مستويات . . . وهكذا) .

وتوصف هذه المستويات المتقاربة من الطاقة بحزم الطاقة Energy Bands ، وتمتد الطاقة المسموحة عبر الحزمة الواحدة من أسفلها وحتى أعلاها ويبين الشكل (١) مستويات الطاقة للالكترونات عندما تقترب من بعضها بعضاً ، ويكون بين هذه الحزم فجوات لا يمكن أن تتواجد فيها الالكترونات تسمى فجوات الطاقة

(Energy gaps)، ويعتمد اتساع حزم الطاقة والفجوات بينها على الترتيب الالكتروني للمادة والترتيب البلوري لها، ويترتب على ذلك الاختلاف في الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمادة.

تسمى أعلى حزمة للطاقة في المادة بحزمة التوصيل (Conducting Band)، وحزمة الطاقة الأقل منها بحزمة التكافؤ (Valance Band)، وعند امتصاص المادة لبعض الطاقة على شكل حرارة أو ضوء أو طاقة كهربائية تنتقل الالكترونات من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل، حيث تتحرك بحرية من ذرة إلى أخرى، وعندما تصبح المادة موصلة للتيار الكهربائي كما في الشكل (٢).



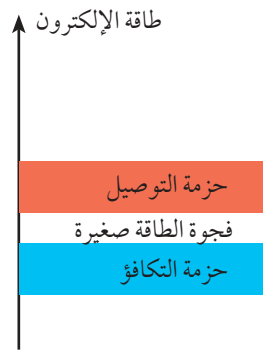
الشكل (٢): انتقال الالكترونات من حزمة التكافؤ الى حزمة التوصيل

وفيما يلي مقارنة لحزم وفجوات الطاقة في كل من المواد العازلة وشبه الموصلة والموصلة:



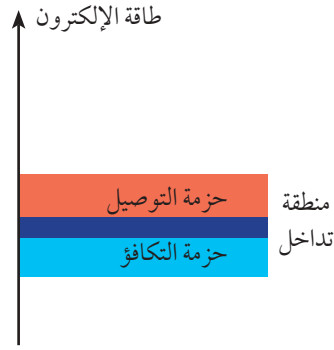
الشكل (٣): أحزمة الطاقة في المادة العازلة

■ في المواد العازلة تكون حزمة التكافؤ ممتلئة بالالكترونات وحزمة التوصيل فارغة، وتكون فجوة الطاقة بين الحزمتين كبيرة جدا كما في الشكل (٣)، ويحتاج الالكترون لطاقة كبيرة لينتقل بين حزمة التكافؤ وحزمة التوصيل، ويمكن إبطال العزل (انهيار العزل) بين حزمتي التوصيل والتكافؤ في المواد العازلة باستخدام درجات حرارة عالية جداً أو مجالات كهربائية كبيرة جداً، حيث تصبح المادة أكثر توصيلاً للكهرباء ويكون لها معامل حرارة سالب للمقاومة.



الشكل (٤): أحزمة الطاقة في المادة شبه الموصلة

■ أما في المواد شبه الموصلة فتكون حزمة التكافؤ ممتلئة وحزمة التوصيل فارغة عند درجات حرارة منخفضة، ولكن تكون فجوة الطاقة بين الحزمتين صغيرة جداً، بحيث تتمكن الالكترونات من القفز إلى حزمة التوصيل بإضافة طاقة حرارية كما في الشكل (٤)، أي يكفي تسخين المادة لتصبح هذه المادة موصلة للكهرباء، وتزداد موصلية هذه المواد بقدر ما يتحرر من الالكترونات ولذلك فإن مقاومتها الكهربائية تقل بازدياد درجة الحرارة (مقاومة ذات معامل حراري سالب).



الشكل (٥): أحزمة الطاقة في المادة الموصلة

■ وفي المواد الموصلة تكون حزمة التكافؤ ممتلئة بالالكترونات وحزمة التوصيل ممتلئة جزئياً وإضافة كمية قليلة من الطاقة سوف تسمح للإلكترونات بالحركة ضمن حزمة التوصيل، وفي هذه المواد يمكن أن تتداخل حزمتي التوصيل والتكافؤ كما في الشكل (٥).

والجدول التالي يبين مقدار فجوة الطاقة لكل من الجرمانيوم والسيلكون وكلاهما من المواد شبه الموصلة على درجات حرارة مختلفة، ونلاحظ نقصان فجوة الطاقة بازدياد درجة الحرارة .

فجوة الطاقة (eV)			المادة
صفر° كلفن (= ٢٧٣°س)	٢٧٣° كلفن (= صفر°س)	٣٠٠° كلفن (= ٢٧°س)	
١,١٧	١,١٤	١,١١	Si
٠,٧٤	٠,٦٧	٠,٦٦	Ge

جدول رقم (٢): فجوة الطاقة على درجات حرارة مختلفة

١ - ٣ المواد شبه الموصلة النقية (Intrinsic Semiconductor)

يعتبر الجرمانيوم والسليكون أكثر المواد شبه الموصلة استخداماً في تصنيع العناصر الالكترونية كالثنائيات (الدايودات) والترانزستورات والدارات المتكاملة، وحسب نظرية أحزمة الطاقة يتميز هذان العنصران بأن حزمة التكافؤ في كل منهما تكون مملوءة تماماً وحزمة التوصيل فارغة، ولكن فجوة الطاقة بين حزمة التوصيل وحزمة التكافؤ تكون صغيرة جداً، كما في الجدول (٢).

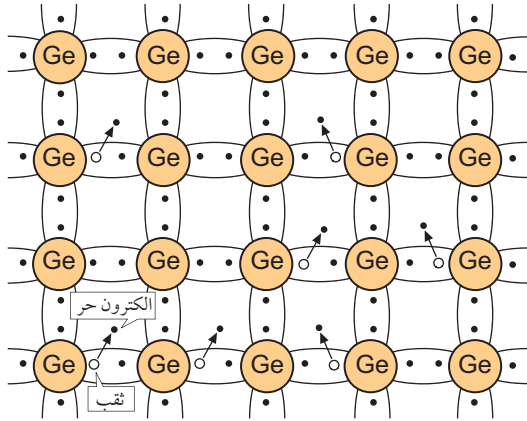
II	III	IV	V	VI
5	6	7	8	
B	C	N	O	
13	14	15	16	
Al	Si	P	S	
30	31	32	33	34
Zn	Ga	Ge	As	Se
48	49	50	51	52
Cd	In	Sn	Sb	Te

الشكل (٦) موقع العناصر شبه الموصلة في الجدول الدوري

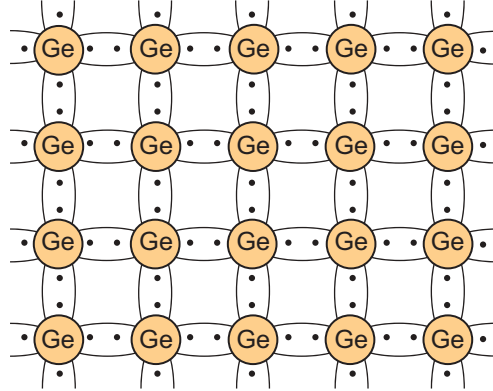
وفي درجات الحرارة المنخفضة، فإن الإثارة الحرارية للإلكترونات التكافؤ تكون غير كافية لانتقالها لحزمة التوصيل، ولذلك تتصرف هذه المواد كمواد عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة، ومن المعروف أن كلا من عنصري السيلكون والجرمانيوم رباعي التكافؤ، أي أنه يوجد في المدار الإلكتروني الرئيسي الأخير ٤ الكترونات، ويقع هذان العنصران ضمن عناصر المجموعة الرابعة من الجدول الدوري (العمود الرابع) كما في الشكل (٦).

وكل ذرة في البلورة ترتبط مع أربع ذرات مجاورة لها بروابط تشاركية بواسطة هذه الالكترونات كما هو موضح في الشكل (٧)، ويسمى هذا التركيب بالتركيب الماسي لأنه يشبه تركيب بلورة الماس (C). وعند درجة حرارة صفر كلفن (- ٢٧٣°س) تكون جميع الكترونات التكافؤ مرتبطة بشكل كامل مع أنويتها ولكن في درجة حرارة

الغرفة العادية فإن الطاقة الحرارية للإلكترونات تصبح أكثر من طاقة الربط مع الأنوية وعندئذ تكسر الرابطة

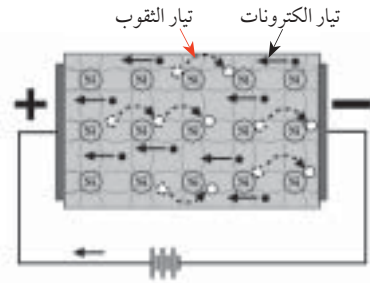


الشكل (٨): الترتيب البلوري للجرمانيوم في درجة حرارة الغرفة العادية



الشكل (٧): الترتيب البلوري للجرمانيوم في درجة صفر كلفن

التساهمية، ويمكن للإلكترون معين أن يترك ذرته الأصلية ويتجول بشكل حر، ويصبح لدى الذرة الأصلية التي غادرها الإلكترون فراغ يطلق عليه اسم ثقب (Hole)، وتصبح هذه الذرة مشحونة بشحنة كلية موجبة وعندها يمكن أن يجذب إليها إلكترون من ذرة أخرى مجاورة، وبالتالي يبدو الثقب وكأنه قد تحرك إلى ذرة أخرى كما في الشكل (٨).



الشكل (٩) تيار الكترونات والثقوب في المادة شبه الموصلة

وتكون حركة الثقوب في المادة شبه الموصلة حركة عشوائية وتكون كلا من الإلكترونات والثقوب حاملات للشحنة، ولكن إذا وصلت هذه المادة بمصدر لفرق الجهد كبطارية مثلا كما في الشكل (٩) تتحرك الكترونات التكافؤ في اتجاه واحد معاكس لاتجاه المجال وتتحرك الثقوب باتجاه المجال كأنها حاملات تحمل شحنة موجبة.

٤ - ١ المواد شبه الموصلة غير النقية (Extrinsic semiconductors)

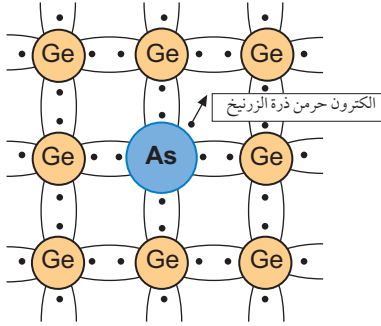
من المعروف أنه لا يوجد مادة نقية تماما في الطبيعة، ولكن هل يغير إضافة الشوائب إلى مادة معينة من خصائصها الفيزيائية؟ لعل ردك سيكون بالإيجاب بناء على ما تعلمته سابقا حول أثر إضافة الملح مثلا على درجة غليان الماء، ولكن هنا سوف ندرس مثلا آخر وهو أثر إضافة شوائب معينة على بعض الخصائص الفيزيائية للمواد شبه الموصلة مثل خاصية توصيل هذه المواد للكهرباء. فعندما تضاف كمية صغيرة من المواد الشائبة إلى المادة شبه الموصلة بحيث تستبدل ذرة واحدة من المادة شبه الموصلة بذرة من المادة الشائبة، ويكون عدد ذرات الشوائب أقل بكثير من ذرات المادة شبه الموصلة (بمعدل ذرة واحدة في كل ١٠٠ مليون ذرة (١٠^٨)) تقريبا، ينتج عن ذلك زيادة موصلية المادة شبه الموصلة، فعلى سبيل المثال فإن إضافة ذرة واحدة من المادة

الشائبة في مئة مليون ذرة سوف تزيد موصلية الجرمانيوم بمعدل ١٢ مرة عند درجة ٣٠٠° كلفن، وتسمى عملية اضافة الشوائب للمادة شبه الموصلة بالتطعيم (doping)، ولكن كيف تؤثر عملية التطعيم بالمواد الشائبة على الخصائص الكهربائية للمادة شبه الموصلة؟

إن هذا التأثير يعتمد على نوع المادة الشائبة المستخدمة، وهناك نوعان من المواد الشائبة المستخدمة في ذلك، ويترتب على ذلك انتاج نوعين من المواد شبه الموصلة غير النقية هما:

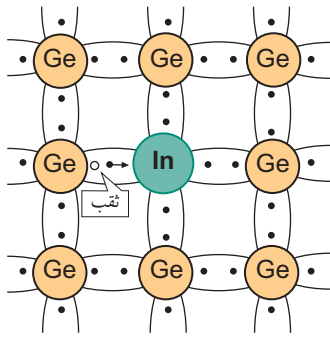
النوع السالب-س (n-Type): ويستخدم في هذا النوع شوائب خماسية التكافؤ (تقع في المجموعة الخامسة من الجدول الدوري) مثل الانتمون (Sb) والزرنيخ (As) والفسفور (P).

النوع الموجب-م (p-Type): ويستخدم في هذا النوع شوائب ثلاثية التكافؤ (تقع في المجموعة الثالثة من الجدول الدوري) مثل الانديوم (In) والالومنيوم (Al) والجاليوم (Ga).



الشكل (١٠): بلورة من الجرمانيوم تم تطعيمها بذرات من الزرنيخ

والشكل (١٠) يبين بلورة من الجرمانيوم تم تطعيمها بكمية قليلة من ذرات الزرنيخ (As) التي تحتوي على ٥ الكترونات تكافؤ، حيث تشترك ذرة الزرنيخ بأربع الكترونات من الكترونات التكافؤ الموجودة فيها مع اربع ذرات مجاورة من الجرمانيوم، ويبقى الكترون إضافي حر الحركة، ويصبح غير مرتبط بذرته الأصلية ويتجول بحرية، كما تستمر عملية انتاج أزواج الالكترونات-الثقوب بفعل الاستثارة الحرارية، ولكن يصبح عدد الالكترونات الحرة في البلورة أكثر من الثقوب، وتسمى البلورة في هذه الحالة مادة شبه موصلة من النوع السالب، حيث تمنح كل ذرة شائبة الكترون حر للبلورة ولذلك تسمى هذه الذرات بالذرات المانحة (Donors).



الشكل (١١): بلورة من الجرمانيوم تم تطعيمها بذرات من الانديوم

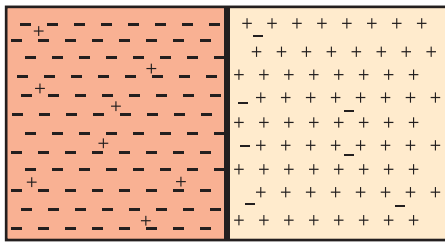
و الشكل (١١) يظهر بلورة جرمانيوم تم تطعيمها بذرة ثلاثية التكافؤ مثل الانديوم (In) حيث تميل كل ذرة من الانديوم لتشكيل روابط تساهمية مع الذرات الأربع المجاورة لها في البلورة، وبما أنها لا تحتوي إلا ثلاث الكترونات تستطيع المشاركة بها ينشأ ثقب واحد في البلورة عن كل ذرة شائبة من هذا النوع، ويستطيع هذا الثقب أن يتجول في البلورة مثل الثقوب الناتجة عن الاستثارة الحرارية، وفي هذه الحالة يكون عدد الثقوب أكثر من الالكترونات وتسمى المادة مادة شبه موصلة غير نقية من النوع الموجب، وتسمى الذرات الشائبة بالمستقبلات (Acceptors).

