



جمهورية مصر العربية
وزارة التربية والتعليم والتعليم الفني
الإدارة المركزية لشئون الكتب

الفيزياء

للف الثالث الثانوى

لجنة إعداد الكتاب المطور

أ.د. محمد سامح سعيد

أستاذ ورئيس قسم الإلكترونيات والاتصالات
كلية الهندسة - جامعة القاهرة

أ.د. مصطفى كمال محمد يوسف

أستاذ الفيزياء المتفرغ
كلية العلوم جامعة المنصورة

د. طارق محمد طلعت سلامة

مدرس الفيزياء بكلية العلوم - جامعة الزقازيق

د. مصطفى محمد السيد محمد

أستاذ م. الفيزياء بكلية تربية عين شمس

أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد

موجه عام الفيزياء بمكتب مستشار العلوم

لجنة التعديل

أ.د. محمد أحمد كامل
أ. صدقة الدردير محمد على

د. صلاح عبد المحسن عجاج
أ. علاء الدين محمد أحمد عامر

إشراف علمي

مستشار العلوم

د. عزيزة رجب خليفة

إشراف عام

د. أكرم حسن محمد

رئيس الإدارة المركزية لتطوير المناهج

٢٠٢٦-٢٠٢٧ م

غير مصرح بتداول هذا الكتاب خارج وزارة التربية والتعليم والتعليم الفني

المحتويات

١ - ١٠٥

الوحدة الأولى: الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية

٢

الفصل الأول: التيار الكهربى وقانون أوم وقانونا كيرتشف

٢٥

الفصل الثانى: التأثير المغناطيسى والتيار الكهربى

٥٤

الفصل الثالث: الحث الكهرومغناطيسى

٩٠

الفصل الرابع: دوائر التيار المتردد

١٠٦ - ١٧٤

الوحدة الثانية: مقدمة فى الفيزياء الحديثة

١٠٧

الفصل الخامس: ازدواجية الموجة والجسيم

١٢١

الفصل السادس: الأطياف الذرية

١٣٤

الفصل السابع: الليزر

١٥٤

الفصل الثامن: الإلكترونيات الحديثة

١٧٥ - ١٨١

أسئلة وتمارين عامة للمراجعة

ملاحق:

١٨٣

ملحق ١: الرموز والأبعاد ووحدات الكميات الفيزيائية

١٨٦

ملحق ٢: الثوابت الفيزيائية الأساسية

١٨٨

ملحق ٣: البادئات القياسية

١٨٩

ملحق ٤: الحروف الأبجدية اليونانية

١٩٠

ملحق ٥: بعض مواقع الفيزياء على شبكة الإنترنت

المقدمة

الفيزياء هى ركيزة العلوم الأساسية، فكلمة فيزياء تعنى فهم طبيعة هذا الكون من حولنا وما يجرى فيه كبيراً وصغيراً، وهى أصل العلوم ويتشابه معها علم الكيمياء الذى يختص بفهم التفاعلات بين المواد، وعلم البيولوجى ويختص بما يحدث فى الكائنات الحية، وعلم الجيولوجيا ويعنى بفهم طبقات الأرض، وعلم الفلك ويعنى بالأجرام السماوية، ولكن فى النهاية تبقى الفيزياء أم العلوم وهى أساس التقدم العلمى والتكنولوجيا الهائل، وفهم الفيزياء يعنى فهم القوانين الحاكمة لهذا الكون، وهو ما أدى إلى النهضة الصناعية والحضارية التى يقودها الغرب الآن، ولم يكن العرب والمسلمون عامة قادة الحضارة فى العالم إلا بإدراكهم لقيمة فهم قوانين هذا الكون، وكان لهم فضل اكتشاف معظم قوانين الفيزياء قبل الغرب بقرون، وما أسس الطب والفيزياء والكيمياء والفلك والرياضيات والموسيقى إلا من وضع علماء العرب والمسلمين.

إن فهم الفيزياء وتطبيقاتها يحول المجتمع من مجتمع ضعيف وفقير ومتخلف إلى مجتمع قوى وغنى ومتقدم، وهذا ما حدث بالفعل فى أوروبا وأمريكا واليابان. الكمبيوتر والأقمار الصناعية والتليفون المحمول والتلفزيون كل هذه من ثمار علم الفيزياء، ثم إنهم يبحثون الآن فى تركيب الجينات وتصنيع كمبيوتر بالشفرة الجينية، وقريباً يتم تصنيع كمبيوتر باستخدام الذرة والليزر.

إنه عالم رحب لا حدود للخيال فيه، والذى يجهله إنما يحكم على نفسه بالفناء فى عالم لا يعترف إلا بسطوة العلم وقوة الفكر وروعة الإبداع. إن التقدم العلمى ثمرة لسلسلة طويلة من الاكتشافات، إذ لم يأت هذا التقدم فجأة، لكنه رصيد متراكم، فالعلم مشروع جماعى، كل من ساهم فيه كان لابد له أولاً أن يستوعب ما حققه الآخرون قبله. وتتابعياً تم بناء هذا الصرح العظيم من تراكم الخبرة الإنسانية عبر التاريخ، ولكن المطلوب من طالب العلم فى هذا العصر أن يلم وبسرعة بما سبق تراكمه من معرفته فى فترة زمنية وجيزة حتى يمكنه أن يضيف جديداً فى فترة حياته وهى أولاً وآخراً، فترة محدودة. كيف إذاً يمكن حصر كل ما سبقنا فيه الأولون فى فترة دراسية محددة حتى نفهم ثم نضيف؟ من حسن الحظ أننا فى دراستنا لما

سبقنا فيه الأولون نأخذ خلاصة ما وصلوا إليه ونغض الطرف عن سنوات طويلة من تفاصيل العناء والبحث والتجربة والمشاهدة والمحاولات والإخفاقات. نأخذ فقط ما صح من النتائج وما انتهى إليه الآخرون قبلنا وبما استقر عليه الفهم بعد أن نضج العقل البشرى على مدى القرون. ومن ثم فعلينا أن نركز على المفاهيم الأساسية في هذا البحر الزاخم ونترك التفاصيل لما بعد، فلا يمكن أن يلم أحد بكافة تفاصيل العلم ولو قضى حياته كلها في فرع صغير من فروع أى علم من العلوم، ولكننا لا بد أن نركز على عدد محدود من المفاهيم الرئيسية والمرجعية، ونمهد لما بعدها. ولقد روعى في هذا الكتاب ما يلي:

- ١- إزالة الحشو والتفاصيل غير الضرورية في هذه المرحلة الدراسية والتركيز على المفاهيم العامة وترك الزيادات التي لا تصب مباشرة في الفهم العام للموضوع.
 - ٢- يتميز الكتاب بإضافة أمثلة على التطبيقات اليومية المحسوسة توضيحاً للمفاهيم الفيزيائية من الواقع سواء في النص أو كمعلومات إثرائية لربط النظرية بالتطبيق على أن تبقى هذه المعلومات الإثرائية غير ملزمة في الامتحان ويظل دورها من قبيل التشويق العلمى.
 - ٣- يحتوى الكتاب على عدد هائل من الصور المحدثّة الواضحة مذيّلة بتوصيف لكل صورة، كما تم إخراج الكتاب في أربعة ألوان طبقاً للمقاييس العالمية في الكتب المدرسية المتطورة.
 - ٤- يحتوى الكتاب على العديد من الأمثلة المحلوّلة والأسئلة والتمارين وكلها تقوى الإدراك لدى الطالب بالمعنى الفيزيائى والفهم العميق للمفاهيم الأساسية.
 - ٥- ذيل الكتاب بستة ملحقات عن الرموز والأبعاد والوحدات والثوابت الفيزيائية والبادئات القياسية والحروف الأبجدية اليونانية وأسماء بعض العلماء وإنجازاتهم وبعض المواقع الخاصة بالفيزياء على الإنترنت.
 - ٦- روعى في الكتاب أن تكون المعادلات باللغة الإنجليزية والمصطلحات باللغتين العربية والإنجليزية وجميع الوحدات المستخدمة طبقاً للنظام الدولى.
- وفى النهاية نوجه رسالة إلى الطالب بأن يأخذ علم الفيزياء بحب لأن فهم الفيزياء

هو فهم كل ما حولنا فى الحياة وكل الاختراعات التى نتعامل م عها وتلك التى ستخرج إلى النور فى المستقبل القريب. ورسالة للمدرس بأن يكون تدريس الفيزياء بحب وبأسلوب مبنى على نقل المفاهيم لا تلقين الدروس مع ربط كل مفهوم بالمشاهدات اليومية ليكون التعلم مشوقا ومفيدا.

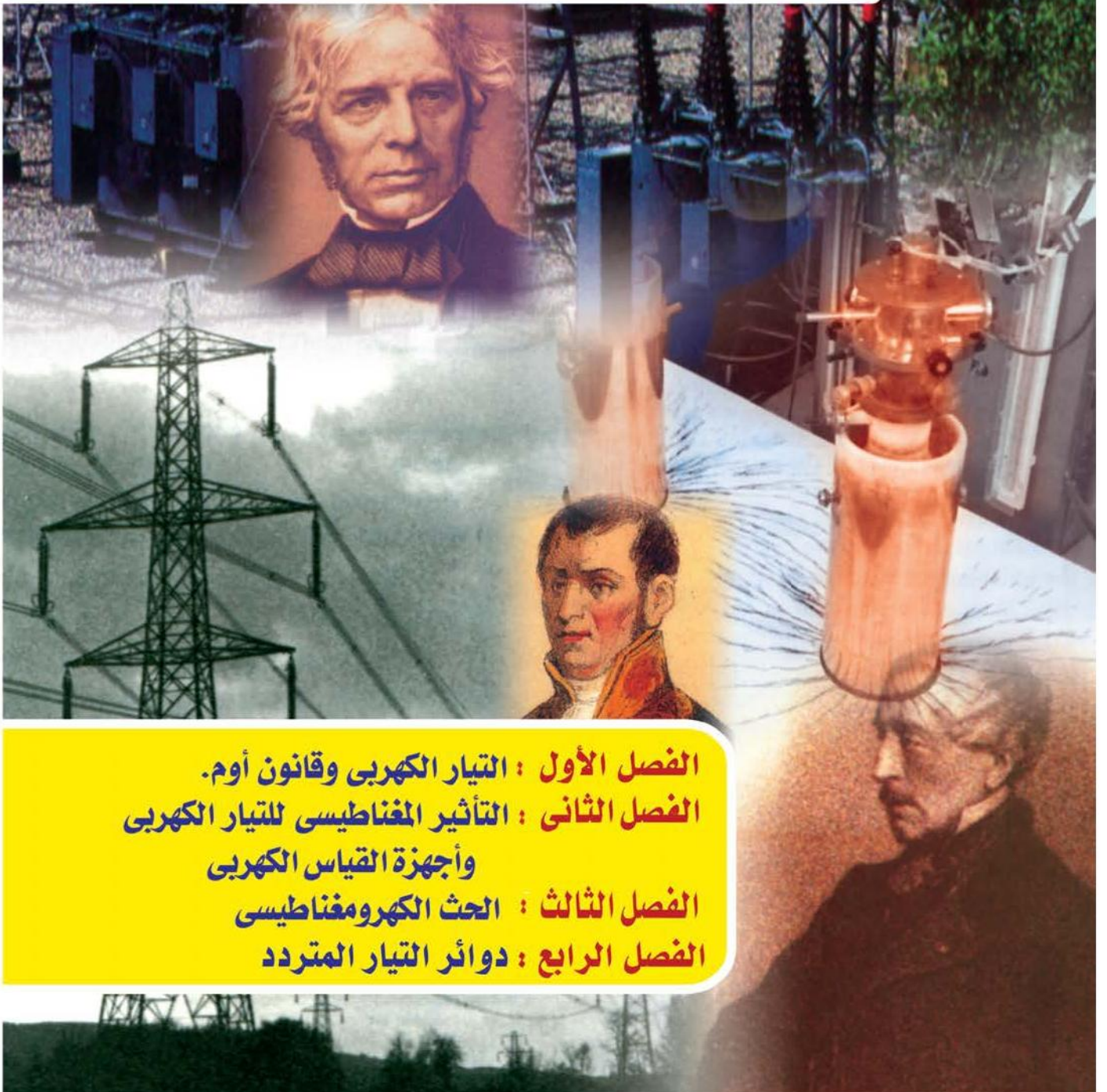
فقد يكون بين هؤلاء الطلبة أمامك من سيخرج فى المستقبل القريب بإذن الله ليكون علما تتحدث عنه الدنيا ويتحدث هو عنك بالفضل والعرفان على أنه فى يوم من الأيام تعلم على يديك وفهم أصول العلم منك وأنت الذى مهدت له الطريق. وكفاك بهذا فخرا.

لجنة إعداد منهج الفيزياء

أ.د مصطفى كمال محمد يوسف
أ.د. محمد سامح محمد سعيد
د. مصطفى محمد السيد محمد
أ. طارق محمد طلعت سلامة
أ. كريمة عبد العليم سيد أحمد

الوحدة الأولى

الكهربية التيارية والكهرومغناطيسية



الفصل الأول : التيار الكهربى وقانون أوم.

