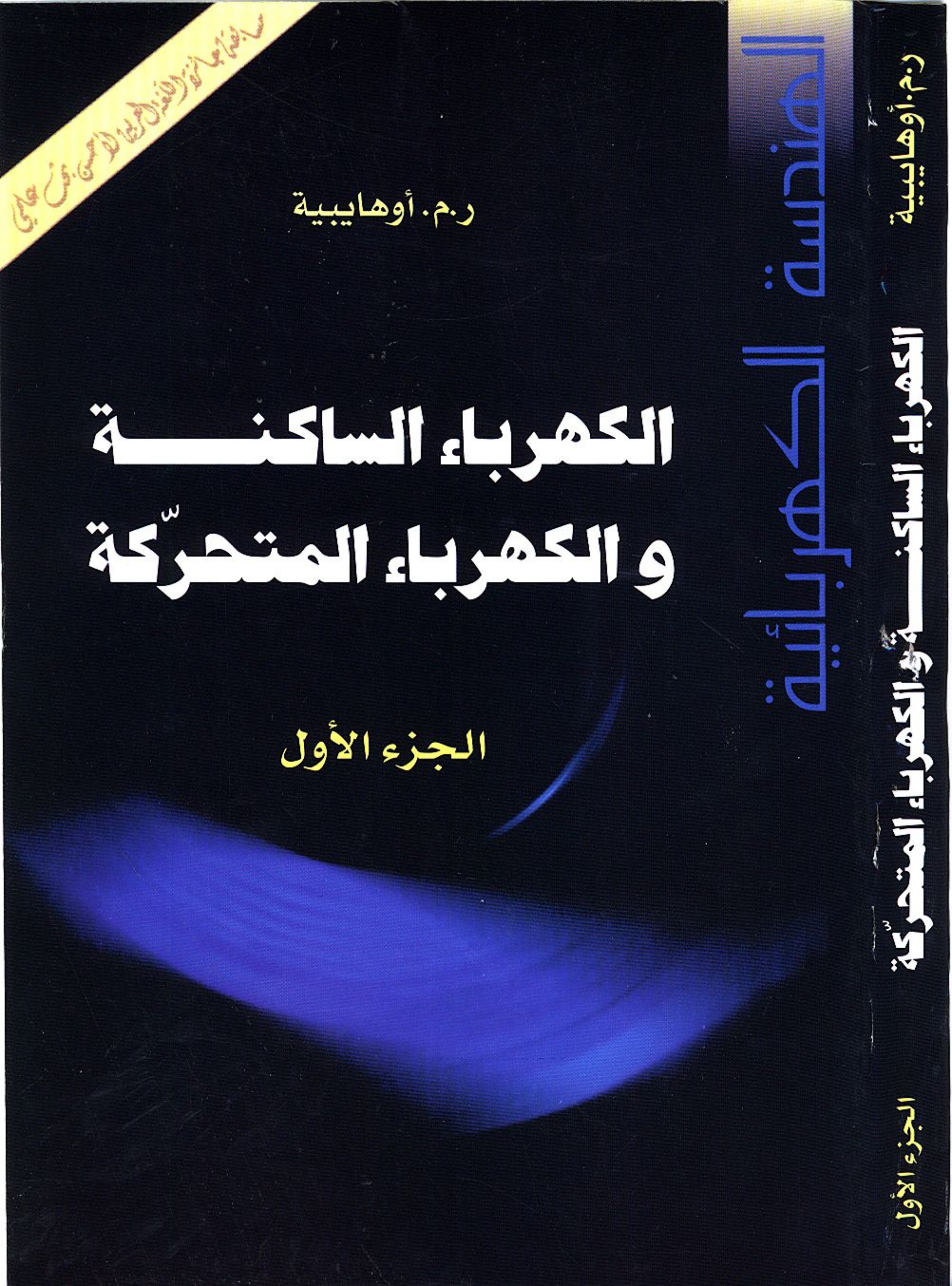
سابعها أبجد الفنون الحرة الأستاذ بن علي

ر.م. أوهايبية

الكهرباء الساكنة و الكهرباء المتحرّكة

الجزء الأول



الهندسة الكهربائية: 5

الكهرباء الساكنة و الكهرباء المتحركة: 3

ر.م. أوهايبية

الجزء الأول

الهندسة الكهربائية

ر.م. أوهايبية

الكهرباء الساكنة
و الكهرباء المتحرّكة

الجزء الأول

المجلس الأعلى للّغة العربية

© جميع الحقوق محفوظة للمجلس الأعلى للغة العربية– الجزائر، 2005.
الإيداع القانوني: 2005-1121
ر.د.م.ك: 4-4-9960-9961

تقديم
(ترجمة)

إن هذا الكتاب الذي عرضه عليّ الأستاذ رضا أوهايبية والذي يعالج موضوع الكهرباء عموما يعدّ ثمرة سنين من الجهد. ولقد شرّفني مؤلفه عندما طلب مني أن أضع له تقديما.

ويحتوي الكتاب الذي بين أيدينا على خمسة أجزاء، تطرق المؤلف في كلّ جزء إلى جانب من جوانب علم الكهرباء بعناية شديدة.

أما المواضيع فقد تناولها بصفة تدريجية وغالبا ما يوضّحها بأمثلة وتطبيقات تيسّر للقارئ الإستيعاب وتجعل الفائدة أشمل.

ولقد توخّى المؤلف في تناول المواضيع منهجية واضحة، بحيث رتب المواضيع ترتيبا بيداغوجيا، مع جعل محتواها يتماشى والمسائل الحديثة، والإكثار من المخطّطات والمجسّدات، وكأنّما يوجّه دعوة ملحّة للقارئ لاكتشاف المسائل المطروحة.

أما أجزاء الكتاب فقد وردت مستقلة يمكن قراءتها منفصلة عند الاقتضاء، وهكذا توصّل المؤلف إلى تغطية برنامج الثانويات تغطية شاملة وكاملة. ولعلّ هذا الكتاب يمكن أن يكون مرجعا في التدريس للأستاذ والتلميذ، بل وحتى لجمهور أوسع يرغب في الاطلاع على ميدان الكهرباء.

وإني متيقّن أن هذا الكتاب، بصدوره، سيُثري لا محالة المكتبة العلمية الوطنية.

شركي براهيم
مهندس متخرّج من معهد SUPELEC ، باريس.
دكتوراه مدرسة Nantes المركزية.
أستاذ محاضر في الآليات، جامعة تلمسان.

Préface

Le livre présenté par monsieur RIDHA OUHAIBIA traite de l'électricité en général, il est le fruit de plusieurs années de labeur. L'auteur me fait un grand honneur en me demandant de le préfacer.

L'ouvrage entre nos mains est constitué de cinq volumes, traitant chacun d'une partie de la science de l'électricité avec beaucoup de soins. les concepts sont introduits graduellement et souvent illustrés par des exemples et applications, rendant ainsi la compréhension aisée et l'intérêt plus grand.

L'auteur s'est livré à une grande discipline dans la rédaction de son livre, l'ordre des chapitres est ce qu'il y'a de plus pédagogique, le contenu est actualisé, abondamment illustré, l'invitation à la découverte est pressante.

Les volumes sont indépendants et peuvent être utilisés séparément pour des besoins particuliers. Le programme des lycées est ainsi largement couvert. Je pense que cet ouvrage pourra être utilisé comme livre de cours par des professeurs et leurs élèves mais aussi par un public plus large désirant se cultiver dans le domaine de l'électricité.

Ce livre enrichira de manière significative le fond documentaire scientifique national.

CHERKI BRAHIM
Ingénieur SUPELEC PARIS
Docteur de l'école centrale de Nantes
Maître de conférence en Automatique
à l'université de Tlemcen

مقدّمة

الحمد لله وحده والصلاة والسلام على من لا نبي بعده :

الرسالة الحضارية

لقد ظهرت في المكتبة العربية عدة مؤلفات وترجمات تمس ميدان الهندسة الكهربائية تمكن المختصين العرب التزود من هذا العلم الواسع والإبحار فيه بلغتهم الأم. وتعتبر هذه السلسلة المتواضعة جواب إلى كل من تكلم عن اللغة العربية ورماها بالعجز والقصر عن إقامة أبحاث علمية، فأقول لهم أن لسان العرب أوسع الألسنة مذهبا وأكثرها ألفاظا. كما تعتبر هذه السلسلة تتمة لجهد السادة الزملاء الذين سبقونا بالتأليف والترجمة لإثراء المكتبة العربية.

إن عجز العرب عن التقدم في الميدان العلمي والتكنولوجي لا يمكن بحال من الأحوال أن نجعل من سببه ضعف اللغة العربية كما يعتقد البعض، وإنما يرجع أساسا إلى ضعف إرادة العرب الذي أوصلهم إلى الاعتقاد بعدم جدوى لغتهم وعدم قدرتها على مواكبة العلوم. إن العربي يتشدق بلغة فانية ولا يتحمس للغة العربية الخالدة... بل وصل به الأمر أن يستحي بالنطق بها

ويهزأ ممن استعمل المصطلحات العربية، مدعيا عدم جدواها وقدرتها على مواكبة العلوم. لذا حق لنا أن نسأل هذا السؤال : هل العيب في اللغة العربية أم في أهلها الذين ناموا حتى تعدتهم عجلة الزمن من جهة، ومن جهة أخرى تفاني الغرب واستماتتهم في التقدم العلمي ؟

وللإجابة عن هذا السؤال نقول وبالله التوفيق : إن موقع الناس من العلم بقدر درجاتهم في الإلمام به وكلما كانت إرادة أمة قوية في بحوثها واكتشافاتها، أعطت لنفسها فرصة التقدم العلمي من جهة وفرصة تبليغ لغتها من جهة أخرى. وهذا ما أدركه الغرب تمام الإدراك فراح يتوغل في البحث والاكتشاف حتى جعل من حضارته ولغاته المتعددة تراثا لا يمكن الاستغناء عنه، وبالمقابل غفل عنه العرب فتخلفوا وتقهقروا وعجزوا عن استرجاع أمجاد أجدادهم الذين كانوا السباقين في الميدان العلمي والمعرفي وجعلوا من اللغة العربية أداة معرفة لا يمكن الاستغناء عنها.

هو نداء أبعثه إلى كل غيور على هذه الأمة أن يسهم بأفكاره ونتاج قلمه لإثراء المكتبة العربية بكل ما تحتاج إليه من علوم ومعرفة، كل في اختصاصه. عل الله إن غيرنا ما بأنفسنا من كسل وخمول وإجحاف في حق لغتنا الأم، غير الله سبحانه وتعالى واقعنا لنستعيد ما كان عليه أسلافنا الأولون، وإنها لمسؤولية أمام الله وأمام التاريخ وأمام الأمة العربية... رسالة أبعث بها لأجيال المستقبل، الشباب العربي، عله يرفع التحدي فيحظى بما لم نحظ به نحن، وينهض بما عجزنا عنه نحن ويشيد ما كان من حضارة مدنية.

فصول الكتاب

رتبت فصول الكتاب بحيث يتدرج الطالب في ميدان الهندسة الكهربائية ابتداء من المفاهيم الأولية إلى غاية أن يتمكن من استيعاب بعض المفاهيم الأساسية لهذا العلم، مع إمكانية اكتسابه لخبرة تجعله يحيط بعض الشيء بالدارات الإلكترونية، وقد أرفقت مواضيع الكتاب بأمثلة وتطبيقات عملية تعين الطالب على التعامل السهل مع مضمون الكتاب، بالإضافة إلى وضوح الصورة أمامه فيما يخص تطبيقات الكهرباء والإلكترونيات في الحياة اليومية.

عموما فإن الكتاب مقسم إلى خمسة أجزاء، كل جزء منها يتناول ميدانا محددا من علم الكهرباء، إلا الجزء الأول فهو يحتوي على بابين :

الجزء الأول : الكهرباء الساكنة + الكهرباء المتحركة.

الجزء الثاني : الدارة الكهربائية.

الجزء الثالث : الكهرومغناطيسية.

الجزء الرابع : القياس الكهربائي (مبادئ تصميم وصناعة أجهزة القياس).

الجزء الخامس : الإلكترونيات (النوابط الإلكترونية الفعالة).

كل جزء يحتوي على عدة فصول، وكل فصل يعالج مفهوما معينا. يبدأ الجزء الأول بالحديث عن الكهرباء الساكنة والكهرباء المتحركة حيث فصول الباب الأول تدور حول دراسة الشحنات الكهربائية ومدى تأثيرها في المحيط، وأما مواضيع الباب الثاني فتعالج حالة تحرك هذه الشحنات عبر محيط معين وقد تناولنا على وجه الخصوص الحركة عبر الأسلاك الناقلة. وحين

يغطي القارئ الكريم هذا الجزء يمكنه أن يباشر فصول الجزء الثاني بحيث يستطيع مع نهاية هذا الباب أن يتحكم في الدارات الكهربائية.

ويشتمل الجزء الثالث على دراسة مدى تأثير الشحنات الكهربائية على المحيط بين قوى الجذب والنفر لتكون دراسة تمهيدية للكهرومغناطيسية لتكون بدورها مدخلا مبسطا لمواضيع الجزء الرابع الذي يتناول تصميم وكيفية صنع بعض أجهزة القياس الشائعة الاستعمال. وأما الجزء الخامس فهو خاص ببعض النوابط الإلكترونية القاعدية لتكون دراسة تمهيدية للدارات الإلكترونية، التي ستتبع فيما بعد بتوفيق الله عز وجل.

بنية البحث

يتناول الكتاب المواضيع بأسلوب بسيط يختلف عن المألوف ـ وما نحسبه إلا كذلك ـ من عدة نواحي نختصرها في النقاط الموضحة أدناه.

تعتمد بنية الكتاب على تناول المواضيع مستقلة عن بعضها البعض من بدايتها بحيث حاولنا ألا نستعمل مفاهيم في موضوع معين تبقى مبهمة، يكون الطالب لم يتطرق لها بعد. فالمواضيع تعالج عن طريق سؤال وجواب، بالإضافة إلى أسلوب المخاطبة في بعض الأحيان لشد انتباه القارئ الكريم ليولي المفهوم المتناول أهمية خاصة.

فالكتاب لا يتطلب لقارئه سوى بعض المفاهيم الرياضية البسيطة ليتدرج لما هو أعقد وأصعب. فالانطلاقة تكون فكرة بسيطة تخلو من الرياضيات المحضة، حيث يعتمد على شرح المفاهيم الفيزيائية الهامة.

بالإضافة إلى اصطحاب مفاهيم الكهرباء والإلكترونيات بأمثلة عملية من الحياة اليومية للطالب، مع الإشارة إلى النقاط الهامة من الموضوع ليتسنى للطالب أن يلخصه ويخرج بأكبر قسط ممكن من المعرفة، ولن يكون ذلك إلا بالتخلي عن البراهين الرياضية كخطوة أولى لتوضيح المفاهيم مع التركيز على الجانب الفيزيائي لشرحها، فعند طرح فكرة معينة نقوم بمعالجتها من خلال الشرح الفيزيائي للأشياء لنتقدم تدريجيا في الموضوع نحو البراهين الرياضية التي يتم توضيح كيفية الوصول إليها.

والهدف المنشود من وراء هذا الأسلوب أن تنشأ للطالب استقلالية نسبية عن الأستاذ قصد بعث نزعة البحث والتنقيب لديه ليتمكن من تشخيص وتحليل المواضيع لوحده، وهو السبب المقصود من وراء التكرار الملاحظ في الكتاب. وللتأكد من أن المفاهيم الهامة قد استوعبها القارئ دون عناء، فقد أدرجت خلال كل فصل خمسة أسئلة ضمن المسائل المقترحة تشكل خلاصة الموضوع المتطرق له، وجب على الطالب أن يجيب عنها قبل التطرق لمواضيع أخرى. ونظرا لأن المهارة والخبرة في التعامل مع الدارات الإلكترونية تحتاج إلى تدريب متنوع وتمرس مكثف، وقصد رفع المستوى فإن هذه السلسلة اشتملت ـ بالإضافة إلى أمثلة وتمارين محلولة ـ على مسائل في نهاية كل فصل، جاءت لتدعيم الدروس يطلب حلها والبرهنة عليها، وسوف يجد القارئ الكريم حلولها في آخر الكتاب.

الخاتمة

لقد اكتملت هذه السلسلة بعد عمل مضني ومتواصل دام خمس سنوات في الإعداد والمراجعة، التقنية منها واللغوية، وأملي كل أملي أن تكون هذه السلسلة مفيدة للطالب والمترجم والمهندس والفني، وكافة الزملاء الذين يؤمنون بلغة الضاد ويعملون في حقل ودعم التعريب.

وما أزكى نفسي فأنا لا أعتبر، بل ولم يخطر على بالي، أن هذا الجهد الذي بين يديك فريد كامل وجب تبنيه جملة وتفصيلا. بل إني أقف عبر كل سطر وكل كلمة من هذه السلسلة أنصت إلى كل نصيحة مخلصة تنبع من القلب إلى القلب، أو إلى أي نقد بناء من غيور على أمته يشعرني بخطئي، أو إلى أي مراجعة تدعم أو تؤاخذ ما جاء في السلسلة... إن صدري رحب لكل من يهمس في أذني بنصيحة أو عتاب أو مؤاخذة أو نقد بناء.

وختاما أتقدم بالشكر الجزيل إلى كل الذين وقفوا وراء إنجاز هذا الجهد من قريب أو من بعيد، وإلى كل الذين لم يبخلوا علي بمساعداتهم العملية ومقترحاتهم المفيدة، وعلى سبيل المثال لا الحصر السادة الباحثين العاملين بالميدان : الدكتور محمد خضراوي، الدكتور عبد الحليم بن بلقاسم، الدكتور إبراهيم بوزوية، الأستاذ كريم لكحل، الأستاذ أحمد جمعي. ولا يفوتني أن أتوجه بالشكر كذلك إلى عمال وأساتذة المعهد الوطني للكهرباء والإلكترونيات (INELEC)، جامعة بومرداس، وأخص منهم بالذكر الدكتور

العربي رفوفي، الدكتور الحاج بوردوسن، الدكتور كمال مغريش، الدكتور زكي صاري، السيد يوسف بوستة، السيدة فريدة زيراري، السيدة أسيا بري. كما أنحني إعجابا وتقديرا أمام الآنسة وافية أوهايبيه للصبر الجميل الذي تحلت به والمجهود الجبار الذي بذلته لتدفعني دوما نحو إتمام هذا العمل. كما لا يفوتني وأنا أختم كلمتي هذه، أن أقف وقفة إجلال وعرفان أمام شريكة أحلامي وطموحاتي السيدة نسيمة العربي أوهايبيه وأشيد بحماسها الفياض فهي لم تدخر أي جهد أو نصح لتوفر لي الجو المناسب للبحث والكتابة مساهمة منها في ترقية اللغة العربية، فشكرا وألف شكر. إلى كل هؤلاء أثني عليهم وأسأل الله لهم خير الجزاء.

وأخيرا أتوجه إلى كل العاملين بالميدان العلمي والمهتمين بالتعريب أن يقوّمونا إن أخطأنا وأن يوجهونا الوجهة الحق. أسأل الله أن يرزقنا الصدق والإخلاص في القول والعمل، وكما منّ بإتمام هذا الكتاب أن يتم النعمة بقبوله وأن يجعله نافعا لعبده وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين.

ر.م. أوهايبيه

عين طاية، في 20 يونيو 2000

مدخل

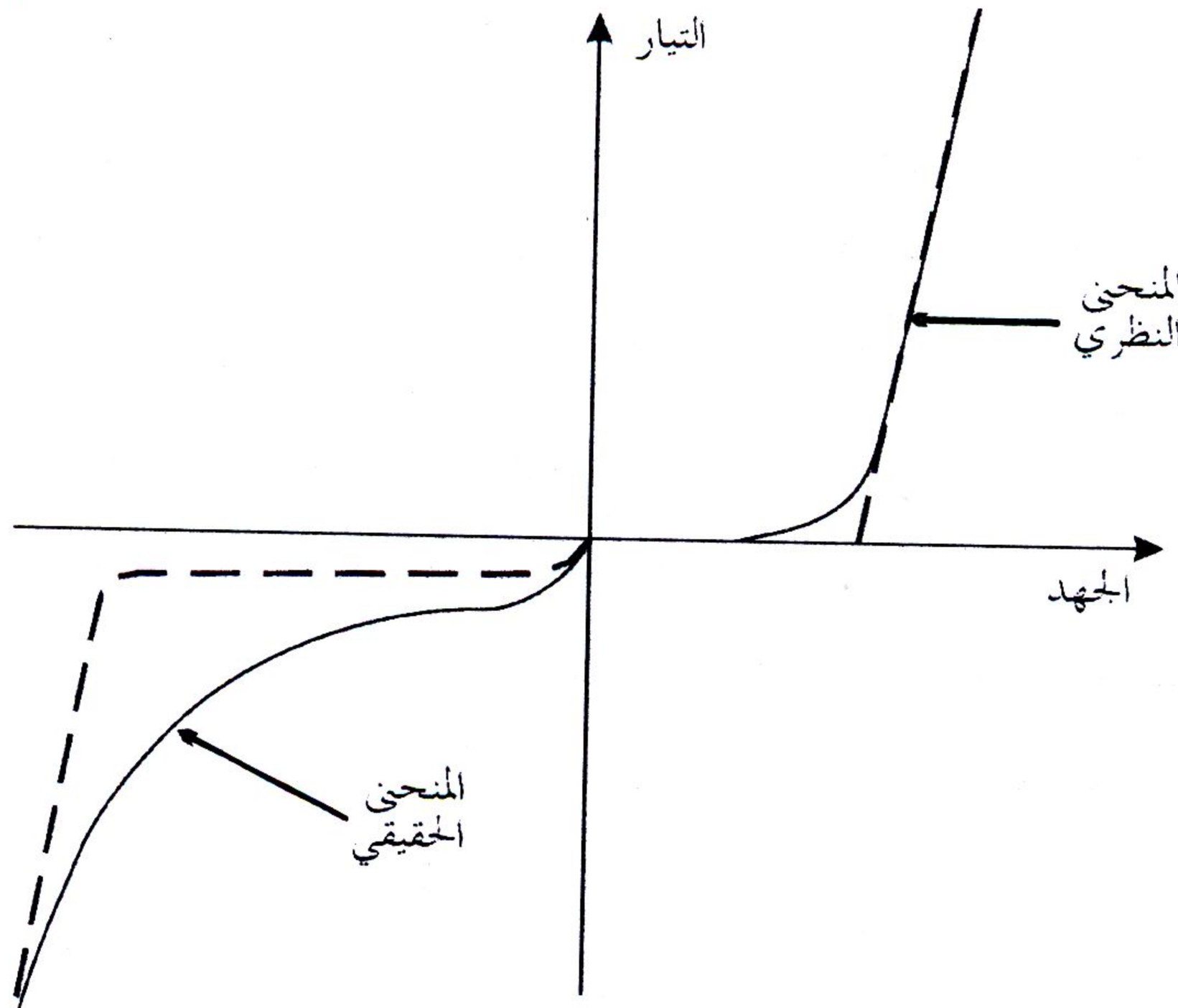
معالم من الرياضيات

استعمل الإنسان منذ القديم – كالفراعنة مثلا – الرياضيات لكي يتغلب على همومه ومشاكله، وليوفر لنفسه الراحة والسعادة. كانت هذه الرياضيات تقليدية بدائية في أول الأمر ثم تطوَّرت شيئا فشيئا بظهور علماء، فأصبحت علما مستقلا بذاته يتطور بعيدا عن التطبيقات والاستعمالات المعاشة. وبعد أن نظر إليها العلماء على أنها أداة لتطوير الحياة إذ تخدم علوما أخرى، أصبحت علما تطبيقيا بتطوره تكتمل حياة الفرد وتقترب من الرفاهية، وبذلك شُيِّدت الحضارات ومنها الحضارة الإسلامية الراقية.

وقد كانت الرياضيات لفترة طويلة مُقتصرة على ذوي الحظ من النبلاء والنبغاء، وأما الآن فقد أصبح الإلمام بها ضروريا للتحكم في تقنيات العلوم الصناعية كالمعلوماتية مثلا. وفي هذه المقدمة المختصرة لن تجد من الرياضيات إلا المفاهيم التي يُستعان بها لفهم مواضيع هذا الكتاب، والتي لا يمكن الاستغناء عنها، وإن أردت التبحُّر فيها فما عليك إلا بالكتب المختصة. واعلم أنه لن نلجأ – من خلال هذا الكتاب – إلى البرهنة على العلاقات الرياضية البحتة، إلا التي تتعلق بمفاهيم الكهرباء والإلكترونيات لأنهما هدفنا من هذا البحث.

1. المنحنى البياني

استعمال المنحنيات ظاهرة شائعة في العلوم الصناعية، إذ تسمح بفهم تغيرات وتصرفات متغير معين بالنسبة لمتغير ثان، حيث يُحمل المنحنى على معلم متعامد، يكون فيه المحور العمودي هو محور التراتيب، والمحور الأفقي هو محور الفواصل (الشكل 1).



الشكل 1. تمثيل بياني لدالة حقيقية ش(ف).

يحتوي محور التراتيب على قيم المتغير الأول وهو الدالة المرغوب في دراستها، في حين يحتوي محور الفواصل على قيم المتغير الثاني وهو عبارة عن تسلسل قيم يقارن بواسطتها المتغير الأول.

فمثلا منحنى خاصية الثنائية[1] الممثل في الشكل 1 يسمح بمعرفة الحالة الراهنة للثنائية، قاطعة مفتوحة كانت أم مغلوقة، وذلك بمراقبة عبور التيار وهو المتغير الأول مقارنة بالجهد المبذول عبر الثنائية وهو المتغير الثاني.

وتمتاز العلوم الصناعية بأنها تقيم دوما مقارنة بين المنحنى المحصل عليه من خلال التجربة ــ ويسمى المنحنى الحقيقي ــ والمنحنى المحصل عليه من خلال الدراسة النظرية ويسمى المنحنى النظري وهو لا يخضع إلا للدراسة الرياضية التي تأخذ بعين الاعتبار بعض العوامل المؤثرة المعروفة.

بل إن المنحنى النظري يشابه كثيرا المنحنى المثالي الذي لا يخضع هو بدوره لأي تأثيرات خارجية أو داخلية. وفي الفصل 5 من الجزء الخامس معالجة مفصلة لهذه المفاهيم والفرق بينها عند دراسة مفهوم الثنائية.

تقام هذه المقارنة لرؤية مدى تأثر المنحنى النظري بالعوامل الخارجية، وذلك لتفادي الخطأ المحتمل سعيا وراء فعالية وكفاءة النظام.

ويختلف مصدر هذه التأثيرات الخارجية حسب الدالة أو الوسائط المدروسة فمنها المواد المستعملة لصناعة مكونات هذا النظام، المحيط الوسطي المتواجد فيه النظام، تأثير حرارة المحيط، الضوضاء القريبة أو البعيدة، كيفية تركيب المنشآت الصناعية ومكوناتها، بالإضافة إلى مدى صلاحيتها.

---

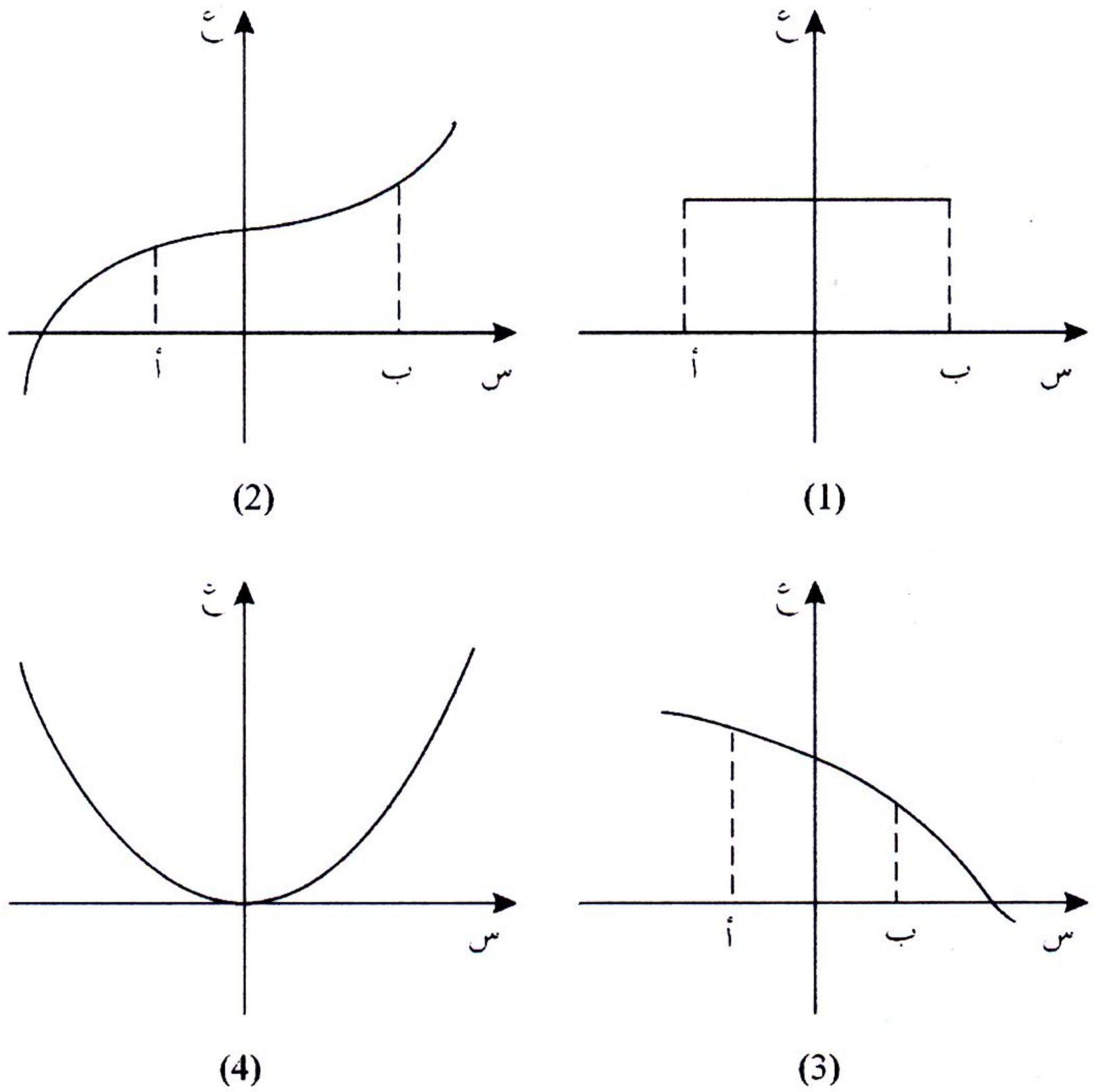
1. طالع الفصل 5 من الجزء الخامس.

2. دراسة الدوال

1.2. تغيّرات الدالة

تقام هذه الدراسة لمعرفة اتجاه الدالة بحيث :

1. تكون الدالة الحقيقية ع لمتغير حقيقي س – وتُكتب ع(س) – ثابتة في قطعة المستقيم (أ،ب) عندما تكون القطعة (أ،ب) موازية لمحور المتغير الثاني وهو محور الفواصل (الشكل 1.2). وترجمة رياضية، نقول أن كل القيم المسجلة للمتغير س داخل المجال (أ، ب) تؤدي حتما إلى المتغير ع والذي يكون ثابتا داخل هذا المجال.



الشكل 2. دراسة تغيُّرات دالة ع(س) مُعيَّنة.

2. تكون الدالة الحقيقية ع(س) متزايدة في قطعة المستقيم (أ،ب) عندما يكون مسار الدالة المدروسة يتصاعد من أسفل اليسار نحو أعلى اليمين داخل القطعة (أ، ب) كما هو مبين على الشكل 2.2.

3. تكون الدالة الحقيقية ع(س) متناقصة (الشكل 3.2) في القطعة (أ، ب) عندما يكون اتجاه الدالة من أعلى اليسار إلى أسفل اليمين داخل القطعة (أ، ب).

في علم الرياضيات، أسندت كلمة "مجال" لقطعة منحنى الدالة الحقيقية (أ، ب) وتقرأ المجال [أ، ب]. وإليك هذا المثال : تدرس تغيرات الدالة ع(س) حيث لكل عدد حقيقي ما يقابله من مربَّعه، أي ع(س) = س^2. من خلال دراسة تغيرات هذه الدالة الموضحة في الشكل 4.2، يتضح أنها متزايدة في مجال القيم الموجبة من محور الفواصل، في حين تكون متناقصة في مجال القيم السالبة. وعليه، من الممكن جدا أن تكون دالة معينة متزايدة ومتناقصة في آن واحد خلال مجال معين.

2.2. تناظر المنحنى

لتكن دالة حقيقية ع(س)، حيث المسار (ي) هو منحناها البياني المحمول على معلم متعامد. تناظر المنحنى هو تماثل الدالة ع(س) بالنسبة لمرجع معين، يكون إما نقطة ثابتة من المعلم المتعامد وإما محورا مستقيما معادلته العامة ع = أس + ب، يُحتمل أن يكون أحد محوري المعلم المتعامد. والبحث عن التناظر يتم بواسطة التحقق من أن الدالة ع(س) زوجية أو فردية وفق الشرطين التاليين :

الحالة الأولى : ع(س) = ع (–س) : وهي الحالة التي تكون فيها ع(س) دالة زوجية توافق تناظرا حول محور مستقيم، قد يحتمل أن يكون موازيا لمحور الفواصل أو لمحور التراتيب.

الحالة الثانية : ع(س) = –ع (–س) : وهي الحالة التي توافق ع(س) دالة فردية حيث تحتوي هذه الدالة على مركز تناظر ليس شرطا أن تكون إحداثياته النقطة المركزية للمعلم، أي النقطة (0، 0).

وكمثال إليك الدالة ع(س) = $س^2$ الممثلة في الشكل 4.2، إذ يطلب منك تحديد نوع التناظر. الدالة هي : ع(س) = $س^2$، وعليه :

$$ع(–س) = (–س)^2 = س^2$$

$$–ع(–س) = – (–س)^2 = – س^2$$

وتلاحظ أن ع(س) = ع(–س)، وعليه فإن الدالة زوجية وبذلك فهي تحتوي على محور تناظر. ومن خلال الشكل 4.2، يمكنك تحديده إذ الدالة متناظرة حول محور التراتيب.

3.2. مشتق الدالة

تسمح دراسة مشتق دالة ع(س)، وتكتب عَ(س)، بالبحث عن القيمة القصوى – موجبة كانت أم سالبة – التي يمكن للدالة ع(س) تسجيلها لمتغير س، والذي تنعدم عنده الدالة المشتقة عَ(س).

تكون دالة حقيقية ع، ذات متغير حقيقي س، قابلة للاشتقاق في النقطة $س_0$ إذا كانت النسبة $\frac{ع(س) - ع(س_0)}{س - س_0}$ تتناهى إلى حد معلوم عندما س يتناهى إلى $س_0$. يدعى هذا الحد بمشتق ع للنقطة $س_0$.

لسنا بصدد إعطاء درس في الرياضيات، ولكن شعارنا **"فذكر فإن الذكرى تنفع المؤمنين"**، ولذلك سوف نقتصر على سرد القواعد العامة لكيفية الاشتقاق.

1. الثابت ثا

مهما كان الثابت الحقيقي ثا، فإن اشتقاقه يكون دائما معدوما، أي :

$$(ثا)' = 0 \qquad (k)' = 0$$

2. المتغير س

مهما كان المتغير س، والعدد الطبيعي ن حيث ن ≥ 1، فإن الاشتقاق هو :

$$(س^1)' = 1 = 1 \times 1 = (س^0)1 \qquad (X^1)' = (X)' = 1$$

$$(س^ن)' = ن.(س^{ن-1}) \qquad (X^n)' = n.(X^{n-1})$$

3. الدالة العددية

مهما كان المتغير الحقيقي س، ن عدد طبيعي (ن ≥ 1)، تا وها دالتان حقيقيتان للمتغير س، فإن الاشتقاق يكون وفق المعادلات التالية :

$$(\text{تا}^{\text{ن}}(\text{س}))' = \text{ن تا}'(\text{س}) \cdot \text{تا}^{\text{ن}-1}(\text{س})$$

$$\left(f^n(x)\right)' = n\, f'(x) \cdot f^{n-1}(x)$$

$$(\text{تا}(\text{س}) \cdot \text{ها}(\text{س}))' = \text{تا}'(\text{س}) \cdot \text{ها}(\text{س}) + \text{تا}(\text{س}) \cdot \text{ها}'(\text{س})$$

$$\left(f(x) \cdot g(x)\right)' = f'(x) \cdot g(x) + f(x) \cdot g'(x)$$

$$\left(\frac{\text{تا}(\text{س})}{\text{ها}(\text{س})}\right)' = \frac{\text{تا}'(\text{س}) \cdot \text{ها}(\text{س}) - \text{تا}(\text{س}) \cdot \text{ها}'(\text{س})}{\text{ها}^2(\text{س})}$$

$$\left(\frac{f(x)}{g(x)}\right)' = \frac{f'(x) \cdot g(x) - f(x) \cdot g'(x)}{g^2(x)}$$

4. الدالة الجيبية

مهما كان المتغير الحقيقي س وأ عدد حقيقي ثابت، فإن الاشتقاق يكون كالتالي :

$$(\text{جب أس})' = \text{أ تجب (أس)} \qquad (\sin ax)' = a \cos(ax)$$

$$(\text{تجب أس})' = -\text{أ جب (أس)} \qquad (\cos ax)' = -a \sin(ax)$$

4.2. الدالة الدورية

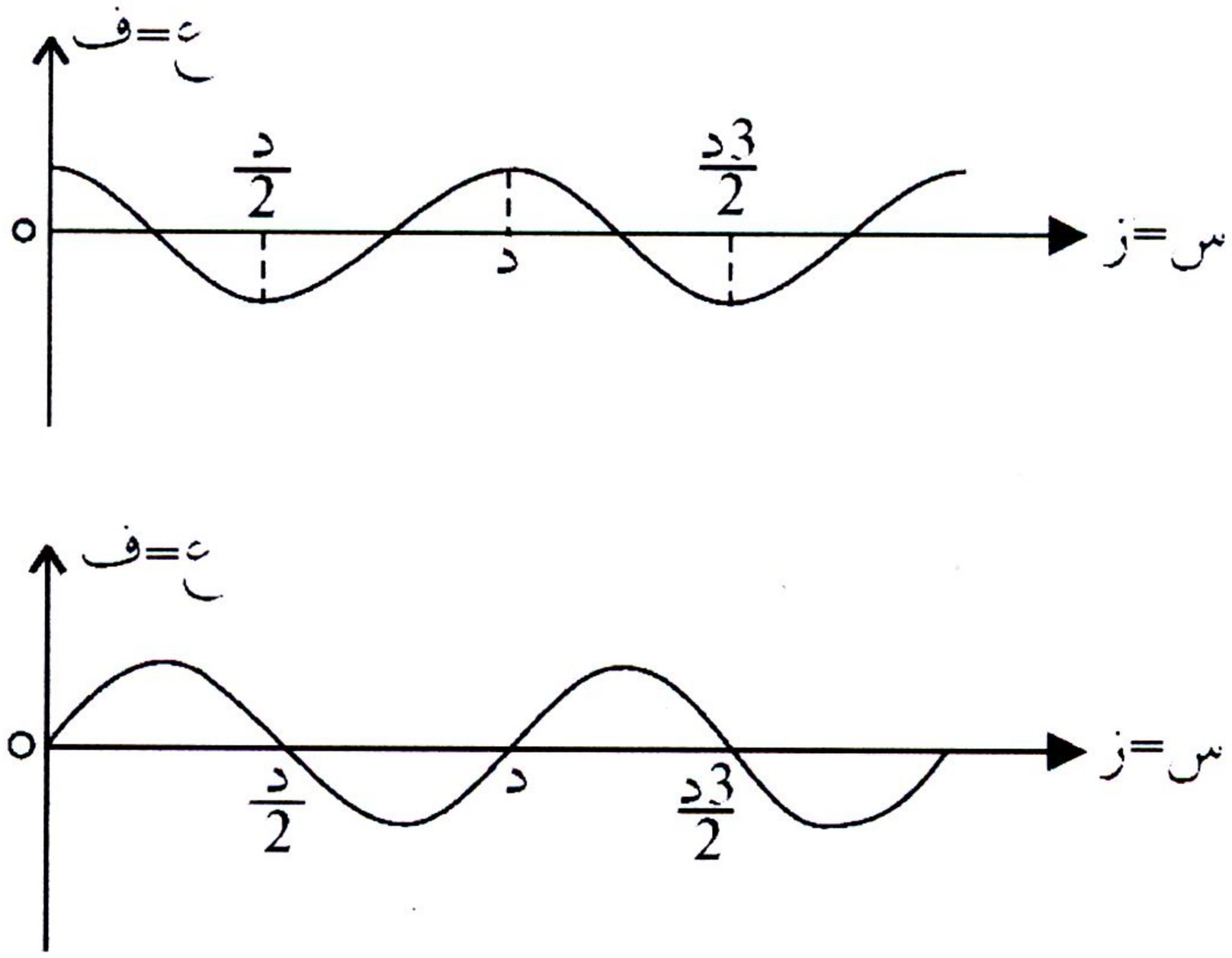
تكون الدالة ع(س) دورية ذات دور د عندما — ومهما كانت قيمة المتغير الحقيقي س — تستوفي الشرط : ع(س) = ع(س+د). وإذا كانت الدالة دورية ذات دور د، فإنه من البديهي أن تكون كذلك بالنسبة للدور ن.د، حيث ن ثابت حقيقي وعليه :

$$\text{ع(س+2د)} = \text{ع(س+د+د)} = \text{ع(س)} \qquad f(x+2T) = f(x+T+T) = f(x)$$

فنستنتج المعادلة التالية :

$$f(x+nT) = f(x) \qquad \text{ع(س+ن د) = ع(س)}$$

يكون الدور د لدالة دورية ع(س) هو أصغر دور موجب لهذه الدالة، وما الدور ن.د إلا مجموعة إضافية للدور د، ولعل أكثر الدوال الدورية استعمالا هي الدوال الجيبية كالممثلة في الشكل 3، حيث رسم المنحنى يكون لأصغر دور د لدراسة تغيرات الدالة ع(س).



الشكل 3 الدوال الجيبية : ع(س) = ف(ز)

3. المعادلة التربيعية

1.3. حل المعادلة

سوف نقتصر على دراسة هذا النوع من المعادلات دون غيرها، وذلك لأن غيرها خلال هذا الكتاب يكاد أن يكون معدوما.

إن معادلة من الدرجة ن تحتوي على ن جذر، حيث يمثل الجذر حل هذه المعادلة، أي أن تعويضه داخل هذه المعادلة يؤدي إلى انعدامها. فإن كانت معادلة تربيعية أي أنها معادلة من الدرجة الثانية، أي ن = 2، فإنها تحتوي على جذرين اثنين، س1 وس2، كحل لها يجعل تعويض أحدهما في هذه المعادلة تنعدم.

تكتب عادة معادلة الدرجة الثانية على شكل أ س^2 + ب س + جـ = 0، حيث أ عدد حقيقي يختلف تماما عن الصفر، ب وجـ عددان حقيقيان معينان، من الممكن أن ينعدم أحدهما أو كلاهما. عندها تُعرض عليك ثلاث حالات ترتبط بالعبارة (ب^2 − 4 أ جـ) = Δ، حيث Δ يعرف بالمميز وهو حرف إغريقي يقرأ دلتا.

2.3. كيفية استخراج الجذرين

بواسطة المميز Δ، نتوصل إلى حل المعادلة وذلك عن طريق دراسة الأوجه الثلاثة الممكنة لهذا المميز Δ.

الحالة الأولى : ب^2 -4 أجـ > 0 $\quad b^2 - 4ac > 0$

والجذران اللذان يستوفيان هذه العلاقة تكتب عبارتهما كالتالي :

$$س_1 = \frac{-ب - \sqrt{Δ}}{2أ} \qquad x_1 = \frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}$$

$$س_2 = \frac{-ب + \sqrt{Δ}}{2أ} \qquad x_2 = \frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}$$

وعليه تكتب معادلة الدرجة الثانية السابقة كالتالي :

$$ax^2+bx+c=0 \qquad \text{أس}^2 + \text{ب س} + \text{جـ} = 0$$

$$a(x-x_1)(x-x_2)=0 \qquad \text{أي : أ(س} - \text{س}_1\text{) (س} - \text{س}_2\text{)} = 0$$

الحالة الثانية : $\Delta = b^2-4ac=0$ **الحالة الثانية : ب^2-4 أ جـ = 0**

ويوافق هذه العبارة عدد حقيقي يمثل حلها، تكتب عبارته كالتالي :

$$x_0=-\frac{b}{2a} \qquad \text{س}_0 = -\frac{\text{ب}}{2\text{أ}}$$

ويعرف هذا الحل بالجذر المضاعف، أي الجذران س_1 و س_2 متطابقان، وبذلك تكون عبارة المعادلة كالتالي :

$$ax^2+bx+c=0 \qquad \text{أس}^2 + \text{ب س} + \text{جـ} = 0$$

$$a(x-x_0)(x-x_0)=0 \qquad \text{أي : أ(س} - \text{س}_0\text{) (س} - \text{س}_0\text{)} = 0$$

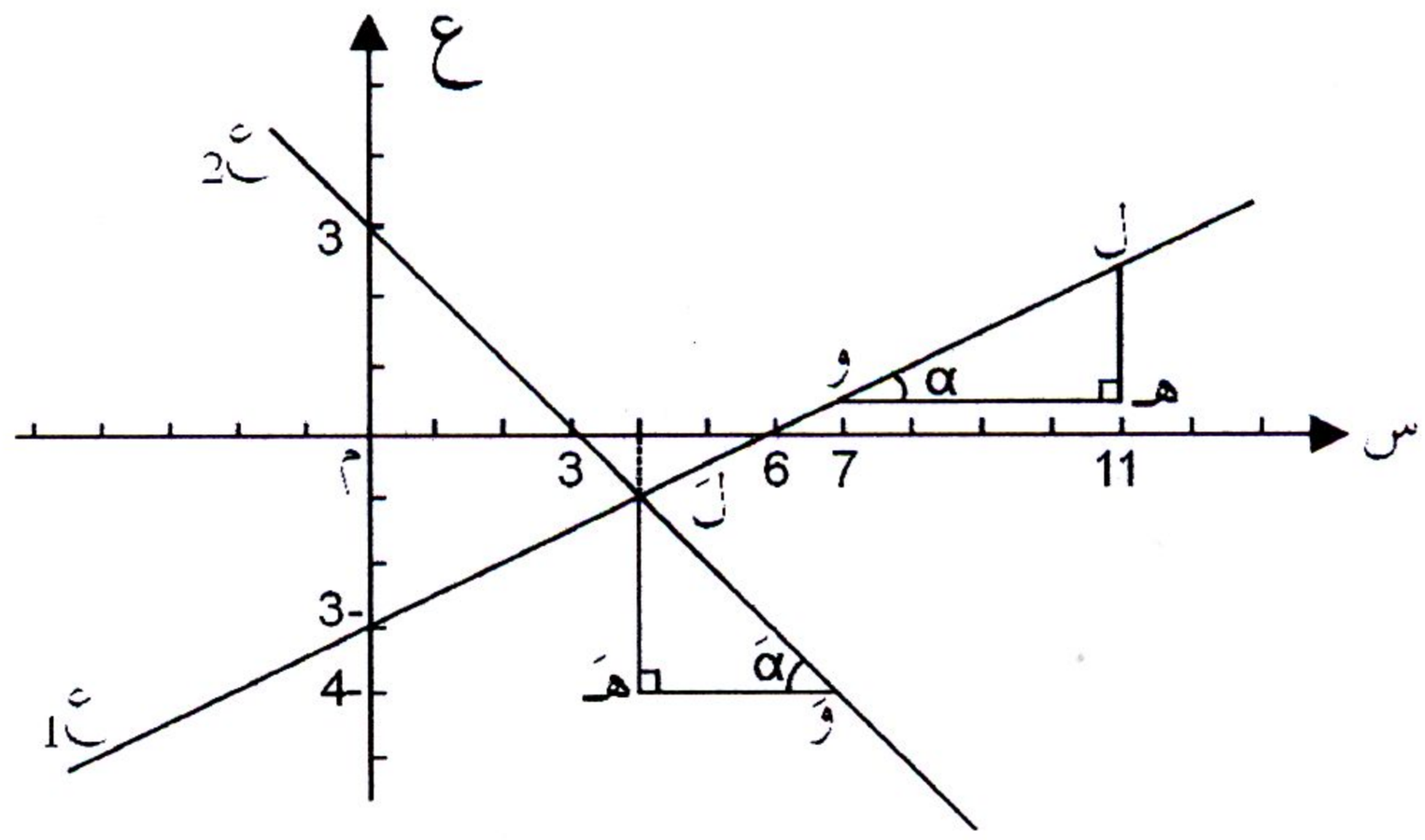
$$a(x-x_0)^2=0 \qquad \text{وعليه : أ (س} - \text{س}_0\text{)}^2 = 0$$

الحالة الثالثة : $\Delta = b^2-4ac<0$ **الحالة الثالثة : ب^2- 4 أجـ < 0**

لا وجود لأعداد حقيقية تصادق على هذه العلاقة، إذ لا يمكن إيجاد جذر مربع لعدد سالب ولذلك فلا حل لهذه المعادلة... إلا أن الأعداد المركبة ظهرت للوجود لمعالجة مثل هذه الحالات، وقد خصص الفصل 10 من الجزء الثاني لدراسة هذه الحالة الخاصة وهي عندما يكون $\Delta < 0$.

ختاما ومن خلال هذه الحالات الثلاث، قد لاحظت أن عدد الجذور مرتبط بإشارة المميز $\Delta = ب^2 - 4$ أجـــ، كما تأخذ المعادلة أس^2 + ب س + جـــ إشارة أ داخل مجال الجذرين س$_1$ وس$_2$ في حين تأخذ إشارة (–أ) خارج المجال المذكور.

واعلم أن كل دالة من الدرجة الثانية يكون مسار منحناها عبارة عن خط مكافئ، كالدالة ع(س) = س^2 التي مثل منحناها في الشكل 4.2.



الشكل 4. استخراج معادلة الخط المستقيم.

4. معادلة الخط المستقيم

1.4. الدالة الخطية

عندما يكون س المتغير الحقيقي الثاني على محور الفواصل وع المتغير الأول على محور التراتيب، والمعادلة المدروسة على الشكل ع(س)=أس+ب، فإنها تعتبر معادلة الخط المستقيم حيث أ عدد حقيقي

ثابت يمثل ميل الخط بالنسبة لمحور الفواصل، وأما العدد الحقيقي ب فهو ثابت يمثل تقاطع هذا الخط المستقيم بمحور التراتيب (الشكل 4).

ولتحديد اتجاه ومسار الخط المستقيم، تدرس الدالة ع(س) = أس + ب، حيث العَدد الحقيقي أ هو الذي يحدد اتجاه وإشارة الدالة. فإن كان أ > 0 فإن الدالة متزايدة، وأما إن كان أ <0 فإن الدالة متناقصة، وفي حالة ما إذا كان أ = 0 فإن الدالة ثابتة وموازية لمحور الفواصل حيث ع = ب (الشكل 1.2).

كل دالة معادلتها العامة تكتب في الشكل ع(س) = أس + ب، هي دالة خطية إذ المتغير ع يجمعه تناسب خطي بالمتغير الحقيقي س. وتكون هذه الدالة تآلفية، أي ع(س) = أس، عندما تتطابق النقطة ب بالمركز م أو بعبارة أخرى عندما يمر الخط المستقيم عبر النقطة المبدئية ذات الاحداثيات (0، 0).

2.4. حل المعادلة

لتوضيح ذلك ومساعدتك على استخراج معادلة الخط المستقيم، إليك هذا المثال المطابق للشكل 4 ؛ يُطلب منك إيجاد معادلتي الخط المستقيم ع$_1$ و ع$_2$:

1. البحث عن معادلة الخط المستقيم ع$_1$: من خلال الشكل 4، تلاحظ أن نقطة تقاطع المستقيم بمحور التراتيب احداثييها هي (0 ،-3)، أي أن الترتيبة ع = -3، وعليه ب = -3. وأما لاستخراج الميل أ فيكون كالتالي :

$$\text{أ} = \text{ظل}\,\alpha = \frac{\text{ل هـ}}{\text{و هـ}} = \frac{7-11}{0.5-2.5} = \frac{4}{2} = 2$$

وعليه أ = 2 وهو موجب أي أن الدالة متزايدة كما يظهر على هذا الشكل. وبذلك تكون معادلة المستقيم ع$_1$ كالتالي :

ع = 2 س - 3.

2. البحث عن معادلة المستقيم ع$_2$: إحداثيا نقطة التقاطع هي (0، +3)، أي أن بَ = +3، وأما الميل فهو كالتالي :

$$\text{أ}' = \text{ظل}\,\alpha' = \frac{\text{ل'هـ'}}{\text{و'هـ'}} = \frac{-4-(-1)}{7-4} = \frac{-3}{3} = -1$$

فإن كان أ'< 0 تكون الدالة متناقصة وهو ما يؤكده الشكل 4.

وعليه معادلة الخط المستقيم ع$_2$ هي كالتالي :

ع$_2$ = − س + 3.

الكهرباء الساكنة

الكهرباء الساكنة أو ما يسمى إصطلاحا الكهروسطاتيك، هو ذلك العلم الذي يتعرض لدراسة الظواهر الفيزيائية المتعلقة بوجود شحنات كهربائية ثابتة دون حركة، بما فيها قوى الجذب والنفر التي تُمارَس بين هذه الشحنات.

الفصل 1

الكمية الفيزيائية

الكمية الفيزيائية هي كل ما يقبل الزيادة والنقصان كالطول والمساحة والاستطاعة، فقياس كمية معينة يعني مقارنتها بكمية أخرى من نفس النوع تؤخذ كوحدة للقياس والمقارنة. وينتج عن قياس هذه الكمية الفيزيائية عدد معين يُعبّر عن قياسها مع ذكر الوحدة المرجعية، ومجموع هذه الوحدات لقياس الكميات الفيزيائية تجمع في نظام وحيد يعرف باسم "النظام العالمي لوحدات القياس".

1. مفهوم القياس

1.1. وحدة القياس

"الكمية الفيزيائية" تسمية تطلق على كل ما يمكن أن تكتشفه وتتلمسه بحواسك أو بواسطة أجهزة القياس، وهي دوما مصحوبة بوحدة قياس ثابتة تستعمل كمرجع لقياس هذه الكمية الفيزيائية.

فعندما تقول أن طول الأستاذ هو 1,75 فلا يمكن أن نفهم من تعبيرك أي شيء، فقياسك لا يحتوي على مدلول صائب ذي معنى دقيق.

لكن إذا قلت أن طوله يعادل 1,75 متر، تكون قد أكسبت تعبيرك مدلولا دقيقا ومعنى واضحا، فقد حددت طول أستاذك بالضبط وذلك بعدما قارنته بوحدة القياس العالمية للطول وهي المتر، وذكرت أن طول أستاذك يعادل 1,75 مرة الوحدة العالمية للطول. وعليه فإن الكلام عن أي كمية فيزيائية يجب أن يكون مصحوبا بذكر وحدة قياسها.

إن وحدة القياس لا بد أن تكون واحدة لكل كمية فيزيائية، فلا يصح أن نستعمل في آن واحد اليوم، الساعة، والثانية كوحدات لقياس الزمن مثلا لأن ذلك يؤدي إلى نتائج غير صحيحة قد تكون متناقضة مع معطيات المسألة. وعليه فإن استعمال وحدة قياس وحيدة لكل كمية فيزيائية تُسهّل عملية التخاطب بين الأفراد، بالإضافة إلى أنها ـــ عند ظهور النتيجة ـــ تتسم بالمنطق، فتزيد معطيات المسألة وضوحا وتفسيرا.

2.1. النظام العالمي للقياس

من هذا المنطلق، وُضع"النظام العالمي لوحدات القياس" وذلك قصد توحيد الوحدات لتصبح عالمية يفهمها كل سكان المعمورة، فالطول مثلا يقاس بالمتر والوقت يعطى بالثانية والقوة تحسب بالنيوتن. فحيثما تواجدت، فإن المتر واحد لا ثاني له، والثانية واحدة لا ثاني لها، والنيوتن واحد لا ثاني له.

فوحدة القياس تكتسب نفس المعنى عبر العالم كله، مما يُسهّل التخاطب والتفاهم بين خلق الله. وفي نهاية هذا الكتاب، تجد في الملحق 2 بعض الكميات الفيزيائية التي يحتاج إليها كل طالب في الهندسة الكهربائية.

وفي بعض الأحيان، يستحيل كتابة الكمية الفيزيائية بوحدتها العالمية نظرا لضخامة العدد الذي يرمز لقياسها أو لصغره المذهل. عندها جازت كتابة هذا العدد بوحداته الفرعية الكبرى منها والصغرى، لكن شرط أن يعاد إلى أصله كوحدة عالمية عند إقامة حسابات جديدة.

فمثلا قطر الكرة الأرضية هو 128 000 000 متر فتلاحظ المساحة التي يحتلها هذا العدد وإمكانية الوقوع في الخطأ عند كتابته إذا ما نُسي أحد الأصفار. لذلك تُفضّل الوحدة الفرعية كأن يكتب 128 ألف كيلو متر أو 128 ميغامتر. وعليه يلجأ إلى التعبير عن قياس الكمية الفيزيائية بالوحدات الفرعية ـ الكبرى منها والصغرى ـ قصد تفادي الخطأ واحتلال المكان الضخم.

2. مضاعفات 10

أثناء مطالعتك للكتب التقنية والاقتصادية، سوف تلاحظ استعمال أعداد ضخمة جدا تظن للوهلة الأولى أنه إن لم تكن العمليات الحسابية مستحيلة يتعذر عليك القيام بها، فهي معقدة تبعث على ارتكاب الخطأ. فمثلا العدد 1 000 000 000 000 000 يوجس في نفسك خيفة عند رؤيته، لكن لو دونت هذا العدد الضخم تدوينا رياضيا علميا فستلاحظ أنه بإمكانك العمل به وبما هو أعقد منه.

فلو كتبناه في صورة 10^{15}، ويقرأ 10 قوة 15، فستقول أنه أريح لك من سابقه بالنظر للمساحة المحتلة والتعقيد المزال. حاول أن تحسب

الأصفار الموجودة في العدد الأول فسوف تجد 15 صفرا، فتستنتج عندها أن كتابته في صورة "مضاعفات 10 الموجبة" السابقة لم تكن وليدة الصدفة... إن لفظ موجبة، يعني أن هناك مضاعفات 10 السالبة.

وهو كذلك، فإذا تعلق الأمر بعدد صغير جدا، يمكنك تمثيله بمضاعفات 10 تماما كسابقه، لكن تضاف الإشارة السالبة (−) للتعبير عن الأرقام المتواجدة بعد الفاصلة. فمثلا العدد 0,000 000 000 41 يمكن كتابته بواسطة "مضاعفات 10 السالبة" ليصبح $0,41 \times 10^{-9}$ ويقرأ 0,41 قوة ناقص 9. ولاحظ أن عدد الأصفار في العدد الأول يعادل 9 أصفار، ولأجل ذلك كتب على الشكل السابق، إلا أن هذه المرة زيدت الإشارة (−) لتواجد الفاصلة. فباستعمال هذه الطريقة تسهل الحسابات ويتفادى الخطأ الناجم عن نسيان صفر أو أكثر يجعل من العملية الحسابية خاطئة تماما، مما ينجم عنه اضطراب في القياس خاصة إذا تعلق الأمر بدقته. وفيما يلي بعض الأمثلة :

* عدد الإلكترونات في الكولومب الواحد :

$$625 \times 10^{16} = 6\ 250\ 000\ 000\ 000\ 000$$

$$6,25 \times 10^{18} =$$

* سرعة الضوء ووحدتها العالمية المتر على الثانية، وتكتب [م/ثا]

$$3 \times 10^{8} = 300 \times 10^{6} = 300\ 000\ 000$$

* ثابت فراداي ووحدته العالمية الكولومب على المول :

$$96\,500 = 10^{2} \times 965 = 10^{4} \times 9{,}65$$

* شحنة البروتون ووحدتها العالمية الكولومب، وتكتب [كو]

$$2\,160\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,0,\,602\,1 \times 10^{-22} =$$

$$= 1{,}602 \times 10^{-19}$$

* ثابت بولتزمان ووحدته العالمية جول على كلفين :

$$0{,}000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,013\,81 = 1\,381 \times 10^{-26}$$

$$= 1{,}381 \times 10^{-23}$$

* كتلة البروتون ووحدتها العالمية الكيلوغرام، وتكتب [كغ].

$$0{,}000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,001\,673 = 1{,}673 \times 10^{-27}$$

تلك هي أمثلة عن استعمال مضاعفات 10 لاجتناب الأعداد الكبيرة جدا أو الأعداد الصغيرة جدا، وقد تنبهت إلى أنها طريقة تُسهل على نحو واضح العمليات الحسابية وتجنب احتمال ظهور خطأ في هذه العمليات.

3. الوحدات الفرعية

للتعبير عن قياس كمية فيزيائية معينة، يلجأ غالبا ــ عندما يتعلق الأمر بأعداد ضخمة جدا أو صغيرة جدا ــ إلى الوحدات الفرعية لهذه الكمية، وهي أساسا نوعان : الوحدات الفرعية الكبرى والصغرى، وقد جمعت في الجدول 1.

1. الوحدات الفرعية الكبرى

وهي أضعاف الوحدة العالمية وتمثل مضاعفات 10 الموجبة لهذه الوحدة وتشمل أساسا :

ديكا : 10 أضعاف الوحدة العالمية = $10 = 10^{1}$

هكتو : 100 ضعف الوحدة العالمية = $100 = 10^{2}$

كيلو : 1000 ضعف الوحدة العالمية = $1000 = 10^{3}$

ميغا : مليون ضعف الوحدة العالمية = $1\,000\,000 = 10^{6}$

جيغا : ألف مليون (مليار) ضعف الوحدة العالمية = $1\,000\,000\,000 = 10^{9}$

تيرا : بليون ضعف الوحدة العالمية = $1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$

2. الوحدات الفرعية الصغرى

وهي أجزاء من الوحدة العالمية وبالتالي هي مضاعفات 10 السالبة، وفي ميدان الكهرباء يغلب استعمال ما يلي :

ديسي : عُشُر الوحدة العالمية (جزء من 10) = 10^{-1}

سنتي : جزء من 100 جزء للوحدة العالمية = 10^{-2}

ميلي : جزء من 1 000 جزء للوحدة العالمية = 10^{-3}

ميكرو : جزء من مليون جزء للوحدة العالمية = 10^{-6}

نانو : جزء من مليار جزء للوحدة العالمية = 10^{-9}

بيكو : جزء من بليون جزء للوحدة العالمية = 10^{-12}

الوحدات الفرعية	المعامل الذي يضرب في وحدة القياس	مضاعفات 10	الرمز	Prefix	
		الموجبة			
أكسا	1 000 000 000 000 000 000	10^{18}	أكسا	E	Exa
بيتا	1 000 000 000 000 000	10^{15}	بيتا	P	Peta
تيرا	1 000 000 000 000	10^{12}	تيرا	T	Tera
جيغا	1 000 000 000	10^{9}	جيغا	G	Giga
ميغا	1 000 000	10^{6}	ميغا	M	Mega
كيلو	1 000	10^{3}	ك/كـــ	k	Kilo
هكتو	1 00	10^{2}	هـــ	h	Hecto
ديكا	10	10^{1}	د	da	Deca
		السالبة			
ديسي	0,1	10^{-1}	دســـ	d	Deci
سنتي	0,01	10^{-2}	ســـ	c	Centi
ميلي	0,001	10^{-3}	مـــ	m	Milli
ميكرو	0,000 001	10^{-6}	µ/ميكرو	µ	Micro
نانو	0,000 000 001	10^{-9}	نانو	n	Nano
بيكو	0,000 000 000 001	10^{-12}	بيكو	p	Pico
فمتو	0,000 000 000 000 001	10^{-15}	فمتو	f	Femto
أتو	0,000 000 000 000 000 001	10^{-18}	أتو	a	Atto

الجدول 1. الوحدات الفرعية

4. الظواهر الفيزيائية

1.4. كيفية التمثيل

"الظواهر الفيزيائية" هي تلك الأحداث والوقائع التي تجري وتأخذ مكانها في الحياة أمام أعيننا بعد خضوعها لأحد النواميس الطبيعية المسيّرة بالقوانين الإلهية. فبعد تحولها ولو مؤقتا، يمكن للظاهرة الفيزيائية استرجاع أصلها وهذا بعد العملية العكسية للتحول الأول عندما يزول قانون التحول في ذلك.