ومن الجدير بالذكر أن البلورة شبه الموصلة غير النقية من النوع السالب أو الموجب تكون بشكل عام متعادلة كهربائياً، لأن كل ذرة من الشوائب هي نفسها متعادلة كهربائياً ولكن يكون لديها القابلية لنقل التيار الكهربائي

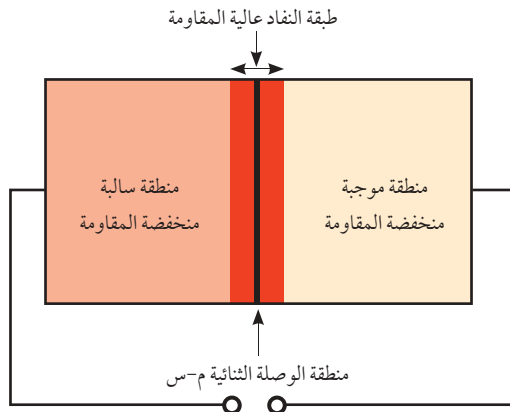
بتأثير أي مجال كهربائي خارجي ، حيث ينشأ تيار اندفاعي (drift current) في المادة شبه الموصلة من أحد طرفيها وخارجا من الطرف الآخر ، وحيث أن الشحنات الموجبة تكون فعليا ثابتة في البلورة ، ولا تتحرك فإن الالكترونات هي التي تشكل التيار الاندفاعي في البلورة ، ويحدث النقل في نوعي المواد شبه الموصلة غير النقية من حركة كل من الثقوب والالكترونات ، وتسمى الجسيمات التي تساهم بصورة أكبر في النقل الحاملات الأكثرية (majority carriers) والأخرى الحاملات الأقلية (minority carriers) ، ففي المادة من النوع الموجب - م تكون الحاملات الأكثرية هي الثقوب والأقلية هي الالكترونات ، أما في المادة من النوع السالب - س فالحاملات الأكثرية هي الالكترونات والأقلية هي الثقوب .

١ - ٥ الوصلة الثنائية م- س (p-n Junction)

إذا تم تطعيم بلورة من مادة شبه موصلة نقية بذرات مانحة على أحد طرفيها وذرات مستقبلة على الطرف الآخر للبلورة ينشأ لدينا بلورة فيها منطقتان إحداهما من النوع السالب - س والأخرى من النوع الموجب - م ، وينشأ منطقة مشتركة بينهما تسمى الوصلة الثنائية ، حيث يؤدي التركيز العالي للثقوب الحرة في أحد الطرفين والالكترونات الحرة في الطرف الآخر من الوصلة الثنائية إلى انتشار الالكترونات من المادة شبه الموصلة السالبة إلى المادة شبه الموصلة الموجبة لتتحد مع الثقوب الموجودة فيه ، وبنفس الطريقة تنتشر الثقوب من الطرف الموجب الى الطرف السالب لتتحد مع الالكترونات الموجودة فيه إن عملية انتقال حاملات الشحنة من الثقوب والالكترونات عبر الوصلة الثنائية تسمى الانتشار (Diffusion) ،



منطقة من النوع الموجب - م منطقة من النوع السالب - س

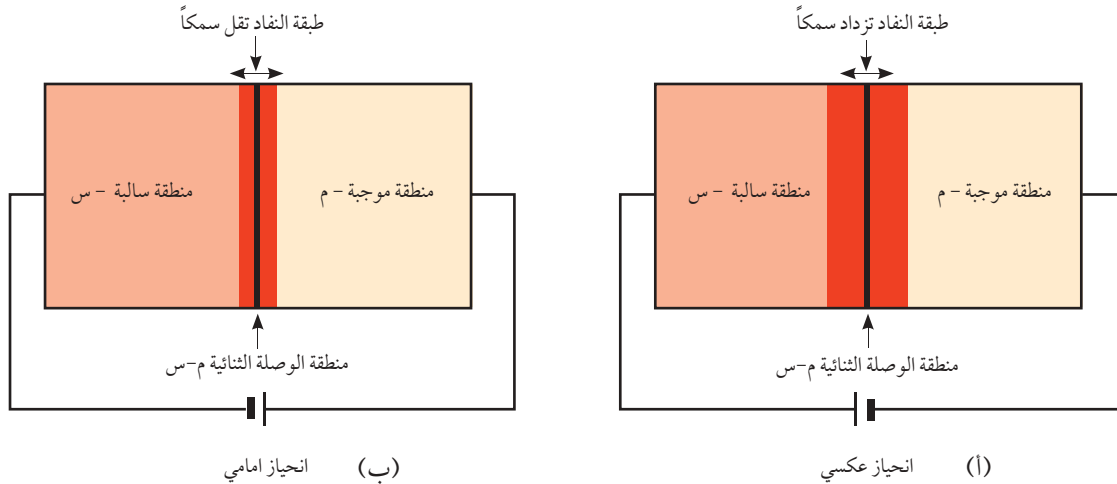


الشكل (١٢): تكون الوصلة الثنائية وطبقة النفاذ فيها

وينشأ عنها تيار عابر لفترة قصيرة يسمى تيار الانتشار (Diffusion current) ، رغم أن كلا الطرفين كان أصلا متعادلا كهربائيا رغم احتوائهما على تركيز من حاملات الشحنة الحرة سواء السالبة (الالكترونات) او الموجبة (الثقوب) ، وبعد عملية الانتشار يصبح الطرف السالب محتويا على فائض من الشحنة الموجبة والطرف الموجب يصبح محتويا على فائض من الشحنة السالبة ، وينشأ عن ذلك مجال كهربائي داخلي يتجه من الطرف من النوع - س الى الطرف من النوع الموجب - م ، وتسمى المنطقة الفاصلة بين الشحنات الموجبة والسالبة بطبقة النفاذ (Depletion Layer) ، وهي منطقة رقيقة جدا يبلغ سمكها حوالي 10^{-4} مايكرومتر كما في الشكل (١٢) ، ويسمى فرق الجهد بين طرفي طبقة النفاذ

بحاجز الجهد (Potential barrier) ويصل إلى بضعة أعشار من الفولت ، ويمنع هذا الجهد مزيداً من الانتشار خلال الوصلة الثنائية حيث تمنع الثقوب الموجبة الفائضة على المنطقة-س انتقال المزيد من الثقوب إليها من المنطقة-م وبنفس الطريقة تمنع الإلكترونات الفائضة الموجودة على الطرف - م انتقال المزيد من الإلكترونات من المنطقة - س .

والآن ماذا يحدث لو تم وصل جهد خارجي خلال الوصلة الثنائية باستخدام بطارية مثلاً؟ سوف ينشأ عن هذا الجهد مجال كهربائي خارجي ، فإذا كان هذا المجال بنفس اتجاه المجال الداخلي ، فإن حاجز الجهد يزداد ، وبالتالي يزداد منع مرور الشحنات خلال الوصلة ، ويتم ذلك عندما يتم توصيل القطب الموجب للبطارية مع الطرف من النوع - س والقطب السالب مع الطرف من النوع - م ، ويسمى توصيل الوصلة الثنائية بهذه الطريقة بالانحياز العكسي كما في الشكل (١٣-أ) حيث تمنع الوصلة الثنائية مرور التيار الكهربائي خلالها . وإذا عكس توصيل البطارية بحيث يوصل القطب الموجب للبطارية مع الطرف الموجب من الوصلة والقطب السالب مع الطرف السالب من الوصلة ، فإن المجال الكهربائي الناشئ يعاكس المجال الداخلي وبالتالي يقل حاجز الجهد وتبدأ الشحنات بالمرور خلال الوصلة ، وتسمى طريقة التوصيل هذه بالانحياز الأمامي كما في الشكل (١٣-ب) .



الشكل (١٣): الانحياز الأمامي والعكسي في الوصلة الثنائية

ونستنتج مما سبق أن مقاومة الوصلة الثنائية للتيار الكهربائي تكون صغيرة في حالة توصيل الانحياز الأمامي وكبيرة جداً في حال توصيل الانحياز العكسي ، أي أن الوصلة الثنائية تمرر التيار في اتجاه واحد فقط .

اسئلة الفصل

١. اكتب المصطلح العلمي الذي تعبر عنه كل من العبارات التالية :
() : مقاومة موصل طوله وحدة طول واحدة ومساحة مقطعه وحدة مساحة واحدة.
() : نظرية أعطت تفسيراً مقبولاً للفروق الفيزيائية بين الأنواع المختلفة من المواد الصلبة.
() : حزمة الطاقة الأعلى في المادة الصلبة والتي يمكن أن تتحرك فيها الإلكترونات بحرية .
() : مصطلح يطلق على الفراغ الذي يتركه الإلكترون عندما يغادر ذرته الأصلية .
() : حاملات الشحنة الأكثرية في المادة شبه الموصلة من النوع الموجب .
٢. وضح المقصود بكل من المصطلحات التالية : التطعيم - الذرات المانحة - الكترولونات التكافؤ - الحاملات الأكثرية .
٣. قارن بين المادة الموصلة والعازلة وشبه الموصلة من حيث :
أ. المقاومة النوعية لكل منها .
ب. حزمتي التكافؤ والتوصيل وفجوة الطاقة في كل منها موضحاً بالرسم؟
٤. وضح كيف تتغير ناقلية المادة شبه الموصلة :
أ. مع درجة الحرارة .
ب. مع إضافة الشوائب .
٥. فسر لماذا لا يحدث إضافة ذرة شائبة ذات تكافؤ يختلف عن تكافؤ ذرات البلورة شبه الموصلة تغييراً في الشحنة الكلية للبلورة رغم أنها تصبح من النوع السالب أو الموجب .
٦. علل : تزداد مقاومة المادة الموصلة عند تسخينها بينما تقل المقاومة للمادة شبه الموصلة عند تسخينها .
٧. أجب بوضع إشارة (✓) أمام العبارة الصحيحة وإشارة (X) أمام العبارة الخاطئة :
() : المادة شبه الموصلة هي ذات معامل حراري سالب .
() : جميع الفلزات تتساوى في درجة توصيلها للكهرباء .
() : الإلكترون الموجود في مستوى معين لذرة منفردة أسهل له أن ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى من الكترولون مشابه في ذرة مشابهة موجودة ضمن تجمع من الذرات المتقاربة .
() : المادة شبه الموصلة النقية في درجات حرارة منخفضة جداً يمكن اعتبارها كمادة عازلة .
() : في المادة شبه الموصلة تكون حزمتا التكافؤ والنقل متداخلتين .
() : مقدار فجوة الطاقة للجرمانيوم لا تتغير بتغير درجة الحرارة .
٨. قارن بين المواد شبه الموصلة من النوع السالب والمواد شبه الموصلة من النوع الموجب من حيث :
نوع الشوائب المستخدمة في كل منهما - حاملات الشحنة الأكثرية في كل منهما .

٩. أ. وضح كيف يتم انتاج الوصلة الثنائية واشرح التغيرات التي تحدث بين طرفيها.
ب. وضح كل من المصطلحات التالية المتعلقة بالوصلة الثنائية : تيار الانتشار، طبقة النفاذ، حاجز الجهد.
١٠. ما الفرق بين الانحياز الأمامي والعكسي للوصلة الثنائية من حيث :
أ. طريقة التوصيل مع البطارية ؟
ب. أثر كل منهما على : حاجز الجهد - مقاومة الوصلة الثنائية - طبقة النفاذ ؟

الثنائيات شبه الموصلة (Semiconductor Diodes)

استناداً إلى مبدأ عمل الوصلة الثنائية فقد تم صناعة عناصر تشكل أساساً لعمل الدارات الالكترونية مثل الثنائيات والترانزستورات والدارات المتكاملة ، وفي هذا الفصل سنتعرض بالتفصيل لأحد هذه العناصر الهامة وهو الثنائي شبه الموصل .

فما هو الثنائي شبه الموصل ؟ ومم يتكون ؟ وما هي استخداماته ؟ هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستتمكن من الإجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل وستكون قادراً على أن :

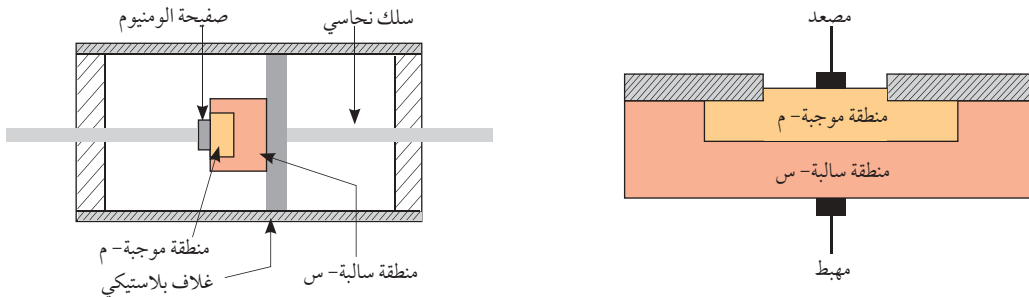
- ١ . تشرح تركيب الثنائي شبه الموصل .
- ٢ . تستنتج عملياً الفرق بين الانحياز الأمامي والانحياز العكسي للثنائي شبه الموصل .
- ٣ . ترسم منحني الخواص المميزة للثنائي شبه الموصل .
- ٤ . تعدد أربعاً من الاستعمالات الشائعة للثنائي .
- ٥ . تعدد أنواع الثنائيات شبه الموصلة ومجال استخدام كل منها .
- ٦ . تقوم ببناء دائرة تقويم نصف الموجة وتفسر مبدأ عملها .
- ٧ . تقوم ببناء دائرة تقويم الموجة الكاملة وتفسر طريقة عملها .



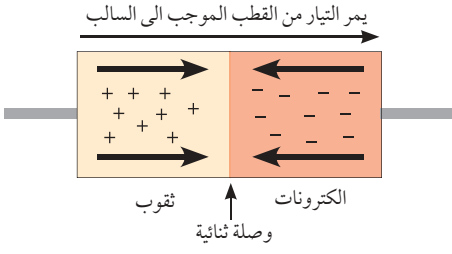
بعض أنواع الثنائيات شبه الموصلة

٢-١ تركيب الثنائي شبه الموصل

يتكون الثنائي شبه الموصل من وصلة ثنائية تشكل في بلورة من الجرمانيوم أو السليكون النقي حيث يتم تطعيم جزء من البلورة بشوائب ثلاثية التكافؤ بحيث تصبح مادة شبه موصلة غير نقية من النوع الموجب (P-type) ، ويتم تطعيم الجزء الآخر من هذه البلورة بشوائب خماسية التكافؤ ، لتصبح مادة شبه موصلة من النوع السالب (N-type) ،



الشكل (١): التركيب الداخلي للثنائي شبه الموصل



الشكل (٢): اتجاه التيار في الثنائي شبه الموصل

ويتصل كل طرف من طرفي البلورة بواسطة سلك موصل الى خارج جسم الثنائي، ويتم تغليف هذه البلورة في داخل غلاف بلاستيكي محكم الأغلاق لمنع دخول الرطوبة كما في الشكل (١).

ويرمز للثنائي شبه الموصل بالرمز (→|) حيث يمثل المثلث الطرف الموجب (ويسمى المصعد أو الأنود) والخط المستقيم على رأس المثلث الطرف السالب للوصلة الثنائية (ويسمى المهبط أو الكاثود)، ومن الجدير بالذكر أن اتجاه تدفق التيار الاصطلاحي في الثنائي يكون دائماً باتجاه السهم كما في الشكل (٢).

٢ - ٢ الانحياز الأمامي والانحياز العكسي

من خلال ما تعلمناه سابقاً حول مبدأ عمل الوصلة الثنائية، نستنتج أن الثنائي شبه الموصل هو عنصر إلكتروني يوصل التيار الكهربائي في اتجاه واحد فقط، حيث يبدي مقاومة صغيرة لمرور التيار إذا وصل بطريقة الانحياز الأمامي، أي إذا تم توصيل القطب الموجب للبطارية مع المصعد (الأنود) للثنائي والقطب السالب للبطارية مع المهبط (الكاثود)، ويبدي مقاومة عالية (أي لا يمرر تيار) إذا وصل القطب الموجب للبطارية مع المهبط للثنائي والقطب السالب الى المصعد.