الفصل الثانى : التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى

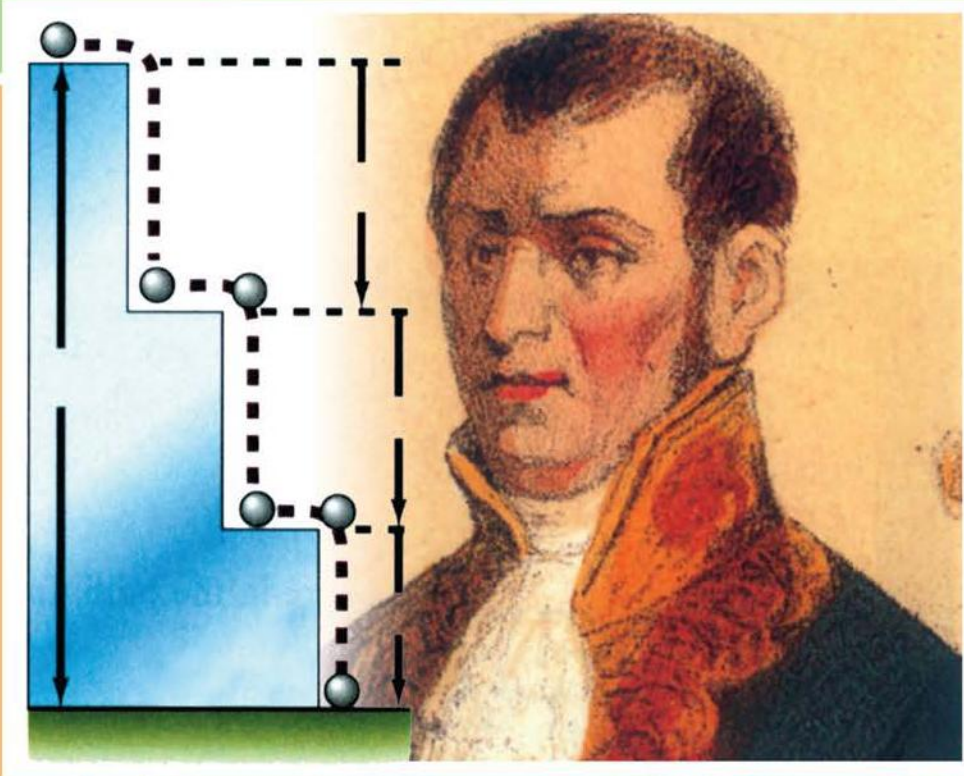
وأجهزة القياس الكهربى

الفصل الثالث : الحث الكهرومغناطيسى

الفصل الرابع : دوائر التيار المتردد

الكهرلية التيارية والكهرومغناطيسية

الوحدة الأولى



الفصل الأول : التيار الكهربى وقانون أوم

الوحدة الأولى

الكهربية التيارية

الفصل الأول

التيار الكهربى وقانون أوم وقانونا كيرتشف

مقدمة :

مما سبق دراسته فى السنوات السابقة نعلم الآتى:

١- التيار الكهربى هو فيض من الشحنات الكهربائية خلال موصل.

٢- شدة التيار الكهربى تعطى بالعلاقة $I = \frac{Q}{t}$ ، حيث أن Q هى كمية الكهربائية



اوم

مقاسة بالكولوم Q هى الزمن بالثانية، و I هى شدة التيار، وتقاس بالأمبير = كولوم / ثانية.
 $A = C/s$

٣- فرق الجهد بين نقطتين، $V = \frac{W}{Q}$

حيث أن W هو الشغل المبذول مقدرا بالجول، V هو فرق الجهد مقاسا بالفولت $V = J/C$

٤- القوة الدافعة الكهربائية لمصدر، وهى

الشغل الكلى اللازم لنقل وحدة الشحنات (الكولوم) خلال الدائرة (خارج و داخل المصدر)

ووحدة قياسها هي نفس وحدة قياس فرق الجهد (الفولت).

٥ - المقاومة (R) هى ممانعة الموصل لمرور التيار

الكهربى مقاسة بالأوم، وتعتمد عند ثبوت درجة الحرارة

على كل من: طول الموصل - مساحة مقطعه - نوع مادته

، وتعطى بالعلاقة $R = \rho_e \ell / A$ ، حيث ℓ طول الموصل



امبير

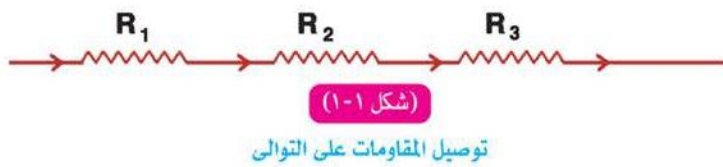
بالمتر و A مساحة مقطعه بالمتر المربع، و ρ_e هى المقاومة النوعية وتقاس Ωm
 التوصيلية الكهربائية لمادة (معامل التوصيل الكهربى لها) σ هى مقلوب المقاومة
 النوعية $\sigma = \frac{1}{\rho_e}$ وتقاس بوحدة $\Omega^{-1} m^{-1}$
 ٦ - قانون أوم Ohm's Law،

تناسب شدة التيار المار فى الموصل تناسباً طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه عند
 ثبوت درجة الحرارة $V = IR$

٧ - اصطلاح أن يكون اتجاه التيار الكهربى من الطرف الموجب إلى الطرف السالب فى
 دائرة كهربية مغلقة خارج المصدر، ويسمى هذا الاتجاه التقليدى للتيار الكهربى. وهو عكس
 اتجاه حركة الإلكترونات.

توصيل المقاومات

أولاً : توصيل المقاومات على التوالى :

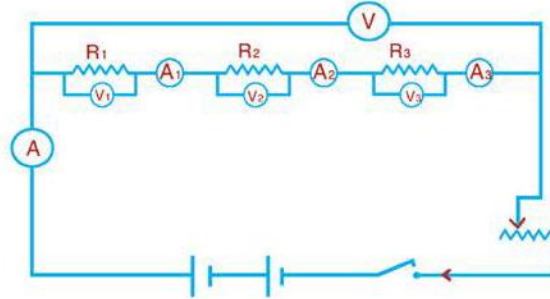


الفرض من
 توصيل المقاومات
 على التوالى هو
 الحصول على مقاومة

كبيرة من مجموعة من المقاومات ، حيث توصل هذه المجموعة بالكيفية المبينة فى (الشكل
 ١-١) لتكون بمثابة ممر متصل للتيار الكهربى.

لايجاد المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات المتصلة على التوالى، تدمج المجموعة
 فى دائرة كهربية تشمل بطارية وأميتر وريوستات ومفتاح موصلة جميعها على التوالى كما
 فى (الشكل ١-٢). وبغلق الدائرة الكهربائية وتعديل مقاومة الريوستات، يمكن إمرار تيار
 كهربى مناسب شدته I أمبير. وعندئذ يقاس فرق الجهد بين طرفى المقاومة R_1 ، وليكن
 V_1 ، وفرق الجهد بين طرفى المقاومة R_2 وليكن V_2 ، وفرق الجهد بين طرفى المقاومة
 R_3 وليكن V_3 ، ثم يقاس فرق الجهد الكلى بين طرفى المجموعة وليكن V. ونلاحظ انه

يساوى مجموع فروق الجهد على المقاومات بالدائرة .



(شكل ٢-١)

قياس المقاومة المكافئة فى حالة التوصيل على التوالى

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad \text{اى ان}$$

$$\therefore V = IR \quad \text{لكن}$$

$$V_1 = IR_1$$

$$V_2 = IR_2$$

$$V_3 = IR_3$$

بالتعويض ينتج ان :

$$IR' = IR_1 + IR_2 + IR_3$$

$$R' = R_1 + R_2 + R_3 \quad (١-١) \quad \text{ومنها :}$$

المقاومة المكافئة R' لمجموعة من المقاومات المتصلة على التوالى تساوى مجموع هذه المقاومات.

يلاحظ ان المقاومة الكبيرة هى التي تحدد المقاومة الكلية في حالة التوصيل على التوالى. وعندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة المتصلة على التوالى متساوية، وقيمة كل

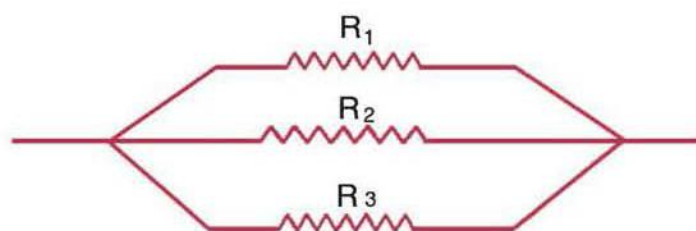
منها R وعددها N يكون :

$$R' = NR$$

(٢-١)

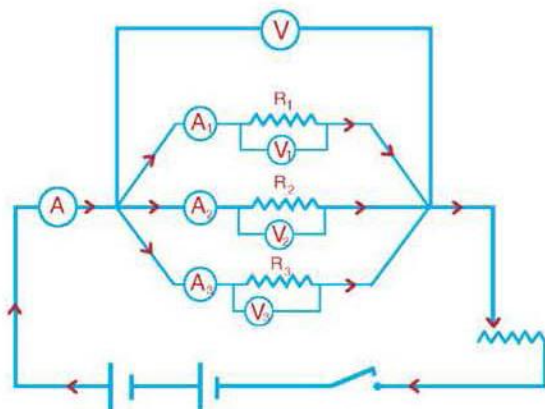
ثانياً : توصيل المقاومات على التوازي :

الغرض من توصيل المقاومات على التوازي هو الحصول على مقاومة صغيرة من مجموعة من المقاومات الكبيرة ، حيث توصل هذه المجموعة بالكيفية المبينة بالشكل (١ - ٣) .
لإيجاد المقاومة المكافئة لمجموعة المقاومات المتصلة على التوازي، تدمج المجموعة فى دائرة كهربية تشمل بطارية واميتر وريوستات موصلة معا كما فى الشكل (١ - ٤) .



شكل (١ - ٣)

توصيل المقاومات على التوازي



شكل (١ - ٤)

قياس المقاومة المكافئة فى حالة التوصيل على التوازي

وبغلق الدائرة الكهربية وتعديل مقاومة الريوستات، يمكن إمرار تيار مناسب فى الدائرة الرئيسية شدته يمكن قياسها بالأميتر ولتكن I أمبير .
عندئذ يعين فرق الجهد الكلى بين طرفى مجموعة المقاومات المتصلة على التوازي بواسطة فولتميتر وليكن V فولت . وتقاس بعدئذ شدة التيار المار فى

المقاومة R_1 وليكن I_1 ، وشدة التيار المار فى المقاومة R_2 وليكن I_2 ، وشدة التيار المار فى المقاومة R_3 وليكن I_3 .

فى حالة التوصيل على التوازى تكون المقاومة المكافئة أقل من أقل مقاومة بحيث يمر الجزء الأكبر من التيار فى المقاومة الأصغر.

يلاحظ أن،

$$I = \frac{V}{R'} , I_1 = \frac{V}{R_1} , I_2 = \frac{V}{R_2} , I_3 = \frac{V}{R_3}$$

حيث R' هى المقاومة المكافئة وان V هى فرق الجهد على المقاومات المتصلة على التوازى . ولأن التيار الكلى I هو مجموع التيارات $I_1 + I_2 + I_3$ إذا

$$\frac{V}{R'} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \quad \text{ومنها ،}$$

$$\boxed{\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad (٣-١)$$

أى أن ، مقلوب المقاومة المكافئة R' لمجموعة من المقاومات متصلة على التوازى يساوى مجموع مقلوبات المقاومات.

وفى حالة مقاومتين متصلتين على التوازى تكون المقاومة المكافئة R'

$$\boxed{R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} \quad (٤-١)$$

وعندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة المتصلة على التوازى متساوية وقيمة كل منها R وعددها N يكون :

$$\frac{1}{R'} = \frac{R}{r}$$

$$R' = \frac{R}{N} \quad (٥-١)$$

قانون أوم للدائرة المغلقة :

نعلم أن القوة الدافعة الكهربية لعمود e.m.f هى الشغل الكلى المبذول خارج وداخل العمود لنقل كمية من الكهرباء قدرها كولوم واحد فى الدائرة الكهربية .
لذلك إذا رمزنا للقوة الدافعة الكهربية للعمود (البطارية) بالرمز V_B ولشدة التيار الكلى فى الدائرة بالرمز I وللمقاومة الخارجية بالرمز R وللمقاومة الداخلية للعمود بالرمز r فإن :

$$V_B = IR + Ir$$

$$V_B = I (R + r)$$

$$I = \frac{V_B}{R + r}$$

(٦-١)

ومنها

وتعرف العلاقة السابقة باسم قانون أوم للدائرة المغلقة حيث تكون :-

$$\text{شدة التيار الكهربى فى دائرة} = \frac{\text{القوة الدافعة الكهربية الكلية}}{\text{المقاومة الكلية للدائرة}}$$

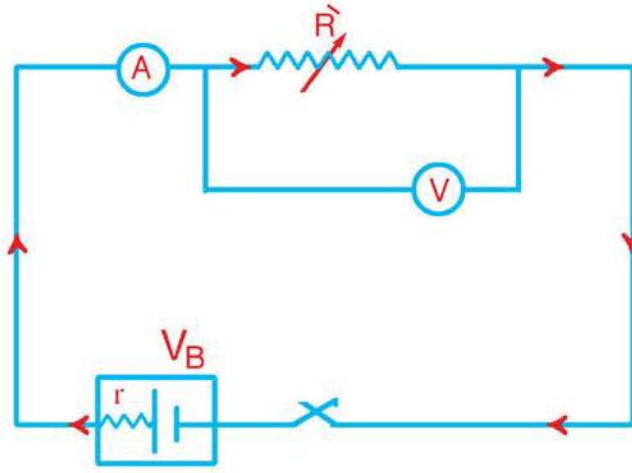
العلاقة بين القوة الدافعة الكهربية لعمود وفرق الجهد بين قطبيه :

من شكل (٥ - ١) نجد أن:

$$V = V_B - Ir$$

ومن العلاقة الأخيرة نتبين أنه مع إنقاص شدة التيار تدريجيا فى الدائرة الموضحة

فى الشكل (١ - ٥) بزيادة المقاومة الخارجية R يزداد فرق الجهد بين قطبى العمود.