فمثلا تسخين الماء على النار يؤدي إلى غليانه، وربما يتبخر عندما يبلغ نقطة الغليان فيتصاعد في شكل بخار أي تحوله إلى غاز. وفي حالة إبعاده عن النار، فإن الماء يبرد تدريجيا وعليه تغيب ظاهرة تبخر الماء ليستعيد من جديد شكله الأصلي المتمثل في السائل.

كما أنه بفعل البرودة الشديدة، يتصلب الماء لكن سرعان ما ينقلب إلى سائل بمجرد وجود حرارة ولو كانت بنسبة صغيرة، وهي ظاهرة يمكن ملاحظتها خلال فصل الصيف على قمم الجبال المغطاة بالثلوج.

فيما سبق ذكره، قلنا أن الكمية الفيزيائية مصحوبة دائما وأبدا بعدد ووحدة قياس عالمية، فكذلك الحال بالنسبة للظواهر الفيزيائية، إذ يمكن تمثيلها في شكل كميات فيزيائية تكون ذات معنى علمي معين ومحدد. ففي ظاهرة تسخين الماء مثلا، فإن نقطة غليانه تسجل عند

درجة حرارة تعادل 100 درجة مئوية، وهي كمية فيزيائية تعبر عن درجة غليان الماء، ومن ثم تحوله إلى غاز عن طريق التبخر. والحالة مماثلة عندما يتصلب الماء عند درجة حرارة تعادل صفر درجة مئوية، وبذلك تكون هذه الكمية الفيزيائية تعبير مباشر عن درجة حرارة تصلب الماء.

2.4. دقة القياس

إنك تلاحظ في هذا الكون الفسيح، أن الكميات الفيزيائية يُعبّر عنها بقيم تكون في بعض الأحيان دقيقة جدا، إلا أنها في حقيقة الأمر قيم نسبية تخضع للخطأ. ويرجع ذلك إلى ظروف التجربة والأجهزة المستعملة والتي يتوفر عليها مخبرك، فأنت مقيد بما تملك. وسعيا وراء الأمانة العلمية ومصداقية القياس، يُلجأ دوما إلى كتابة قياس الكميات الفيزيائية بالتقريب.

فسرعة الضوء مثلا تعادل 300 ألف كم/ثا، إلا أن قياسها المخبري أوضح سرعة تعادل بالتقريب $2,997\,925 \times 10^8$ م/ثا، وكلما زيد في دقة القياس كثر عدد الأرقام المتواجدة وراء الفاصلة. وعليه فهي ليست القيمة التي عُبّر عنها تماما وإنما هي قيمة مقاربة، وإن تمعنت جيدا في القيمة السابقة فستقول أنها تقارب 3×10^8 م/ثا، وهي القيمة المتوافق عليها لتمثيل سرعة الضوء 300 ألف كم/ثا، لا لشيء إلا لأنها سهلة الحفظ.

من خلال مطالعتك لهذا الكتاب، فسوف تلاحظ بعون الله تعالى بعض الرموز المستعملة للتعبير عن الكميات الفيزيائية كالموضحة في الجدول 2، فسرعة الضوء مثلا هي :

$$\text{سر}_0 \approx 3 \times 10^8 \text{ م/ثا} \qquad C \approx 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

حيث يقصد بالرمز ≈ التساوي بالتقريب. كما أن هناك بعض الكتابات الاصطلاحية، فمثلا ز[ثا] يقصد بها أن الكمية الفيزيائية ز – والممثلة للزمن – قد كتبت وتم قياسها بالوحدة العالمية للزمن وهي الثانية. وعلى نفس المنوال تكتب الكميتان التاليتان :

ك [كو] : تقاس الشحنة ك بالوحدة العالمية وهي الكولومب.

ل [كم] : يقاس الطول ل بالوحدة الفرعية وهي الكيلومتر.

الـــرمـــز	مـــعـــناه
=	يعادل / يساوي
≈ أو ≅	يقارب / يساوي بالتقريب
≠	تختلف عن
~	متناسبا طردا مع
≡	تكافئ
<	أكبر من
>	أصغر من
≤	أكبر أو يساوي
≥	أصغر أو يساوي
<<	أكبر بكثير من / أكبر تماما من
>>	أصغر بكثير من / أصغر تماما من

الجدول 2. رمز المعادلات والمتراجحات

ومن جهة أخرى، سوف يتخلل هذا الكتاب كثرة استعمال الوحدات الفرعية، وذلك لتفادي الخطأ وتسهيل الفهم بالإضافة إلى تقريب

المفهوم من الطالب. فمثلا سعة مكثفة س = 0,000 022 فاراد، يمكن كتابتها على الشكل س = 22 ميكروفاراد أو س = 22 µ فد. ولأجل ذلك تم جمع الوحدات الفرعية الكبرى والصغرى في الجدول 1.

5. مفهوم الصيغة

"الصيغة" هي العبارة الرياضية التي تجمع بين الكميات الفيزيائية بواسطة علاقات تناسبية، إذ يتجلى من خلال الصيغة كيفية تغير كمية فيزيائية بدلالة تغيرات كمية أخرى، فتظهر من خلال الصيغة مدى تأثر كمية معينة بعامل أو أكثر، والصيغة أساسا ثلاثة أنواع :

1. صيغة التعريف

وهي معادلة رياضية لا تحتاج للبرهنة عليها، إذ تحدد مفهوم الكمية المدروسة بالضبط حتى يسهل التخاطب بين الأفراد. لا يصح أن يعرف كل واحد منا كل كمية حسب هواه، بل هناك تعريف عالمي أصطلح عليه الجميع، كأن يعرف التيار الكهربائي على أنه سيلان الشحنات عبر مساحة محددة خلال ثانية واحدة.

2. الصيغة التجريبية

عند مشاهدة ظاهرة فيزيائية معينة، تتبادر لذهنك تساؤلات واستفسارات حول ما يحدث. وبواسطة التجارب المتكررة، يتوصل إلى علاقات رياضية تجمع بين عدة كميات مرتبطة بهذه الظاهرة القائمة.

تكون هذه العلاقات الرياضية عبارة عن صيغة تثبت مدى صلاحية التجربة لتُحمل على أنها قانون عام : إنها الصيغة التجريبية، إذ يشترط أن تخلو من التناقضات بين الظاهرة الفيزيائية ونتائج تجربتها ليصدق عليها مصطلح "قانون"، كقانون كولومب مثلا أو ظاهرة جول.

3. الصيغة المشتقة

انطلاقا من مجموعة صيغ ـ وبواسطة عمليات رياضية بحتة ـ يتوصل إلى وضع معادلة جديدة مختلفة عن الصيغ الأصلية تماما هي الصيغة المشتقة. تعرف هذه الصيغة المشتقة بهذا الاصطلاح لأنها تستنبط وتستخرج من صيغ أخرى، قد تكون صيغ تجريبية أو صيغ تعريفية.

مسائل

1. ما مدلول القياس ؟ بما يقرن ؟

2. ما هي الكمية الفيزيائية ؟ إلى ما ترمز ؟

3. ما هو النظام العالمي لوحدات القياس ؟ ما الهدف من وضعه ؟ اشرح.

4. ما الفرق بين مضاعفات 10 الموجبة والسالبة ؟ اشرح.

5. ما الغرض من استعمال الوحدات الفرعية لتمثيل الكمية الفيزيائية ؟ اشرح.

6. ما هي الظاهرة الفيزيائية ؟ أعط أمثلة على ذلك.

7. كيف يتم تمثيل الظاهرة الفيزيائية ؟ اشرح.

8. اجتهد في ذكر سبب البحث عن دقة قياس أي كمية فيزيائية ؟ اشرح.

9. كيف تعرف الصيغة ؟ اشرح.

10. ما هي صيغة التعريف الاصطلاحي ؟ لم هذه التسمية ؟ اشرح.

11. متى تُطلق صفة القانون على الصيغة التجريبية ؟ اشرح.

12. لم تعرف الصيغة الرياضية بالصيغة المشتقة ؟ اشرح.

الفصل 2

المادة

كل مادة تتكون من ذرات : ذلك ما صرح به ديموكريت منذ 2400 سنة، ولم يؤخذ هذا المفهوم بجدية إلا في القرن الثامن عشر عندما بدأت تظهر للوجود دراسات معمقة وجدية حول التفاعلات الكيماوية.

1. تصنيف المادة

1.1. الخاصية الفيزيائية

تمثل الحالة الطبيعية الموجودة عليها هذه المادة في الكون، ومن ذلك كان هذا التصنيف الموالي وفق الخاصية الفيزيائية :

– الصلب : وهو المادة التي تحتوي على شكل خاص وحجم معين مثل الحطب، الزجاج، النحاس، القلم والكتاب ؛

– السائل : وهو المادة التي تحتوي على حجم معين لكن لا تتميز بشكل خاص، بل يأخذ السائل شكل الإناء الذي يوضع فيه، مثل الماء والحليب ؛

– الغاز : وهو المادة التي لا تحتوي على حجم معين ولا شكل خاص، بل يحاول الغاز تغطية كل حجم الإناء الموضوع فيه مثل ما هو الحال بالنسبة للهواء والأكسجين ؛

إذن كخلاصة، فإن المادة هي أي شيء من هذا الكون الفسيح الذي يحتوي على وزن ويشغل مكانا، بمعنى آخر هي جسم متواجد مُعرّف بذاته.

2.1. تواجد المادة

في هذه الطبيعة المحيطة بنا، من النادر جدا أن تجد أجساما صافية وخالصة، أي دون شوائب أو أجسام دخيلة، بل توجد عموما في شكل مركب أو خليط، وهما نوعان يختلفان تماما عن بعضهما لذلك وجب عليك التفريق بينهما :

1. الخليط : وهو كل جسم يمكن تغيير خاصياته كأن تعدل مواصفاته أو محتوياته، فالماء مثلا يمكن التحكم في ملحيّته. يمتاز الخليط بأن خاصياته مرتبطة بمكوناته، والتي يمكن فصلها عن طريق مسالك فيزيائية بحتة والمعروفة بمسالك التحليل السريع. الخليط نوعان :

– خليط متجانس : وهو الذي لا يمكن رؤية مكوناته كالماء المالح.

– خليط غير متجانس : وهو الذي يمكن التطلع إلى مكوناته، كالماء الموحل.

2. المركب : وهو الجسم الذي تكون نسبة مكوناته غير متغيرة إطلاقا، وأخص ما يمتاز به كون خاصياته تختلف عن خاصيات مكوناته، التي – بخلاف الخليط – لا يمكن فصلها بمسالك التحليل السريع. فمثلا، الماء المقطر هو عبارة عن مركب من حجم واحد للأكسجين وحجمين من الهيدروجين، كما يمتاز المركب كذلك بالثوابت الفيزيائية (مثل نقطة الغليان، الكتلة الحجمية، إلخ.) خلافا للخليط، ومن ذلك أمكن القول أن المركب عبارة عن جسم صاف.

2. العنصر الكيماوي

المركب هو غالبا جسم صاف مكون من أجسام صافية بسيطة، تدعى العناصر الكيماوية أو اختصار العناصر. يمكن تحلل المركب إلى مكوناته الأصلية وهي العناصر الكيماوية... ولكن لا يمكن تحلل هذه العناصر إلى أجسام أكثر بساطة. فالأكسجين مثلا، يمكن تحلله من الماء أو من غاز الأكسجين. يعرف حاليا ما يزيد عن مائة عنصر مقسمة إلى أربعة أقسام رئيسية وهي :

- المعادن : Métaux
- شبه المعادن : Métalloïdes
- وراء اليورانيوم : Transuraniens
- الغازات النادرة : Gaz Rares

وكل عنصر كيماوي يشار له برمز عالمي كما يوضحه جدول مندلياف[1]، إذ تلاحظ أن كل ذرة يشار إليها بثلاث رموز :

– رمز الذرة : وهو الكتابة التعبيرية لوصف العنصر الكيماوي.

– الكتلة الذرية : وهي عدد يوضح مدى ثقل الذرة المدروسة لعنصر كيماوي معين.

– العدد الذري : وهو عدد البروتونات الموجودة في نواة العنصر، وهو يساوي عدد الإلكترونات إذا كانت الذرة معتدلة، أي ذرة محايدة.

أعلم أن المواد المكونة لهذا الكون الفسيح مركبة من عدد محدود نسبيا من أجسام بسيطة هي العناصر الكيماوية، التي وصل عددها إلى يومنا هذا 105 عنصر. إن العناصر الكيماوية لا يمكن تجزئتها إلى مواد أبسط منها. ولتسهيل الكتابة، لجأ المختصون إلى رموز أصطلحوا عليها لتمثيل العناصر الكيماوية وبالتالي تمثيل بنية الذرة.

فاستعملت الحروف اللاتينية لأسماء العناصر، فمثلا H يرمز إلى الهيدروجين وO إلى الأكسجين. ولكن عندما تتشابه بداية أسماء العناصر يلجأ إلى استعمال حرف لاتيني ثان، فمثلا C يرمز إلى الكربون و Ca إلى الكالسيوم في حين Cr إلى الكروم. وتجمع هذه العناصر الكيماوية في الجدول المعروف بجدول مندلياف.

---

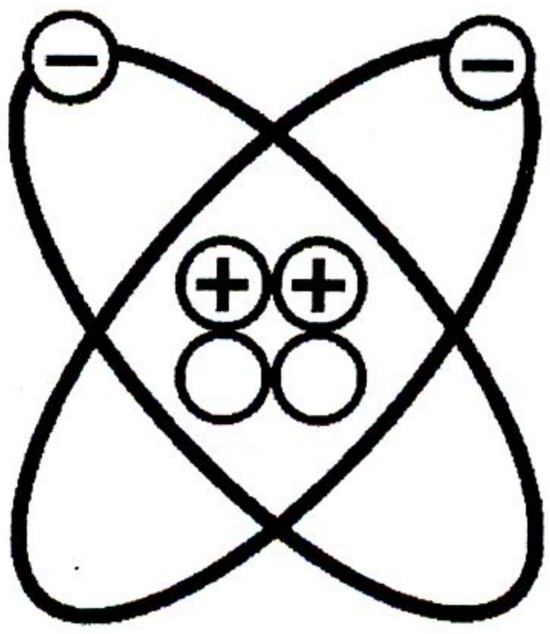
1. جدول دوري للعناصر الكيماوية – لم يمثل في كتابنا هذا – وضعه الخبير الروسي مندلياف (Dmitri MENDELEEV 1834-1907)، تجد تفصيلاته في الكتب المختصة في علم الكيمياء.

3. البنية الذرية

1.3. الذرة المحايدة

الذرة هي الوحدة الكيماوية الأساسية لبناء المادة. ولهذا فإن كل المواد، بما فيها هذا الكتاب ويديك التي تحمله وعينيك التي تقرأه، مركبة من ذرات.

بغض النظر عن الخاصيات الفيزيائية، فإن المواد تختلف فيما بينها من ناحية بنية الذرة. فالحطب يختلف عن الزجاج الذي بدوره يختلف عن الحجر والحديد في البنية التنظيمية للذرة. كل الذرات تتشكل أساسا من ثلاثة أقسام أساسية هي : بروتونات وشحنتها موجبة، إلكترونات وشحنتها سالبة، نترونات وهي محايدة كهربائيا.



الشكل 1. بنية ذرة الهيليوم

لتبسيط المعنى وتوضيح هذه المفاهيم الجديدة، سوف نتناول ذرة عنصر معين قصد دراستها. الشكل 1 يمثل ذرة الهيليوم، حيث مركز الذرة يسمى النواة والتي تحتوي على بروتونات وعددها اثنان ونترونات وعددها اثنان كذلك، ومن ذلك يستنتج أن شحنة النواة موجبة.

حول النواة تحوم شحنات سالبة تعرف باصطلاح الإلكترونات وفي هذه الحالة عددها اثنان، وهو العدد الذي عُرّف سابقا باصطلاح العدد الذري حين تكون الذرة محايدة، أي أنها في اعتدال بين عدد الإلكترونات وعدد البروتونات داخل ذرة واحدة.

2.3. الكتلة الذرية

بالرغم من أن الذرة جُسيم صغير جدا إلا أنه تم، وبدقة كبيرة جدا، تحديد كتلة وحجم ذرات العناصر. فالإلكترون أضخم حجما من البروتون والنترون بحوالي 1 840 مرة، إذ أن شعاع الإلكترون يقدر بحوالي $2,818 \times 10^{-15}$ متر. في حين الإلكترون أقل وزنا منهما 1 840 مرة، فكتلة الإلكترون هي $9,109 \times 10^{-31}$ كغ، بينما كتلة البروتون هي $1,673 \times 10^{-27}$ كغ، وكتلة النترون هي $1,675 \times 10^{-27}$ كغ. ومن خلال هذه الأوزان الثلاثة نستنتج أن كتلة الذرة مركزة أساسا في النواة وشحنتها موجبة.

لتفادى استعمال أرقام صغيرة جدا، اعتاد الكيماويون على عدم اعتبار ذرة واحدة فقط بل مجموعة ذرات (ن = $6,02 \times 10^{23}$) أطلقت عليها تسمية الوزن الجزيئي الغرامي، ون هو عدد أفوغادرو[1].

لكتابة كتلة الوزن الجزيئي الغرامي، وتدعى الكتلة الذرية، اتفق المختصون على أخذ كتلة مرجعية لوزن جزيئي غرامي واحد من الكربون،

---

1. أفوغادرو : (Amedeo AVAGADRO : 1776-1856) فيزيائي وكيماوي إيطالي.

وقيمة هذه الكتلة هي 12 غرام. ومنه فإن الكتلة الذرية للهيدروجين مثلا 1 غرام، والكتلة الذرية للأكسجين 16 غرام، واليورانيوم — وهو أثقل عنصر كيماوي — كتلته الذرية هي 238 غرام.

عادة لا يشار للوحدة عند كتابة الكتلة الذرية، وذلك باعتبار أنها تقارن بغيرها. وبتطور الدراسة، ظهرت قياسات دقيقة جدا للكتلة الذرية والتي تختلف اختلافا بسيطا عما سبق ذكره. فالكتلة الذرية للكربون هي 12,011 غرام، بينما عند الهيدروجين هي تعادل 1,008 غرام وأما للأكسجين فهي تعادل 16,000 غرام، في حين هي تعادل 238,07 غرام لليورانيوم... وفي الكتب المختصة تفصيل ذلك.

4. ماهية الجزيء

1.4. خاصية الجزيء

في إناء يحتوي على كمية من الماء، ألم تحاول يوما تحويل نصف هذا الماء داخل إناء آخر ؟ بالطبع نعم، وتكون قد لاحظت أن كلا النصفين أبقى على خاصياته الكيماوية المطابقة والمشابهة لخاصيات الكمية الأصلية.

كذلك الحال لو أخذنا أحد هذين النصفين واستمرينا في تقسيمه عدة مرات. ولكن تعلم أن القسمة - ولو ذهنيا فقط - ستستحيل عندما يصبح جسم الماء صغيرا جدا لا يمكن تجزئته. هذا الجسم الصغير المتضمن لخاصيات الماء يدعى الجُزَيْء.

تعتبر الجزيئات جُسيْمات صغيرة جدا يستحيل رؤيتها مباشرة ولو كان ذلك بأحدث الأجهزة – المكتشفة لحد الآن – كالميكروسكوب الإلكتروني، إلا أن وجودها بُرهن عليه بطرق غير مباشرة وذلك استعانة بتقنيات حديثة ذات تقدم مذهل.

2.4. ماهية المركب

رأينا أن العناصر الكيماوية – وهي أبسط الأجسام الصافية – تتجمع فيما بينها لتكوِّن المركب، حيث أن خاصيات هذا المركب تختلف تماما عن خاصيات العناصر التي تكوّن هذا المركب.

فالماء مثلا، مركب سائل يحتوي على الأكسجين والهيدروجين، وكلا العنصرين عبارة عن غازات، زد على هذا فإن الهيدروجين سريع الالتهاب والأكسجين مدعم للالتهاب والاشتعال، في حين الماء يحتوي على خاصيات تختلف كل الاختلاف عن مكونتيه، وما وجود مصلحة الحماية المدنية لإخماد الحرائق إلا دليل على ذلك.

قلنا أن الذرة هي الوحدة القاعدية لتمثيل أي مادة من هذا الكون الفسيح، ويرمز لها برمز عالمي لتفريق مختلف الذرات عن بعضها. في حين أن الجزيء – جزيء العنصر أو جزيء المركب – يمثل بصيغة رياضية خاصة، إذ تُجمع رموز العناصر المكونة للمركب بنسب قد تتفاوت كما قد تتساوى.

إن عدد ذرات العناصر الموجودة في المركب يشار إليها بواسطة أرقام صغيرة تكتب على يمين الرمز. فصيغة الماء مثلا هي H_2O، وهذا يشير إلى أن جزيء الماء يحتوي على ذرتَيْن من الهيدروجين وذرة واحدة من الأكسجين. ولتعلم أنه عندما يتعلق الأمر بعدد 1 فإنه لا يكتب أصلا. وكمثال ثان، إليك جزيء غاز الأكسجين، فهو يحتوي على ذرتَيْن من عنصر الأكسجين ولهذا فصيغته تكتب على شكل O_2.

5. مفهوم الكم

1.5. مصدر طاقة العنصر

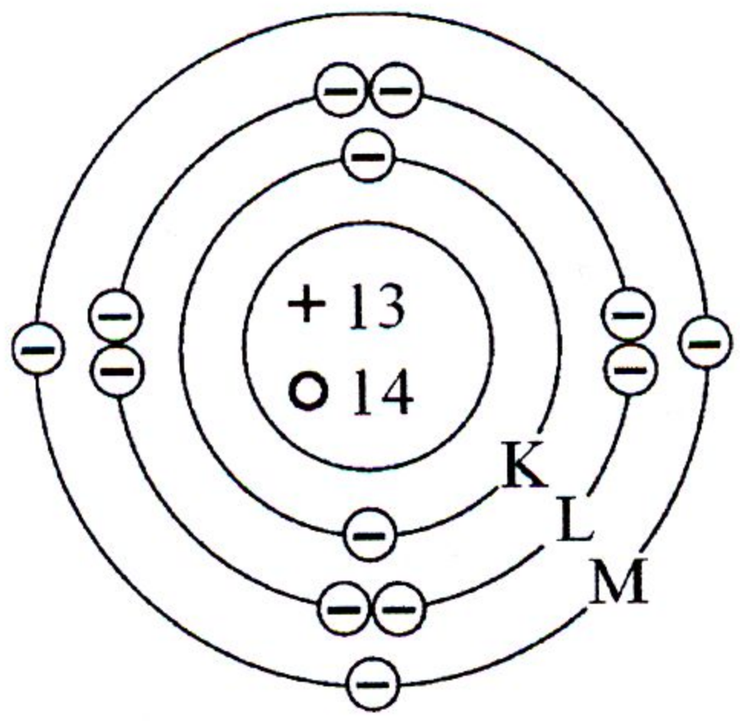
في أواخر القرن التاسع عشر، اكتشفت ظاهرة التحويل المعدني والتي تنص على أن بعض الذرات بإمكانها أن تتحول إلى ذرات أخرى مختلفة عن أصلها، بل ويمكن كذلك أن تختفي كلية وذلك بإصدار جُسَيْمات مشحونة تقذف بسرعة كبيرة جدا أو ببذل طاقة في شكل إشعاع، وهو المفهوم الذي أدى إلى النظرية المشهورة باسم الإشعاعية.

يستخلص من هذه النظرية أنه من الممكن جدا ولادة ذرات أو اختفائها، وهنا جاء دور العالم الألماني أينشتاين ليجد ضالته في هذه النظرية ليخرج لنا ما أسفرت عنه الحرب العالمية الثانية من خراب ودمار للحرث والنسل في مدينة هيروشيما اليابانية : صنع القنبلة الذرية.

تعتبر الذرة كهربائيا محايدة، لأن الشحنات السالبة المتمثلة في الإلكترونات تعوض تماما الشحنة الموجبة الكامنة في النواة. وأوضحت

دراسة مختلف العناصر الكيماوية أن الهيدروجين هو أقلهم وزنا، فهو أخفّهم حيث كتلته الذرية تعادل 1 غرام، ويحتوي على إلكترون وحيد.

كما أوضحت الدراسة كذلك أن من أثقل العناصر الكيماوية هو اليورانيوم، إذ كتلته الذرية تساوي 238 غرام ويحتوي على 92 إلكترونا. وبعد دراسة معمقة، أصبح اليورانيوم العنصر الكيماوي الأساسي للإشعاعية نظرا لما يمتاز به عن غيره من خاصيات عديدة مقارنة ببقية عناصر جدول مندلياف.



الشكل 2. بنية ذرة الألمنيوم

2.5. موقع الإلكترونات

يمثل الشكل 2 ذرة الألمنيوم، وهو تمثيل بُعدين فقط، فهو يوضح 13 إلكترون و13 بروتون و14 نترون. تدور الإلكترونات حول النواة بمسافات معينة ومحددة حسب المدارات. فالإلكترونان الأولان يحتلان الغلاف الأول وهما أقرب الإلكترونات إلى النواة، ومن ذلك فهما مشدودان إلى النواة أكثر من غيرهما.

يدعى الغلاف الأول بالطبقة K ولا يمكن أن يحتوي على أكثر من إلكترونين، وكل واحد منهما يحوم حول النواة في مسار خاص به. وأما الغلاف الثاني فهو الطبقة L ولا يحتوي على أكثر من 8 إلكترونات، في حين أن الغلاف الثالث هو الطبقة M إذ لا يحتوي على أكثر من 18 إلكترون، والغلاف الرابع هو الطبقة N ويحتوي على أقل من 32 إلكترون.

قد تتجمع إلكترونات كثيرة في غلاف واحد، إلا أن كل إلكترون منها يحوم، أي يدور، حول النواة في مساره الخاص حتى وإن كان على نفس الغلاف من إلكترون أخر كما هو الحال بالنسبة لذرة الهيليوم الممثلة في الشكل 1. فكل إلكترون يحتوي على طاقة كمونية كهربائية ناجمة عن قوة جذب النواة، وهي تتزايد أو تتناقص بحسب اتجاه الإلكترون على التوالي نحو النواة أو نفوره منها.

وفي نفس الوقت، فإن الإلكترون يحتوي على طاقة حركية تتزايد أو تتناقص حسب سرعة الدوران. ولأجل هذه الطاقة المتغيرة فإن دوران الإلكترون غير دائري، بحيث أن مسار الإلكترون الواحد حول النواة يشبه إلى حد بعيد دوران الأرض حول الشمس فهو غير دائري كما يوضحه الشكل 1، إذ يقارب مسارا بيضويا يعرف بإصطلاح المسار الإهليلجي.

3.5. كيفية توزع الالكترونات

تكون قد لاحظت أنه لا يمكن أن يعثر على إلكترون بين غلافين، كما أنك لاحظت في الشكل 1 أن الهيليوم لا يحتوي إلا على إلكترونين اثنين غير أنهما مُثلا على مدارين مختلفين، ذلك لأن لكل

إلكترون مساره الخاص به حتى ولو تقاسمت عدة إلكترونات نفس الغلاف... وهو مفهوم الكم.

من خلال ما تقدم، نقول أن كل غلاف يحتوي على مسارات خاصة به، بحيث تنتشر إلكترونات ذرة معينة وفق العلاقة $2ن^2$، حيث ن هو عدد صحيح يمثل الغلاف الإلكتروني. فكل الإلكترونات الموجودة على نفس الغلاف – على اختلاف مساراتها – لها نفس العدد ن، والذي يعرف بعدد الكم الأساسي. وانطلاقا من النواة، يكون ترتيب الطبقات الإلكترونية، أي الغلافات، كالتالي :

الطبقة الأولى K توافـــق ن = 1، ولا تحتوي على أكثر من إلكترونين.

الطبقة الثانية L توافـــق ن = 2، ولا تحتوي على أكثر من8 إلكترونات.

الطبقة الثالثة M توافـــق ن = 3، ولا تحتوي على أكثر من 18 إلكترون.

الطبقة الرابعة N توافق ن = 4، ولا تحتوي على أكثر من 32 إلكترون.

الطبقة الخامسة O توافق ن = 5، ولا تحتوي على أكثر من 50 إلكترون.

الطبقة السادسة P توافق ن = 6، ولا تحتوي على أكثر من 72 إلكترون.

الطبقة السابعة Q توافق ن = 7، ولا تحتوي على أكثر من 98 إلكترون.

وتلاحظ من خلال توزع الإلكترونات وفق العلاقة السابقة لا يسمح بتواجد إلكترونات تتوسط مدارين أو مسارين، إذ يستحيل ذلك، فهي متمركزة حسب مستويات للطاقة تتفاوت نسبها إذ تتزايد بالقيمة المطلقة في اتجاه مركز نواة الذرة، إذ تكون هذه الطاقات محددة ومعلومة.

مسائل

1. أذكر تصنيف المواد من الناحية الفيزيائية. عرف هذه الأقسام.

2. ما الفرق بين المركب والخليط ؟

3. ما يقصد بلفظ "الذرة المحايدة" ؟ متى يتحقق ذلك ؟

4. أذكر ماهية الجزيء. كيف يتم تمثيله ؟

5. ما الفرق بين الذرة والجزيء ؟ كيف تمثل كلا منهما ؟ اشرح.

6. ما هي الشحنات السالبة في الذرة . أين تتواجد ؟ كيف تتحرك ؟ اشرح.

7. ما هو موقع البروتونات والنترونات من الذرة ؟ استنتج شحنتها.

8. ما الفرق بين المسار والغلاف ؟ أعط أمثلة.

9. لم يتبع الإلكترون مسارا إهليلجيا في دورانه حول النواة ؟ اشرح.

10. ما هو القسم الذي يحتوي على جل كتلة الذرة ؟ ما نوع الشحنة التي يحتويها ؟ اشرح.

11. ما هو العدد الذري ؟ عرف الكتلة الذرية. ما الفرق بين المفهومين ؟

12. اذكر طبقات توزيع الإلكترونات حول النواة بالترتيب ؟ وفق أي معادلة يتم ذلك ؟ اشرح.

13. ارسم البنية الذرية، حسب الغلاف دون المسار، لكل من :

الهيدروجين : H = 1

الليثيوم : Li = 7

الكربون : C = 12

الصديوم : Na = 23

السليكون : Si = 26

الفسفور : P = 31

البوتاسيوم : K = 39

14. مـــا مدلول لفظ "الكم" ؟ هل يمكن للإلكترونات أن تتواجد بين غلافين ؟ لماذا ؟

15. ما تنص ظاهرة التحويل المعدني ؟ ما ينتج عنها ؟ اشرح.

16. اجتهد في تعريف الإشعاعية ؟ ما تعرف عن تطبيقاتها الشهيرة ؟

الفصل 3

الشحنة الكهربائية

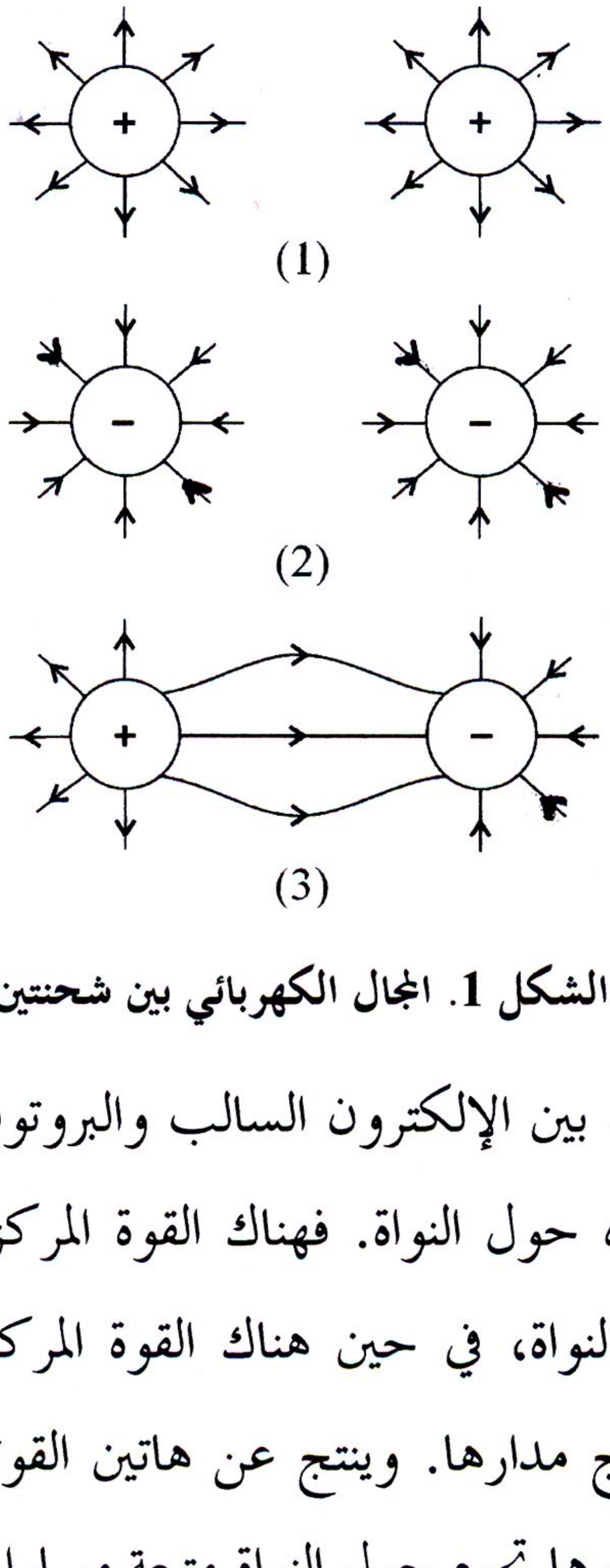
الكهروسطاتيك هي تلك الظواهر التي اعتدنا على رؤيتها في حياتنا اليومية... البرق، والوميض الذي يحدثه، هو ربما المثال المقنع لهذه الظاهرة. كما أن هناك الصدمات الكهربائية التي تنجم عن ملامستنا لقطع معدنية (مثلا يد الثلاجة) عند مشينا على سجادة أو بساط خشن.

بفعل الاحتكاك، اكتسبت هذه المواد خاصية جديدة اصطلح على تسميتها الكهرباء الساكنة أو الكهروسطاتيك. وبصفة عامة نقول أن كل الأجسام تتكهرب، والجسم المكهرب هو الجسم الذي له قابلية جذب الأجسام الخفيفة إليه.

1. مفعول الشحنة

للتذكير، رأينا أن الإلكترونات والبروتونات تحتوي على شحنات كهربائية متماثلة لكن ذات قطبيات متعاكسة، فالقطبية توضح نوع الشحنة، موجبة أم سالبة. وهذه الشحنة الكهربائية تولد من حولها محيطا كهربائيا خاصا بها مرتبطا بقطبيتها يدعى المجال الكهربائي، وهو شبيه بالمجال المغناطيسي.

فشحنتان موجبتان (الشكل 1.1) أو شحنتان سالبتان (الشكل 2.1) تتنافران، في حين شحنتان كهربائيتان متعاكستان تتجاذبان (الشكل 3.1). ومن هنا نستطيع استخراج القانون التالي : كل شحنتين متشابهتين (أي متماثلتين) تتنافران، وكل شحنتين متعاكستين تتجاذبان.



الشكل 1. المجال الكهربائي بين شحنتين.

إن قوة الجذب بين الإلكترون السالب والبروتون الموجب تُبقي على الإلكترون في مداره حول النواة. فهناك القوة المركزية الجاذبة التي تدفع بالإلكترونات نحو النواة، في حين هناك القوة المركزية النابذة التي تدفع بالإلكترونات خارج مدارها. وينتج عن هاتين القوتين توازن يبقي على الإلكترونات في مدارها تحوم حول النواة متبعة مسارا إهليلجيا.

تمثل الشحنة الكهربائية عموما بالرمز ك، وإن تعلق الأمر بشحنة إلكترون أو بروتون فإن الرمز هو ك$_0$، ووحدتها كولومب والتي تختصر فتكتب كو. إذن :

- شحنة الإلكترون : ك = ك$_0$ = $-1,602 \times 10^{-19}$ كو.
- شحنة البروتون : ك = ك$_0$ = $+1,602 \times 10^{-19}$ كو.
- شحنة النترون : حيادي فهو عديم الشحنة.

2. حركة الإلكترون

1.2. الإلكترونات السطحية

تُدعى إلكترونات الغلاف الخارجي للذرة إلكترونات سطحية[1]، وهي المسؤولة على التفاعلات الكيماوية وعبور التيارات الكهربائية. كيف ذلك ؟

إن قوة الجذب بين شحنتين كهربائيتين متعاكستين، تساهم في إبقاء الإلكترونات في مدارها. وكلما تقاربت الشحنتان، زادت قوة تجاذبهما وينقص هذا التجاذب بابتعاد الإلكترون عن النواة.

ومن هذا المنطلق، نقول أن الإلكترونات السطحية هي أقل عرضة للتجاذب من إلكترونات المدارات الداخلية، ولهذا يسهل خلع الإلكترونات السطحية بسهولة مقارنة بغيرها.

---

1. كما يُفضل البعض تسميتها بالإلكترونات المدارية.

كل الإلكترونات تحمل طاقة باعتبارها ذات كتلة محددة، وعليه فبإمكانها الحركة وهي متمثلة في الدوران حول النواة. تحتوي الإلكترونات السطحية على أكبر طاقة، إذ كلما زاد بُعد الإلكترون عن النواة، زادت طاقته. وحين يُخلع الإلكترون من مداره يصبح إلكترونا حرا، حيث تزيد طاقته عما كانت عليه حين كان إلكترونا سطحيا.

2.2. الإلكترونات الحرة

هي الإلكترونات السطحية المخلوعة مؤقتا من ذرتها لتبقى في الفضاء الحر المحيط بالذرة، وهي لا تنتسب لأي ذرة.

إن الإلكترونات السطحية هي الوحيدة التي تستطيع أن تصبح إلكترونات حرة، في حين إلكترونات المدارات الداخلية مشدودة جيدا بالذرة لأن الغلاف (أو المدار) مُشبَّع، أي يحتوي على العدد الأقصى من الإلكترونات المسموح به لكل غلاف حسب العلاقة $2n^2$.

ومن هنا تفهم أن الإلكترونات السطحية هي المتسبب الوحيد في التفاعلات الكيماوية وذلك بتحولها إلى إلكترونات حرة تكون هي بدورها أصل توليد الكهرباء، دون غيرها من الإلكترونات الداخلية. كيف ومتى يحدث هذا التحرر من الذرة ؟

لكي تصبح الإلكترونات السطحية إلكترونات حرة لا بد من طاقة إضافية يزود بها الهيكل الذري، وهذه الطاقة ناتجة عن الحرارة كتسخين الذرة بواسطة النار أو عن طريق الاحتكاك، أو أنها ناتجة عن تسليط مجال كهربائي أو سقوط الضوء على الذرة.

3.2. الطاقة الكمونية

الطاقة المطلوبة لتحرير إلكترون متوقفة على عدد الإلكترونات السطحية الموجودة داخل الذرة المدروسة. إذن، بقدر ما ينقص عدد الإلكترونات السطحية لذرة معينة، بقدر ما يقل طلب الطاقة الإضافية لتحرير الإلكترون السطحي. لماذا وكيف ذلك ؟

إذا كثر عدد الإلكترونات السطحية، فإن روابطها الكيماوية تكون قوية مثلها مثل إلكترونات المدارات الداخلية. في هذه الحالة، تكون هذه الروابط مشبعة، أي صلبة ومتينة، تشد الإلكترونات السطحية إلى بعضها البعض بقوة بحيث يستحيل خلعها عن ذرتها الأم ولو بُذلت لذلك طاقة معتبرة.

الحالة الثانية : إن قلة الإلكترونات السطحية تُسهل عملية تحريرها من ذرتها الأم، ويعود ذلك لهشاشة الروابط الكيماوية التي تجمع بين هذه الإلكترونات السطحية مقارنة بإلكترونات المدارات الداخلية والتي تمتاز بصلابة هذه الروابط الكيماوية.

عندما يهجر إلكترون سطحي ذرته ليصبح إلكترونا حرا، يحمل معه شحنته الكهربائية السالبة مما ينجم عنه زيادة الشحنات الموجبة في الذرة، مقارنة بالشحنات السالبة. فمثلا في ذرة الألمنيوم نحصل على 13 بروتون و12 إلكترون فقط.

إن الذرات التي تفقد أو تربح إلكترونات تسمى شوارد، أو أيونات. فعندما تفقد ذرة إلكترونا أو أكثر تصبح شاردة موجبة، في حين تصبح الذرة شاردة سالبة عندما تستقبل وتربح إلكترونات حرة.

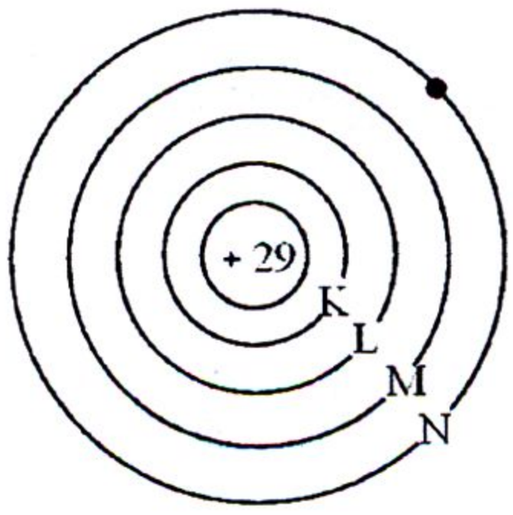
لتعلم أنه لا يمكن الحصول على شوارد سالبة إلا من ذرات يفوق عدد إلكتروناتها السطحية 4. ومن هنا، نستنتج أن الطاقة المطلوبة لتحرير إلكترون تتغير من عنصر لآخر، وذلك حسب العدد الذري لكل عنصر.

3. سببية نقل الكهرباء

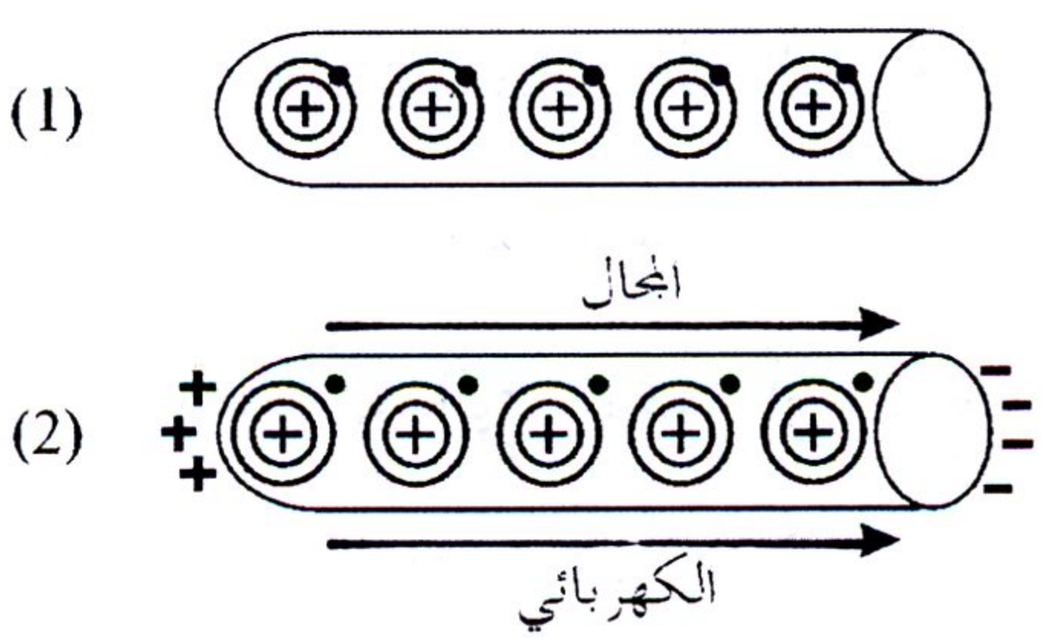
1.3. النواقل

تحتوي ذرة النحاس على 29 بروتون داخل النواة والتي يحوم حولها 29 إلكترون كما يوضحه الشكل 2. تتوزع إلكترونات ذرة النحاس عبر الطبقات وفق العلاقة $2n^2$، فهناك إلكترونان على الغلاف الأول و8 على الغلاف الثاني و18 على الغلاف الثالث، بينما على الغلاف الرابع وهو الغلاف الخارجي لذرة النحاس هناك إلكترون واحد فقط يمثل الإلكترون السطحي.

وبما أن الغلاف الخارجي كبير ومتسع جدا مقارنة بغيره وبالإضافة إلى أنه يحتوي على إلكترون وحيد، نتج عن ذلك أن قوة التجاذب ضعيفة بين الإلكترون السطحي والنواة، مما يفسح المجال أمام هذا الإلكترون للتنقل من ذرة إلى أخرى بسهولة تامة. وفي هذه الحالة، يسهل خلع هذا الإلكترون السطحي من ذرته تاركا إياها شاردة موجبة.



الشكل 2. ذرة النحاس



الشكل 3. قطعة سلك من النحاس

في الشكل 3 مثّلت قطعة من النحاس، حيث الرموز :

⊕ يمثل النواة وبقية الإلكترونات للمدارات الداخلية M-L-K.

○ يمثل المدار الخارجي N وعليه الإلكترون السطحي الوحيد.

○• تحول الذرة إلى شاردة موجبة بعد فَقْد الإلكترون السطحي ليصبح إلكترونا حرا.

باعتبار أن الإلكترونات السطحية هي أصل ظهور الإلكترونات الحرة التي هي بدورها أصل توليد الكهرباء، فكيف ومتى يحدث هذا التحرر من الذرة ؟

يحتوي النحاس على إلكترون سطحي وحيد يتحول إلى إلكترون حر يتحرك من ذرة لأخرى. لكن تكون هذه الحركة غير منتظمة، حيث تتجمع الإلكترونات الحرة في شكل سحابة... ذلك في الحالة الطبيعية التي تسجل في حرارة المحيط والتي تعادل 25 درجة مئوية. فماذا يحدث لو منحت لذرات النحاس طاقة فعلية كأن تكون بتطبيق مجال كهربائي بين طرفي هذا السلك المعدني ؟

2.3. كيفية تدفق الإلكترونات

لو وضعنا شحنة موجبة وأخرى سالبة في طرفي القطعة النحاسية للشكل **1.3**، فسوف يولد مجال كهربائي ثابت داخل السلك (الشكل **2.3**).

تعلم أنه لا حركة للذرة، ولكن وقوع إلكتروناتها السطحية تحت تأثير المجال الكهربائي يجعلها تتحول إلى إلكترونات حرة تندفع وفق اتجاهه،

فتخلف من ورائها شوارد موجبة، ومن جراء هذا الدفع نحصل على تدفق مستمر أو بعبارة أوضح سيلان متواصل للإلكترونات داخل السلك.

عندما يطبق مجال كهربائي بين طرفي السلك، تنتظم مباشرة حركة الإلكترونات فيتجه عدد معين من هذه الإلكترونات الحرة نحو الطرف الموجب للسلك، بينما يترك نفس العدد القطب السالب مما يجعل عدد الإلكترونات الحرة دوما ثابتا.

إن المواد التي تحتوي على عدد كبير من الإلكترونات القابلة للحركة تدعى النواقل، جمع ناقل. ولعل أشهر المواد الناقلة هي المعادن، وأحسن المعادن مُوَصلية هي الفضة ثم النحاس ثم الذهب، إذ تمتاز هذه المعادن النفيسة أنها تحتوي على إلكترون سطحي واحد ووحيد.

في حرارة عادية، أي حرارة المحيط، لا يمكن إيجاد ناقل مثالي بحيث أن الإلكترونات الحرة لا يعترضها أي حاجز أو مانع أثناء حركتها، بل هناك دوما إعاقة لسريان الإلكترونات ولو كانت بسيطة.

ينتج عن هذه الإعاقة خُسران للطاقة الممنوحة والذي يظهر في شكل انتشار الحرارة. تتسبب هذه الحرارة في تسخين السلك الناقل، ولو كانت هذه الخسارة كبيرة ومعتبرة فسوف يسجل ارتفاع عالي في حرارة السلك، وعليه ينجم ذوبان السلك الناقل تدريجيا حسب درجة الحرارة.

3.3. العوازل

يمكن تعريف النواقل على أنها تلك المواد التي لا تعارض مرور وعبور الإلكترونات الحرة، وهي غالبا المعادن وبصفة عامة هي كل العناصر الكيماوية التي تحتوي على 3 إلكترونات سطحية أو أقل.

وبالمفهوم المناقض نقول أن العوازل هي إذن المواد التي لا تحتوي – تقريبا – على أي إلكترون حر، أي تمتاز البنية الذرية للمواد العازلة بأنها مشبعة، يصعب تحرير إلكتروناتها السطحية.

تمتاز العوازل أن كل إلكتروناتها السطحية مشدودة وبشدة بواسطة الروابط الكيماوية إلى بقية الإلكترونات السطحية للذرات المجاورة. ففي هذه المواد، لا يمكن للإلكترونات السطحية أن تصبح حرة، أي لا انتقال فيها للإكترونات وبذلك انعدام سريانها عبر المواد العازلة، حتى بتطبيق مجال كهربائي شديد، ولكن في هذه الحالة قد تُعرّض المادة العازلة للإتلاف والتحطيم.

ومن أمثلة العوازل الزجاج، البلاستيك، الحطب والمطاط، وتلاحظ أن هذه المواد ذات أهمية كبيرة وتطبيقاتها واسعة. فخطوط الكهرباء في مترلكم مثلا، مغطاة بعوازل أي تغلف النواقل بمواد عازلة حتى لا تصاب برجة (أي صدمة) كهربائية.

ومن خلال كل ما تقدم نقول أنه إذا أردت نقل الكهرباء أو وصل نقطة مشحونة بأخرى استعملت النواقل، وأما إذا أردت تفادي المفاجأت المزعجة والمشؤومة فيجب أن تستعمل المواد العازلة حتى تجنبك لمس الكهرباء.

4. التأثير المتبادل لشحنتين

1.4. ظاهرة التكهرب

رأينا في مقدمة هذا الفصل أن الكهروسطاتيك – الكهرباء الساكنة – هي ظاهرة طبيعية يتولد عنها جسم متكهرب، وزيادة على ما تقدم ذكره من أمثلة إليك هذه التجربة :

يقوم الأطفال الصغار – ولو بسذاجة – مداعبين بعضهم البعض، فبعد صف الشعر في يوم جاف جدا، يقومون بجعل المشط على مقربة من قُصاصات الورق فيلاحظون أنها تنجذب نحو المشط، فيصفون بعضهم البعض بالسحرة... وهي في حقيقتها ظاهرة فيزيائية معروفة.

بفعل الاحتكاك، اكتسب المشط شحنة كهربائية جعلت منه مادة جذابة للأجسام الصغيرة وذلك لعازليته للكهرباء بحيث أن هذه الشحنات لا تتحرك داخل المواد العازلة. فبفعل الاحتكاك، تحولت هذه المادة إلى جسم متكهرب.

فالأجسام غالبا تصنف كهربائيا إلى :

– العازل : وهو الجسم الذي يحفظ التكهرب مركزا في نقطة الاحتكاك، وذلك لعدم ناقلية هذا الجسم للكهرباء. فالمشط المصنوع من مادة عازلة، اكتسب شحنة مركزة على مساحة الحك (وهي المساحة المدلوكة)، التي تسمح بجذب قصاصات الورق.

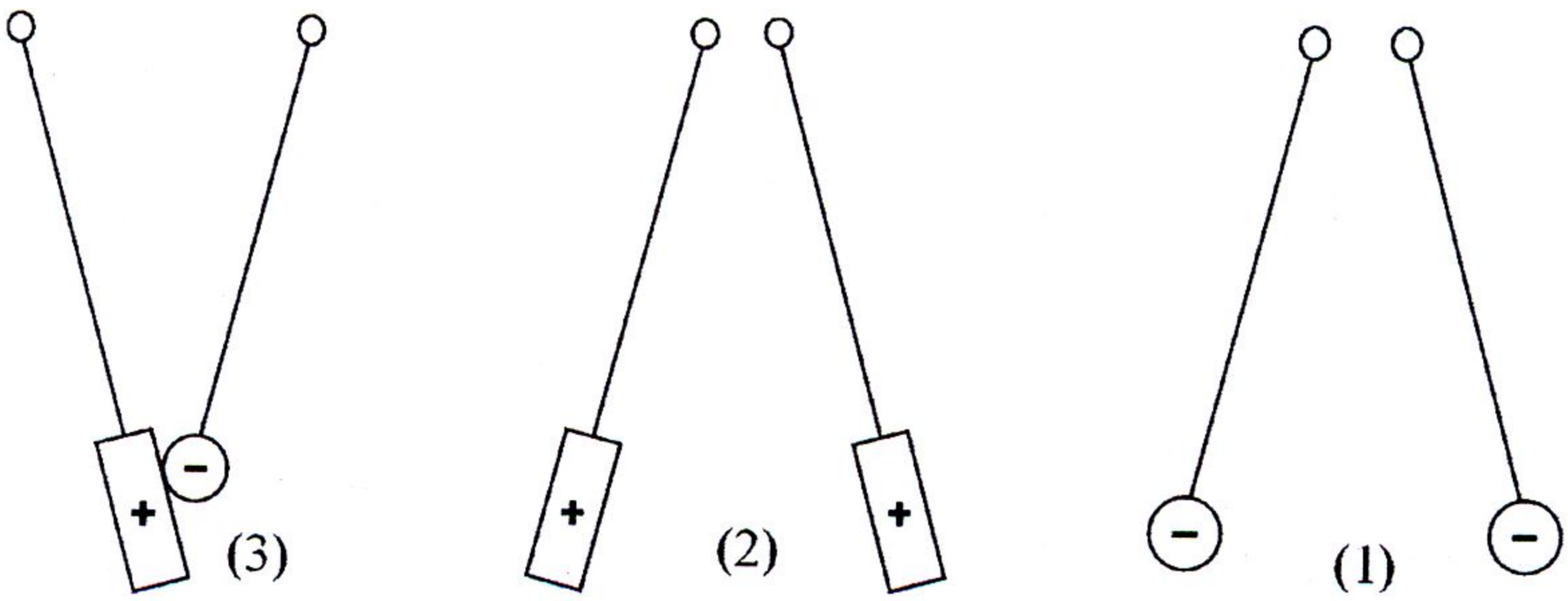
ومن المواد العازلة الزجاج والبلاستيك والحطب، وأهم ما تمتاز به هذه المواد العازلة أنها لا يمكنها نقل الكهرباء، لكن يمكن تكهربها وذلك بتجمع الشحنات في النقطة أو المساحة المعرضة للتكهرب والذي يحدث عموما عن طريق الاحتكاك أو عن طريق إنشاء مجال كهربائي.

– الناقل : وهو الجسم الذي ينتشر فيه التكهرب، ويعود ذلك لقابلية هذا الجسم لنقل الكهرباء، إذ تنتشر الإلكترونات عبر الجسم الناقل دون أن تتركز في مساحة محدودة، وأشهر الأجسام الناقلة هي المعادن. وأعلم أن

جسم الإنسان يعد ناقلا كهربائيا جيدا، وهو الشيء الذي يفسر سبب إصابة الواحد منا برجات كهربائية عند ملامسته لنقطة مشحونة.

2.4. تفاعل الجوار

إن الكهروسطاتيك، أو الكهرباء الساكنة، علم يتعامل مع ظواهر الكهرباء الساكنة فهي تدرس الشحنات الكهربائية في توازن، فهي فرع من فروع الفيزياء، وإن شئت قلنا فرع من الكهرباء العامة.



الشكل 4. التأثير المتبادل لشحنتين كهربائيتين

يمكن توليد شحنات كهربائية وذلك بحك قضيب من الزجاج مع قطعة قماش من الحرير. فالمادة التي تحمل شحنة كهربائية سالبة هي المادة التي تتلقى إلكترونات فينتج فائض إلكترونات في هذه المادة، وأما المادة التي تحمل شحنة موجبة فهي المادة التي تخسر إلكتروناتها. ولتفصيل ذلك إليك هذه التجارب البسيطة.

منذ أزمنة غابرة، لاحظ اليونان خاصية العنبر فأذهلتهم وقيل فيها الكثير، فمن وصف سطحي مجرد من كل معرفة إلى تفسير علمي ولو نسبي. فعند تلميع هذا الحجر الكريم، يصبح جذابا للغبار والقماش وكل الأجسام الخفيفة.

والتجربة الممثلة في الشكل 4 تبرز ذلك حيث تم تمثيل عنبر في شكل كرة وقضيب من الزجاج، أو خليط فيه زجاج :

يمثل الشكل 1.4 كرتين من العنبر مشحونتين، توضعان بجانب بعضهما فيسجل تنافرهما، ونفس التنافر يحدث من خلال الشكل 2.4 وهو تمثيل لقطعتين من الزجاج مشحونتين توضعان على مقربة من بعضهما.

لكن تسجل ظاهرة مخالفة تماما لما سبق عندما توضع كرة العنبر المشحونة بجوار قضيب الزجاج المشحون (الشكل 3.4)، حينها تلاحظ انجذابا لهذين الجسمين نحو بعضهما. لماذا وكيف يحدث ذلك ؟

3.4. مبدأ الجذب والنفر

تلاحظ جيدا أنه عندما تتشابه الشحنتان فإنهما تتنافران وذلك بفعل القوة المنفرة التي تتولد بينهما، في حين أنه إذا ما تعاكست قطبية الشحنتين فسوف تنجم عنهما قوة جذابة تدفع بالشحنتين نحو بعضهما البعض.

ومن هنا نستخلص أن اتجاه القوة الموجودة بين شحنتين تكون مرتبطة ارتباطا مباشرا بقطبية الشحنتين. فلو وضعنا - ولو ذهنيا - إلكترونا أو بروتونا أمام مثيله، فسوف تتولد قوة تنفر أحدهما عن الآخر، وعليه نستنتج أن كل شحنتين متشابهتين تتنافران.

أما إذا كانت التجربة على شحنتين متعاكستين، أي ما بين البروتون والإلكترون، فسوف تنشأ قوة متوازية تجذب الشحنتين نحو بعضهما البعض، ونقول عندها أن كل شحنتين متعاكستين تتجاذبان... وهو ما سبق ذكره.

مسائل

1. ما هو علم "الكهروسطاتيك" ؟ بما تختلف الكهروسطاتيك عن بقية العلوم ؟

2. ما هي الشحنة الكهربائية ؟ كم أنواعها ؟

3. كيف تتفاعل شحنتان بجوار بعضهما البعض ؟ اشرح.

4. ما الفرق بين القوة المركزية النابذة والقوة المركزية الجاذبة ؟ عما تصدر كل منهما ؟

5. لم تبقى الإلكترونات السالبة تحوم حول النواة الموجبة على الرغم من أن شحنتين متعاكستين تتجاذبان ؟ اشرح.

6. ما الفرق بين الإلكترونات السطحية والإلكترونات الحرة ؟ إشرح.

7. ما هي العوامل التي تتسبب في نفر وخلع الإلكترونات السطحية عن ذراتها الأصلية ؟ أذكر البعض منها.

8. ما هي المواد العازلة والمواد الناقلة ؟ اشرح مع ذكر الكمية الفيزيائية التي تُنقل أو تُعزل. أذكر سبب ناقلية المواد الناقلة وسبب عازلية المواد العازلة.

9. عرف الفضاء الذي يحيط بالشحنة الكهربائية. هل يتولد عنها أم أنها تكتسب قطبية محددة بعد وضعها في داخل هذا المحيط ؟ علل إجابتك.

10. ما هو العامل الذي يتسبب في تدفق غزير للإلكترونات عبر سلك ناقل ؟ اشرح مع توضيح وتعريف مبدأ النفر والجذب.

11. متى ينتشر التكهرب عبر المواد، ومتى يخزن في نقطة أو مساحة من المواد ؟ اشرح.

12. شحنتان متجاورتان معلقتان بخيطين. متى تتجاذبان ومتى تتنافران ؟ اشرح مع سرد القاعدة.

13. ثلاث شحنات متجاورة معلقة بثلاثة خيوط. متى يتم التجاذب التام لهذه الشحنات ؟ علّل.

الفصل 4

المجال الكهربائي

أوضحت دراسة المادة ومكوناتها أنه لكل شحنة قطبية محددة، وتكون موجبة أو سالبة. كما بينت الأبحاث الرائدة منذ ثلاثة قرون أن محيط الشحنة الكهربائية يتأثر بوجودها ويكون مرتبطا مباشرة بقطبيتها، وهو ما يعرف بالمجال الكهربائي.

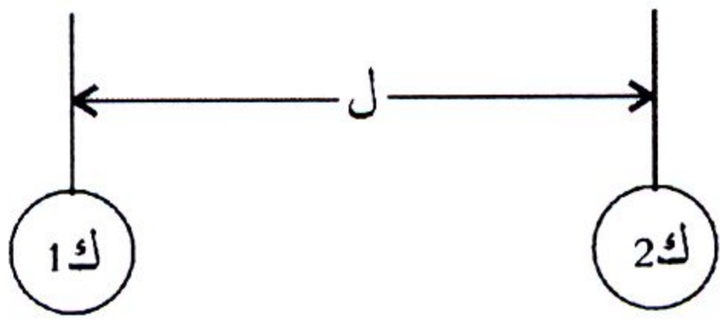
1. قانون كولومب

1.1. القوة الكهروسطاتيكية

بوضع شحنتين على مقربة من بعضهما البعض (الشكل 1)، تتولد قوة تنافر أو تجاذب بحسب تشابه أو تعاكس قطبيتي الشحنتين على التوالي. ولمعرفة قيمة هذه القوة، انصبت أبحاث العالم الفرنسي كولومب[1] لمعرفة صيغتها.

---

1. كولومب (Charles-Augustin COULOMB : 1736-1806) عالم فيزيائي فرنسي انصبت أبحاثه حول التفاعلات الكهربائية والمغناطيسية حيث استطاع عام 1777 تطوير صناعة الإبرة الممغنطة، وهي الأبحاث التي أصبحت قاعدة صلبة لعلم المغناطيسية... وهي الأبحاث التي أدت به إلى إدخال مفهوم العزم المغناطيسي ومفهوم المجال مزيل المغنطة. كما كانت دراساته لتفاعل شحنتين كهربائيتين متجاورتين وراء اكتشافه عام 1785 للقانون المعروف باسمه وهو قانون القوة الكهروسطاتيكية.



الشكل 1. التأثير المتبادل لشحنتين متجاورتين

في عام 1785، اكتشف كولومب صيغة القوة التي تربط مادتين مشحونتين، إذ استطاع أن يبرهن على أن القوة متناسبة طردا مع جداء الشحنتين، كما هي متناسبة عكسا مع مربع المسافة الفاصلة بينهما، وصيغتها هي ما يعرف بقانون كولومب :

$$\text{ق} = \text{ثا} \frac{|\text{ك}_1| \cdot |\text{ك}_2|}{\text{ل}^2} \qquad f = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2}$$

حيث :

– ق هي قوة الجذب بين الشحنتين ووحدتها نيوتن : ق [ن]

– ك_1 هي شحنة الجسم الأول ووحدتها كولومب : ك_1 [كو]

– ك_2 هي شحنة الجسم الثاني ووحدتها كولومب : ك_2 [كو]

– ل هي المسافة الفاصلة بين الشحنتين ووحدتها المتر : ل [م]

– ثا هو ثابت التناسب ويساوي 9×10^9، ويستخرج من الصيغة التالية :

$$\text{ثا} = \frac{1}{4\pi\,\varepsilon_0} \qquad k = \frac{1}{4\pi\,\varepsilon_0}$$

حيث ε_0 هي سماحية الفراغ[1]، وهي $\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ فاراد/متر.

---

1. السماحية – Permittivity : وهي مفهوم عولج بإسهاب في الفصل 6.

2.1. مدلول وحدة الكولومب

من خلال صيغة قوة كولومب تكون قد لاحظت وحدة غريبة عنك، وأكيد أنك تساءلت عن مدلولها وخاصة عن قيمتها. فلماذا كولومب بالذات ؟

تعلم أنه عند التكهرب، تكتسب الأجسام شحنة كهربائية بقطبية محددة وبمجرد لمسها بقطعة - وليس شرطا معدنية - تنتقل هذه الشحنة إلى الطرف الآخر، وذلك بواسطة عبور الإلكترونات.

ولأن تحويل الشحنة بواسطة إلكترون متحرك وحيد، يعتبر وحدة قياس صغيرة جدا، فقد اصطلح على أخذ الشحنة الكلية لعدد كبير من الإلكترونات كوحدة قياس عالمية.

فوحدة القياس "كولومب" تعرف على أنها شحنة $6,25 \times 10^{18}$ جسيم مشحون، بحيث أن كل الأجسام تحتوي على نفس الشحنة بمعنى نفس القطبية، وعادة تكون هذه الأجسام عبارة عن إلكترونات.