وللتعرف على طريقة توصيل الثنائي في حالتي الانحياز الأمامي والانحياز العكسي قم باجراء النشاط الآتي:

نشاط (١): الانحياز الأمامي والانحياز العكسي

المواد والأدوات:

بطارية ٩ فولت، ومصباح ٩ فولت، وقاعدة مصباح، وثنائي سيلكون رقم 1N4007، وأسلاك توصيل.

خطوات العمل:

ملاحظة: تستطيع تمييز القطب السالب للثنائي من الخط الدائري المرسوم على أحد طرفيه ويكون الطرف الآخر هو الطرف الموجب.

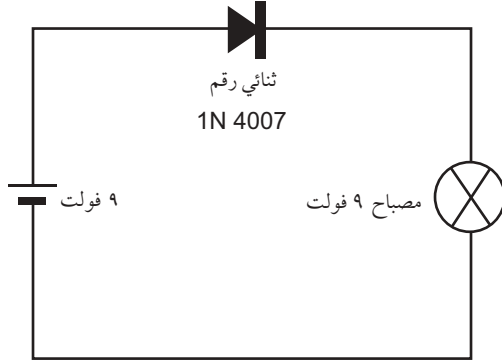
١. قم بتركيب الدارة الكهربائية الموضحة في الشكل (٣)

ويتم فيها توصيل كل من الثنائي والمصباح على التوالي مع البطارية بحيث يكون الطرف الموجب للثنائي متصلاً بالقطب الموجب للبطارية ولاحظ إضاءة المصباح.

٢. اعكس طريقة توصيل الثنائي، بحيث توصل الطرف السالب للثنائي مع القطب الموجب للبطارية.

ماذا تلاحظ؟

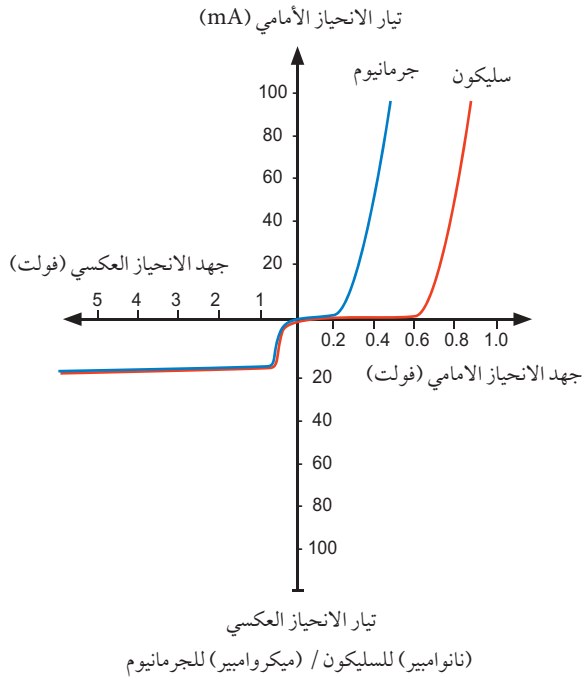
- ماذا نسمي طريقة توصيل الثنائي في الحالة الأولى ؟ وماذا نسميها في الحالة الثانية ؟
- فسر النتائج العملية التي حصلت عليها ؟
- في أي الحالتين تكون مقاومة الثنائي عالية، وما الدليل على ذلك ؟
- لو قمت بعكس البطارية بدل الثنائي هل ستحصل على نفس النتيجة ؟



الشكل (٣): اختبار عملي لانحياز الثنائي شبه الموصل

٢ - ٣ الخواص المميزة للثنائي شبه الموصل

يمثل الشكل (٤) تغير التيار المار خلال ثنائي من الجرمانيوم والآخر من السليكون مع تغير الجهد المطبق

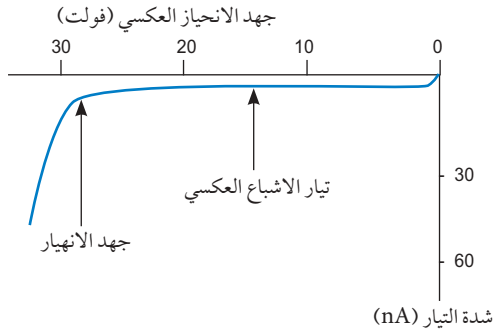


الشكل (٤): منحني الخصائص المميزة لثنائين أحدهما من السليكون والآخر من الجرمانيوم

بين طرفيهما، ونلاحظ من الشكل أن التيار في حالة الانحياز الأمامي لا يزداد إلى درجة ملحوظة حتى يصبح جهد الانحياز الأمامي أكثر من ٠,٧ فولت لثنائي السليكون وأكثر من ٠,٣ فولت لثنائي الجرمانيوم، ويسمى هذا الجهد بالجهد الحرج (threshold voltage).

وفي حالة الانحياز العكسي تنجذب حاملات الشحنة الأكثرية في كلا البلورتين الموجبة والسالبة بعيداً عن منطقة الوصلة الثنائية وبالتالي يزداد حاجز الجهد ويزداد سمك طبقة النفاذ، ولكن ينشأ تيار عن حاملات الشحنة الأقلية، وهذا التيار يزداد مع زيادة جهد الانحياز إلى النقطة التي تصبح فيها معظم حاملات الشحنة الأكثرية غير قادرة على اجتياز الوصلة الثنائية، ويصبح عندها التيار خلال الوصلة

ثابتا ونتاجا فقط عن حاملات الشحنة الأقلية ، ويسمى التيار في هذه الحالة تيار الإشباع العكسي (the reverse saturation current)، ويظهر من الشكل أن تيار الإشباع العكسي للجرمانيوم أقل بكثير منه للسليكون . ونلاحظ اختلاف وحدة القياس على الشكل حيث يقاس هذا التيار للجرمانيوم بوحدرة nA وللسليكون بوحدرة μA .



الشكل (٥) : منحنى الخصائص المميزة لثنائي في حالة الانحياز العكسي

والشكل (٥) يبين الخصائص المميزة (للتيار - الجهد) في حال توصيل الانحياز العكسي للوصلة الثنائية .

نشاط (٢): تعرف على الثنائيات شبه الموصلة

من اللوحات الالكترونية لأجهزة مستهلكة أو تالفة، حاول أن تميز الثنائيات عن غيرها من العناصر الالكترونية في هذه اللوحات، واجمع أنواعا مختلفة منها، وقم بعرضها أمام زملائك في غرفة الصف، وباستخدام جهاز الملمتير الرقمي حاول أن تتعرف على المصعد (الطرف الموجب) والمهبط (الطرف السالب) لكل منها بمساعدة معلمك، وقارن ما توصلت اليه مع الاشارة التي تشير للطرف السالب الموجودة على جسم الثنائي إن وجدت .

وللتعرف على الخصائص المميزة لثنائي السليكون قم بإجراء النشاط الآتي :

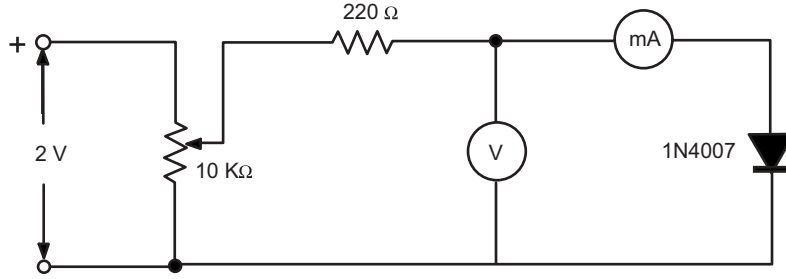
نشاط (٣): منحنى الخواص المميزة للثنائي شبه الموصل في حالة الانحياز الأمامي

المواد والأدوات :

حاوية تتسع لبطاريتين ١,٥ فولت، وبطاريتان كل منهما ٥,١ فولت، ولوحة توصيل، وثنائي سليكون رقم 1N4007، وملتمتر رقمي عدد ٢، ومقاومة 220Ω ، ومقاومة متغيرة $10 K\Omega$.

خطوات العمل :

١. اضبط أحد جهازي الملمتير الرقمي كفولتمتر للجهد المستمر (DC V) وعلى مدى قياس أكثر من ٢ فولت والملمتير الرقمي الآخر كمقياس للتيار المستمر (DC A) وعلى مدى 200mA .
٢. قم بتركيب الدارة كما في الشكل (٦) .



الشكل (٦) الدارة العملية لدراسة الخواص المميزة لثنائي شبه موصل

٣. قم باختيار قيم لجهد الانحياز الأمامي للثنائي كما في الجدول التالي عن طريق تغيير قيمة المقاومة المتغيرة، وسجل قراءات جهاز قياس التيار عند كل قيمة لجهد الانحياز الأمامي في نفس الجدول.

٠,٨	٠,٧	٠,٦	٠,٥	٠,٤	٠,٣	٠,٢	٠,١	الجهد (فولت)
								التيار (مللي امبير)

٤. من خلال النتائج التي حصلت عليها، ارسم منحنى الخواص لثنائي السليكون الذي استخدمته في التجربة.

٥. من خلال المنحنى الذي قمت برسمه جد:

أ. الجهد الحرج للثنائي الذي استخدمته؟

ب. قيمة تيار الانحياز الأمامي عند قيمة الجهد الحرج للثنائي المستخدم.

٢ - ٤ أنواع الثنائيات شبه الموصلة واستخداماتها

هناك أربع خصائص هامة تحدد استخدامات الثنائي، وهذه الخصائص هي:

١. المقاومة الأمامية والعكسية للثنائي.

٢. القيمة العظمى لتيار الانحياز الأمامي.

٣. سعة الوصلة.

٤. جهد الانهيار.

ويستخدم الثنائي شبه الموصل لعدة أغراض منها:

■ تقويم التيار المتردد (Voltage rectifier)











■ حماية الدارات الالكترونية (Protection diode)

■ تنظيم وثثبيت الجهد (Voltage regulator)

■ محدد للجهد (Voltage clipper)

■ مضاعف للجهد (Voltage doubler)

ويمكن تصنيف الثنائيات الى أنواع متعددة حسب التركيب الفيزيائي لها واستخداماتها والوظائف التي تقوم بها، كما في الشكل (٧) .

				
				
ثنائي ضوئي	ثنائي باعث للضوء	ثنائي سعوي	ثنائي زينر	ثنائي عام (إشارة-قدرة)
الشكل (٧) : أنواع مختلفة من الثنائيات				

ومن هذه الأنواع :

١ . ثنائيات الإشارة (Signal diodes): وتستخدم في الدارات الإلكترونية التي لا يوجد فيها معدلات عالية للجهد أو التيار، ومن الأمثلة عليها تلك المستخدمة في دارات أجهزة الراديو وتلك المستخدمة كمفاتيح الكترونية في الدارات المنطقية، وغالبا ما يتراوح تيار الانحياز الأمامي المار في مثل هذا النوع من ٤٠-٢٥٠ mA .

٢ . ثنائيات القدرة (Power diodes): ويستخدم هذا النوع عادة في دوائر تقويم التيار لتحويل التيار المتردد الى تيار مستمر، وغالبا ما تتحمل مرور تيارات عالية فيها قد تصل الى ٣٠ A كالمستخدمة في بعض الأغراض الصناعية .

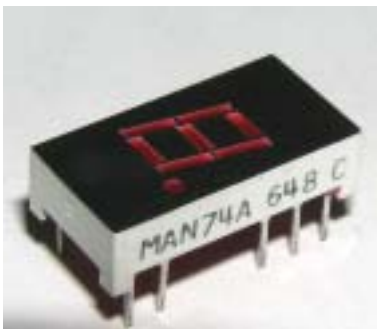
٣ . ثنائيات زينر (Zener diodes): وهذه الثنائيات مصممة للعمل في منطقة جهد الانهيار دون أن تتلف، وتستخدم غالبا في دارات تثبيت الجهد، وتنتج هذه الثنائيات بأنواع مختلفة حسب جهد الانهيار فيها .

٤ . الثنائيات السعوية (Varactor diodes): وتعمل هذه الثنائيات

كمواسعات متغيرة السعة اعتمادا على تغيير الجهد العكسي الواقع عليها. ويستخدم هذا النوع من الثنائيات في دارات الرنين ذات التردد العالي لتغيير التردد بطريقة كهربائية .

٥ . الثنائيات الباعثة للضوء (Light emitting diodes – LED):

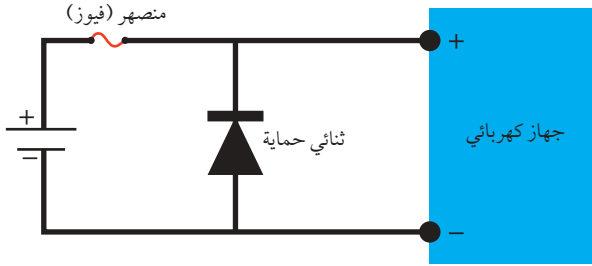
وتستخدم الثنائيات الباعثة للضوء كمؤشرات تشغيل في الأجهزة الكهربائية وكذلك في شاشات عرض الأرقام ذات القطع السبع كما في الشكل (٨) .



الشكل (٨): شاشة عرض ارقام مكونة من ثنائيات

٦. الثنائيات الضوئية (photo diode) : وتستخدم هذه الثنائيات في دارات التحكم التي تعمل بواسطة الضوء كما تستخدم في تحويل الطاقة الضوئية إلى كهربائية كما في الخلايا الشمسية .

سؤال



الشكل (٩): استخدام الثنائي كعنصر حماية من عكس القطبية لمصدر الجهد

في بعض الأجهزة الحساسة التي تعمل على الجهد المستمر وبخاصة تلك التي يتم تشغيلها بواسطة محول خارجي ، إذا عكست أقطاب جهد التغذية الرئيسي يتلف الجهاز لذلك يتم توصيل ثنائي على التوازي مع مصدر التغذية بطريقة الانحياز العكسي كما في الشكل (٩) ، فسر كيف يعمل هذا الثنائي على حماية هذا الجهاز من التلف نتيجة احتمال عكس أقطاب التغذية؟

مثال (١):

في الشكل (٩) إذا علمت أن فرق الجهد بين طرفي البطارية في حالة التشغيل هو ١٢ فولت ، ومقاومة الحمل للجهاز الكهربائي ١٠٠ أوم ، ومقاومة الثنائي في حالة الانحياز الأمامي ٥ أوم ، وفي حالة الانحياز العكسي ١٠٠ كيلو أوم .

- احسب شدة التيار المار خلال المنصهر (الفيوز) في وضع التشغيل العادي (الثنائي في حالة الانحياز العكسي).
- احسب شدة التيار المار خلال المنصهر (الفيوز) إذا عكس توصيل البطارية (أي عندما يصبح الثنائي في حالة انحياز أمامي).
- ماذا تتوقع أن يحدث للمنصهر في الحالة الثانية إذا علمت أن أقصى تيار يتحمله هو ٢, ٠ أمبير .