شكل (١ - ٥)

علاقة جهد البطارية بالقوة الدافعة الكهربائية لها

وعندما تصبح شدة التيار صغيرة جداً الى حد يمكن معه إهمال الحد الثانى من الطرف الأيمن فى المعادلة السابقة، يصبح فرق الجهد بين قطبى العمود مساوياً تقريباً للقوة الدافعة الكهربائية له أى أن : القوة الدافعة الكهربائية للعمود : هى فرق الجهد بين قطبيه فى حالة عدم مرور تيار كهربى فى دائرته.

امثلة :

- (١) وصلت المقاومات الثلاث 25Ω و 70Ω و 85Ω على التوالي مع بطارية القوة الدافعة الكهربائية لها $45V$ بإهمال المقاومة الداخلية للبطارية احسب :
- (أ) شدة التيار الكهربى المار فى كل من المقاومات الثلاث.
- (ب) فرق الجهد على كل مقاومة.

الحل :

تتعين المقاومة الكلية للدائرة من :

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 25 + 70 + 85 = 180 \Omega$$

وتتعين شدة التيار الكلى فى الدائرة من قانون أوم للدائرة المغلقة

$$I = \frac{V_B}{R} = \frac{45}{180} = 0.25 A$$

ونظراً لأن المقاومات الثلاث موصلة على التوالي يكون التيار المار فيها ثابتاً، أى أن

شدة التيار المار فى كل مقاومة هو $0.25A$

فرق الجهد على المقاومة الأولى هو :

$$V_1 = IR_1 = 0.25 \times 25 = 6.25V$$

وفرق الجهد على المقاومة الثانية هو :

$$V_2 = IR_2 = 0.25 \times 70 = 17.5V$$

وفرق الجهد على المقاومة الثالثة هو :

$$V_3 = IR_3 = 0.25 \times 85 = 21.25V$$

(٢) إذا وصلت المقاومات الثلاث في المثال السابق على التوازي مع نفس المصدر فاحسب :

(أ) شدة التيار المار في كل مقاومة.

(ب) المقاومة الكلية.

(ج) شدة التيار الكلي.

الحل :

نظرا لأن المقاومات الثلاث متصلة على التوازي، يكون فرق الجهد على كل مقاومة

(مع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية) هو 45V

وتتعين شدة التيار في كل مقاومة على حدة من :

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{45}{25} = 1.8 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{45}{70} = 0.643 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{45}{85} = 0.529 \text{ A}$$

وتتعين المقاومة الكلية من :

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{25} + \frac{1}{70} + \frac{1}{85}$$

$$R' = 15.14 \Omega$$

وتتعين شدة التيار الكلي من :

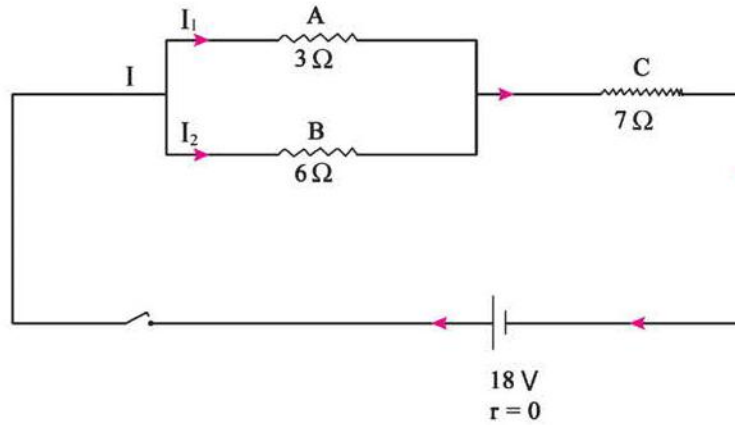
$$I = \frac{V}{R'} = \frac{45}{15.14} = 2.972 \text{ A}$$

أى أن شدة التيار الكلى تساوى 2.972 A

ويمكن حساب شدة التيار الكلى بجمع I_1 , I_2 , I_3 وعندئذ يكون :

$$I = 1.8 + 0.643 + 0.529 = 2.972 \text{ A}$$

وهى نفس النتيجة السابقة.



(٣) فى الشكل السابق وصلت المقاومتان A و B معا على التوازى ثم وصلت

المجموعة على التوالى مع مقاومة ثالثة C وبطارية قوتها الدافعة الكهربائية 18V ، فإذا كانت المقاومات A ، B ، C هى 3Ω و 6Ω و 7Ω على الترتيب، فاحسب مع إهمال المقاومة الداخلية للبطارية :

أولاً : المقاومة الكلية.

ثانياً : شدة التيار المار فى الدائرة.

ثالثاً : شدة التيار المار فى كل من المقاومتين A و B

الحل :

نحسب المقاومة المكافئة للمقاومتين A و B المتصلتين على التوازى من العلاقة :

$$R' = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2 \Omega$$

ثم نحسب المقاومة المكافئة الكلية للمقاومات الثلاث من العلاقة :

$$R = R' + R_3 = 2 + 7 = 9 \Omega$$

وتتعين شدة التيار الكلى من العلاقة :

$$I = \frac{V}{R} = \frac{18}{9} = 2 \text{ A}$$

ولحساب شدة التيار فى كل من المقاومتين B و A نحسب أولا فرق الجهد بينهما من :

$$V' = IR' = 2 \times 2 = 4V$$

$$\therefore I_1 = \frac{V'}{R_1} = \frac{4}{3} = 1.333 \text{ A}$$

$$\therefore I_2 = \frac{V'}{R_2} = \frac{4}{6} = 0.667 \text{ A}$$

(٤) عمود كهربي قوة الدافعة الكهربية 2 V وصل فى دائرة كهربية. فإذا كانت المقاومة الداخلية له 0.1 Ω والمقاومة الخارجية 3.9 Ω فاحسب شدة التيار الكلى فى دائرته.

الحل

$$I = \frac{V_B}{R' + r} = \frac{2}{3.9 + 0.1} = 0.5 \text{ A}$$

قانونا كيرتشفوف Kirchhoff's laws

هناك دوائر كهربية معقدة لا يطبق عليها قانون أوم لذلك تخضع هذه الدوائر لقانونا كيرتشفوف

القانون الأول : " قانون حفظ الشحنة الكهربائية "

عرفنا أن التيار الكهربى في الموصلات المعدنية عبارة عن سيل من الالكترونات السالبة (شحنات كهربية) تنتقل من نقطة إلى أخرى ولا تتراكم الشحنة التي تنتقل عبر الموصل لذلك استنتج كيرتشفوف القانون الأول الذي ينص على الآتى :

" مجموع التيارات الكهربائية الداخلة عند نقطة (عقدة) في دائرة كهربية مغلقة يساوى

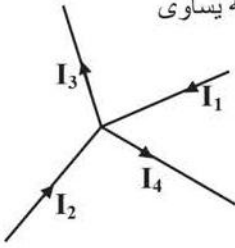
مجموع التيارات الخارجة منها "

$$\Sigma I_{in} = \Sigma I_{out}$$

كما بالشكل نجد أن :

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$

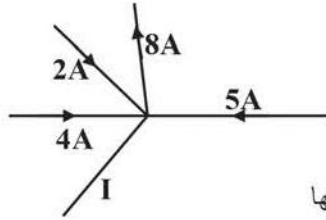
$$I_1 + I_2 - I_3 - I_4 = 0$$



المجموع الجبرى للتيارات عند نقطة (عقدة) في دائرة مغلقة يساوى صفر ويكتب $\Sigma I = 0$

مثال : احسب مقدار واتجاه شدة التيار I الموضح في الشكل

الحل :



حسب قانون كيرتشفوف الأول

شادات التيارات الداخلة عند النقطة = شادات التيارات الخارجة منها

$$4 + 5 + 2 = 8 + I$$

منها يكون $I = 3 A$ وإتجاهه خارج من النقطة

القانون الثاني : " قانون حفظ الطاقة "

القوة الدافعة الكهربائية لدائرة كهربية مغلقة تعبر عن الشغل أو الطاقة اللازمة لتحريك الشحنات الكهربائية عبر الدائرة كلها مرة واحدة

$$V = I.R \quad \text{وفرق الجهد الكهربى}$$

يعبر عن الشغل المبذول لتحريك الشحنات الكهربائية عبر جزء من الدائرة ويعبر عن ذلك بقانون كيرتشفوف الثاني الذي ينص على :

" المجموع الجبرى للقوى المحركة الكهربائية في دائرة مغلقة يساوى المجموع الجبرى لفروق الجهد في الدائرة "

وتكتب الصيغة الرياضية $\Sigma V_B = \Sigma I \cdot R$

ويراعى عند حل مسائل الدوائر الكهربية باستخدام قانونا كيرتشفوف الآتى :

1- اتجاهات التيارات الكهربية المحددة على أفرع الدائرة هي اتجاهات افتراضية، فإذا كان التيار المار فعليًا بفرع معين:

(أ) قيمته موجبة، يمر التيار في نفس الاتجاه المحدد على الفرع.

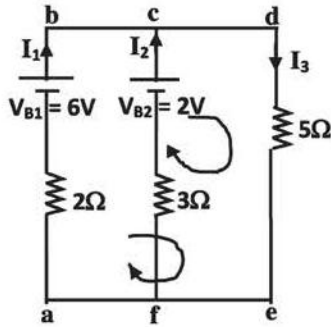
(ب) قيمته سالبة، يمر التيار عكس الاتجاه المحدد على الفرع.

2- يفرض في أي مسار مغلق اتجاه معين، فإذا كان اتجاه التيار في المقاومة:

(أ) في نفس الاتجاه المفروض، تكون قيمة التيار موجبة.

(ب) عكس الاتجاه المفروض، تكون قيمة التيار سالبة.

3- تكون قيمة القوة الدافعة الكهربية موجبة إذا كان الاتجاه المفروض في المسار المغلق يمر داخل البطارية من قطبها السالب إلى قطبها الموجب، وتكون سالبة إذا كان الاتجاه المفروض في المسار المغلق يمر داخل البطارية من قطبها الموجب إلى قطبها السالب.



أمثلة على قانونى كيرتشف

مثال ١ : في الدائرة الموضحة بالشكل احسب

١- شدات التيارات في كل فرع

٢- فرق الجهد بين نقطتي a,b

الحل :

نفرض اتجاه التيارات كما هو موضح في الدائرة

نطبق قانون كيرتشف الأول عند نقطة (c)

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

نأخذ المسار المغلق (الدائرة) abdea

ونطبق القانون الثاني $\sum V_B = \sum I.R$

$$6 = 2 I_1 + 5 I_3 = 2 I_1 + 5 (I_1 + I_2)$$

$$6 = 7 I_1 + 5 I_2 \rightarrow (2)$$

نأخذ المسار المغلق (الدائرة) cdefc ونطبق القانون الثاني

$$2 = 3 I_2 + 5 (I_3) = 3 I_2 + 5 (I_1 + I_2)$$

$$2 = 5 I_1 + 8 I_2 \rightarrow (3)$$

من (2) ، (3) نوجد معامل احد المجهولين بضرب المعادلة (2) x 5 ، والمعادلة (3) x 7

$$30 = 35 I_1 + 25 I_2$$

$$14 = 35 I_1 + 56 I_2$$

$$16 = -31 I_2$$

بالطرح

$$\therefore I_2 = -0.516 \text{ A}$$

الإشارة السالبة تعنى أن الاتجاه الصحيح للتيار I_2 عكس الاتجاه المفترض في الشكل

بالتعويض في المعادلة (3)

$$2 = 5 I_1 + 8 X (-0.516)$$

$$\therefore I_1 = 1.226 \text{ A}$$

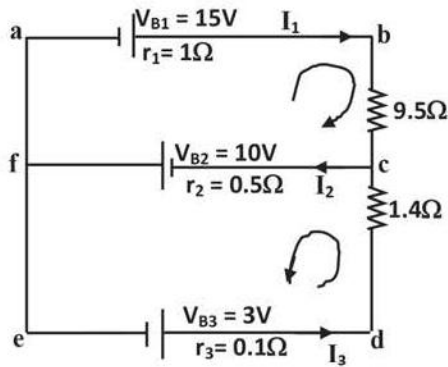
الإشارة الموجبة تعني الاتجاه المفروض صحيح

وبالتعويض في المعادلة (1) يحسب $I_3 = 0.71 \text{ A}$

حساب فرق الجهد بين نقطتي ab

$$V = V_B - IR$$

$$= 6 - 1.226 \times 2 = 3.55 \text{ V}$$



مثال ٢ : في الدائرة الموضحة بالشكل

احسب قيم شدات التيارات I_1, I_2, I_3

الحل :