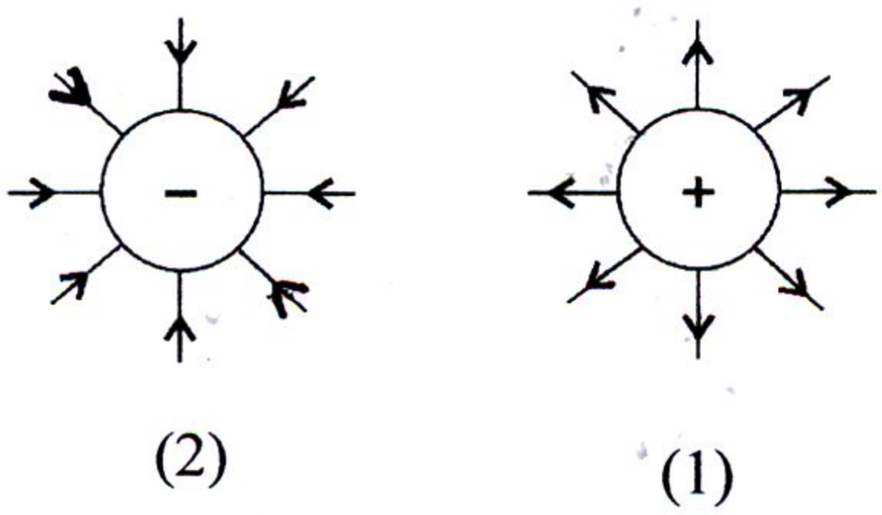
إن شحنة $6,25 \times 10^{18}$ جسيم هي ك = 1 كولومب. ومن هنا، نستنتج أن الكمية الكهربائية المساوية للقيمة 96 500 كولومب ينتج عنها الوزن الجزيئي الغرامي (ن = $6,02 \times 10^{23}$)، أو بعبارة أخرى كتلة ذرية تعادل 1,008 غرام.

2. مفعول المجال الكهربائي

1.2. المحيط الوسطي لشحنة

قد سبق ذكر عبارة "المجال الكهربائي". فما مدلولها ؟

نظرا لبنية الذرة وحجمها الصغير فإننا ندخل مفهوما جديدا وهو الشحنة الدقيقة، وهي تمثيل الشحنة الكهربائية على أنها نقطة من الفضاء ذات شحنة معينة.



(1) (2)

الشكل 2. المجال الكهربائي المحيط بشحنة

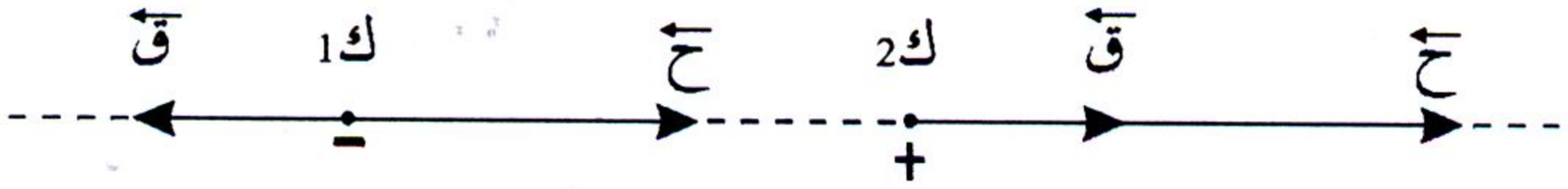
في الشكل 1.2، تلاحظ أن الشحنة الموجبة محاطة بحقل للقوى يدعى مجال القوى الكهربائية أو اختصارا يسمى المجال الكهربائي، وهو ذلك المحيط المعدل بسبب تواجد هذه الشحنة داخله. وأما استعمال السهام الموجهة لتمثيل المجال الكهربائي فهو للاستعانة على الفهم.

بما أن المجال الكهربائي غير مرئي، فإننا نرسم خطوط القوى محيطة بالشحنة قصد تبيين مدى تعديل هذا المحيط الوسطي بالإضافة إلى تمكين الدارس من فهم واستيعاب نظرية تأثر الشحنات فيما بينها.

يتضح من خلال هذا الشكل الممثل لشحنة موجبة، أن سهام المجال تكون نابذة بمعنى متجهة نحو الخارج. وأما الشكل 2.2، فيمثل شحنة سالبة حيث أن السهام جاذبة، أي أنها متجهة نحو المركز.

2.2. صيغة المجال

المجال الكهربائي هو تلك المساحة من الفضاء، حيث توجد شحنة كهربائية خاضعة لقوة كهربائية يكون اتجاهها مرتبط بإشارة هذه



الشكل 3. علاقة شعاع المجال الكهربائي بشعاع القوة

الشحنة، أي قطبيَّتها. ولتمييز المجال الكهربائي في كل نقطة (الشكل 3)، لا بد من تعريف شعاع المجال الكهربائي في هذه النقطة بالعلاقة التالية :

$$\overrightarrow{ق} = ك . \overleftarrow{ح}$$

$$\overrightarrow{f} = q . \vec{E}$$

وبواسطة هذه العلاقة، نستنبط أن المجال الكهربائي $\overleftarrow{ح}$ في نقطة معينة، له :

– نفس إسقاط شعاع القوة $\overleftarrow{ق}$ الناتجة عن الشحنة ك المدروسة في هذه النقطة.

– اتجاه هذه القوة $\overleftarrow{ق}$ حسب قطبية الشحنة ك.

– طويلة هي حاصل القسمة : $ح = \frac{ق}{|ك|}$، وبما أن وحدة القوة هي نيوتن ووحدة الشحنة هي كولومب، فإن وحدة المجال هي نيوتن/كولومب، وتختصر كالتالي : ن/كو.

3.2. خطوط القوة

خطوط المجال، وتسمى كذلك خطوط القوى الكهروسطاتيكية أو خطوط القوى للمجال الكهروسطاتيكي، وهي عبارة عن منحنيات بيانية تمثل مسار الإلكترونات داخل هذا المجال الكهربائي.

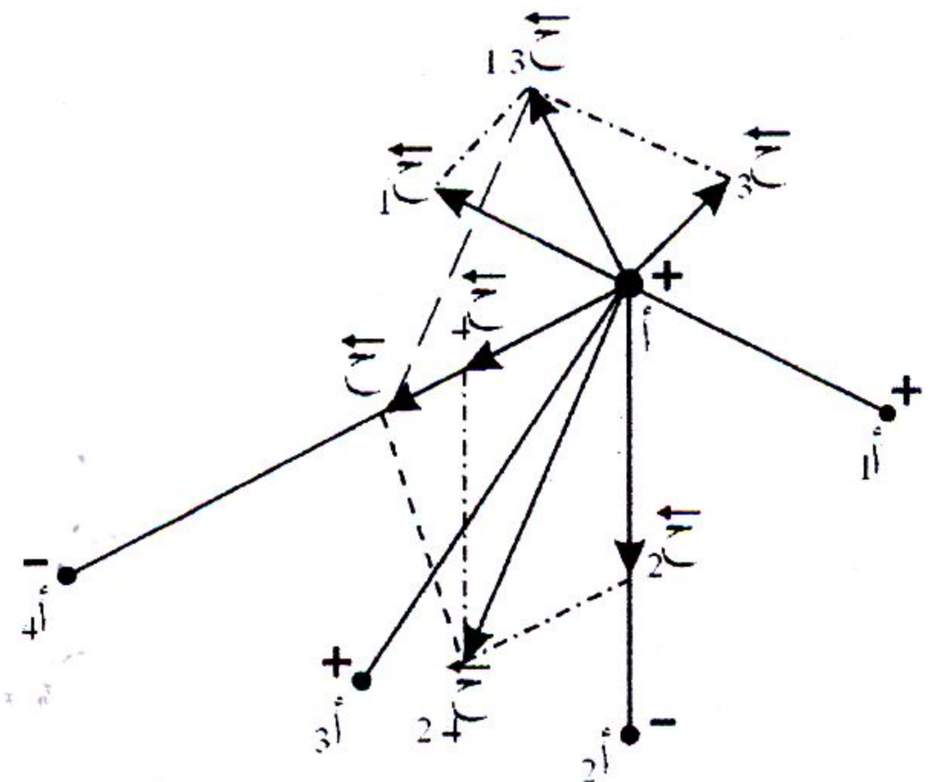
كل نقطة تنتمي لهذا المنحنى تطابق بالضرورة شعاع المجال الكهروسطاتيكي $\overrightarrow{ح}$ ، والذي يكون مماسا على هذه النقطة المدروسة.

وتمتاز هذه الخطوط باحتوائها على اتجاه معين ومحدد يكون مماثلا للشعاع $\overrightarrow{ح}$ ، فإذا كانت الشحنة موجبة فإن اتجاه الخطوط يكون مطابقا للقوة المؤثرة على الشحنة. أما إذا كانت الشحنة سالبة، فإن اتجاههما يختلفان (الشكل 3).

وفي حالة ما إذا توازت هذه الخطوط في مساحة معينة، وهي حالة خاصة، فإن المجال الكهربائي يكون منتظما أي أن الشعاع $\overrightarrow{ح}$ متماثل عبر كل هذه المساحة المعتبرة، بعبارة أخرى فإن الشعاع $\overrightarrow{ح}$ متساويا في جميع نقاط هذه المساحة.

4.2. المجال المحصل

لنفرض أنه يوجد نظام يحتوي على مجموعة شحنات كهربائية، ولتكن دقيقة، وبجوار هذا النظام وضعت شحنة دقيقة. تخضع هذه الشحنة للقوة الكهربائية التي ترتبط بموقع الشحنات المجاورة وقيمها، واعلم أنه في جوار هذا النظام الكلي يوجد مجال كهروسطاتيكي. ولتجسيد ذلك إليك هذا المثال.



الشكل 4. المجال الكهربائي لعدة شحنات

لنفرض أن لدينا شحنة دقيقة موجبة ك في نقطة من الفضاء أ، ومن حولها أربع شحنات دقيقة ك$_1$، ك$_2$، ك$_3$، ك$_4$ متمركزة في النقاط أ$_1$، أ$_2$، أ$_3$، أ$_4$ على التوالي (الشكل 4). ولو درسنا النظام كله في شكل زوج من الشحنات نحصل على :

الشحنة الموجبة ك$_1$ تمارس على الشحنة ك قوة بحيث $\overleftarrow{ق_1} = ك \overleftarrow{ح_1}$. ومن ذلك نفس الشيء يحدث لبقية الشحنات، أي :

ك$_1$ موجبة : $\overleftarrow{ق_1} = ك \overleftarrow{ح_1}$ $\qquad \vec{f_1} = q\vec{E_1}$

ك$_2$ سالبة : $\overleftarrow{ق_2} = ك \overleftarrow{ح_2}$ $\qquad \vec{f_2} = q\vec{E_2}$

ك$_3$ موجبة : $\overleftarrow{ق_3} = ك \overleftarrow{ح_3}$ $\qquad \vec{f_3} = q\vec{E_3}$

ك$_4$ سالبة : $\overleftarrow{ق_4} = ك \overleftarrow{ح_4}$ $\qquad \vec{f_4} = q\vec{E_4}$

حيث الأشعة $\overleftarrow{ح_1}$ ، $\overleftarrow{ح_2}$ ، $\overleftarrow{ح_3}$ ، $\overleftarrow{ح_4}$ تمثل مختلف المجالات المكونة في النقطة أ من طرف ك$_1$، ك$_2$، ك$_3$، ك$_4$ على التوالي، مما يجعل الشحنة الموجبة ك متأثرة بناتج هذه المجالات الكهربائية الأربعة، إذن :

$$\overrightarrow{ق} = \overrightarrow{ق_1} + \overrightarrow{ق_2} + \overrightarrow{ق_3} + \overrightarrow{ق_4} \qquad \mathbf{f} = \mathbf{f_1} + \mathbf{f_2} + \mathbf{f_3} + \mathbf{f_4}$$

وبالتعويض نتحصل على المعادلة التالية :

$$\overrightarrow{ق} = ك\overrightarrow{ح_1} + ك\overrightarrow{ح_2} + ك\overrightarrow{ح_3} + ك\overrightarrow{ح_4}$$

$$\mathbf{f} = q\mathbf{E_1} + q\mathbf{E_2} + q\mathbf{E_3} + q\mathbf{E_4}$$

وعندما تُعاد صياغتها، فإنها تكتب وفق ما يلي :

$$\overrightarrow{ق} = ك\left(\overrightarrow{ح_1} + \overrightarrow{ح_2} + \overrightarrow{ح_3} + \overrightarrow{ح_4}\right) \qquad \mathbf{f} = q\left(\mathbf{E_1} + \mathbf{E_2} + \mathbf{E_3} + \mathbf{E_4}\right)$$

ومن ثم، فهي على الشكل التالي :

$$\overrightarrow{ق} = ك\overrightarrow{ح} \qquad \mathbf{f} = q\mathbf{E}$$

حيث الشعاع $\overrightarrow{ح}$ هو محصلة الأشعة $\overrightarrow{ح} = \overrightarrow{ح_1} + \overrightarrow{ح_2} + \overrightarrow{ح_3} + \overrightarrow{ح_4}$، ومنه نسرد القانون التالي : المجال الكهربائي المتولد عن مجموعة شحنات في نقطة معينة من الفضاء هو محصلة هذه المجالات بالنسبة لهذه النقطة.

3. الكمون الكهربائي

1.3. عمل القوى الكهروسطاتيكية

لكي نحدد ونميز مجالا كهربائيا، فإنه عادة - وهذا لكل نقطة من هذا المجال - ما نعرفه بالكمية السلمية بدل شعاع المجال، والتي تدعى الكمون الكهروسطاتيكي أو ببساطة الكمون الكهربائي.

يستعمل هذا العدد - الكمية السلمية - لكونه أسهل استعمالا من الشعاع، وكذلك لأنه يمثل طاقة كل نقطة من هذا المجال لشحنة ما - إن وجدت - ولتعذُر استعمال هذا العدد دون ارتكاب خطأ، فإننا نعتبر قيمة هذه الطاقة مقارنة بأخرى مأخوذة من نقطة مرجعية، وهنا ظهر مفهوم فرق الكمون. كيف ذلك ؟



(2) (1)

الشكل 5. تحرك الشحنة عبر مسار معلوم

لنفرض أن هناك مجموعة شحنات كهربائية تولد مجالا كهربائيا $\overleftarrow{ح}$. فالشحنة ك الموضوعة داخل المجال تكون تحت تأثير القوة $\overleftarrow{ق}=ك\ \overleftarrow{ح}$. فماذا يحدث لو تحركت هذه الشحنة بمسافة تفال (الشكل 1.5) ؟

تنجز القوة الكهروسطاتيكية $\overleftarrow{ق}$ المؤثرة على الشحنة ك عملا مساويا للعبارة $\overleftarrow{ق} \times \overleftarrow{\text{تفال}}$. فإن كانت هذه الحركة لمسافة محددة، من أ إلى ب مثلا، من المنحنى (ي) مثلما هو موضح على الشكل 2.5، فإن العمل عم للقوة الكهروسطاتيكية تكون عبارته كالتالي :

$$\text{عم} = \int_{\text{ي}} \overleftarrow{ق} . \overleftarrow{\text{تفال}} = ك . \int_{\text{ي}} \overleftarrow{ح} . \overleftarrow{\text{تفال}}$$

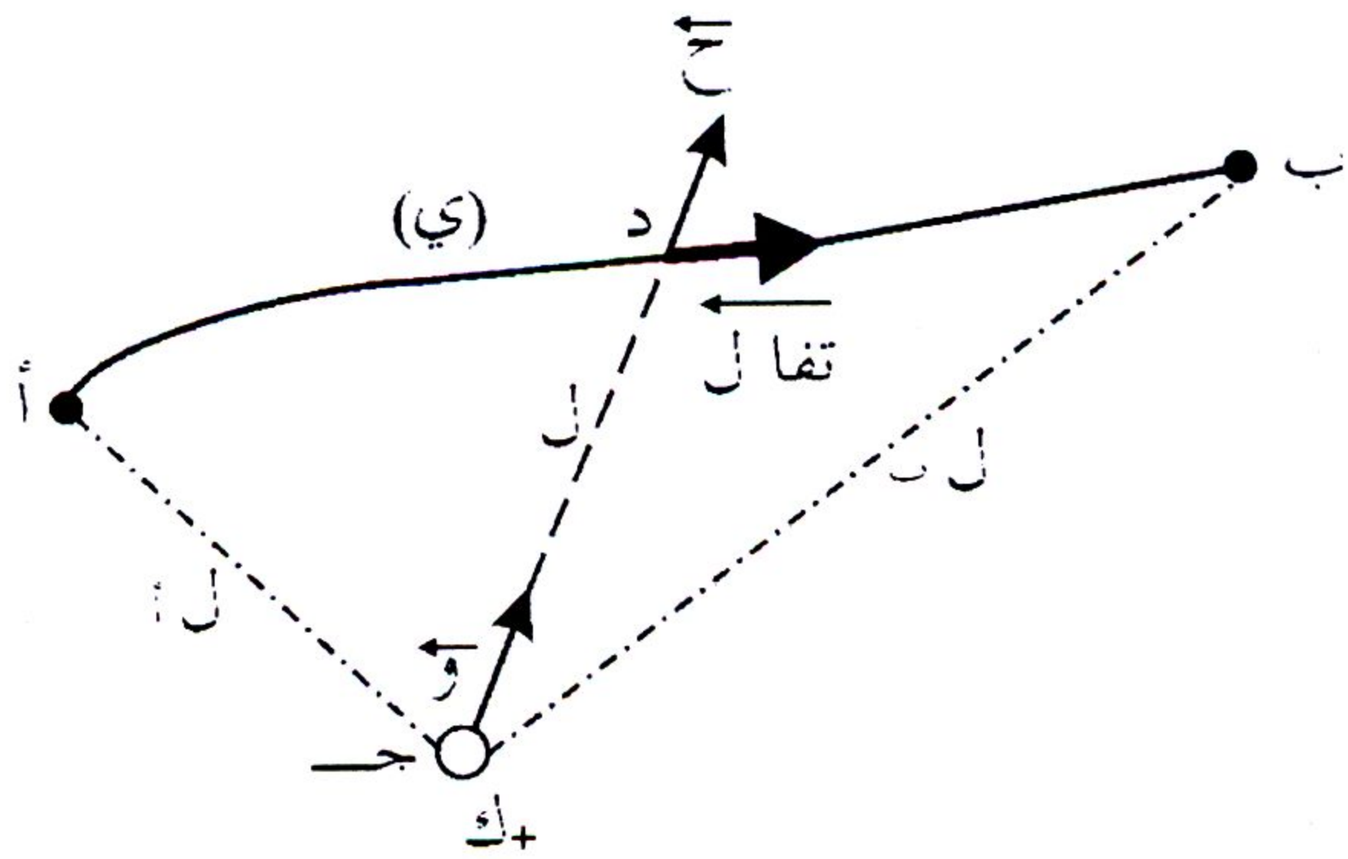
$$W = \int_c \vec{f} . \overrightarrow{d\ell} = q \int_c \vec{E} . \overrightarrow{d\ell}$$

حيث التكامل $\int_{(ي)} \overleftarrow{ح} \cdot \overleftarrow{تفال}$ هو تحول شعاع المجال الكهروسطاتيكي $\overleftarrow{ح}$ من خلال المنحنى (ي). يساوي عمل القوى الكهروسطاتيكية - التي تؤثر على الشحنة ك وتتحرك عبر المنحنى (ي) - جداء الضرب لقيمة الشحنة في تحول شعاع المجال الكهروسطاتيكي عبر المنحنى (ي).

2.3. تحول مجال شحنة دقيقة

تولد شحنة ك - الموضوعة في نقطة جـــ من الفضاء - مجالا كهربائيا عند النقطة د، والتي تبعد عنها بمسافة ل (الشكل 6) وفق المعادلة التالية :

$$\overleftarrow{ح} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{ك}{ل^2} \overleftarrow{و} \qquad \vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q}{r^2} \vec{u}$$



الشكل 6. تحول شعاع المجال $\overleftarrow{ح}$ من أ إلى ب.

وبضرب طرفي المعادلة بالكمية $\overleftarrow{\text{تفال}}$ ، تصبح كالتالي :

$$\overleftarrow{\text{ح}}.\ \overleftarrow{\text{تفال}} = \frac{\text{ك}}{4\pi\varepsilon_0}\ \frac{\overleftarrow{\text{تفال}}}{\text{ل}^2}\ \overleftarrow{\text{و}} \qquad \vec{\mathbf{E}}.\overrightarrow{\mathbf{d}\ell} = \frac{\mathbf{q}}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{\overrightarrow{\mathbf{d}\ell}}{\mathbf{r}^2}\vec{\mathbf{u}}$$

حيث $\overleftarrow{\text{و}}$ يمثل شعاع الوحدة المتجه من جـــ نحو د، إذ $\overleftarrow{\text{و}} = \frac{\overleftarrow{\text{جـــ د}}}{\text{جـــ د}}$. وبالتكامل، نحصل على تحول الشعاع $\overline{\text{ح}}$ عبر المنحنى (ي) من النقطة أ إلى النقطة ب، أي :

$$\int_{\text{ي}} \frac{\text{ك}}{4\pi\varepsilon_0}\ \frac{\overleftarrow{\text{تفال}}}{\text{ل}^2}\ \overleftarrow{\text{و}} = \left(\frac{1}{\text{ل}_{\text{أ}}} - \frac{1}{\text{ل}_{\text{ب}}}\right)\frac{\text{ك}}{4\pi\varepsilon_0}$$

$$\int_c \frac{\mathbf{q}}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{\overrightarrow{\mathbf{d}\ell}}{\mathbf{r}^2}\vec{\mathbf{u}} = \frac{\mathbf{q}}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{\mathbf{r}_A} - \frac{1}{\mathbf{r}_B}\right)$$

أي عندما نضع أ جـــ = ل$_{\text{أ}}$ و ب جـــ = ل$_{\text{ب}}$

ومن خلال العبارة السابقة، تلاحظ أن تحول الشعاع $\overline{\text{ح}}$ لا يرتبط إلا بنقطة مبدأ الحركة ونقطة الوصول، وعليه إليك التعريف : لتكن شحنة كهربائية دقيقة ك موضوعة في نقطة جـــ من الفضاء، فالكمون الكهربائي في نقطة د (على مسافة ل من جـــ) يعرف بالمعادلة التالية :

$$\text{ف (د)} = \frac{\text{ك}}{\text{ل}}\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} + \text{ثابت} \qquad V_{(D)} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r} + \text{constant}$$

وهي عبارة عن كمية سلمية ولذلك تجد غالبا اصطلاح الكمون السلمي، وعليه فتجول مجال الشحنة ك بين النقطتين أ و ب يساوي حاصل الفرق (ف$_{أ}$ - ف$_{ب}$)، والذي يسمى فرق الكمون، ووحدته العالمية للقياس هي الفولط.

وبالنظر للشكل 2.5، يمكن القول أن العمل عم الذي تنجزه القوى الكهروسطاتيكية المؤثرة على الشحنة ك والمتحركة من أ نحو ب عبر مسار المنحنى (ي) هو جداء قيمة الشحنة ك في فرق الكمون (ف$_{أ}$ - ف$_{ب}$)، ومنه تكتب المعادلة التالية :

$$\text{عم} = \text{ك} \ (\text{ف}_{أ} - \text{ف}_{ب}) \qquad W = q\,(V_A - V_B)$$

أعمال تطبيقية

تمرين

توضع شحنة $ك_1 = 2 \times 10^{-3}$ كولومب بجانب شحنة أخرى $ك_2 = -2 \times 10^{-3}$ كولومب تفصل بينهما مسافة س = 15 سم.

1. ما هو اتجاه ومقدار المجال الكهربائي $\overrightarrow{ح}$ في نقطة تتوسط المسافة س الفاصلة بين الشحنتين ؟

2. ما هو اتجاه ومقدار القوة التي يمكن أن تؤثر على إلكترون في ذلك الموقع ؟

الجواب

1. عبارة المجال الكهربائي المتولد عن الشحنتين تكون جامعة للمجال $\overrightarrow{ح_1}$ المتولد بفعل الشحنة $ك_1$، والمجال $\overleftarrow{ح_2}$ المتولد بفعل الشحنة $ك_2$، وعليه :

$$ح_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{ك_1}{(س/2)^2}$$

$$E_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_1}{(x/2)^2}$$

$$ح_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{ك_2}{(س/2)^2}$$

$$E_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{q_2}{(x/2)^2}$$

حيث $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9$، ومنه نحصل على $ح_1 = 3{,}2 \times 10^5$ نيوتن/كو، وكذلك $ح_2$، وعليه :

ح = ح$_1$ + ح$_2$ = 6,4 × 10^5 نيوتن/كو.

2. باعتبار أن الشحنة المدروسة هي شحنة الإلكترون فهي إذن ك$_0$ = −1,6 × 10^{-19} كولومب، وما القوة إلا المعادلة التالية :

ق = | ك$_0$ | ح **f= | e | E**

وهي تعادل ق = 1,024 × 10^{-13} نيوتن.

مسائل

1. متى تكون القوة نافرة ومتى تكون جاذبة ؟ اشرح.

2. بما يمثل المجال الكهربائي ؟ اشرح.

3. كيف يتم تطبيق قانون كولومب على أكثر من شحنتين متجاورتين ؟

4. أخضعت شحنة كهربائية إلى حركة خطية. ماذا تنجز ؟ اشرح.

5. ما هو مفهوم فرق الكمون ومتى يسجل ؟ اجتهد في ذكر مدلول هذه العبارة المركبة من كلمتين : فرق — كمون.

6. شحنتان متجاورتان ك$_1$ = 10^{-9} كولومب و ك$_2$ = 10^{-8} كولومب تفصل بينهما مسافة قدرها ل = 3 سم. ما هي القوة التي تربط بين الشحنتين ؟

7. ما هي شدة القوة المتولدة عن نـــظام شحنتين ك$_1$ = 10^{-8} كولومب و ك$_2$ = -10^{-8} كولومب عندما تكون المسافة الفاصلة بينهما هي 10 سم ؟

8. شحنتان متجاورتان تتنافران بقوة مقدارها 10 نيوتن، فإن خفضت المسافة بينهما بالنصف ما هي قوة التنافر الجديدة ؟

9. شحنتان متجاورتان مقدارهما $ك_1 = 2 \times 10^{-7}$ كولومب و $ك_2 = 10 \times 8,5^{-8}$ كو، متباعدتان بمسافة قدرها 12 سم.

1. ما هو المجال الكهربائي الذي تولده كل شحنة قبالة الأخرى ؟
2. ما هي القوة المؤثرة على كل شحنة ؟
3. استنتج اتجاه المجالين والقوتين.

10. شحنتان متجاورتان $ك_1$ و $ك_2$ تتجاذبان بقوة مقدارها 3 نيوتن، فإن استبدلت الشحنتان بأخريين شحنتاهما $2ك_1$ و $2ك_2$، ما هي قوة التجاذب الجديدة ؟

11. بوضْع شحنتين متماثلتين على مقربة من بعضهما، تفصلهما مسافة 15 سم، تتولد قوة تنافر بينهما تعادل 0,00045 نيوتن. كم تصبح المسافة الفاصلة بينهما لو سجلت قوة التنافر شدة قدرها 0,0003 نيوتن ؟

12. شحنتان متجاورتان $ك_1 = 10^{-8}$ كولومب و $ك_2 = -10^{-8}$ كولومب متباعدتان بمسافة قدرها 16 سم. ما هو اتجاه ومقدار شعاع المجال الكهربائي $\vec{ح}$:

1. المتولد في نصف المسافة الفاصلة بين الشحنتين ؟
2. المتولد في ربع المسافة ؟

13. جُسيْم يحتوي على شحنة كهربائية تعادل ك = -2 × 10^{-9} كولومب يخضع لتأثير مجال كهربائي منتظم، حيث القوة الكهربائية مقدارها ق = 3 × 10^{-6} نيوتن.

1. ما هو مقدار المجال الكهربائي ؟
2. في حالة وجود بروتون داخل هذا المجال، ما هو اتجاه ومقدار القوة الكهربائية المؤثرة عليه ؟ (تلميح : شحنة البروتون هي $ك_0$ = + 1,6 × 10^{-19} كو).
3. ما هي القوة الجاذبة لهذا البروتون ؟

14. شحنتان متجاورتان $ك_1$ = 2,1 × 10^{-8} كو و $ك_2$ = 8,4 × 10^{-8} كو متباعدتان بمسافة ل = 50 سم. أحسب النقطة الموجودة على المحور العابر للشحنتين، حيث محصلة المجال الكهربائي لهما معدومة. (تلميح : المجال المعدوم غير محصور بين الشحنتين).

15. جُسيْم كروي شحنته الكهربائية ك = 10^{-6} كو، ولنفرض نقطة أ تبعد عن الشحنة بمسافة 2 متر، ونقطة ب على نفس المحور إلا أنها في الجهة المقابلة تبعد عن الشحنة بمسافة 1 متر. ما هو فرق الكمون $ف_أ - ف_ب$ المتأمل بين النقطتين ؟

16. تقسم شحنة كهربائية $ك_1$ إلى قطعتين $ك_2$ و $ك_1 - ك_2$. ما هي نسبة التقسيم $ك_2$ مقارنة بالشحنة $ك_1$، إذا رُغب في الحصول على أقصى قوة تنافر بين الشحنتين $ك_2$ و $ك_1 - ك_2$، المتباعدتين بمسافة محددة وثابتة ؟

الفصل 5

المكثفة

نص قانون كولومب على أن تجاور شحنتين يؤدي إلى ظهور قوة بينهما، بحيث إذا تعاكست قطبيتهما تولد مجال كهربائي يحيط بالنظام كله، يعمل على جذب الشحنتين نحو بعضهما البعض. فماذا لو عوضت الشحنتان بطبقين معدنيين ؟

1. التأثير الكهروسطاتيكي

1.1. تكهرب الجوار

لنفرض أن لدينا سلكا ناقلا أ محايدا ومعزولا في الفضاء (الشكل 1.1). عندما نقرب ناقلا ب مشحونا - شحنة موجبة مثلا - على مقربة من الجسم أ، فإن القسم المقابل للجسم ب يشحن سلبا في حين القسم الثاني من الجسم أ يشحن إيجابا. وهنا تسجل الظاهرة المعروفة بالتأثير الكهروسطاتيكي. كيف تفسر هذا التكهرب ؟

يجذب الجسم المشحون ب الإلكترونات الحرة للناقل أ لتتراكم في جهة معينة، وهي الجهة المقابلة للجسم ب بينما تظهر شحنات موجبة في الجهة الأخرى وذلك نظرا لرحيل هذه الإلكترونات، وبالتالي يتكهرب الناقل أ. في بداية التجربة كان الناقل أ محايدا ومعزولا، ومجموع شحنته معدومة، فهل هو الآن موجبا أم سالبا ؟

تلاحظ أن الشحنة السالبة التي ظهرت في الجهة المعينة هي مساوية بقيمة مطلقة للشحنة الموجبة للجهة المقابلة من الجسم أ. وبذلك فهو دائما محايدا وذلك بتعادل شحنتيه، وهنا نقول أنه في توازن، أي أن المجال الكهربائي يكون دائما معدوما. فما تعريف التوازن إذن ؟



(1) (2)

الشكل 1. التأثير الكهروسطاتيكي.

2.1. الشحنات المحايدة

يكون الناقل في توازن عندما تكون حالته الكهربائية ثابتة لا تتغير، أو بعبارة أخرى عندما لا يسجل تحرك الشحنات داخل الجسم المدروس على الرغم من أنه مشحون ويتميز بظاهرة تقابل الشحنات المتعاكسة داخله.

ينتج عن هذه الظاهرة انعدام المجال الكهربائي بسبب تساوي الشحنات المتقابلة والمتعاكسة بقيمة مطلقة... وهو السبب المباشر الذي يجعل هذا الجسم المشحون دوما في توازن. كيف ذلك ولماذا ؟

لمزيد من الشرح، نقول أن دراسة الشكل 2.1 تبرز سبب انعدام المجال، فالمجال في النقطة جـ والتي تنتمي إلى داخل الجسم أ هو مجموع المجالين $\overrightarrow{ح_أ}$ و $\overrightarrow{ح_ب}$ المتولّدين عن الشحنات التي ظهرت في طرفي أ، إذ :

– المجال $\overrightarrow{ح_أ}$ هو المجال المتولد عن الشحنات الظاهرة في الجسم أ، ويكون اتجاهه من النقطة جـ نحو الجسم ب.

– المجال $\overrightarrow{ح_ب}$ وهو المجال المتولد عن شحنات الجسم ب واتجاهه يكون عكس اتجاه المجال $\overrightarrow{ح_أ}$، حيث الشعاعان $\overrightarrow{ح_أ}$ و $\overrightarrow{ح_ب}$ لهما نفس الطويلة ونفس الاسقاط، ولكن باتجاهين متعاكسين (الشكل 2.1).

وانطلاقا من هذا المفهوم، يظهر جليا أن ظاهرة انجذاب الأجسام الخفيفة نحو الأجسام المشحونة هي نتيجة ووليدة التأثير الكهروسطاتيكي.

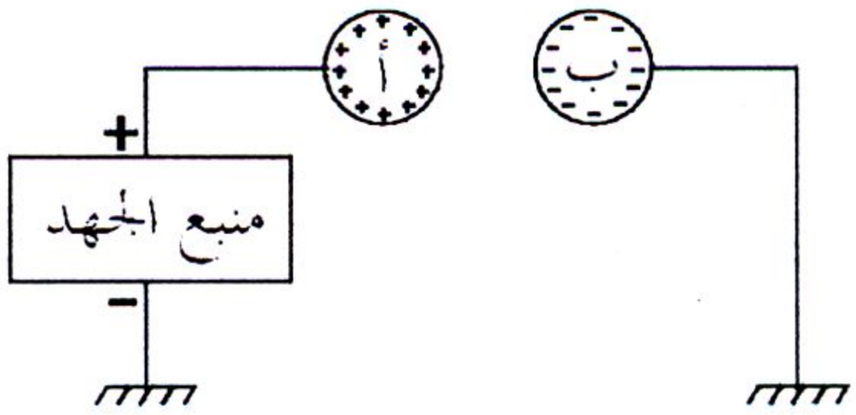
2. كيفية الصنع

1.2. التكثيف الكهروسطاتيكي

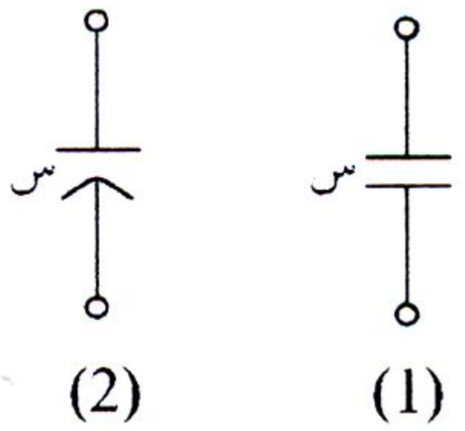
قبل التطرق لهذا المفهوم، يجدر بنا أن نُعرّف منبع الجهد.

في هذا المستوى، يقتصر تعريفنا على أن منبع الجهد هو جهاز خاص بتوليد طاقة كهربائية محددة يمنحها لأدوات أو لأجهزة تكون مركبة بين طرفيه، وهما القطبان.

ويمتاز القطبان أن كلاهما يحتوي على قطبية معاكسة لقطبية الآخر، أي قطب موجب وأخر سالب، وسوف تجد بعون الله تعالى في الفصل 16 توضيح لماهية منبع الجهد بشيء من التفصيل.



الشكل 2. مبدأ المكثفة



الشكل 3. رمز تمثيلي للمكثفة

والآن لنفرض أن ناقلا أ موصولا بالقطب الموجب لمنبع الجهد، حيث قطبه السالب موصولا بالأرض (الشكل 2). بفعل التوصيل والتماس، اكتسب الناقل أ كمونا موجبا ف، وعلى سطح الناقل توجد شحنة كهربائية ك. ماذا يحدث لو قربنا من الناقل أ ـــ ذي الشحنة الموجبة ـ ناقلا ب موصولا بالأرض ؟

بفعل التأثير الكهروسطاتيكي يكتسب الناقل ب شحنة سالبة، ودائما بفعل التأثير الكهروسطاتيكي تتسبب الشحنات السالبة للناقل ب في ظهور شحنات موجبة إضافية على الناقل أ، وهكذا تزداد الشحنة الكلية للناقل أ، وهو ما يعرف بالتكثيف، أي تكثيف الكهرباء على الناقل أ. ومن هنا نقول أن التأثير الكهروسطاتيكي أدّى إلى تكثيف الشحنات المتعاكسة بين الناقل أ والناقل ب، والذي زاد من ذلك وجود المنبع موصولا بالناقل أ.

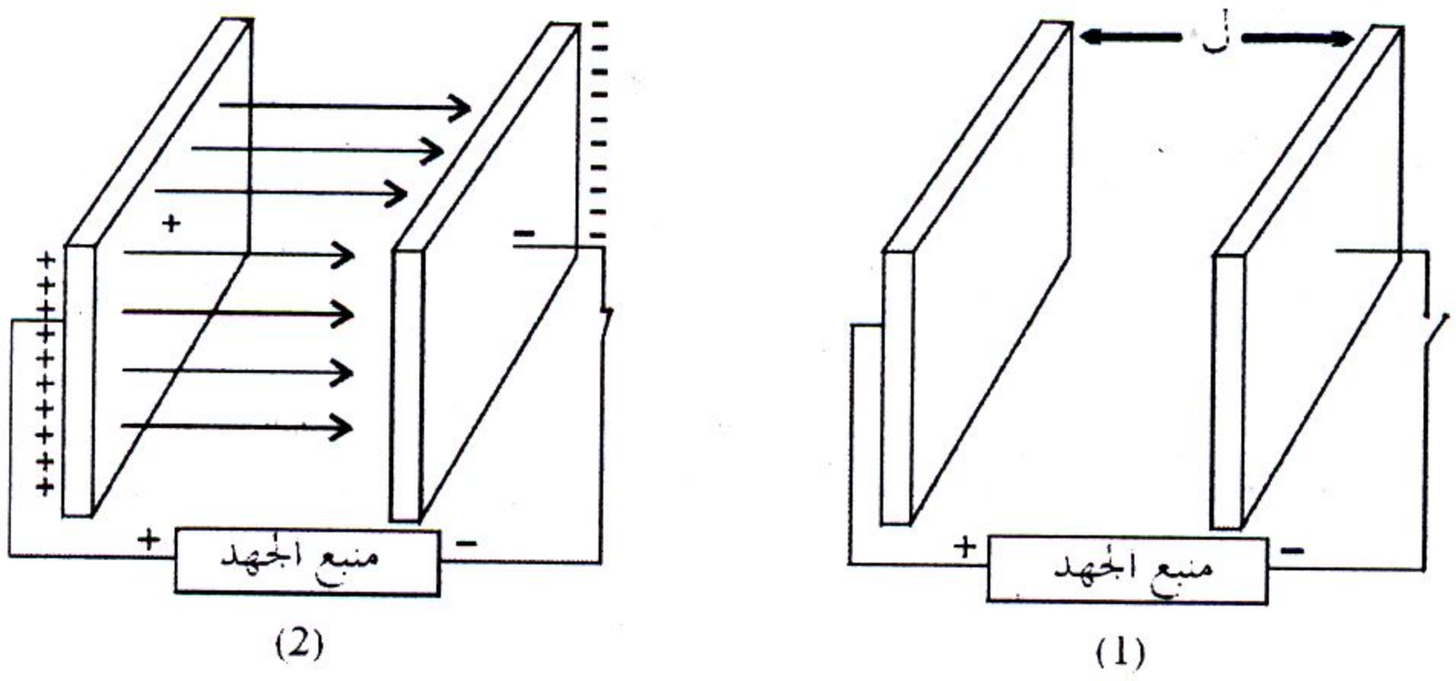
2.2. مبدأ التصميم

من هذا المنطلق، ظهر للوجود عنصر مادي، هو أحد أهم النوابط الإلكترونية يعتمد مبدأ تشغيله أساسا على التأثير الكهروسطاتيكي ألا وهو المكثفة، وربما أدركت أصل ومصدر هذه التسمية الاصطلاحية. وفي الشكل 3 تمثيل رمز المكثفة، وأما الملحق 1 في نهاية الكتاب فيبين تصنيفها ضمن النوابط الإلكترونية.

وأما عن كيفية صناعة المكثفة فتتم حسب تصميم يعتمد على صفيحتين معدنيتين متساويتين في المساحة ومتقابلتين دون تماس، بحيث أن كل صفيحة تكون مسطحة وموازية تماما للأخرى (الشكل 1.4).

كل صفيحة موصولة بأحد قطبي منبع جهد، بحيث إحدى الصفيحتين موصولة بالقطب السالب لمنبع الجهد عبر قاطعة مفتوحة، في حين الصفيحة الثانية موصولة بالقطب الموجب.

في اللحظة التي يتم فيها غلق القاطعة، أي وصل منبع الجهد بالصفيحتين، سوف تنتقل الإلكترونات من الصفيحة اليسرى نحو القطب الموجب للمنبع، ومن القطب السالب لمنبع الجهد نحو الصفيحة اليمنى. فينجم عن هذا أن الصفيحة اليمنى تصبح سالبة في حين الصفيحة اليسرى تكون موجبة. وما تولد المجال الكهربائي بين الصفيحتين (الشكل 2.4) إلا نتيجة هذه الحركة من صفيحة لأخرى.



الشكل 4. مكثفة بسيطة.

3. كيفية الاشتغال

بالنظر لما جاء في الفصل السابق، نقول أنه كلما وجد مجال كهربائي إلا ووجد فرق الكمون، ولهذا يظهر فرق كمون بين الصفيحتين بمجرد غلق القاطعة. كيف ذلك ؟

تعلم أن شحنتين متشابهتين تتنافران، وبفعل تجمع الإلكترونات على الصفيحة اليمنى فسوف تنتج قوة تنافر هائلة جدا بين الإلكترونات، الشيء الذي يجعلها تتنافر داخل الصفيحة لتتجه في شكل حشد ضخم، أي حزمات، إلى مستوى المساحة أو الواجهة الخارجية. وسوف نبرهن فيما سيأتي أن المساحة ذات أهمية كبرى مقارنة بالحجم.

كلما غادر إلكترون الصفيحة الموجبة ينجم عنه وصول إلكترون حتما على الصفيحة السالبة. لهذا السبب، الشحنة السالبة الإجمالية المغادرة للصفيحة الموجبة تبقى دوما مساوية لمجموع الشحنة السالبة التي تصل إلى الصفيحة السالبة. لهذا نقول أن الشحنات على كلتا الصفيحتين دوما متساويتان في الكمية ولكن بإشارتين مختلفتين، سالبة وموجبة.

لمزيد من التوضيح إليك هذا المثال : نفرض أن الشحنة المحولة من صفيحة إلى أخرى، أي من الصفيحة الموجبة نحو الصفيحة السالبة، هي ك = 2 كولومب. في هذه الحالة، الصفيحة الموجبة تحتوي على شحنة تعادل +2 كولومب بينما الصفيحة السالبة تحتوي على شحنة تعادل -2 كولومب.

هاتان الصفيحتان تشكلان ما يعرف بالمكثفة وكل صفيحة تدعى لبوس، وفي الشكل 3 رمز المكثفة حيث الحرف س يمثل المكثفة ذاتها كعنصر مادي، أي أحد النوابط الإلكترونية (الملحق 1) التي عولجت بإسهاب في نهاية هذا الكتاب.

4. سعة المكثفة

1.4. موقع تخزين الشحنات

لنفرض أننا بصدد دراسة ناقل معزول في الفضاء يحمل شحنة ك، وليكن ف كمونه، باعتبار أن الكمون معدوم في اللانهاية (المرجع). فماذا يحدث للنظام بأكمله لو استبدلت الشحنة ك بشحنة ن ك ؟

من البديهي أن المجال الكهربائي في كل نقطة من الفضاء سوف يتضاعف ن مرة، وكذلك الكمون ف للناقل. فنستنتج أن الشحنة والكمون متناسبان للناقل المدروس، وتكون نسبتهما عبارة عن عدد ثابت س يدعى السعة، سعة المكثفة، وتعرف كالتالي :

$$\text{س} = \frac{\text{ك}}{\text{ف}} \qquad C = \frac{q}{V}$$

السعة إذن هي حاصل قسمة الشحنة المحولة على فرق الكمون (ف = 0 لما لا نهاية) الموجود بين الصفيحتين، وهكذا نصل إلى أن السعة متناسبة طردا مع الشحنة ومتناسبة عكسا مع فرق الكمون، ولهذا بقدرما يكون هناك تحويل للشحنة في الفولط الواحد بقدر ما تزيد قيمة السعة.

لنفرض أنه بعدما شحنت المكثفة، نزعت عن منبع الجهد ؛ هنا نلاحظ أن الشحنات بقيت على كلتا الصفيحتين، كل شحنة على صفيحة، ومنها نستنتج أهم خاصيات المكثفة : إنها تمثل مخزنا للشحنات.

2.4. مفهوم الفاراد

وحدة القياس العالمية للسعة هي الفاراد[1]، ويرمز لها فد، ومنه نعرف واحد فاراد (1 فد) على أنه تحويل شحنة مكثفة لواحد كولومب عندما يظهر بين صفيحتي هذه المكثفة واحد فولط، أي :

1 فاراد = 1 كولومب /1 فولط

أي 1 فد = 1 كو /1 فو

بفضل التقدم الهائل في ميدان العلوم الصناعية وعلم الإلكترونيات بصفة خاصة، يمكننا قياس سعة المكثفة دون اللجوء إلى العمليات الحسابية المملة، والجهاز الذي يسمح بذلك يدعى مقياس السعة، وهو جهاز يُظهر سعة المكثفة المقاسة على شاشته في شكل عدد يشير إليها وإلى وحدة القياس المستعملة.

إن قيمة واحد فاراد تمثل سعة ضخمة جدا، وسوف يدرس سبب ذلك، ولأجل هذه السعة الضخمة تستعمل عادة الوحدات الفرعية الصغرى لهذه الوحدة :

1 ميلي فاراد = 1 ميلي فد = 1×10^{-3} فد $= 10^{-3}$ فد $\quad 1m\,F = 10^{-3}\,F$

1 ميكروفاراد = 1 μفد = 1×10^{-6} فد $= 10^{-6}$ فد $\quad 1\mu F = 10^{-6}\,F$

1 نانوفاراد = 1 نافد = 1×10^{-9} فد $= 10^{-9}$ فد $\quad 1\,nF = 10^{-9}\,F$

1 بيكوفاراد = 1 بيكوفد = 1×10^{-12} فد $= 10^{-12}$ فد $\quad 1\,pF = 10^{-12}\,F$

---

1. فاراد مشتق من اسم فاراداي (Michael FARADAY: 1791-1867) فيزيائي وكيماوي إنجليزي، اهتم بدراسة مفعول المجال المغناطيسي على دارة كهربائية يعبرها تيار، ومن ذلك وضع مبدأ المحرك الكهربائي.

أعمال تطبيقية

تمرين

تتكون مكثفة من طبقين معدنيين متوازيين ومستطيلين : 9,5 سم × 9 سم، ومسافة 5 سم تفصل بينهما.

1. أحسب سعة المكثفة إن ترك الهواء يفصل بين الصفيحتين.
2. أحسب الشحنة المخزنة على إحدى الصفيحتين إذا طبق بينهما فرق كمون يعادل 25 فولط.
3. استنبط الطاقة الكهربائية المخزنة داخل الميكا.

الجواب

1. مساحة الصفيحة الواحدة هي :

$(9,5 \times 10^{-2}) \times (9 \times 10^{-2}) = 85,5$ سم^2

والبحث عن سعة المكثفة يكون بواسطة المعادلة :

$$س = \varepsilon \frac{ع}{ل} \qquad C = \varepsilon \frac{A}{d}$$

حيث :

- ε هي سماحية الهواء وهي $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_ن = 8,85 \times 10^{-12}$ فد/م.
- ل هي المسافة الفاصلة بين الصفيحتين وتعادل 5 سم.

وعليه فالسعة س = 1,51 بيكوفاراد.

2. تستخرج الشحنة ك بواسطة المعادلة :

$$س = \frac{ك}{ف}$$

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

حيث ف هو فرق الكمون المعتبر بين الطبقين وهو ف = 25 فولط.

وعليه فالشحنة المخزنة هي ك ≅ 0,38 بيكوكولومب، وبذلك فالصفيحة الموجبة تخزن شحنة تعادل + 0,38 بيكوكولومب وأما الصفيحة السالبة فتخزن شحنة تعادل – 0,38 بيكوكولومب.

3. معادلة الطاقة الكهربائية هي :

$$عم = \frac{1}{2} س ف^2$$

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

وبتعويض القيم نحصل على عم = 473 × 10^{-6} جول.

مسائل

1. أذكر كيفية حدوث التأثير الجواري لشحنة كهربائية. استنتج مفهوم التأثير الكهروسطاتيكي.

2. ما هو مفهوم التكثيف الكهروسطاتيكي ؟ كيف يستعمل هذا المبدأ في صناعة المكثفة ؟

3. أذكر كيفية اشتغال المكثفة. كيف يتم مبدأ تخزين الشحنات ؟

4. أذكر سبب تقابل الشحنات بين صفيحتي المكثفة.

5. ما المقصود من إصطلاح "توازن الشحنات" ؟ متى يحدث هذا التوازن ؟

6. متى ينعدم المجال الكهربائي ؟ ما المتسبب فيه ؟

7. أجتهد في معرفة سبب تصنيف المكثفة كعنصر متفرد محايد (أنظر الملحق 1).

8. اجتهد في معرفة موقع تخزين الشحنة.

9. لم تعتبر المكثفة مخزنا للشحنات ؟ اجتهد في تفصيل ذلك.

10. اجتهد في تعريف مقياس السعة. صف أهم أجزاءه.

11. تحول شحنة ك = 0,45 كولومب عبر صفيحتي مكثفة. أحسب الشحنة المغادرة للصفيحة الموجبة والشحنة المترسبة على الصفيحة السالبة.

12. أحسب سعة مكثفة تمتاز بصفيحتين معدنيتين تفصل بينهما مسافة 3,5 سم ومساحة مقطعيهما تعادل 77 سم^2.

13. أحسب الشحنة المخزنة عبر صفيحتي مكثفة، سعتها 2,8 بيكوفاراد، إذا طبق بين قطبيها جهد يعادل 24 فولط.

14. أحسب الطاقة الكهربائية المخزنة في الكهروعازل إذا طبق بين صفيحتي المكثفة، وسعتها 25 µفد، جهد يعادل 15 فولط.

15. تخزن شحنة +63 µ كولومب على إحدى صفيحتي المكثفة.

1. ما هي شحنة الصفحة المقابلة ؟

2. ما هو فرق الكمون المعتبر بين هاتين الصفيحتين إن كانت سعة المكثفة 5 µ فاراد ؟

الفصل 6

الكهروعازل

بفعل التكثيف الكهروسطاتيكي، تكتسب المكثفة شحنات متعاكسة ومتقابلة بين صفيحتين، وقلنا قد تحتفظ بها لوقت طويل. كيف يُعرّف هذا الوقت وأين تختزن هذه الطاقة ؟

1. المجال الكهربائي المنتظم

نفرض دوما أن الصفيحتين متوازيتان ومتساويتان في المساحة، ومعزولتان في الفضاء. يكون المجال الكهربائي المتولد بين الصفيحتين منتظما عندما تكون خطوط القوة لهذا المجال متوازية، وعندها يكتب مُساويا لحاصل القسمة الآتي :

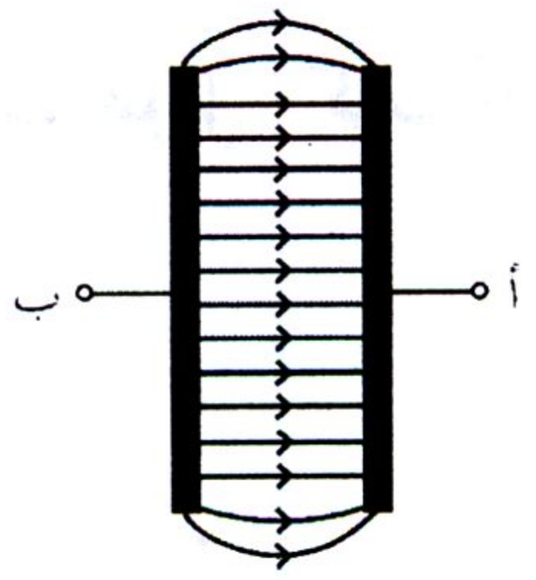
$$\frac{ف_{أ} - ف_{ب}}{ل} \qquad \frac{V_A - V_B}{\ell}$$

حيث :

– $ف_{أ}$ هو كمون اللبوس أ : $ف_{أ}$ [فولط]

- فـ هو كمون اللبوس ب : فـ [فولط]
- ل هي المسافة الفاصلة بين الصفيحتين : ل [م]

وتلاحظ من خلال الشكل 1 أن المجال الكهربائي بين الصفيحتين منتظم، حيث كل أشعة المجال وبالتالي خطوط القوة تكون مستقيمات متساوية ومتوازية. في حين تكون هذه الخطوط متغيرة بعض الشيء في طرفي الصفيحتين، إذ يسجل اضطراب في المجال الكهربائي إلاّ أنه غير معتبر. لكن ولظروف طبيعية، قد يتأثر المجال في نقاط معينة. فما العمل ؟



الشكل 1. خطوط المجال لمكثفة معزولة في الفضاء



الشكل 2. تركيب عازل كهربائي بين الصفيحتين.

رأينا أنه بين الصفيحتين يولد مجال كهربائي يدفع الإلكترونات نحو الصفيحة السالبة ويبعدها عن الصفيحة الموجبة، فماذا يحدث لو وضعنا عازلا بين الصفيحتين، غير الهواء المتواجد بينهما ؟ هل تتغير السعة ؟

2. تأثير العازل الكهربائي

إلى حد الآن، درسنا المكثفة بفرضية أن الصفيحتين معزولتان في الفضاء لا يفصل بينهما سوى الهواء كمادة عازلة.

الفصل 6

الكهروعازل

بفعل التكثيف الكهروسطاتيكي، تكتسب المكثفة شحنات متعاكسة ومتقابلة بين صفيحتين، وقلنا قد تحتفظ بها لوقت طويل. كيف يُعرّف هذا الوقت وأين تختزن هذه الطاقة ؟

1. المجال الكهربائي المنتظم

نفرض دوما أن الصفيحتين متوازيتان ومتساويتان في المساحة، ومعزولتان في الفضاء. يكون المجال الكهربائي المتولد بين الصفيحتين منتظما عندما تكون خطوط القوة لهذا المجال متوازية، وعندها يكتب مُساويا لحاصل القسمة الآتي :

$$\frac{ف_{أ} - ف_{ب}}{ل} \qquad \frac{V_A - V_B}{\ell}$$

حيث :

- $ف_{أ}$ هو كمون اللبوس أ : $ف_{أ}$ [فولط]

من خلال الشكل 2، يتضح أن الإلكترون السطحي مجذوب نحو الصفيحة العليا وفي نفس الوقت ينفر من الصفيحة السفلى. وجراء هذه العملية، عملية الجذب والنفر، يتغير مسار الإلكترون السطحي ليتشوه بشكل واضح فينكمش. كيف ذلك ؟

لا تغادر الإلكترونات السطحية مسارها لتصبح حرة لكن المسار الذي كانت تتبعه ينكمش، إذ وكما تلاحظ على الشكل 2 فإن المسار الخارجي للذرة ينكمش من جهة الصفيحة السالبة ويتمدد من جهة الصفيحة الموجبة.

بهذه النتيجة، يكون الإلكترون قد استغرق وقتا في الدوران يكون أطول من جهة الصفيحة الموجبة مقارنة بوقت دورانه من جهة الصفيحة السالبة.

فنستنتج أن هناك شبه زَيَحان (أو إنزِياح) للإلكترونات نحو الصفيحة الموجبة دون ذراتها. تعرف ظاهرة الزيحان وظاهرة انكماش مسار الإلكترون باصطلاح "الاستقطاب"... وهي ظاهرة لا تحدث إلا بوجود كهروعازل بين الصفيحتين غير الهواء.

4. كيفية تركيز المجال

عندما يتعطل الإلكترون من جهة الصفيحة الموجبة، فكأن الأمر يتعلق بوجود شحنات سالبة... وهو كذلك، مما يدفع بظهور مجال كهربائي موجه نحو الأعلى. وباعتبار أن مجال الصفيحتين موجه نحو الأسفل، فإن محصل المجالين المسجل بين الصفيحتين يكون أصغر.

فالإلكترون يتعرض لجاذبية النواة كما هو معرض كذلك لنفور الذرة المستقطبة، فيتأخر في دورانه في جوار الصفيحة الموجبة. وهو

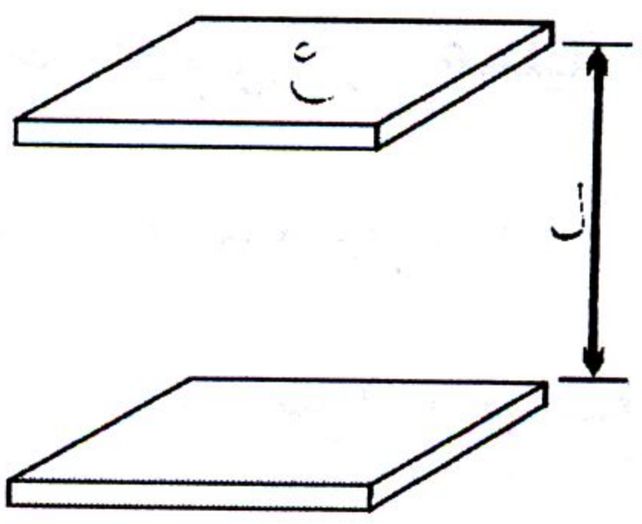
السبب المباشر في أن فرق الكمون بين الصفيحتين يتكثف ويتركز عند وجود كهروعازل غير الهواء، إذ نفس فرق الكمون المسجل يُحوّل أكبر كمية للشحنات عندما يُركب كهروعازل بين الصفيحتين.

يقتصر دور الصفيحتين على نقل وتوصيل الكهرباء، أي تطبيق فرق كمون، وأما الكهروعازل فيتمثل دوره في تركيز المجال الكهربائي داخل المكثفة حتى لا ينتشر في كل الاتجاهات. ومن ثم فإن تركيب "الكهروعازل المستقطب" يزيد في سعة المكثفة باعتبار أن كمية الاستقطاب ترتبط مباشرة بمعامل السماحية التي تدخل بصفة معتبرة في تحديد المكثفة. كيف ذلك ؟

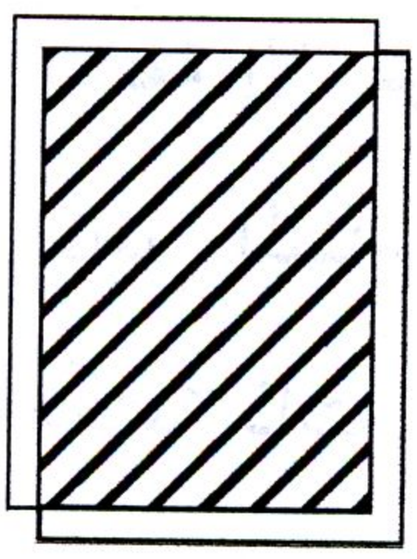
5. وسائط التصنيع

عندما تتجه إلى مخابر الأبحاث العلمية أو المصانع فسوف تلاحظ قيمة معيارية لسعة المكثفات، ولا يمكن أن تجد في سلم معين كل القيم التي تريد الحصول عليها. لماذا ؟ لأن الوسائط التي تستعمل لاستخراج السعة ليس من السهل أبدا، أن تستخرج بالقيم التي يرغب فيها لأنها قيم معيارية.

وفيما يتبع سنحاول بتوفيق من المولى عز وجل تبيين ذلك، وهناك تجد شرحا وافيا وكافيا لسبب اتخاذ قيم معيارية عند صناعة المكثفات والتي هي دوما الوحدات الفرعية الصغرى لوحدة قياس الفاراد.



الشكل 3. صفيحتا مكثفة على بُعد ل



الشكل 4. مساحة صيغة السعة

1.5. صيغة السعة

لنفرض أن لدينا صفيحتين كما هو موضح في الشكل 3، حيث المنطقة التي تفصل بينهما قد تكون الهواء أو الورق أو أي مادة عازلة والتي اصطلحنا على تسميتها بالعازل الكهربائي أو الكهروعازل.

تكون السعة متناسبة طردا مع مساحة الصفيحة لأنه بقدر ما تزيد المساحة يزيد عدد الإلكترونات الحرة، في حين إنها تصغر بابتعاد الصفيحتين عن بعضهما البعض، ومنه نكتب الصيغة التالية :

$$س = \varepsilon \frac{ع}{ل} \qquad C = \varepsilon \frac{A}{d}$$

حيث :

- س هي سعة المكثفة ووحدتها كولومب : س[كو]
- ع هي مساحة الصفيحة الواحدة ووحدتها متر مربع : ع[م^2]
- ل هي المسافة الفاصلة بين الصفيحتين ووحدتها المتر : ل[م]
- ε هو ثابت مرتبط بمادة صنع العازل الكهربائي.

تقييد سعة المكثفة يظهر من خلال هذه الصيغة، إذ لا يمكن أن تصنع مكثفة إلا بقيم معيارية تعود بالدرجة الأولى إلى عملية التصنيع وهذا لعامل المساحة والمسافة الفاصلة بين الصفيحتين، وإلا فكيف تصنع مكثفة ذات حجم ضخم ووزن ثقيل جدا سوف توضع داخل تركيب كهربائي بسيط.

2.5. مساحة الصفيحتين

صفيحتان متساويتان، متوازيتان وخاصة متقابلتان، وكانت في هذه الحالة المساحة المعتبرة في صيغة السعة هي مساحة الصفيحتين، فماذا يحدث لو لم تكن الصفيحتان متقابلتين أي أن هناك إنزياح بينهما (الشكل 4) ؟

في هذه الحالة، الصيغة السالفة تبقى سارية المفعول، إلا أن المساحة المعتبرة هي المساحة المشتركة التي تكون مغطاة من قبل الصفيحتين، وهي المساحة المظللة على الشكل 4. في حالة تقابل الصفيحتين، تؤخذ مساحة المقطع العرضي للمنطقة الداخلية من المكثفة دون اعتبار الفضاء الخارجي. ومن هذا المنطلق، تلاحظ لماذا لا يمكن صنع مكثفات لأي سعة وهذا لأن المساحة تقيد سعة المكثفة، فهي تدخل مباشرة في صيغة هذه السعة.

من خلال صيغة المكثفة تلاحظ تزايد السعة بتزايد المساحة، فهما متناسبتان طردا. من هنا، نكون قد أثبتنا هذه العلاقة الطردية بين المفهومين وتوصّلنا إلى توضيح هذا المفهوم ومدى تأثيره على السعة، فقد تبين أن صيغة السعة متوقفة تماما على المساحة دون الحجم.

6. مفهوم السماحية

1.6. عازلية الوسط

من خلال عبارة السعة المدروسة آنفا وزيادة على ما رأيناه، يتضح لك أن سعة المكثفة متوقفة على المادة المصنوع منها الكهروعازل، والتي تتقيّد بثابت يمثل بالحرف ε وهو حرف إغريقي يقرأ أبْصَيْلون.

الثابت ε، يدعى السماحِية، وهو عدد ثابت متوقف على مادة صنع الكهروعازل الموجود بين الصفيحتين، أي أنه معامل العزل للوسط المحصور بين الصفيحتين، فهو يظهر مدى عزل هذه المادة الوسطية للكهرباء.

قيست سماحية الفراغ أو الهواء، فوجدت أنها تساوي $8,85 \times 10^{-12}$ فاراد على المتر، ومن ذلك اتخذت كقيمة مرجعية لقياس سماحية بقية العوازل، فهي مرجعية كل الكهروعوازل، وعليه كان رمزها هو $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ فاراد / متر.

يحتوي الجدول 1 على بعض قيم السماحية لبعض الكهروعوازل، ومن خلاله تلاحظ مدى صغر السماحية... وهو السبب المباشر في كون سعات المكثفة صغيرة جدا، دفعتها الضرورة إلى أن تصمم بقيم معيارية... دوما صغيرة جدا.

العازل الكهربائي	السماحية المطلقة ε [فاراد/المتر]
الهواء أو الفراغ	$8,85 \times 10^{-12}$
البوليسْتيرَان	23×10^{-12}
البوليَسْتر	27×10^{-12}
الزيت	31×10^{-12}
الورق	35×10^{-12}
الزجاج	37×10^{-12}
الخزَف	55×10^{-12}
الميكا	66×10^{-12}
أكسيد الألمنيوم	89×10^{-12}

الجدول 1. السماحية المطلقة لبعض المواد العازلة.

Dielectric	الثابت $\varepsilon_{ن}$	الكهروعازل
Vacuum	1	الفراغ
Air	1,00054	الهواء
Polysterene	2,6	البوليستيران
Polyester	3	البوليستر
Paper	4	الورق
Glass	4,2	الزجاج
Porcelain	6,2	الخزف
Mica	7,5	الميكا
Aluminum oxide	10	أكسيد الألمنيوم

الجدول 2. السماحية النسبية "ثابت الكهروعازل" لبعض المواد العازلة.