الحل :

أ. نجد المقاومة المكافئة لكل من الجهاز م_ر والثنائي م_ع (في حال الانحياز العكسي).

$$\frac{1}{M_c} + \frac{1}{M_r} = \frac{1}{M}$$

(التوصيل على التوازي)

$$\frac{1}{100} \approx \frac{1+1000}{100000} = \frac{1}{100000} + \frac{1}{100} = \frac{1}{M}$$

$$\Leftarrow M \approx 100 \Omega$$

وباستخدام قانون أوم

$$ج = ت \times م$$

$$١٢ = ت \times ١٠٠$$

$$ت = \frac{١٢}{١٠٠} = ٠,١٢ \text{ أمبير}$$

ب. نجد المقاومة المكافئة

$$\frac{٢١}{١٠٠} = \frac{٢٠+١}{١٠٠} = \frac{١}{٥} + \frac{١}{١٠٠} = \frac{١}{م}$$

$$م = \frac{١٠٠}{٢١} \approx ٤,٨ \Omega$$

وباستخدام قانون أوم

$$ج = ت \times م$$

$$١٢ = ت \times ٤,٨$$

$$ت = \frac{١٢}{٤,٨} \approx ٢,٥ \text{ أمبير}$$

ج- سوف ينصهر الفيوز ويفصل التيار الكهربائي عن كل من الجهاز والثنائي قبل تلف الجهاز.

فكر:

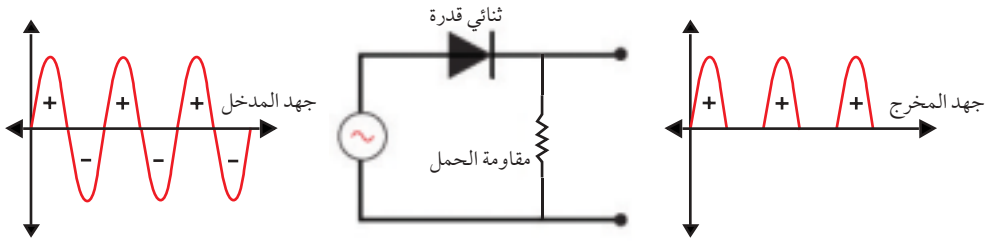
١. في المثال السابق لو لم يوجد منصهر كهربائي، أيهما أكثر احتمالاً للتعرض للتلف الجهاز أم الثنائي ولماذا؟
٢. لو لم يوجد ثنائي وعكسنا توصيل البطارية، هل يتلف الجهاز نتيجة مرور تيار أعلى مما يتحملة الجهاز أم نتيجة وصول جهود تشغيل خاطئة للعناصر الألكترونية في الجهاز؟

٢- ٥ استخدام الثنائي شبه الموصل في دارات تقويم التيار المتردد

تحتاج معظم الدارات الالكترونية الموجودة في الأجهزة الكهربائية الى جهود مستمرة لتشغيلها، وبعض هذه الأجهزة لا تستهلك طاقة كبيرة ويتم تشغيلها بواسطة البطاريات، ولكن هناك أجهزة أخرى تستهلك طاقة كبيرة ويتم تغذيتها من الشبكة العامة للكهرباء التي تمد المنازل بالتيار المتردد بعد أن يتم تحويل هذا التيار الى تيار مستمر باستخدام دارات تقويم التيار، وهناك نوعان من هذه الدارات:

دارة تقويم نصف الموجة (Half Wave Rectifier)

وهذه هي الطريقة الأسهل لتقويم التيار، وتتكون بشكل أساسي من ثنائي واحد متصل على التوالي مع مصدر الجهد المتردد كما في الشكل (١٠)، ويظهر من الشكل شكل الإشارة الداخلة والخارجة، حيث يوصل الثنائي الجزء الموجب من التيار المتردد (حيث يكون الانحياز أماميا) ولا يسمح بمرور الجزء السالب من التيار المتردد (حيث يكون الانحياز عكسيا) مما ينتج عنه وجود تيار فقط خلال الجزء الموجب. ومن الشكل يظهر أن هذا التيار رغم أنه موحد الاتجاه إلا أنه يبقى متغير القيمة ويمكن إضافة عناصر إضافية للدارة للحصول على جهد موحد الاتجاه وثابت القيمة تقريبا.



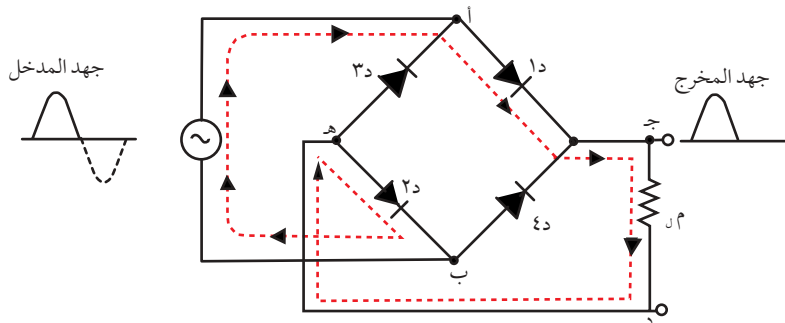
الشكل (١٠): دارة تقويم نصف الموجة

سؤال

ابحث في سليات تقويم التيار بهذه الطريقة. وما التطبيقات العملية التي يمكن استخدام هذه الطريقة فيها دون أن تتأثر بهذه السليات؟

دارة تقويم الموجة الكاملة (Full Wave Rectifier)

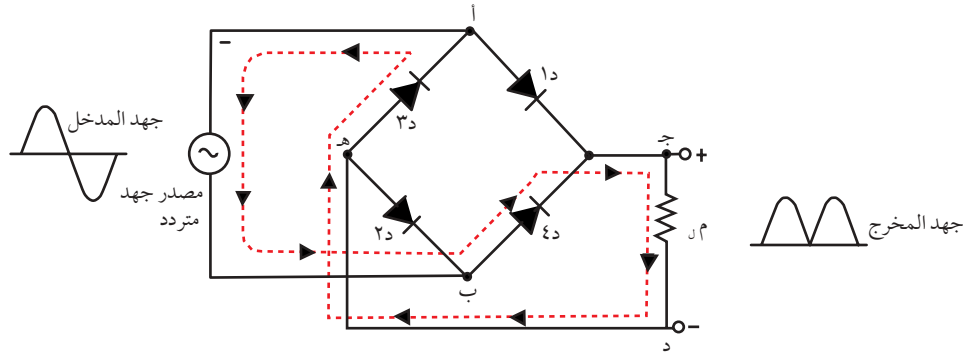
يستخدم في هذه الدارة أربع ثنائيات توصل على شكل قنطرة كما في الشكل (١١)، حيث يوصل مصدر فرق الجهد المتردد الى النقطتين أ، ب، وخلال النصف الموجب من الموجة والذي تكون فيه النقطة أ موجبة بالنسبة للنقطة ب فإن كلا من الثنائيين د_١، د_٢ يكونا موصلين للتيار لأنهما في حالة انحياز أمامي، أما الثنائيين د_٣، د_٤ فيكونا غير موصلين لانهما في حالة انحياز عكسي، فيمر التيار خلال الثنائي د_١ إلى النقطة ج ومنها إلى النقطة د خلال مقاومة الحمل م ثم إلى النقطة ه ومنها للثنائي د_٢ ليكمل الدارة الى منبع الجهد المتردد.



الشكل (١١): دارة تقويم الموجة الكاملة خلال النصف الموجب

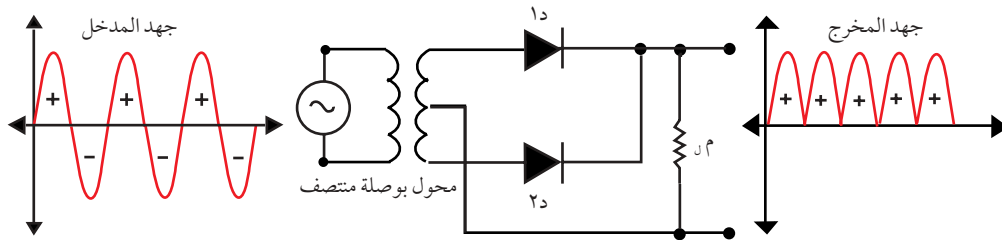
وخلال النصف السالب حيث تكون النقطة أ سالبة بالنسبة إلى ب ، فإن كلا من الثنائيين د_١ ، د_٢ يكونا موصلين للتيار لأنهما في حالة انحياز أمامي ، أما الثنائيين د_٣ ، د_٤ فيكونا غير موصلين لأنهما في حالة انحياز عكسي ويكون جهد أ السالب مساويا تقريبا لجهد النقطة هـ والنقطة د على مقاومة الحمل ، فيمر تيار من النقطة ج إلى النقطة د خلال المقاومة م ثم إلى هـ ومنها إلى أ خلال الثنائي د_٣ ثم إلى منبع الجهد المتردد ليكمل الدارة عبر الثنائي د_٤ .

ونلاحظ بذلك أن اتجاه مرور التيار خلال المقاومة م يكون دائما باتجاه واحد ج ← د ويكون الجهد الناتج عن دارة التقويم كما في الشكل (١٢) .



الشكل (١٢): دارة تقويم الموجة الكاملة خلال النصف السالب

وهناك طريقة أخرى لتقويم الموجة الكاملة يستخدم فيها ثنائيان يتصلان مع محول مزود بوحدة على منتصف ملفه الثانوي (Centre tap) حيث يوصل الثنائيين كما في الشكل (١٣) .



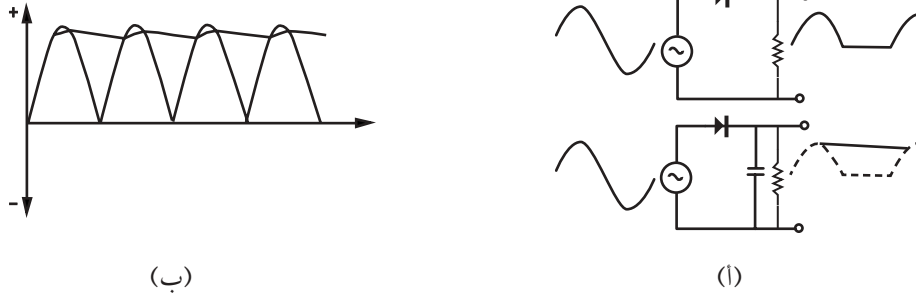
الشكل (١٣): دارة تقويم الموجة الكاملة خلال النصف السالب

سؤال

حاول أن تفسر عمل الدارة الموضحة في الشكل (١٣) في عملية تقويم الموجة الكاملة .

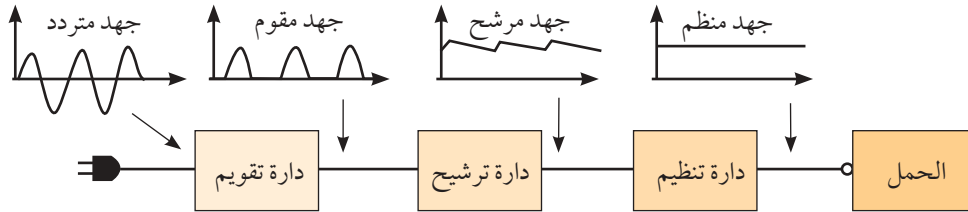
من الجدير بالذكر أن الجهد الذي نحصل عليه من دارات التقويم هو موحد الاتجاه ولكنه متغير القيمة . فعدم الثبات في قيمة الجهد الخارج يؤدي الى ظهور تشويه في الاشارات التي يتم نقلها وتكبيرها في الدارات الالكترونية التي يتم تغذيتها بواسطة هذه الجهود المقومة . ومن الأمثلة على ذلك ظهور طنين منتظم في صوت

المذياع مرافقا للصوت الأصلي ، لذلك يلجأ مصممو دارات التغذية التي تستخدم فيها عملية التقويم الى تقليل التغير في قيمة الجهد باستخدام ما يسمى دارات الترشيح (Filters) والتي تعمل على تقليل التموج في قيمة الجهد الخارج من دائرة التقويم ، وأبسط طرق الترشيح المستخدمة تتم بتوصيل مواسع (مكثف) على طرفي مقاومة الحمل مما يؤدي الى تقليل مقدار التموج في الجهد الخارج كما في الشكل (١٤-أ) ، وهناك طرقا أخرى أكثر تقدما للحصول على أقل مقدار من التموج في الجهد الخارج من دارات التقويم كما في الشكل (١٤-ب).



الشكل (١٤) : دارات ترشيح لتقليل التموج في الجهد الناتج عن دارات التقويم

والمخطط الصندوقي في الشكل (١٥) يوضح مراحل عملية الحصول على جهد مستمر من جهد متردد ، وهو ما يتم في مصادر القدرة الكهربائية .



الشكل (١٥): المخطط الصندوقي لوحدة تغذية بتيار مستمر

نشاط (٤): بناء دائرة تقويم نصف موجة ودائرة تقويم موجة كاملة

المواد والأدوات :

جهاز راسم الإشارة ، ومصدر جهد منخفض ، وجهاز مولد الإشارة ، وثنائيات قدرة رقم 4007 عدد ٥ (أو أي رقم آخر من ثنائيات القدرة) .

خطوات العمل :

١. شغل جهاز راسم الإشارة وقم بتوصيل مدخل القناة الأولى الى جهاز مولد الإشارة بواسطة مجس التوصيل .
٢. شغل مولد الإشارة واضبطه ليعطي إشارة جيبية ترددها من ١٠٠ - ١٠٠٠ هيرتز .
٣. اضبط جهاز راسم الإشارة حتى تظهر الإشارة الداخلة بشكل ثابت على شاشة الجهاز على وضعية DC للقناة الأولى واضبط القناة الثانية على وضع GND بحيث يظهر خط مستقيم على المحور الأفقي (لغرض المقارنة) واضبط مفتاح إظهار القنوات على وضعية DUAL .

٤. قم بتوصيل الطرف الموجب لثنائي السيلكون إلى المخرج في مولد الإشارة وطرفه الآخر إلى مدخل الإشارة في جهاز راسم الإشارة ولاحظ شكل الموجة التي تظهر على شاشة راسم الإشارة



الشكل (١٦): قنطرة تقويم الموجة الكاملة

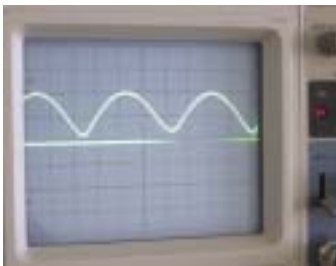
وارسمها في دفترك ، ماذا نسمي طريقة التقويم هذه؟

٥. قم بتركيب أربع ثنائيات على شكل قنطرة كما في الشكل (١٦)، عن طريق لي كل طرفين مع بعضهما البعض (أو لحمهما بالقصدير)، ثم وصل طرفي مدخل القنطرة إلى مخرج جهاز مولد الإشارة وطرفي المخرج للقنطرة إلى مدخل راسم الإشارة .

٦. اضبط جهاز راسم الإشارة للحصول على شكل موجي ثابت على الشاشة . ما شكل الموجة الظاهرة ، ماذا نسمي طريقة التقويم هذه؟ ارسم الدارة التي قمت بتركيبها والشكل الموجي الناتج في دفترك .
٧. انزع القنطرة ثم صل مخرج مولد الإشارة الى مدخل راسم الإشارة مباشرة بدون قنطرة التقويم ولاحظ شكل الإشارة الناتجة . ماذا تلاحظ ؟

٨. يمكن القيام بهذه التجربة باستخدام مصدر قدرة منخفض كمصدر للجهد المتردد بدل جهاز مولد الإشارة وذلك بوصل طرفي المدخل للقنطرة إلى مصدر الجهد المتردد (٣ فولت AC) وطرفي المخرج الى مقاومة متغيرة ($5\text{K}\Omega$) وهي مقاومة الحمل بعد ضبطها على أعلى قيمة .