نطبق قانون كيرتشف الأول عند نقطة (c)

$$I_1 + I_3 = I_2 \quad \rightarrow \quad (1)$$

نطبق قانون كيرتشف الثاني في الدائرة المغلقة abcfa

$$\sum V_B = \sum I.R$$

$$15 + 10 = (1 + 9.5) I_1 + 0.5 I_2 \quad \text{بالضرب في (2)}$$

$$50 = 21 I_1 + I_2 \quad \rightarrow \quad (2)$$

نطبق قانون كيرتشف الثاني في الدائرة المغلقة fcdef

$$3 + 10 = 0.5 I_2 + (0.1 + 1.4) I_3 \quad \text{بالضرب في (2)}$$

$$26 = I_2 + 3 I_3 \quad \rightarrow \quad (3)$$

من المعادلة (1) والمعادلة (2)

$$50 = 21 (I_2 - I_3) + I_2 = 22 I_2 - 21 I_3 \quad \rightarrow \quad (4)$$

من المعادلة (4) والمعادلة (3) بضرب المعادلة (3) x 7 وجمعها مع المعادلة 4

$$182 = 7 I_2 + 21 I_3$$

$$50 = 22 I_2 - 21 I_3$$

بالجمع

$$232 = 29 I_2$$

$$\therefore I_2 = 8 \text{ A}$$

بالتعويض في المعادلة (2)

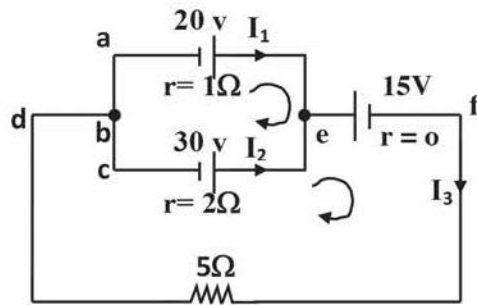
$$50 = 21 I_1 + 8$$

$$\therefore I_1 = 2 \text{ A}$$

$$I_3 = 6 \text{ A}$$

وبالتعويض في المعادلة (1) نحسب

نلاحظ أن الاتجاهات المفروضة كانت صحيحة



مثال ٣ : في الدائرة الموضحة بالشكل احسب :

١- شدة التيار المار في كل بطارية

٢- فرق الجهد بين قطبي كل بطارية

٣- فرق الجهد عبر المقاومة 5Ω

الحل

نفرض اتجاه التيارات كما بالشكل

نطبق قانون كيرتشف الأول عند نقطة (e)

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \rightarrow \quad (1)$$

نطبق قانون كيرتشف الثاني في المسار المغلق (aecba)

$$20 - 30 = I_1 \times 1 - I_2 \times 2$$

$$-10 = I_1 - 2 I_2 \quad \rightarrow \quad (2)$$

نطبق قانون كيرتشف الثاني في المسار المغلق (aefdba)

$$20 - 15 = I_1 \times 1 + I_3 \times 5$$

$$5 = I_1 + 5 (I_1 + I_2)$$

$$5 = 6 I_1 + 5 I_2 \quad \rightarrow \quad (3)$$

بحل المعادلتين 2، 3 بضرب المعادلة (2) x 5 والمعادلة (3) x 2 ثم الجمع

$$-50 = 5 I_1 - 10 I_2$$

$$10 = 12 I_1 + 10 I_2$$

$$-40 = 17 I_1$$

بالجمع

$$\therefore I_1 = -2.35 \text{ A}$$

ويكون اتجاه I_1 عكس ما هو مفروض أى البطارية 20 V في حالة شحن

$$I_2 = 3.82 \text{ A}$$

بالتعويض (2) نجد أن

أى البطارية 30 V في حالة تفريغ

$$I_3 = 1.46$$

والتيار I_3

$$V_1 = 20 + 2.35 \times 1 = 22.35 \text{ V}$$

حساب فرق الجهد للبطارية 20 V ،

$$V_2 = 30 - 3.82 \times 2 = 22.35 \text{ V}$$

حساب فرق الجهد للبطارية 30 V ،

$$V_3 = 15 \text{ V}$$

حساب فرق الجهد للبطارية 15V .

$$V_R = 5 \times 1.46 = 7.3 \text{ V}$$

تلخيص

• القوانين الهامة :

- إذا مرت كمية كهربية Q خلال مقطع فى دائرة فى زمن t تكون شدة التيار.

$$I = \frac{Q}{t}$$

- إذا كان الشغل المبذول لنقل كمية من الكهرباء Q (Coulomb) هو

W(Joule) يكون الفرق فى الجهد (Volt).

$$V = \frac{W}{Q}$$

- قانون أوم : إذا كان فرق الجهد بين طرفى موصل V(V) ويمر به تيار I(A) فإن :

$$R = \frac{V}{I} \quad \Omega$$

حيث R مقاومة الموصل (المقاومة).

$$\rho_e = \frac{RA}{\ell} \quad \begin{array}{l} \text{المقاومة النوعية } (\Omega m) \\ \text{(عند ثبوت درجة الحرارة)} \end{array}$$

- حيث R(Ω) مقاومة موصل مساحة مقطعة A(m²) وطوله ℓ(m).

$$\sigma = \frac{1}{\rho_e} \quad \text{التوصيلية الكهربائية } (\Omega^{-1} m^{-1})$$

- قانون توصيل المقاومات على التوالى

$$R' = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

- وإذا كانت جميع المقاومات متساوية وقيمة كل منها R فإن R' = NR

حيث N عدد المقاومات.

● قانون التوصيل على التوازي

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

● عندما تكون المقاومات المكونة للمجموعة متساوية وقيمة كل منها R وعددها N فإن

$$R' = \frac{R}{N}$$

● قانون أوم للدائرة المغلقة :

شدة التيار المار فى دائرة مغلقة

$$I = \frac{V_B}{R + r}$$

حيث V_B القوة الدافعة الكهربائية للعمود، r مقاومته الداخلية، R المقاومة

الخارجية.

قانون كيرشوف الأول :

مجموع التيارات الكهربائية الداخلة عند نقطة فى دائرة كهربية مغلقة يساوى مجموع التيارات الكهربائية الخارجة منها

$$\Sigma I = 0$$

قانون كيرشوف الثانى :

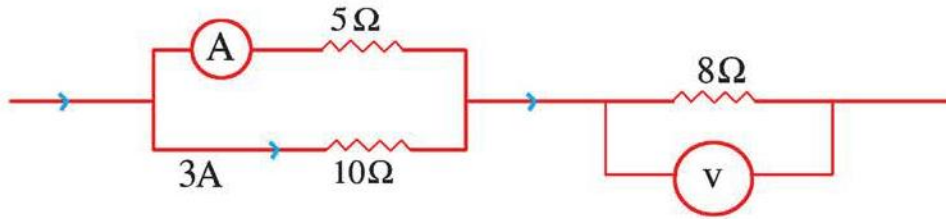
المجموع الجبرى للقوى الدافعة الكهربائية فى دائرة مغلقة يساوى المجموع الجبرى لفروق الجهد فى الدائرة.

$$\Sigma V_B = \Sigma I \cdot R$$

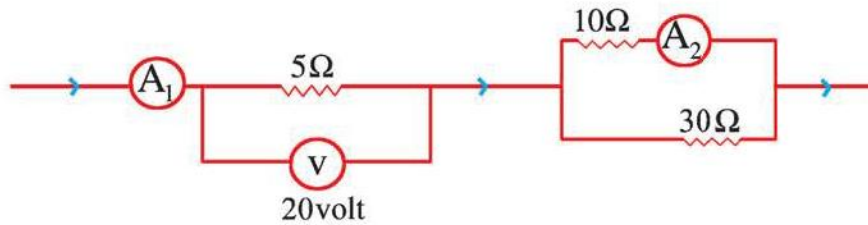
أسئلة وتمارين

أولاً: أكمل:

- ١- عندما يمر تيار كهربى شدته $3A$ عبر نقطة من دائرة كهربية، فإن الشحنة الكهربائية التى تمر خلال دقيقة تساوى.....
- ٢- فرق الجهد بالفولت المطلوب لكى يمر تيار مقداره $3A$ خلال مقاومة 6Ω تساوى.....
- ٣- إذا كان فرق الجهد بين طرفى مقاومة 2Ω يساوى $6V$ فإن شدة التيار التى تمر فيها تساوى.....
- ٤- إذا وصلت مقاومتان متساويتان كل منهما تساوى 1Ω على التوالى، فإن المقاومة المكافئة تساوى..... أما إذا تم التوصيل على التوازي فإن المقاومة المكافئة فى هذه الحالة تساوى.....
- ٥ - القوة الدافعة الكهربائية تقاس بنفس وحدات قياس.....



- ٦ - فى الدائرة الموضحة:
- أ - قراءة الأميتر تساوى.....
- ب - قراءة الفولتميتر تساوى.....



٧ - في الدائرة الموضحة:

أ - قراءة الأميتر A_1 تساوى

ب - قراءة الأميتر A_2 تساوى

ثانياً اختر الإجابة الصحيحة:

وصلت أربع لمبات مقاومة كل منها 6Ω على التوازي ثم وصلت المجموعة ببطارية $12V$ ذات مقاومة داخلية مهملة :

١ - المقاومة الكلية للمبات الأربع تساوى :

- | | | |
|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| (أ) $\frac{2}{3}\Omega$ | (ب) 24Ω | (ج) $\frac{3}{2}\Omega$ |
| (د) 6Ω | (هـ) 12Ω | |

٢ - التيار المار بالبطارية يساوى :

- | | | |
|----------|-----------|----------|
| (أ) $8A$ | (ب) $6A$ | (ج) $4A$ |
| (د) $2A$ | (هـ) $0A$ | |

٣ - الشحنة الكلية التى تترك البطارية فى $10s$ تكون

- | | | |
|-----------|-----------|-----------|
| (أ) $80C$ | (ب) $60C$ | (ج) $40C$ |
| (د) $20C$ | (هـ) صفر | |

٤ - شدة التيار المار بكل لمبة يساوى :

- | | | |
|--------------------|-----------|--------------------|
| (أ) $\frac{2}{3}A$ | (ب) $8A$ | (ج) $\frac{3}{2}A$ |
| (د) $1A$ | (هـ) $2A$ | |

٥ - فرق الجهد بين طرفى كل لمبة يساوى :

- | | | |
|----------|-----------|----------|
| (أ) $3V$ | (ب) $12V$ | (ج) $6V$ |
| (د) $2V$ | (هـ) $4V$ | |

٦ - إذا وصلت اللمبات الأربع على التوالى تكون مقاومتها الكلية :

- | | | |
|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| (أ) $\frac{2}{3}\Omega$ | (ب) 24Ω | (ج) $\frac{3}{2}\Omega$ |
| (د) 6Ω | (هـ) 12Ω | |

ثالثا : أسئلة المقال :

١- اشرح كيف يمكن اثبات أن المقاومة المكافئة لثلاث مقاومات متصلة معا على التوالى

$$R' = R_1 + R_2 + R_3$$

تتبعين من العلاقة :

٢- اشرح كيف تثبت أن مقلوب المقاومة المكافئة لثلاث مقاومات متصلة على التوازي تساوى مجموع مقلوب المقاومات الثلاث.

٣- ما هى العوامل التى تتوقف عليها مقاومة موصل؟

رابعا : تمارين :

١- احسب المقاومة الكلية

للدائرة الموضحة بالشكل

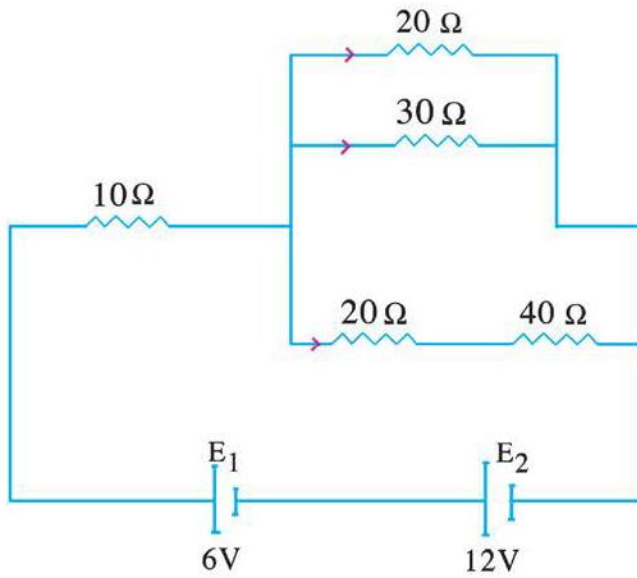
وكذلك شدة التيار الكلى

المر بها إذا كانت

المقاومة الداخلية لكل

عمود 2Ω

(0.75 A , 20Ω)



٢- عين المقاومة

المكافئة

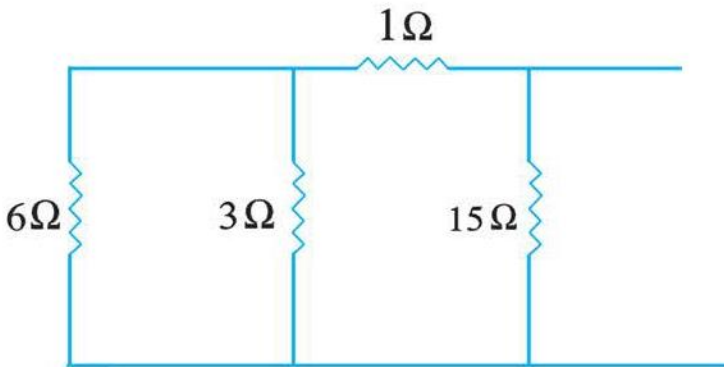
لمجموعة

المقاومات

الموضحة

بالشكل

(2.5Ω)