2.6. ثابت الكهروعازل

في حالة كَوْن الكهروعازل متجانسا – وهو شرط تحقيق صيغة السعة – فإن السماحية، والتي تعرف تحديدا باصطلاح السماحية المطلقة، أن تصبح عبارة عن جداء الحدين التاليين :

– ε_0 وهو ثابت العزل المرجعي والذي يعرف باصطلاح السماحية المرجعية.

– $\varepsilon_{ن}$ وهو ثابت العزل النسبي والذي يعرف باصطلاح السماحية النسبية.

ومن ذلك تلاحظ سبب تسمية السماحية النسبية $\varepsilon_{ن}$ باصطلاح ثابت الكهروعازل لأن هذا المعامل $\varepsilon_{ن}$ يخصص لمادة عازلة بعينها. وعليه فالسعة هي :

$$\text{س} = \varepsilon_0 \varepsilon_{\text{ن}} \frac{\text{ع}}{\text{ل}} \qquad C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}$$

من خلال الجدول 2، تم تمثيل قيم السماحية النسبية $\varepsilon_{\text{ن}}$ لبعض المواد العازلة والتي تميز الكهروعازل. بصفة عامة، كل محيط عازل يتميز بهذه الخاصية المعروفة بالسماحية النسبية التي تكتب وفق العلاقة $\varepsilon_{\text{ن}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$، وهي تعرف على أنها قابلية العازل الكهربائي في مدى تركيزه لخطوط القوة. فمثلا مادة الميكا تمتاز أن $\varepsilon_{\text{ن}} = 7{,}5$ بينما الهواء يمتاز أن $\varepsilon_{\text{ن}} = 1$، ومن ذلك يستنتج أن الميكا أكثر تركيزا لخطوط القوة من الهواء، وكلاهما عازل.

مسائل

1. عرف المجال الكهربائي المنتظم. بما يمتاز عن غيره ؟

2. لم يُفترض أن الصفيحتين لا تتلمسان إطلاقا ؟ ما الذي يمكن حدوثهُ في هذه الحالة ؟

3. اجتهد في تفسير فرضية "المكثفة معزولة في الفضاء". ما المقصود من ذلك ؟

4. ما الهدف من تركيب مادة عازلة - غير الهواء - بين صفيحتي المكثفة ؟ اشرح.

5. ما هو مفهوم السماحية ؟ اذكر كيفية تأثيرها في تحديد سعة المكثفة ؟ اشرح.

6. ما هي سعة مكثفة شحنتها 0,025 كولومب عند تطبيق فرق كمون يعادل 5 فولط ؟

7. شحنة تعادل 30μ كولومب تحوّل من صفيحة لأخرى. ما هي السعة إن كان فرق الكمون المفروض بين الصفيحتين يعادل 10 فو ؟

8. تُخزن شحنة +20μ كولومب على إحدى صفيحتي مكثفة. ما هو فرق الكمون المعتبر بين الصفيحتين إن كانت سعة المكثفة 4μ فد؟

9. تُخزن شحنة 40 بيكوكولومب على إحدى صفيحتي المكثفة.

1. ما هي شحنة الصفيحة المقابلة ؟

2. ما هي سعة المكثفة إن كان فرق الكمون 8 فو ؟

10. طبقان متوازيان تفصل بينهما مسافة 50 سم يحملان شحنتين متساويتين ومتعاكستين، يتولد بينهما مجال كهربائي ثابت يمارس قوة دفع مقدارها 6 نيوتن على الشحنات الموجبة، ما هو العمل الذي تنجزه القوة لحمل هذه الشحنات من الصفيحة السالبة نحو الصفيحة الموجبة ؟

11. مادة عازلة سمكها 0,1 مم تمتاز بثابت السماحية يعادل 2,2، توضع بين صفيحتين قصد تشكيل مكثفة. ما هي مساحة الصفيحة الضرورية لصنع مكثفة سعتها تعادل 2μ فد ؟

12. أسطوانة متجانسة من مادة عازلة طولها 20 سم، قطرها الداخلي 12 سم، وسمكها 3 مم تمتاز بثابت السماحية $\varepsilon_{ن} = 6$، تلبس من الداخل والخارج بطبقات معدنية لصنع مكثفة.

1. ما هي سعة المكثفة ؟

2. إذا طبق بين الصفيحتين فرق كمون قدره 20 كفو، ما هي شحنة كل صفيحة ؟

3. ما هي الطاقة المخزنة حينها في العازل ؟

الفصل 7

تطبيقات المكثفة

تعتمد المكثفة في اشتغالها على مبدأ التأثير الكهروسطاتيكي ويرجع ذلك إلى كيفية صنعها، وهو الشيء الذي يجعلها تتميز بخاصية الشحن والتفريغ عبر تركيب كهربائي توضع داخله، ومن ذلك تستخرج تطبيقات كثيرة لمثل هذا النبيط المتفرد المحايد.

1. تخزين الطاقة

1.1. موقع التخزين

عند وصل المكثفة بمنبع جهد، تتحول الشحنة من صفيحة إلى أخرى. فإذا نزعت المكثفة عن منبع الجهد فما الذي يحدث ؟

تظهر أهم خاصية تعرف بها المكثفة وهي قابليتها للإبقاء على الشحنة، بمعنى القدرة على تخزين الطاقة. تحتجز هذه الشحنة لمدة من الوقت قد يطول، ولو كان العازل الكهربائي مثاليا لأستبقي على الشحنة المخزنة إلى "الأبد".

لكن نعرف أنه في الميدان العملي والتطبيقي يستحيل تحقيق عازل مثالي، ولذلك يمكن تخزين الشحنة لبضعة أيام على اكبر تقدير. وهذه الطاقة المخزنة - ويرمز لها عم - مصدرها منبع الجهد، وتخزن في العازل الكهربائي على النحو التالي :

$$\text{عم} = \frac{1}{2}(\text{ك ف}_1 - \text{ك ف}_2) \qquad W = \frac{1}{2}(q V_1 - q V_2)$$

حيث :

- ك هي الشحنة المخزنة : ك [كو]
- ف$_1$ هو كمون الصفيحة الأولى : ف$_1$ [فولط]
- ف$_2$ هو كمون الصفيحة الثانية : ف$_2$ [فولط]

مع العلم أن ف هو فرق الكمون المسجل بين الصفيحتين، أي ف = ف$_1$ - ف$_2$، ومن ذلك تعاد صياغة المعادلة السابقة على النحو التالي :

$$\text{عم} = \frac{1}{2}\text{ك (ف)} \qquad W = \frac{1}{2}q(V)$$

وعلما أن ك = س ف، فإن هذه المعادلة تأخذ عبارات مختلفة :

$$\text{عم} = \frac{1}{2}\text{ك ف} \qquad W = \frac{1}{2}q\,V$$

$$\text{عم} = \frac{1}{2}\text{س ف}^2 \qquad W = \frac{1}{2}C\,V^2$$

$$\text{عم} = \frac{1}{2}\frac{\text{ك}^2}{\text{س}} \qquad W = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$$

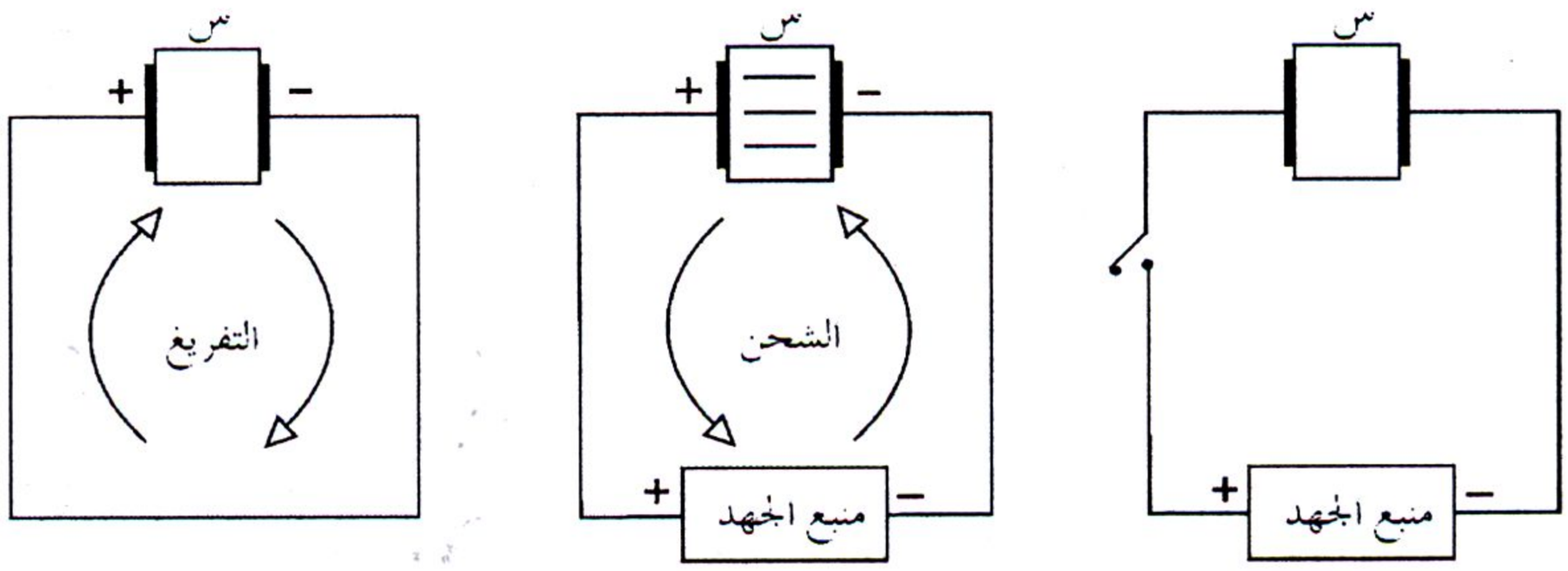
والطاقة عم، تمثل الطاقة المخزنة في المكثفة وهي طاقة كهروسطاتيكية تتوقف أساسا على فرق الكمون المتولد بين اللبوسين، ولا يتم استرجاع هذه الطاقة إلا أثناء تفريغ المكثفة. فما معنى هذا الكلام وكيف يتم ذلك ؟

2.1. كيفية إفراغ الشحنة

إن تطبيق منبع الجهد ينجم عنه شحنة داخل المكثفة، إذ تتراكم الشحنات على لبوسي المكثفة. وتجمع هذه الشحنات يؤدي إلى قيام فرق كمون بين صفيحتي المكثفة، ويستمر هذا الجهد في الزيادة كلما كان هناك تدفق إلكترونات.

عندما يصبح فرق الكمون المسجل بين لبوسي المكثفة مساويا لمنبع الجهد، يتوقف التدفق وبذلك يتوقف الشحن. عندها يبقى مجموع شحنة المكثفة ثابتا حتى وإن فُصل منبع الجهد، الذي يعتبر أصل الشحن.

لن تفرغ المكثفة من شحنتها إلا إذا وصل لبوساها بسلك ناقل، مع مراعاة نزع منبع الجهد قبل ذلك. وفي هذه الحالة، تؤدي المكثفة دور منبع للطاقة (أي منبع للجهد) ولو مؤقتا. وعملية التفريغ تستمر إلى غاية أن ينعدم فرق الكمون المعتبر بين الصفيحتين. وما التفريغ إلا العملية المعاكسة للشحن، ولإبراز ذلك ورفع الغموض إليك التفصيل.



(3) (2) (1)

الشكل 1. شحن وتفريغ المكثفة

2. شحن المكثفة

1.2. وصل المكثفة

يفترض أن المكثفة مفرغة لا تحتوي على أي شحنة، باعتبار أنها غير موصولة بمنبع جهد و لم تكن مشحونة من قبل. توضع هذه المكثفة باتصال مع منبع جهد عبر قاطعة مفتوحة كما يوضحه الشكل 1.1. في هذه الحالة تبقى المكثفة دائما عديمة الشحنة.

عند غلق القاطعة (الشكل 2.1) يحدث ما تم دراسته، إذ القطب السالب لمنبع الجهد يدفع الإلكترونات نحو الصفيحة السالبة في حين القطب الموجب يجذب الإلكترونات الحرة من الصفيحة الموجبة.

بما أن الإلكترونات لا تستطيع أن تجول داخل العازل الكهربائي، فإنها تتكدس في الجهة التي تجمع العازل الكهربائي بالصفيحة السالبة، بينما في الجهة المقابلة (جهة العازل الكهربائي والصفيحة الموجبة)

تتكدس البروتونات. ونتيجة للشحنات المتعاكسة يتولد فرق كمون بين صفيحتي المكثفة التي تبدأ بالظاهرة المعروفة باصطلاح "الشحن". متى وكيف تتم هذه الظاهرة ؟

2.2. كيفية الشحن

تشحن المكثفة إلى غاية أن يعادل فرق كمونها قيمة منبع الجهد المطبق بين صفيحتيها، عندها يتوقف الشحن. هنا تبادر بالسؤال : لماذا يتوقف الشحن عند هذه النقطة بالضبط ؟

ببساطة، ليس هناك فرق كمون بين كل قطب للبطارية والصفيحة المجاورة من المكثفة، فكيف يتم تدفق الإلكترونات وهو معدوم بتساوي الكمونين. فأين تخزن الشحنة إذن ؟

إن حركة الشحنات السالبة بين الصفيحتين ينجم عنه مجال كهربائي داخل العازل الكهربائي (الشكل 2.1)، وهو مستودع الشحنة كلها. ففي العازل الكهربائي تختزن الشحنة، وبالإمكان الإبقاء عليها حتى بعد فتح القاطعة، أو نزع المكثفة كلية من التركيب.

إذا أصبح فرق الكمون بين الصفيحتين كبيرا جدا، فإن المجال الكهربائي يزداد كثيرا وهذا ما يؤدي إلى تدمير وإحراق العازل الكهربائي، عندها تفقد الشحنة وبالتالي تفقد المكثفة خاصياتها الفيزيائية والكيماوية. سؤال يطرح نفسه بإلحاح : متى وكيف تنزع الشحنة ؟ ما الذي يحدث عند نزعها ؟

3. تفريغ المكثفة

1.3. كيفية التفريغ

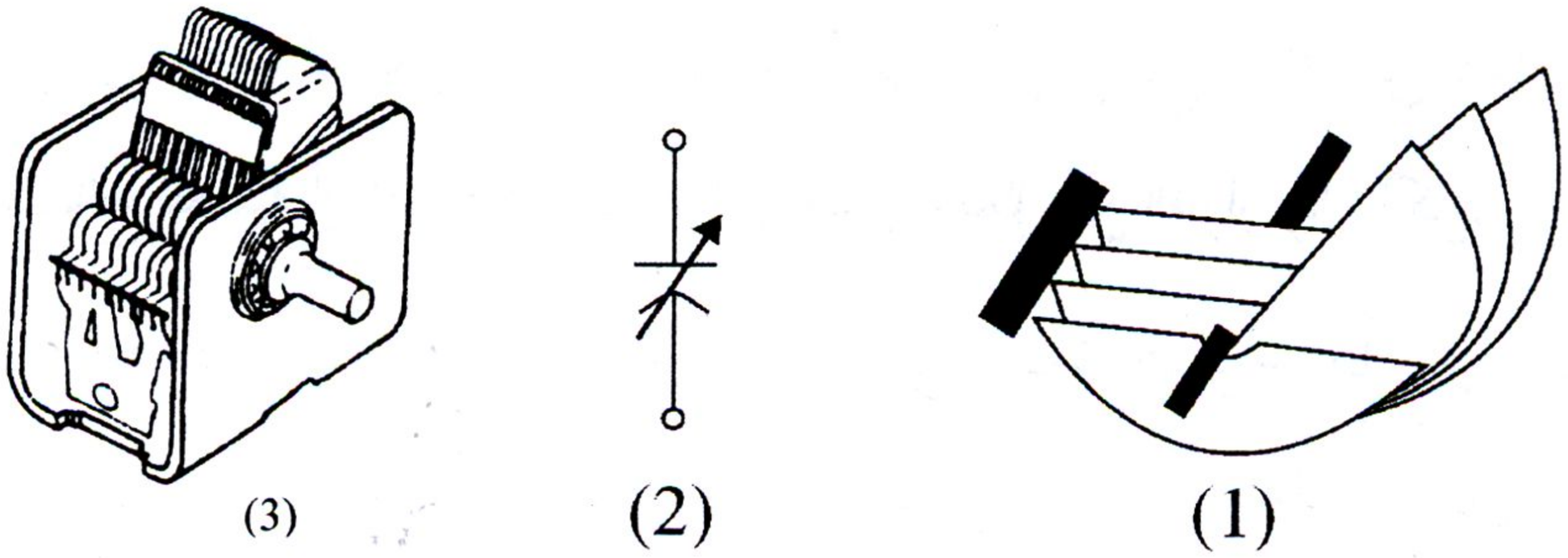
إن نزع الشحنة عملية تعرف باصطلاح تفريغ المكثفة، وهي العملية العكسية لظاهرة شحنها. ولإزالة الشحنة المخزنة داخل المكثفة، تترع المكثفة من التركيب وتوصل صفيحتاها بسلك ناقل (الشكل 3.1).

في هذه الحالة، تدفع الصفيحة السالبة الإلكترونات لكي تنجذب نحو الصفيحة الموجبة وهكذا تستنفذ المكثفة كل شحنتها، لتصبح تماما كما كانت في أول التجربة... هذه العملية هي المسماة بالتفريغ، إذ تفرغ المكثفة من شحنتها تماما.

باعتبار أن التفريغ هو ظاهرة معاكسة للشحن، فمن البديهي أن يتمان في اتجاهين متعاكسين، إذ يتم الشحن في اتجاه حركة الإلكترونات (الشكل 2.1) بينما يكون التفريغ في الاتجاه المعاكس (الشكل 3.1).

2.3. مفعول ثابت الزمن

تتم عمليتا الشحن والتفريغ وفق معامل ثابت يعرف باصطلاح ثابت الزمن τ (حرف إغريقي يقرأ طَاوْ)، وهو معامل يشير إلى الزمن المستغرق لتظهر تدريجيا بين لبوسي المكثفة نسبة محددة من جهد المنبع. وبعد مرور فترة تعادل $5\ \tau$ عن غلق القاطعة، يسجل ظهور كل جهد المنبع عبر اللبوسَيْن.



الشكل 2. مكثفة الهواء المتغيرة

يعتبر ثابت الزمن τ مفهوما في غاية الأهمية لدراسة الشبكات الكهربائية التي تحتوي على المكثفات، إذ يحدد الزمن اللازم لشحن أو لتفريغ المكثفة جزئيا أو كليا. ولاستيعاب مدلول هذا المعامل τ، تجد في الفصل 11 من الجزء الثالث بعض الشرح لذلك.

4. المكثفة المتغيرة

مثلما هو الحال بالنسبة لمقياس الكمون والمعدلة، فإنه من الممكن صناعة مكثفة متغيرة تمكّن مستعملها من تغيير وسائط المكثفة قصد الحصول على بعض التطبيقات، فكيف يتم تغيير سعة المكثفة يا ترى ؟

مجموعة صفائح معدنية متوازية وثابتة لا تتحرك تشكل الساكن، ومجموعة أخرى تضم صفائح متحركة تشكل الدوار، وكلا من الدوار والساكن لا يتلامسان ويشكلان لبوسي مكثفة الهواء المتغيرة، إذ يتم تغيير سعة المكثفة بواسطة تعديل مساحة الصفيحة (الشكل 1.2).

بتحريك محور الدوار، يتم حَشْر صفائح الدوار بين صفائح الساكن، فتتقاطع مساحتاهما مما يؤدي إلى تغيير سعة مكثفة الهواء. وتسجل السعة العظمى عندما يكون الحَشْر كليا إذ التقاطع تام، وتصبح السعة صغرى عند تسجيل تقاطع شبه معدوم. وفي الشكل 2.2 رمز المكثفة المتغيرة.

في حالة الحاجة إلى تضخيم السعة أكثر، يمكن وضع أطباق من الميكا بين الصفائح المعدنية أو إضافة صفائح معدنية متوازية لكل من الدوار والساكن.

وهذه التقنية تسمح بالحصول على سعة تتراوح ما بين بضع عشرات بيكو فاراد وبضع مئات بيكو فاراد، وغالبا المجال هو [1 بيكو فاراد، 500 بيكو فاراد]. ومثل هذه المكثفة هي المستعملة لانتخاب محطات البث الإذاعي وهي الممثلة في الشكل 3.2.

5. السعة الشاردة

لا تظن أن مفعول المكثفة لا يتم كما درس إلا بواسطة صفيحتين متوازيتين... كلا، بل التأثير السعوي يظهر كلما تقابل زوج معدني، كسلكَيْن ناقلَيْن مثلا، أو أي زوج ناقل كان إلا أن السعة ضعيفة وضعيفة جدا. هذا النوع من السعات غير المرغوب فيها يدعى السعات الشاردة.

قد تلعب السعة الشاردة دورا حاسما وفاصلا في الاشتغال المناسب للتركيب، إذ قد تتسبب في تغيير وتعديل بعض وسائطه، وبالتالي تغيير مهمته الأصلية فيظهر اختلال بيّن في وظيفة هذا التركيب. ولذلك وجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لتفادي بروز مثل هذه السعة اللامرغوب فيها.

عموما تتميز السعة الشاردة بقيمة ضعيفة جدا، أي دون 10 بيكوفاراد، وذلك لتباعد النواقل ومكونات التركيب، إضافة إلى عدم تواجد عازل كهربائي بين الناقلين غير الهواء.

أعمال تطبيقية

تمرين

طبقان متوازيان من الألمنيوم مساحة أحدهما 400 سم^2 توضع بينهما ورقة سمكها 0,1 مم.

1. احسب سعة هذه المكثفة.
2. يطبق فرق كمون ف$_1$-ف$_2$ =100 فولط بين اللبوسَيْن. ما هي شحنة كل طبق ؟
3. تركب 6 أطباق من الألمنيوم دون وَصْل بينها تتخللها أطباق من الورق. ما هي السعة الجديدة ؟ ما هو عدد أطباق الورق ؟
4. لتضخيم سعة هذه المكثفة تركب 6 أطباق من الألمنيوم تتخللها أطباق من الورق، بحيث أنها موصولة بالتناوب. ما هي السعة المحصل عليها ؟ كم عدد أطباق الورق ؟
5. ما هو استنتاجك ؟
6. يمتاز العازل الكهربائي المصنوع من مادة الورق بمجال الانهيار يعادل 10^7 فو/م، الذي لا يمكن للورق أن يجاوزه. ما هو فرق الكمون الأقصى الذي يمكن تطبيقه بين الصفيحتَيْن دون إحداث ضرر بالمكثفة ؟

الجواب

1. من خلال صيغة السعة والمعرفة :

$$\text{س} = \varepsilon \frac{\text{ع}}{\text{ل}} = \varepsilon_0 \varepsilon_\text{ن} \frac{\text{ع}}{\text{ل}} \qquad \mathbf{C = \varepsilon \frac{A}{d} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{d}}$$

حيث :

- ع هي مساحة طبق الألمنيوم وهي ع $= 400 \times 10^{-4}$ م^2.
- ل هي المسافة الفاصلة بين الطبقين وهي سمك الورقة :

ل $= 0{,}1 \times 10^{-3}$ م.

- ε_0 هي سماحية الفراغ وهي $\varepsilon_0 = 8{,}85 \times 10^{-12}$ فد/م.
- $\varepsilon_\text{ن}$ هي السماحية النسبية للورق وهي $\varepsilon_\text{ن} = 4$.

وعليه فالسعة هي س = 14,2 نانوفاراد.

2. فرق الكمون المطبق بين الصفيحتين أ وب هو $\text{ف}_\text{أ} - \text{ف}_\text{ب} = 100$ فولط، والشحنة هي :

$$\text{ك} = \text{س ف} = 1{,}42\ \mu\text{كو} \qquad \mathbf{q = C\,V = 1{,}42\,\mu C}$$

ومن حيث أن $\text{ف}_\text{أ} - \text{ف}_\text{ب} > 0$ يستلزم $\text{ف}_\text{أ} > \text{ف}_\text{ب}$، ومن ثَمَّ فالصفيحة أ موجبة والصفيحة ب سالبة، وعليه فشحنة الصفيحة أ تحتوي على شحنة $\text{ك}_\text{أ} = +1{,}42\ \mu$كو بينما الصفيحة ب تحتوي على $\text{ك}_\text{ب} = -1{,}42\ \mu$كو.

3. بتركيب 6 أطباق من الألمنيوم يجعل 5 أطباق من الورق محصورة بينها، ومن ثَمَّ كأن الأمر يتعلق بتسلسل 5 مكثفات، كل مكثفة مطابقة للأولى وعليه :

$$\text{س}' = \frac{\text{س}}{5} = 2{,}83 \text{ نانوفاراد} \qquad C' = \frac{C}{5} = 2{,}83\ nF$$

4. إن وصل الأطباق بهذه الكيفية يدعى الوصل المتوازي بخلاف الوصل السالف، وتكون السعة الجديدة هي 5 أضعاف السعة الأولى وعليه :

$$\text{س}'' = 5 \text{ س} = 70{,}8 \text{ نانوفاراد} \qquad C'' = 5\ C = 70{,}8\ nF$$

6 أطباق من الألمنيوم تتخللها 5 أطباق من الورق تجعل المكثفة المكافئة س" وكأنها عبارة عن توازي 5 مكثفات س متطابقة.

5. لتضخيم السعة يستحسن تركيب المكثفات في توازي وأما لتخفيضها فتركب في تسلسل، ولتحديد سعة هذه المكثفات المتطابقة ينظر إلى عدد أطباق العازل الكهربائي (الورق) دون عدد الصفائح المعدنية (الألمنيوم).

6. يعرف المجال الكهربائي بالصيغة التالية :

$$\text{ح} = \frac{\text{ف}_{\text{أب}}}{\text{ل}} \qquad E = \frac{V_{AB}}{d}$$

حيث ل هو سمك العازل، ويجب أن يكون ح$<10^7$ فو/م لتفادي تحطيم الورق، وعليه :

$$\frac{ف_{أب}}{ل} < 10^{7} \text{ فو/م} \qquad \frac{V_{AB}}{d} < 10^{7} \text{ V/m}$$

فنحصل على $ف_{أب} < 1000$ فولط، وعليه لابد من تطبيق فرق كمون يكون أقل من 1000 فولط بين قطبي المكثفة، وهو شرط الحفاظ على العازل الكهربائي وبالتالي المحافظة على سلامة المكثفة.

مسائل

1. متى وبما تشحن المكثفة ؟ اعط مدلولا وتفسيرا لهذه الظاهرة.
2. عرف عملية التفريغ. متى وكيف تتم هذه العملية ؟ أين يتم التفريغ ؟ اشرح.
3. تقرن عمليتا الشحن والتفريغ بمفهوم "الإجابة الانتقالية". اجتهد في تعريف هذا المفهوم. كيف يحدد مفعولها وما المتسبب فيها ؟ اشرح.
4. أين تخزن الطاقة الكهربائية في المكثفة ؟ ما هو السبب في استحالة تخزين هذه الطاقة دوما ؟ اشرح.
5. المجال الذي تغطيه السعة يختلف باختلاف نوع المكثفة. لماذا ؟ ما هي العوامل المؤثرة في ذلك ؟
6. ما هي كمية فرق الكمون اللازم تطبيقها بين صفيحتي مكثفة سعتها $0{,}0024\,\mu$ فد عندما تخزن طاقة قدرها 2 جول ؟
7. سعة مكثفة تعادل 250 بيكوفاراد حيث العازل الكهربائي هو الفراغ.

1. ما هي سعة مكثفة لها نفس مساحة الصفيحة ونفس التباعد يفصل بين الصفيحتين واللتين جُعل بينهما عازل من الميكا ؟

2. نفس السؤال إن جعل بين الصفيحتين مادة البوليستيران ؟

8. طبقان متوازيان في شكل دائري حيث القطر هو 8 سم يشكلان صفيحتي مكثفة متباعدتين بمسافة تعادل 1مم. ما هي الشحنة المتواجدة على الصفيحتين إذا كان فرق الكمون المطبق هو 100 فو ؟

9. صفيحتان متوازيتان مساحة كل واحدة منهما 0,75 $م^2$ ومتباعدتان بمسافة 30 سم.

1. ما هي سعة المكثفة إن ترك الهواء يفصل بينهما ؟

2. ما هي سعة المكثفة إن جعل بينهما فراشات من الورق ؟

10. تحتوي مكثفة هواء متغيرة على ن طبق بين صفائح الدوار وصفائح الساكن (الشكل 2) مساحة كل طبق هي ع، وكل طبقين تفصلهما مسافة ل. برهن أن صيغة السعة القصوى المطابقة للتداخل التام بين الساكن والدوار هي :

$$س = \frac{ع\ \varepsilon_0 (ن - 1)}{ل} \qquad C = \frac{(n-1)\,\varepsilon_0\,S}{d}$$

11. أحسب فرق الكمون المطبق بين صفيحتي مكثفة، سعتها تعادل 6 µ فد عندما تخزن هذه المكثفة شحنة تعادل 36 µ كولومب.

12. أحسب سعة مكثفة إن سجل بين صفيحتيها جهد يعادل 15 فولط والذي يسمح بعبور شحنة قدرها 63 µفد من صفيحة لأخرى.

13. أحسب الطاقة المخزنة داخل الكهروعازل عندما يطبق جهد يعادل 12 فولط بين قطبي مكثفة شحنتها تعادل 55 ميكرو كولومب.

14. أحسب الجهد المطبق بين صفيحتي مكثفة، سعتها تعادل 47 ميكروفاراد عندما تخزن هذه المكثفة طاقة كهربائية تعادل 0,44 ميلي جول.

15. أحسب سعة مكثفة إذا طبق بين صفيحتيها جهد يعادل 9 فولط والذي يتسبب في إصدار ومن ثم تخزين عبر هذه المكثفة طاقة تعادل 0,9 ميلي جول.

الفصل 8

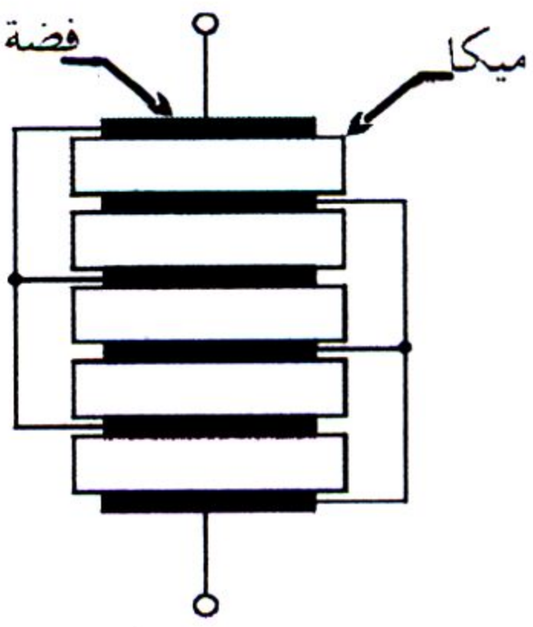
أنواع المكثفات

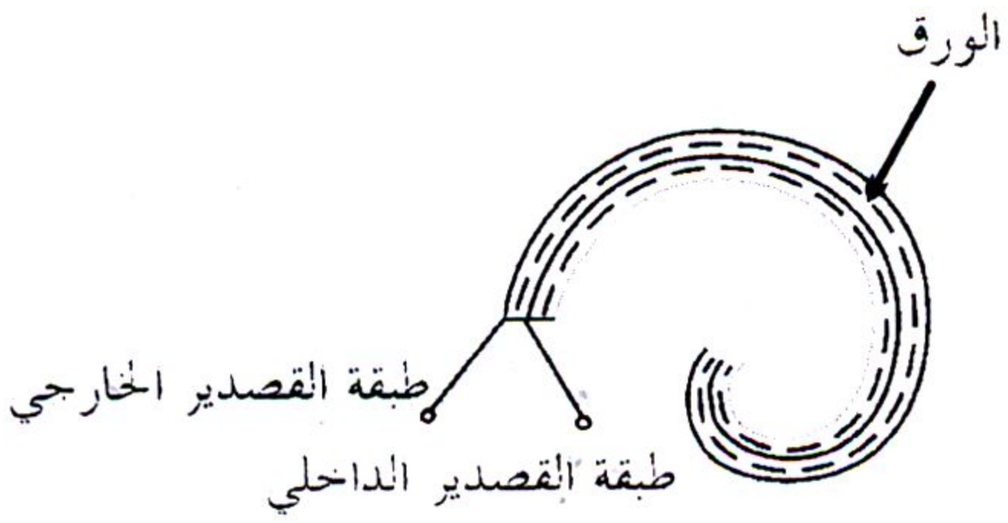
يتم تصنيف المكثفات بحسب العازل الكهربائي، ولا يشترط معرفة القطبية بما أن كل صفيحة من المكثفة صالحة لوصل أي قطبية كانت. وأغلب أنواع المكثفات السائدة في السوق هي مكثفة الهواء، مكثفة الميكا، المكثفة الخزفية، والمكثفة الكهروتحللية.

1. مكثفة الميكا

في هذه الحالة، مادة صنع الكهروعازل من الميكا وهو في شكل صفائح دقيقة جدا ومكدسة فوق بعضها البعض، يتم حصرها بين طبقات من الفضة بالتناوب (الشكل 1).

ولكي يحصل التطابق التام بين صفائح الفضة وصفائح الميكا ومن ثم تفادي ظهور أي فجوة هوائية بين هذه الصفائح، يتم تسخين صفائح الفضة بواسطة فرن فتوثق وتربط هذه الصفائح بشدة إلى صفائح الميكا.





الشكل 1. مكثفة الميكا **الشكل 2. مكثفة الورق**

بفعل هذا الترتيب الخاص، تصنع مكثفة متوازية الصفائح تعرف بمكثفة الميكا، وهي تقنية تسمح بتوفير هذا النوع من المكثفات بسعات تمتد ما بين 1 بيكوفاراد إلى غاية 10 000 بيكو فاراد.

أخص ما تمتاز به مكثفة الميكا هو أن سعتها مستقرة ثابتة تكاد لا تتأثر بمحيطها الوسطي وعوامله الخارجية، إلا أنها تعتبر غالية الثمن في السوق مقارنة بغيرها.

2. مكثفة الزجاج

تقنية صنع هذا النوع من المكثفات مطابقة تماما لكيفية صنع مكثفة الميكا إلا أن الكهروعازل يصنع من مادة الزجاج وصفائح المكثفة من مادة الألمنيوم.

نقطة الخلاف بين المكثفتين تكمن في أن مكثفة الزجاج تمتاز بمقاومة شديدة للرطوبة حيث تواجدها في محيط عالي الرطوبة لا يجعل سعتها تتغير كثيرا على خلاف مكثفة الميكا حيث سعتها تسجل تغييرًا طفيفا بحضور الرطوبة.

هذا النوع من المكثفات، مكثفة الزجاج، وهي غالية الثمن بالنسبة لكل المكثفات، متواجدة في السوق بسعات تتراوح ما بين 1 بيكو فاراد و10 000 بيكوفاراد.

3. مكثفة الورق

ترتكز تقنية صنع مكثفة الورق على أن تكون صفيحتا المكثفة من مادة القصدير، وأما العازل الكهربائي فمادته من الورق.

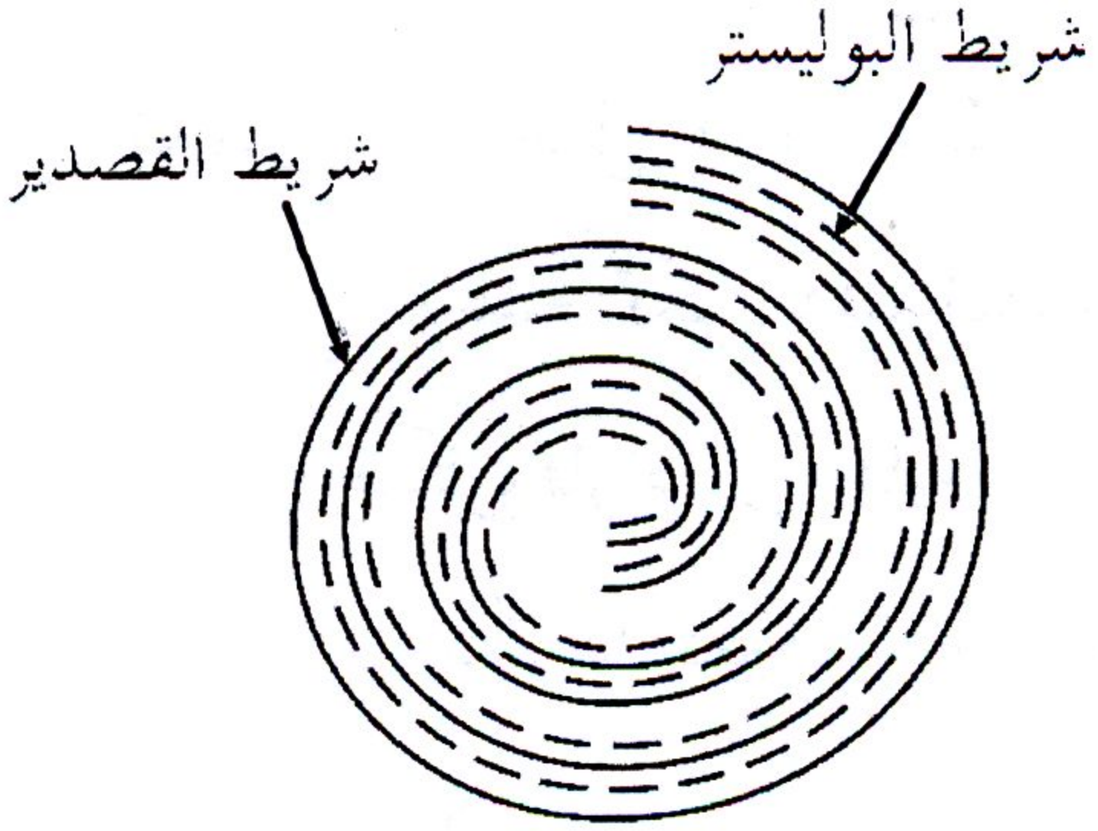
لتفادي احتلال المكان الواسع، يُطوى مجموع الأشرطة في شكل حلزون كما يوضحه الشكل 2. ولكي يحدث التزاوج التام بين صفيحتي الورق وصفيحتي القصدير، يتم وضع بخار ترسبات معدنية فوق الورق، وهي العملية التي تجعل هذه القشرة المطلية تمنع ظهور فجوات الهواء بين الصفائح. وعليه تمكن هذه التقنية من صنع مكثفة ذات سعة تمتد من 0,001 ميكروفاراد إلى غاية 1 ميكروفاراد، وهي متوفرة بثمن بخس إلا أنها تمتاز بتأثرها لتغيرات الحرارة.

لأجل بعض التطبيقات العملية، قد تحتاج إلى معرفة الشريط الخارجي لمكثفة الورق قصد ربطه بوصل الأرض، لذلك توضع علامة فوق هذه المكثفة لتشير للطبقة الخارجية... وهي تقنية تستعمل لمنع كل أنواع التشويش كظهور مجال كهربائي شارد أو تداخل إشارات غير مرغوب فيها أو ضوضاء المحيط.

4. مكثفة البلاستيك

وتصنع بنفس التقنية التي درست في مكثفة الورق إلا أن الكهروعازل هو من البلاستيك، وعموما تستعمل مادة البوليستيران أو مادة البوليستر باعتبار أن البلاستيك مادة تعزل جيدا الكهرباء.

بنفس الطريقة السابقة، ترسب طبقة معدنية فوق البوليستر (الشكل 3) ثم تطوى الأشرطة الأربعة حول نفسها في شكل حلزون. باعتبار أن البلاستيك يمتاز بثابت الكهروعازل أكبر مما هو عليه للورق، فإن سعة البلاستيك أكبر حتى وإن كانت أشرطة هذه المكثفة أصغر من أشرطة مكثفة الورق.



الشكل 3. مكثفة البلاستيك

تتميز مكثفة البوليستر أنها صغيرة الحجم إلا أن السعة حساسة جدا لتغيرات الحرارة. لذلك تستعمل مكثفة البوليستيران في تركيبات تمتاز بتغيرات معتبرة للحرارة. إلا أن ذلك يكون على حساب السعة فهي صغيرة مقارنة بسعة مكثفة البوليستر.

لأجل هذه التأثيرات والقيود، تصنع مكثفة البوليستر بسعات تغطي المجال الممتد من 0,001 ميكروفاراد إلى غاية 10 ميكروفاراد، في حين تتراوح سعة مكثفة البوليستيران من 5 بيكوفاراد إلى غاية 0,5 ميكروفاراد.

5. المكثفة الخزفية

تحت تأثير درجة حرارة عالية جدا يتم تحويل الوَحْل إلى خزف، الذي يستعمل كعازل كهربائي بين الصفيحتين الفضيتين للمكثفة وذلك للخاصيات الكيماوية التي يمتاز بها. تبلغ السماحية النسبية وهي ثابت الكهروعازل لمثل هذه المواد العازلة قيما تعادل $\varepsilon_{ن} = 7\,500$.

عندما يخلط بعض الخزف، ومنه الخزف الصيني (الخزف النفيس) أو القرميد (الآجر)، يمكن الحصول على عدة قيم للسماحية النسبية $\varepsilon_{ن}$ مما يسهل تغطية مجال واسع من السعة قد يمتد من 1 بيكوفاراد إلى غاية 1 ميكروفاراد، دون أن يكون ذلك على حساب الحجم.

المكثفة الخزفية صغيرة الحجم مقارنة بمكثفة الورق أو مكثفة الميكا، وهي سريعة الانكسار وتتوفر في السوق عادة في أشكال مختلفة، أهمها الإسطواني والقرصي.

6. المكثفة الكهروتحللية

توضع صفيحتان معدنيتان من مادة الألمنيوم داخل السائل الكهرومحلولي (وهو سائل متحلل ناقل)، وبفعل التفاعلات الكيماوية

الناجمة عن تطبيق فرق كمون بين الصفيحتين تترسب طبقة من أكسيد الألمنيوم فوق الصفيحة الموجبة. تتصرف هذه الطبقة المترسبة تماما كعازل كهربائي بين صفيحتي المكثفة.

هذا من حيث تقنية صنعها، أما مبدأ اشتغالها فهو يعتمد على وصل المكثفة الكهروتحللية بقطبية خاصة، إذ يجب أن تكون الصفيحة المعزولة دوما موجبة... وإلا فلن تتمكن طبقة الأكسيد من لعب دور العازل. ومن ثم يعبر تيار حاد يجعل المكثفة تفقد خاصياتها.

وهكذا ترى أن لكل قاعدة شواذ، فلا بد لهذه المكثفة على خلاف بقية المكثفات من أن تركب حسب قطبية خاصة وإلا فلا تسجيل لمفعول هذه المكثفة، ولذلك وضع لها رمز خاص في الشكل 4.



الشكل 4. رمز المكثفة الكهروتحللية

كما يمتاز هذا النوع من المكثفات بتغطية مجال هام، إذ يمكن صنع مكثفات ذات سعة ما بين 1 ميكروفاراد و10 000 ميكروفاراد، وسمك طبقة الأكسيد هو الذي أكسب المكثفة الكهروتحللية هذه السعات الكبيرة.

7. خاصيات المكثفة

1.7. التفاوت

لمعرفة قيمة السعة يضع المنتجون لهذه النوابط كتابات وعلامات فوق جسم المكثفة، إلا أن المكثفة الخزفية الإسطوانية ومكثفة الميكا يخصصها المنتجون بحلقات ملونة توضع على جسم النبيط طبقا لشَفْرَة عالمية توافق الجدول 1 من الفصل 13، إذ فك هذه الشفرة يسمح بمعرفة سعة هذه المكثفات... وضمن شفرة الألوان تجد حلقة مخصصة للتفاوت. فما هو التفاوت ؟

إن سعة المكثفة معرضة لأن تتغير بفعل مؤثرات خارجية عديدة منها الحرارة مثلا، بحيث تزيد أو تقل هذه السعة بنسبة محددة عن قيمتها الحقيقية. والمجال الذي تتغير داخله سعة المكثفة وهي محصورة قصرا بين حدّين لا تجاوزهما، ما هو إلا ما يعرف إصطلاحا التفاوت... ويقصد بالتفاوت لغة التسامح المقبول.

عادة تمتاز المكثفة الخزفية القرصية بتفاوت ± 20 % وهو تفاوت كبير يجعل السعة عُرضة لتغير كبير، وسعيا وراء دقة أفضل يتم اختيار المكثفة الخزفية الإسطوانية أو مكثفة الميكا إذ التفاوت فيهما يعادل ± 10 %... إلا أن هناك نتائج أحسن من هذا التفاوت، سُجلت لمكثفات صُنعت بكهروعوازل من مواد خاصة، فقد سجل تفاوت بنتائج قياسية وصلت إلى ± 1 %.

2.7. جهد الانهيار

إن كل إلكترون سطحي يحوم في غلاف بعيد عن النواة، معرض إلى أن يصبح إلكترونا حرا بفعل طاقة تُمنح له. وانطلاقا من هذا المفهوم قد يصبح الكهروعازل ناقلا كهربائيا. كيف ذلك ؟

إن الضغط على المكثفة بواسطة فرق كمون متزايد قد يعرض الكهروعازل لعدم الاحتمال، مما يدفع الإلكترونات السطحية إلى الإفلات من الذرة الأم، لتسبح في فضاء الكهروعازل مما يتسبب في تحوله إلى ناقل... إلا أنه ناقل سيء، يسمح بتحول مباشر للشحنة من صفيحة إلى أخرى، وبذلك فلن تحتفظ المكثفة بهذه الشحنة. وعوض أن يمنع الكهروعازل عبور التيار بين لبوسي المكثفة، فإنه على عكس ذلك تماما يُمكّن التيار من المرور، فتفقد المكثفة أهم خاصياتها وتتصرف تماما كمقاومة[1] مما يُعرض التركيب إلى أخطار كبيرة قد تُحطم بعض مكوناته أو تبعده عن وظيفته الأصلية.

لذلك وجب معرفة الحد الأقصى للجهد وهو الطاقة الكهربائية التي يمكن للمكثفة تحملها دون أي تحطيم أو إتلاف، وهي المعروفة بجهد الانهيار.

يشير جهد الانهيار إلى أعظم فرق كمون يمكن تطبيقه بين صفيحتي المكثفة دون إحداث خلل بمهمة الكهروعازل، ومن ذلك التمديد في مدة اشتغال المكثفة.

---

1. مفهوم كهربائي عُولج بإسهاب في الفصل 12.

ولذلك، فإن اختيار المكثفة لتركيب كهربائي يرتكز أساسا على نوع الكهروعازل المستعمل بين الصفيحتين، وهو أساسا مرتبط بمعاملين أساسيين : السماحية النسبية المعرّفة بثابت الكهروعازل ومعامل ثاني هو جهد الانهيار الذي يحطم هذا الكهروعازل.

ولهذا الغرض، يستوجب أن يكون دوما فرق الكمون المطبق بين الصفيحتين اصغر من جهد الانهيار الذي يحدده المنتجون. لذا، عند إقدامك على شراء مكثفة، يستوجب عليك معرفة خاصيتين أساسيتين تميزان كل مكثفة عن أخرى : **سعة المكثفة وجهد الانهيار**.

إن تحطم المكثفة أمر وارد، يحدث من حين لآخر لأسباب شتى. ولهذا الغرض فقد خُصص الفصل 6 من الجزء الرابع لجهاز الأومتر الذي يسمح بالتحقق من صلاحية المكثفة أو تحطمها.

مسائل

1. عرف مصطلح "إستقطاب الذرة". متى وأين يحدث ؟

2. ما الهدف من تصميم مكثفة متغيرة ؟ اشرح وظيفة وكيفية إشتغال لكل من الدوار والساكن.

3. على خلاف كل المكثفات، لماذا يستوجب وصل المكثفة الكيماوية وصلا مستقطبا خاصا ؟ اشرح.

4. إلى ما يرمز جهد الإنهيار ؟ اشرح كيفية تحديده لإنتخاب المكثفة.

5. أذكر كيفية تصنيف المكثفات. بما تتميز فيما بينها ؟

6. أحسب الجهد المطبق بين صفيحتي مكثفة سعتها 0,004 µ فد عندما تخزن طاقة قدرها 5 جول.

7. أحسب سعة مكثفة شحنتها 36 µ كولومب عندما يطبق جهد يعادل 6 فولط.

8. أحسب الطاقة المخزنة عبر الكهروعازل لمكثفة سعتها س = 4,5 بيكوكولومب إذا طبق بين لبوسيها جهد يعادل 7,3 فولط.

9. تمتاز مكثفة بصفيحتين متوازيتين، مساحة كل واحدة منهما تعادل 87 سم × 70 سم، ومتباعدتين بمسافة 29 سم.

1. أحسب سعة هذه المكثفة إذا اعتبرنا أن الكهروعازل هو من الهواء.

2. أحسب مجددا هذه السعة إذا وضع بين الصفيحتين طبقات من الزجاج.

3. قارن السعتين واستنبط سماحية أيهما أكبر، ε الهواء أم ε الزجاج .

10. يوضع بين صفيحتي مكثفة مساحتهما تعادل 0,64 م^2، طبقة عازلة سمكها 15 سم.

1. أحسب السماحية النسبية لهذه المادة العازلة إذا اعتبرنا سماحيتها المطلقة تعادل 25.67×10^{-12} فد/م.

2. أحسب سعة هذه المكثفة لهذه الطبقة العازلة.

11. مكثفة الميكا سعتها 5×10^{-8} فد، صنعت من عدة صفائح معدنية تتوسطها صفائح من الميكا، حيث الصفائح كلها مربعة الشكل ضلعها 5 سم وسمكها 0,25 مم.

1. أحسب شحنة هذه المكثفة تحت تأثير جهد يعادل 110 فولط.

2. أحسب الطاقة المخزنة داخل الميكا.

3. لتحقيق هذه المكثفة بمثل هذه السعة، كم هو عدد الصفائح المعدنية وعدد صفائح الميكا ؟ (تلميح : ابحث عن سعة صفيحتين معدنيتين تتوسطهما صفيحة ميكا).

12. مكثفة الهواء سعتها 5×10^{-4} μ فد، وبين الصفيحتين مسافة 1 سم، علما أن سماحية الفراغ هي $\varepsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12}$ فد/م.

1. ما هي مساحة كل صفيحة.
2. كم تصبح سعة المكثفة إذا أدخلت بين الصفيحتين طبقة زجاجية سماحيتها النسبية هي $\varepsilon_{ن} = 4,2$ ؟
3. أحسب الشحنة المستبقية في مكثفة الهواء، إذا طبق بين صفيحتيها جهد يعادل 100 فولط ؟
4. ما هو المجال الكهربائي المتولد بين الصفيحتين ؟ استنبط القوة، ومثّل اتجاهها في نقطة من هذا المجال، عند تأثيرها على إلكترون (تلميح : شحنة الإلكترون هي $ك_{0} = -1,6 \times 10^{-19}$ كو).

الكهرباء المتحركة

الكهرباء المتحركة أو ما يسمى إصطلاحا الكهروسينيتيك، هي العلم الذي يدرس تحرك الشحنات الكهربائية داخل النواقل، كما يدرس الظواهر الحرارية والكيماوية التي تنتج عن هذه الحركة.

الفصل 9

الطاقة الكهربائية

لاستمرارية الحياة وتحسين المعيشة يحتاج العالم الحديث والمتحضر إلى طاقة، يكثر طلبها وتزداد أهميتها من يوم لآخر. وأغلب هذه الطاقة المستعملة هي الطاقة الكهربائية، وفوائد الكهرباء كثيرة لا حَصْر لها في جميع مرافق الحياة مثل الطب، الزراعة، الصناعة والأجهزة الكهرومترلية...

1. الطاقة والعمل

1.1. تعريف

الطاقة هي قابلية القيام بعمل معين، أي إنتاجه. فلو أنك في صحراء قاحلة وقاربت على الهلاك وإذا بك تبصر بئرا قريبة منك، تحمد الله أولا ثم تتقدم للشرب. إلا أن سحب الحبل بدلوه نحو الخارج يتطلب منك بذل مجهود، أي بذل طاقة. هذا النشاط ينجم عنه القيام بعمل، وفي هذه الحالة تكون الطاقة جسمية، فهي متنوعة الأشكال والمصادر. يرمز للعمل بالرمز عم.

ولكي تشرب من الدلو لا بد من نقله من أسفل البئر إلى خارجه على مسافة معينة، ولتكن س. فنقول للقيام بعمل عم (أي سحب الدلو) لا بد من قوة - ولتكن ق - لنقل الدلو على المسافة س. دور هذه القوة هو التغلب على :

- الجاذبية

تعرف أن كل الأجسام إذا سقطت من أيدينا تنزل على سطح الأرض، ولا تصعد نحو السماء. هذا هو مفعول جاذبية الأرض، أي أن كل الأجسام عند سقوطها تتجه - وتكون مجذوبة - نحو مركز الأرض... والمطلوب هو تغلب قوة السحب على الجاذبية الأرضية.

- الاحتكاك

لإخراج الدلو من قعر البئر يستوجب تفادي احتكاكه بالجدران وبكل شيء داخل البئر من شأنه منع أو عرقلة سحب الدلو.

- مقاومة الهواء

عندما تسحب الحبل، لا بد من بذل قوة تكبر مقاومة الهواء التي تعاكس قوة السحب.

فالعمل عم الذي قمت به لاستخراج الدلو من البئر يكتب وفق المعادلة التالية :

$$\text{عم} = \text{ق} \times \text{س} \qquad W = f \times d$$

لاحظ جيدا أن عم ترمز للعمل كما ترمز للطاقة. وِحدة العمل أو الطاقة هي الجول[1] : [جول]، وواحد جول هو قيمة صغيرة مقارنة بما نبذله يوميا من طاقة في سعيِّنا للرزق. وعلما أن وحدة القوة ق هي نيوتن، ووحدة المسافة س هي المتر، إذن نستطيع القول بأن :

1 جول = 1 نيوتن × متر.

وتنقسم الطاقة إلى صنفين : طاقة حَرَكية وطاقة كُمونية.

2.1. الطاقة الحركية

وتسمى كذلك بالقدرة الحركية، وهي الطاقة أثناء الحركة، بمعنى الطاقة المبذولة للقيام بعمل. ومنه نقول أن كل جسم ذا كتلة وهو يقوم بحركة يحتوي على الطاقة الحركية.

فبعدما تشرب من الدلو، سوف تدفعه إلى قعر البئر. دفعك هذا للدلو يُنجز عملا، أي أنت تُطبق قوة معينة على الدلو ليقطع المسافة س. ففي حركته من الأعلى إلى الأسفل، يحتوي الدلو على طاقة حركية. إذن كل جسم ذا كتلة ك يتحرك بسرعة سر حركة انسحابية، له طاقة حركية قد نعرفها بالعبارة التالية :

---

1. جول (James Prescott JOULE : 1818-1889) عالم فيزيائي إنجليزي توصل عام 1841 إلى وضع قانون ظاهرة جول التي تدرس السخونة الناجمة عن عبور تيارات للأسلاك الناقلة (طالع الفصل 12).

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$ قد = $\frac{1}{2}$ ك سر ²

وتلاحظ أنها تنعدم في حالة توقف الجسم. واعلم أن العبارة السابقة للطاقة الحركية لا تصلح للأجسام التي تدور حول محور معلوم بسرعة زاوية ω (أي تتبع مسارا دائريا) محددة، وهي حالة لن نتطرق لها.

3.1. الطاقة الكمونية

أو القدرة الكامنة، وهي الطاقة المخزنة في الجسم وهو في حالة سكون، وقد تخزن هذه الطاقة لفترة طويلة. يمكن لهذه الطاقة إنجاز عمل. كيف ذلك وهي طاقة مجمدة لا حراك فيها ؟

إذا تم تحويل الطاقة الكمونية إلى طاقة في شكل آخر، عندها ستتمكن هذه الطاقة الجديدة من إنجاز عمل، وأثناء هذا التحويل تصبح طاقة حركية (أو قدرة حركية).

عندما يكون الدلو على حافة البئر يكون في سكون، إذن فهو يحتوي على الطاقة الكمونية الناتجة عن جاذبية الأرض. هذه الطاقة الكمونية للدلو يمكن تخزينها لفترة طويلة ولكن إذا أردت المزيد من الماء، دفعت الدلو داخل البئر وتكون بذلك قد حولت الطاقة الكمونية إلى طاقة حركية. والآن أطرح عليك سؤالا : لو استبدلنا الدلو ببرميل، هل الطاقة الكمونية تبقى نفسها ؟

إن ثقل البرميل على حافة البئر يستحيل أن يكون مثله مثل ثقل الدلو، وذلك لاختلاف كتلتيهما. وباعتبار أن الطاقة الكمونية مرتبطة بالثقل، فإنها تزيد حين استبدال الدلو بالبرميل.

في حالة السكون يحتوي الدلو ـــ وكتلته ك ـــ على الطاقة الكمونية قلك ولا يخضع إلا :

– لقوة جاذبية الأرض، أي ث = ك × ج، حيث ج هي جاذبية الأرض والتي تقدر بحوالي 9,8 م/ثا^2، و ث هو الثقل المحسوب بوحدة نيوتن.

– وقوة معاكسة للقوة ق مطبقة في مركز الجاذبية الأرضية، ففي حالة تحرك الدلو بين النقطتين س$_1$ و س$_2$، ينجم عنه عمل القوى المحلية التي تتلخص في عمل الثقل ث، ومنه :

عم = ك ج س$_1$ – ك ج س$_2$ $\qquad$ $W = m\,g\,Z_1 - m\,g\,Z_2$

أي : عم = ك ج (س$_1$ – س$_2$) $\qquad$ $W = m\,g\,(Z_1 - Z_2)$

فنستنتج أن العمل لا يتوقف إلا على المسافتين س$_1$ و س$_2$، وعليه تكتب المعادلة التالية :

عم = قلك$_1$ - قلك$_2$ $\qquad$ $W = E\,p_1 - E\,p_2$

حيث قلك$_1$ و قلك$_2$ هما الطاقة الكمونية للدلو – المحسوبتان بالجول – في علو س$_1$ و س$_2$ على التوالي.

2. الاستطاعة

1.2. إنجاز العمل

تعرف الاستطاعة بالعمل المنجز خلال وحدة زمنية محددة، فالاستطاعة عه إذن هي معدل القيام بعمل عم. وانطلاقا من هذا

التعريف نقول أنها سرعة استهلاك الطاقة، وعليه فالاستطاعة عه مرتبطة بسرعة إنجاز العمل عم.

فعندما يصل بيتكم كشف سونلغاز (شركة جزائرية تتكلف بتوزيع الكهرباء والغاز)، هل الثمن الذي تدفعونه يكون مقابل الطاقة الكهربائية عم التي استهلكتموها أم الاستطاعة عه التي استعملتموها ؟

بالرجوع إلى التعريفين، وباستعمال ما كرمك الله به من قدرة على التمييز، فستدرك أن شركة سونلغاز لا تهتم بالمعدل أو السرعة التي تستهلك بها الطاقة الموجهة إليك، لكن تهتم بالكمية المستهلكة من هذه الطاقة. فأنت إذن تدفع ثمن الطاقة المستهلكة لا غير.

العلاقة التي تربط العمل بالاستطاعة هي :

$$\text{عه} = \frac{\text{عم}}{\text{ز}} \qquad P = \frac{W}{t}$$

حيث :

- عم هو العمل ووحدته الجول : عم [جول]
- ز هو الزمن ووحدته الثانية : ز[ثا]
- عه هي الاستطاعة ووحدتها الواط[1]، أي عه [واط].

---

1. واط (James WATT : 1736-1819) مهندس اسكتلندي وهو مخترع أول آلة بخارية في العالم عام 1769، والتي اهتم بتطويرها لتكون فيما بعد أحد عوامل الثورة الصناعية المحدثة.

2.2. مفهوم الواط

الواط هو الوحدة العالمية لقياس الاستطاعة وعليه نكتب :

1 واط = 1 جول على الثانية

أي : 1 واط = 1 جول/ثا

فضلا على أنك تستطيع حساب الاستطاعة باستخدام العلاقة التي رأيناها معا، فإنك تستطيع كذلك قياس هذه الاستطاعة بواسطة جهاز قياس يدعى الواطمتر، أو مقياس الواط أو مقياس الاستطاعة، وتتم هذه القياسات عبر قراءات بسيطة على سلم مرقم. وفي الفصل 8 من الجزء الرابع شرح مبسط لهذا الجهاز مع تبيين كيفية تصميمه، بالإضافة إلى شرح مبدأ اشتغاله و كيفية استعماله.

الواط هو الوحدة العالمية لقياس الاستطاعة، لكن تستعمل الوحدات الفرعية في بعض التطبيقات وهذا لصغر أو لكبر الواط :

1 ميغاواط = 1 × 10^6 واط = 10^6 واط	**$1MW = 10^6 W$**
1 كيلوواط = 1 كواط = 1 × 10^3 واط = 10^3 واط	**$1k W = 10^3 W$**
1 ميليواط = 1 ميليواط = 1 × 10^{-3} واط = 10^{-3} واط	**$1mW = 10^{-3} W$**
1 ميكروواط = 1 μواط = 1 × 10^{-6} واط = 10^{-6}واط	**$1 \mu W = 10^{-6} W$**

المردودية، ويرمز لها بالحرف الإغريقي η، ويقرأ نيو، هي النسبة المئوية لتحديد جودة نظام معين دون آخر، فهي الآداة التي تحكم بها على نجاعة نظام من عدمها، أي أنك بواسطة هذا الوسيط تحكم على جودة ونوعية النظام المدروس. فعلى قدر ما تقترب المردودية من الوحدة، أي η=1، بقدر ما تزيد فعالية النظام.

3. تحويل الطاقة

فيما سبق رأينا أن المادة تمتاز بخاصيات فيزيائية وأخرى كيماوية. فمن الخاصيات الفيزيائية اللون، الشكل، ونقطة الغليان. وأما الخاصيات الكيماوية فمثلا احتراق الكربون بحضور الأكسجين ليتولد عن هذا التفاعل غاز يسمى ثاني أكسيد الكربون.

وقلنا أن المادة في هذا الوجود على ثلاثة وجوه : صلب، غاز وسائل. وأعلم أن الحرارة والضغط يحددان، وبشكل كبير، الخاصيات الفيزيائية للمادة، وهذا هو موضوع فقرتنا : دراسة الظواهر الفيزيائية للمادة.

فكل مادة، تحت تأثير الحرارة أو الضغط أو كلاهما، يمكنها أن تتحول إلى وجه جديد لا يشبه الأول تماما : صلب أو سائل أو غاز.

1. التبخر

وهو تحول المادة من سائل إلى غاز وهذا بعد استهلاك هذه المادة لكمية معينة من الحرارة، وتختلف كمية هذه الحرارة من مادة لأخرى. ولعملية التبخر أربعة حالات مختلفة :

- التبخر في الفراغ : يوضع السائل داخل إناء مغلوق وفارغ.
- التبخر في الجو العادي : يوضع السائل داخل إناء مغلوق يحتوي على غاز.
- التصعد : يوضع السائل داخل إناء مفتوح على الهواء.
- الغليان : يوضع السائل داخل إناء مفتوح على الهواء ثم يسخن، وباعتبار أن الغليان حالة خاصة، فقد تم تزويدك بالجدول 1 الممثل لنقطة الغليان لبعض المواد تحت ضغط جو عادي.

Matter	درجة الحرارة المئوية	المادة
Hydrogen	253-	الهيدروجين
Oxygen	182-	الأكسجين
Bioxyde of carbone	78-	ثاني أكسيد الكربون
Ammonia	33-	الأمونياك
Ether	35	الأثير
Sulfur of carbone	46	كربون الكبريت
Alcohol	78	الكحول
Benzene	80	البترين
Water	100	الماء
Glycerin	290	الغليسيرين
Mercury	357	الزئبق
Sulphur	445	الكبريت
Zinc	907	الزنك

الجدول 1. حرارة الغليان لبعض المواد تحت ضغط جو عادي

2. الإسالة

وتحت ضغط معين يتم تحول المادة من غاز إلى سائل، وذلك بعد نبذ المادة لحرارة محددة... وهي العملية العكسية للتبخر.

3. الانصهار

تستهلك المادة الصلبة، وتحت ضغط محدد، كمية من الحرارة تتحول على إثرها إلى سائل. وهذه الحرارة تدعى حرارة الانصهار، وتلاحظ هذا في مصانع الحديد والصلب مثلا.