٩. شغل جهاز الاوسيلسكوب واضبط مفتاحي الجهد والزمن على قيم مناسبة ، وصل مجسي القياس للقناة الأولى بين طرفي مدخل القنطرة (لرؤية إشارة الجهد المتردد قبل التقويم) ، وصل مجسي القناة الثانية بين طرفي مقاومة الحمل .

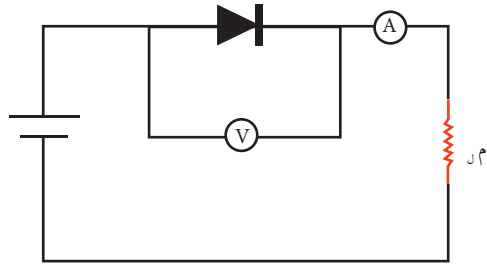


الشكل (١٧): اشارات كهربائية قبل وبعد التقويم كما تظهر على شاشة جهاز راسم الاشارة

اسئلة الفصل

١. وضح بالرسم الأجزاء التي يتكون منها الثنائي شبه الموصل .
٢. قارن بين مقاومة الثنائي شبه الموصل عند توصيله بطريقة الانحياز الأمامي وعند توصيله بطريقة الانحياز العكسي ، وارسم دائرة لتوضيح ذلك عمليا .
٣. من خلال منحنيات الخواص لكل من ثنائيي الجرمانيوم والسليكون :
 - أ. قارن بين ثنائيي الجرمانيوم والسليكون من حيث : الجهد الحرج لكل منهما - تيار الإشباع العكسي لكل منهما .
 - ب. ما المقصود بجهد الانهيار ومتى يحدث ؟
 - ج. ما المقصود بكل من : تأثير زينر و تأثير التكافؤ وما علاقتهما بحدوث الانهيار في الثنائي شبه الموصل ؟
٤. عدد أربع من الخصائص التي تحدد استخدامات الثنائي شبه الموصل ؟
٥. ما المقصود بعملية تقويم التيار وما هي أنواع الدارات التقويم المستخدمة لذلك ، وما هو المبدأ الأساسي لعمل هذه الدارات ؟
٦. ارسم دائرة تقويم نصف الموجة وفسر طريقة عملها موضحا شكل الإشارة الداخلة والخارجة من هذه الدارة .

٧. ارسم دائرة تقويم الموجة الكاملة وشرح طريقة عملها .
٨. ما المقصود بدارات الترشيح وما هي فائدتها ، وما هي أبسط أشكال هذه الدارات ؟



٩. في الدارة الموضحة في الشكل المجاور؟
 - أ. اذا كانت قراءة الأميتر ٢٥,٠ أمبير وقراءة الفولتميتر ٨,٠ فولت احسب مقاومة الثنائي في هذه الحالة . وماذا نسمي طريقة التوصيل هذه ؟

- ب. اذا عكس توصيل الثنائي وانخفضت قراءة الاميتر بحيث اصبحت ٢٠ ميكروأمبير وزادت قراءة الفولتميتر الى ١,٩٥ فولت ، احسب مقاومة الثنائي في هذه الحالة ، ماذا نسمي طريقة توصيل الثنائي في هذه الحالة ؟

١٠. اذا كان أقصى تيار يتحمله ثنائي في حالة الإنحياز الأمامي هو ١ أمبير ، فما هو أقصى فرق جهد انحياز أمامي يمكن تطبيقه بين طرفي هذا الثنائي دون أن يتلف اذا علمت أن مقاومة هذا الثنائي في حالة الانحياز الامامي ٥ أوم ؟

الترانزستور (The Transistor)

٣



لقد أحدث اكتشاف الترانزستور ثورة في عالم الالكترونيات وتطبيقاتها العملية، ففي عام ١٩٤٨ اكتشف الترانزستور من قبل ثلاثة من العلماء الذين كانوا يعملون في مختبرات بيل الهاتفية وهم شوكلي (Shockley) وبرائن (Brattain) وباردين (Bardeen)، وقد حصل هؤلاء العلماء الثلاثة على جائزة نوبل في الفيزياء لباحثهم في مجال اشباه الموصلات ولاكتشافهم الترانزستور.

ورغم مرور فترة ليست قصيرة على اكتشاف الترانزستور، فإنه ما زال العنصر الأساس في عمل الدارات الالكترونية في احدث التطبيقات التكنولوجية كالحواسيب وأنظمة التحكم وغيرها.

فما هو الترانزستور؟ ومم يتركب؟ وما هي استخداماته؟

هذه الأسئلة وأخرى غيرها ستمكن من الاجابة عليها بعد دراستك لهذا الفصل، وستكون قادرا على أن:

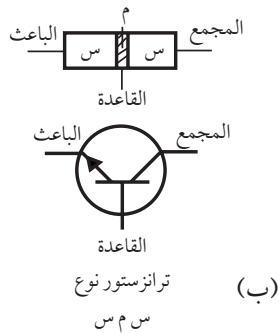
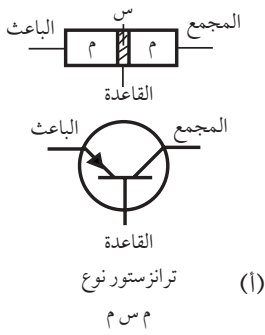


أنواع مختلفة من الترانزستورات

١. تتعرف تركيب الترانزستور من حيث الطبقات التي يتكون منها والفروق بين هذه الطبقات .
٢. توضح مبدأ عمل الترانزستور .
٣. تقارن بين الطرق الثلاث لتوصيل الترانزستور في الدارات الالكترونية
٤. توضح المقصود بكل من: كسب التيار، كسب الجهد، كسب القدرة للترانزستور وتعبر عن كل منها رياضيا .
٥. تعدد بعض استخدامات الترانزستور في الدارات العملية .
٦. تقوم ببناء دارة عملية يستخدم فيها الترانزستور كمفتاح يعمل في الظلام وتفسر طريقة عملها .
٧. تشرح طريقة عمل الترانزستور كمضخم في الدارات الالكترونية .

٣ - ١ تركيب الترانزستور

يتركب الترانزستور من مواد شبه موصلة ويتكون بشكل أساسي من بلورة من السيلكون أو الجرمانيوم، تحتوي على ثلاث مناطق من المواد شبه الموصلة غير النقية، مرتبة على التوالي، بحيث توجد منطقتان من النوع الموجب - م بينهما منطقة من النوع السالب - س، ويسمى الترانزستور في هذه الحالة ترانزستور م س م (PNP)، أو يتكون من منطقتين من النوع السالب - س بينهما منطقة من النوع الموجب - م ويسمى الترانزستور في هذه الحالة ترانزستور س م س (NPN)، وتسمى المنطقة الوسطى من الترانزستور بالقاعدة أما المنطقتان الأخرى بإحدهما تسمى الباعث والأخرى المجمع، وتكون منطقة المجمع أكبر من منطقة الباعث لأن القدرة المتوقع تشتتها خلالها أكبر، وتعالج منطقتا الباعث والمجمع في كلا النوعين من أنواع الترانزستور بإضافة المزيد من الشوائب لكي تكتسب موصلية عالية، وتعالج منطقة القاعدة بإضافة كمية قليلة من الشوائب وتكتسب موصلية منخفضة القيمة.



الشكل (١): الرموز المستخدمة لتمثيل الترانزستور في الدارات الالكترونية

يرمز للترانزستور من النوع م س م كما في الشكل (١ - أ) وللترانزستور من النوع س م س كما في الشكل (١ - ب)، ونلاحظ أن الفرق بين الرمز هو في اتجاه السهم على طرف الباعث حيث يشير إحدهما للداخل والآخر للخارج.

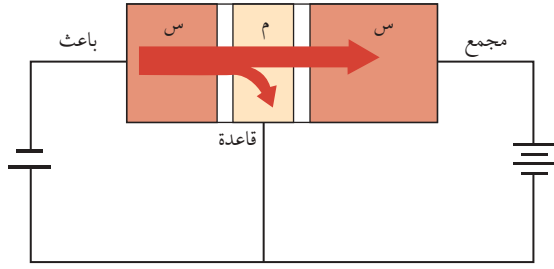
سؤال

ناقش الفروق الفيزيائية بين تركيب الطبقات الثلاث التي يتكون منها الترانزستور معللا سبب هذه الفروق.

٣ - ٢ مبدأ عمل الترانزستور :

يتكون الترانزستور من وصلتي س - م هما وصلة الباعث - القاعدة ووصلة المجمع - القاعدة، وفي العادة يوصل الترانزستور في الدارة بحيث تكون وصلة الباعث - القاعدة أمامية الانحياز ووصلة المجمع - القاعدة عكسية الانحياز كما في الشكل (٢).

وفيما يلي توضيح لفيزيائية عمل الترانزستور من نوع س م س (NPN)، وهو النوع الأكثر استخداما في الدارات العملية، وبطريقة مماثلة ينطبق ذلك على الترانزستور من نوع م س م (PNP). عندما يكون جهد الانحياز لوصلة الباعث - القاعدة صفرا سيكون التيار الناتج عن حاملات الشحنة الأكثرية (الالكترونات) والتي



الشكل (٢) : توصيل الترانزستور في الدارات الإلكترونية

تقطع وصلة الباعث - القاعدة مساويا لتيار حاملات الشحنة الأقلية التي تقطع نفس الوصلة في الاتجاه المعاكس ، وبالتالي يكون التيار الكلي خلال هذه الوصلة صفرا ، وفي هذه الحالة تكون وصلة المجمع - القاعدة عكسية الانحياز بواسطة الجهد V_{CE} وبالتالي يمر تيار قليل من حاملات الشحنة الأقلية خلال المجمع ، وهذا التيار هو تيار الإشباع

العكسي الذي تحدثنا عنه سابقا عن دراسة وصلة م - س ، وسوف نسميه الآن بتيار التسريب للمجمع (Collector leakage current) ويعطى بالرمز I_{CO} ، والآن إذا ازداد جهد الانحياز لوصلة الباعث - القاعدة في الاتجاه الأمامي يحدث انسياب للتيار بين منطقتي القاعدة والباعث ، وبما أن منطقة الباعث معالجة بإضافة كمية أكبر من الشوائب فإن الفرصة تصبح مهيأة تماما لانبعث الالكترونات الى منطقة القاعدة ، وبما أن موصلية منطقة القاعدة منخفضة القيمة (لأن نسبة الشوائب فيها قليلة) ، فإن عددا قليلا نسبيا من الالكترونات العابرة للوصلة يتحد مع العدد الصغير من الفجوات المتاحة القادرة على الحركة في منطقة القاعدة ، ونتيجة لذلك يتواجد تركيز عال من الالكترونات العابرة للوصلة في القاعدة (حيث تعتبر حاملات الشحنة من الالكترونات هناك أقلية) ، ويقوم مصدر الجهد المتصل بدارة الباعث - القاعدة بتعويض النقص في الفجوات التي تكون قد اتحدت بالفعل مع الالكترونات في منطقة القاعدة من نوع م - م ، مما يؤدي إلى مرور تيار القاعدة للترانزستور ، ويقال بأن الالكترونات قد ضخنت إلى القاعدة ، وبما أن الالكترونات في القاعدة من النوع م - م هي حاملات الشحنة الأقلية فإنها تبدأ بالانتشار باتجاه منطقة المجمع ، ويساعدها على ذلك أن سمك منطقة القاعدة قليل ، كما أن نسبة تطعيمها بالشوائب قليلة وبالتالي تحتوي على عدد قليل من الثقوب ، مما يترتب عليه أن معظم الالكترونات التي وصلت القاعدة تنتقل إلى المجمع والعدد القليل المتبقي يتحد مع الثقوب الموجودة في القاعدة كما في الشكل (٣) .

سؤال

علل : يكون تيار المجمع أقل من تيار الباعث .

مما سبق نلاحظ أن التيار الكلي الذي يدخل الى الترانزستور يجب أن يكون مساويا للتيار الكلي الذي يخرج منه ، وبالتالي فإن تيار الباعث I_B يساوي مجموع تيار القاعدة والمجمع :

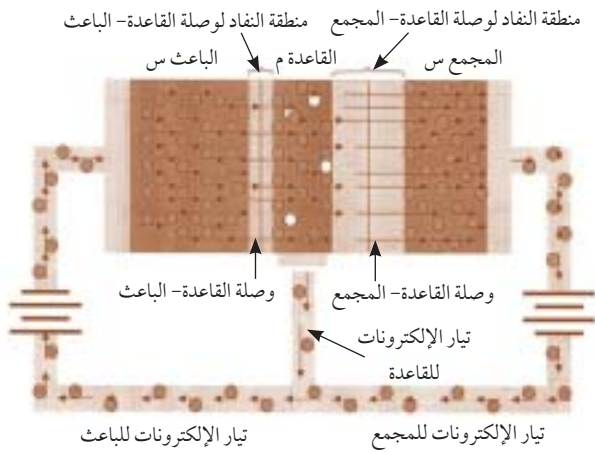
$$I_B = I_C + I_E$$

وفي العادة فإن تيار المجمع يساوي حوالي

٩٩,٠ من تيار الباعث :

$$I_C = 0,99 I_B$$

ويكون : $I_E = 0,01 I_B$



الشكل (٣) : تيار الإلكترونات في الترانزستور

مثال (١):

إذا كانت شدة تيار الباعث لترانزستور في لحظة ما تساوي ٣٠ مللي أمبير، كم تبلغ شدة التيار لكل من المجمع والقاعدة إذا علمت ان شدة تيار القاعدة تساوي ٠,٠١ من تيار الباعث .

يمكن وصف عمل الترانزستور بشكل بسيط، حيث تؤدي منطقة الباعث دور الباعث لحاملات الشحنة التي تجمع أخيراً في منطقة المجمع، وتقوم منطقة القاعدة بدور القطب الذي يتحكم في قيمة تيار المجمع .

الحل:

$$I_c = 0,01 I_b = 30 \times \frac{1}{100} = 0,3 \text{ مللي أمبير}$$

$$I_e = I_c + I_b$$

$$I_e = 30 + 0,3 = 30,3 \text{ مللي أمبير}$$

٣ - ٣ طرق توصيل الترانزستور ومعاملاته

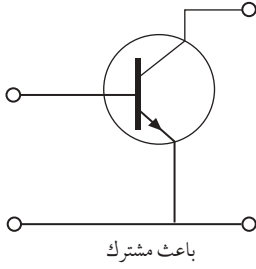
في الدارات العملية يمكن توصيل الترانزستور بإحدى ثلاث طرق وفي جميع هذه الطرق يكون أحد الأطراف مشتركاً بين دائرة الدخول ودائرة الخروج، وبالتالي فإن طريقة التوصيل توصف باسم الطرف المشترك. مثلاً: طريقة الباعث المشترك أو طريقة القاعدة المشتركة أو طريقة توصيل المجمع المشترك، والشكل (٤) يوضح بشكل عام هذه الطرق، وفي الطرق الثلاث تكون وصلة القاعدة - الباعث دائماً أمامية الانحياز ووصلة المجمع - القاعدة تكون دائماً عكسية الانحياز .