٣- دائرة كالموضحة فى شكل (١ - ٥) تتكون من بطارية $15V$ ومقاومة خارجية 2.7Ω ومفتاح، إذا كانت المقاومة الداخلية للبطارية 0.3Ω عين :

اولاً : قراءة الفولتميتر والمفتاح مفتوح بفرض أن مقاومة الفولتميتر لانهائية ($15V$)
ثانياً : قراءة الفولتميتر والمفتاح مغلق ($13.5V$)

٤- صنع طالب مقاومة من سلك ذى طول معين. ثم صنع مقاومة أخرى باستخدام سلك من نفس المادة وكان قطره يساوى نصف قطر السلك الأول، وطوله ضعف طول السلك

الأول. احسب النسبة بين مقاومة السلك الثانى إلى مقاومة السلك الأول. (8)

٥- سلك من النحاس طوله 30 m ومساحة مقطعه $2 \times 10^{-6}\text{ m}^2$ وفرق الجهد بين طرفيه $3V$ احسب شدة التيار الكهربي، علماً بأن المقاومة النوعية للنحاس $1.79 \times 10^{-8}\Omega\text{m}$ (11.17 A)

٦- مقاومة 4.7Ω وصلت بين قطبى بطارية قوتها الدافعة $12V$ ومقاومتها الداخلية 0.3Ω

احسب :

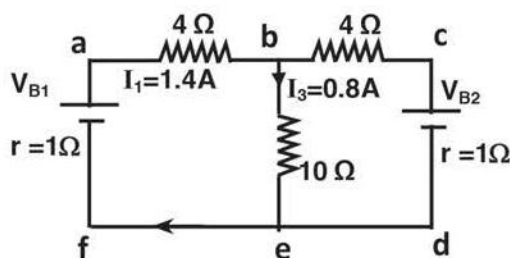
(أ) شدة التيار المار فى الدائرة. (ب) فرق الجهد بين طرفى المقاومة

($11.28V, 2.4A$)

٧ - فى الدائرة الموضحة بالشكل باستخدام قانونا كيرشوف احسب كلا من :

(أ) V_{B1} و V_{B2}

(ب) فرق الجهد بين (e , b)



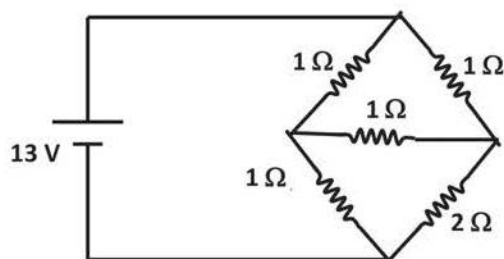
$$V_{B1} = 15V$$

$$V_{B2} = 5V, \quad \text{الإجابة :}$$

$$V_{(e,b)} = 8V$$

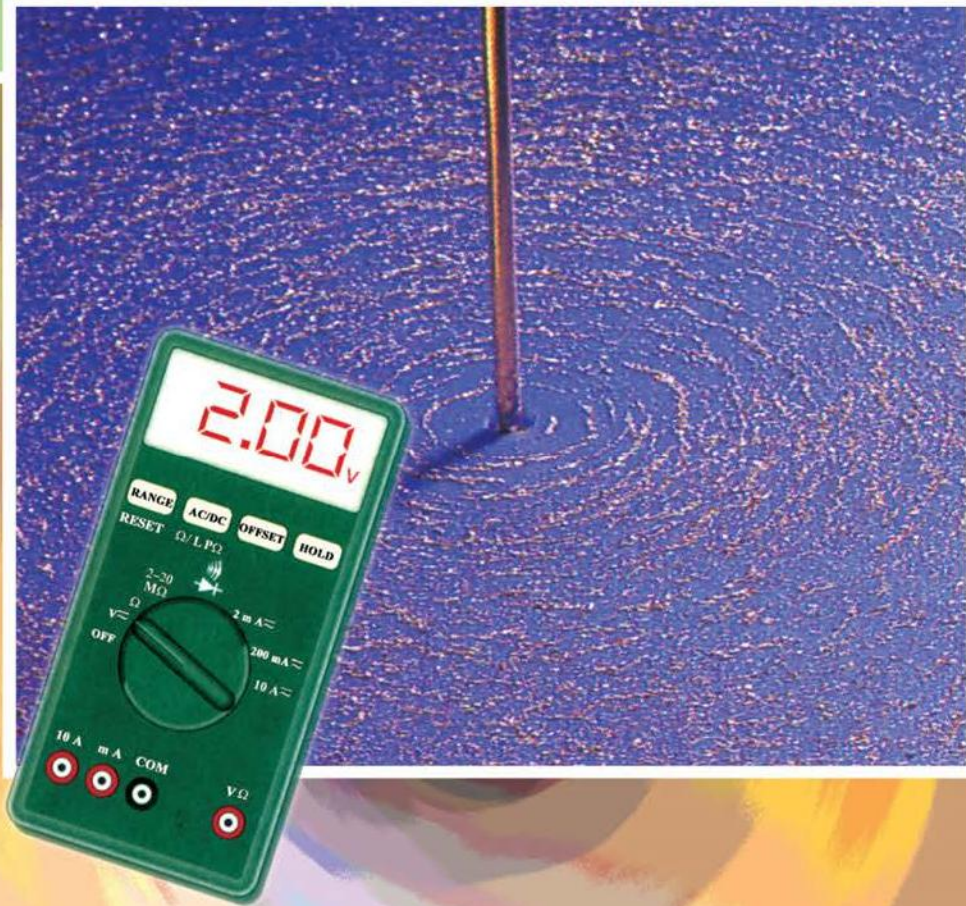
٨ - احسب المقاومة المكافئة للشكل المقابل باستخدام قانونا كيرشوف :

$$1.18\Omega \quad \text{الإجابة :}$$



الكهرلية التيارية والكهرومغناطيسية

الوحدة الأولى



الفصل الثاني : التأثير المغناطيسى
للتيار الكهربى و أجهزة القياس الكهربى

الفصل الثانى التأثير المغناطيسى للتيار الكهربى وأجهزة القياس الكهربى

مقدمة :

حينما وضع العالم الدانمركى هانز أورستد Oersted عام ١٨١٩ بوصة مغناطيسية صغيرة فوق السلك وموازية له يمر به تيار كهربى لاحظ إنحراف إبرة البوصلة. وعندما قطع التيار الكهربى عن السلك، استعادت البوصلة إتجاهها الأصلى. انحراف البوصلة أثناء مرور التيار الكهربى فى السلك يوضح أنها تتأثر بمجال مغناطيسى خارجى، مما يؤكد تولد مجال مغناطيسى حول السلك نتيجة لمرور تيار كهربى به. ولقد أدى هذا الكشف الى سلسلة من الدراسات ساعدت فى تشكيل حضارتنا الصناعية. وستناول فى هذه الوحدة المجال المغناطيسى لتيار كهربى فى موصل على هيئة :

(أ) سلك مستقيم. (ب) ملف دائرى. (ج) ملف لولبى.

المجال المغناطيسى لتيار كهربى يمر فى سلك مستقيم :

يمكننا اختبار ودراسة شكل خطوط الفيض المغناطيسى Magnetic Flux بالقرب من سلك مستقيم يمر به تيار كهربى باستخدام برادة حديد تنثر بعناية على لوحة افقية من الورق المقوى يخترقها السلك المستقيم وهو فى وضع رأسى. وبطرق لوحة الورق عدة طرقات خفيفة، يلاحظ أن برادة الحديد تترتب على هيئة دوائر منتظمة متحدة المركز، كما فى الشكل (٢-١).



(شكل ٢-١)

توزيع برادة حديد حول
سلك يمر به تيار



أورستيد

من الشكل نتبين أن الدوائر التى تمثل خطوط الفيض المغناطيسى تتزاحم بالقرب من السلك، وتتباعد بتباعدها عنه، مما يدل على أن شدة المجال المغناطيسى للتيار الكهربى الذى يمر فى سلك مستقيم تزداد بالإقتراب من السلك وتقل بالإبتعاد عنه. ومع زيادة شدة التيار الكهربى فى السلك وإعادة طرق لوحة الورق المقوى، يزداد تزاخم خطوط الفيض حول السلك، إذ تصبح الدوائر أكثر ازدحاما مما كانت عليه، مما يدل على أن شدة المجال المغناطيسى للتيار الكهربى الذى يمر فى سلك مستقيم تزداد بزيادة شدة التيار الكهربى وتقل بانقاصه.

ويعبر عن شدة المجال المغناطيسى بكثافة الفيض المغناطيسى B ، وهو الفيض المغناطيسى ϕ_m لوحدة المساحة $B = \frac{\phi_m}{A}$. وتكون وحدتها Weber/m^2 (Tesla).
تتعين كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بعدها العمودي d عن محور سلك طويل يمر به تيار كهربى شدته I من العلاقة:

$$B = \frac{\mu I}{2 \pi d} \quad (1-2)$$

وتسمى هذه العلاقة قانون أمبير الدائرى Ampere's Circuital Law، حيث μ هى النفاذية المغناطيسية للوسط Permeability. وهى للهواء تساوى $4\pi \times 10^{-7} \text{ Weber/A.m}$ ومن هذه العلاقة نتبين أن كثافة الفيض B تتناسب طرديا مع شدة التيار I ، وعكسيا مع المسافه d ، ولذلك ينصح ببناء المساكن بعيداً عن أبراج الضغط العالى للكهرباء حفاظاً على الصحة العامة والبيئة.



(شكل ٢-٢)

قاعدة اليد اليمنى

قاعدة اليد اليمنى لأمبير:

لتعيين اتجاه المجال المغناطيسى الناشئ عن تيار كهربى يمر فى سلك، نتخيل أننا نقبض باليد اليمنى على السلك بحيث يشير الإبهام الى اتجاه التيار الكهربى، فإن اتجاه الأصابع الملتفة على السلك، يحدد اتجاه المجال المغناطيسى للتيار الكهربى، كما فى الشكل (٢-٢).

مثال :

احسب كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة في الهواء على بعد 10 سم من محور سلك مستقيم طويل يمر به تيار كهربى شدته 10A ، علما بأن μ للهواء تساوي $4\pi \times 10^{-7} \text{ Weber/A.m}$

الحل :

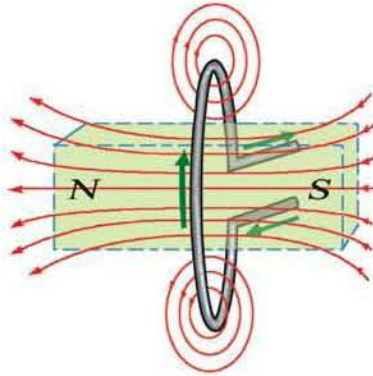
$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 10}{2\pi \times 0.1} = 2 \times 10^{-5} \text{ Tesla}$$

المجال المغناطيسى لتيار يمر فى ملف دائرى :

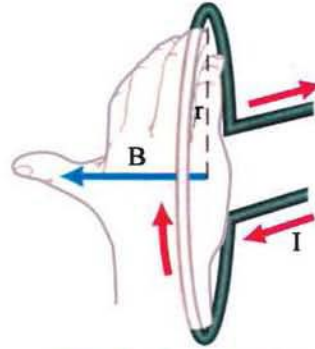


أ- تخطيط المجال

عند إمرار تيار كهربى فى سلك منحنى على شكل حلقة دائرية شكل (٢-٣) ، فإن المجال المغناطيسى الناشئ عن هذا الملف الدائرى يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسى لمغناطيس قصير. حيث يكون الوجه الذى يبدو فيه اتجاه التيار عند النظر اليه فى اتجاه حركة عقارب الساعة قطبا جنوبيا ، والوجه الذى يبدو فيه اتجاه التيار عند النظر اليه فى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة قطبا شماليا كما فى شكل (٢-٣ج).



ج - تحديد قطبية المجال



ب- إتجاه المجال عند مركز الملف

شكل (٢-٣)

المجال المغناطيسى لملف دائرى

ولدراسة المجال المغناطيسى للملف الدائرى نثر برادة الحديد على لوح الورق المقوى الذى يخترقه الملف الدائرى، وعند طرق لوح الورق المقوى طرقاً خفيفة، نترتب البرادة متخذة الشكل الموضح بالرسم (شكل ٢-٣).

فى هذا الشكل يمكننا ملاحظة ما يلى :

(أ) تفقد خطوط الفيض دائريتها.

(ب) تختلف كثافة الفيض المغناطيسى من نقطة لأخرى.

(ج) خطوط الفيض عند محور الملف الدائرى خطوط مستقيمة متوازية متعامدة

على مستوى الملف، مما يدل على أن المجال المغناطيسى فى هذه المنطقة مجال منتظم.