ليس كل الناس كسيدنا داود عليه السلام، صاحب المعجزة **"وألّنا له الحديد أن أعمل سابغات وقدِّر في السرد"** الآية 10-11 من سورة سبأ، فلكي يسهل تشكيل الحديد على الوجه الذي يرغب فيه، لا بد من إذابته... ولا يتأتى ذلك إلا تحت درجة حرارة عالية جدا، وللأهمية

الكبرى التي يكتسيها هذا الوسيط (نقطة الانصهار) في ميدان العلوم الصناعية ارتأينا أن نزودك بالجدول 2.

Matter	درجة الانصهار	المادة
Alcohol	130-	الكحول
Mercury	39-	الزئبق
Bromine	7-	بروم
Ice	0	الجليد
Benzene	6	البترين
Phosphorus	44	الفوسفور
Potassium	63	البوتاسيوم
Sodium	98	الصوديوم
Sulphur	113	الكبريت
Iodine	114	اليود
Tin	232	القصدير
Bismuth	271	البزموث
Cadmium	321	كادميوم
Lead	327	الرصاص
Zinc	420	الزنك
Antimony	630	الأثميد
Magnesium	650	المغنيزيوم
Aluminum	660	الألمنيوم
Baryum	704	باريوم
Calcium	810	كالسيوم
Silver	960	الفضة
Gold	1063	الذهب
Copper	1083	النحاس
Manganese	1260	المنغنيز
Nickel	1455	النيكل
Cobalt	1490	كوبلط
Iron	1535	الحديد
Platinum	1773	البلاتين
Chromium	1800	كروم

الجدول 2. حرارة الانصهار لبعض المواد تحت ضغط جو عادي

4. التجمد

تحت ضغط معين، وعندما تسحب كمية – تكون محددة ومعلومة – من الحرارة من مادة سائلة، فإنها تتحول على إثر ذلك إلى مادة صلبة.

5. التسامي

وهو تحول المادة الصلبة مباشرة إلى غاز بعدما تسخن هذه المادة تحت ضغط محدد، إذ تكرر المادة الصلبة بتسخينها فيتصعد ويتسامى البخار منها.

6. التكاثف

وهو التفاعل العكسي للتسامي، بمعنى تحول مادة غازية مباشرة إلى مادة صلبة وذلك بتكثيف وتركيز الغاز.

وخلاصة ما تقدم، نقول أن المادة موجودة في الحالات الثلاث (صلبة، سائلة وغازية). وعندما يحدث تحول مادة من حالة لأخرى تحت حرارة محددة وضغط معلوم، نسجل توازنا بين الحالتين المدروستين، وهو ما يبرزه الملخص التالي :

وهكذا تكون قد رأيت أن الخاصيات الفيزيائية تتغير تحت مفعول الحرارة أو الضغط.

4. قانون حفظ الكتلة

1.4. حركية الطاقة

لنعد إلى مثالنا السابق : رأينا أن الدّلو وكتلته ك، إذا ما تحرك بسرعة سر اكتسب طاقة حركية قد، عبارتها هي :

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \qquad \text{قد} = \frac{1}{2} \text{ك سر}^2$$

وتنعدم هذه الطاقة في حالة توقف الجسم، أي أن الطاقة الحركية في قعر البئر معدومة لأن الدلو ساكن. ولكن تنبه إلى أن في اللحظة التي تسبق توقفه تكون الطاقة قد$_2$ عظمى لأن السرعة سر موجودة غير معدومة وهي عظمى، أي سرَ (الجسم يتحرك). ومنه نستخلص أن الطاقة الحركية قد$_1$ معدومة في أعلى البئر لأن الدلو ساكن لا يتحرك (سر = 0).

تعلم أن كل جسم ذا كتلة ك في سكون يحتوي على الطاقة الكمونية قك، إذن الدلو بين أسفل وأعلى البئر يحتوي على :

$$W = E p_1 - Ep_2 \qquad \text{عم} = \text{قك}_1 - \text{قك}_2$$

وعليه : $W = mg(Z_1 - Z_2)$ عم = ك ج (س$_1$ - س$_2$)

حيث س$_1$ وس$_2$ أعلى وأسفل البئر على التوالي.

بالنظر إلى ما تقدم في الفقرة السابقة وما جاء في مفهوم الطاقة، تتحول المادة من حال لأخرى تحت تأثيرات وشروط مسبقة ومحددة، والكتلة الإجمالية للمادة المحولة لا تتغير مهما كان التحويل، فيزيائي أو كيماوي. وهو الشيء الذي بُرهن عليه بالتجارب العديدة والمعروفة، وما أكثرها.

2.4. كيفية تحول الطاقة

قد بينت التجارب والتحاليل الكيماوية بعد قياس دقيق لكتلة معينة تحت الدراسة، مثلا أثناء تفاعل كيماوي، أنه لا وجود لزيادة أو نقصان في المادة بعد التحويل، حتى ولو نتج عن هذا التفاعل غاز : هذا ما يعرف بقانون لافوازيه أو قانون حفظ الكتلة.

يقول القانون :

لا شيء يخلق	Nothing is created
لا شيء يضيع	Nothing is lost
كل شيء يتحول	Everything is transformed

كما هو موضح في نص القانون، أنه ليس هناك مادة جديدة، وإنما المادة المستخرجة هي عبارة عن وجه جديد للمادة الأصلية. كما أن الوزن لا يضيع منه شيء، بل يتحول إلى وجه جديد قد يحتمل أن يكون طاقة مثلا.

من هذا المنطلق، نستطيع القول أن الكتلة والطاقة كميتان ثابتتان لا تتبدلان حتى وإن ظهر عليهما بعض التغيير، وعليه فإن كتلة المادة المدروسة محفوظة ومنه... قانون حفظ الكتلة.

لو حملنا هذا القانون على مثالنا السابق، فسنقول أن مجموع الطاقة الحركية والطاقة الكمونية في أعلى البئر مساويا لمجموع الطاقة الحركية والطاقة الكمونية في أسفل البئر، بإعتبار أن الطاقة محفوظة أثناء نزول الدلو. ومنه تكتب المعادلة التالية :

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2} \qquad \text{قد}_1 + \text{قك}_1 = \text{قد}_2 + \text{قك}_2$$

ومنه : $0 + \text{ك ج س}_1 = \frac{1}{2}\text{ك سر}^2 + 0$ $\quad 0 + m\,g\,Z_1 = \frac{1}{2}m\,v^2 + 0$

حيث :

- قد$_1$معدومة لأن في أعلى البئر الدلو ساكن (سر = 0).
- قك$_2$معدومة لأن العلو س$_2$ = 0، باعتبار أن قعر البئر مبدأ المسافات.

لتعلم أن هذه الدراسة أقيمت على فرضية أن النظام كله معزول (الدلو، الحبل، البكرة، الجدران، حافة البئر)، بمعنى لا أثر للاحتكاك (الجدران، الهواء والبكرة). ومنه فإن الطاقة محفوظة، يفترض عدم تسجيل أي ضياع في أي شكل كان.

3.4. اعتراض عقائدي

تفضل العالم الفرنسي لا فوازيه، ومن سار على رأيه من بعده، فجعلوا القانون عاما يشمل حياة الفرد وكيفية خَلقه وخلق هذا

الكون. ونحن باعتبارنا أصحاب عقيدة لا إله إلا الله، فلنتذكر قوله تعالى، والذكرى تنفع المؤمنين :

"هل أتى على الإنسان حين من الدهر لم يكن شيئا مذكورا، إنّا خلقنا الإنسان من نطفة امشاج نبتليه فجعلناه سميعا بصيرا". الآية 1 و2 من سورة الإنسان.

"ولقد خلقنا الإنسان من سلالة من طين، ثم جعلناه نطفة في قرار مكين، ثم خلقنا النطفة علقة فخلقنا العلقة مضغة فخلقنا المضغة عظاما فكسونا العظام لحما ثم أنشأناه خلقا آخر فتبارك الله أحسن الخالقين". الآية 12-13-14 من سورة المؤمنون.

"ولقد كرمنا بني آدم وحملناه في البر والبحر ورزقناهم من الطيبات وفضلناهم على كثير ممن خلقنا تفضيلا". الآية 70 من سورة الإسراء.

ومن هنا نسلم لله ما جاء في القرآن الكريم في الآية 65 من سورة آل عمران : **"هأنتم هؤلاء حاججتم فيما لكم به علم فلم تحاجّون فيما ليس لكم به علم والله يعلم وأنتم لا تعلمون"**، بالإضافة إلى الآية 64 من سورة النمل حيث يقول سبحانه وتعالى : **"أمّن يبدأ الخلق ثم يعيده، ومن يرزقكم من السماء والأرض، أءلهة مع الله، قل هاتوا برهانكم إن كنتم صادقين..."**.

ومن أبلغ حجة من الله، فما جاء في قانون لافوازيه نكتفي بتطبيقه على عالم المادة والذرة فحسب دون تعميمه... فهو قانون ثابت ومحقق فيه في هذا المجال.

4.4. نظرية أينشتاين[1]

إن كتلة المادة لا يطرأ عليها تعديل وإن ظهرت المادة ذاتها في وجه جديد، كأن تتحول من سائل إلى غاز، وبالتالي فالوزن يبقى ثابتا. بل كل ما في الأمر أن المادة تفاعلت بحكم ظواهر فيزيائية أو كيماوية لتتحول إلى مادة جديدة تختلف تمام الاختلاف عن الأصلية، كأن تتحول المادة الصلبة إلى طاقة حرارية هائلة... وهو مبدأ القنبلة الذرية.

انطلاقا من هذا المبدأ، استطاع العالم الألماني أينشتاين في عام 1905 أن يبرهن على أن واقع الأشياء يتجلى إما في صورة مادة محسوسة ذات كتلة محددة ك وتشغل حجما معينا، أو في شكل طاقة مخزنة عم. وبذلك فالمادة المحسوسة عبارة عن طاقة مخزنة نائمة لا تُظهر تفاعلا. وعليه فهناك تناسب بين الكتلة المادية والطاقة، وهو ما يعرف بنظرية أينشتاين :

$$\text{عم} = \Delta\text{ك} \cdot \text{سر}_0^2 \qquad E = \Delta m \cdot C^2$$

حيث سر$_0$ هي سرعة الضوء والتي تقدر بحوالي 300 000 كم/ثا.

---

1. أينشتاين (Albert EINSTEIN : 1879-1955) عالم فيزيائي ألماني الأصل حمل عدة جنسيات، نال جائزة نوبل عام 1921، انصبت أبحاثه حول الذرة، وفي عام 1905 وضع نظرية النسبية، وفي عام 1907 وضع نظرية كمية السعة الحرارية للمواد الصلبة، وفي عام 1939 اخبر الرئيس الأمريكي روسفلت بإمكانية صنع سلاح دمار وبذلك كان وراء تحقيق القنبلة الذرية.

إنها المعادلة المعمول بها في التفاعلات النووية، حيث نسبة من الكتلة تختفي لتظهر مكانها، وبنفس النسبة، طاقة متحررة. وعليه فتحويل الكتلة، أو بالأحرى الطاقة النائمة، أدى إلى ظهور طاقة متحررة ضخمة جدا بالنظر لعامل الجداء لمربع العدد 300 000 000. وهذه الطاقة هي دوما مساوية لنسبة الكتلة المختفية، بمعنى أن الطاقة محفوظة دوما : قانون حفظ الكتلة.

ينص قانون حفظ الكتلة – للمفهوم الحديث – ألا تغيُّر في الكتلة عند إجراء تفاعلات كيماوية، فعندما تُحفظ الذرات يكون حفظ للكتلة. وانطلاقا من هذا المبدأ، صنع ما أسفرت عنه الحرب العالمية الثانية : القنبلة الذرية. فالكتلة ثابتة وإن ظهرت في ثوب جديد، والطاقة موجودة وإن اختفت عن العيان، نسبة تحررها تعادل النسبة المختفية من الكتلة.

5. أنواع الطاقة

لحد الآن، تمت دراسة الطاقة الميكانيكية، الطاقة الجسمية، الطاقة الحرارية والطاقة الكيماوية، وقد تم بحمد الله تعريف كل نوع على حدة بطريقة غير مباشرة، وأما الآن فإليك التصنيف التالي :

– الطاقة العضلية

وهي الطاقة التي تتولد عن الجسم بمفعول العضلات كعضلة العَضُد وعضلة الساعد وعضلة الساق، وتختلف هذه الطاقة من شخص لآخر بحسب البُنية الجسمية للإنسان أو الحيوان.

– الطاقة الميكانيكية

وهي الطاقة التي يولدها جسم أثناء حركته، فهي إذن لا شيء غير إنجاز العمل، كدوران المحركات مثلا. فهي طاقة منبعها البترين (طاقة كيماوية)، تُحوَّل إلى طاقة ميكانيكية تدير دوار المحرك. فالأقسام المتحركة من المحرك تنجز عملا ينتج طاقة ميكانيكية.

– الطاقة الحرارية

وهي الطاقة المتولدة عن انتشار الحرارة، ولا يشترط أن يكون منبع الطاقة هو النار، بل تحويل أي طاقة غالبا ما يؤدي إلى انتشار الحرارة كخسائر تدرج في خسائر النظام المعمول به. إلا أن هناك وسائل وأدوات تصنع خصيصا لتوليد الحرارة مثلا كالمسخنات الكهربائية (طالع الفصل 13)، إذ طاقة كهربائية تحول كلية إلى حرارة قصد تدفئة البيوت.

– الطاقة الكيماوية

وهي الطاقة المتولدة عن التفاعل الكيماوي، كالتي نحصل عليها من البطاريات الجافة أو بطاريات السيارات، إذ بفعل التفاعلات الكيماوية الناجمة عن أجسام مختلفة تظهر طاقة كهربائية بين طرفي البطارية.

– الطاقة الكهربائية

أما الآن فسوف نتطرق لنوع جديد من الطاقة وهو أساس هذا الكتاب كله : الطاقة الكهربائية، وهي طاقة تسلم بفعل مرور تيار كهربائي عبر شبكة. يمنح التيار طاقة كهربائية إلى هذه الشبكة تمكنها من إنجاز الوظيفة التي من أجلها صنعت وركبت.

مسائل

1. ما تعريف العمل ؟ ما هو العامل الذي يتسبب في إنجازه ؟ اشرح.

2. ما الفرق بين الطاقة الحركية والطاقة الكمونية ؟ فصل في ذلك.

3. ما الفرق بين العمل والاستطاعة ؟ اشرح.

4. ما مفهوم تحويل الطاقة ؟ علل ذلك بأمثلة.

5. اجتهد في ذكر كيفية تحويل الطاقة. اذكر المتسبب في ذلك.

6. ما نص قانون حفظ الكتلة ؟ اشرحه.

7. ما هو نص نظرية اينشتاين ؟ بأي الاصطلاحات تعرف ؟ اذكر أشهر تطبيقاتها.

8. اجتهد في ذكر أنواع الطاقة مع توضيح نوع مصدرها.

9. جسم كتلته 1 200 كغ يتحرك بسرعة خطية تعادل 20 م/ثا. ما هي الطاقة الحركية للجسم المتحرك ؟

10. قوة مقدارها 3 نيوتن تدفع جسما على مسافة 4 أمتار في خط مستقيم. ما هو العمل المنجز خلال الدفع ؟

11. عندما يركض رجل فإنه يملك نصف الطاقة الحركية لصبي كتلته هي نصف كتلة الرجل. فإن زادت سرعة الرجل بكمية تعادل 1م/ثا، تصبح طاقته الحركية مساوية للطاقة الحركية عند الصبي. ما هي السرعة الابتدائية للرجل $سر_1$ والطفل $سر_2$ ؟

الفصل 10

التيار الكهربائي

تعتبر الشحنة كمية كهربائية حيث أصغر مكوناتها البروتون والإلكترون، وتحمل هاتان الشحنتان نفس كمية الكهرباء لكن بإشارتين متعاكستين. وباعتبار أن اكتشاف عبور إلكترون وحيد أو بروتون وحيد مستحيل، لجأ المختصون إلى اختيار عدد كبير من هذه الشحنات للقياس، فظهر الكولومب وهو وحدة قياس عالمية للشحنة، وهو يعبر عن شحنة $6{,}25 \times 10^{18}$ إلكترونا أو بروتونا. وكل الدراسة السابقة تركزت حول توازن الشحنات، فما هو الناتج يا ترى لو تحركت هذه الشحنات باستمرار ؟

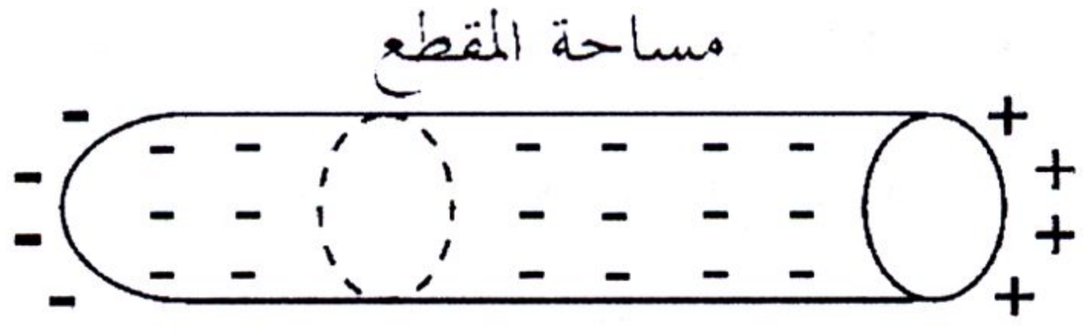
1. المجال الكهربائي

1.1. كيفية تنقل الشحنات

التيار الكهربائي، أو إختصارا التيار، هو سَرَيان الشحنات في اتجاه معين ومحدد، وهذه الشحنات إما إلكترونات أو أيونات موجبة أو أيونات سالبة. يمكن أن تكون هذه الحركة - حركة الشحنات - داخل

جسم صلب، سائل، غاز أو الفراغ. وفي دراستنا هذه سينصب اهتمامنا على المادة الصلبة، وبذلك فإن الشحنات المتنقلة هي الإلكترونات.

المجال الكهربائي هو الذي وراء تحرك الإلكترونات داخل سلك ناقل، وبقدر ما يكبر المجال بقدر ما يزداد عدد الإلكترونات العابرة في مساحة معينة (مساحة المقطع العرضي) في الثانية الواحدة (الشكل 1). وعندما يكون المجال ثابتا (لا يتغير مع مرور الزمن)، يكون عدد الإلكترونات العابرة ثابتا في مساحة المقطع العرضي مع مرور كل ثانية.



الشكل 1. تحرك الإلكترونات عبر السلك بفعل تأثير المجال الكهربائي

عند تطبيق مجال كهربائي ثابت، كل إلكترون متحرر يخلف وراءه شاردة (أيونا) موجبة. تقوم هذه الشاردة الموجبة بجذب أحد الإلكترونات الحرة لكي تصبح بدورها، من جديد، ذرة محايدة كما كانت. لذلك تلاحظ أن الإلكترون لا يكون حرا لفترة طويلة، إذ سرعان ما يُجذب نحو شاردة موجبة فقدت إلكترونها السطحي.

فنستنتج أن الإلكترون لا يقطع السلك الناقل كله، ولكن مسافة قصيرة جدا. وعندما يتلقى طاقة جديدة كافية لتحريره من مداره الخارجي، يقفز من جديد خارج ذرته الجديدة ليصبح إلكترونا حرا ثانية، ليستمر في حركته... ومن ذلك يكمل مشواره عبر السلك الناقل.

2.1. سبب استمرارية التدفق

من خلال ما تقدم، نقول أن حركة الإلكترون عبر السلك الناقل مقتصرة على قفز مستمر للإلكترون السطحي من ذرة لأخرى ليعبر السلك كله... وحركة هذه الإلكترونات هي التي وراء توليد التيار الكهربائي.

أعلم أن الإلكترونات تتنقل داخل سلك ناقل ببطء كبير مقارنة بالتيار. فسرعة التيار داخل سلك ناقل تقارب سرعة الضوء المقدرة بحوالي 300 000 كم/ثا، بمعنى 3×10^{8} م/ثا. غير أن عبور الإلكترون لسلك طوله بعض الأمتار قد يطول ليصل عدة دقائق. سؤال يتردد في بالك وإني أسمعه : ما مصير التيار إذا أنجذب إلكترون نحو ذرة جديدة ؟ هل يتوقف التيار عن التدفق عبر السلك ؟

لا تظن هذا أبدا، فعندما ينجذب إلكترون حر نحو ذرة، يكون آخر قد تحرر من ذرة أخرى، وبذلك هناك استمرارية في قفز الإلكترونات. وعليه لا يتوقف التيار عن السريان في السلك ما دام المجال الكهربائي موجودا، ويكون اتجاهه دوما واحدا لا يتغير بمرور الزمن.

2. سببية نقل الكهرباء

لنفرض أن سلكا ناقلا يعبره تيار كهربائي تم قطعه، فماذا ينتج عن هذه التجربة ؟

إذا قطع سلك ينقل تيارا كهربائيا، فإن ظاهرة التيار تتوقف في الحين، ولا عبور للتيار إطلاقا. ولتسجيل توقف التيار، يكفي مكان

صغير جدا من الهواء - باعتباره عازلا - بين طرفي السلك. ولإعادة سريان التيار، استلزم وصل الطرفين المقطوعين من جديد.

كل الأجسام، أو المواد، التي تسمح بعبور التيار الكهربائي تسمى النواقل. في حين، نلاحظ أن الهواء لا يسمح بعبور التيار، فهو عازل. تكون المادة ناقلة عندما تتم حركة الإلكترونات داخلها بسهولة تحت تأثير المجال الكهربائي، فهذه الشحنات تتحرك بحرية. في حين هي مقيدة في حالة عازل، فهي ثابتة لا تتحرك وتكتفي بالحوم في مداراتها حول النواة.

لتعلم أن كل المعادن وما ينجم عنها من خليط هي نواقل. فبحكم العدد الضئيل لإلكتروناتها السطحية، تستطيع الإلكترونات الحركة بعد مغادرة ذراتها، ويكون عدد الإلكترونات الحرة كبيرا جدا في المواد الناقلة. في حين هي نادرة جدا في العوازل.

أوضحت التجارب أن الشحنات الكهربائية تتحرك بحرية تامة داخل المواد الناقلة، في حين هي جامدة في المواد العازلة. وهذا يوضح تماما أن نقل التيار الكهربائي يتم بواسطة المواد الناقلة، لا المواد العازلة.

ولعل المثال الشائع لتطبيقات النواقل والعوازل هو القاطعة : يمكنك إقامة أو إيقاف التيار الكهربائي داخل غرفة لإنارتها بضغط بسيط على زر القاطعة، فمكان ضغطك مصنوع من مادة عازلة لتجنيبك الرجات الكهربائية، وأما لوصل المصباح بمنبع الطاقة فهو من مادة معدنية، أي مادة ناقلة.

3. شدة التيار

1.3. التيار المتناوب

كل تيار يجري في اتجاه واحد في أي لحظة من الزمن يدعى التيار المستمر. وهذا النوع تولده بطاريات السيارات والبطاريات الجافة.

عندما يقال "التيار المستمر"، يفهم القارئ الكريم أن هناك تيار من نوع آخر... بالفعل، فالتيار أساسا نوعان : مستمر ومتناوب. وإليك الآن شرحا ولو بسيطا للتيار المتناوب.

التيار المتناوب هو التيار الذي يغير اتجاه حركته في فترة من الزمن تدعى الدور. فالتيار يسجل قيمة معينة في كل لحظة من الزمن وهذا لمدة زمنية محددة تدعى الدور. وعند انقضاء مدة الدور، يُعيد التيار المتناوب قيمه السابقة وهذا لمدة دور كامل جديد... وهكذا.

فالدور إذن هو الوقت المستغرق لكي يغير التيار المتناوب اتجاهه مرتين. ففي هذه الحالة، تقفز الإلكترونات الحرة عبر الشوارد الموجبة، مرة إلى الأمام ومرة إلى الوراء حسب قطبية هذا التيار، موجبة كانت أم سالبة.

نجد هذا النوع من التيار في المنشآت السكانية والصناعية، وعموما كل المنشآت الحضرية عبر العالم تستعمل التيار المتناوب لحاجاتها اليومية. وإن احتاجت هذه المنشآت إلى التيار المستمر فإنها تستمده من التيار المتناوب بعد تحويله، وهي عملية بسيطة تدعى التقويم،

وفي الفصل 6 من الجزء الخامس تجد شرحا مفصلا لهذه العملية. وأما التيار المتناوب فهو موضوع حديثنا في الفصلين 6 و7 من الجزء الثاني.

2.3. مدلول الشدة

وبعد هذه الإطلالة الخاطفة على التيار المتناوب، نعود بك إلى التيار المستمر. يعرف التيار - في حالة مجال كهربائي ثابت - على أنه عدد الشحنات المحسوبة بوحدات الكولومب المارة عبر مساحة مقطع معينة لمدة زمنية محددة. إذن هو :

$$\text{ش} = \frac{\text{ك}}{\text{ز}} \qquad I = \frac{q}{t}$$

حيث :

- ش هي شدة التيار العابر للسلك
- ك هي الشحنة ووحدتها الكولومب : ك = [كو]
- ز هو الزمن المحدد ووحدته الثانية : ز = [ثا]

وإليك هذين المثالين لتستوعب المفاهيم جيدا.

المثال 1 : لو قلنا أن 192 كو تمر في مقطع عرضي لناقل في ظرف دقيقة، فما هي قيمة التيار ؟

الوحدة العالمية للزمن هي الثانية، إذن بالتحويل نحصل على ز = 1 دقيقة = 60 ثانية، فنكتب :

$$\text{ش} = \frac{192}{60} = 3{,}2 \text{ كو/ثا}$$

المثال 2 : في مدة زمنية قدرها 12 ثا، سجل مرور 33 كو في مساحة مقطع معين. ما هو التيار ؟

التيار ش $= \frac{33}{12} = 2,75$ كو/ثا

التيار هو معدل السريان، فنلاحظ أنه في المثال الأول تم مرور 3,2 كو عبر مساحة المقطع العرضي خلال ثانية واحدة. وفي المثال الثاني تم مرور 2,75 كو عبر مساحة المقطع خلال ثانية واحدة كذلك. فنستنتج أن معدل السريان في المثال الأول هو أكبر منه في المثال الثاني. وفي تعريف الكمية ش للمعادلة السابقة، قلنا هي شدة التيار. فما مدلولها ؟ وما الفرق بين التيار وشدته ؟

شدة التيار هي عدد ثابت يرمز إلى كمية الكهرباء العابرة لمساحة المقطع لمدة وحدة زمنية. الشدة هي مدلول التيار، بمعنى هي القيمة الحقيقية لتيار عابر، فالرمز ش يستحيل أن يرمز لظاهرة فيزيائية كهربائية تدوم مدة زمنية. فالتيار إذن هو سريان الشحنات، وأما الشدة فهي القيمة العددية لهذا السريان، وبذلك تكون ش عدد معين.

4. مفهوم الأمبير

1.4. صيغة الشدة

شدة التيار هي معدل عبور الشحنات في ظرف زمني محدود، فنكتب بذلك أن شدة التيار هي :

$$\text{ش} = \frac{\text{تفا ك}}{\text{تفا ز}} \qquad i = \frac{dq}{dt}$$

تكتب شدة التيار الكهربائي إذن على أنها كولومب على الثانية أو كو/ثا، ولتسهيل كتابتها عوضت بوحدة تدعى الأمبير[1]، ويرمز له بالرمز آ. الأمبير هو وحدة قياس التيار ويعرف كما يلي :

1 أمبير = 1 كولومب على الثانية

أو 1 أمبير = 1 آ = 1 كو/ثا

إذن يمكننا الرجوع للمثالين السابقين فنكتب :

ش = 3,2 كو/ثا = 3,2 آ

وكذلك : ش = 2,75 كو/ثا = 2,75 آ

2.4 . مدلول الوحدة

حسب التطبيقات في الميادين المستعملة للطاقة الكهربائية، فإن الأمبير يصل إلى الآلاف كما يصغر ليصل جزءا من مليون جزء. ولذلك تستعمل وحداته الفرعية :

1 ميكروأمبير = 1 µ آ = 1 × 10^{-6} آ = 10^{-6} آ $\qquad 1\mu A = 10^{-6} A$

1 ميلي أمبير = 1 مآ = 1 × 10^{-3} آ = 10^{-3} آ $\qquad 1mA = 10^{-3} A$

1 كيلو أمبير = 1 كآ = 1 × 10^{+3} آ = 10^{+3} آ $\qquad 1kA = 10^{+3} A$

---

1. أمبير (André-Marie AMPERE : 1775-1836) عالم فيزيائي، رياضي، كيماوي، بيولوجي، شاعر وفيلسوف فرنسي، اهتم بالظواهر الفيزيائية قصد شرحها وفهم كيفية حدوثها، كما انصبت تجاربه على الكهرباء والمغناطيسية قصد تطويرها وإعطاء الشرح العلمي لها.

المثال 3 : شحنة قدرها 3,85 كو تمر داخل بطارية في مدة زمنية تقدر بساعة وربع. جد التيار.

الوحدة العالمية لقياس الزمن هي الثانية، فبالتحويل نكتب :

1 ساعة = 3600 ثانية و15 دقيقة = 900 ثانية، إذن

ز = 3600 + 900 = 4500 ثا. وعليه فشدة التيار ش تكون كالتالي :

$\frac{3,85}{4500} = 0,000856$، أي ش = 0,856 مآ، أو ش = 856 μآ.

المثال 4 : في مدة 7 ثوان يتم مرور 10×10^{18} إلكترونا عبر مساحة مقطع لسلك ناقل. ما هي شحنة هذه الإلكترونات ؟ كم هو التيار ؟

لاستعصاء الترصد لشحنة وحيدة تم، وكما تعلم، الاتفاق على أخذ شحنة $6,25 \times 10^{18}$ شحنة (إلكترون أو بروتون) كوحدة لكمية الكهرباء. إذن شحنة 10×10^{18} تكون كالتالي :

$$ك = \frac{ن}{10 \times 6,25^{18}} = \frac{10 \times 10^{18}}{10 \times 6,25^{18}} = 1,6 \text{ كو}$$

ونستخرج شدة التيار، لا التيار، فنكتب :

$$ش = \frac{ك}{ز} = \frac{1,6}{7} = 0,299 \text{ آ}$$

أو ش = 229 مآ

3.4. قياس الشدة

زيادة على إمكانية البحث عن الشدة نظريا (أي بواسطة عمليات حسابية مَحْضَة)، يمكنك الحصول على شدة التيار بواسطة جهاز يدعى الأمبير متر - مقياس الأمبير - الذي يظهر عدد الشحنات بالكولومب في الثانية الواحدة بواسطة مؤشر متحرك على سلم مرقم، وما شدة التيار إلا تلك القراءة المشار إليها عبر السلم.

كيفية وصله بسيطة : يقطع السلك الناقل للتيار المرغوب في قياس شدته ويوضع الأمبيرمتر بين طرفي هذا السلك المقطوع، إذ أن هذا الجهاز يحتوي على طرفين هما القطبان، الموجب والسالب. وعندما تتحرك الإبرة وتستقر على قراءة محددة على سلم هذا الجهاز، تكون قد أشارت إلى شدة التيار العابر لهذا السلك الناقل.

لمزيد من الشرح تجد في الفصل 4 من الجزء الرابع معالجة مفصلة لهذا الجهاز، إذ تدرس كيفية تصميمه ومبدأ اشتغاله بالإضافة إلى احتياطات الأمن في استعماله.

بعد العملية الحسابية أو القياس، ستجد في بعض التطبيقات أن شدة التيار سالبة. فلتعلم أن لا وجود لشدة سالبة، وكل ما في الأمر أن الاتجاه الموجب الذي تحسبه كذلك للتيار هو في حقيقته معاكسا لعبوره الفعلي عبر السلك الناقل. فلو احتوى الأمبيرمتر الذي تستعمله على قياسات سالبة، فسوف تنحرف الإبرة صَوْب اليسار عِوَض المعْتاد وهو صَوْب اليمين.

مسائل

1. اشرح كيفية سريان التيار مع ذكر المتسبب في تدفقه.

2. ما الفرق بين التيار المستمر والتيار المتناوب ؟ اذكر خاصياتهما.

3. ما هو اتجاه التيار بالنسبة لاتجاه الإلكترونات ؟ هل سرعتهما متماثلة ؟ اشرح.

4. بما يمتاز العازل عن الناقل من حيث البنية الذرية ؟ هل كل ناقل يسمح بتدفق سهل للتيار ؟ اشرح.

5. ما المقصود بالشدة عند قياس التيار ؟ اشرح.

6. خلال مدة ساعة مرّ 18 000 كولومب عبر جهاز كهرومترلي. ما هي شدة التيار ؟

7. عبر تركيب كهربائي يمر تيار شدته 5 مآ. ما هي كمية الشحنة العابرة للتركيب خلال مدة 3 ثوان ؟

8. بطارية مذياع تتمكن من منح الجهاز شحنة قدرها 5,4 كولومب خلال كل 10 دقائق. احسب شدة التيار الذي يُشغّل المذياع.

9. شدة التيار العابر للمكواة الكهربائية تعادل 0,5 أمبير. ما هي كمية الشحنة الممنوحة خلال كل ثانية ؟

10. أوضح جهاز الأمبيرمتر عند تركيبه قراءة تعادل 75 مآ.

1. ما تمثل قراءة الأمبيرمتر ؟
2. ما هي الشحنة العابرة للتركيب خلال ثانية واحدة ؟
3. نفس السؤال خلال ساعة كاملة.

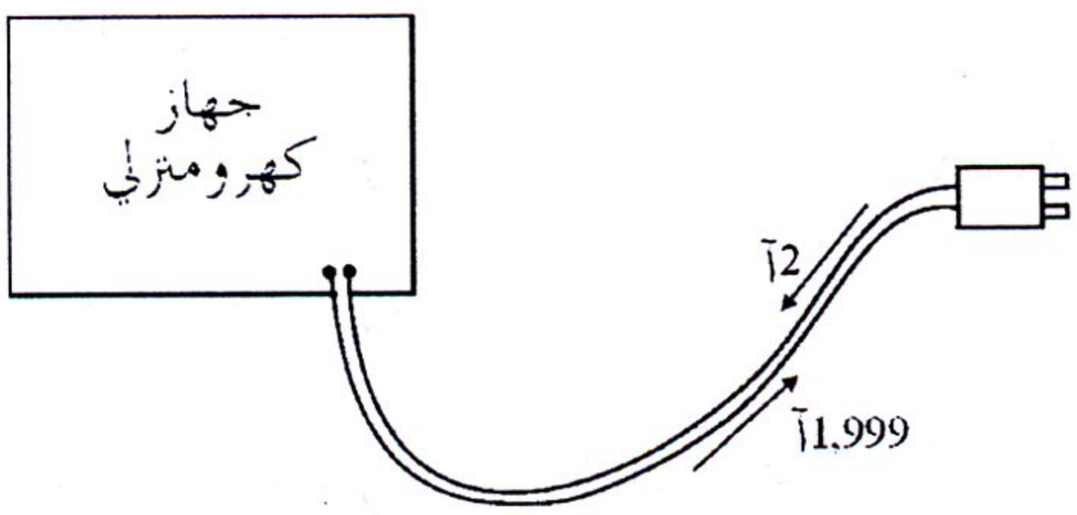
11. ما هي شدة التيار الذي يعبر سلكا ناقلا متجانسا يحتوي على مساحة مقطع تعادل 5 مم^2، علما أنه خلال مدة ثانية واحدة يعبره 10^{13} إلكترون في 1 مم^2 ؟

12. ما هو عدد الإلكترونات، خلال مدة ثانية واحدة، العابرة لمساحة مقطع سلك ناقل إذا كانت شدة هذا التيار 0,5 أمبير ؟

13. بتسخين معدن تنبعث الإلكترونات المتحررة، فيتم جمعها بواسطة قطعة معدنية. ما هي الشدة العابرة للقطعة المعدنية عندما ينبعث $1,2 \times 10^{18}$ إلكترون في الدقيقة، علما أن شحنة الإلكترون هي $ك_0 = -1,6 \times 10^{-19}$ كولومب ؟

14. جهاز كهرومترلي يدخله تيار شدته تعادل 2 أمبير، إلا أنه لا يخرج منه سوى 1,999 أمبير (الشكل 2).

1. ما نوع الشحنات التي تدخل الجهاز والتي تخرج منه ؟
2. كم عدد الشحنات التي تدخل الجهاز خلال ثانية واحدة ؟
3. كم عدد الشحنات التي تخرج منه لنفس المدة ؟
4. احسب فرق عدد الشحنات داخل الجهاز. استنتج شحنة الجهاز المكتسَبَة.



الشكل 2. المسألة 14

الفصل 11

فرق الكمون – الجهد –

لا تتحرك الإلكترونات عبر المواد الناقلة إلا ببذل طاقة تساعدها على التحرر، ومن ذلك سَيَلان التيار عبر هذه المواد. مصدر هذه الطاقة مُتنوع، ومن أهمها منبع الجهد. فما هو يا ترى ؟

1. الطاقة الكمونية

الجُهْد هو الضغط الكهربائي الذي يرغم التيار على السريان، بعبارة أخرى هو تلك القوة التي تدفع الشحنات نحو الأمام. فالتيار خاضع لهذه القوة التي بقَدْر ما تكبر بقدر ما يزيد تدفق التيار عبر السلك الناقل.

إن الطاقة الكمونية هي طاقة مخزنة في حالة السكون... ففي نقطة معينة وعند السكون - دون تسجيل أي حركة - كل جسم يحتوي على طاقة، هي الطاقة الكمونية. ونفس الشيء بالنسبة للإلكترون، إذ تسجل طاقة كمونية كهربائية. كيف ذلك ؟

في السكون وعندما تكون الذرة محايدة، فإن الإلكترون يحتوي على طاقة كمونية، باعتبار أنه يحتوي على كتلة محددة. فعندما يتعرض

لمجال كهربائي، يصبح الإلكترون حرا فيتحرك، لكنه يفقد من طاقته عندما يتحرك من نقطة مشحونة سلبا إلى نقطة مشحونة إيجابا.

فنستنتج أن الطاقة الكمونية للإلكترون في نقطة معينة هي مختلفة عن الطاقة الكمونية في نقطة أخرى. هذا الفرق في الكمون بين نقطتَيْن يتولد عنه ما يسمى بفرق الطاقة الكمونية، أو اختصار فرق الكمون.

يعرف هذا الفرق في الكمون كذلك باصطلاح القوة الكهرومحركة، إلا أنه يعرف شهرة باصطلاح الجُهْد... وهذا الأخير هو الأكثر استعمالا في كتب الكهرباء والإلكترونيات لبساطته.

2. مفهوم الفولط

1.2. فرق الطاقة الكمونية

لاحظ أن تعبير فرق الكمون هو الأكثر دلالة عن هذه الكمية الفيزيائية، لأن الجهد في حقيقته فرق في الطاقة الكمونية بين نقطتين.

عندما تتساوى الطاقتان في نقطتين معينتين، أي أن كمون النقطة الواحدة يماثل كمون الأخرى، يكون الجهد معدوما. لذلك لا معنى لجهد في نقطة واحدة، بل يمكن أخذه في نقطة مقارنة بأخرى تكون عادة ذات كمون معدوم والتي تعرف باصطلاح الكمون المبدئي، وتؤخذ الأرض عموما كمبدأ مرجعي.

لتعلم، أنه إذا حضر الأول، فاجزم أن الثاني حاضر : هذا ما نستطيع قوله عن الجهد والمجال الكهربائي، فعندما تعرف أن سلكا ناقلا يحتوي

على مجال كهربائي، فبالضرورة هناك جهد بين طرَفَي هذا السلك، والعكس صحيح... فلو قست جهدا بين طرفي سلك ناقل ووجدت أنه يختلف عن الصفر، فاعلم أن هناك مجال كهربائي عبر هذا السلك.

الفرق في الطاقة الكمونية، أو الجهد، بين نقطتين هو العمل الذي تقوم به القوة الكهربائية لنقل الشحنة من نقطة لأخرى، فالجهد إذن هو العمل الذي تقوم به الشحنة أثناء حركتها بين هاتين النقطتين. والعلاقة التي تجمع الجهد والطاقة والشحنة تكتب كما يلي :

$$\text{ف} = \frac{\text{عم}}{\text{ك}} = \frac{\text{قك}}{\text{ك}} \qquad \mathbf{V = \frac{W}{q} = \frac{E_p}{q}}$$

حيث :

- قك هي الطاقة الكمونية ووحدتها الجول : قك [جول]
- ك هي الشحنة ووحدتها الكولومب : ك [كو]
- ف هو الجهد المتولد بين نقطتين : فرق الكمون

2.2. مدلول وحدة الفولط

من خلال ما تقدم، تلاحظ أننا نستطيع كتابة وحدة الجهد على أنها الجول على الكولومب، أي جول/كو، لكن للاختصار عوضت هذه الوحدة بوحدة النظام العالمي لقياس وحساب الجهد وهي الفولط[1].

---

1. فولط ومصدر الكلمة اسم العالم الإيطالي فولطا (Alessandro VOLTA : 1745-1827)، عالم فيزيائي انصبت اهتماماته على الكهرباء وظواهرها إلى غاية 1800، السنة التي اخترع فيها بطارية فولطا وبعدها المْغواز، وهو أنبوب مُدَرّج لتحليل الغازات.

الفولط هو وحدة القياس العالمية للجهد ويعرف كما يلي :

1 فولط = 1 جول/1 كولومب.

أي 1 فولط = 1 جول/كو.

الفولط هو كمية الجهد (أي فرق الكمون) بين نقطتين من مجال كهربائي إذا انتقلت بينهما شحنة قدرها كولومب واحد وكان عمل القوى الكهربائية المؤثرة في الشحنة يساوي جولا واحدا، أي أن الفولط هو كمية الجهد المسجل بين نقطتين عندما يقوم كل واحد كولومب بعمل 1 جول بين هاتين النقطتين.

ولأن هذه الوحدة العالمية قد تكون صغيرة أو كبيرة بحسب التطبيقات المستعملة، فقد وضعت لوحدة الفولط وحدات فرعية هي :

1 ميغا فولط = 1 ميغافو = 10^{+6} فو	**$1\ MV = 10^{+6}\ V$**
1 كيلو فولط = 1 كفو = 10^{+3} فو	**$1\ kV = 10^{+3}\ V$**
1 ميلي فولط = 1 مفو = 10^{-3} فو	**$1\ mV = 10^{-3}\ V$**
1 ميكرو فولط = 1 µفو = 10^{-6} فو	**$1\ \mu V = 10^{-6}\ V$**

3. قياس فرق الكمون

1.3. مصطلحات كهربائية

في هذا المستوى سوف نعرف بعض المصطلحات التي يكثر تداولها في علم الهندسة الكهربائية، ومنها :

– القطب : هو نقطة من نظام أو من مادة تحتوي على قطبية معينة، إما أن يكون قطبا موجبا أو قطبا سالبا أو قطبا محايدا دون شحنة معتبرة.

– القطبية : هي نقطة من نظام، أو هي قطب نظام يتميز بشحنة، موجبة أو سالبة، كما يمكن أن يكون عديم الشحنة. وهذه الشحنة في نقطة معينة هي القطبية. إذن هناك قطبية موجبة وأخرى سالبة.

وكما تمت دراسته خلال الفصل 10، فإن الجهد نوعان، ثابت ومتغير باعتبار أن التيار الكهربائي قد يكون ثابتا أو متغيرا :

– الجهد المستمر : إذا لم تتغير قطبية أحد قطبي الجهد وبقيت ثابتة الشحنة نقول أن هذا الجهد ثابت القطبية. يعرف مثل هذا الجهد باصطلاح الجهد ذو التيار المستمر أو اختصارا الجهد المستمر.

– الجهد المتناوب : أو جهد ذو تيار متناوب، وهو جهد متغير بدلالة الزمن يمتاز بتغيير قطبيته دوريا أي بعد مرور فترة زمنية معينة تدعى الدور، يكون فيها القطبان قد تبادلا بانتظام قطبية الإشارة المدروسة... وفي الفصلين 6 و7 من الجزء الثاني تفصيل لهذه الكمية.

2.3. جهاز الفولطمتر

من خلال المعادلات الرياضية وصيغ القوانين السابقة، يمكن حساب الجهد نظريا واستخراج قيمته واتجاهه. بالإضافة إلى ذلك،

يمكن أن نقيس هذه الكمية الفيزيائية بجهاز يدعى الفولطمتر ـــ أي مقياس الفولط ـــ وهو موضوعنا في الفصل 5 من الجزء الرابع.

الفولطمتر هو جهاز يقيس الجهد بين نقطتين دون تغيير أو تعديل في التركيب، فهو يركب بالتوازي بين هاتين النقطتين... ولعل ذلك هو السبب المباشر في استعمال هذا الجهاز دون غيره للكشف عن العطل والخلل الذي قد ينشب بالدارات الكهربائية.

يحتوي الفولطمتر على قطبين مشحونين، موجب وسالب، هما قطبا القياس، بالإضافة إلى سلم مرقم تحوبه إبرة هي في مبدأ الصفر عند الإستقرار. فعندما يركب الفولطمتر بين نقطتين يُراد معرفة الجهد المسجل بينهما، فإن الإبرة تنحرف من الصفر صوب اليمين ماسحة السلم. وكلما كان الانحراف أكبر كلما كان الجهد أكبر، وعندما تستقر هذه الإبرة على قراءة معينة من السلم يكون ذلك هو قياس الجهد بين النقطتين المدروستين.

4. منبع الجهد

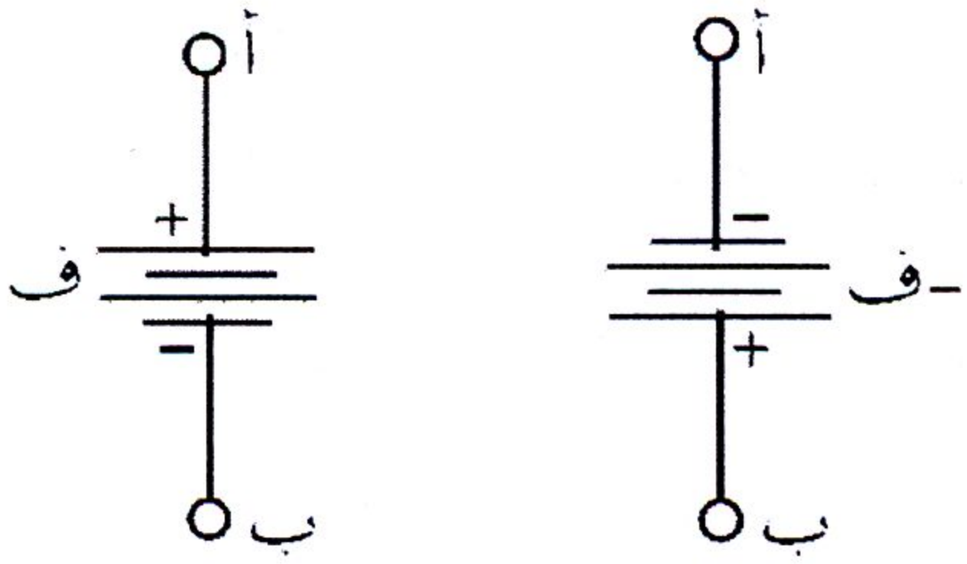
1.4. البطارية

هي عبارة عن منبع الجهد الذي يمتاز أن قطبيته لا تتغير، وبذلك فهي تمنح جهدا مستمرا ثابتا بين قطبين إثنين.

تضمن البطارية وظيفتها بعد عملية كيماوية تعتمد أساسا على التفاعلات الكيماوية بين قطبي البطارية. يصنع قطبا البطارية من مادتين معدنيتين مختلفتين، قد توضعان داخل غرف معزولة تدعى الخلايا.

تحتوي هذه الخلايا على سوائل كيماوية، الهدف منها تسهيل التفاعلات الكيماوية بين المادتين المعدنيتين.

تولد هذه التفاعلات الكيماوية بين قطبي البطارية شحنات متعاكسة تترسب فوق المعدنين المختلفين، وهذه الحركة للشحنات هي طاقة كيماوية التي تحول إلى طاقة كهربائية. ومن ذلك ينتج جهد مستمر بين المعدنين المختلفين اللذان يشكلان قطبي البطارية.



الشكل 1. الرمز التمثيلي للبطارية.

في الشكل 1 رسم تمثيلي للبطارية، إذ أطْوَل قطب قد خسر الإلكترونات الحرة، وبذلك فهو القطب الموجب. وأما القطب القصير، فيحتوي على فائض من الإلكترونات الحرة، وبذلك يكون القطب السالب.

لتعلم أن الجهد المستمر دائما موجب، فعندما ترى كتابة جهد سالب من نوع :

$$ف_{أب} = -ف \qquad V_{AB} = -V$$

فهذا يعني أن قطبيته معكوسة فقط، أي :

$$ف_{بأ} = +ف \qquad V_{BA} = +V$$

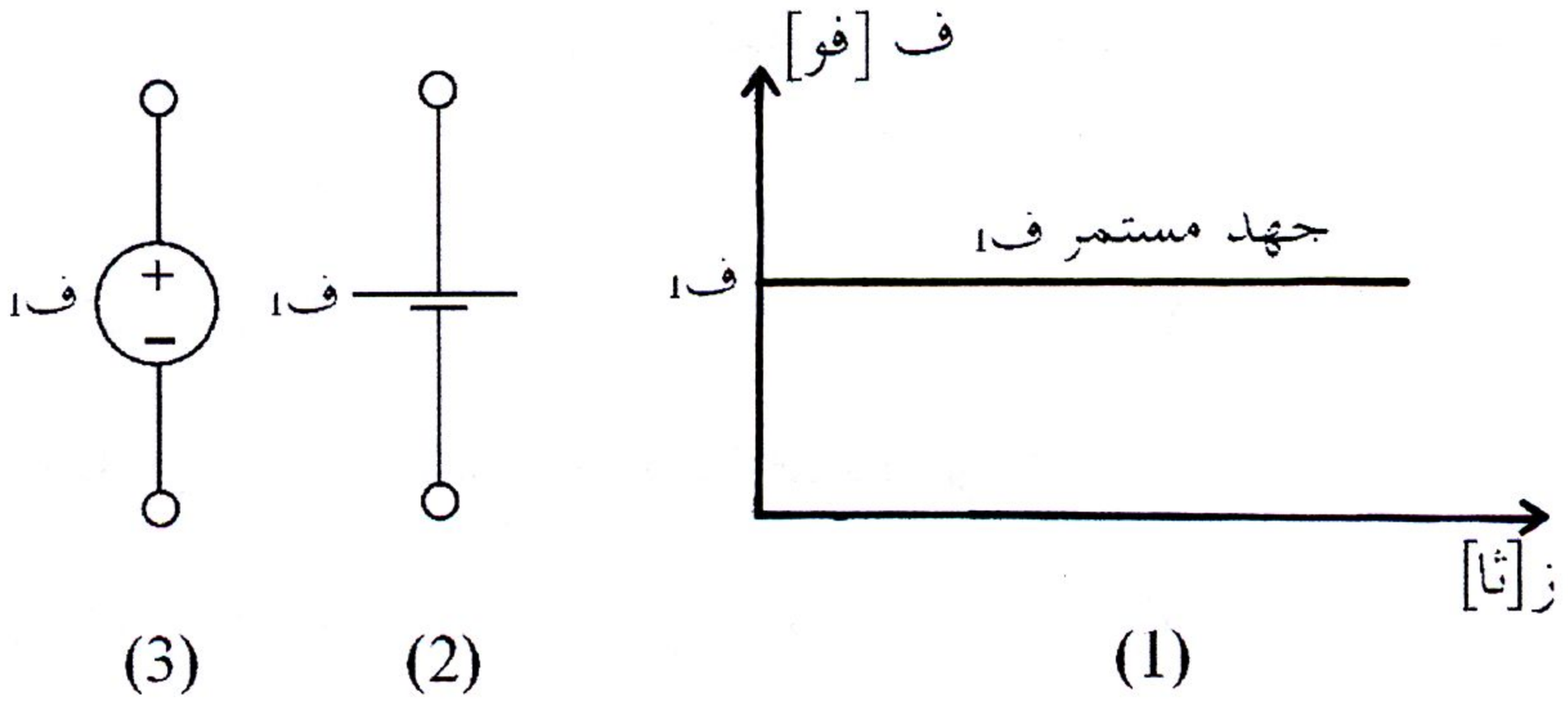
ولا شيء غير ذلك.

2.4. منبع الجهد المتناوب

مثلما رأينا أن هناك جهد مستمر وجهد متناوب، فكذلك الحال بالنسبة لمولدات الجهد إذ تصمم منابع لتمنح جهودا مستمرة وأخرى تمنح جهودا متناوبة.

يبرز الشكل 2 رسما تمثيليا لجهد بتيار مستمر، فتلاحظ من خلال منحنى الشكل 1.2 أن الجهد مستمر وثابت في كل لحظة من الزمن، لا يتغير ولا يتأثر بمرور الوقت. والمنابع التي تضمن مثل هذه الجهود تعرف بالمولدات المستمرة. فالشكل 2.2 يشبه تماما الشكل 1 وهو يمثل البطارية التي تعتبر إحدى هذه المولدات المستمرة.

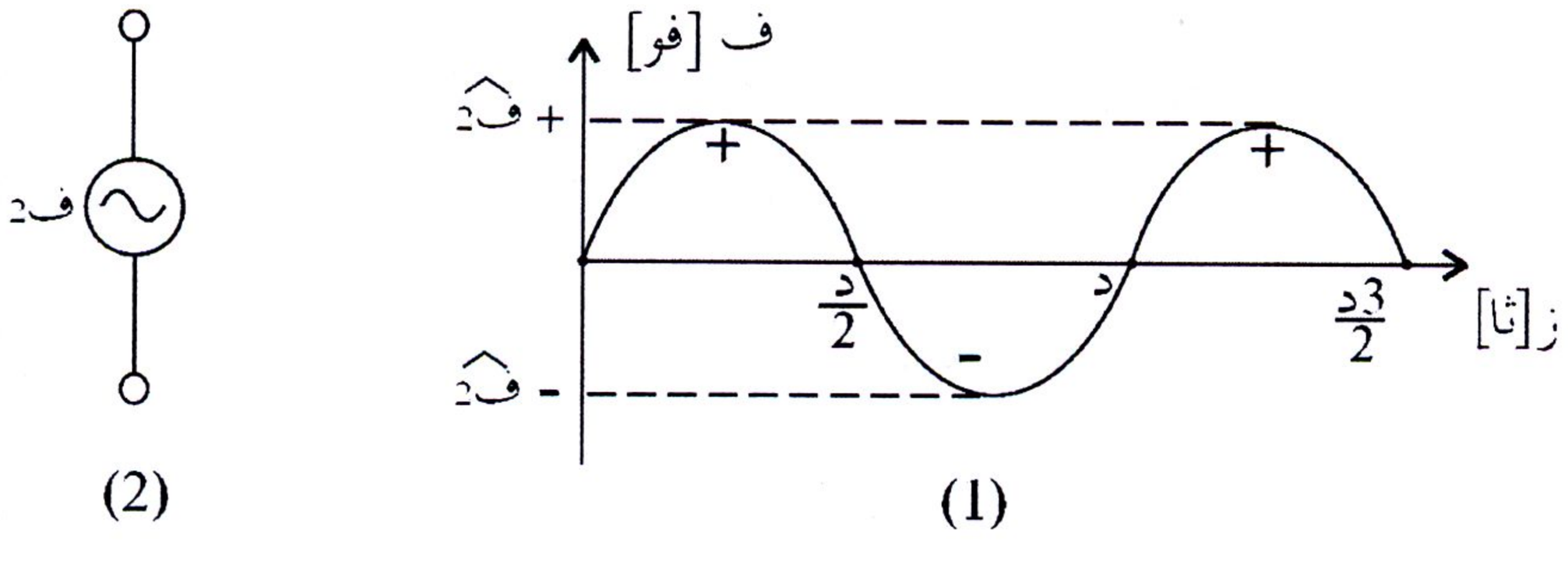
أما الشكل 3.2. فهو تمثيل آخر للمولد المستمر أو منبع الجهد المستمر والمعروف باصطلاح "التغذية المستقرة"، وأهم ما تمتاز به أنها تمنح جهدا مستمرا ابتداء من منابع المنشآت السكانية 220 فولط/50 هرتز متناوب، وذلك بعد عملية إلكترونية تعرف بالتقويم... وفي الفصل 6 من الجزء الخامس تفصيل لهذه العملية.



الشكل 2. تمثيل الجهد المستمر

وأما الشكل 3 فيمثل قيما متناوبة، إذ الشكل 1.3 يمثل منحنى الجهد المتناوب الذي يسجل قيمة لكل لحظة زمنية وذلك لمدة زمنية هي الدور د، حيث يعيد المنحنى نفس القيم السالفة متتابعة وهذا لمدة دور جديد. وفي الشكل 2.3 تمثيل لمنبع الجهد المتناوب.

من مساوئ منابع الجهد، مستمرة كانت مثل التغذية المستقرة أم متناوبة مثل منبع الجهد المتناوب، أنها تحتاج دوما إلى منابع المنشآت السكانية 220 فولط/50 هرتز متناوب. وأما البطارية فهي مستقلة لا تحتاج إلى أي وصل، بل إنها تمنح جهدا مستمرا بعد تفاعل كيماوي يحدث داخل غرف الخلايا... ولكل تصميم محاسن ومساوئ، سوف نتطرق لها تدريجيا من خلال هذه السلسلة.



الشكل 3. تمثيل الجهد المتناوب

مسائل

1. كيف تعرف الطاقة الكمونية الكهربائية ؟

2. مـــا علاقـــة الجهد بإنجاز العمل ؟ ما المتسبب في إنجاز هذا العمل وكيف يؤثر ؟ اشرح.

3. ما هو مدلول عبارة "فرق الكمون". لماذا هذا الاصطلاح هو أكثر دلالة من غيره للتعبير عن الجهد ؟ اشرح.

4. ما مدلول وحدة الفولط ؟ إلى ما ترمز ؟

5. هل من الممكن الحصول على جهد إذا تعادل كمون النقطتين اللتان يؤخذ بينهما ؟ كم هو الجهد في هذه الحالة ؟ اشرح.

6. لمـــاذا يقـــرن وجود المجال الكهربائي بتسجيل فرق في الكمون بين نقطتين ؟ اشرح ذلك مبينا تأثير خطوط القوة للمجال.

7. هات الفرق الواضح بين القطب والقطبية. أعط أمثلة على ذلك.

8. ما الفرق بين الكمية المستمرة والكمية المتناوبة ؟

9. بما يقاس الجهد ؟ حاول تعريفه مع ذكر كيفية تركيبه.

10. ما الفرق بين البطارية والتغذية المستقرة ؟ اجتهد في تبيان ذلك مع ذكر محاسن ومساوئ كل واحدة منهما.

الفصل 12

المقاومة

المعارضة التي تبديها أي مادة لعبور التيار الكهربائي تدعى مقاومة هذه المادة.

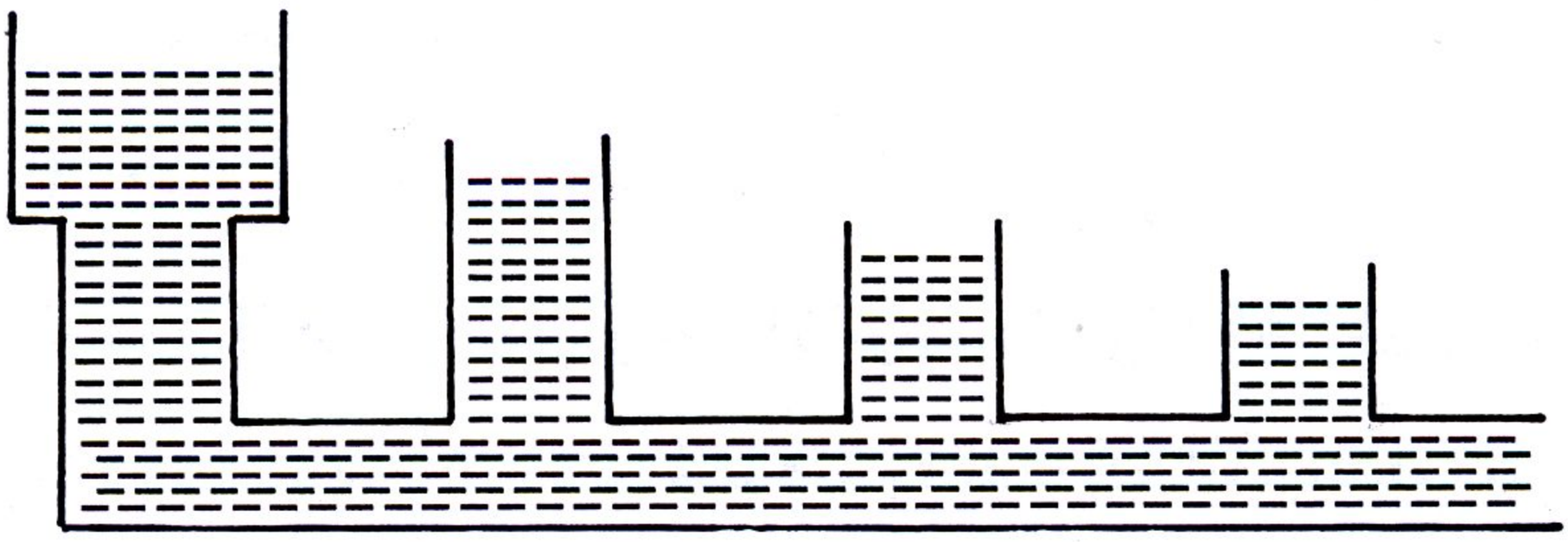
1. عموميات

إذا أتينا بحَوْض مملوء ماء ورُفع عن سطح الأرض ثم وُصل بأنبوب أفقي في مستوى منخفض عنه، فإن الماء يجري في الأنبوب بقوة ضغط الماء الموجود بالحوض. ولو وصل الأنبوب الأفقي بعدة أنابيب عمودية متفاوتة الطول (الشكل 1)، فسوف يشاهد أن الماء يندفع بقوة إلى أعلى الأنابيب العمودية، إلا أنه لا يصل فيها إلى نفس الارتفاع بل يتناقص مستواه بتناقص طول الأنابيب. لماذا ؟

يرجع سبب تناقص مستوى الماء داخل الأنابيب العمودية إلى أن تدفق الماء متوقف على الضغط الموجود بين النقطتين من النظام كله، بحيث أنه متناقص بالتدريج من أطْوَل أنبوب إلى أقصرهم. كما أن

شدة تدفق الماء بين نقطتين متوقفة على المقاومة التي يلاقيها تيار الماء أثناء عبوره للأنابيب. ومن هذا المنطلق سوف نحاول التوفيق بين هذا المثال ومفهوم المقاومة في علم الكهرباء.

عندما تتحرك الشحنات داخل مادة معينة بسهولة تامة نقول أن هذه المادة تحتوي على مقاومة ضعيفة، ولا تتم حركة هذه الشحنات بين نقطتين إلا بتأثير فرق في الطاقة الكمونية الموجودة بين هاتين النقطتين، تماما مثل حوض الماء، إذ لن يندفع الماء داخل الأنابيب إلا بوجود فرق في الضغط بين نقطتين.



الشكل 1. تجربة حوض الماء

عموما، وتحت تأثير حرارة عادية، لا توجد مادة مقاومتها معدومة بحيث لا تبدي أي معارضة تذكر لتدفق التيار الكهربائي عبرها. بل إن المواد تتفاوت مقاومتها للتيار، فمنها ما تعارضه تماما وتكون مقاومتها ضخمة جدا والتي تعرف بالمواد العازلة، ومنها ما ينساب التيار عبرها بسهولة تامة وهي المواد الناقلة.

إن سهولة الانسياب من انعدامه عبر المادة يعود أولا إلى الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات السطحية لتصبح حرة في فضاء المادة، لا تنتمي لأي ذرة. ولذلك فالمواد الناقلة لا تحتاج إلا لطاقة ضعيفة لتحرير الإلكترونات السطحية، على عكس المواد العازلة.

2. ظاهرة جول

1.2. انتشار الحرارة

عندما يمر تيار كهربائي عبر مادة معينة، ولنفرض أنها سلك ناقل، فسوف نسجل انتشار الحرارة وكأن نسبة من الطاقة الكهربائية العابرة للسلك تحولت إلى طاقة حرارية. ولذلك عندما نلمس - واحذر أن تفعل ذلك - سلكا يمر عبره تيار يصبح سُخنا... وهذا هو فَحْوى ما يعرف بظاهرة جول.

والهدف من دراسة ظاهرة جول يرجع إلى تطبيقاتها الشاسعة، إذ تستعمل مثلا للإضاءة والتسخين. فسُلَيْك المصباح والمعروف بالفتيلة يصنع من مادة تنجستان، بحيث أن مرور التيار عبره يسخنه ومن ثم يحمر، فيتوهج لينجم عن ذلك ضوء منير بالإضافة إلى انتشار بعض الحرارة.