وللترانزستور استخدامات متعددة في الدارات الالكترونية، ولكل ترانزستور معاملات تحدد استخداماته في هذه الدارات ومن هذه المعاملات :

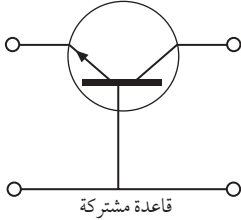
١- معامل كسب التيار المستمر : D.C Current gain

وهو عبارة عن النسبة بين التيار الخارج من الترانزستور والتيار الداخل اليه في حالة عدم وجود إشارة AC (وهي الإشارة التي تدخل على دائرة الترانزستور عادة ليتم تكبيرها)، وفي حالة توصيل الترانزستور بطريقة القاعدة المشتركة يكون التيار الداخل للترانزستور هو تيار الباعث (ت_ب) والتيار الخارج هو تيار المجمع (ت_م) لذلك يعبر عن كسب التيار المستمر بالعلاقة :

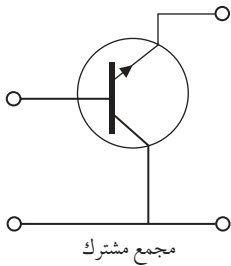
$$\alpha = \frac{I_m}{I_b}$$



باعث مشترك



قاعدة مشتركة



مجمع مشترك

الشكل (٤): طرق توصيل الترانزستور في الدارات الالكترونية

يستخدم أحيانا الرمز h_{fb} بدل α للدلالة على كسب التيار في حالة القاعدة المشتركة .

أما في حالة توصيل الترانزستور بطريقة الباعث المشترك (وهي أكثر الطرق الشائعة لتوصيل الترانزستور) يكون التيار الداخل للترانزستور هو تيار القاعدة (I_B) والتيار الخارج هو تيار المجمع (I_C) لذلك يعبر عن كسب التيار المستمر بالعلاقة:

يستخدم أحيانا الرمز h_{FE} بدل β للدلالة على كسب التيار في حالة الباعث المشترك.

$$\frac{I_C}{I_B} = \beta$$

وفي حالة توصيل الترانزستور بطريقة المجمع المشترك يكون التيار الداخل للترانزستور هو تيار القاعدة (I_B) والتيار الخارج هو تيار الباعث (I_E) لذلك يعبر عن كسب التيار المستمر بالعلاقة:

يستخدم أحيانا الرمز h_{FC} بدل γ للدلالة على كسب التيار في حالة المجمع المشترك.

$$\frac{I_E}{I_B} = \gamma$$

مثال (٢):

أثبت أن العلاقة بين كسب التيار المستمر في حالة التوصيل بطريقة الباعث المشترك β وكسب التيار المستمر في حالة التوصيل بطريقة القاعدة المشتركة α لترانزستور معين تعطى بالعلاقة:

$$\frac{\alpha}{\alpha - 1} = \beta$$

الحل:

$$I_B = I_C + I_E$$

$$\frac{I_C}{\alpha} = I_B \Leftrightarrow \frac{I_C}{I_B} = \alpha$$

$$\frac{I_C}{\beta} = I_E \Leftrightarrow \frac{I_C}{I_E} = \beta$$

$$\frac{I_C}{\beta} + I_C = \frac{I_C}{\alpha}$$

$$\frac{\alpha}{\alpha - 1} = \beta \Leftrightarrow \frac{1}{\beta} + 1 = \frac{1}{\alpha} \Leftrightarrow$$

$$(1) \dots\dots\dots = \frac{ت م \times م خ}{ت ق \times م د}$$

$$(2) \dots\dots\dots \text{بما أن : } \beta = \frac{ت م}{ت ق} \Leftarrow ت م = \beta ت ق$$

بتعويض قيمة ت م من المعادلة (2) في المعادلة (1) ينتج :

$$\beta = ك ج \left(\frac{م خ}{م د} \right)$$

3- معامل كسب القدرة (معامل تضخيم القدرة) Power gain :

وهو عبارة عن النسبة بين القدرة الداخلة للترانزستور الى القدرة الخارجة منه ويعبر عنه رياضيا :

$$\frac{قد د}{قد خ} = ك قد$$

● سؤال

إذا علمت أن القدرة تعطى بالعلاقة (قد = ت² × م) أثبت أن كسب القدرة للترانزستور في حالة التوصيل بطريقة الباعث المشترك تعطى بالعلاقة التالية :

$$ك قد = \beta^2 \left(\frac{م خ}{م د} \right)$$

مثال (5):

إذا تغير تيار المجمع بمقدار 0,995 mA عند تغير تيار الباعث بمقدار 1 mA احسب :

أ . كسب التيار لهذا الترانزستور في حال توصيله بطريقة القاعدة المشتركة .

ب . كسب التيار لهذا الترانزستور في حال توصيله بطريقة الباعث المشترك .

الحل:

$$أ . \frac{ت م}{ت ب} = \alpha$$

$$0,995 = \frac{0,995}{1} =$$

$$ب. \frac{ت_م}{ت_ق} = \beta$$

بما أن : $ت_ق = ت_ب - ت_م$

$$mA 0,005 = 0,995 - 1 =$$

$$199 = \frac{0,995}{0,005} = \frac{ت_م}{ت_ق} = \beta$$

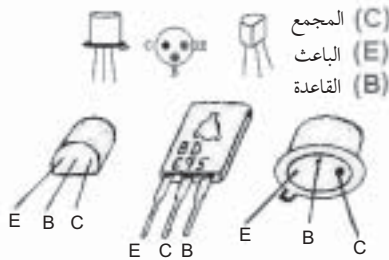
سؤال

أيهما أفضل للحصول على كسب تيار أعلى توصيل الترانزستور بطريقة الباعث المشترك أم بطريقة القاعدة المشتركة؟

٣ - ٤ خواص الترانزستور واستخداماته

لعلك شاهدت أشكالاً متعددة من الترانزستورات؟ فهل تتشابه جميع الترانزستورات في خصائصها العملية؟ بمعنى هل يمكن استخدام أي منها مكان الآخر؟
رغم التشابه في التركيب العام للترانزستورات من حيث تكونها من ثلاث طبقات من المواد شبه الموصلة المطعمة بالشوائب، إلا أنها تختلف في مواصفاتها الفنية الدقيقة، حيث يعتمد ذلك على التركيب الداخلي للطبقات المكونة للترانزستور، فعلى سبيل المثال تختلف الترانزستورات من حيث مقدار كسب التيار فيها، أو الجهود القصوى المسموحة على أقطابها المختلفة أو شدة التيار القصوى التي تمر خلال الأقطاب المختلفة لها وتردد الاشارات التي يمكن أن تنتقل خلالها، وغير ذلك من الخصائص الأخرى، وتقوم الشركات بتصنيع أنواع مختلفة من الترانزستورات وتقوم بإعطائها أرقاماً فنية، وتصدر جداول بيانات تتضمن المواصفات الفنية لكل نوع منها، وكذلك شكل الغلاف للترانزستور وطريقة توزيع أطرافه الثلاثة كما في الشكل (٥)، وهذه المعلومات تعتبر ضرورية لمصممي الدارات الالكترونية لاختيار الترانزستور المناسب.

وللترانزستور استخدامات عديدة في الدارات الالكترونية حيث يستخدم في دارات تكبير الإشارة، وفي المذبذبات، أو كمفتاح الكتروني، إضافة الى استخدامه في بناء الدارات المنطقية التي تعتمد عليها الالكترونيات الرقمية، الى غير ذلك من التطبيقات العملية الهامة.

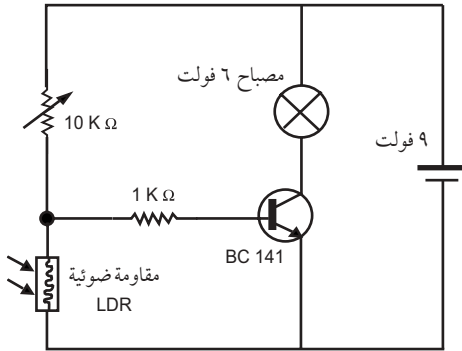


الشكل (٥): بعض اشكال تصنيع الترانزستور ووصلاته

الترانزستور كمفتاح:

في كثير من الدارات يستخدم الترانزستور كمفتاح للتوصيل والقطع، حيث يمكنه قطع أو توصيل الدارة بسرعة كبيرة وبفعالية بدون وصلات متحركة، وأكثر استخدامات الترانزستور كمفتاح للقطع والتوصيل هو في الدارات المنطقية المستخدمة في أجهزة الحاسوب، وهناك تطبيقات أخرى كثيرة في الحياة العملية حيث يؤدي تغير قليل في التيار الكهربائي الواصل إلى القاعدة إلى تغير كبير في التيار المار في المجمع، والذي يمكن أن يستخدم لتشغيل أجهزة أو لتشغيل متممات تستطيع ان تشغل بدورها أجهزة ضخمة تعمل على فرق جهد عالٍ وتسحب منه تياراً كهربائياً كبيراً، ومن التطبيقات العملية على ذلك أن يؤدي تغير في شدة الاضاءة او الرطوبة او في الصوت او الحرارة الى التأثير على مجسات حساسة لإحدى هذه التغيرات تكون موصولة على دارة القاعدة للترانزستور مما يجعله يتحول من حالة القطع الى حالة التشغيل نتيجة تغير الانحياز الأمامي لدارة القاعدة. والدارة الموضحة في الشكل (٦) مثال على ذلك، حيث يتصل بالقاعدة مجس حساس للضوء هو عبارة عن مقاومة تعتمد قيمتها على شدة الاضاءة تسمى المقاومة الضوئية (LDR: light depending resistor)، حيث تعمل هذه الدارة على إضاءة المصباح الواصل على دارة المجمع للترانزستور عند حلول الظلام أو عند قطع الضوء الواصل للمقاومة المعتمدة على الضوء (LDR).

طريقة عمل الدارة:



الشكل (٦): دائرة مفتاح ترانزستور يعمل في الظلام

عند سقوط الضوء على المقاومة الضوئية تقل قيمتها ويصبح الجهد بين طرفي القاعدة والباعث أقل من جهد الانحياز الأمامي اللازم لتشغيل الترانزستور (أي أن $V_{be} > 0.7$ فولت)، وعند ذلك يكون تيار القاعدة صفراً وكذلك تيار المجمع، أي أن الترانزستور يكون في حالة قطع ولن يمر أي تيار في المصباح لذلك يكون مطفاً.

عند منع الضوء من السقوط على المقاومة الضوئية تكون قيمتها كبيرة وعندئذ يزداد الجهد بين طرفيها ويصبح الجهد بين القاعدة والباعث أكبر من الجهد الحاجز ($V_{be} < 0.7$ فولت)، وبالتالي يزداد تيار القاعدة ويزداد تيار المجمع تبعاً لذلك ويمر تيار كبير في الترانزستور ويتحول إلى حالة الاشباع أي يصبح في حالة وصل ويضيء المصباح.

(ملاحظه: تستخدم المقاومة $1\text{K}\Omega$ على قاعدة الترانزستور كمحدد لتيار القاعدة لحماية القاعدة من التيار

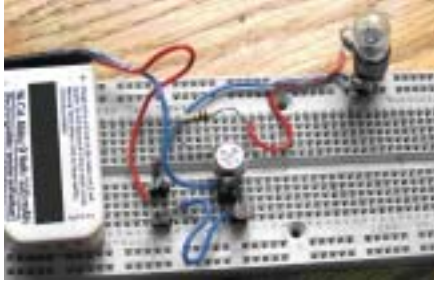
الزائد الذي قد يسبب تلف الترانزستور)

المواد والأدوات :

لوحة التجارب الالكترونية، وبطارية ٩ فولت، ومصباح ٦ فولت، وقاعدة مصباح، وترانزستور BC141، ومقاومة ثابتة $1\text{K}\Omega$ ، ومقاومة متغيرة $10\text{K}\Omega$ ، ومقاومة ضوئية LDR، وملتمتر رقمي .

خطوات العمل :

١ . اضبط الملتيميتر الرقمي على مقياس المقاومة، وقم بقياس قيمة المقاومة الضوئية مع تغيير شدة الضوء الساقطة عليها، سجل ملاحظاتك .



٢ . قم بتركيب الدائرة الموضحة في الشكل (٦) على لوحة التجارب أو على لوحة فيبر مثقبة .

٣ . قم بتغيير قيمة المقاومة المتغيرة $10\text{K}\Omega$ ولاحظ ما يحدث لإضاءة المصباح .

٤ . غطِّ المقاومة الضوئية بإصبعك ولاحظ إضاءة المصباح .

٥ . قم بضبط قيمة المقاومة المتغيرة بحيث يضيء المصباح عند تغطية المقاومة الضوئية .

فكر لحل المشكلة :

هل نستطيع استخدام هذه الدارة لتشغيل مصباح كهربائي يعمل على الشبكة المنزلية (٢٢٠ فولت)؟ تذكر ما درست في منهج التكنولوجيا في الصف العاشر حول فكرة عمل المتممات، كيف يمكن أن تستفيد من هذه الفكرة لحل المشكلة المطروحة؟

الترانزستور كمضخم :

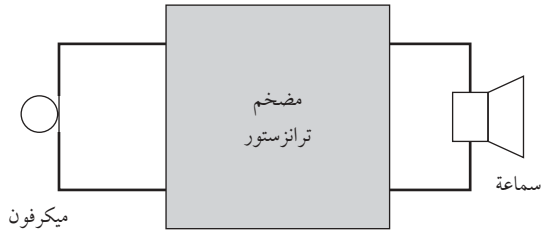
لعلك استمعت إلى احد زملائك يتحدث في الإذاعة المدرسية هذا الصباح، ولكن هل خطر ببالك أن تسأل كيف تم تضخيم الصوت ليسمعه جميع زملائك في ساحة المدرسة؟ في هذا الدرس سوف نتعرف على الدور الرئيسي للترانزستور في عملية تضخيم الصوت .

عندما يتحدث شخص أمام لاقط الصوت -الميكروفون- تقوم ذبذبات الصوت بتحريك غشاء رقيق يتصل بملف حر الحركة حول مغناطيس، وينتج عن ذلك تيار كهربائي قليل جدا تتغير شدته تبعاً للذبذبات الصوت، ويسمى هذا التيار بالإشارة الكهربائية، حيث يتم إرساله إلى جهاز المضخم الذي يعمل على تضخيمه ثم تحويله إلى صوت مرتفع مرة أخرى بواسطة المجهر (السماعة) كما في الشكل (٧) .

ولكن كيف يعمل الترانزستور على تضخيم الصوت؟

يعمل لاقط الصوت على تحويل الصوت إلى تيار متردد خفيف جدا إذا وصلناه مباشرة مع المجهر

(السماعة) لن نستطيع سماعه ، ولكن إذا تم توصيله على التوالي مع جهد القاعدة للترانزستور ينتج عن ذلك أن الموجة الصوتية التي تصل الى لاقط الصوت تحدث تغيرات في تيار القاعدة ، وهذه الأخيرة تحدث تغيرات مماثلة في تيار المجمع ، ولكن تيار المجمع يكون أكبر من تيار القاعدة بكثير حسب معامل كسب التيار للترانزستور المستخدم ، وبالتالي فإن هذا التيار يكون قادرا على تشغيل المجهر (السماعة) بصوت مرتفع .



الشكل (٧) : مخطط صندوقي لدائرة تكبير ترانزستور

وفي مضخمات الصوت الموجودة في التطبيقات العملية تستخدم عدة مراحل لتكبير الصوت ، وفي كل مرحلة يستخدم ترانزستور واحد أو أكثر ، ويتم ربط الإشارة الناتجة عن مرحلة التكبير الأولى مع مرحلة تكبير ثانية أو ثالثة وهكذا للحصول على القدرة المطلوبة لمضخم الصوت .