ويمكن حساب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز الملف الدائرى بمعرفة نصف

قطره r وشدة التيار المار I وعدد اللفات N ، حيث تطبق العلاقة :

$$B = \frac{\mu N I}{2 r} \quad (2-2)$$

حيث μ هى معامل النفاذية للهواء وتساوى $4 \pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m

من هذه العلاقة نتبين أن كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى تتوقف

على عوامل ثلاثة هى :

١- عدد لفات الملف الدائرى حيث تكون $B \propto N$

٢- شدة التيار المار فى الملف الدائرى حيث تكون : $B \propto I$

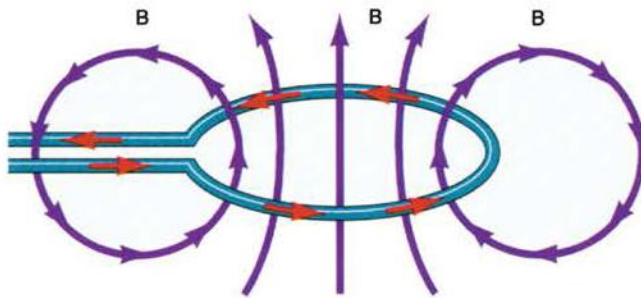
٣- نصف قطر الملف الدائرى r حيث تكون : $B \propto \frac{1}{r}$

• قاعدة البريمة اليمنى، Right Hand Screw Rule

لتعيين اتجاه المجال المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى، نتخيل دوران بريمة (قلاووظ Screw) فى اليد اليمنى فى اتجاه الربط (فى اتجاه حركة عقارب الساعة) عند مركز الملف، بحيث يشير اتجاه دورانها إلى اتجاه التيار الكهربى فى الملف فإن اتجاه اندفاعها يدل على اتجاه المجال المغناطيسى عند مركز الملف، كما فى الشكلين (٢-٤) - (٢-٥).

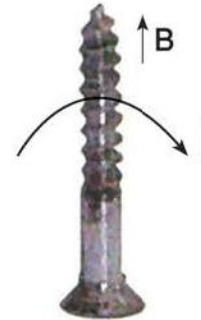
وبذلك فإن ملفاً دائرياً يمر به تيار يكافئ ثنائى قطب مغناطيسى Magnetic Dipole .

ويلاحظ أنه لا يوجد فى الطبيعة أقطاب منفردة، فدائما يوجد قطبان أحدهما شمالى N والثانى جنوبى S، وبذلك يماثل الملف الدائرى الذى يمر فيه تيار مغناطيسا على هيئة قرص مصمت له قطبان مستديران (شكل ٢-٣).



شكل (٢-٥)

ملف دائرى يمر به تيار فى إتجاه حركة ربط البريمة



شكل (٢-٤)

قاعدة البريمة اليمنى
اتجاه حركة مسمار بريمة
(اثناء الربط)

مثال :

عين كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى نصف قطره 11cm وعدد لفاته 20 لفة، ويمر به تيار كهربى شدته 1.4 A ، علما بأن μ للهواء تساوى $4 \pi \times 10^{-7}$ Weber/A.m

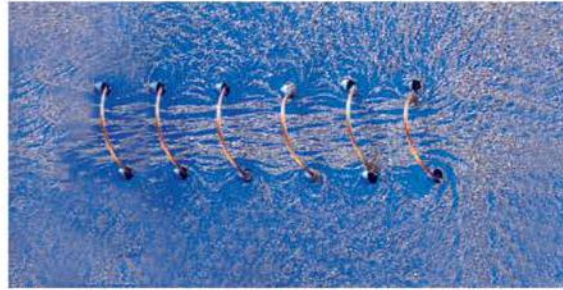
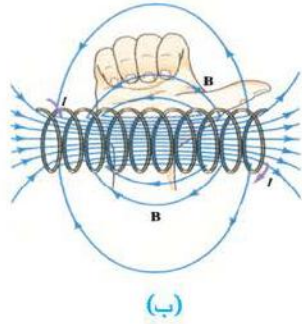
الحل :

$$B = \frac{\mu NI}{2r} = \frac{4 \pi \times 10^{-7} \times 20 \times 1.4}{2 \times 0.11}$$

$$= \frac{4 \times 22 \times 10^{-7} \times 20 \times 1.4}{7 \times 2 \times 0.11} = 16 \times 10^{-5} \text{ Tesla}$$

• المجال المغناطيسى لتيار كهربى يمر فى ملف لولبى

عندما يوصل طرفا ملف لولبى بمصدر تيار كهربى كما فى الشكل (٢-٦) يتولد مجال مغناطيسى يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسى لقضيب مغناطيسى. ومن الشكل (٢-١٦)، يتضح أن خطوط الفيض تمثل مسارات متصلة داخل وخارج الملف. أى أن كل خط بمثابة مسار مغلق. طرف الملف الذى تخرج منه خطوط الفيض المغناطيسى هو القطب الشمالى للملف، والطرف الآخر الذى تدخل فيه خطوط الفيض المغناطيسى هو القطب الجنوبى للملف.



شكل (٢-٦)

المجال المغناطيسى لملف لولبى

أ- تخطيط المجال المغناطيسى

ب- تحديد قطبية المجال باستخدام قاعدة امبير لليد اليمنى

وتتوقف كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على المحور داخل الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى على كل من :

١- شدة التيار المار حيث $B \propto I$

٢- عدد اللفات فى وحدة الأطوال حيث $B \propto n$

$$\therefore B \propto nI$$

ومنها :

$$B = \mu nI$$

وتكتب العلاقة السابقة أحيانا على الصورة

$$B = \mu \frac{N}{\ell} I \quad (٣-٢)$$

حيث N العدد الكلى للفات ملف لولبى طوله ℓ .

ولتعيين قطبى الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى، نستخدم قاعدة البريمة اليمنى باعتبار أن الملف اللولبى يتكون من مجموعة لفات دائرية متحدة المحور (شكل ٢-٦ ب).

أمثلة:

١- يتكون ملف لولبى من 800 لفة ويمر به تيار شدته 0.7 A، احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخله وتقع على محوره، علما بأن طوله 20cm

الحل:

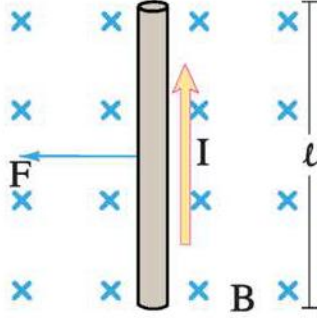
$$B = \frac{\mu NI}{\ell} = \frac{4 \times 22 \times 10^{-7} \times 800 \times 0.7}{7 \times 0.2} \\ = 3.52 \times 10^{-3} \text{ Tesla}$$

٢- احسب شدة التيار الكهربى اللازم لجعل كثافة الفيض المغناطيسى فى الملف السابق تساوى 0.815 Tesla فى حالة وجود قلب من الحديد داخله ، علما بأن النفاذية المغناطيسية للحديد هى $1.63 \times 10^{-2} \text{ Weber/Am}$

الحل:

$$B = \mu \frac{NI}{\ell} \\ 0.815 = \frac{1.63 \times 10^{-2} \times 800 \times I}{0.2} \\ I = \frac{0.815 \times 0.2}{1.63 \times 10^{-2} \times 800} = 0.0125 \text{ A} = 12.5 \text{ mA}$$

• القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع فى هذا المجال :



شكل (٧-٢)

القوة الناشئة عن مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار. ملحوظة، العلامة X تمثل الإتجاه داخل الصفحة

إذا وضعنا سلكا مستقيما يمر به تيار بين قطبى مغناطيس، فإنه تنشأ قوة تؤثر على السلك وتكون عمودية عليه وعلى المجال المغناطيسى كما هو مبين (شكل ٧-٢).

وينعكس اتجاه القوة إذا عكسنا اتجاه التيار فيه أو اتجاه المجال المغناطيسى المؤثر عليه. وفى كل الأحوال يكون اتجاه القوة عمودياً على كل من اتجاه التيار الكهربى واتجاه المجال.

تتطلب حركة السلك وجود قوة تحركه، وتكون بدورها عمودية على كل من اتجاه التيار الكهربى واتجاه المجال المغناطيسى. ويمكن تحديد اتجاه

القوة التى يؤثر بها المجال المغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع عمودياً على اتجاه المجال، وذلك بتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفلمنج.

قاعدة اليد اليسرى لفلمنج Fleming's Left Hand Rule



شكل (٨-٢)

قاعدة فلمنج لليد اليسرى

نجعل اصبعى اليد اليسرى السبابة والإبهام متعامدين على بعضهما وعلى باقى الأصابع، بحيث تشير السبابة إلى اتجاه الفيض المغناطيسى وباقى الأصابع (ماعدا الإبهام) إلى اتجاه التيار، عندئذ يشير الإبهام الى اتجاه القوة المغناطيسية، وبالتالي الى اتجاه حركة السلك، كما فى الشكل (٨-٢).

وقد وجد أن القوة المؤثرة على سلك يحمل تياراً كهربياً - يسرى عمودياً على

مجال مغناطيسى - تتوقف على عدة عوامل هى :

١- طول السلك ℓ

فالقوة F تتناسب طردياً مع طول السلك ℓ ، أى أن : $F \propto \ell$

٢- شدة التيار الكهربى I

فالقوة F تتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربى المار فى السلك، أى أن $F \propto I$

٣- كثافة الفيض المغناطيسى B

فالقوة F تتناسب طردياً مع كثافة الفيض المغناطيسى B ، أى أن $F \propto B$

وبذلك يكون :

$$F \propto BI \ell$$

$$\therefore F = \text{const} \times BI \ell$$

ولقد تم إتخاذ وحدة لكثافة الفيض المغناطيسى هى التسلا Tesla ، بحيث تولد قوة تساوى واحد نيوتن على سلك طوله واحد متر، يمر به تيار كهربى شدته واحد أمبير

$$\text{Weber/m}^2 = \text{N/Am}$$

أى

وعندئذ يكون :

$$F = BI \ell \quad (\text{Newton})$$

(٢ - ٤)

$$B = \frac{F}{I \ell} \quad \text{Tesla}$$

أو

التسلا :

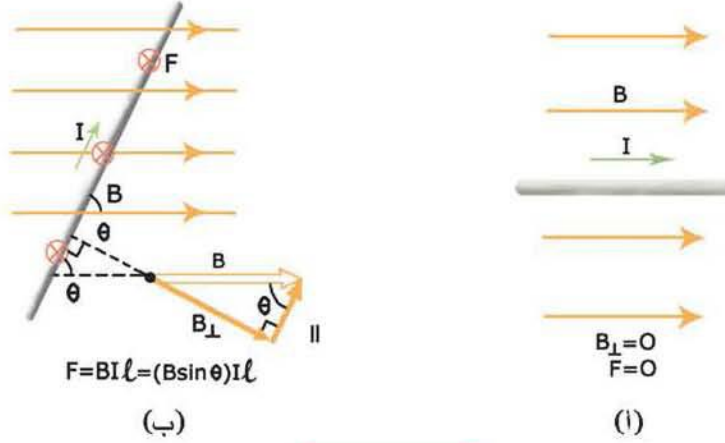
وحدة كثافة الفيض المغناطيسى : وهى كثافة الفيض المغناطيسى الذى يولد قوة مقدارها نيوتن واحد على سلك طوله متر واحد يمر به تيار كهربى شدته أمبير واحد، عندما يكون السلك عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسى.

وعندما يكون السلك الذى يمر به التيار الكهربى فى إتجاه يميل على إتجاه المجال بزاوية θ - كما فى الشكل (٢-٩) - عندئذ يمكن تحليل كثافة الفيض المغناطيسى الى مركبتين ، إحداهما موازية لاتجاه التيار فى السلك، ومقدارها $B \cos \theta$ ، والأخرى عمودية على إتجاه التيار فى السلك، ومقدارها $B \sin \theta$ ، وفى هذه الحالة تكون :

$$F = BI \ell \sin \theta$$

من هذه العلاقة، نتبين أن القوة F تنعدم عندما تكون θ مساوية للصفر، أى عندما يكون السلك والمجال المغناطيسى متوازيين.

يمكنك تخيل اتجاه القوة فى حالات مختلفة مع مراعاة أن علامة $\odot$ معناها خارج الصفحة وعلامة $\otimes$ معناها داخل الصفحة.

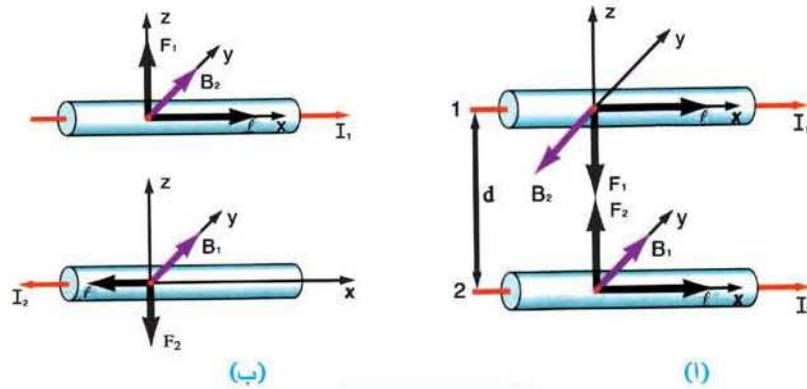


شكل (٩-٢)

سلك يمر به تيار فى اتجاه يميل على اتجاه المجال المغناطيسى بزاوية θ
 ا- تنعدم القوة عند $\theta = 0$ (السلك فى اتجاه المجال) ب- تنشأ قوة عندما تكون $\theta \neq 0$ تساوى صفر

القوة المتبادلة بين سلكين متوازيين يحملان تيارين

عندما يمر تيار I_1 فى سلك و تيار I_2 فى سلك آخر مواز، فإنه تنشأ قوة متبادلة بين السلكين. و تكون القوة تجاذبية، إذا كان التياران فى نفس الاتجاه، و تنافرية إذا كان التياران فى عكس الاتجاه. و يمكن حساب القوة المتبادلة بين السلكين على الوجه التالي:



شكل (١٠-٢)

القوة بين سلكين متوازيين يحملان تيارين

ب - التياران فى اتجاهين متضادين

ا - التياران فى نفس الاتجاه

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

$$F_1 = B_2 I_1 \ell$$

$$= \left(\frac{\mu_0 I_2}{2\pi d} \right) I_1 \ell$$

$$F_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2 \ell}{2\pi d}$$

أمثلة:

١- سلك طوله 30cm يمر به تيار شدته 4A وضع عمودياً على إتجاه مجال مغناطيسى فتأثر بقوة مقدارها 6 N احسب كثافة الفيض المغناطيسى.