كما أن ظاهرة جول هي مبدأ صنع المقاومات المسخنة والتي تستعمل لتسخين الغرف أيام الشتاء القارصة، والأحياء الجامعية شاهد على ذلك.

2.2. صيغة الطاقة الحرارية

إن انتشار الحرارة يختلف من ناقل لآخر، وهذا يعود إلى خاصياته الكيماوية والفيزيائية. وقد أوضحت التجارب المخبرية أن هذا الانتشار يخضع لعامل الزمن، بحيث أن انتشار الحرارة لمدة زمنية قدرها 4 ساعات يكبر عن الكمية المنتشرة لمدة ساعة واحدة.

ونفس الملاحظات أبديت في شدة التيار، إذ تسجيل كمية الحرارة المنتشرة في مدة زمنية محددة لتيار شدته ش، ثم إعادة الكرة ولنفس المدة الزمنية لتيار شدته 2 ش، فيلاحظ أن الانتشار الثاني هو 4 أضعاف الانتشار الأول. ومرة أخرى تعاد التجربة لتيار شدته 5 ش، فيلاحظ ثانية أن الانتشار الثالث هو 25 ضعف الانتشار الأول. وعليه، يستنتج أن انتشار الحرارة في ناقل متناسب طردا مع مربع الشدة.

إلا أن ما لوحظ كذلك هو أن الانتشار يختلف تماما من مادة لأخرى لو تم تسجيله لنفس المدة الزمنية ونفس الشدة وذلك نظرا لاختلاف الخاصيات الفيزيائية بين المواد المدروسة. بل الأمر أعقد من ذلك، فإن الانتشار المسجل لنفس المدة الزمنية ونفس الشدة يختلف بين جسمين من نفس المادة باختلاف حجمهما واختلاف شكل المواد.

وانطلاقا من هذا المفهوم، تم وضع العلاقة التالية : انتشار الحرارة داخل سلك ناقل هو متناسب طردا مع الزمن ومربع الشدة ومعامل

خاصية هذا السلك الناقل الذي عرف بمقاومته، وعليه فالصيغة هي وفق المعادلة التالية :

عم = م . ش^2 . ز $\qquad$ $W = R . I^2 . t$

حيث :

- ش هي شدة التيار العابر للناقل ووحدتها الأمبير : ش [آ].
- ز هو زمن القياس ووحدته الثانية : ز [ثا]
- م هي مقاومة الناقل التي تعارض عبور التيار.

3.2. قياس الجول

يستنتج إذن أن كل ناقل معرض لظاهرة جول، أي انتشار الحرارة، عندما يعبره تيار كهربائي. وقد وُضعت كوحدة قياس لكمية الحرارة المنتشرة وحدة الجول، وقد تحتاج في بعض التطبيقات الخاصة إلى تحويل الجول إلى حُرَيْرة، وهي وحدة قياس أخرى لكمية الحرارة المنتشرة، فاعلم أن 1 حريرة تعادل 4,18 جول.

وعليه فالصيغة السابقة تصبح كالتالي :

عم = $\frac{\text{م ش}^2 \text{ ز}}{4,18}$ = 0,24 م ش^2 ز $\qquad$ $W = \frac{R I^2 t}{4,18} = 0,24 R I^2 t$

إن انتشار الحرارة لا يسجل في المواد الناقلة فقط، بل كل مادة يعبرها تيار، شدته حادة أو ضعيفة، فإنها تعرف انتشار الحرارة من فوقها.

إن مقاومة هذه المواد هي التي حولت كل الطاقة الكهربائية أو نسبة منها إلى طاقة حرارية، وعليه فبتغير المقاومة م تتغير كمية الحرارة المنتشرة، أي :

عم = م ش ^{2} ز [جول] $\quad$ $W = R I^2 t$ [joule]

أو : عم = 0,24 م ش ^{2} ز [حريرة] $\quad$ $W = 0,24 R I^2 t$ [calorie]

3. مقاومة المواد

1.3. مفهوم الأوم

إن النواقل تحتوي على مقاومة ضعيفة تسمح بانسياب التيار عبرها بسهولة، تتفاوت فيما بينها من حيث الخاصيات الكيماوية والفيزيائية. في حين، تُبدي العوازل مقاومة ضخمة تتوقف كذلك على البنية الكيماوية والخاصيات الفيزيائية لهذه المواد، فتكاد أن تكون شدة التيار معدومة.

ولتبسيط مفهوم المقاومة وتوضيح مدى ضخامتها أو ضعفها، تستعمل وحدة قياس عالمية، تظهر المقاومة من خلالها في ثوب يسهل معرفة انتمائها لأي نوع من المواد : الأوم... والأوم هو وحدة القياس العالمية للمقاومة، ويرمز له بالحرف الإغريقي Ω، ويقرأ أوميغا.

بما أن هناك قيما عالية جدا وأخرى صغيرة جدا، فلا بد من وضع الوحدات الفرعية، الكبرى منها والصغرى، للتعبير عن هذه المقاومة :

1 ميغا أوم = 1 ميغا Ω = $10^{+6}\ \Omega$	$1\ M\Omega = 10^{+6}\ \Omega$
1 كيلو أوم = 1 ك Ω = $10^{+3}\ \Omega$	$1\ k\Omega = 10^{+3}\ \Omega$
1 ميلي أوم = 1 ميلي Ω = $10^{-3}\ \Omega$	$1\ m\Omega = 10^{-3}\ \Omega$
1 ميَكرو أوم = 1 μ Ω = $10^{-6}\ \Omega$	$1\ \mu\Omega = 10^{-6}\ \Omega$

فتعريف 1 أوم هو القيمة المعطاة لمقاومة مادة تعرضت لانتشار حرارة عم = 1 جول عندما يعبرها تيار شدته واحد أمبير لمدة زمنية قدرها ثانية واحدة.

2.3. المقاومية

كل المواد تمتاز عن بعضها البعض من حيث البنية الكيماوية والخاصيات الفيزيائية، والمقاومية - وتعرف كذلك بالمقاومة النوعية - هي إحدى هذه الخاصيات الأساسية في تحديد تصرف المواد.

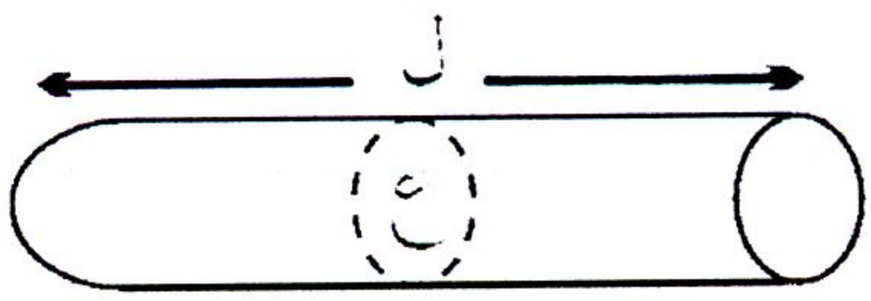
إن المتفحص لمجموعة من المواد كالممثلة في الجدول 1 والتي رتبت من حيث مقاوميتها، تبرز له فكرة ولو بسيطة عن قابلية كل مادة لنقل التيار الكهربائي ليتمكن من تصنيفها، عازلة كانت أم ناقلة.

فمن خلال هذا الجدول، تصنف المواد الثمانية الأولى على أنها ناقلة وناقلة جيدة لضُعف مقاوميتها، وبالمقابل تُصنف المادتان الأخيرتان ضمن المواد العازلة بسبب مقاوميتهما العالية التي تجعل مقاومة هاتين المادتين ضخمة وضخمة جدا.

فالمقاومية إذن هي خاصية المادة قي مقاومتها لعبور التيار، فتلاحظ من خلال الجدول 1 أنه بقدر ما تكون المقاومية صغيرة بقدر ما تصبح المادة ناقلة والعكس صحيح.

رقم	المادة	المقاومية ρ [Ω، م]	مقاومية ناقل طوله مترا ومساحة المقطع 1 مم^2 : م [Ω]	Material
1	الفضة	$1,59 \times 10^{-8}$		Silver
2	النحاس	$1,72 \times 10^{-8}$		Copper
3	الذهب	$2,44 \times 10^{-8}$		Gold
4	الألمنيوم	$2,83 \times 10^{-8}$		Aluminum
5	تَنْجَسْتان	$5,50 \times 10^{-8}$		Tungsten
6	الحديد	$9,60 \times 10^{-8}$		Iron
7	البلاتين	$10,00 \times 10^{-8}$		Platine
8	زئبق	$95,00 \times 10^{-8}$		Mercury
9	كربون	$1,40 \times 10^{-5}$		Carbon
10	زجاج	10^{12}		Glass
11	ميكا	10^{15}		Mica

الجدول 1. مقاومية بعض المواد



الشكل 2. قطعة نحاس متجانسة

إن تحديد مقاومة مادة معينة يخضع مباشرة للبنية الذرية لهذه المادة، كما أن تحديدها يرتبط كذلك بشكلها الهندسي، وهما العاملان الأساسيان في تحديد مقاومة أي مادة. كيف ذلك ؟

3.3. تجانس الشكل

تنصب الدراسة على قطعة معدنية متجانسة، ولتكن من النحاس مثلا وهو معدن ناقل (الشكل 2)، طولها ل ومساحة المقطع العرضي ع. تعرف مقاومة هذا السلك بالعلاقة التالية :

$$م = \rho \frac{ل}{ع} \qquad R = \rho \frac{l}{S}$$

حيث :

- م هي مقاومة السلك ووحدتها الأوم : م[Ω]
- ρ هي مقاومية السلك وتتوقف قيمتها على مادة صنع السلك.

وتلاحظ من خلال هذه الصيغة سبب افتراض قطعة النحاس متجانسة أسطوانية الشكل، وذلك سعيا وراء تسهيل حساب هذه المقاومة وفق هذه الصيغة.

لهذا السبب، يفترض أن المقطع العرضي ع للقطعة النحاسية متجانس على طول هذه القطعة ل، فهو موحد متجانس دون أي تشويه في الشكل الهندسي. ومن حيث أن مقاومة قطعة النحاس هذه، ترتبط ارتباطا مباشرا بشكل المادة وحجمها، فإن المقاومية تستخرج وحدتها العالمية من الصيغة السابقة لنتحصل على الوحدة "أوم في المتر" أو "أوم متر"، وعليه نكتب ρ[Ω. م].

لا يشترط أن تكون القطعة أسطوانية الشكل بل يمكن أن تأخذ شكل مكعب مثلا، ولكن ما يشترط فيها هو تجانس الشكل فقط... لأنه في غير ذلك سوف يصعب تماما حساب مقاومة هذه المادة المدروسة لشكل غير معرف بدقة.

4. المواصلة والموصلية

لا شك أنك تنبهت إلى أن قيمة المقاومة لا تقبل قيما سالبة، بل هي دوما موجبة. ولعل أهم خاصياتها هي كونها خطية، بحيث أن الجهد المفروض بين قطبيها متناسب طردا مع شدة التيار الذي يعبرها.

إن المقاومة هي معارضة انسياب التيار عبر مادة معينة، وعليه فإن المواصلة تعرف على أنها عكس المقاومة، أي هي مدى قابلية هذه المادة في تسهيل سريان الشحنات عبرها.

كما تعرف وحدة المواصلة على أنها عكس الأوم بمعنى Ω^{-1}،

أي : $(OHM)^{-1} = MHO$

يرمز للمواصلة بالعلامة ن وهي :

$$\text{ن} = \frac{1}{\text{م}}\left[\Omega^{-1}\right] \qquad \mathbf{G} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{R}}\left[\Omega^{-1}\right]$$

ومن هذا التعريف، نستطيع استنتاج أن الموصلية، وتدعى كذلك المواصلة النوعية (أو الناقلية)، هي عكس المقاومية ويرمز لها بالحرف σ (حرف إغريقي يقرأ سكما)، بحيث :

المقاومة

$$\sigma = \frac{1}{\rho}[\Omega . m]^{-1} \qquad ^{1-}[م . \Omega]\frac{1}{\rho} = \sigma$$

وهي خاصية مادة معينة تُظهر مدى سهولة انسياب التيار عبر هذه المواد، فالناقلية تشير إلى مدى قابلية المادة لنقل الكهرباء. ومن ثم نقول أنها عكس مفهوم المقاومية المدونة في الجدول 1، فالناقلية ضخمة جدا بالنسبة للمواد الناقلة وبالتالي فهي كبيرة جدا بالنسبة للمواد الثمانية الأولى، بينما هي ضعيفة جدا بالنسبة للمواد العازلة مثل مادتي الزجاج والميكا.

مسائل

1. ما المغزى من اصطلاح "مقاومة المواد" ؟ ما الذي تقاومه هذه المواد ؟ اشرح.

2. إلى ما ترمز المقاومية بالنظر إلى نقل الكهرباء عبر المواد ؟ اشرح.

3. لم تعتبر المواد متجانسة عندما تقاس أو تحسب مقاومتها للتيار الكهربائي ؟ اشرح.

4. عرف ظاهرة جول واذكر كيفية تطبيقها في علم الكهرباء.

5. ما الذي يجعل انتشار الحرارة يختلف من مادة لأخرى ؟ اشرح.

6. اجتهد في ذكر سبب وضع وحدة قياس الحرارة "الحريرة".

7. سلك ناقل يمتاز بمقاومة تعادل 5 أوم، يعبره تيار كهربائي شدته 2 أمبير لمدة 4 دقائق. كم هي كمية الحرارة المنتشرة بواسطة ظاهرة جول خلال هذه المدة ؟ احسبها بالجول والحريرة.

8. الجدول 1 يوضح مقاومية عدة مواد. ما هي مقاومة كل مادة إن كانت أسطوانية الشكل متجانسة، طولها 1 متر ومقطع عرضها 1 مم^2 ؟ املأ الجدول.

9. مادة متجانسة طولها 2,5 متر وقطرها 6 مم تمتاز بمقاومية $1{,}44\times10^{-8}\ \Omega$ م. ما هي مقاومتها ؟ استنبط مواصلتها ؟ ما تعليقك ؟

10. قضيب أسطواني من مادة النحاس طوله 0,1 متر وقطره متجانس ويعادل 6 مم. احسب مقاومته. إن كان القضيب من مادة الزجاج فما هي مقاومته ؟ ما تعليقك ؟

11. سلك أسطواني متجانس من النيكروم قطره 0,30 مم، طوله 10 سم، ومقاومية النيكروم هي $1,1 \times 10^{-6}\ \Omega$ م. ما هي مقاومة السلك ؟

12. قطعة كربون مستطيلة الشكل أبعادها 1 سم × 1 سم × 50 سم.

1. ما هي المقاومة المقاسة بين الطرفين المربعين المتقابلين للقطعة ؟

2. ما هي المقاومة المقاسة بين الطرفين المستطيلين المتقابلين للقطعة ؟

تلميح : مقاومية الكربون عند حرارة تعادل 20 درجة مئوية تكون $3,5 \times 10^{-5}\ \Omega$ م.

الفصل 13

تطبيقات المقاومة

إن الدارس لظاهرة جول عبر المقاومة، يلاحظ انتشار حرارة قد تكون ضعيفة كما قد تكون هامة جدا. فيستنبط أنه قد تكون لمثل هذه الظاهرة تطبيقات مباشرة وغير مباشرة، تكون البعض منها محل دراستنا خلال هذا الفصل...

1. ظاهرة جول

سريان الإلكترونات يشبه إلى حد بعيد حركة المرور، فإن كان الطريق ضيقا أو وعرا مليئا بالحفر، فإن حركة المرور تتباطأ وتقل سرعة السيارات مما يتسبب في تقارب المسافات بينها فتزدحم الطريق بالسيارات، الشيء الذي يبعث إلى إمكانية وقوع الإصطدام فيما بينها... وقس على ذلك سلك ناقل.

فإن كان السلك رديء التوصيل أو ذا سمك ضعيف، فإن الإلكترونات العابرة لهذا السلك سوف تحتك وتصطدم ببعضها البعض، الشيء الذي يتسبب في ظهور الحرارة ومن ثم ارتفاعها جراء هذا الإحتكاك، وعليه تنبعث سخونة على مستوى السلك الناقل.

تلك هي تطبيقات ظاهرة جول... وإن استمر انبعاث الحرارة، فإن السلك يحمر ومن ثم يتوهج ويضيء. وعندما يرغب في انبعاث شديد للحرارة وذلك وفق المعادلة التالية :

$$\text{عم} = \text{م} \cdot \text{ش}^2 \cdot \text{ز} \qquad W = R \cdot I^2 \cdot t$$

فإنه يلجأ إلى صناعة السلك من مادة معدنية رديئة التوصيل. تتسبب هذه الردائة في جعل مقاومة هذا المعدن م ضخمة جدا، مما يدفع الإلكترونات إلى ازدحام فتتصادم أثناء حركتها عبر السلك فتحتك ببعضها البعض، ومن ثم يسخن المعدن فيتسبب في انتشار الحرارة... وهو الهدف المباشر من وضع أسلاك رديئة التوصيل.

2. المقاومة الميتة

مثل هذا السلَيْك الذي يحول تقريبا كل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية يعرف بالمقاومة الميتة... ذاك هو مبدأ صنع المصباح والمكواة مثلا، ويتم ذلك وفقا لظاهرة جول. فالمقاومة الميتة بصفة عامة هي كل مادة أو جهاز يستهلك الطاقة الكهربائية لتحريرها كلية في شكل حرارة.

1.2. المكواة الكهربائية

عندما توصل مربط المكواة بالمأخذ الكهربائي المثبت في الحائط، فكأنك توصل سلكي المكواة بسلكين آخرين آتيين من محطة التوليد الكهربائي (سونلغاز بالنسبة للجزائر)، فيمر التيار الكهربائي عبر أحد هذين السلكين ثم ينساب داخل المكواة، ومن ثم يعود ثانية إلى محطة التوليد الأصلية ليشكل ما يعرف بدارة مغلقة.

قد تتساءل وتقول، هي نفس العملية التي تقوم مع التلفزة والمذياع، وكل جهاز كهربائي يوصل بمقبس المنشآت السكانية فلماذا المكواة بالذات تسخن ؟

كل شيء لما يُسر له، فالعملية مماثلة مع بقية الأجهزة الكهرومترلية إلا أن المكواة تصمم لغرض التسخين، بحيث تصنع ابتداء من أسلاك معدنية خاصة، تنتشر من فوقها حرارة معتبرة بواسطة ظاهرة جول.

تُختار هذه المعادن على أساس أنها لا تصدأ كمعدن النيكروم مثلا، وذلك لأنها أسلاك تمتاز بخاصية هامة هي ردائة توصيل الكهرباء. فبمجرد عبور التيار يسخن هذا المعدن بشدة، فيتسبب في تسخين بقية أجزاء المكواة، الشيء الذي يسمح بكي الملابس.

في هذه الحالة، تلاحظ أن الطاقة الكهربائية المتمثلة في عبور التيار الكهربائي تحولت إلى طاقة حرارية متسببة في تسخين معدن النيكروم، ومنه المكواة جملة... وهو الهدف المرمى من تصميم هذا الجهاز.

2.2. المصباح الكهربائي

يقول تعالى في الآية 35 من سورة النور : "الله نور السماوات والأرض، مثل نوره كمشكاة فيها مصباح، المصباح في زجاجة، الزجاجة كأنها كوكب دري يوقد من شجرة مباركة زيتونة لا شرقية ولا غربية يكاد زيتها يضيء ولو لم تمسسه نار، نور على نور يهدي الله لنوره من يشاء، ويضرب الله الأمثال للناس والله بكل شيء عليم".

يتألف المصباح الكهربائي من وعاء زجاجي لا يوجد بداخله الهواء إطلاقا، كما يمكن أن يحتوي على غاز خامل شفاف، وداخل الوعاء الزجاجي توجد فتيلة عبارة عن سُلَيْك يكون عادة في شكل حلزون منفرد أو مزدوج يصنع من مادة التنجستان.

تتوهج الفتيلة بفعل مرور تيار كهربائي عبرها فتضيء، فيصدر عن المصباح نور متولد عن تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية، وعليه يظهر ضوء في شكل إشعاعات.

يعتبر السليك مقاومة المصباح الزجاجي، فعند سيلان التيار عبر الأسلاك سوف يواجه مقاومة تزداد معارضتها لتدفق التيار كلما كان السلك رفيعا، طويلا، وخاصة... إن كانت مادة صنعه رديئة التوصيل. وعلى عكس هذا، تقل المقاومة إذا كان السلك دقيقا، قصيرا، ومادة صنعه جيدة التوصيل فيكون انسياب التيار أسهل... ومن ذلك ينتج انتشار حراري أقل.

3. الحمولة

وتدعى كذلك الحمل، وهو أي أداة أو جهاز يوضع بين قطبي منبع للطاقة، والأمثلة على ذلك كثيرة ومتنوعة... المصباح الكهربائي في بيتكم، جهاز المذياع عندما تصله بالمأخذ، وكذلك المحرك الكهربائي عندما تصله ببطارية مثلا.



(1) (2)

الشكل 1. رمز تمثيلي للمقاومة

فالحمل هو كل جهاز يوصل بقطبي المبنع، يستمد منه طاقة كهربائية لاشتغاله حسب التصميم الذي وضع من أجله. فعندما توصل تلفزتكم بمقبس البيت، تكون قد وضعت حمولة بين قطبي منبع الطاقة، حيث لا يتم اشتغال التلفزة كما ينبغي حتى يتم هذا الوصل، وإلا فلا صورة على الشاشة ولا صوت مسموع إطلاقا.

تتميز الحمولة عموما بخاصية تصرفها كمقاومة تعارض سريان الشحنات داخلها، وهو دور مطابق تماما لدور المقاومة المدروس سابقا من حيث معارضة انسياب التيار وانتشار الحرارة، إلا أن هاتين الكميتين تختلفان من حمولة لأخرى وتعود أساسا إلى الحمولة والوظيفة التي من أجلها صُممت.

في الشكل 1 يوجد الرمز التمثيلي للمقاومة، إلا أنه غالبا ما يكون الشكل 1.1 يمثل رمز مقاومة صافية، وأما الشكل 2.1 فيخصص لتمثيل الحمل وفي هذه الحالة هو حمل مقاوم مقاومته م٥.

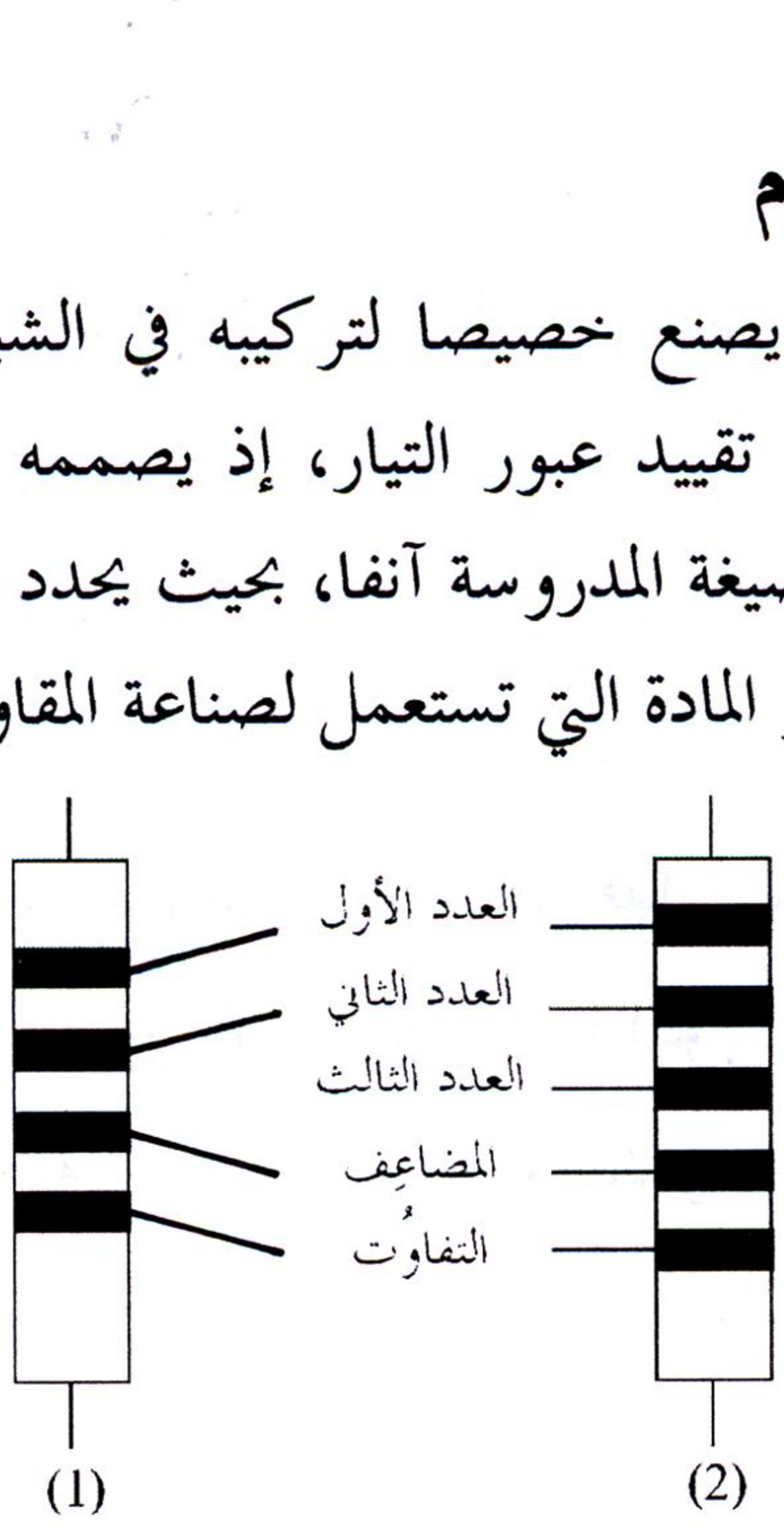
ما يجدر التنبيه إليه أنه ليست كل الحمولات تتصرف كمقاومة، بل هناك منها ما يتصرف كمفاعلة، وهو موضوع الفصل 11 من الجزء الثاني.

يمتاز الحمل المقاوم أن الجهد المتأمل بين قطبيه متناسب مع التيار الذي يعبره، كما أن مقاومته تتناقص بزيادة عبور الشحنات المتمثلة في الإلكترونات الحرة التي ترغم بواسطة الجهد في الاتجاه نحو القطب الموجب للحمل.

4. صناعة المقاوم

1.4. مفهوم المقاوم

المقاوم هو حمل يصنع خصيصا لتركيبه في الشبكات الكهربائية ليلعب دورا يتمثل في تقييد عبور التيار، إذ يصممه المنتجون للنوابط الإلكترونية حسب الصيغة المدروسة آنفا، بحيث يحدد الطول ل والمقطع العرضي ع ليتم اختيار المادة التي تستعمل لصناعة المقاوم، ومن ذلك :



الشكل 2. تحديد مقاومة المقاوم بواسطة الحلقات الملونة.

$$\text{م} = \rho \frac{\text{ل}}{\text{ع}} \qquad R = \rho \frac{l}{S}$$

فتلاحظ من خلال هذه المعادلة أنه بالإمكان الحصول على عدة قيم لهذه المقاومة م، فبحكم المادة المختارة يتم تغيير الطول دون مساحة المقطع العرضي للحصول على عدة قيم.

وقد تتساءل عن الفرق بين المقاوم والمقاومة، فالأمر بسيط جدا. المقاوم هو نبيط إلكتروني تقوم عليه التجارب المخبرية والأبحاث العلمية، قد يحتوي على عدة قيم للمقاومة، وهو أحد النوابط الإلكترونية المتفردة المحايدة (طالع الملحق 1).

يركب النبيط المقاوم عبر دارة كهربائية (أو إلكترونية) والتي تضبط وظيفتها حسب وضعية مكوناتها وهي النوابط المحايدة، النوابط الفعالة والدارات المدمجة.

بعبارة أوضح المقاوم والمقاومة هما وجهان لعملة واحدة لا فرق بينهما إطلاقا، فالمقاوم هو الجانب المادي من التصنيع بينما المقاومة هي تلك القيمة العددية المميزة لمقاوم دون آخر.

4. 2. طريقة القياس

يصنع المقاوم بقيم معيارية، حيث توضع حلقات ملونة فوق ظهر النبيط لتحديد مقاومته بشيء من الدقة، وفي الجدول 1 كيفية تحديد مقاومته. وأما الشكل 1.2، فيظهر كيفية وضع الحلقات الأربع الملونة فوق المقاوم، وإليك الطريقة :

- الحلقة الأولى ترمز إلى العدد الأول.
- الحلقة الثانية ترمز إلى العدد الثاني.
- الحلقة الثالثة ترمز إلى المضاعف 10.
- الحلقة الرابعة ترمز إلى التفاوت.

7	6	5	4	3	2	1
Color	الحلقة 4	الحلقة 3	الحلقة 2	الحلقة 1	المكافئ	اللون
Silver	% 10 ±	0,01				الفضة
Gold	% 5 ±	0,1				الذهب
Black		1	0	0	الإسلام	الأسود
Brown	% 1 ±	10	1	1	بنى	البني
Red	% 2 ±	$^{2}10$	2	2	أحلى	الأحمر
Orange		$^{3}10$	3	3	بروج	البرتقالي
Yellow		$^{4}10$	4	4	أصلبها	الأصفر
Green		$^{5}10$	5	5	أخلدها	الأخضر
Blue		$^{6}10$	6	6	أزكاها	الأزرق
Violet			7	7	بنور	البنفسجي
Gray			8	8	رحماني	الرمادي
White			9	9	أبدي	الأبيض
	عدم وجود حلقة رابعة = ± 20 %					

الجدول 1. رمز الألوان للمقاومة.

هناك بعض المنتجين للنوابط الإلكترونية من يزيد حلقة إضافية (الشكل 2.2) تدرج بين الحلقة الثانية والحلقة الثالثة، وهي ترمز إلى العدد الثالث... إلا أن المقاوم بأربع حلقات هو السائد في السوق.

كما قد تجد في السوق مقاومات بثلاث حلقات فقط، أي أن حلقة التفاوت الرابعة مفقودة وهي حالة موضحة في الجدول 1 يُسلّم فيها أن التفاوت يُعادل ± 20 %. فما مفهوم التفاوت وما علاقتُه بالمقاومة ؟

3.4. مدلول التفاوت

يقصد بالتفاوت التقديرات المسموح بها لمقاومة المقاوم أن تعادلها، ولا يمكن لها الخروج عن هذا المجال، فما التفاوت إذن إلا دقة قياس المقاومة التي تنحصر وجوبا بين حدّين.

مثال

مقاوم يحتوي بالترتيب على أربع حلقات ذات الألوان التالية : أصفر ــ بنفسجي ــ برتقالي ــ فضي. فما هي مقاومته وما هو مجال تغيرها ؟

الحلقة الأول هي أصفر = 4، الحلقة الثانية هي بنفسجي = 7، الحلقة الثالثة هي برتقالي = 10^3، الحلقة الرابعة هي فضي = $\pm$ 10 %، وعليه تكون المقاومة هي م = 47×10^3 أوم أي م = 47 ك Ω. وأما مجال التغيير فهو $\frac{47 \times 10^3}{100} \times 10 = 4700\ \Omega$، ومن ذلك فالتفاوت هو :

Δم = 4700 Ω.

وعليه : $47000 - 4700 = 42300\ \Omega$.

وكذلك : $47000 + 4700 = 51700\ \Omega$.

ومن ثم تنحصر المقاومة داخل المجال التالي :

$42300\ \Omega \leq$ م $\leq 51700\ \Omega$

إن المتمعن للجدول 1، يلاحظ العمود 2 وهو يحتوي على ما يكافئ اللون الذي جاء في العمود 1. فإلى ما يرمز يا تُرى ؟

4.4. كيفية القراءة

إن محتوى العمود 2 هو عبارة عن جملة مفيدة[1] تسهل عملية حفظ تسلسل الألوان :

---

1. جملة من تصميم وإبتكار الكاتبة الروائية الصاعدة الأنسة مريم سيد علي مبارك.

"الإسلام بنى أحلى بروج أصلبها أخلدها وأزكاها بنور رحماني أبدي".

فتلاحظ مثلا أن كلمة الإسلام تكافئ الصفر وهي تحتوي على بداية كلمة الأسود، كما أن كلمة بروج احتوت على بداية كلمة البرتقالي وهو اللون الذي يكافئ العدد 3. وهكذا... ولكي تحفظ جيدا تسلسل الألوان وما يكافئها من أعداد، فما عليك إلا أن تحفظ الجملة سالفة الذكر.

ملاحظة : لكي لا يقع خلط لدى الطالب في ترتيب هذه الألوان.

1. أصفر : ويكافئ كلمة أصلبها.
2. أخضر : ويكافئ كلمة أخلدها.
3. أزرق : ويكافئ كلمة أزكاها.

فإنه يجب أن يحلل معنى الجملة (أي يربط بين الحفظ والفهم) وهذا شيء بسيط جدًا، إذن عليه أن يفهم أن بروج الإسلام صلبة والصلابة هي التي تأتي في المقام **الأول** وهي التي يتماسك بها البناء وبالتالي فالبروج هي أولاً صلبة. **ثانيا** : فإذا تماسكت وكانت صلبة فهي بالضرورة خالدة لا تزول. **ثالثا** : فإذا تماسكت وخلدت صارت تنفخ في الأزمان عطرًا زكيا مسكه نور رحماني أبدي.

قد يحدث أن تغيب عن ذهنك رمز الألوان، أو أنك لا تتمكن من معرفة الألوان بسبب تلاشيها، لهذا الغرض صُمم جهاز يسمح بقياس مقاومة مقاوم، أو أي مقاومة بين نقطتين، يعرف بمقياس الأوم أو إصطلاحا الأومّتر.

الأومّتر هو جهاز عولج باسهاب قدر الإمكان في الفصل 6 من الجزء الرابع حيث تجد كيفية تصميمه ومبدأ اشتغاله بالإضافة إلى طريقة استعماله في قياس المقاومات أو في البحث عن عطب الدارات الكهربائية.

التفاوُت		
% 5 ±	% 10 ±	% 20 ±
33	33	33
36		
39	39	
43		
47	47	47
51		
56	56	
62		
68	68	68
75		
82	82	
91		

التفاوُت		
% 5 ±	% 10 ±	% 20 ±
10	10	10
11		
12	12	
13		
15	15	15
16		
18	18	
20		
22	22	22
24		
27	27	
30		

الجدول 2. تحديد القيم المعيارية.

5.4. القيم المعيارية

مقاومة المقاوم مرتبطة بالشكل الهندسي للمقاوم والمادة التي صنع منها، ومن ذلك فتحديد المقاومة يخضع للصيغة السابقة، ويتم ذلك طبقا لقيم معيارية تنتخب لتُدرج كقيم مرجعية أثناء صناعة المقاوم.

عند صناعة المقاوم، تُنتخب قيم معيارية دون أخرى وذلك حسب تفاوت معين ومحدد قصد ترشيد الإنتاج. فالجدول 2 يوضح العددين

الأولين فقط وهما الحلقة الأولى والثانية من الجدول 1، فتبرزان كقيمة مرجعية، أي قيمة معيارية، لصناعة هذا المقاوم وذلك حسب تفاوت مسموح به منتقى.

فمثلا عند التفاوت ± 20 % نجد القيم المعيارية التالية وتقرأ بالأوم :

10، 15، 22، 33، 47، 68

100، 150، 220، 330، 470، 680

1000، 1500، 2200، 3300، 4700، 6800

وهَلم جرا إلى غاية 10 ميغا أوم.

فصناعة المقاوم لا تكون عفوية بانتخاب أي قيمة وإلا تكدس المنتوج، وإنما تكون صناعته حسب قيم معينة ومحددة هي القيم المعيارية.

أعمال تطبيقية

تمرين

تيار شدته 5 أمبير يعبر مقاوما، مقاومته 10 أوم، لمدة 4 دقائق.

1. ما هي كمية الكهرباء التي تعبر مساحة المقطع لهذا المقاوم خلال هذه المدة ؟

2. ما هو عدد الإلكترونات التي تعبر هذه المساحة خلال نفس المدة ؟

الجواب

1. الوحدة العالمية لقياس الزمن هي الثانية إذن :

ز = 4 × 60 ثانية = 240 ثانية.

علما أن : ك = ش ز = 5 × 240 = 1200 كو.

وعليه فإن : ك = 1200 كولومب.

2. من خلال العلاقة ك=ن ك$_0$ نستخرج ن، عدد الإلكترونات، حيث ك$_0$ هو شحنة الإلكترون الواحد. إذن :

$$ن = \frac{ك}{ك_0} = \frac{1200}{1,6 \times 10^{-19}} = 7,5 \times 10^{21}$$

إذن يمر $7,5 \times 10^{21}$ إلكترونا خلال 4 دقائق عبر هذه المساحة.

مسائل

1. عرف ظاهرة جول واذكر كيفية تطبيقها في علم الكهرباء ؟

2. ما العامل الذي يتسبب في توهج المصباح وتسخين المكواة على الرغم من استعمالهما لنفس المبدأ ؟ اشرح.

3. هل تعد السخانة الكهربائية إحدى تطبيقات ظاهرة جول ؟ علل.

4. اجـــتهد في تعريف الـــمصطلح "متحسس محول أي Transducer أو Transducteur". ما وظيفته بالنظر لعلم الكهرباء ؟ أعط أمثلة.

5. لم يصنع المقاوم بقيم معيارية ؟ اذكر سبب افتراض أن الشكل الهندسي متجانس. اشرح.

6. مصباح كهربائي يستهلك استطاعة محددة عندما يعبر الفتيلة، مقاومتها 1076 Ω، تيار كهربائي شدته 0,2 أمبير. احسب كمية الطاقة الكهربائية المحولة إلى حرارة خلال مدة تستغرق 8 ساعات.

7. سلك ناقل، مقاوميته 0,02 Ωم، طوله 3 أمتار ومساحة المقطع العرضي تعادل 0,5 مم^2. ما هي مقاومته الكلية ؟ استنبط مواصلته.

8. مقاومة قطعة سلك ناقل تعادل 0,05 Ω. لو ضرب الطول بالمعامل 2 واستبقي على نفس القطر، كم تصبح المقاومة ؟

9. مقاومة قطعة نحاسية، طولها 3 أمتار، هي 0,001 Ω.

1. ما هو قطر هذه القطعة المتجانسة ؟

2. كم تصبح مقاومة هذه القطعة بنفس الطول لو خفض قطرها بالنصف ؟

10. سلكان أسطوانيان متجانسان بنفس المقاومة ونفس الطول، أحدهما من النحاس وقطره 3 مم، والثاني من الألمنيوم. ما هو قطر سلك الألمنيوم ؟

الفصل 14

قانون أوم

لاحظ العالم الألماني أنه عند مرور تيار كهربائي عبر مادة معينة، يظهر فرق كمون بين قطبي هذه المادة ويكون متناسبا طردا مع جداء الضرب لشدة هذا التيار في مقاومة هذه المادة : إنه قانون أوم.

1. فرق الطاقة الكمونية

تعلم أن وجود مجال كهربائي مرتبط بفرق في الطاقة الكمونية بين نقطتين أ وب داخل هذا المجال، بمعنى أن فرق الطاقة الكمونية (وهو الجهد) ف ما هو إلا :

$$ف = ف_{أ} - ف_{ب} \qquad V = V_A - V_B$$

مع فرضية أن ف موجبا، حيث $ف_{أ}$ هو الكمون في النقطة أ و $ف_{ب}$ هو الكمون في النقطة ب. إذن الطاقة الكمونية في أ أكبر منها في ب، أي :

$$ف_{أ} - ف_{ب} > 0 \qquad V_A - V_B > 0$$

وعليه : ف$_{أ}$ > ف$_{ب}$ $\quad V_A > V_B$

إذن، وكما أصطلح عليه فإن التيار يمر من النقطة أ إلى النقطة ب، وإذا انعدم فرق الكمون بين النقطتين المذكورتين، لم يكن وجود للتيار، أي لن يسجل عبور للتيار.

ولمزيد من التوضيح إليك هذا المثال : لاحظت - ولا شك في ذلك - أن العصافير تحط بعد طيرانها فوق الخطوط الكهربائية ولا يحدث لها شيء ولا تصاب برجة كهربائية، في حين إذا لامست أنت خط الطور في بيتكم أصبت بصدمة كهربائية عنيفة. لماذا ؟

رجاء، لا تقل أن رجليها عوازل أو الدم لا يسري فيها، لأنها لو كانت كذلك لأصيبت بالشلل في رجليها. كل ما في الأمر هو أن الخط عبارة عن نفس الكمون، أي كل نقطة من هذا الخط الكهربائي تحتوي على نفس الكمون في نقطة أخرى من نفس الخط، مهما كان طوله، ومن ذلك فلا وجود لفرق في الطاقة الكمونية بين رجليها وعليه فلا عبور للتيار الكهربائي.

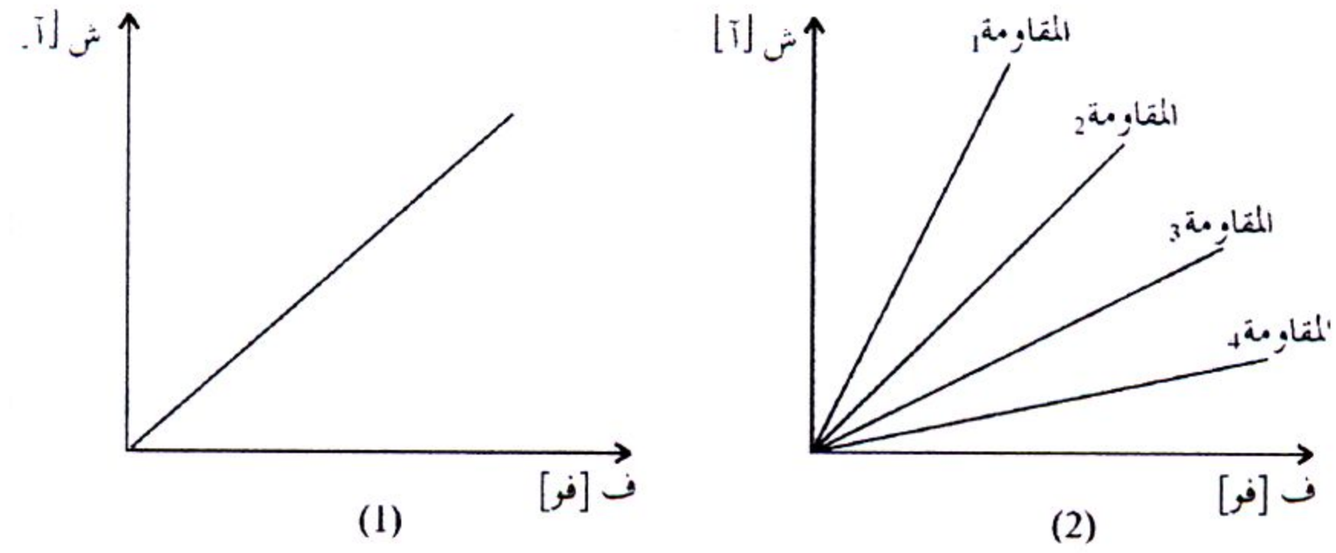
لذلك كله لا تصبح العصافير قطعة لحم مشوي، فهي عند قفزها على نفس الخط وكأنها تضع رجليها على نفس النقطة أ : إنه نفس الكمون. لكن فكر ودع خيالك يجول، ماذا يحدث لها لو تمكنت من وضع كل رجل على خط مختلف... إذن لعبور تيار كهربائي بين نقطتين لا بد من فرق في الطاقة الكمونية بين هاتين النقطتين.

2. العلاقة الخطية

توصل العالم أوم[1] سنة 1828 إلى تحديد العلاقة الرابطة بين الجهد والتيار، التي أصبحت فيما بعد تعرف بقانون أوم. فبعد عدة تجارب، توصل إلى أن الجهد والتيار يتناسبان طردا في مقاومة معينة.

عند زيادة الجهد يزداد التيار بنفس الكمية المئوية، فإذا زيد في الجهد بالضعف زاد التيار بالضعف، وكذلك الحال إذا زاد الجهد بثلاثة أضعاف، فإن التيار يزيد بنفس النسبة.

فلو حاولنا رسم المخطط البياني لجهد مطبق بين قطبي هذه المقاومة بدلالة التيار الذي يعبرها، وذلك بتغيير الجهد وتسجيل كل شدة للتيار الموافق كما يبينه الجدول 1، فسوف نحصل على مستقيم يمر من مركز المعلم (الشكل 1.1).



الشكل 1. تجارب نموذجية لقانون أوم

ف [فو]	2	5	8	10	14
ش [آ]	1	2,5	4	5	7

الجدول 1. تجربة مخبرية.

---

1. أوم (Georg Simon OHM : 1787-1854) عالم ألماني بدأت اهتماماته بالدراسة النظرية للتيار الكهربائي، الشيء الذي أوصله عام 1828 إلى وضع القانون المعروف باسمه.

في الشكل 1.1، رسم الجدول على معلم متعامد حيث محور الفواصل هو محور المتغير الأول ف وهو الجهد، ومحور التراتيب هو محور المتغير الثاني ش وهو الشدة. فتلاحظ أن العلاقة التي تربط الشدة ش بالجهد ف هي علاقة خطية، أي أن هناك تناسب طردي بين الكميتين ش وف.

3. منحنى الخاصية الخطية

كلما وُجدت قيمتان تتناسبان طردا، فإن العلاقة التي تجمعهما هي علاقة خطية، ومن ذلك يكون حاصل القسمة لهاتين الكميتين دوما نسبة ثابتة، أي أن :

$$\frac{\text{ف}}{\text{ش}} = \text{ثابت} \qquad \frac{V}{I} = \text{Constant}$$

وبما أن الدراسة أقيمت على مقاومة معينة، فقد لاحظ العالم الألماني أوم أن هذه النسبة تعادل دوما نفس الثابت، ومن ذلك استنتج أن هذه النسبة ما هي إلا المقاومة المدروسة، فاستخلص أهم خاصية لقانونه وهي أن المقاومة ثابتة لا تتغير... هي الخاصية الخطية.

والشكل 1.1 يدعم هذا القول، فكل نقطة من هذا المستقيم تجمع الكميتين ف وش وهما الجهد المطبق والتيار العابر، بحيث أن حاصل قسمتهما يكون دوما ثابتا على مدى المستقيم.

وتحقق من منحنى الشكل 1.1 بواسطة نتائج الجدول 1، وكمثال على ذلك نأخذ فاصلتين ف = 2 فولط وف = 10 فولط ثم نستخرج

ما يكافئهما من محور التراتيب ش، ومن ثم تسجل الخاصية الخطية لقانون أوم وفق حاصل النسبة التالي :

$$\text{م} = \frac{\text{ف}}{\text{ش}} = \frac{2}{1} = 2\,\Omega$$

$$\text{أو م} = \frac{\text{ف}}{\text{ش}} = \frac{10}{5} = 2\,\Omega$$

4. محتوى قانون أوم

لقد لاحظ العالم الألماني أنه إذا غيرت قيمة المقاومة، فسيسجل على نفس المعلم عدة مستقيمات خطية إلا أنها مختلفة الميل كما يوضحه الشكل 2.1... ولكن دائما هناك تناسب طردي بين الجهد والتيار لكل مستقيم، أي أن الميل واحد وهو يمثل المقاومة التي هي دوما ثابتة، ومن ثم يستنتج أن لكل مستقيم مقاومته الخاصة، تختلف باختلاف المواد المستعملة والأحجام المختارة.

من خلال هذه التجارب المخبرية، استخلص هذا العالم الألماني، وهو يدرس المواد الناقلة، أن الجهد ف عبر المادة متناسب طردا مع التيار ش العابر لهذه المادة، وأن ثابت التناسب ما هو إلا مقاومة هذه المادة. وعليه وضع قانونه الذي ينص على العبارة الرياضية التالية :

$$\text{ف} = \text{م} \cdot \text{ش} \qquad V = R \cdot I$$

حيث م هي مقاومة المادة ووحدتها الأوم.

يتضح من خلال الشكل 1، أن المقاومة م خطية أي أن قيمتها بالأوم ثابتة، إذ أن هذه القيمة لا تتغير بتغير الجهد المطبق على المقاومة. ومن المعادلة السابقة، يمكننا استخراج علاقة الوسائط الثلاثة ف، ش، م قصد الحصول على ترجمة فيزيائية للمعادلة الرياضية :

* ش = $\frac{ف}{م}$: علاقة عكسية تستخرج بها شدة التيار، أي أنه عندما توضع مقاومة ثانية تكون أكبر من الأولى، فإن التيار يسجل شدة تكون أضعف وأقل.

* م = $\frac{ف}{ش}$: حاصل قسمة ثابت، تظهر مَيْل المستقيم بالنسبة لمحور الفواصل، أي أنه عندما يزداد الجهد ف تزداد الشدة ش لإبقاء الحاصل دوما ثابتا.

ومن هذه النتائج، أمكن القول أن قانون أوم يسجل عبر كل المواد التي تمتاز بخاصية خطية ثابتة.

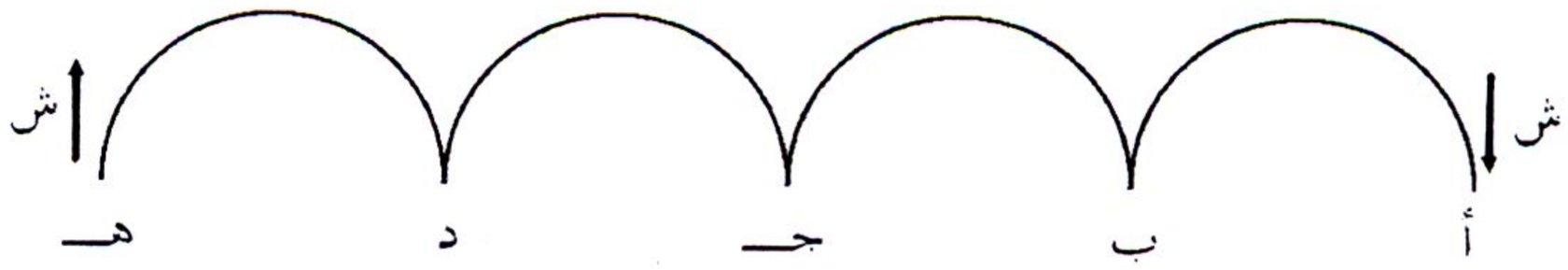
5. تجميع فروق الكمون

عندما يطبق قانون أوم على مقاومة، تستخرج المعادلة الرياضية التالية :

ف = م . ش $\qquad$ V = R . I

حيث :

– ف هو الجهد الملاحظ بين قطبي المقاومة.



الشكل 2. كيفية تجميع فروق الكمون

– ش هو شدة التيار العابر لهذه المقاومة.

تلك هي الخاصية الخطية للمقاومة. فماذا يحدث لو أن المقاومات تتابعت في سلسلة ؟

لنفرض أن لدينا قطعا من تركيب كهربائي، قد تكون مقاومات أو مولدات، جمعت في تسلسل كما هو موضح في الشكل 2. يعبر هذه القطع أ ب، ب جـــ، جـــ د، د هـــ نفس التيار وشدته ش، ومن ذلك يظهر بين هذه القطع جهودا تعرف كالتالي :

$ف_{أب}$ هو الجهد الملاحظ بين القطبين أ وب

$ف_{ب جـ}$ هو الجهد الملاحظ بين القطبين ب وجـــ

$ف_{جـ د}$ هو الجهد الملاحظ بين القطبين جـــ ود

$ف_{د هـ}$ هو الجهد الملاحظ بين القطبين د وهـــ

وباعتبار أن الاستطاعة المستهلكة عه داخل حمولة هي جداء الضرب للجهد في شدة التيار ش، فإن الاستطاعة المبددة داخل مختلف هذه القطع تستخرج كالتالي :

$عه_{أب}$ = ش $ف_{أب}$ وهي الاستطاعة المبددة عبر القطعة أ ب

عه$_{ب جـ}$ = ش ف$_{ب جـ}$ وهي الاستطاعة المبددة عبر القطعة ب جـ

عه$_{جـ د}$ = ش ف$_{جـ د}$ وهي الاستطاعة المبددة عبر القطعة جـ د

عه$_{د هـ}$ = ش ف$_{د هـ}$ وهي الاستطاعة المبددة عبر القطعة د هـ

ومن ذلك فإن الاستطاعة الكلية المبددة عبر القطعة أ هـ هي :

عه$_{أ هـ}$ = ش ف$_{أ هـ}$

والتي تعادل مجموع الإستطاعات المبددة في كل قطعة من التركيب الكهربائي، أي :

عه$_{أ هـ}$ = عه$_{أ ب}$ + عه$_{ب جـ}$ + عه$_{جـ د}$ + عه$_{د هـ}$

وعليه تستخرج المعادلة التالية :

ش ف$_{أ هـ}$ = ش ف$_{أ ب}$ + ش ف$_{ب جـ}$ + ش ف$_{جـ د}$ + ش ف$_{د هـ}$

وعندما تختزل هذه المعادلة بالمعامل المشترك وهو الشدة ش، تعاد كتابة هذه المعادلة على الوجه التالي :

ف$_{أ هـ}$ = ف$_{أ ب}$ + ف$_{ب جـ}$ + ف$_{جـ د}$ + ف$_{د هـ}$

وعليه تصاغ هذه القاعدة : إن فرق الكمون بين نقطتين أ وهـ يعادل مجموع فروق الكمون لكل القطع أ ب، ب جـ، جـ د، د هـ المتواجدة بين هاتين النقطتين. ومن ذلك نستنتج أن الجهد - وهو فرق الكمون - بين نقطتين يعادل مجموع فروق الكمون لكل السلسلة الملاحظة بين هاتين النقطتين.

مسائل

1. ما نص قانون أوم ؟ ما مدلوله ؟ اشرح فهمك الخاص.

2. ما مدلول اصطلاح "فرق الطاقة الكمونية" بين نقطتين ؟

3. ما المقصود بالتناسب الخطي للجهد مع التيار ؟ ذاك هو فحوى قانون أوم. اشرح.

4. عندما تدرس المقاومة، يستعمل اصطلاح "الخاصية الخطية الثابتة". ما مدلولها ؟

5. في سلسلة كهربائية، أوجد مجموع الجهود الملاحظة داخل هذه السلسلة.

6. حمل يعبره تيار شدته 0,02 أمبير فيتولد بين قطبيه جهد يعادل 5 فولط. احسب مقاومة الحمل.

7. مقاومة مجهولة م يعبرها تيار شدته 16 أمبير فيتولد بين قطبيها جهد قدره 120 فو.

1. ما هي قيمة المقاومة م ؟

2. استنبط مقاومية المادة إذا كان طولها 3 أمتار ومقطع عرضها 0,2 مم^2، بافتراض أنها متجانسة.

8. سلك، طوله 4 أمتار وقطره 6 مم، يكافئ مقاومة تعادل 20 أوم. في حالة ما إذا طبق بين طرفيه فرق كمون يعادل 30 فولط، ما هي :

1. شدة التيار العابر للسلك ؟

2. مقاومية معدن السلك ؟

9. قياس جهد جهاز كهرومترلي أوضح القيمة 220 فولط عندما يعبره تيار شدته 16 أمبير. ما هي مقاومة هذا الحمل ؟

10. مقاومة خطية مجهولة القيمة يعبرها تيار شدته 4 μ آ فيتولد 2 فولط عبر قطبيها. ما هي شدة التيار إن أصبح الجهد 14 فولط ؟

الفصل 15

الاستطاعة

الواط هو الوحدة العالمية لقياس وحساب العمل المنجز لكمية مرجعية "واحد جول" خلال وحدة زمنية "ثانية واحدة"، وهو يمثل الاستطاعة المبددة عبر حمولة معينة. ومن ثم يستنتج أن الاستطاعة ما هي إلا معدل تلك الطاقة المستهلكة.

1. صيغة الاستطاعة

كل ناقل ذو مقاومة م، يعبره تيار شدته ش خلال مدة زمنية ز، ينجم عنه انتشار للحرارة عم، إذ يتم تحويل كل أو قسط من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية حيث كمية هذه الحرارة المنتشرة تكتب وفق المعادلة التالية :

عم = م ش^2 ز $\qquad W = R I^2 t$

علما أن الاستطاعة المستهلكة هي الاستطاعة الكهربائية، فنكتب ما يلي :

عه = ف ش $\qquad$ $P = V \cdot I$

أو : $عه = \frac{ف^2}{م}$ $\qquad$ $P = \frac{V^2}{R}$

أو : $عه = م\ ش^2$ $\qquad$ $P = R\ I^2$

فلو كان ف هو الجهد المطبق على مقاوم ذي مقاومة م، وش التيار العابر لهذا النبيط الإلكتروني، فإن الاستطاعة المستهلكة عه من طرف هذا المقاوم تكون دوما موجبة. وعليه، نقول أن المقاوم يستهلك الاستطاعة ولا يولدها، أي أن عه > 0. سؤال تبادر لذهنك في التو : هذه هي الاستطاعة المستهلكة، فما هي إذن الاستطاعة المبددة ؟

2. تبدد الاستطاعة

إذا قلنا أن تيارا يعبر مقاومة ميتة م، فهذا يعني أن الطاقة الكهربائية تتحول كلية إلى طاقة حرارية لتنتشر من فوق جسم المادة. فهل نفس الشيء يحدث للمقاوم ؟ بالطبع لا، لأن كيفية صنعه لم تتم لهذا الغرض، فلا تقنية الصنع ولا المواد المستعملة تسمح بذلك.

عندما يمر تيار عبر المقاوم، يحدث انتشار حرارة (عادة بسيطة) ناتج عن احتكاك الإلكترونات الحرة بالذرات التي تضايق مرور هذه الإلكترونات. توليد هذه الحرارة دليل قاطع على أن توليد التيار يستوجب حضور الاستطاعة، وتُمنح هذه الاستطاعة من قبل منبع للجهد لكي تبدد داخل المقاوم في شكل حرارة.

$$\text{عه} = \frac{\text{عم}}{\text{ز}} \qquad P = \frac{W}{t}$$

باستخدام المعادلة الأولى نحصل على المعادلة التالية :

$$\text{عه} = \text{م ش}^2 \qquad P = R\, I^2$$

باعتبار أن المقاومة يستحيل أن تكون سالبة، وبما أن الكمية ش^2 قيمة مربعة فهي دوما موجبة، نستنتج أن الاستطاعة عه دائما موجبة.

وبما أن ش $= \frac{\text{ف}}{\text{م}}$، فبعد التعويض في المعادلة السابقة نحصل على ما يلي :

$$\text{عه} = \text{م}\, \frac{\text{ف}^2}{\text{م}^2} \qquad P = R\, \frac{V^2}{R^2}$$

$$\text{وعليه : عه} = \frac{\text{ف}^2}{\text{م}} \qquad P = \frac{V^2}{R}$$

وبما أن م موجبة دائما و ف^2 كذلك، فإن عه دائما موجبة. وأما لو قمنا بتعويض العبارة م $= \frac{\text{ف}}{\text{ش}}$ في نفس المعادلة، فسنحصل من جديد على ما يلي :

$$\text{عه} = \text{ش}^2\, \frac{\text{ف}}{\text{ش}} \qquad P = I^2\, \frac{V}{I}$$

$$\text{وعليه : عه} = \text{ف . ش} \qquad P = V \,.\, I$$

وهكذا نستنتج أن الاستطاعة المستهلكة عه يمكن كتابتها على النحو التالي :

إن الاستطاعة الممنوحة من قبل منبع الجهد لا بد أن تعادل الاستطاعة المبددة في المقاوم على شكل حرارة. وإلا يستحيل الإبقاء على الجهد المولد للتيار ثابتا. هل اتضحت الأمور في ذهنك ؟ لا ! ؟ فما الفرق بينهما يا ترى ؟

تعلم أن المقاومة الميتة تحول كل الطاقة الكهربائية الممنوحة من طرف التيار ش الذي يعبرها إلى حرارة عن طريق ظاهرة جول... هذا صحيح. فما الفرق إذن بين الاستطاعة المبددة والاستطاعة المستهلكة، وما العلاقة التي تجمعهما ؟

3. سبب انتشار الحرارة

بواسطة ظاهرة جول، تعرف الاستطاعة المبددة عه داخل المقاوم م بالعلاقة التالية :

$$\text{عه} = \text{م ش}^2 \qquad P = R\,I^2$$

حيث ش هو التيار الذي يعبرها. في حين الاستطاعة المستهلكة هي العلاقة :

$$\text{عه} = \text{ش ف} \qquad P = V\,I$$

حيث ف هو الجهد المتأمل بين قطبي المقاومة م.

وقد برهن على قانون أوم بواسطة هاتين العلاقتين، فإذا أخذناهما بعين الاعتبار وتساوت هاتان العبارتان، استطعنا كتابة ما يلي :

$$\text{ف ش} = \text{م ش}^2 \qquad V\,.\,I = R\,.\,I^2$$

وعندما تختزل هذه المعادلة بالمعامل ش، تعاد كتابتها في شكل قانون يصاغ على النحو التالي :

ف = م . ش $\qquad$ **V = R . I**

وهي صيغة تترجم قانون أوم، وقد تم البرهنة عليها رياضيا بعد ما تم استنباطها عمليا من خلال التجارب المخبرية. عند هذا المستوى، ربما أنت تتساءل عن مصدر هذه الحرارة ولماذا وجد مثل هذا الانتشار ؟

عندما تتحرك الإلكترونات الحرة داخل المقاومة، فإنها ستصطدم بالذرات مما ينجم عنه انحرافها وتقليل سرعتها، وفي نفس الوقت تهتز الذرة من جراء الاصطدام.

إن ظاهرة الاهتزاز، وهو اهتزاز مجموع الذرات، يؤدي إلى تصعيد في الحرارة داخل المقاومة، وعليه فالحرارة ما هي إلا اهتزاز الذرات.

وبالمقابل فإن الإلكترونات الحرة قد فقدت شيئا من طاقتها عندما تتحرك داخل المقاومة، إذن الحركة والطاقة تولدان - كما رأينا - عملا ينجز داخل الذرات، ومنه تتولد الحرارة. وتكون هذه الطاقة المفقودة على مستوى الإلكترونات هي الطاقة الحرارية المحررة من المقاومة، لا غير.

4. كيفية انتخاب المقاوم

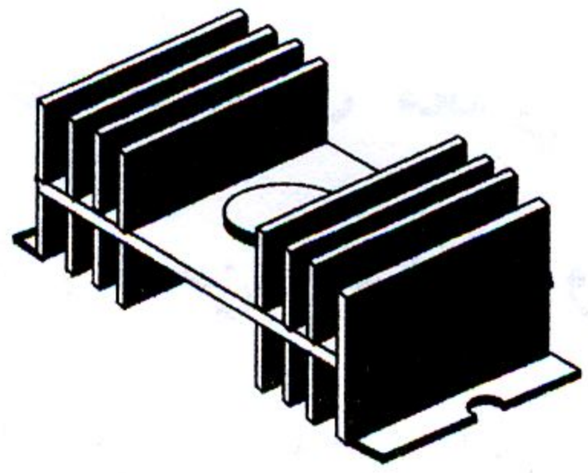
1.4. خاصية النبيط

إن ناتج جداء الجهد في التيار هو الاستطاعة المعبر عنها بوحدة الواط. وتظهر هذه الاستطاعة المستهلكة داخل المقاوم في شكل حرارة تنتشر من فوق جسم النبيط، ويعبر عنها هي كذلك بوحدة الواط، ودرجة الحرارة التي يبلغها النبيط مرتبطة بمعدل تبدد هذه الاستطاعة داخله.

إن تبدد الاستطاعة داخل النبيط ترتبط بمادة صنعه، حجمه، وظروف اشتغاله. ومن ذلك فإن مقاوما محصورا داخل فضاء ضيق يفقد كمية من الحرارة تكون أقل من التي يفقدها مقاوم في فضاء فسيح، وعليه تتصاعد درجة حرارته بحدة مما يعرضه إلى التحطيم والإتلاف.

وعليه وجب معرفة كل من مقاومة النبيط والاستطاعة العظمى التي يمكن للمقاوم تبديدها لتطبيق خاص دون إحداث ضرر بالنبيط... وهذان الوسيطان يمتاز بهما كل نبيط مقاوم.

إن مقاوما خاصيته 10 أوم/1 واط مثلا، لا يمكنه أن يشتغل عاديا عندما يعبره تيار يبدد 1,5 واط من الطاقة الكهربائية في شكل حرارة. ومن ذلك يستحسن تعويضه بمقاوم خاصيته 10 أوم/2 واط.



الشكل 1. ترانْزِسْطُر مركب فوق مُسَرِّب حراري.

لصناعة المقاوم، يخصص المنتجون تصنيفا خاصا بالاستطاعة العظمى، فهو يصنع للقيم المعيارية المطابقة للاستطاعات $\frac{1}{4}$، $\frac{1}{2}$، 1، 2، 5، 10 و25 واط.