نشاط (٢): دارة مضخم صوت تعمل بترانزستور واحد

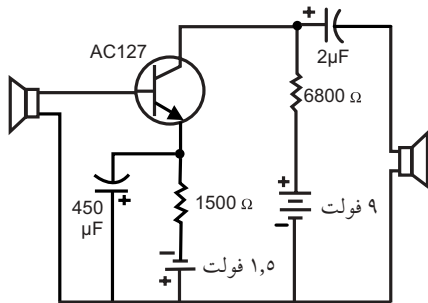
يتضمن هذا النشاط بناء دارة تكبير تعمل بترانزستور جرمانيوم من النوع س م س موصول بطريقة الباعث المشترك ، ويعمل كمضخم للإشارة الصوتية التي يتم توليدها بواسطة لاقط صوت (يمكن استخدام سماعة صغيرة تعمل كلاقط صوت) ، حيث تدخل هذه الإشارة عن طريق القاعدة ، ويتم تأمين الانحياز الأمامي للترانزستور بواسطة بطارية ١,٥ فولت أما الانحياز العكسي فيتم تأمينه بواسطة بطارية أخرى قوتها الدافعة ٩ فولت ، ويتم توصيل الإشارة المضخمة إلى السماعة بواسطة مكثف ربط ، وتعمل المقاومات الموجودة في الدارة على تأمين جهود الانحياز الصحيحة للترانزستور .

المواد والأدوات :

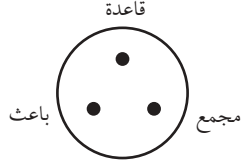
لاقط صوت (أو سماعة صغيرة) ، وترانزستور جرمانيوم رقم (AC127) ، وبطارية ١,٥ فولت وأخرى ٩ فولت ، ومواسع كيميائي ٤٥٠ ميكروفاراد ، وآخر مواسعته ٢ ميكروفاراد ، ومقاومة ثابتة ١,٥ كيلو أوم ، وأخرى ٦,٨ كيلو أوم ، وسماعة .

خطوات العمل :

١. قم بتجميع الدارة الموضحة في الشكل (٨) على لوحة التجارب الإلكترونية أو لوحة فيبر مثقبة .
٢. قم بتوصيل البطاريتين بعد إتمام تركيب باقي العناصر .
٣. انتبه لتوصيل المواسع الكيميائية المستقطبة بطريقة صحيحة .
٤. تحدث أمام لاقط الصوت ولاحظ الصوت المنبعث من السماعة المتصلة بدارة الخرج للترانزستور .



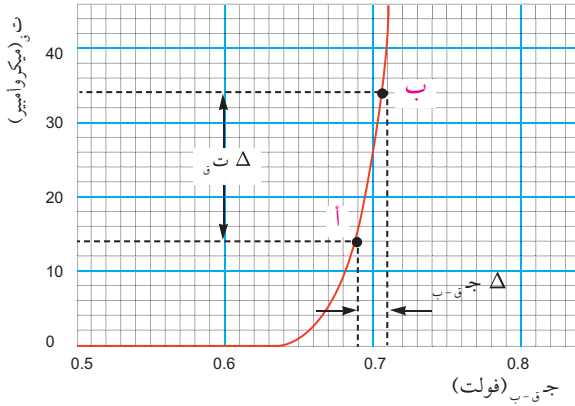
الشكل (٨) : دارة مضخم صوت



ملاحظة: صل اطراف الترانزستور بطريقة صحيحة عند تركيبه كما في الشكل المجاور

أمثلة متنوعة

مثال (١):



الشكل المجاور يبين منحنى العلاقة بين تيار القاعدة (ت_ب) وفرق الجهد بين القاعدة والباعث (ج_{ق-ب}) لترانزستور موصول بطريقة الباعث المشترك:

أ. ماذا يمثل ميل المنحنى بين أي نقطتين عليه؟

ب. جد مقاومة الدخل للترانزستور بين النقطتين أ، ب؟

الحل:

أ. مقلوب الميل = مقاومة الدخل للترانزستور.

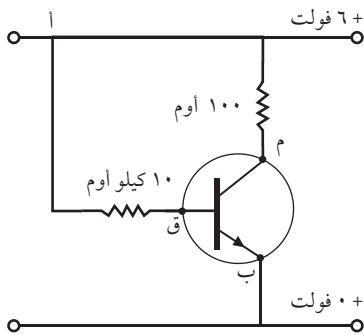
$$ب. \text{مقلوب الميل} = \frac{\Delta \text{ج-ق-ب}}{\Delta \text{ت-ب}} \quad (\text{وهذا يتطابق مع قانون أوم: } m = \frac{\text{ج-ق-ب}}{\text{ت-ب}})$$

$$909 \text{ أوم} = \frac{\text{فولت } (0,71 - 0,69)}{10^{-10} \times (14 - 36)}$$

مثال (٢):

في الدارة المبينة في الشكل المجاور افترض أن ج_{ق-ب} = ٠,٧ فولت وأن β = ٧٥ احسب كل من: تيار القاعدة وتيار المجمع عندما يكون الترانزستور في حالة توصيل.

الحل:



$$\text{ج-ب} = \text{ج-ق} + \text{ج-ب}$$

$$0,7 = 6 + m \times 0,7$$

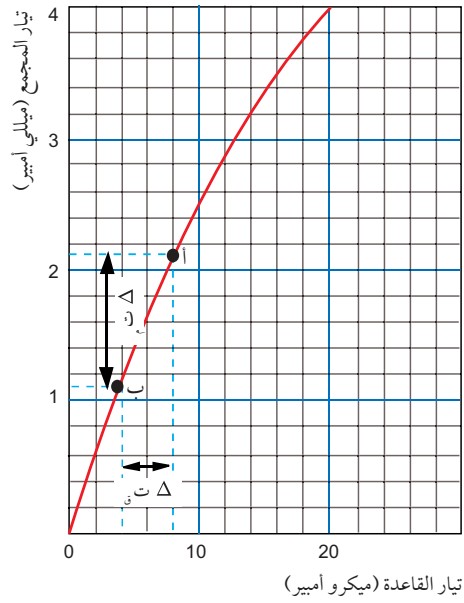
$$0,7 - 6 = 310 \times 10 \times 0,7$$

$$\text{ت-ق} = \frac{0,3}{310 \times 10} = 0,53 \times 10^{-3} \text{ أمبير} = 0,53 \text{ ميلي أمبير}$$

$$\frac{\text{ت-م}}{\text{ت-ق}} = \beta$$

$$\text{ت-م} = 75 \times 0,53 = 39,75 \text{ ميلي أمبير}$$

مثال (٣):



الشكل المجاور يبين العلاقة بين تيار المجمع I_c وتيار القاعدة I_b لترانزستور موصول بطريقة الباعث المشترك. احسب معامل كسب التيار لهذا الترانزستور من خلال إيجاد ميل المنحنى بين النقطتين أ و ب.

الحل :

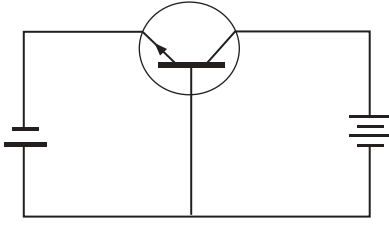
$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

$$= \frac{3-10 \times (1, 1-2, 1)}{6-10 \times (4-8)}$$

$$= \frac{3-10 \times 1}{6-10 \times 4} = 250$$

اسئلة الفصل

١. اذكر ثلاثة استخدامات للترانزستور في الدارات الالكترونية .
٢. اشرح تركيب الترانزستور موضحا الأجزاء التي يتكون منها بالرسم .
٣. ما الفرق بين ترانزستور من نوع س س م (NPN) وترانزستور من نوع م س م (PNP)، وأيهما أكثر استخداما في الدارات العملية ؟ ولماذا؟
٤. علل :
 - أ. تكون منطقة المجمع في الترانزستور أكبر من منطقتي القاعدة والباعث .
 - ب. تصنع معظم أنواع الترانزستور من السليكون في الوقت الحاضر .
 - ج. في الدارات العملية لا يجب استبدال ترانزستور معين تالف الا بترانزستور من نفس النوع او مكافئ .
 - د. عند تطبيق انحياز أمامي على وصلة القاعدة- الباعث في الترانزستور من نوع س س م فإن معظم الالكترونات التي تصل القاعدة تنتقل للمجمع .
 ٥. اعتمادا على الشكل المجاور :



- أ. ماذا نسمي طريقة توصيل الترانزستور في هذه الحالة ؟
- ب. ما نوع الترانزستور المستخدم ؟
- ج. وضح اتجاه كل من تيار الالكترونات والتيار الافتراضي الداخل أو الخارج لكل طرف من أطراف الترانزستور ؟
- د. اكتب العلاقة بين كل من تيار القاعدة والباعث والمجمع لهذا الترانزستور ؟
٦. ترانزستور موصول بطريقة الباعث المشترك يتغير فيه تيار المجمع بمقدار $1,0 \text{ mA}$ وتيار الباعث بمقدار $0,997 \text{ mA}$ ، ما هو التغير في تيار القاعدة الذي أحدث هذه التغيرات في تيار المجمع والباعث ؟ وما هو مقدار كسب التيار لهذا الترانزستور ؟
٧. ترانزستور يستخدم في دائرة تكبير معامل كسب التيار له (100) ومقاومة الدخل له (1200) أوم ومقاومة الحمل على دائرة الخرج (2200) أوم ، احسب كلا من معامل كسب الجهد ومعامل كسب القدرة لهذا الترانزستور .
٨. اشرح مبدأ عمل استخدام الترانزستور كمضخم في الدارات الالكترونية .
٩. ما المقصود بكل من : كسب الجهد ، كسب التيار ، كسب القدرة للترانزستور .

اسئلة الوحدة

١. اختر الاجابة الصحيحة لكل من العبارات التالية :

أ. في الترانزستور يكون :

تيار المجمع أقل من تيار القاعدة .

تيار الباعث أكبر من تيار المجمع .

تيار القاعدة أكبر من تيار الباعث .

تيار القاعدة يساوي مجموع تيارى الباعث والمجمع .

ب. أكثر دارات الترانزستور استخداماً في التطبيقات العملية هي دائرة توصيل :

القاعدة المشتركة المجمع المشترك

الباعث المشترك جميعها تستخدم بنفس المستوى

ج. الثنائي الذي يستخدم في دارات تثبيت الجهد هو :

الثنائي السعوي الثنائي الضوئي

ثنائي زينر ثنائي القدرة

د. المواد الموصلة :

تكون فجوة الطاقة فيها كبيرة .

تقل مقاومتها مع ازدياد درجة الحرارة .

تكون حزمة التوصيل فيها ممتلئة جزئياً .

تكون حزمة التكافؤ فيها فارغة .

هـ. يتم الحصول على مادة شبه موصلة من النوع السالب باضافة :

شوائب خماسية التكافؤ .

شوائب رباعية التكافؤ .

شوائب ثلاثية التكافؤ .

جميع ما ذكر .

٢. أجب بوضع اشارة (√) أمام العبارة الصحيحة و اشارة (X) أمام العبارة غير الصحيحة فيما يلي :

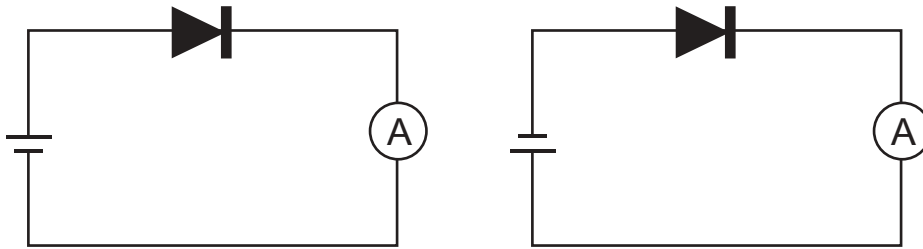
أ. إذا أضيفت ذرة شائبة ثلاثية التكافؤ الى بلورة من مادة شبه موصلة فإننا نحصل على بلورة من مادة

شبه موصلة غير نقية من النوع السالب .

ب. يمكن أن نسمي الثنائي شبه الموصل بالمقوم البلوري لأن الوظيفة الوحيدة للثنائيات هي تقويم

التيار المتردد .

- ج. تزداد سعة منطقة النفاذ في الوصلة الثنائية عند توصيلها مع بطارية بطريقة الانحياز الأمامي .
- د. فجوة الطاقة في المادة شبه الموصلة أكبر منها في المادة الموصلة .
- هـ. أكثر الطرق استخداماً لتوصيل الترانزستور في الدارات العملية هي طريقة القاعدة المشتركة .
- و. يوصل الترانزستور في الدارات الالكترونية بحيث تكون دائرة (القاعدة- الباعث) دائماً أمامية الانحياز ودائرة (المجمع - القاعدة) عكسية الانحياز .
٣. وضح كيف تنشأ أحزمة الطاقة في المادة الصلبة .
٤. اشرح أثر اضافة الشوائب على موصلية المادة شبه الموصلة .
٥. ناقش التغيرات الفيزيائية الحادثة لكل من طبقة النفاذ وحاجز الجهد في الوصلة الثنائية عند توصيلها مع بطارية بطريقة الانحياز الأمامي ، ثم بطريقة الانحياز العكسي .
٦. اذا كان معامل كسب التيار لترانزستور موصول بطريقة الباعث المشترك يساوي ١٥٠ ، احسب معامل كسب التيار له اذا تم توصيله :
- أ. بطريقة القاعدة المشتركة .
- ب. بطريقة المجمع المشترك .
٧. وضح كيف يمكن الحصول على :
- أ. بلورة شبه موصلة من النوع السالب .
- ب. بلورة شبه موصلة من النوع الموجب .
٨. في أي من الشكلين التاليين تكون قراءة الأميتر أكثر ، ولماذا ؟



٩. ما اسم العنصر الذي يشير اليه كل من الرموز التالية؟ اكتب أسماء الأطراف المشار اليها بالأحرف الأبجدية أ، ب، ج :

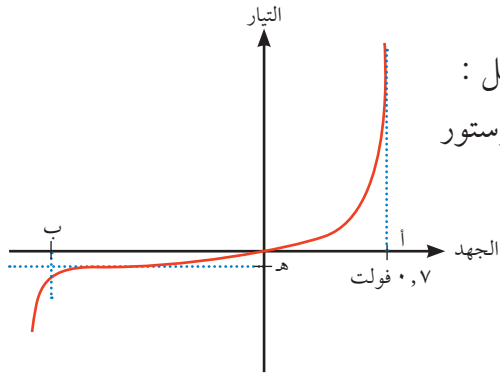


١٠. ما المقصود بعملية تقويم التيار المتردد وما هي العناصر الالكترونية شبه الموصلة التي تستخدم في هذه العملية ؟

١١. عدد أربعاً من أنواع الثنائيات شبه الموصلة واستخدامات كل منها .

١٢. ما الفرق بين الثنائي الباعث للضوء (LED) والثنائي الضوئي ؟

١٣. ترانزستور موصول بطريقة الباعث المشترك في دائرة الكترونية له مقاومة حمل مقدارها (٢٠٠٠) أوم ومقاومة دخل (١٠٠٠) أوم ، ومعامل كسب التيار له (١٠٠) احسب كل من معامل كسب الجهد ومعامل كسب القدرة لهذا الترانزستور؟



١٤. الشكل المجاور يمثل منحنى الخواص لثنائي شبه موصل :

أ. ما المادة شبه الموصلة المستخدمة لصنع هذا الترانزستور

ب. ماذا نسمي الجهد عند النقطة أ وماذا يعني ؟

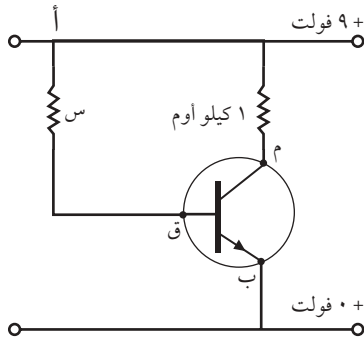
ج. ماذا نسمي الجهد عند النقطة ب وماذا يعني ؟

د. ماذا نسمي التيار عند النقطة هـ وماذا يعني ؟

١٥. في الدارة المبينة في الشكل المجاور اذا كانت β تساوي ١٢٠ .