الحل:

$$F = BI \ell$$

$$6 = B \times 4 \times 0.3$$

$$B = \frac{6}{4 \times 0.3} = \frac{6}{1.2} = 5 \text{ Tesla}$$

٢- مستخدماً بيانات المثال السابق احسب القوة التى يؤثر بها المجال المغناطيسى على نفس السلك عندما تكون الزاوية بينهما 30°

الحل:

$$F = BI \ell \sin \theta$$

$$= 5 \times 4 \times 0.3 \times \frac{1}{2} = 3 \text{ N}$$

• القوة والعزم المؤثران على ملف مستطيل يمر به تيار كهربي موضوع فى مجال مغناطيسى

إذا كان لدينا ملف abcd (شكل ٢-١١) مستواه يوازي خطوط الفيض للمجال المغناطيسى المنتظم، فإن كلاً من bc , ad يكونان موازيين لخطوط الفيض. وتكون القوة المؤثرة على كل منها تساوى صفراً، أما كلا من ab , cd فيكونان عموديين على خطوط الفيض، لذا يتأثران بقوتين متساويتين فى المقدار ومتضادتين فى الاتجاه، وتكونان متوازيتين، وقيمة كل منهما $F = BI \ell_{cd}$ ، وبينهما مسافة عمودية تمثل بطول الضلع ℓ_{ad} أو ℓ_{bc} ، ولذا يتأثر الملف بإزدواج يعمل على دوران الملف حول محوره. وتكون قيمة

عزم الإزدواج هو :

العزم = إحدى القوتين × البعد العمودى بينهما

$$\tau = BI \ell_{cd} \cdot \ell_{bc} = BIA$$

حيث A هي مساحة مقطع الملف = $\ell_{bc} \ell_{cd}$

وإذا كان الملف يحتوى على N لفة فإن العزم الكلى يساوى:

$$\tau = BIAN = B|\vec{m}_d| \quad (٥-٢)$$

حيث $|\vec{m}_d| = IAN$ وهى عزم ثنائى القطب المغناطيسى

Magnetic Dipole Moment وهو كمية متجهة واتجاهها عمودى على المساحة

فى اتجاه تقدم بريمة اليد اليمنى فى اتجاه الربط، وهو اتجاه التيار. وعلى ذلك إذا كان

الملف عمودياً على خطوط الفيض فإن عزم الإزدواج المؤثر يساوى صفراً.

أما إذا كان مستوى الملف يميل على خطوط الفيض فإن عزم الإزدواج

$$\tau = BIAN \sin \theta \quad (٦-٢)$$

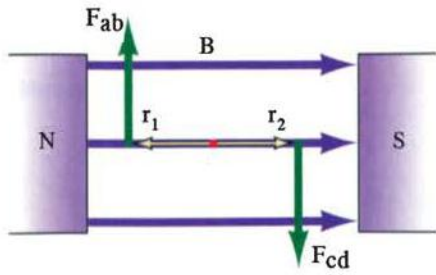
حيث θ هى الزاوية بين العمودى على مستوى الملف (وهو اتجاه عزم ثنائى القطب

المغناطيسى $\vec{m}_d$) وخطوط الفيض المغناطيسى. ويقاس عزم الإزدواج بالوحدة Nm.

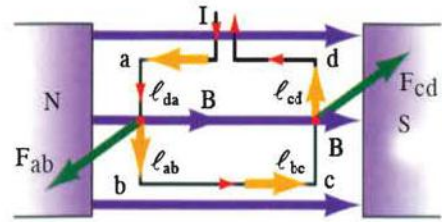
تستخدم فكرة عزم الازدواج فى عمل ملف يمر به تيار كهربى فى أجهزة القياس

الكهربية، وأيضا فى المحرك الكهربى والذى سيتم تناوله بالتفصيل فى نهاية الفصل

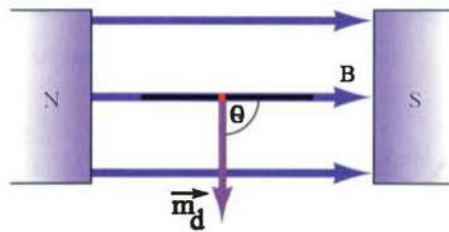
الثالث.



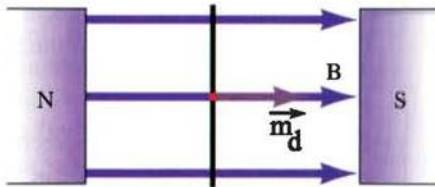
ب- منظر عندما يكون موازيا للمجال.



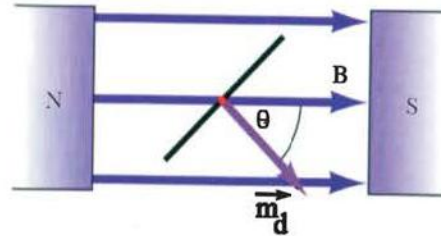
ا- الملف موازى للمجال.



ج - منظر حين يكون عزم ثنائى القطب المغناطيسى عموديا على المجال.



هـ - منظر حين يكون الملف عموديا على المجال أى عزم ثنائى القطب المغناطيسى مواز للمجال ويكون الأزواج صفراً.



د - منظر للملف من أعلى حين يكون عزم ثنائى القطب المغناطيسى يميل بزاوية θ مع المجال.

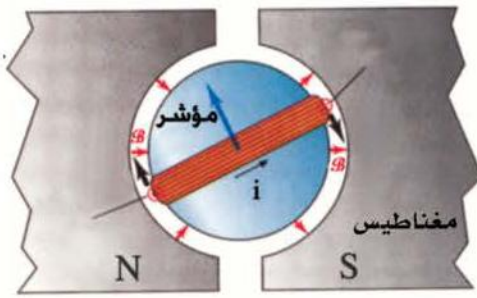
شكل (٢- ١١)

عزم الأزواج فى ملف يحمل تياراً

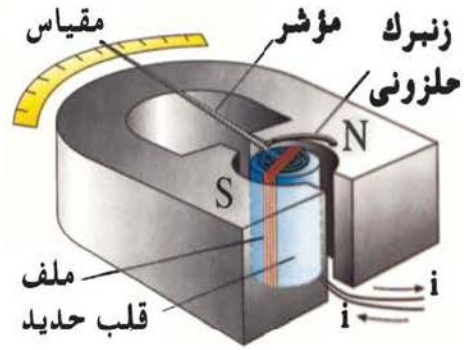
تطبيقات: أجهزة القياس الكهربائية

الجلفانومتر ذو الملف المتحرك (الجلفانومتر الحساس) :

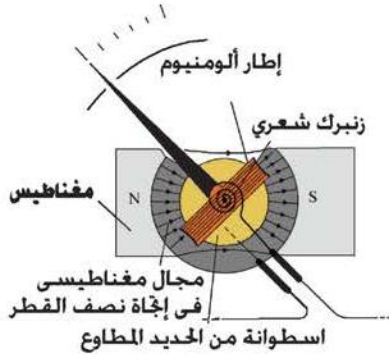
الجلفانومتر ذو الملف المتحرك Moving Coil Galvanometer جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات كهربية ضعيفة جداً فى دائرة ما، وقياس شدتها، وتحديد إتجاهها. وتعتمد فكرة عمله على عزم الإزدواج المؤثر فى ملف يمر به تيار كهربى قابل للحركة فى مجال مغناطيسى.



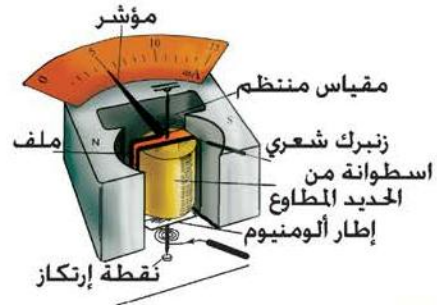
ب- منظر علوى .



ا- منظر مبسط للجلفانومتر عندما يكون المؤشر فى منتصف التدريج .



د- منظر علوى .



ج- الجلفانومتر وقد تحول إلى ميللى أميتر .

شكل (٢-١٢)

اشكال توضيحية للجلفانومتر

والأجزاء الرئيسية لهذا الجهاز (شكل ٢-١٢) هى ملف من سلك رفيع ملفوف حول إطار مستطيل خفيف من الألومنيوم يمكن أن يدور حول محوره، ويوضع قلب من الحديد المطاوع Soft Iron على هيئة اسطوانة ثابتة، يرتكز الملف على حوامل من العقيق، بحيث يقع بين قطبي مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس Horse Shoe. ويتحكم فى حركته زوج من الملفات اللولبية (أو الزنبركية) تعمل كوصلات للتيار بالنسبة للملف. وتبعاً لاتجاه شدة التيار المراد قياسه يمكن للملف والمؤشر أن يتحركا فى اتجاه حركة عقارب الساعة أو فى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة. ويلاحظ من الشكل أن القطبين المغناطيسيين الدائمين مقعران ، بحيث تكون خطوط الفيض المغناطيسى بينهما على هيئة أنصاف أقطار، مما يجعل كثافة الفيض المغناطيسى ثابتة فى الحيز الذى يتحرك فيه الملف مهما كانت زاوية الملف. وخطوط المجال موازية لمستوى الملف وعمودية على الضلعين الطولين له. وهذا بدوره يجعل انحراف المؤشر يتناسب مع شدة التيار المار فى الملف. عندما يمر التيار الكهربى فى الملف من طرفه الأيمن فى اتجاه إلى داخل الورقة ليخرج من طرفه الأيسر فى اتجاه خارج الورقة فإن القوى المغناطيسية ستولد عزمًا يعمل على دوران الملف فى اتجاه حركة عقارب الساعة. وسيتحرك المؤشر حتى يستقر أمام قراءة معينة فى الوضع الذى يتزن فيه هذا العزم مع عزم الإزدواج الناشئ عن لى الملفات الزنبركية الذى يعمل فى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة. وتدل قراءة المؤشر على قيمة شدة التيار. وعندما يمر التيار الكهربى فى الملف فى اتجاه مضاد يتحرك المؤشر فى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة.

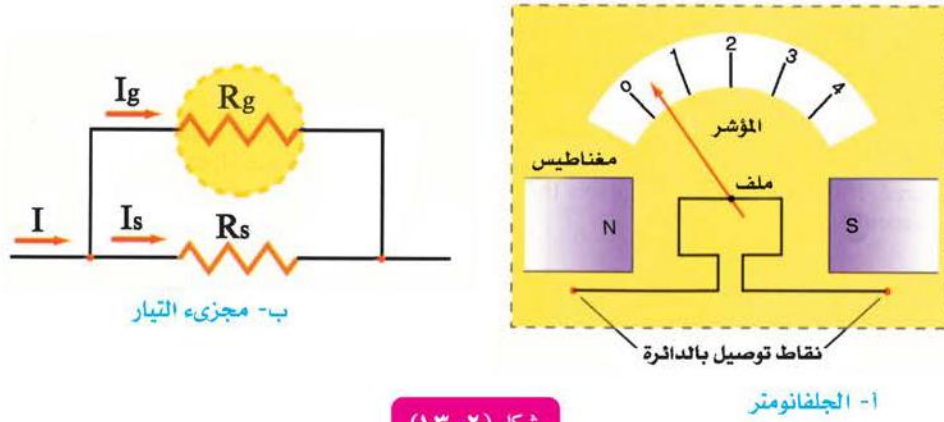
حساسية الجلفانومتر :

تعرف حساسية الجلفانومتر بزاوية انحراف مؤشره عن وضع الصفر عند مرور تيار فيه شدته الوحدة. وتساوى $\frac{\theta}{I}$ ووحداته درجة/ميكرو أمبير (deg / μA)

تطبيقات على الجلفانومتر:

أميتر التيار المستمر DC Ammeter :

يستخدم الجلفانومتر لقياس تيارات كهربية ضعيفة. ويمكن تحويل الجلفانومتر إلى أميتر لقياس تيارات شدتها عالية. فالأميتر هو جهاز يستخدم بعد معايرة تدريجه لقياس شدة التيار المار فى دائرته مباشرة. والجلفانومتر ذو الملف المتحرك يمكن النظر إليه كأميتر غير أنه محدود بحساسية ملفه المتحرك. ولزيادة مدى الجلفانومتر يكون ضرورياً إضافة مقاومة صغيرة جداً تسمى مجزئ التيار R_s توصل على التوازي مع ملف الجلفانومتر R_g كما فى الشكل (٢-١٣).



شكل (٢-١٣)

تحويل الجلفانومتر إلى أميتر

ويلاحظ أن توصيل مجزئ التيار على التوازي يجعل مقاومة الأميتر ككل صغيرة جداً. وهذا أمر مطلوب حتى لا تتغير شدة التيار المراد قياسه تغيراً ملحوظاً بعد إدخال الأميتر فى الدائرة على التوالي.