2.4. المسرب الحراري

يستحسن عند استعمال مقاوم أن تنتخب ما يفوق تبديده من الحرارة مع الإبقاء على نفس قيمة المقاومة، أي تبدأ بحساب التبديد اللازم من الاستطاعة ثم تعين ما هو أكبر منه، إلا أن الاختيار يكون على حساب تكاليف أكبر.

قد يحدث أن تفوق الاستطاعة المبددة إمكانية تحمل المقاوم، فتنتشر الحرارة بحدة فيتعرض للتحطيم. ولأجل ذلك صمم تركيب خاص، وهو المعروف باصطلاح المسرب الحراري.

يركب المسرب الحراري في الدارة الكهربائية قصد تسهيل عملية الانتشار الحراري بعيدا عن المقاوم ونوابط إلكترونية أخرى كالترانزسطر[1] الممثل في صورة الشكل 1، وذلك لتفادي تحطيم هذه النوابط نتيجة الحرارة المفرطة الناجمة عن شدة تيار ضخمة.

---

1. الترانزسطر (Transistor) هو نبيط إلكتروني متفرد فعال، تمت دراسته بالتفصيل في الجزء الخامس.

فالمسرب هو عبارة عن تركيب معدني يوضع بمَلْمَس مع النبيط الذي تنتشر فيه كمية كبيرة من الحرارة، وذلك لكي تتسرب هذه الحرارة عبر المعدن بسهولة دون إحداث ضرر بالنبيط المقاوم أو بنوابط أخرى كالمصنفة في الملحق 1.

ومن هنا، نقول أن تصميم المسرب الحراري بواسطة معدن ناقل لم يكن جزافا وإنما بسبب ناقلية المعادن للحرارة، أي امتصاصها... وهو السبب المباشر في وصف البعض منا لهذا التصميم باصطلاح ممتص الحرارة.

مسائل

1. استعانة بصيغ الاستطاعة، استخرج قانون أوم.

2. ما الذي يتسبب في انتشار الحرارة من الأسلاك الناقلة ؟ اشرح.

3. ما الفرق بين استهلاك الاستطاعة وتبدد الاستطاعة ؟ اشرح.

4. عند انتخاب المقاوم، أي الخاصيات تؤخذ بعين الاعتبار ؟ علل.

5. اجتهد في تعريف مصطلح "ماص الحرارة". ما الفرق بينه وبين المسرب الحراري ؟ اشرح.

6. مصباح كهربائي يستهلك استطاعة قدرها 100 واط عند تطبيق جهد يعادل 220 فولط.

1. احسب شدة التيار العابر لفتيلة المصباح.
2. ما هي مقاومة الفتيلة.
3. كم هي الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال 3 ساعات ؟

7. سلك ينقل تيارا شدته 4 أمبير وبين قطبيه فرق كمون يعادل 60 فولط.

1. ما هي مقاومة السلك الناقل ؟
2. ما هي الطاقة الكهربائية المحولة إلى حرارة خلال مدة 3 ثوان ؟
3. كم هو عدد الإلكترونات العابرة لمساحة المقطع العرضي في هذه المدة الزمنية ؟

8. مقاوم مقاومته 25 ك Ω، والجهد بين طرفيه يعادل 15 فولط عندما يعبره تيار ش. فإذا زيد في الجهد ليصبح 45 فولط، احسب شدة التيار الجديد ش، .

9. مقاومة سلك ناقل تعادل م = 50 Ω.

1. ما هي مواصلتها ؟
2. ما هو الجهد الأقصى الذي يمكن للسلك تحمله إذا كانت الشدة لا تجاوز 0,40 أمبير ؟

10. يعبر تيار، شدته 20 مآ، مقاوما مقاومته 47 ك Ω.

1. ما هي الاستطاعة المبددة داخل المقاوم ؟
2. هل يمكن استعمال مقاوم خاصيته 47 ك Ω/1 واط ؟ علل.

11. ما هو أقصى جهد يمكن تطبيقه، دون إحداث أي ضرر، على مقاوم خاصيته 20 ك Ω/2 واط ؟

الفصل 16

المولد

المولدات هي عبارة عن منابع جهد مستمر ذات مقاومة داخلية تؤثر بشكل مباشر في قيمة جهد المخرج لهذه المولدات. ولعل من أهم الأمثلة التي يمكن أن نسردها هي البطاريات الجافة والبطاريات الكيماوية.

1. المولد المستمر

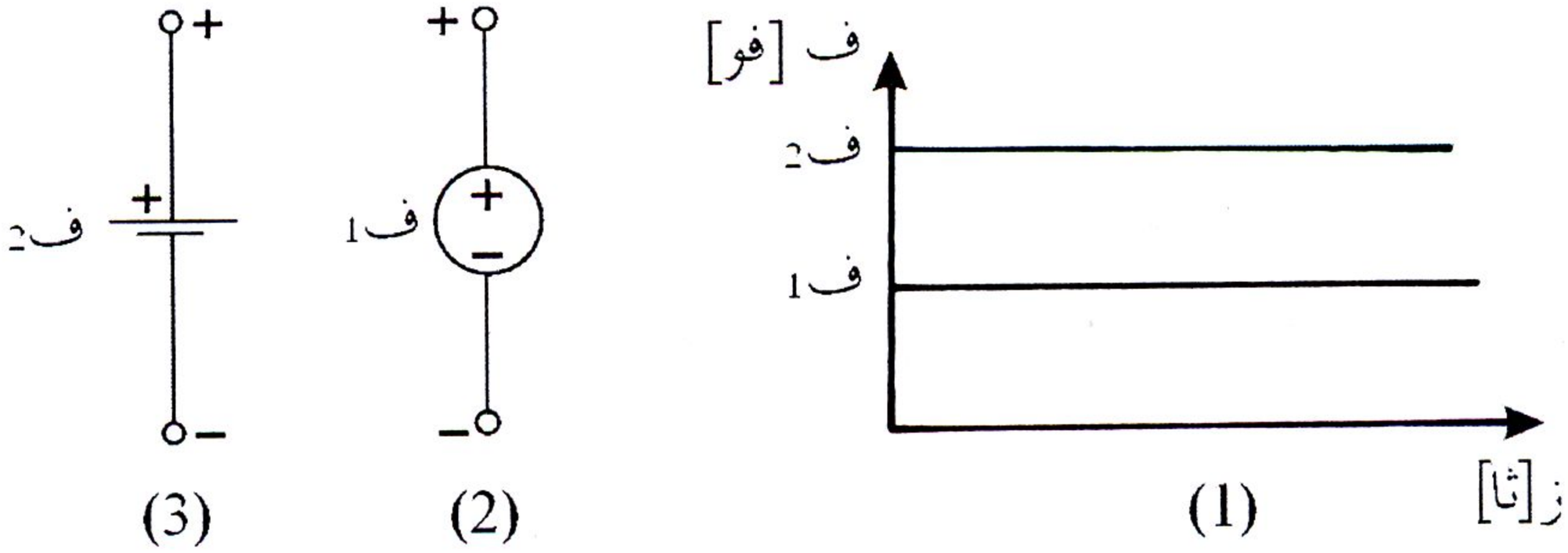
يعرف المولد على انه جهاز كهربائي يحول طاقة معينة إلى طاقة كهربائية التي تُنقل بواسطة التيار الكهربائي عبر الأسلاك الناقلة نحو التركيب الكهربائي. يمكن لهذه الطاقة الكهربائية المحولة أن تكون وليدة طاقة كيماوية مثلا أو وليدة طاقة كهربائية من نوع آخر.

يحتوي المولد على قطبين، قطب موجب و آخر سالب. وباعتبار الاصطلاح العالمي لسيلان التيار، فإن اتجاه التيار يتم من القطب الموجب نحو القطب السالب، أما داخل المولد ذاته فإن الحركة عكسية تماما.

كل مولد قادر على إحداث تدفق متواصل ودائم للشحنات الكهربائية (وهي الإلكترونات) في نفس الاتجاه، أي توليد تيار

كهربائي مستمر وثابت القطبية، هو مولد ذو تيار مستمر أو ما يعرف إصطلاحا مولد مستمر أو إختصارا المولد. ينتج المولد جهدا مستمرا بين قطبيه، قيمته ثابتة لا تتغير ولا تتأثر بمرور الزمن ومن ثم يمنح تيارا يكون مستمرا ثابتا كذلك.

في منحنى الشكل 1.1، توضيح لهذه الفكرة... لأي لحظة زمنية من محور الفواصل تقابلها نفس القيمة من محور التراتيب وهي تمثل جهدا واحدا ووحيدا مهما كانت لحظة القياس، أي أن الجهد المقاس أو المحسوب على محور التراتيب هو ثابت ومنحناه البياني مستمر لا يتغير وهو عبارة عن خط مستقيم موازٍ لمحور الفواصل لأي لحظة زمنية من القياس.



الشكل 1. رمز تمثيلي للمولد

عندما يوصل المولد بالتركيبات الكهربائية، تمنح طاقة كهربائية تستعمل لتشغيل هذه التركيبات. وهذه الطاقة الكهربائية مصدرها التيار الكهربائي الذي يحملها وينقلها عبر التركيب. وليس شرطا أن تبقى هذه الطاقة الكهربائية على حالها، بل يمكن أن تحول إلى طاقة من نوع آخر، كأن تحول إلى طاقة حرارية أو طاقة ميكانيكية مثلا، ويرجع ذلك إلى طبيعة التركيب الذي يوصل بين قطبي المولد والهدف الذي من أجله صمم.

2. تصنيف المولدات

المولد ذو التيار المستمر هو أساسا نوعان، تصنيفهما يتم من خلال طبيعة التوليد وطريقة الاشتغال.

1.2. التغذية المستقرة

هي مولد ذو مقوّم[1] يمنح جهدا بتيار مستمر، ولكي يمنح الطاقة الكهربائية يتم تركيبه عبر مقبس المنشآت السكانية 220 فولط/50 هرتز متناوب.

يعتمد مبدأ اشتغال التغذية المستقرة على وظيفة التقويم التي تحول الجهد المتناوب الموجود في المنشآت السكانية إلى جهد مستمر... ولعل هذه التبعية إلى مقبس هذه المنشآت السكانية تعد أهم مساوئ التغذية المستقرة، إذ تحتاج دوما إلى هذا الوصل لكي تشتغل لتتمكن من منح الجهد المستمر.

تستقبل التغذية المستقرة طاقة كهربائية متناوبة لتحولها عبر المقوم إلى طاقة كهربائية مستمرة تظهر بين قطبيها الموجب والسالب. وعادة، تجد في السوق تغذيات مستقرة متوفرة بجهود معيارية مثل 5 فولط، 6 فولط، 10 فولط، 12 فولط، 15 فولط، 24 فولط، 30 فولط، كما يمكن أن تعثر على غير هذه الجهود.

عموما، يرمز للتغذية المستقرة بالشكل 2.1.

---

1. التقويم هو وظيفة كهربائية يحول الإشارة المتغيرة إلى إشارة مستمرة، ولمزيد من الفهم طالع الفصل 6 من الجزء الخامس.

2.2. البطارية

وهي كذلك مولد بتيار مستمر يصمم في شكل خلية أو مجموعة خلايا كيماوية تتوفر على مجموعة غرف متسلسلة موصولة بين قطبين، هما قطبا البطارية، الموجب والسالب. وتعمل البطارية على تحويل الطاقة الكيماوية المتوفرة داخل هذه الخلايا إلى طاقة كهربائية مستمرة تمنحها بين قطبيها الموجب والسالب.

والبطارية أساسا هي إما بطارية جافة وهي المستعملة في أجهزة المذياع، وإما أن تكون بطارية كهروتحلُّلية أو ما يعرف باصطلاح بطارية كيماوية وهي التي تستعمل في تشغيل السيارات.

يرمز للبطارية عادة بالشكل 3.1، حيث القطب الطويل يمثل القطب الموجب، وأما القطب القصير فهو يمثل القطب السالب. وفي السوق، نجد البطارية متوفرة بجهود مستمرة التي هي عبارة عن أضعاف الجهد 1,5 فولط ومنها الجهود التالية : 3 فولط، 4,5 فولط، 6 فولط، 9 فولط، 12 فولط، 15 فولط، 24 فولط.

3. الاستطاعة العظمى

انطلاقا من طاقة معينة يستقبلها المولد، يحولها نحو قطبيه إلى طاقة كهربائية تمنح للتركيبات الكهربائية. فخارج المولد، قد تتحول هذه الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية أو طاقة كيماوية وذلك يعود إلى تصميم التطبيقات والتركيبات الموصولة بهذا المولد الكهربائي.

أما داخل المولد، فهناك طاقة عم1 تُفقد في شكل انتشار حراري بواسطة ظاهرة جول... لحسن الحظ أنها ضعيفة. فعندما تستقبل طاقة عمَ من طرف المولد، فهو يحولها نحو قطبيه إلى طاقة كهربائية عم إلا أن بعض هذه الطاقة تُفقد لتتحول إلى طاقة حرارية عم1.

تعد الاستطاعة العظمى عه، وتعرف كذلك باصطلاح الاستطاعة الاسمية، القيمة القصوى للاستطاعة التي يمكن للمولد تسليمها دوما وأبدا بين قطبيه دون إحداث أي إخلال أو انقطاع.

تلاحظ أنه بقدر ما تقترب الاستطاعة المستهلكة عهَ المستقبلة من طرف المولد من الاستطاعة الممنوحة عه الملاحظة بين قطبي المولد، أي أنه كلما تناهت الاستطاعة الضائعة عه1 في شكل خسائر حرارية إلى الصفر، بقدر ما يزداد الطلب على مثل هذه الأجهزة وبذلك يربح المنتج ثقة المستهلك وبالتالي يحظى بالسيطرة على السوق.

4. تسويق الجهاز

ترى في سوق العرض العالمية، منافسة شديدة بين المنتجين لبيع آلاتهم وأجهزتهم، وبصفة عامة منتجاتهم. ولكسب ثقة المستهلك، يلجؤون إلى ما يسمى بوسائط السوق لتوفيرها قدر المستطاع لتكون قياسية، وذلك حسب دراسة مسبقة تهدف إلى معرفة ميولات الناس وملاءمة هذه الأجهزة لما هو موجود في السوق. وأهم هذه الوسائط لخصت فيما يلي :

– خفض السعر : وهنا المنافسة الشديدة، والبقاء للأصلح.

– الاستقبال الرائع : البشاشة وحسن الهندام.

– الجودة : مدى نوعية الجهاز من حيث كفاءته ومدى قدرته على تأدية الوظيفة التي من أجلها صُمم دون أن يتأثر بما يحيطه أو بالتركيب الذي يوصل به.

كمال المظهر الخارجي : إن حُسن شكل الجهاز الخارجي، أي مدى إتمام اللمسات الأخيرة على المنتوج، هو أحد وسائط السوق للحكم على المنتوج أو الحكم له، بالإضافة إلى مدى خلوه من التشوهات الجسمية الظاهرية ومدى التناسق التام في مظهره قصد إستقطاب الإستحسان.

– صندوق التعبئة : وهو الحاوية التي يوضع الجهاز بداخلها ومدى استقطابها للمستهلكين، ولا يتم ذلك إلا بالتقديم الجيد للبيانات الكتابية والرسومات التي توضع على مختلف واجهات الحاوية.

– خدمة ما بعد البيع : تقنيون ذووا تكوين عال يسهرون على صيانة المنتوج حتى بعد مرور فترة الضمانة والكفالة.

– توفير المستلزمات : وتتمثل في توفير اللوازم الإضافية ولواحقها بما في ذلك توفير قطع الغيار والنوابط الإلكترونية اللازمة لهذه الأجهزة عند نشوب عطب بها.

– الخاصيات الفنية : هي خاصيات الجهاز القياسية... فما مدلولها ؟

5. الخاصيات الفنية القياسية

غلاء مولد أكثر من آخر، حسن مظهره الخارجي، وزنه الثقيل بالنسبة لآخر، سيطرته على التركيب دون أن يتأثر بتغيرات بعض الوسائط... هذه هي بعض مميزات الأجهزة. إلا أننا بصدد دراسة الخاصيات الفنية للمولد فقط، وهي موضوع فقرتنا هذه بحيث على ضوء ما سندرس تبعا سوف يرتفع الثمن أو ينخفض، الشيء الذي يجعل المستهلكين يقدمون على منتوج دون آخر.

وفيما يلي، إليك الخاصيات الفنية القياسية للمولد وهي تعد بمثابة البطاقة التعريفية للجهاز، من خلالها يمكن الحكم للجهاز أو الحكم عليه.

1.5. القوة الكهروحركية

تتجه الإلكترونات داخل المولد من القطب الموجب نحو القطب السالب، أي أنها تدفع من الكمون العالي لتجذب نحو الكمون المنخفض. فيتولد عن هذا الفرق الكموني، مجال كهربائي (وهو في حقيقة الأمر مجال كهروسطاتيكي) يعارض حركة الشحنات التي من وراءها مجال آخر، يدفعها نحو الكمون المنخفض : إنه المجال الكهرومحرك.

القوة الكهروحركية، واختصارا تكتب قم، تسمح بتمييز مولد عن آخر، أي أنها تمنحه بطاقة تعريفية تكون قم هي إحدى صفات هذا المولد. وعدديا، يعبر عن القوة الكهروحركية بنسبة حاصل القسمة التالي :

$$\text{قم} = \frac{\text{عم}}{\text{ك}} \qquad \mathbf{e} = \frac{\mathbf{W}}{\mathbf{q}}$$

حيث :

- عم هي الطاقة الممنوحة بين قطبي المولد.
- ك هي كمية الكهرباء التي تعبر المولد في ز ثانية.

علما أن عه هي الاستطاعة المسلمة بين قطبي المولد وش هي شدة التيار داخل المولَد، فيمكن تحويل المعادلة السابقة كما يلي :

عم = عه ز $\quad W = P\,t$

حيث :

ك = ش ز $\quad q = I\,t$

وعليه :

$$\text{قم} = \frac{\text{عه ز}}{\text{ش ز}} \qquad e = \frac{P\,t}{I\,t}$$

إذن :

$$\text{قم} = \frac{\text{عه}}{\text{ش}} \qquad e = \frac{P}{I}$$

ومنه نقول أن القوة الكهرومحركة هي حاصل قسمة الاستطاعة الممنوحة من طرف المولد على شدة التيار المصبوب. ومن ثم فإن وِحدة القوة الكهروحركية كما تلاحظه من خلال المعادلة السابقة هي الواط على الأمبير، بمعنى أنها بنفس الوحدة لفرق الكمون (أو الجهد)، أي أن وحدة القوة الكهرومحركة هي الفولط.

هذه الكمية الفيزيائية تعبر عن إحدى خاصيات المولد، ولتعلم أن المولد بتيار مستمر يحتوي على قوة كهرومحركة ثابتة لا تتغير بمرور الزمن.

2.5. المقاومة الداخلية

لصنع المولد لا بد من ربط ووصل مكوناته (أي النوابط الإلكترونية) ببعضها البعض، ليتمكن من أداء المهمة التي صنع من أجلها. ولا يكون هذا الوصل إلا بواسطة مواد ناقلة، كالأسلاك مثلا.

هذه الأسلاك كثيرة ومتسلسلة، ومن البديهي أنها ستبدي مقاوَمة معينة يرمز لها بالرمز مـــ. وقد رأينا أنه داخل المولد، هناك نسبة من الطاقة التي يمنحها المولد تتحول بواسطة ظاهرة جول إلى حرارة داخل المولد نفسه.

إن المقاومة مـــ التي ترمز إلى مقاومة المولد من داخله، هي التي وراء هذا الفقدان للطاقة. إنها تعرف باصطلاح "المقاومة الداخلية" للمولد ووحدتها الأوم، وهي تمثل إحدى صفات المولد التي تميزه على بطاقة تعريفه.

أما رياضيا، فإن المقاومة الداخلية تعرف بالنسبة التالية :

$$\text{مـــ} = \frac{\text{عم}_1}{\text{ش}^2 \text{ ز}} \qquad r = \frac{W_1}{I^2 t}$$

حيث عم$_1$ هي الطاقة المفقودة داخل المولد في شكل حرارة ووحدتها الجول. فتلاحظ أنه بقدر ما تصغر المقاومة الداخلية مـــ، تصغر الطاقة المفقودة وبذلك يكبر التحويل ليكون تقريبا كليا.

لا يكون تحويل الطاقة في المولد تاما إلا إذا كانت الخسائر الحرارية عم$_1$ = 0، عندها تكون الاستطاعة المستقبلة مساوية للاستطاعة الممنوحة، أي عهَ = عه... وهي حالة يعرف بها المولد باصطلاح "المولد المثالي" وهو تصميم يصعب تحقيقه.

ومن هنا، نقول أن إجراء خيار بين مولدين يكون على حساب المولد ذي المقاومة الكبيرة، لأن مـــ إذا صغرت كبر التحويل وقارب أن يكون تاما، أي عمَ ≅ عم، ومن ثم أهملت الخسائر الحرارية عم$_1$.

ملاحظة هامة

1. تعتبر هذه الوسائط الثلاثة المشار إليها سابقا، الخاصيتان (قم، مـــ) بالإضافة إلى الاستطاعة المسلمة عه من خاصيات المولد الأساسية.

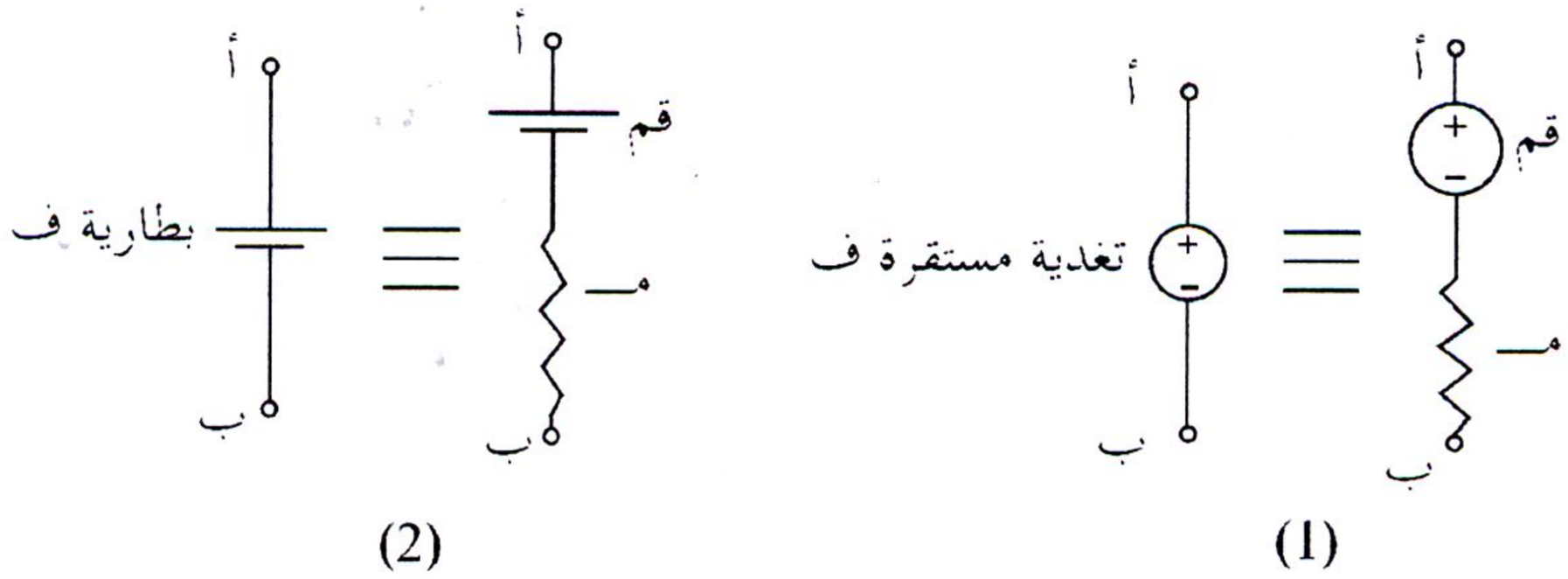
2. كما يمكن أن تجد سعة مكثفة تدرج ضمن هذه الخاصيات، وهذه المكثفة تشير إلى كمية الكهرباء التي يمكن للبطاريات أن تمنحها أثناء تفريغها الكلي.

6. الدارة المكافئة

1.6. تسلسل الدارة

يمنح المولد بين قطبيه جهدا مستمرا ثابتا فهو يمتاز بعبور تيار في نفس الاتجاه بنفس الشدة على خِلاف التيار المتناوب، كما يمتاز المولَد بمقاومته الداخلية مـــ التي تؤثر على الجهد الخارجي للمولد. كيف ذلك ؟

عند شراء تغذية مستقرة مثلا (الشكل 1.2) وأنت تعلم أنها تمنح بين قطبيها أ وب جهدا مستمرا معادلا للقيمة ف، لكن لو قست هذه القيمة فسوف تجدها — ربما — تختلف عن ذلك بعض الشيء. لماذا ؟



الشكل 2. الدارة المكافئة للمولد.

ببساطة، جزءا من الطاقة ضاع عبر المقاومة الداخلية مـــ في شكل حرارة. إذن وكأن التغذية المستقرة ف عُوضت بالمقاومة مـــ بتسلسل مع قوتها الكهرومحركة قم (الشكل 1.2). وكذلك الحال بالنسبة للبطارية كما يوضحه الشكل 2.2.

فقدان جزء من الطاقة الممنوحة من طرف المولد كان سببه المباشر المقاومة الداخلية للمولد، بمعنى هبوط الجهد عبر هذه المقاومة يؤدي إلى نقص الجهد الفعلي للمولد المتمثل في القوة الكهروحركية.

2.6. مفعول الخسائر

تمثل الدارة المكافئة للمولد، بطارية كانت أم تغذية مستقرة، بما يوضحه الشكل 2. عموما، الدارة المكافئة هي عبارة عن تركيب يضم القوة الكهروحركية قم متسلسلة مع المقاومة الداخلية مـــ.

رياضيا، تترجم علاقة الخسائر الحرارية بالقوة الكهروحركية وفق العبارة التالية :

عه = عه' + عه$_1$ $\qquad$ $P = P' + P_1$

أي :

عه' = عه – عه$_1$ $\qquad$ $P' = P - P_1$

وبالتعويض نحصل على المعادلة التالية :

ف ش = قم ش - مـــ ش^2 $\qquad$ $VI = eI - rI^2$

عندما تختزل المعادلة بالمعامل المشترك ش، نحصل على :

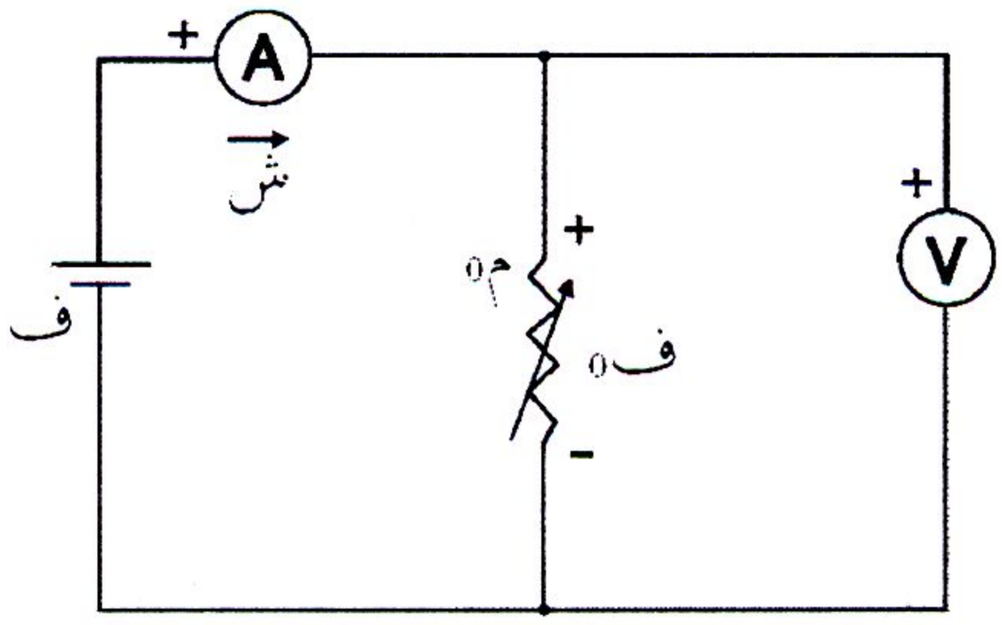
ف = قم – مـــ ش $\qquad$ $V = e - rI$

وهي معادلة الدارة المكافئة للشكل 2، وتلاحظ أنه إذا كانت الخسائر الحرارية مهملة أي أن مـــ = 0 فإن المولد يعتبر مثاليا وهو يمثل ف$_{أب}$ = قم.

أعمال تطبيقية

تمرين

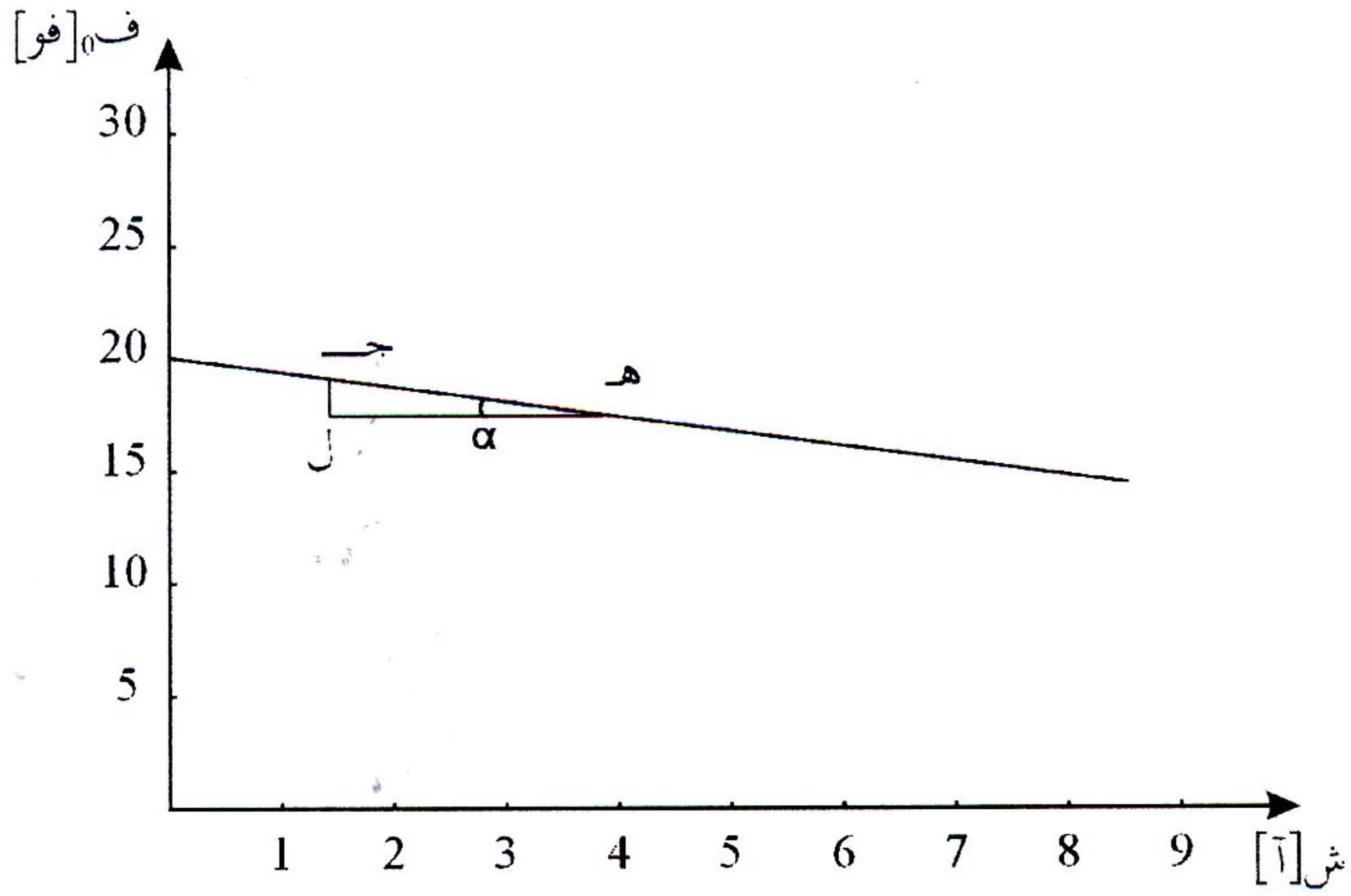
تجربة مخبرية، تهدف إلى إيجاد خاصيات المولد، أوضحت النتائج المحمولة على الجدول التالي. يركب المولد بين قطبي مقاومة متغيرة ثم يوضع الفولطمتر بين قطبيها لتسجيل الجهد، بالإضافة إلى وضع جهاز الأمبير متر في مسار المولد عبر المقاومة لتسجيل الشدة (الشكل 3).



الشكل 3. دراسة خاصيات المولد.

يتم تعديل شدة التيار ش بتغيير المقاومة م$_0$. وبالتالي يتغير الجهد ف$_0$ المتأمل عبر المقاومة م$_0$، وفي الجدول الموالي حملت نتائج هذه التجربة.

الشدة ش [آ]	0,65	2,40	3,80	4,05	5,35	6,10
الجهد ف$_0$ [فو]	19,30	17,60	16,20	15,90	14,70	13,90



الشكل 4. المنحنى البياني ف٠(ش).

1. ارسم المنحنى ف٠ (ش). ما تعليقك ؟

2. جد معادلة المنحنى. استنبط القوة الكهرومحركة قم ثم المقاومة الداخلية مـــ للبطارية ف.

الجواب

1. من خلال الرسم البياني ف٠ (ش) للشكل 4 يظهر أن المنحنى مستقيم خطي متناقص، إذ تصبح الشدة ش حادة كلما ضعف الجهد ف٠ بفعل تخفيض المقاومة م٠. وعليه فميل هذا المستقيم سالب.

2. معادلة الدالة ف٠ (ش) خطية وهي من الشكل ف٠ = أ ش + ب، حيث ب هو نقطة تقاطع المنحنى بمحور التراتيب في حين أ هو الميل المتناقص للمنحنى بالنسبة لمحور الفواصل.

محور التراتيب هو محور الجهود المقاسة بالفولط والذي يمثل الجهد ف$_0$ المسجل بين قطبي المقاومة م$_0$، وما تسجيل النقطة ب على هذا المحور إلا تلك القوة الكهروحركة قم للبطارية ف وبذلك فهي تساوي : ب = قم = 20 فولط.

وباعتبار أن محور الفواصل هو محور التيارات المقاسة بالأمبير للشدة العابرة للمقاومة م$_0$، فإن الميل أ هو حاصل نسبة الفولط على الأمبير فهو بذلك عبارة عن مقاومة تمثل المقاومة الداخلية مـــ للبطارية، وعليه فالميل هو :

$$\text{ظل}\,\alpha = \frac{\text{جـــ ل}}{\text{هـــ ل}} = \frac{\text{ف}_2 - \text{ف}_1}{\text{ش}_2 - \text{ش}_1}$$

حيث اختيار النقطتين جـــ و هـــ (الشكل 4) يكون خارج نقاط الجدول 1 (طالع مدخل الكتاب)، شرط أن تنتميان إلى المنحنى ف$_0$ (ش)، وبذلك جـــ وهـــ احداثياتهما هي جـــ (1,45 آ، 18,60 فو) وهـــ (3,50 آ، 16,45 فو)، وعليه :

$$\text{ظل}\,\alpha = \frac{16,45 - 18,60}{3,50 - 1,45} = -1,05 \text{ فو/آ}$$

وأما الإشارة (−) فهي تبيان للميل السالب، وعليه فالمقاومة الداخلية هي مـــ = 1,05 Ω. وبذلك نستخرج معادلة المنحنى كالتالي :

$$\mathbf{V_0 = a\,I + b = -\,r\,I + e} \qquad \text{ف}_0 = \text{أ ش} + \text{ب} = -\,\text{مـــ ش} + \text{قم}$$

أي ف$_0$ = - 1,05 ش + 20 .

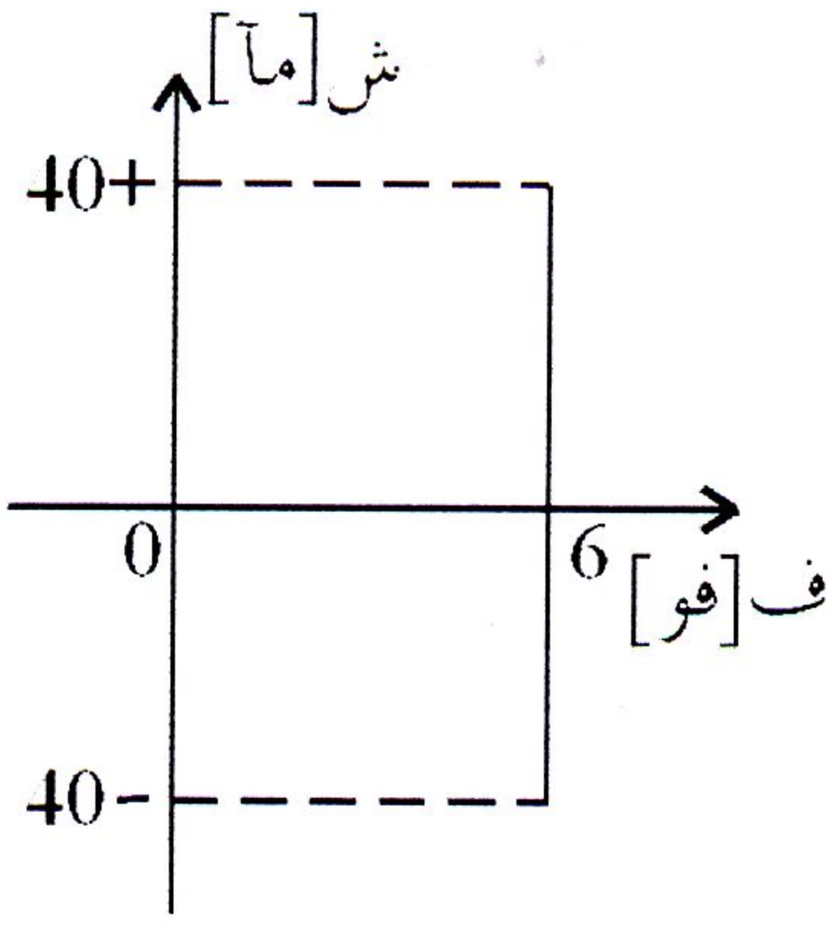
وللتحقق من صحة نتائجك، عوض قيم ش من المنحنى وقارن نتائج التراتيب بحاصل المعادلة.

مسائل

1. لم يُعد المولد محول الطاقة ؟ اشرح.
2. عرف المولد على أنه جهاز يمتاز بتيار مستمر. اجتهد في ذكر الفرق بينه وبين المولد المتناوب.
3. اجتهد في ذكر أنواع الطاقة الممنوحة من طرف المولد.
4. ما وجه التشابه والاختلاف بين التغذية المستقرة والبطارية ؟ اجتهد في استخراج محاسن ومساوئ كل منهما.
5. عندما يدرس مولد، تذكر "الاستطاعة الاسمية". إلى ما ترمز ؟ متى يحدث التحويل التام للطاقة ؟ اشرح.
6. اذكر الخاصيات الفنية للمولد. إلى ما ترمز كل واحدة منها ؟ كيف تمثل في دارة مكافئة ؟ اشرح.
7. اجتهد في ذكر خاصيات أخرى يتميز بها المولد.
8. ما هي الخسائر الحرارية للمولد ؟ متى تحدث وكيف تنتشر ؟ اشرح.
9. ما الهدف من وضع الدارة المكافئة للمولد ؟ علل.
10. اجتهد في تعريف المصطلح "المولد المثالي".

11. شبكة كهربائية تضم مولدا يعبرها تيار شدته 5 أمبير، فينجم تحرر طاقة كهربائية، وخلال مدة ساعتين تتبدد الطاقة بمقدار 216 000 جول. ما هي الاستطاعة الممنوحة من المولد ؟ استنبط قوته الكهرومحركة.

12. أوضحت دراسة مولد النتائج المدونة على الشكل 5، بحيث أن ف دوما ثابتا مهما كانت شدة التيار ش داخل المجال [– 40 مآ، + 40 مآ].



الشكل 5. المسألة 12

1. ما تعليقك على مثل هذا المولد ؟
2. كم هي مقاومته الداخلية مـــ وقوته الكهرومحركة قم ؟
3. ما هو استنتاجك فيما يخص مثل هذا المولد ؟

تنبيه : قد يستحيل أن تجد منتجا يمنحك مولدا بمثل هذه الخاصيات القياسية.

13. أوضحت دراسة مولد ف = 100 فولط النتائج المخبرية التالية :

الأمبيرمتر [أمبير]	1	0,5	0,25	0,143	10	0
الفولطمتر [فولط]	0	50	75	85,7	90	100

حيث الأمبيرمتر هو مقياس شدة التيار والفولطمتر هو مقياس جهد المقاومة المتغيرة.

1. ارسم تركيب التجربة، ومن ثَمَّ المنحنى ف$_0$ (ش).
2. ما هي معادلة الدالة ف$_0$ (ش) ؟ استنبط القوة الكهرومحركة قم والمقاومة الداخلية مـــ للمولد ف. هل للمقاومة مـــ دور في تحديد شدة التيار العابر للتركيب ؟ كيف ذلك ؟ علل إجابتك بأمثلة من المنحنى.

الفصل 17

تركيب المولد

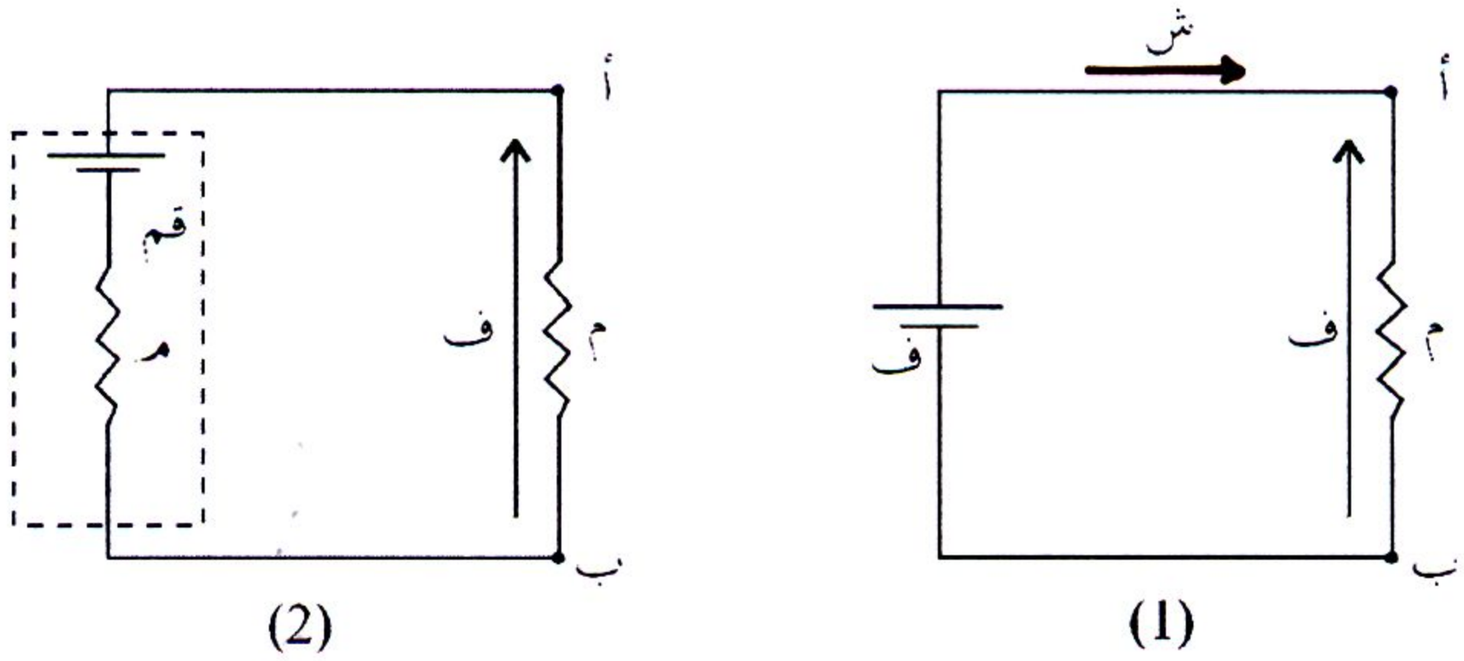
عندما يدرس المولد المستمر وتستخرج خاصياته الفنية بالإضافة إلى دارته المكافئة، فأكيد أن من وراء ذلك قصد بيّن... وهو كذلك، والهدف من ذلك هو مراقبة تصرفه عند ما يوصل بتركيب كهربائي والتأكد من أنه يؤدي وظيفته التي من أجلها صُمم.

1. قانون بوييه

1.1. التجربة العملية

يتم تركيب الشكل 1.1 حيث يُوصل مولد ف لتغذية مقاومة م، وذلك قصد دراسة تغيرات الجهد ف الملاحظ بين قطبي المولد بدلالة التيار ش العابر لهذا التركيب.

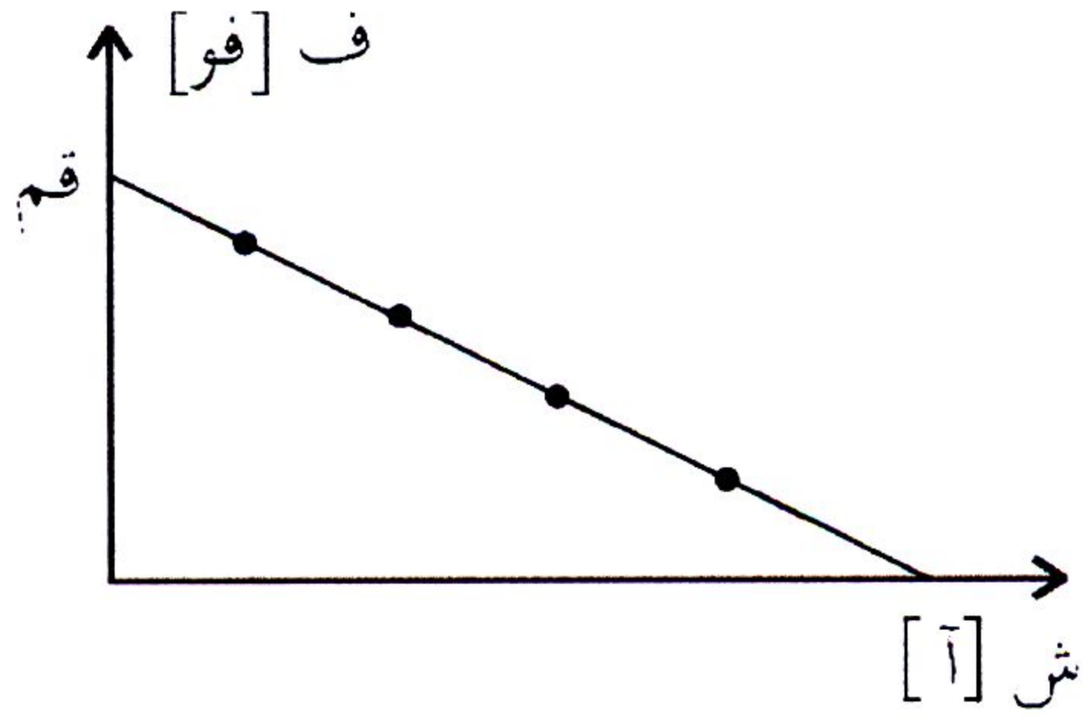
يمتاز هذا المولد ف ذو التيار المستمر بالخاصيتين التاليتين : قوة كهروحركية قم ومقاومة داخلية مـــ، ومن ثم يعاد تمثيل هذا التركيب فيما هو موضح في الشكل 2.1.



الشكل 1. مولد في تغذية المقاومة م.

عندما تُغير شدة التيار ش ثم يسجل الجهد ف المكافئ لكل تغير، نحصل على المنحنى البياني للدالة ف(ش) المسجل في منحنى الشكل 2 الذي يُظهر أن الدالة ف(ش) عبارة عن خط مستقيم معادلته هي ف = أ ش + ب حيث محور الفواصل هو محور المتغير الأول ش، ومحور التراتيب هو محور المتغير الثاني ف.

في هذه المعادلة، يستخرج الوسيطان أ وب من خلال منحنى هذه الدالة الخطية. فأما الوسيط ب فهو يمثل نقطة تقاطع الخط المستقيم بمحور تراتيب الجهود، وهي تعادل القوة الكهروحركية قم لهذا المولد، أي ب = قم.



الشكل 2. المنحنى البياني للدالة ف (ش).

وأما الوسيط أ فهو يستخرج من ميل الخط المستقيم بالنسبة لمحور فواصل الشدة، حيث يكون الوسيط أ متناسبا طردا مع القيمة (-مـــ) مع العلم أن مـــ هي المقاومة الداخلية للمولد. ولاحظ أن الإشارة (-) تدل على أن الدالة ف (ش) متناقصة.

2.1. قانون أوم للمولد

هذه الدراسة البيانية السابقة مكّنت من التعرف على معادلة الخط المستقيم وكيفية استخراج وسيطي المولد قم و مـــ، كما تم التأكد من قانون أوم تجريبيا.

لا يمنح المولد ف بين قطبيه القوة الكهروحركية قم فقط وإلا فهو مولد مثالي، ولكن الجهد الذي يظهر بين قطبي المقاومة م لتركيب الشكل 2.1 هو الجهد ف الذي يختلف عن قم، أي ف ≠ قم.

تطبيقا لقانون أوم نكتب ما يلي :

ف = م ش **V = R I**

ومن خلال الشكل 2.1 الذي يرمز إلى الدارة المكافئة للمولد، نستطيع كتابة المعادلة التالية :

قم = (م + مـــ) ش **e = (R + r) I**

وهو ما يعرف بقانون بوييه[1]، حيث المجموع (م + مـــ) هي المقاومة الكلية للتركيب.

---

1. بوييه : (Claude-Servais-Mathias-Marie-Roland–Pouillet : 1790-1868) فيزيائي فرنسي، توصل عام 1837 من تحديد كمية الطاقة الشمسية المستقبلة في مساحة معينة، كما استطاع التحقق من قانون أوم الموضوع عام 1828.

يمكن إعادة كتابة المعادلة السابقة في الشكل التالي :

قم – مـــ ش = م ش $e - rI = RI$

وعليه : قم – مـــ ش = ف $e - rI = V$

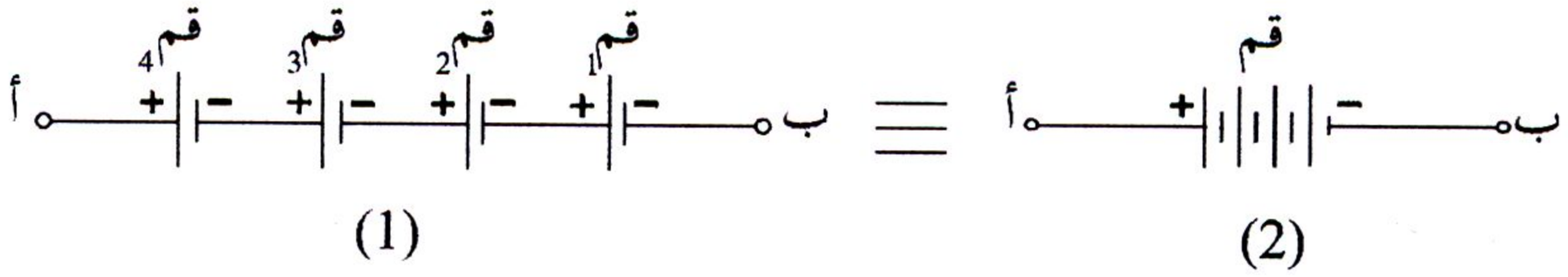
2. تجميع المولدات

1.2. تسلسل المولدات

تُوصل عدة مولدات بتسلسل، بحيث القطب الموجب لأحدهم يكون موْصولا بالقطب السالب للمولد الموالي (الشكل 3). وعندما يعبر السلسلة تيار كهربائي شدته ش، فإن كل مولد يمنح استطاعة مساوية لجداء القوة الكهرومحركة في شدة التيار ش.

بفعل ظاهرة جول، يمتص كل مولد استطاعة معادلة لجداء المقاومة الداخلية في مربع شدة التيار. إذن، مجموع المولدات تتصرف وكأنها عبارة عن مولد وحيد ذي قوة كهرومحركة قم ومقاومة داخلية مـــ، والذي يُنتج تيارا ش ويمنح استطاعة عه = قم × ش.

تكون هذه الاستطاعة عه = قم × ش، مساوية لمجموع الاستطاعات التي يمنحها كل مولد. وفي نفس هذا المولد المكافئ، فإن الخسائر بواسطة ظاهرة جول تكون مساوية للجداء مـــ × ش^2، وهي تعادل مجموع الاستطاعات الضائعة داخل مختلف المولدات، أي :



الشكل 3. تجميع المولدات في تسلسل

$$\text{قم ش} = \text{قم}_1 \text{ ش} + \text{قم}_2 \text{ ش} + \text{قم}_3 \text{ ش} + \text{قم}_4 \text{ ش}$$

$$eI = e_1 I + e_2 I + e_3 I + e_4 I$$

$$\text{مـــ ش}^2 = \text{مـــ}_1 \text{ ش}^2 + \text{مـــ}_2 \text{ ش}^2 + \text{مـــ}_3 \text{ ش}^2 + \text{مـــ}_4 \text{ ش}^2$$

$$r I^2 = r_1 I^2 + r_2 I^2 + r_3 I^2 + r_4 I^2$$

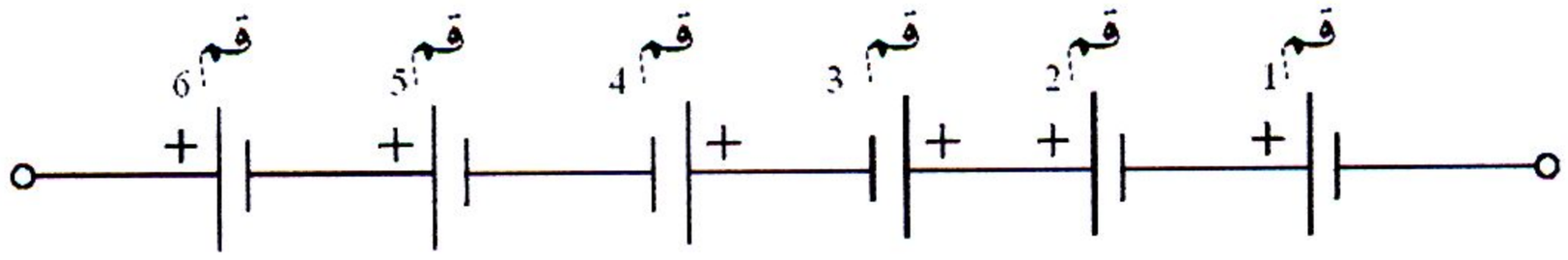
عند اختزال المعادلتين بالمعامل المشترك ش وش^2 على التوالي، نحصل على ما يلي :

$$\text{قم} = \text{قم}_1 + \text{قم}_2 + \text{قم}_3 + \text{قم}_4 \qquad e = e_1 + e_2 + e_3 + e_4$$

$$\text{مـــ} = \text{مـــ}_1 + \text{مـــ}_2 + \text{مـــ}_3 + \text{مـــ}_4 \qquad r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4$$

فالمولد المكافئ يحتوي على قوة كهروحركة قم ومقاومة داخلية مـــ، وهما على التوالي مجموع القوى الكهروحركة ومجموع المقاومات الداخلية، أي عند تركيب مولدات على التسلسل في نفس الاتجاه فإن القوى الكهروحركة والمقاومات الداخلية تُجمع فيما بينها.

في مثل هذا التجميع، تُوصل المولدات في تسلسل قصد رفع قيمة القوة الكهروحركية، أي تضخيم الجهد مع الحفاظ على نفس شدة التيار المصبوب عبر سلسلة هذه المولدات.



الشكل 4. تسلسل مولدات بعضها معكوس القطبية

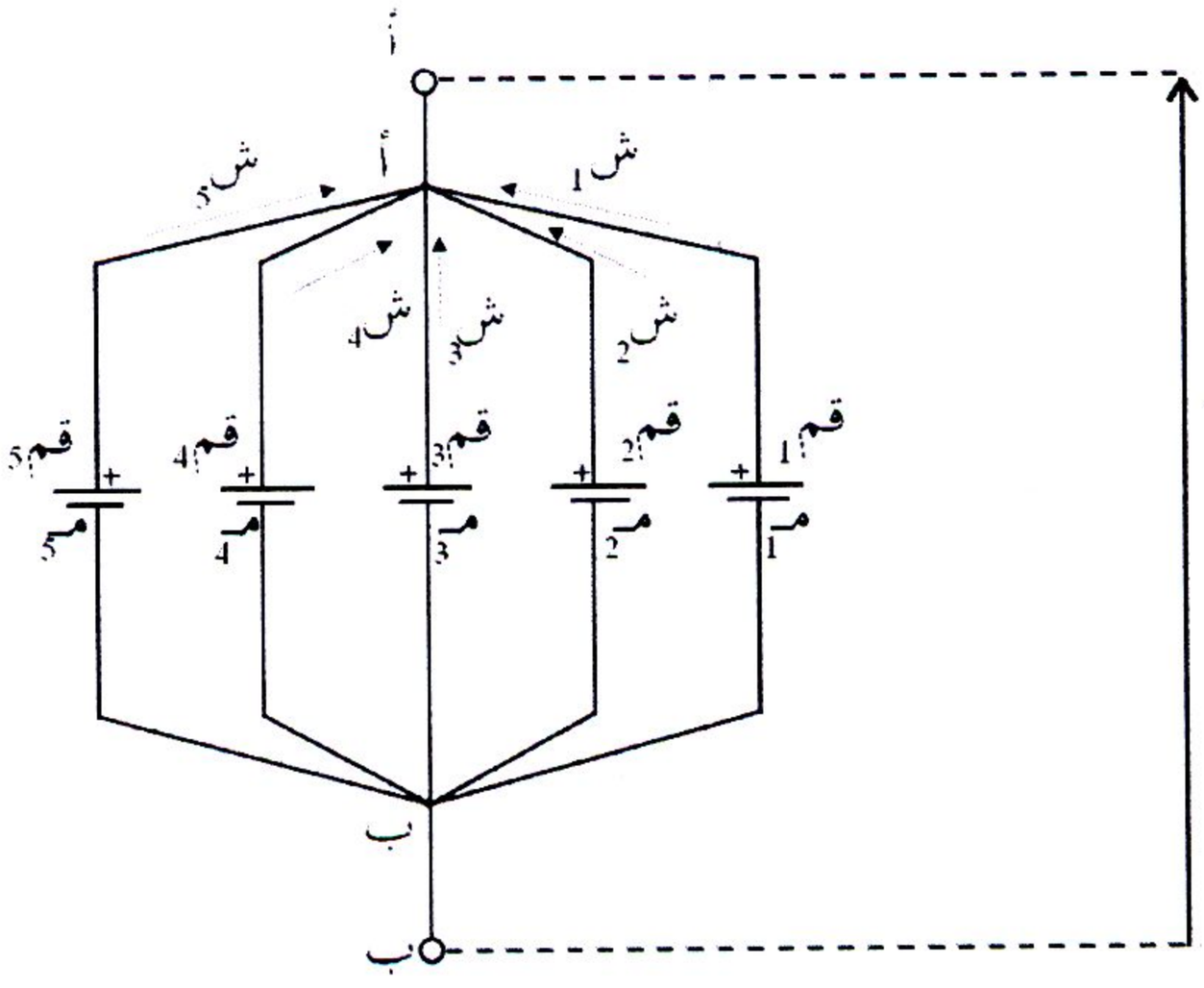
ملاحظة

1. إذا ركبت مجموعة مولدات على التسلسل وليست لها نفس الخاصيات، فإن المولد الذي يصب أضعف تيار هو الذي يحدد الاستطاعة الكلية.

2. ماذا يحدث لو وصلت مولدات على التسلسل، ولكن بعضها معكوس القطبية كما يوضحه الشكل 4 ؟ في هذه الحالة نقوم بعملية الطرح، وعليه :

$$\text{قم} = \text{قم}_1 + \text{قم}_2 - \text{قم}_3 - \text{قم}_4 + \text{قم}_5 + \text{قم}_6$$

$$E = e_1 + e_2 - e_3 - e_4 + e_5 + e_6$$



الشكل 5. تجميع المولدات في توازي.

2.2. توازي المولدات

نفرض أن المولدات — وعددها ن — متطابقة، أي لها نفس الخصائص بحيث تمتاز بنفس القوة الكهروحركة ونفس المقاومة الداخلية. تركب هذه المولدات بحيث أن كل الأقطاب الموجبة مجموعة في القطب أ وكل الأقطاب السالبة تجمع في القطب ب (الشكل 5).

إن فرق الكمون بين قطبي كل مولد هو :

$$ف_{أب} = قم_1 - مـــ_1 ش_1 \qquad V_{AB} = e_1 - r_1 I_1$$

حيث ش$_1$ هو شدة تيار كل مولد، أي ش$_1$ = ش$_2$ = ش$_3$ = ش$_4$ = ش$_5$.

إن المولد المطابق يصب تيارا مكافئا هو :

$$ش = ن\ ش_1 = ن\ ش_2 = ن\ ش_3 = ن\ ش_4 = ن\ ش_5$$

$$I = n_{I_1} = n_{I_2} = n_{I_3} = n_{I_4} = n_{I_5}$$

وهو عبارة عن التيارات التي تمنحها مختلف المولدات فتتجمع وتتفرغ في هذا التيار الأساسي ش.

يمتاز المولد المكافئ بخاصيتين أساسيتين، إحداهما قوته الكهروحركية وهي قم والثانية مقاومته الداخلية وهي مـــ. ومن ذلك أمكن كتابة المعادلة التالية :

$$ف_{أب} = قم - مـــ\ ش \qquad V_{AB} = e - r\ I$$

وبتكافؤ المعادلتين، وعلما أن ش$_1$ = $\frac{ش}{ن}$، نحصل على ما يلي :

$$قم = قم_1 \qquad e = e_1$$

$$\text{مـــ} = \frac{\text{مـــ}_1}{\text{ن}} \qquad \mathbf{r = \frac{r_1}{n}}$$

إذن القوة الكهرومحركة المكافئة هي القيمة المشتركة للقوة الكهرومحركة لكل مولد، في حين المقاومة الداخلية المكافئة هي ن مرة أضعف من المقاومة الداخلية لكل مولد، مع العلم أنه في هذا المثال بالذات ن = 5.

يتم إستعمال مثل هذا التركيب المتوازي بُغية تجميع التيارات المصبوبة من طرف كل مولد لينشأ تيار مضخم جامع مع الحفاظ على نفس الجهد المسجل بين قطبي التركيب المتوازي. ومن هنا نستخلص أن هذا النوع من التجميع يُستعمل كلما كان التيار المرغوب فيه ضعيفا ليضخم مع الإبقاء على نفس الجهد دون تغيير.

ملاحظة

1. تدعى التيارات ش1 = ش2 = ش3 = ش4 = ش5، بإصطلاح التيارات الفرعية وتعادل $\frac{\text{ش}}{\text{ن}}$ والتي تصب كلها فيما يُعرف إصطلاحا التيار الأساسي ش.

2. لو كان تجميع التوازي لمولدات غير متطابقة (أي أنها مختلفة الخصائص)، فإن المولد الذي يحتوي على أكبر قوة كهرومحركة سيصب داخل المولدات الأخرى. وإن كانت المقاومة الداخلية لهذه المولدات ضعيفة، فستنشأ تيارات ضخمة تؤدي إلى تحطيم الأجهزة.

3. دارة القصر

عندما يوضع بين قطبي مولد سلك ناقل ذو مقاومة شبه معدومة، يصبح المولد موصول القطبين وعندها يعرف اصطلاحا بأن المولد في دارة قصر، أي أنه مقصور.

في هذه الحالة، تصبح شدة التيار هي حاصل قسمة القوة الكهرومحركة على المقاومة الداخلية للمولد، وقد تبلغ هذه الشدة قيما ضخمة جدا... بضع مئات الأمبير. عندها يتولد عن هذه الشدة انتشار الحرارة عبر هذا المولد، وهو الشيء الذي يؤدي حتما إلى تحطيم سريع للجهاز.

لذلك تؤخذ احتياطات الأمن اللازمة لتفادي إتلاف المولدات، أو أي جهاز آخر، عند حدوث دارة قصر وذلك بتركيب ما يعرف بإصطلاح فاصمة منصهرة بين قطبي الجهاز المدروس. كيف ذلك ؟

عندما يتعرض الجهاز إلى دارة قصر وتُسجل شدة ضخمة، فعوض أن يتحطم الجهاز ينصهر ويذوب سُلَيْك الفاصمة ليعزل بذلك الجهاز عن أي شدة تيار ضخمة. والوقت المستغرق بين تسجيل الشدة الضخمة وذوبان السليك لا يتجاوز أجزاء من الثانية، الشيء الذي يحفظ الجهاز من الإتلاف بعزله عن الدارة... وعن كيفية صنع واشتغال الفاصمة، تجد في الفصل 4 من الجزء الثاني معالجة مفصلة لذلك.