أ. ما القيمة الصغرى للمقاومة م بحيث يصبح الترانزستور موصلاً .

ب. تيار المجمع في الحالة السابقة مع العلم أن $V_{BE} = 0.7$ فولت ، و $V_{CE} = 3$ فولت في حالة توصيل الترانزستور

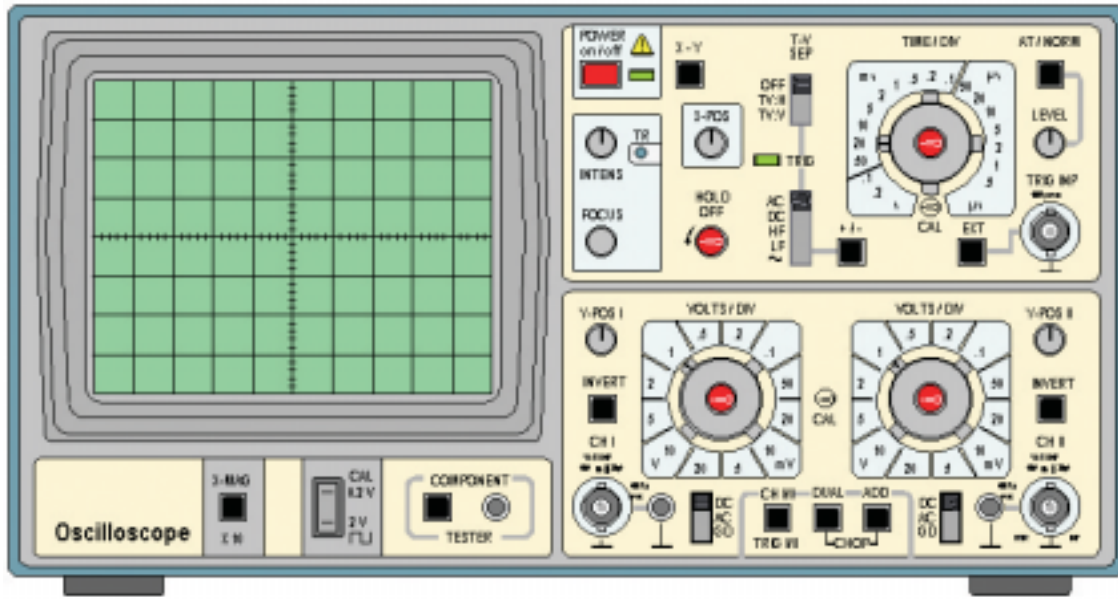


ملحق

أجهزة مستخدمة في الدارات الالكترونية

جهاز راسم الإشارة (الأوسيلسكوب) Oscilloscope :

يعتبر هذا الجهاز من أهم الأجهزة المستخدمة في تتبع الإشارات والأشكال الموجية في الدارات الالكترونية، كما يمكن استخدامه لقياس الجهد والتردد لهذه الإشارات، وستعرف في هذا الفصل على كيفية ضبط هذا الجهاز واستخدامه .



الشكل (١): الواجهة الامامية لجهاز راسم الإشارة

الشكل (١) يبين صورة للواجهة الأمامية لجهاز راسم الذبذبات وهي تتضمن معظم المفاتيح وأدوات التحكم التي نحتاجها لضبط الجهاز، وفيما يلي أهم الأجزاء الموجودة على الواجهة الأمامية لجهاز راسم الذبذبات :

١. الشاشة : وهي شاشة صغيرة تشبه في تركيبها شاشة التلفاز وهي مقسمة إلى مربعات (١ اسم X ١ اسم) على شكل ورقة رسم بياني حيث أن وظيفة الأوسيلسكوب الأساسية هي رسم بياني للعلاقة بين الجهد والزمن للإشارات الكهربائية الداخلة اليه، ويقسم هذه الشاشة محوران أساسيان أحدهما عمودي ويمثل الجهد والآخر أفقي ويمثل الزمن .

٢. مفتاح التشغيل : ووظيفته توصيل وقطع القدرة عن الجهاز .

٣. مفتاح الجهد/ جزء (Volts/division) : ويتم بواسطته التحكم في مقياس الرسم للجهد على المحور الرأسي .

- ٤ . مفتاح الزمن / جزء (Time/division): ويتم بواسطته التحكم في مقياس الرسم على المحور الأفقي .
- ٥ . مفتاح شدة الإضاءة (Intensity): ويتم التحكم بواسطته بدرجة إضاءة الخط الذي يظهر على الشاشة .
- ٦ . مفتاح درجة التركيز (Focus): ووظيفته التحكم في سمك الخط الذي يظهر على الشاشة .
- ٧ . مفتاح ضبط الموضع الأفقي (X- position): ووظيفته تحريك الخط أو الإشارة الظاهرة على شاشة الجهاز أفقيا من اليمين إلى اليسار أو العكس .
- ٨ . مفتاح ضبط الموضع الرأسي (Y- position): ووظيفته تحريك الخط أو الإشارة الظاهرة على شاشة الجهاز رأسيا للأعلى أو للأسفل .
- ٩ . مفتاح الأوضاع (GND/AC/DC): يوضع المفتاح على الوضع GND لضبط الجهاز وعلى الوضع DC في حال الجهد المستمر والوضع AC في حال الجهد المتردد .
- ١٠ . مدخل الإشارة: ويتم ربط هذا المدخل مع مصدر الإشارة بواسطة مجس (Probe)، وغالبا ما تحتوي أجهزة رواسم الإشارة على مدخلين (قناتين) لإظهار إشارتين في نفس الوقت بغرض المقارنة (CH. I /CH. II)، وفي هذه الحالة توجد أزواج من المفاتيح المتماثلة الخاصة بكل مدخل (قناة) على الواجهة الأمامية للجهاز .
- ١١ . مفتاح اختيار الإشارة المعروضة (CH I – CH II –DUAL –ADD): وهو مفتاح خاص يمكن بواسطته عرض إشارة واحدة من إحدى القناتين أو كلتا الإشارتين معا أو جمعهما وعرضهما بصورة إشارة واحدة .
- ١٢ . مفتاح عكس الإشارة (Invert): ويعمل على إظهار الإشارة بشكل معكوس .
- ١٣ . مفتاح التحكم في الكسب الأفقي (Horizontal gain): ويستخدم لضبط عرض الموجة .
- ١٤ . مفتاح التحكم في الكسب العمودي (Vertical gain): ويستخدم لضبط ارتفاع الموجة .
- ١٥ . مفتاح التحكم في المسح (Sweep control): ويستخدم لضبط تردد المسح الأفقي .

جهاز مولد الإشارة (Signal Generator):



الشكل (١): الواجهة الامامية لجهاز راسم الإشارة

جهاز يستخدم لفحص أداء الدارات الالكترونية عند تصميمها أو صيانتها، وهو يقوم بتوليد إشارات كهربائية

بأشكال موجية مختلفة (جيبية - مثلثة - مربعة) وبترددات مختلفة، والشكل (٢) يبين المفاتيح الأساسية الموجودة على الواجهة الأمامية والتي يمكن من خلالها الحصول على الإشارة المطلوبة للتجربة التي نقوم به .

جهاز القياس الرقمي متعدد الأغراض (Digital Multimeter)

يستخدم هذا الجهاز في إجراء العديد من القياسات في الدارات الكهربائية والإلكترونية بدقة عالية، ومن الكميات التي يمكن قياسها باستخدام هذا الجهاز : فرق الجهد المستمر والمتردد - المقاومة الكهربائية - شدة التيار المستمر والمتردد ، كما يوجد في هذا الجهاز إمكانية فحص بعض العناصر الإلكترونية أو الدارات الكهربائية مثل فاحص الثنائيات (Diode Tester) وزنان فحص الاستمرارية للموصلات (Continuity Tester Buzzer) وفاحص الترانزستور ويوجد أنواع من هذا المقياس تحتوي على مقياس لسعة المواسع أو لدرجة الحرارة أو مصدر لإشارة فحص مربعة (Test Signal).

مكونات الجهاز:



الشكل (٣) : جهاز الملتيميتر الرقمي

الواجهة الأمامية : وتتكون من الأجزاء الرئيسية التالية :

١ . مفتاح اختيار الوظيفة والمدى : ويوجد عليه نقطة أو إشارة

تشير الى الوظيفة والمدى المناسب للقياس المطلوب ،

ويحتوي أيضا على وضعية الايقاف (OFF) للتوفير في

استهلاك البطارية في حالة عدم الاستخدام ، ويتم من خلاله

اختيار إحدى الوظائف التالية :

■ DCV : لقياس الجهد الثابت

■ ACV : لقياس جهد متردد

■ DCA : لقياس تيارات صغيرة بالمللي والميكروأمبير

■ 10A : لقياس تيار ثابت بالأمبير

■ Ω : لقياس المقاومة

■ \rightarrow : لاختبار الثنائي شبه الموصل

٢ . شاشة العرض الرقمية :

٣ . فتحة المشترك (Common Jack) : ويوضع فيها سلك الفحص الأسود (السالب) .

٤ . فتحة الفولت . اوم . ميلي أمبير ($V \cdot \Omega \cdot mA$) : ويوضع فيها سلك الفحص الأحمر (الموجب) عند

إجراء قياسات الجهد والمقاومة والتيار (الذي لا يزيد عن ٢ , ٠ أمبير).

٥ . فتحة ال ١٠ أمبير (A Jack 10) : ويوضع فيها سلك الفحص الأحمر عند قياس تيار مباشر يصل الى

١٠ أمبير .

٦. مداخل قياس الترانزستور: وتستخدم لقياس معامل كسب التيار للترانزستور $\beta (h_{fe})$.

ملاحظات هامة :

١. تأكد أن أسلاك الفحص سليمة ومعزولة تماما وخاصة عند قياس جهود عالية .
٢. تأكد من وضع مفتاح الأختيار على الوظيفة والمدى المناسب قبل اجراء القياس خوفا من تعريض الجهاز للتلف .
٣. عند تغيير الفيوز تأكد من وضع فيوز من نفس النوع وعادة يكون (٢, ٠ / ٢٥٠ V).
٤. عند ظهور كلمة BAT تكون البطارية ضعيفة فقم بتغييرها .
٥. اذا عكست المجسات فإن اشارة سالب ستظهر في الشاشة إلى يسار الأرقام .
٦. عند قياس المقاومة يجب عدم ادخال أي جهد خارجي (أي يجب ازالة المقاومة من الدارة) لأن ادخال جهد خارجي يمكن ان يتلف الجهاز .
٧. عند قياس الجهد يجب التأكد من وصل الجهاز على التوازي مع العنصر الذي نريد قياس الجهد بين طرفيه .
٨. عند قياس التيار تأكد من وصل الجهاز على التوالي في الدارة .

تجارب مقترحة يمكن تنفيذها باستخدام جهاز المليميتر :

١. قياس جهد البطارية .
٢. قياس جهد مجموعة من البطاريات موصولة على التوالي أو على التوازي .
٣. قياس فرق الجهد بين طرفي مقاومة .
٤. قياس جهد التيار المتردد الواصل الى المنزل .
٥. قياس فرق الجهد بين طرفي الملف الثانوي والابتدائي في المحول .
٦. قياس قيمة مقاومة مجهولة (قانون أوم) .
٧. قياس المقاومة المكافئة لمجموعة من المقاومات موصولة على التوالي أو على التوازي .
٨. فحص الدايمود .
٩. فحص h_{fe} الترانزستور .
١٠. قياس للترانزستور .
١١. قياس سعة المواسع .
١٢. فحص وجود قطع في الدارة وتحديد مكانه .

المراجع

- ألفين، هالبيرن؛ إرباخ، إريك (٢٠٠١). شوم - المقررات الجامعية - الفيزياء الجامعية II، ترجمة: فايز فوق العادة، أكاديميات انترناشيونال.
- الخطيب، أحمد شفيق؛ وآخرون (٢٠٠٤). الموسوعة العلمية المعاصرة. مكتبة لبنان ناشرون، لبنان.
- الخطيب، أحمد شفيق؛ وآخرون (١٩٩٨). الموسوعة العلمية الشاملة. مكتبة لبنان ناشرون، لبنان.
- رأفت كامل واصف (٢٠٠٣). أساسيات الفيزياء الكلاسيكية والمعاصرة. دار النشر للجمعات، القاهرة.
- شاهين، جميل نعمان (٢٠٠٣). الطرائق العملية في المختبرات التعليمية: الإدارة والسلامة في العمل الكوفي، محمود؛ غيث، عبد السلام (١٩٩٦). الكهرباء والمغناطيسية، دار الأمل، اربد الأردن.
- المخبري، دار المناهج، عمان.
- محمد عطية سويلم (١٩٩٧). الفيزياء العامة، دار الفكر، الأردن.
- محمد شحادة الدغمة (٢٠٠٠). خواص المياه والحرارة، مكتبة الفلاح، الكويت.
- (١٩٩٨). الفيزياء المتقدمة، المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر، دمشق.
- (١٩٩٧). الفيزياء العامة، جامعة القدس المفتوحة.
- David Halliday (2001). Fundamentals of Physics, 6th ed, John Wiley & sons. Inc, New York.
- David Halliday (1997). Fundamentals of Physics: EXTENDED, 5th ed, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Francis Weston Sears (1960). College Physics: Mechanics, Heat, and Sound, 3th ed, Addison.
- Graw - Hill (1998). Schum's Outline Beginning Physics II. Inc.
- M. Nelkon and P. Pavker (1975). Advanced level Physics, Heinemann Education Books, London.
- D.C.G Green (1985). Electronics II, 3th. ed, Pitman Publishing Limited, London.
- <http://library.thinkquest.org>.
- <http://www.darvill.clara.net>.
- <http://zebu.uoregon.edu>.
- <http://www.angelfire.com>.
- <http://www.glenbrook.k12.il.us/gbssci/phys/class/energy/u511a/html>.
- <http://www.wellesley.edu/physics/phyllisflemingphysics/104-p-workenergy.html>.
- <http://www.taftan.com/thermodynamics>.
- <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>.
- <http://www.cord.edu/dept/physics>.
- <http://www.hazemsakeek.com/physics-Lectures/Mechanics>.
- <http://www.grc.nasa.gov>.
- www.schoolarabia.net.

المشاركون في ورشة عمل الكتاب:

رام الله	محمد حمد
رام الله	د.عزيز شوابكة
رام الله	ياسر صبحي علي مرار
نابلس	مرسي عدنان محمد سمارة
نابلس	رضا زهير الصدر
بيت لحم	رائد صبحي أحمد
بيت لحم	تغريد راجي خليل بنسورة
الخليل	محمد صالح العطاونة
الخليل	عفيفة يوسف نعمان الشرباتي
جنوب الخليل	أيمن محمود الشروف
جتوب الخليل	محمد حسين عبد رومي
جنين	هاني فهمي أبو بكر
جنين	زياد أمين محمد أبو علي
مديرية قباطية	رباب عمر عارف جرار
قليلية	عيسى محمد صبري
قليلية	سفيان أحمد صالح صويلح
سلفيت	صالح عبد أحمد ياسين
بديا	معاوية إبراهيم السيد أحمد
القدس	ثروت طهبوب
القدس	عبد الرحمن
القدس	علا كاظم جابر
ضواحي القدس	أشرف عبد الله القرنية
ضواحي القدس	إميمة محمود محمود اسعيرات
كفر مالك	خديجة عبد اللطيف حسين
إريحا	إيناس عارف ناصر
إريحا	أنس إبراهيم نور
طولكرم	سالم طنحير
طولكرم	باسمة بليس
الوزارة	محمد صباح
الوزارة	رشا عمر