أعمال تطبيقية

تمرين

من خلال الشكل 2.1، استخرج قيمة المقاومة م التي تحقق أقصى استطاعة مبددة في شكل حرارة داخلها.

الجواب

تطبيق قانون بوييه على الشكل 1 يؤدي إلى المعادلة :

$$\text{قم} = (\text{م} + \text{مـــ})\ \text{ش} \qquad e = (R + r)\ I$$

حيث :

- قم هي القوة الكهرومحركة للمولد : قم [فو]
- مـــ هي المقاومة الداخلية للمولد : مـــ[Ω]
- ش هي شدة تدفق التيار النابع من المولد : ش [آ]

وتكون الاستطاعة المستقبلة داخل المقاومة م هي :

$$\text{عه} = \text{م ش}^2 \qquad P = R\,I^2$$

تكييف قانون بوييه لاستخراج الشدة ش يمنح المعادلة التالية :

$$\text{ش} = \frac{\text{قم}}{\text{مـــ} + \text{م}} \qquad I = \frac{e}{R + r}$$

وبالتعويض في المعادلتين نحصل على ما يلي :

$$\text{عه} = \text{م}\left(\frac{\text{قم}}{\text{مـــ} + \text{م}}\right)^2 \qquad P = R\left(\frac{e}{R+r}\right)^2$$

وباعتبار أن القوة الكهرومحركة قم ثابتة فإن الاستطاعة عه تكون قصوى عندما تكون النسبة $\frac{\text{م}}{(\text{مـــ} + \text{م})^2}$ قصوى، والتي يمكن كتابتها في الشكل التالي :

$$\frac{1}{\frac{(\text{مـــ} + \text{م})^2}{\text{م}}} = \frac{\text{م}}{(\text{مـــ} + \text{م})^2} \qquad \frac{R}{(r+R)^2} = \frac{1}{\frac{(r+R)^2}{R}}$$

ومن ذلك تعاد كتابة المعادلة السابقة على الشكل التالي :

$$\frac{1}{\left(\frac{r+R}{\sqrt{R}}\right)^2} = \frac{1}{\left(\sqrt{R} + \frac{r}{\sqrt{R}}\right)^2} \quad \text{أو} \quad \frac{1}{{}^2\left(\frac{\text{مـــ}}{\sqrt{\text{م}}} + \sqrt{\text{م}}\right)} = \frac{1}{{}^2\left(\frac{\text{م} + \text{مـــ}}{\sqrt{\text{م}}}\right)}$$

وتكون هذه النسبة قصوى عندما يكون المقام في أدنى قيمة له، أي أن العبارة التي بين قوسين تكون صغرى. ولا يكون ذلك حتى تتساوى القيمتان العدديتان، أي بعبارة رياضية نكتب المعادلة التالية :

$$\frac{\text{مـــ}}{\sqrt{\text{م}}} = \sqrt{\text{م}} \qquad \sqrt{R} = \frac{r}{\sqrt{R}}$$

إذن : $\sqrt{\text{م}} \cdot \sqrt{\text{م}} = \text{مـــ}$ $\qquad \sqrt{R} \cdot \sqrt{R} = r$

وعليه : $\text{م} = \text{مـــ}$ $\qquad R = r$

وهذه المعادلة هي الشرط الضروري لحدوث التحويل الأقصى للاستطاعة من المولد ف نحو المقاومة م، وعليه فلا بد من تعادل المقاومة م بالمقاومة الداخلية مـــ للمولد ف ليتم تسليم أقصى استطاعة.

مسائل

1. ما علاقة قانون بوييه بالدارة المكافئة للمولد ؟ اشرح.

2. لماذا خاصية الدالة ف (ش) هي خطية متناقصة ؟ اشرح.

3. كل مولد يمتاز بخاصيات منها القوة الكهروحركية والمقاومة الداخلية. هل يحدث أن تُعدل هاتان الخاصيتان عندما يوصل المولد عبر تركيب كهربائي ؟ علل.

4. كيف يتم استخراج الخاصيات الفنية للمولد عن طريق المنحنى ؟ اشرح.

5. هل في تجميع المولدات بتسلسل قيود يجب احترامها ؟ علل.

6. اجتهد في ذكر سبب تركيب المولدات في تسلسل.

7. هل في توازي المولدات شروطا يجب احترامها ؟ اذكرها مع التعليل.

8. اجتهد في ذكر سبب تركيب المولدات في توازي.

9. ما المقصود بمولد مقصور ؟ أي خطر يمكن لدارة القصر أن تمثله على المولد ؟ اشرح.

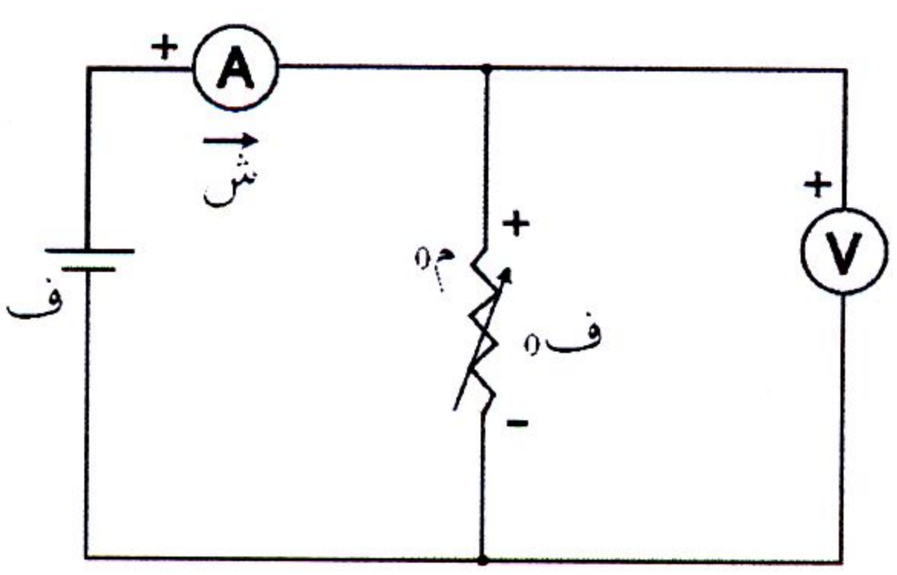
10. ما هي وظيفة الفاصمة ؟ اجتهد في ذكر كيفية اشتغالها.

11. توصل بطارية، خاصيتها 1,5 فولط و1 أوم، بثلاث مقاومات على التسلسل م$_1$ = 2 Ω، م$_2$ = 1 Ω، م$_3$ = 1 Ω. ما هي شدة التيار ؟

12. يمتاز مولد بقوة كهروحركة قم = 12 فولط ومقاومة داخلية مـــ = 1 أوم. يوصل المولد بشبكة كهربائية عبر سلك معدني ناقل مقاومته 5 أوم.

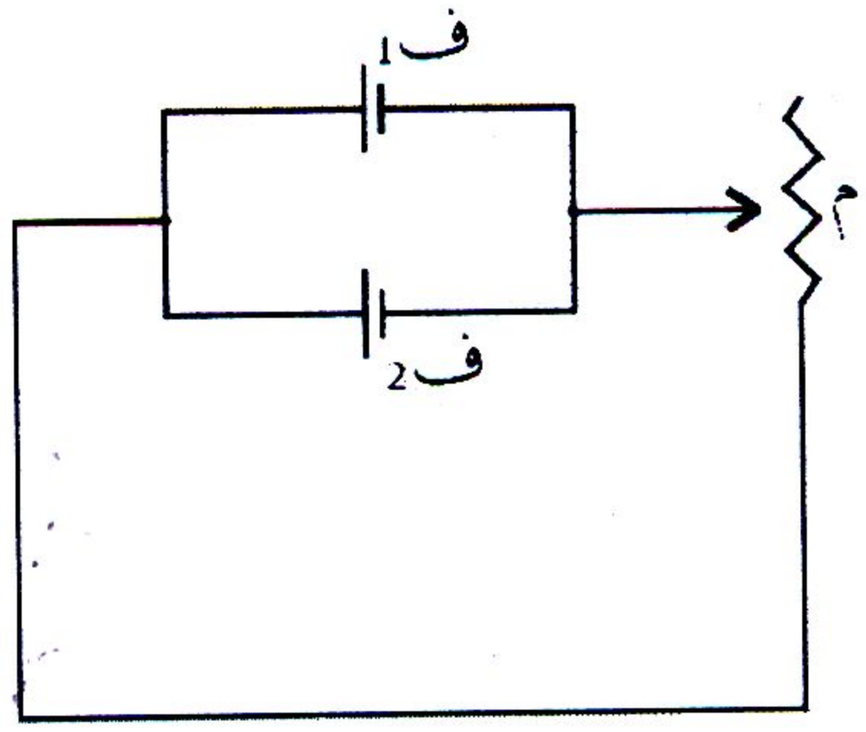
1. أحسب شدة التيار المنساب عبر الشبكة.
2. استنبط الاستطاعة الممنوحة لهذه الشبكة.

13. من خلال الشكل 6، أثبت، باستعمال تجميع فروق الكمون، أن الاستطاعة الممنوحة إلى المقاومة م$_0$ بواسطة ظاهرة جول هي عظمى عندما تكون المقاومة الداخلية مـــ للمولد ف مساوية لهذه المقاومة (أي م$_0$ = مـــ).



الشكل 6. المسألة 13

14. يمثل الشكل 7 تركيبا متوازيا لمعدلة مقاومتها م = 30 Ω ومولدين ف$_1$ و ف$_2$، حيث القوة الكهروحركة للأول هي قم$_1$ = 4,5 فو ومقاومته الداخلية مـــ$_1$ = 2 Ω، وأما القوة الكهروحركة للثاني فهي قم$_2$ = 2 فو ومقاومته الداخلية مـــ$_2$ = 1 Ω.



الشكل 7. المسألة 14

1. ما هي معادلة بوييه لكل مولد ؟ ارسم المنحنيين ف$_1$ (ش$_1$) و ف$_2$ (ش$_2$).

2. ابحث عن معادلة بوييه للمولد المكافئ. استخرج قوته الكهرومحركة ومقاومته الداخلية.

3. ما الغرض من تركيب المعدلة ؟

4. ماذا يحدث لو أن مـــ$_1$ >> مـــ$_2$ ؟ اشرح.

الفصل 18

المستقبل

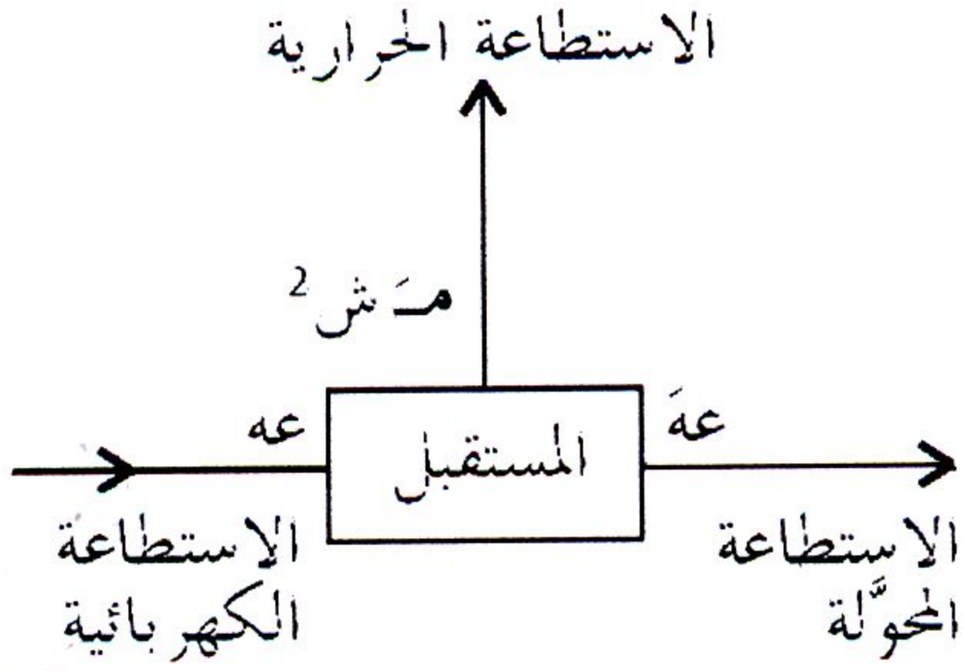
إن بذل طاقة كهربائية بواسطة مولد، الهدف منها هو تسليمها لتركيبات وأجهزة كهربائية قصد تشغيلها الملائم. تعرف مثل هذه التجهيزات الكهربائية بإصطلاح المستقبلات. فما هي يا ترى ؟

1. الاستطاعة المستقبلة

1.1. مفعول الخسائر

عندما يعبر تيار كهربائي سلكا ناقلا، وبفعل ظاهرة جول، تنتشر الحرارة من على السلك الناقل. لكن تخيل ماذا يحدث لو عبر تيار (وهو الحامل للطاقة الكهربائية) محركا كهربائيا مثلا ؟

يبدأ المحرك في الدوران وبذلك فهو يشتغل، أي أنه ينجز عملا ما، كرفع الأثقال مثلا. لكن هل الطاقة الكهربائية المستقبلة التي تُمنح لتشغيل المحرك هي كلها التي حُولت إلى طاقة ميكانيكية تُساهم في دورانه ؟



الشكل 1. تمثيل المستقبل

لا بالطبع، فقسم من هذه الطاقة الكهربائية، ودائما بفعل ظاهرة جول، تتحول إلى حرارة. وعليه فالمستقبل[1] هو جهاز يحول الطاقة الكهربائية المستقبلة، عندما يجتازه تيار كهربائي، إلى شكل آخر من أشكال الطاقة غير الشكل الحراري كأن تكون طاقة ميكانيكية مثلا أو طاقة كيماوية، إلخ.

2.1. الخاصيات الفنية

يمتاز المستقبل بمقاومة داخلية مَـــ مثله مثل المولد، فعندما يعبره تيار شدته ش يتبدد قسم من الاستطاعة في شكل حرارة وذلك بواسطة ظاهرة جول، أي مَـــ ش². فإذا كانت الاستطاعة المحولة هي عهَ (الشكل 1)، فإن المستقبل يمتص، أي يستقبل قصد الإستهلاك، استطاعة كهربائية عه تعادل :

$$\text{مَـــ ش}^2 + \text{عهَ} = \text{عه} \qquad P = P' + r' I^2$$

وعندما نتفحص هذه المعادلة، تبرز لنا ثلاث حالات مستقلة هي :

---

1. وقد يسمى كذلك باصطلاح الآخذ.

– **أولا** : لاحظ أنه عندما تكون الاستطاعة المحولة كلها عبارة عن حرارة، بمعنى :

$$\text{عه} = \text{مَـ} \cdot \text{ش}^2 \qquad P = r' I^2$$

$$\text{أي أن : } \text{عه}' = 0 \qquad P' = 0$$

فإن الجهاز يتحول من وظيفة مستقبل ليصبح عبارة عن مقاومة ميتة صافية، وهي وظيفة جديدة تسجل على سبيل المثال في المصباح والمكواة... وغيرهما كثير في الحياة اليومية للفرد، وهي دراسة عولجت بإسهاب في الفصل 13.

– **ثانيا** : وأما عندما تصبح المعادلة :

$$\text{عه} = \text{عه}' \qquad P = P'$$

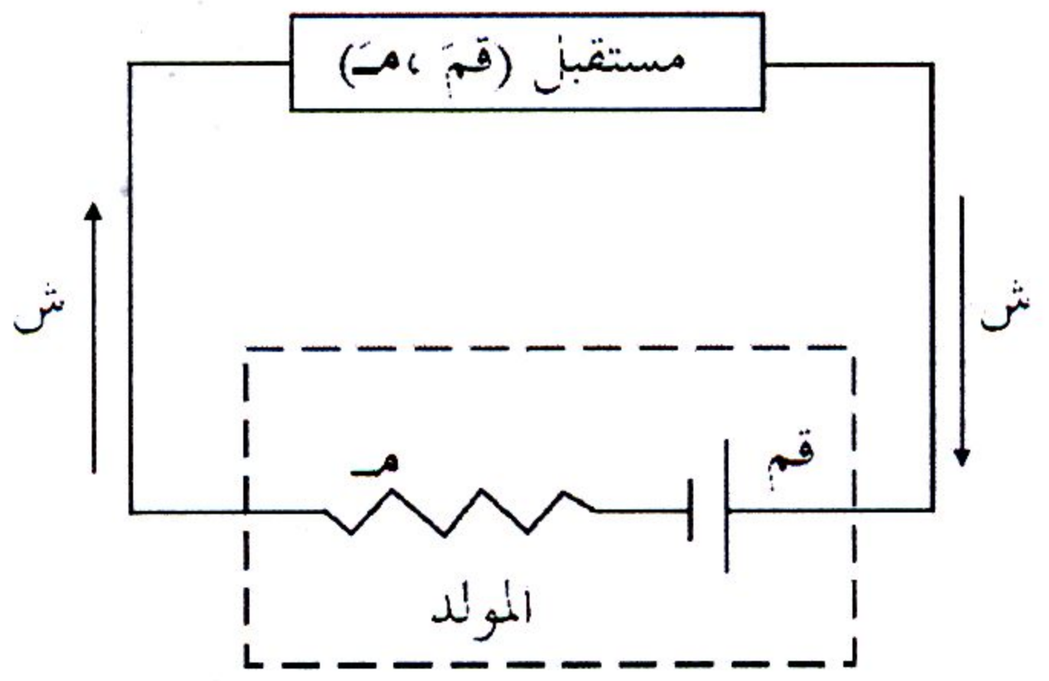
بمعنى أن الخسائر الحرارية معدومة (أي مـَ . ش^2 = 0)، أي أن المستقبل يمتاز بمقاومة داخلية مـَ معدومة، وفي هذه الحالة يكون المستقبل مثاليا. تعتبر هذه الحالة أمرا يصعب إنجازه، وإلا فكيف تعدم المقاومة الداخلية للمولد مـَ وهي التي تمثل الأسلاك.

– **ثالثا** : عندما يعبر تيار شدته ش مستقبلا، فإن الاستطاعة الكهربائية عه تحول إلى استطاعة عه' في وجه جديد تختلف تماما عن شكل الإستطاعة الممنوحة، بالإضافة إلى ظهور بعض الخسائر الحرارية.

نعرف خاصية ثانية للمستقبل، وهي القوة الكهروحركية العكسية قم'، على أنها حاصل قسمة الاستطاعة المحولة عه' على شدة التيار ش، أي :

$$قم' = \frac{عه'}{ش} \qquad e' = \frac{P'}{I}$$

وتلاحظ أن هذه القوة عبارة عن حاصل قسمة وحدات الواط على وحدات الأمبير، تماما مثل ما هو الحال لنسبة فرق الكمون. إذن فإن وحدة القوة الكهرومحركة العكسية هي الفولط تماما كوحدة القوة الكهرومحركة.



الشكل 2. استخراج قانون بوييه

2. قانون بوييه

يستعمل مولد ذو قوة كهرومحركة قم ومقاومة داخلية مـــ لتغذية مستقبل بقوة كهرومحركة عكسية قم' ومقاومة داخلية مـــ' (الشكل 2). تكون الاستطاعة الكهربائية المستهلكة، عه = قم × ش، هي مجموع الحدود التالية :

– الخسائر الحرارية في المستقبل :

$$مَـــ ش^2 \qquad r' . I^2$$

– الاستطاعة المحولة من طرف المستقبل :

$$عهَ = قمَ \times ش \qquad P' = e' . I$$

– الخسائر الحرارية في المولد :

مـــ . ش^2 $\quad r . I^2$

إذن رياضيا، تكتب المعادلة التالية :

عه = عهَ + مَـــ ش^2 + مـــ ش^2 $\quad P = P' + r' I^2 + r I^2$

وعليه : قم ش = قمَ ش + مَـــ ش^2 + مـــ ش^2

$$e I = e' I + r' I^2 + r I^2$$

ولو قسمنا المعادلة السابقة على ش، فإننا نحصل على ما يلي :

قم = (مـــ + مَـــ) ش + قمَ $\quad e = (r + r') I + e'$

وعليه :

قم - قمَ = (مـــ + مَـــ) ش $\quad e - e' = (r + r') I$

وهذه المعادلة تعرف بقانون بوييه.

ومن خلال هذه المعادلة الأخيرة، تلاحظ أن المستقبل يتصرف وكأنه مولد يُركب معكوسا أي معكوس القطبية، أو بعبارة أخرى وكأنه مولد بقوة كهرومحركة سالبة. ومن هذا الشرح، تلاحظ سبب الاصطلاح السابق : القوة الكهرومحركة "العكسية".

وإذا عممنا قانون بوييه، فإننا نقول أن طرح مجموع القوى الكهرومحركة والقوى الكهرومحركة العكسية هو عبارة عن جداء ضرب الشدة في مجموع مقاومات التركيب، مقاومات داخلية كانت أم خارجية (مقاوم). وعليه نكتب ما يلي :

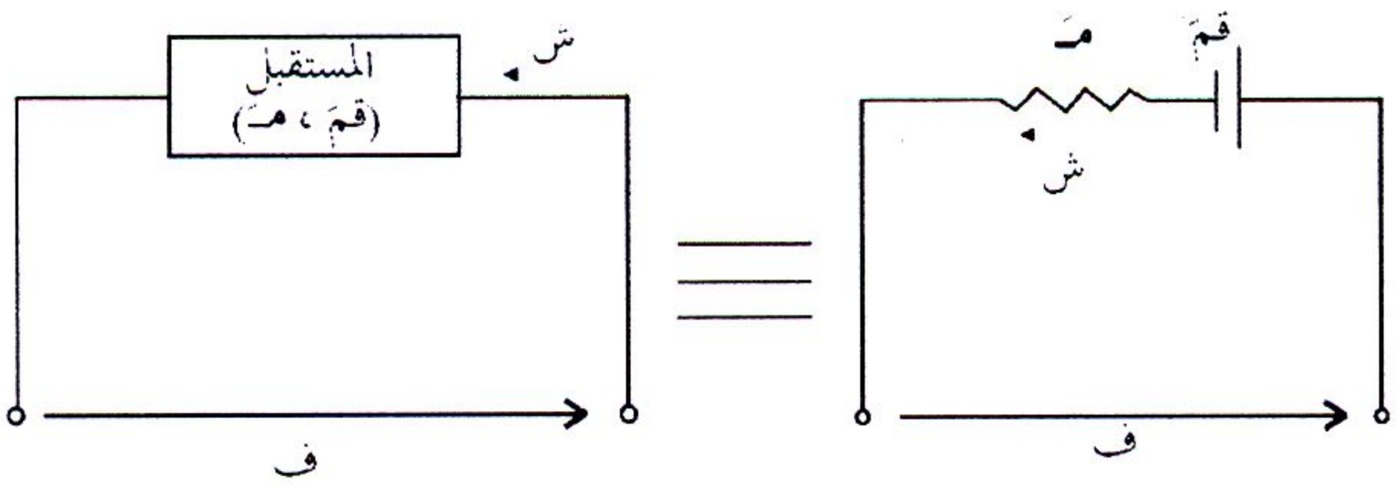
$$\sum قم - \sum قم' = ش (\sum م + \sum مـ)$$

$$\sum e - \sum e' = I\left(\sum R + \sum r\right)$$

3. الدارة المكافئة

1.3. قانون أوم

لو طبقنا جهدا (أي فرق كمون) ف بين قطبي المستقبل فسوف يعبر هذا الأخير تيار شدته ش، وعليه فإن هذا المستقبل سوف يتلقى استطاعة كهربائية مساوية للقيمة عه = ف × ش.



الشكل 3. الدارة المكافئة للمُستقبِل

قسم من هذه الاستطاعة عه يُحول إلى حرارة تعادل مَـــ ش²، وأما الباقي المعادل للقيمة عه' = قم' × ش فإنه يحول لما صنع لأجله المستقبل، طاقة كيماوية أم طاقة ميكانيكية، أو غيرهما. رياضيا هي المعادلة التالية :

$$عه = عهَ + مَـــ ش^2 \qquad P = P + r I^2$$

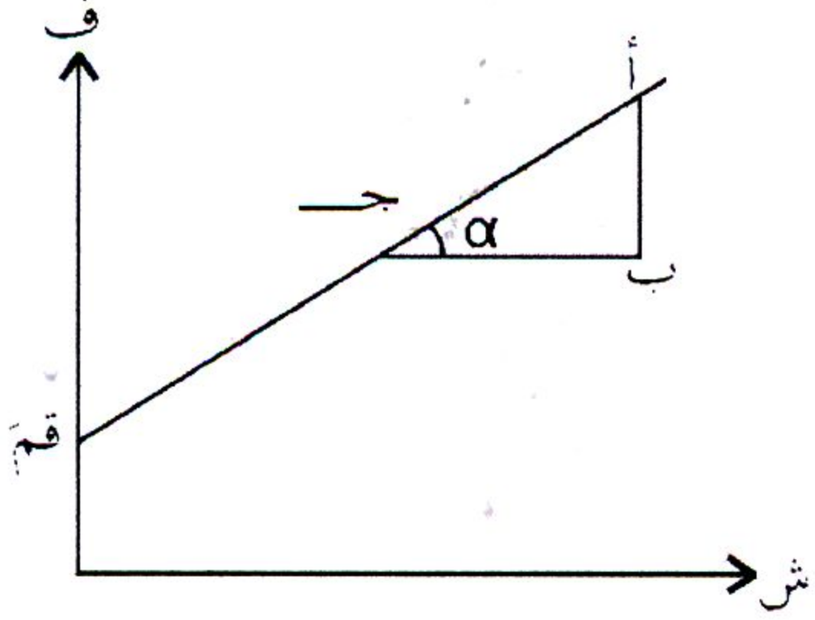
وباعتبار قانون حفظ الطاقة، فمن الممكن كتابة المعادلة التالية :

$$ف ش = مَـــ ش^2 + قمَ ش \qquad V I = r' I^2 + e' I$$

ولو قسمنا المعادلة السابقة على الشدة ش فسنحصل على ما يلي :

$$ف = قمَ + مـَ ش \qquad V = e' + r' I$$

وهو ما يعرف بقانون أوم للمستقبل، ومن خلاله يمكن الاستنتاج أن هذا القانون يمثل الدارة المكافئة للمستقبل. وعليه تستخرج الدارة المكافئة الموضحة في الشكل 3.



الشكل 4. تغيرات الجهد بدلالة الشدة

2.3. تغيرات المنحنى

تعلم أنه لكل قانون تجربة تُثبته، فكذلك الحال بالنسبة للمستقبل إذ يمكن البرهنة على المعادلة السابقة تجريبيا.

يمكن ذلك بواسطة دراسة تغيرات المتغير الأول وهو الجهد ف بدلالة المتغير الثاني وهو الشدة ش، إذ بعد رسم هذه التغيرات نحصل على منحنى بياني يسمح بتحديد الوسيطين قم' ومـــ' (الشكل 4).

إن نقطة تقاطع محور التراتيب مع المنحنى ف(ش) هو الثابت قم'، في حين ميل هذا المستقيم بالنسبة لمحور الفواصل هو الثابت مـــ' ويُستخرج بالطريقة الموالية :

$$\text{مـــ}' = \text{ظل}\,\alpha = \frac{\text{أب}}{\text{ب جـــ}} \qquad r' = \text{tang}\,\alpha = \frac{a\,b}{b\,c}$$

وكخلاصة، ومن خلال المعادلة السابقة، يمكننا استخراج الدارة المكافئة للمستقبل والتي تطابق الدارة الموضحة في الشكل 3، وهي طريقة مماثلة تماما للطريقة المستعملة لإستخراج الوسيطين قم ومـــ عند دراسة المولد.

مسائل

1. مـــا الفرق بين المولد والمستقبل ؟ اشرح مع ذكر كيفية استعمالهما كنظام مرجعي.

2. اجتهد في ذكر الفرق بين المستقبل والحمولة. علل.

3. ما هي خاصيات المستقبل ؟ هل تماثل خاصيات المولد ؟ قارن.

4. اجتهد في تعريف المستقبل المثالي. بما يمتاز ؟ علل.

5. مـــا مدلول لفظ "عكسية" كصفة للقوة الكهرومحركة للمستقبل ؟ اشرح. اجتهد في ذكر وظيفتها داخل تركيب كهربائي.

6. كيف تبدد الاستطاعة في المستقبل ؟ ما الفرق بينه وبين المولد عند حدوث التبدد ؟

7. تتحرر الطاقة الحرارية من المستقبل. ما المتسبب فيها ؟ اذكر كيفية هذا التحرر. هل يوجد هناك خطر ؟ اشرح.

8. ما الذي يحدث لو كانت الاستطاعة المستهلكة عبر المستقبل محررة كلـــية في شكل خسائر حرارية ؟ كيف تعرف هذه الوظيفة الجديدة للمستقبل ؟ علل مع إعطاء أمثلة.

9. مـــا نـــص قانون بوييه ؟ ما مدلوله والغرض من دراسته ؟ ما وجه الاختلاف والتشابه بينه وبين مثيله في المولد ؟ علل.

10. ما هي الدارة المكافئة للمستقبل ؟ كيف يتم تحديد وسيطيها ؟ ما الغرض من دراستها ؟ علل.

حل المسائل

الفصل 4 : المجال الكهربائي

6. 0,0001 نيوتن.

7. 9×10^{-5} نيوتن.

8. 40 نيوتن.

9. 1. $ح_1 = 35\,125$ نيوتن/كولومب، $ح_2 = 125\,000$ نيوتن/كولومب.

2. $ق_1 = 0,11$ نيوتن، $ق_2 = 0,11$ نيوتن.

10. 12 نيوتن.

11. 1,5 سم.

12. 1. 28 125 فو/م. **2.** 62 500 فو/م.

13. 1. -1 500 نيوتن/كو. **2.** $2,4 \times 10^{-6}$ نيوتن. **3.** $1,67 \times 10^{-26}$ نيوتن.

14. 50 سم من شحنة و50 سم من الأخرى.

15. $ف_أ - ف_ب = 4\,500$ فو.

16. $ك_2 = \frac{ك_1}{2}$

الفصل 5 : المكثفة

11. +0,45 كولومب، -0,45 كولومب.

12. 1,95 بيكوفاراد.

13. 67,2 بيكوكولومب.

14. 5,63 ميلي جول.

15. 1. -63μ كو، **2.** 12,6 فولط.

الفصل 6 : الكهروعازل

6. 5 ميلي فاراد.

7. 3μ فاراد.

8. 5 فو.

9. 1. -40 بيكوفاراد. **2.** 5 بيكوفد.

10. 3 جول.

11. 10,27 $م^2$.

12. 1. 1,34 نانوفد. **2.** $2,67 \times 10^{-5}$ كو.

الفصل 7 : تطبيقات المكثفة

6. 40,82 كجول.

7. 1. 33 بيكوفد. **2.** 96 بيكوفد.

8. $1,78 \times 10^{-8}$ كولومب.

9. 1. 22,125 بيكوفد. **2.** 88,5 بيكوفد.

11. 6 فولط.

12. 4,2 µ فد.

13. 0,33 ميلي جول.

14. 4,3 فولط.

15. 22 µ فد.

الفصل 8 : أنواع المكثفات

6. 50 كيلوفولط.

7. 6 ميكروفاراد.

8. 12 ميكروجول.

9. 1. 18,585 بيكوفاراد **2.** 78,057 بيكوفاراد **3.** أنظر الجدول 2، $\varepsilon_{\text{الزجاج}} > \varepsilon_{\text{الهواء}}$

10. 1. 2,90 **2.** 109 بيكوفاراد.

11. 1. 5,5 µ كو. **2.** $3,03 \times 10^{-4}$ جول. **3.** 72 طبق ميكا و73 طبق معدني.

12. 1. 0,565 م^2. **2.** 2,1 نانوفاراد. **3.** 50 × 10^{-9} كولومب.

4. ح = 10^4 فو/م، ق = $1,6 \times 10^{-15}$ نيوتن، $\overrightarrow{ف}$ في اتجاه معاكس $\overrightarrow{ح}$.

الفصل 9 : الطاقة الكهربائية

9. 240 كجول.

10. 12 جول.

الكهرباء الساكنة – الكهرباء المتحركة

11. سر$_1$ = 2,415م/ثا، سر$_2$ = 4,83م/ثا

الفصل 10 : التيار الكهربائي

6. 5 آ.

7. 0,015 كو.

8. 9 مآ.

9. 0,5 كو.

10. 1. شدة التيار. **2.** 75×10^{-3} كو. **3.** 20,83 µ كو.

11. 8 آ.

12. $3,125\times10^{18}$ إلكترون/ثا.

13. 3,2 مآ.

14. 1. إلكترونات. **2.** $12,49375\times10^{18}$ إلكترون/ثا.

3. $12,50\times10^{18}$ إلكترون/ثانية. **4.** $-6,25\times10^{15}$ إلكترون/ثا، شحنة موجبة.

الفصل 12 : المقاومة

7. 4,8 كيلوجول، 1,148 كيلوحريرة.

9. 1,27 ميلي Ω، 800 Ω^{-1}.

10. م $_{نحاس}$ = 0,061 Ω ، م $_{زجاج}$ = $3,537 \times 10^{18}$ Ω .

11. 156 Ω .

12. 1. 0,175 Ω . **2.** 0,00007 Ω .

الفصل 13 : تطبيقات المقاومة

6. 1 239 552 جول.

7. 120 كΩ ، 8,33 μ Ω^{-1} .

8. 0,1 Ω .

9. 1. 8,11 مم. **2.** 0,004 Ω .

10. 3,85 مم.

الفصل 14 : قانون أوم

6. 250 Ω .

7. 1. 7,5 Ω . **2.** 5×10^{-7} Ω م.

8. 1. 1,5 آ. **2.** $1,41 \times 10^{-4}$ Ω .م.

9. 13,75 Ω .

10. 28 μآ.

الفصل 15 : الاستطاعة

6. 1. 0,455آ. **2.** 484 Ω . **3.** 1, 08 كيلوجول.

7. 1. 15 Ω . **2.** 720 جول. **3.** $7,5 \times 10^{19}$ إلكترون.

8. 1,8 مآ.

9. 1. 20 ميلي Ω^{-1}. **2.** 20 فو.

10. 1. 1,9واط. **2.** لا.

11. 200 فو.

الفصل 16 : المولد

11. 30 واط، 6 فو.

12. 1. مثالي. **2.** 6 فو، 0 Ω. **3.** استحالة صنع مثل هذا المولد.

13. 2. قم = 100 فو، مـــ = 100 Ω.

الفصل 17 : تركيب المولد

11. 0,3 آ.

12. 1. 2 آ، **2.** 24 واط.

14. 1. ف$_1$ = 4,5 - 2 ش$_1$، ف$_2$ = 2 - ش$_2$. **2.** 0,65 Ω، 2,8 فو، ف = 2,8 - 0,65 ش. **3.** ضبط الشدة. **4.** اضطراب مع إمكانية تحطيم المولد ف$_2$.

المصطلحات

English	Français	عربي
Ground	Masse	الأرض
Consumption	Consommation	الاستهلاك
Saturation	Saturation	الإشباع
Radioactivity	Radioactivité	الإشعاعية
Valence electron	Electron de valence	إلكترون سطحي/مداري
Shift	Décalage	الإنْزياح (الزيحان)
Atomic structure	Structure atomique	البنية الذرية
Dissipation	Dissipation	التبدد
Circulation	Circulation	التجول
Transmutation	Transmutation	التحويل المعدني
Depot	Dépôt	الترسب
Doping	Dopage	التطعيم
Regulated power supply	Alimentation stabilisée	التغذية المستقرة
Chemical reaction	Réaction chimique	التفاعلات الكيماوية
Tolerance	Tolérance	التفاوت
Rectifying	Redressement	التقويم
Electric current	Courant électrique	التيار الكهربائي
Alternating current	Courant alternatif	التيار المتناوب
Time constant	Constante de temps	ثابت الزمن
Diode	Diode	الثنائية

المصطلحات

Chemical element	Elément chimique	العنصر الكيماوي
Fuse	Fusible	الفاصمة المنصهرة
Vacuum	Vide	الفراغ
Potential Difference	Différence de potentiel	فرق الكمون
Switch	Interrupteur	القاطعة
Pole	Pôle	القطب
Polarity	Pôlarité	القطبية
Electromotive Force	Force Electromotrice	القوة الكهروحركية
Atomic mass	Masse atomique	الكتلة الذرية
Quantum	Quantum	الكم
Physical quantity	Grandeur physique	الكمية الفيزيائية
Scalar quantity	Grandeur scalaire	الكمية السلمية
Electrostatics	Electrostatique	الكهرباء الساكنة
Electrokinetics	Electrocinétique	الكهرباء المتحركة
Dielectric	Diélectrique	الكهروعازل
Armature	Armature	اللبوس
Accessories	Accessoires	اللواحق
Electric field	Champ électrique	المجال الكهربائي
Output	Sortie	المخرج
Orbit	Orbite	المدار (المسار)
Input	Entrée	المدخل
Compound	Composé	المركب
Cross section	Section	مساحة المقطع العرضي

Attraction	Attraction	الجذب /التجاذب
Molecule	Molécule	الجُزَيْء
Breakdown voltage	Tension de claquage	جهد الانهيار
Load	Charge	الحمل (الحمولة)
Lines of forces	Lignes de force	خطوط القوة
Mixture	Mélange	الخليط
Resonant circuit	Circuit résonant	الدارة الرنانة
Short circuit	Court circuit	دارة القصر/مقصورة
Integrated circuit	Circuit intégré	الدارة المدمجة
Atom	Atome	الذرة
Chemical bounds	Liaisons chimiques	الروابط الكيماوية
Capacitance	Capacité	السعة
Stray Capacitance	Capacité parasite	السعة الشاردة
Permittivity	Permittivité	السماحية
Ion	Ion	شاردة (أيون)
Charge / Discharge	Charge / Décharge	الشحن/التفريغ
Electric charge	Charge électrique	الشحنة الكهربائية
Intensity	Intensité	الشدة
Kinetic Energy	Energie Cinétique	الطاقة الحركية
Potential Energy	Energie Potentielle	الطاقة الكمونية
Shell	Couche	الطبقة (الغلاف)
Insulator	Isolant	العازل
Atomic number	Nombre atomique	العدد الذري

Heat sink	Radiateur	المسرب الحراري
Quadratic Equation	Equation quadratique	المعادلة التربيعية
Reactance	Réactance	المفاعلة
Resistance/Resistor	Résistance	المقاومة/المقاوم
Internal resistance	Résistance interne	المقاومة الداخلية
Resistivity	Résistivité	المقاومية
Magnitude	Magnitude	المقدار
Capacitor	Condensateur	المكثفة
Source (Voltge source)	Source de voltage	المنبع (منبع الجهد)
Real graph	Courbe réelle	المنحنى الحقيقي
Ideal graph	Courbe idéale	المنحنى المثالي
Conductance	Conductance	المواصلة
Conductivity	Conductivité	الموصلية
Conductor	Conducteur	الناقل
Repulsion	Répulsion	النفر (التنافر)
Electronic components	Composants électroniques	النوابط الإلكترونية
Coil/Inductor	Bobine/Self	الوشيعة
Voltage drop	Chute de tension	هبوط الجهد

Bibliographie

1. *Introduction to circuits* : L. W. CHURCHMAN
HOLT, Rinehart and Winston, New York, 1976.

2. *Resistive and Reactive Circuits* : P. A. MAVINO
Mc Graw – Hill Book Company, New York, 1974.

3. *Fundamentals of Physics* : D. HALLIDAY – R. RESNICK
John Wiley & Sons Inc., 1974 (Revised Printing).

4. *L'Electronique* : B. GROB
Mc Graw – Hill Book Company, Québec, 1983 (2ème édition).

5. *COURS d'électronique* (tomes 1 et 2) : F. Milsant
Eyrolles, Paris, 1980.

6. *Electrotechnique à l'usage des Ingénieurs (tome 1)* :
A. FOUILLE. Dunod, Paris, 1981 (11ème édition).

7. *A Comprehensive Dictionnary of Electrical Engineering* :
A. AL AWSI. Arab Scientific Publishers, Beirut, 1988.

8. *Dictionnaire de Physique* : J. P. SARMANT
Hachette, 1981.

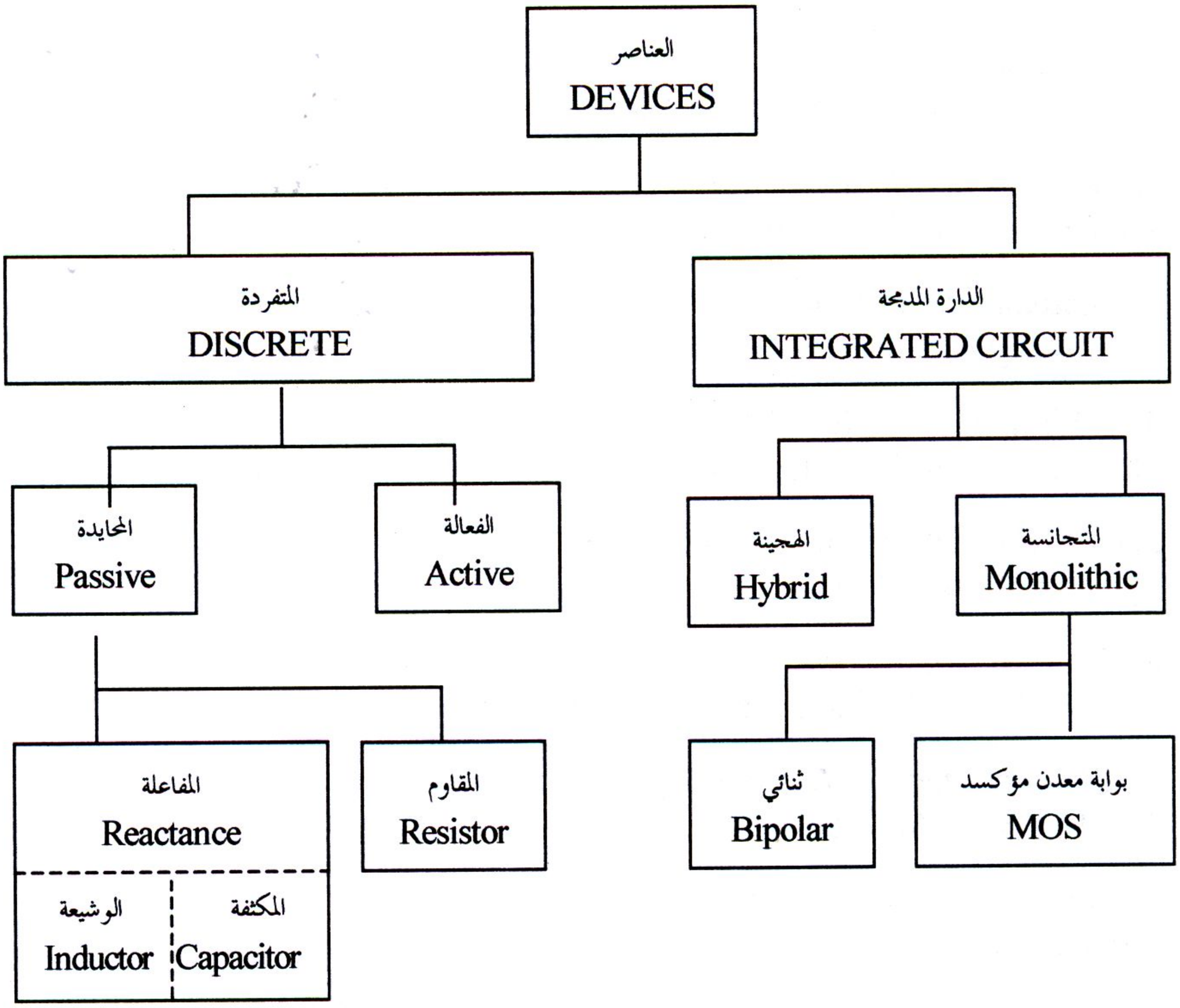
9. *Physique* : A. SAISON – G. ALLAIN – M. BLUMEAU-
C. HERCHEN – R. MERAT – J. NIARD, Fernand Nathan.

10. *Al Mawrid* : M. BAALBAKI
Dar EL ILM Lil Malayen, Beirut 1984 (18 ème édition).

11. *Electronique Radio TV HIFI* : R. BESSON
Dunod.

الملحق 1

تصنيف النوابط الإلكترونية



تصنف النوابط الإلكترونية حسب وظيفتها وطريقة تصنيعها، بحيث تقسم هذه النوابط الإلكترونية إلى قسمين أساسيين هما : النوابط المتفردة والدارات المدمجة.

1. النوابط المتفردة

تتكون من عناصر منفصلة على نحو واضح، بحيث يصنع كل نبيط لوحده لينجز وظيفة محددة. عموما، يضم هذا القسم عائلتين أساسيتين هما النوابط الفعالة والنوابط المحايدة.

فأما النوابط المحايدة فهي عموما النوابط المستهلكة للطاقة، وأهم خاصية تمتاز بها هي أنها نوابط خطية تسمح بتطبيق قانون أوم عليها. من هذه النوابط وأشهرها على الاطلاق في علم الإلكترونيات هو المقاوم، بالإضافة إلى النوابط المفاعلة والتي تعتبر مخزنا للطاقة الكهربائية وتتمثل في المكثفة والوشيعة.

أما النوابط الفعالة، فهي عموما كل النوابط التي تصنع من الوصلة م س كالثنائية مثلا وترانْزِسْطُر الثنائي، وأهم خاصياتها أنها تؤثر بشكل مباشر على الطاقة الواردة عليها فتحول أحد وسائطها لتنجز وظيفة حددت من قبل، ومن هذه الوظائف مثلا التضخيم، التقويم، تغيير التردد، تغيير الطور، ...

2. الدارة المدمجة

بواسطة عمليتي الترسب والتطعيم، يتم دمج النوابط الفعالة والمحايدة قصد ضمان وظيفة أو مجموعة وظائف لدارة إلكترونية.

تقوم هذه الدارات المدمجة عادة بإنجاز هذه الوظائف عن طريق تنفيذ مهام وتحقيق دوال رياضية... إلى أن طورت هذه التكنولوجية في السنوات الأخيرة فصممت المعالجة الدقيقة، أو ما يعرف بإصطلاح المَيْكْرُوبْروسِسُور.

يتم تصنيف الدارات المدمجة حسب تكنولوجية الصنع، فمنها الدارات المتجانسة وهي دارات مدمجة مصنوعة داخل وحدة بلورية فريدة (Unique Block) مصغرة وموحدة الشكل متجانسة.

وأما الدارات المدمجة الهجينة فهي تحتوي على نوعين أو أكثر من النوابط المختلفة كالثنائية وترانزسطر بأنواعه، وتقوم بمهام متشابهة.

الملحق 2

رمز الكميات الفيزيائية

Physical quantity	الوحدة العالمية		الرمز		الكمية الفيزيائية
Distance	M	م	d	س	المسافة
Length	M	م	ℓ	ل	الطول
Radius	M	م	R	نق	نصف القطر
Area	m^2	$م^2$	A	ع	المساحة
Cross section	m^2	$م^2$	S	ع	المقطع العرضي
Volume	m^3	$م^3$	v	ح	الحجم
Mass	Kg	كغ	m	ك	الكتلة
Time	Sec	ثا	t	ز	الزمن
Angle	Radian	راديان	α – θ	θ – α	الزاوية
Velocity/speed	M/Sec	م/ثا	v	سر	السرعة
Gravity	M/sec^2	$م/ثا^2$	g	ج	الجاذبية
Force	N	نيوتن	f	ق	القوة
Energy	J	جول	E-W	عم	الطاقة
Kinetic energy	J	جول	E_k	قد	الطاقة الحركية
Potential energy	J	جول	E_P	قك	الطاقة الكمونية
Work	J	جول	W	عم	العمل
Power	W	واط	P	عه	الاستطاعة
Beat	Rd/Sec^2	$راديان/ثا^2$	ω	ω	النبض
Angular velocity	Rd/Sec^2	$راديان/ثا^2$	ω	ω	السرعة الزاوية
Frequency	Hz	هرتز	f	ن	التردد
Period	Sec	ثا	T	د	الدور
Phase	Radian	راديان	φ	φ	الطور
Wave length	M	م	λ	λ	طول الموجة
Phase difference	Radian	دن	φ Δ	φ Δ	فرق الطور
Charge	C	كو	q	ك	الشحنة
Electromotive force	V	فو	e	قم	القوة الكهروحركة
Counter e.m.f.	V	فو	e'	قم'	القوة ك.ح.العكسية
Electric field	V/m	فو/م	E	ح	المجال الكهربائي
Time constant	Sec	ثا	τ	τ	ثابت الزمن
Absolute Permittivity	F/m	فد/م	ε	ε	السماحية المطلقة

Vacuum Perm.	F/m	فد/م	ε_0	ε_0	سماحية الفراغ
Relative Perm.	F/m	فد/م	ε_r	ε_n	السماحية النسبية
Resistance	Ω	Ω	R	م	المقاومة
Internal resistance	Ω	Ω	r	مـــ	المقاومة الداخلية
Resistivity	Ω .m	Ω . م	ρ	ρ	المقاومية
Current intensity	A	آ	I – i	ش	شدة التيار
Voltage	V	فو	V	ف	فرق الكمون/الجهد
Conductance	Ω^{-1}	$^{1-}\Omega$	G	ن	المواصَلة
Conductivity	$(\Omega.m)^{-1}$	$^{1-}(م.\Omega)$	σ	σ	المَوَصَّلية
Capacitance	F	فد	C	س	السعة
Inductance	H	هن	L	ح	المحاثة
Mutual induct.	H	هن	M	بد	المحاثة التبادلية
Impedance	Ω	Ω	Z	ص	المعاوقة
Admittance	Ω	Ω	Y	سح	المسامحة
Reactance	Ω	Ω	X	مف	المفاعلة
Inductive React.	Ω	Ω	X_L	حف	المفاعلة الحثية
Capacitive React.	Ω	Ω	X_C	سف	المفاعلة السعوية
Complex power	V.A	فو.آ	$\underline{S}$	عظ	الاستطاعة المركبة
Apparent power	V. A	فو.آ	S	$\overline{عظ}$	الاستطاعة الظاهرة
Active power	W	واط	P	عه	الاستطاعة الفعالة/الفاعلة
Reactive power	VAR	فآر	Q	عف	الاستطاعة المتفاعلة
Quality factor	/	/	Q	ج	عامل الجودة
Bandwidth	Hz	هرتز	B	ط	نطاق الإمرار
Magnetic Induction	T	تس	β	β	الحث المغناطيسي
Magnetic flux	Wb	بر	ϕ	ϕ	الفَيْض المغناطيسي
Magn. field strength	A/m	آ/م	H	غ	شدة المجال المغناطيسي
Magnetomotive Force	A	آ	F	ق	القوة المغنومحركة
Absolute Permeab.	H/m	هن/م	μ	μ	النفاذية المطلقة
Vaccum permeab.	H/m	هن/م	μ_0	$_0\mu$	نفاذية الفراغ
Relative permeab.	H/m	هن/م	μ_r	$_n\mu$	النفاذية النسبية
Magnetization	A/m	آ/م	J	شغ	المغنطة
Magnetic moment	$A.m^2$	^{2}آ.م	$\mathcal{M}$	عغ	العزم المغناطيسي

Admittance	Y	$L^{-2}T^3$	Ω^{-1}	Ω^{-1}	موصلية
Angle, plane	θ, ϕ	1	1	1	زاوية مستوية
Angle, solid	Ω	1	1	1	زاوية مجسمة
Angular acceleration	α	T^{-2}	s^{-2}	s^{-2}	تسارع زاوي
Angular frequency	ω	T^{-1}	s^{-1}	s^{-1}	تردد زاوي
Angular momentum	L	ML^2T^{-1}	$kg \cdot m^2/s$	$kg \cdot m^2/s$	زخم زاوي
Angular velocity	ω	T^{-1}	s^{-1}	s^{-1}	سرعة زاوية
Area	A	L^2	m^2	m^2	مساحة
Attenuation	α	L^{-1}	m^{-1}	m^{-1}	توهين
Bandwidth	B	T^{-1}	s^{-1}	s^{-1}	عرض الحزمة
Bulk modulus	K	$ML^{-1}T^{-2}$	$kg/m \cdot s^2$	$kg/m \cdot s^2$	معامل الحجم
Capacitance	C	$M^{-1}L^{-2}T^4I^2$	$A^2 \cdot s^4/kg \cdot m^2$	$A^2 \cdot s^4/kg \cdot m^2$	سعة
Capacitive reactance	X_C	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	$kg \cdot m^2/A^2 \cdot s^3$	$kg \cdot m^2/A^2 \cdot s^3$	ممانعة سعوية
Charge density	ρ	$L^{-3}TI$	$A \cdot s/m^3$	$A \cdot s/m^3$	كثافة الشحنة
Charge, electric	Q	TI	$A \cdot s$	$A \cdot s$	شحنة كهربائية
Compressibility	β	$M^{-1}LT^2$	$m \cdot s^2/kg$	$m \cdot s^2/kg$	انضغاطية
Conductance	G	$M^{-1}L^{-2}T^3I^2$	$A^2 \cdot s^3/kg \cdot m^2$	$A^2 \cdot s^3/kg \cdot m^2$	توصيلية
Conductivity	σ	$M^{-1}L^{-3}T^3I^2$	$A^2 \cdot s^3/kg \cdot m^3$	$A^2 \cdot s^3/kg \cdot m^3$	توصيلية نوعية
Current	I	I	A	A	تيار كهربائي
Current density	J	$L^{-2}I$	A/m^2	A/m^2	كثافة التيار
Density	ρ	ML^{-3}	kg/m^3	kg/m^3	كثافة
Dielectric constant	κ, ε_r	1	1	1	ثابت العزل
Displacement	D	L	m	m	إزاحة
Electric dipole moment	p	LTI	$A \cdot s \cdot m$	$A \cdot s \cdot m$	عزم ثنائي القطب كهربائي
Electric field	E	$MLT^{-3}I^{-1}$	$kg \cdot m/A \cdot s^3$	$kg \cdot m/A \cdot s^3$	مجال كهربائي
Electric flux	Φ_E	$ML^3T^{-3}I^{-1}$	$kg \cdot m^3/A \cdot s^3$	$kg \cdot m^3/A \cdot s^3$	تدفق كهربائي
Electric potential	V	$ML^2T^{-3}I^{-1}$	$kg \cdot m^2/A \cdot s^3$	$kg \cdot m^2/A \cdot s^3$	جهد كهربائي
Electric susceptibility	χ_e	1	1	1	قابلية كهربائية
Energy	E, W	ML^2T^{-2}	$kg \cdot m^2/s^2$	$kg \cdot m^2/s^2$	طاقة
Energy density	w	$ML^{-1}T^{-2}$	$kg/m \cdot s^2$	$kg/m \cdot s^2$	كثافة الطاقة
Entropy	S	$ML^2T^{-2}\Theta^{-1}$	$kg \cdot m^2/s^2 \cdot K$	$kg \cdot m^2/s^2 \cdot K$	إنتروبية
Force	F	MLT^{-2}	$kg \cdot m/s^2$	$kg \cdot m/s^2$	قوة
Frequency	f, ν	T^{-1}	s^{-1}	s^{-1}	تردد
Friction, coefficient of	μ	1	1	1	معامل الاحتكاك
Gain	G, A	1	1	1	كسب
Gas constant	R	$ML^2T^{-2}\Theta^{-1}N^{-1}$	$kg \cdot m^2/s^2 \cdot K \cdot mol$	$kg \cdot m^2/s^2 \cdot K \cdot mol$	ثابت الغاز
Gibbs free energy	G	ML^2T^{-2}	$kg \cdot m^2/s^2$	$kg \cdot m^2/s^2$	طاقة غبس الحرة
Gravitational constant	G	$M^{-1}L^3T^{-2}$	$m^3/kg \cdot s^2$	$m^3/kg \cdot s^2$	ثابت الجاذبية
Heat	Q	ML^2T^{-2}	$kg \cdot m^2/s^2$	$kg \cdot m^2/s^2$	حرارة
Heat capacity	C	$ML^2T^{-2}\Theta^{-1}$	$kg \cdot m^2/s^2 \cdot K$	$kg \cdot m^2/s^2 \cdot K$	سعة حرارية
Heat flux	q	MT^{-3}	kg/s^3	kg/s^3	تدفق حراري
Helmholtz free energy	A, F	ML^2T^{-2}	$kg \cdot m^2/s^2$	$kg \cdot m^2/s^2$	طاقة هلمهولتز الحرة
Henry's law	k_H	$ML^{-1}T^{-2}$	$kg/m \cdot s^2$	$kg/m \cdot s^2$	قانون هنري
Hydraulic head	h	L	m	m	ارتفاع الضاغط الهيدروليكي
Hydraulic resistance	R	$L^{-3}T$	s/m^3	s/m^3	ممانعة هيدروليكية
Impedance	Z	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	$kg \cdot m^2/A^2 \cdot s^3$	$kg \cdot m^2/A^2 \cdot s^3$	ممانعة
Inductance	L	$ML^2T^{-2}I^{-2}$	$kg \cdot m^2/A^2 \cdot s^2$	$kg \cdot m^2/A^2 \cdot s^2$	تحريضية
Inductive reactance	X_L	$ML^2T^{-3}I^{-2}$	$kg \cdot m^2/A^2 \cdot s^3$	$kg \cdot m^2/A^2 \cdot s^3$	ممانعة تحريضية
Inertia, moment of	I	ML^2	$kg \cdot m^2$	$kg \cdot m^2$	عزم القصور الذاتي
Irradiance	E, I	MT^{-3}	W/m^2	W/m^2	تشعيعية
Isentropic compressibility	β_S	$M^{-1}LT^2$	$m \cdot s^2/kg$	$m \cdot s^2/kg$	انضغاطية متساوية الإنتروبية
Isothermal compressibility	β_T	$M^{-1}LT^2$	$m \cdot s^2/kg$	$m \cdot s^2/kg$	انضغاطية متساوية الحرارة
Kinematic viscosity	ν	L^2T^{-1}	m^2/s	m^2/s	لزوجة حركية
Latent heat	L	L^2T^{-2}	m^2/s^2	m^2/s^2	حرارة كامنة
Length	l, L	L	m	m	طول
Linear density	ρ_l	ML^{-1}	kg/m	kg/m	كثافة خطية
Luminous flux	F	J	lm	lm	تدفق ضوئي
Luminous intensity	I	J	cd	cd	شدة ضوئية
Magnetic dipole moment	m	L^2I	$A \cdot m^2$	$A \cdot m^2$	عزم ثنائي القطب مغنطيسي
Magnetic field strength	H	$L^{-1}I$	A/m	A/m	شدة المجال المغنطيسي
Magnetic flux	Φ_B	$ML^2T^{-2}I^{-1}$	$kg \cdot m^2/A \cdot s^2$	$kg \cdot m^2/A \cdot s^2$	تدفق مغنطيسي
Magnetic induction	B	$MT^{-2}I^{-1}$	$kg/A \cdot s^2$	$kg/A \cdot s^2$	تحريض مغنطيسي
Magnetic permeability	μ	$MLT^{-2}I^{-2}$	$kg \cdot m/A^2 \cdot s^2$	$kg \cdot m/A^2 \cdot s^2$	نفوذية مغنطيسية
Magnetic susceptibility	χ_m	1	1	1	قابلية مغنطيسية
Magnetization	M	$L^{-1}I$	A/m	A/m	تمغنط
Magnetomotive force	$\mathcal{F}, MMF$	I	A	A	قوة دافعة مغنطيسية

الفهرس

المقدمة 7

مدخل : معالم من الرياضيات

1. المنحنى البياني..... 16
2. دراسة الدوال 18
3. المعادلة التربيعية..... 23
4. معادلة الخط المستقيم..... 26

الفصل 1 : الكمية الفيزيائية

1. مفهوم القياس 31
2. مضاعفات 10 33
3. الوحدات الفرعية 35
4. الظواهر الفيزيائية 38
5. مفهوم الصيغة..... 41

الفصل 2 : المادة

1. تصنيف المادة..... 45
2. العنصر الكيماوي..... 47
3. البنية الذرية..... 49
4. ماهية الجزيء 51
5. مفهوم الكم 53

الفصل 3 : الشحنة الكهربائية

1. مفعول الشحنة 59
2. حركة الإلكترون 61
3. سببية نقل الكهرباء..... 64
4. التأثير المتبادل لشحنتين 67

الفصل 4 : المجال الكهربائي

1. قانون كولومب 73
2. مفعول المجال الكهربائي 76
3. الكمون الكهربائي 80

الفصل 5 : المكثفة

1. التأثير الكهروسطاتيكي 89
2. كيفية الصنع 91
3. كيفية الإشتغال 93
4. سعة المكثفة 95

الفصل 6 : الكهروعازل

1. المجال الكهربائي المنتظم 101
2. تأثير العازل الكهربائي 102
3. إستقطاب الذرة 103
4. كيفية تركيز المجال 104
5. وسائط التصنيع 105
6. مفهوم السماحية 107

الفصل 7 : تطبيقات المكثفة

1. تخزين الطاقة 113
2. شحن المكثفة 116
3. تفريغ المكثفة 118
4. المكثفة المتغيرة 119
5. السعة الشاردة 120

الفصل 8 : أنواع المكثفات

1. مكثفة الميكا 127
2. مكثفة الزجاج 128
3. مكثفة الورق 129
4. مكثفة البلاستيك 130
5. المكثفة الخزفية 131
6. المكثفة الكهروتحللية 131
7. خاصيات المكثفة 133

الفصل 9 : الطاقة الكهربائية

1. الطاقة والعمل 141
2. الإستطاعة 145
3. تحويل الطاقة 148
4. قانون حفظ الكتلة 152
5. أنواع الطاقة 157

الفصل 10 : التيار الكهربائي

1. المجال الكهربائي 161
2. سببية نقل الكهرباء 163
3. شدة التيار 165
4. مفهوم الأمبير 167

الفصل 11 : فرق الكمون – الجهد –

1. الطاقة الكمونية 173
2. مفهوم الفولط 174
3. قياس فرق الكمون 176
4. منبع الجهد 178

الفصل 12 : المقاومة

1. عموميات 183
2. ظاهرة جول 185
3. مقاومة المواد 188
4. المواصلة والموصلية 192

الفصل 13 : تطبيقات المقاومة

1. ظاهرة جول 197
2. المقاومة الميتة 198
3. الحمولة 200
4. صناعة المقاوم 202

الفصل 14 : قانون أوم

1. فرق الطاقة الكمونية 211
2. العلاقة الخطية 213

3. منحنى الخاصية الخطية 214
4. محتوى قانون أوم 215
5. تجميع فروق الكمون 216

الفصل 15 : الاستطاعة

1. صيغة الاستطاعة 221
2. تبدد الاستطاعة 223
3. سبب إنتشار الحرارة 224
4. كيفية إنتخاب المقاوم 226

الفصل 16 : المولد

1. المولد المستمر 231
2. تصنيف المولدات 233
3. الاستطاعة العظمى 234
4. تسويق الجهاز 235
5. الخاصيات الفنية القياسية 237
6. الدارة المكافئة 240

الفصل 17 : تركيب المولد

1. قانون بوييه 249
2. تجميع المولدات 252
3. دارة القصر 257

الفصل 18 : المستقبل

1. الاستطاعة المستقبلة 263
2. قانون بوييه 266
3. الدارة المكافئة 268

حل المسائل 271
المصطلحات 277
بيبليوغرافيا 281
الملحق 1 282
الملحق 2 284

Electrical Engineering series

This book has been divided into five volumes :

volume 1 : Electrostatics and Electrokinetics
volume 2 : Electric circuits
volume 3 : Electromagnetism
volume 4 : Electric measurement "Design principles of meters"
volume 5 : Electronics "Active electronic devices"

Each volume consists of several chapters, dealing with specific concepts.

Through the first volume, the reader is introduced to the study of stationary chargers and their effect on the surrounding environment. In second part of this volume, we investigate the kinetics of these charges within a given environment, namely in conducting wires.

The reader may move on the second volume, wich introduces the electric circuits.
In order to deal with them, the reader is invited to study their laws and how they behave.

The third volume deals with electromagnetism. Firstly, it presents some introductory concepts on magnetism, and secondly it studies the magnetic effects on the current flow through conducting wires.

Electromagnetism is a basic concept to the design of measurement equipment, wich is the fourth volume. It investigates the design of the most encountered measurement systems, and studies the measurement techniques.

While in volume five, we present some electronic components as a pre-requisite to the study active of electronic circuit. This volume studies the behaviour of such active devices and its basic applications.

R.M. OUHAIBIA

I.S.B.N : 9961 - 9960 - 4 - 4