كما أن الجانب الأعظم من هذا التيار يمر فى المجزئ، ويرمز له بالرمز I_g . ويمر فى ملف الجلفانومتر تيار صغير فقط شدته I_g . وعندما تكون النهاية العظمى للتيار المراد قياسه هى I فإن :

$$I = I_g + I_s$$

وعندما تكون مقاومة ملف الجهاز R_g ومقاومة مجزئ التيار R_s فإن :

$$I_s R_s = I_g R_g$$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I_s}$$

لأن المقاومتين R_s , R_g متصلتان على التوازي، فيكون فرق الجهد بين طرفيهما واحداً. ويمكن حل المعادلتين معاً لإيجاد مقاومة مجزئ التيار R_s نجد أن :

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} \quad (٧-٢)$$

مثال :

جلفانومتر مقاومة ملفه 2Ω يتطلب إنحرافه إلى نهاية تدريجه مرور تيار شدته 5mA ما هى مقاومة مجزئ التيار الذى يجب استخدامه لتحويل الجلفانومتر إلى أميتر النهاية العظمى لتدرجه 10A ؟

الحل :

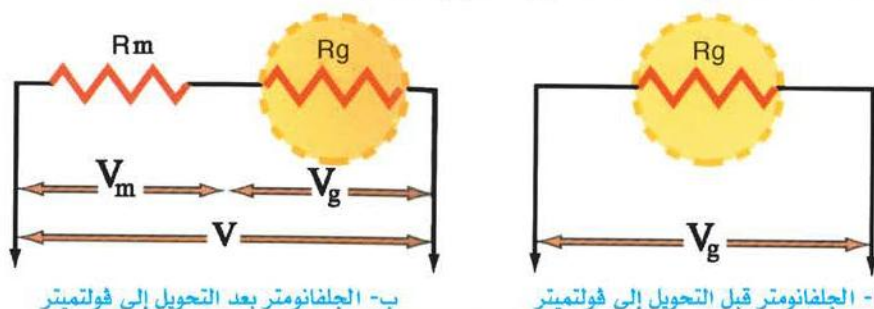
$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{0.005 \times 2}{10 - 0.005}$$

$$R_s = \frac{0.01}{9.995} = 0.001 \Omega$$

فولتميتر التيار المستمر DC Voltmeter :

يمكن استخدام الجلفانومتر لقياس فروق جهد، ويسمى فى هذه الحالة الفولتميتر. فالقولتميتر هو الجهاز الذى يستخدم لقياس فروق الجهد عبر أى نقطتين فى دائرة كهربية. وسنوضح هنا كيف يمكن تحويل الجلفانومتر ليستخدم لقياس فروق جهد أى لتحويله إلى فولتميتر. ويكون الطرف الموجب للجهاز متصلاً بالجهد الموجب فى الدائرة والسالب بالسالب. أما إذا انعكس فرق الجهد فلا بد من عكس التوصيل.

من المسلم به أن فرق الجهد بين طرفى ملف الجلفانومتر صغير جداً حتى مع إنحراف مؤشره إلى نهاية التدرج. لهذا إذا اردنا استخدام الجلفانومتر لقياس فرق الجهد ينبغى تحويله أولاً إلى جهاز مقاومته عالية. ويترتب على هذا ألا يسحب الفولتميتر تياراً كبيراً من الدائرة الأصلية، وبالتالي لا يحدث تغيراً ملحوظاً فى فرق الجهد المطلوب قياسه. لذلك يوصل ملف الجلفانومتر على التوالي بمقاومة كبيرة جداً تعرف باسم المقاومة المضاعفة للجهد Multiplier Resistance، كما فى الشكل (٢-١٤).



شكل (٢-١٤)

تحويل الجلفانومتر إلى فولتميتر

ويوصل الفولتميتر ذاته على التوازي مع جزء الدائرة المطلوب قياس فرق الجهد عليه. لذلك إذا كانت مقاومة ملف الجلفانومتر هي R_g والمقاومة المضاعفة للجهد هي R_m وهي متصلة على التوالى مع R_g ، لذلك تكون أقصى شدة تيار يمر فيها I_g هي شدة التيار التى تلزم لجعل مؤشر الجهاز ينحرف حتى نهاية التدرج. وعندئذ يكون فرق الجهد على ملف الجهاز هو :

$$V_g = I_g R_g$$

وأقصى فرق جهد مطلوب قياسه.

$$V = I_g R_g + I_g R_m = V_g + I_g R_m$$

وعلى ذلك

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} \quad (٨-٢)$$

مثال :

جلفانومتر مقاومة ملفه 0.1Ω او يبلغ أقصى إنحراف له عندما يمر به تيار شدته 1 mA . احسب المقاومة المضاعفة للجهد اللازمة لتحويله إلى فولتميتر يصلح لقياس فرق جهد نهايته العظمى 50 V

الحل :

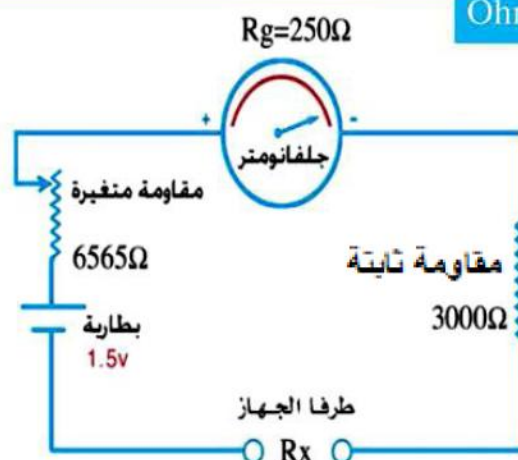
$$V_g = I_g R_g = 0.001 \times 0.1 = 1 \times 10^{-4} \text{ V}$$

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} = \frac{50 - 1 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-3}} = 49999.9 \Omega$$

يلاحظ هنا أن المقاومة الكلية للفولتميتر هي :

$$R_{\text{total}} = 49999.9 + 0.1 = 50000 \Omega$$

الأوميمتر : Ohmmeter



شكل (٢-١٥)

يعتمد قياس مقاومة ما على شدة التيار التى تسرى فى الدائرة موضع الإختبار وعلى الإنخفاض فى الجهد Voltage Drop عبر المقاومة. وإذا علمنا أن شدة التيار المار I والانخفاض فى الجهد عبر المقاومة المجهولة V ، فإن المقاومة R يمكن حسابها من قانون أوم ($R = V / I$). وإذا ظل فرق الجهد ثابتاً ومعلوماً يمكننا رفع الفولتمتر من الدائرة ومعايرة الجلفانومتر ليعطى قيمة المقاومة مباشرة (شكل ١٠ - ١٥). فمع زيادة المقاومة تقل شدة التيار المار فى الدائرة. وتقل بالتالى قراءة الجلفانومتر الذى تتم معايرته بهذه الطريقة لتدل قراءته على قيمة المقاومة، ومن ثم يسمى "الأوميمتر".

والأوميمتر المعتاد موضح فى (الشكل ٢-١٥). وهو بمثابة ميكرو أميتر يقرأ $400\mu A$ كحد أقصى ومقاومته 250Ω ، موصل على التوالى مع 3000Ω ، وكذلك مع مقاومة متغيرة مداها 6565Ω ، وعمود كهربى جاف قوته الدافعة الكهربية $1.5 V$ مع إهمال مقاومته الداخلية.

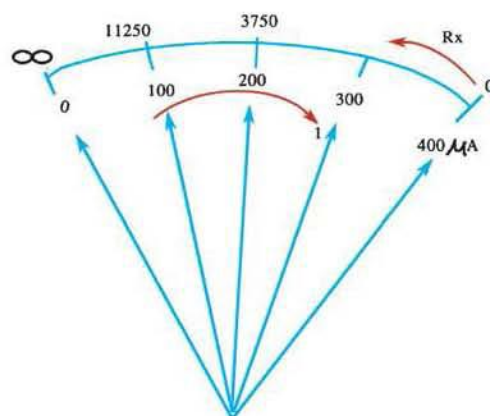
وعندما يتم تلامس طرفى الاختبار للجهاز ($R_x = 0$) يمر فى الدائرة تيار كهربى. ولكى ينحرف المؤشر إلى نهاية التدرج، ينبغى أن تكون مقاومة الدائرة $\Omega = 3750 = \frac{1.5}{400 \times 10^{-6}}$

وتضبط المقاومة المتغيرة لينحرف المؤشر إلى نهاية التدرج حتى يتم تعويض الفرق بين هذه القيمة والمجموع ($250 + 3000 \Omega$) بضبط قيمة المقاومة المتغيرة $500\Omega =$ إذا أدخلت الآن أية مقاومة فى الدائرة سيمر تيار أقل شدة، وبالتالي سيكون المؤشر أقل

إنحرافاً. ولهذا يمكن معايرة الجهاز بدلالة قيمة المقاومة التى تم إدخالها. فإذا ادخلت مقاومة R_x تساوى مقاومة الدائرة 3750Ω سيمر فى الجهاز $200\mu A$ ، وسيبلغ الإنحراف نصف التدرج، وإذا استبدلت المقاومة بضعف قيمتها أى بضعف مقاومة الدائرة (7500Ω) سيبلغ الانحراف $\frac{1}{3}$ التدرج. ومع مقاومة تساوى 3 امثال مقاومة الدائرة (11250Ω) سيبلغ الانحراف $\frac{1}{4}$ التدرج $100\mu A$

يلاحظ هنا أن التدرج المستخدم لقياس المقاومات شكل (٢-١٦) هو عكس اتجاه تدرج التيار، بمعنى أن أقصى انحراف يقابل مقاومة منعدمة (عند تلامس طرفى الاختبار). وكلما زادت المقاومة قل الانحراف. ويلاحظ أيضاً أن أقسام التدرج ليست متساوية، حيث تتباعد فى الجهة اليمنى من التدرج، وتتقارب فى الجهة اليسرى.

$R_x(\Omega)$	$I\mu A$
0	400
3750	200
11250	100
∞	0



شكل (٢-١٦)

تدرج الأوميتير

هذه الأنواع من أجهزة القياس التى تعتمد على قراءة مؤشر تسمى أجهزة تناظرية Analog ومنها أجهزة تقيس الجهد والتيار والمقاومة Multimeter (شكل ٢-١٧). ويوجد نوع آخر من الأجهزة يعتمد على قراءة أعداد رقمية تدل على قيمة الجهد أو التيار أو المقاومة على شاشة صغيرة بدون مؤشر، وتسمى هذه الأجهزة الأجهزة الرقمية (شكل ٢-١٨).



شكل (٢-١٨)

جهاز قياس رقمى



شكل (٢-١٧)

جهاز قياس تناظرى

تلخيص

التعاريف والمفاهيم الاساسية :

- يتولد مجال مغناطيسى حول سلك يمر به تيار كهربى.
- تزداد كثافة الفيض المغناطيسى الناشئ عن تيار كهربى يمر فى سلك مستقيم :
(أ) بالإقتراب من السلك.
(ب) بزيادة شدة التيار الكهربى.
- يمكن تعيين إتجاه المجال المغناطيسى الناشئ عن تيار كهربى يمر فى سلك مستقيم باستخدام قاعدة اليد اليمنى لأمبير.
- المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك على شكل حلقة دائرية يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسى لمغناطيس قصير.
- تتوقف كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى على :
(أ) عدد لفات الملف الدائرى.
(ب) شدة التيار المار فى الملف الدائرى.
(ج) نصف قطر الملف الدائرى.
- يتعين إتجاه المجال المغناطيسى عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى باستخدام قاعدة بريمة اليد اليمنى.
- المجال المغناطيسى الناشئ عن مرور تيار كهربى فى سلك ملفوف لفاً حلزونياً يشبه الى حد كبير المجال المغناطيسى لقضيب مغناطيسى.
- تتوقف كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على المحور داخل الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى على كل من :
(أ) شدة التيار المار.
(ب) عدد اللفات فى وحدة الأطوال.
- لتعيين قطبية الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى تستخدم قاعدة البريمة اليمنى.
- وحدة كثافة الفيض المغناطيسى Web / m^2 ، أو Tesla ، أو N/Am

- العوامل التى تتوقف عليها القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع فى المجال هى :
 - (أ) طول السلك.
 - (ب) شدة التيار.
 - (ج) كثافة الفيض المغناطيسى.
 - (د) الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه المجال المغناطيسى.
- الجلفانومتر ذو الملف المتحرك : جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات ضعيفة جداً فى دائرة ما وقياس شدتها وتحديد إتجاهها.
- تعتمد فكرة الجلفانومتر ذو الملف المتحرك على عزم الازدواج المؤثر فى ملف قابل للحركة فى مجال مغناطيسى.
- حساسية الجلفانومتر تقاس بزاوية إنحراف مؤشره عند مرور تيار فى ملفه شدته الوحدة.
- الأميتر : جهاز يستخدم بعد معايرة تدريجه لقياس شدة التيار المار فى دائرة مباشرة، وهو أساساً جلفانومتر ذو ملف متحرك.
- لزيادة مدى الجلفانومتر توصل مقاومة صغيرة جداً. تسمى مجزئ التيار على التوازي مع ملفه.
- مقاومة الأميتر (مع مجزئ التيار) صغيرة جداً. ولذلك لا تؤثر تأثيراً ملحوظاً فى تيار الدائرة عند توصيله على التوالى فيها.
- الفولتميتر : جهاز يستخدم لقياس فروق الجهد عبر أى نقطتين فى دائرة كهربية وهو أساساً جلفانومتر ذو ملف متحرك يوصل مع ملفه على التوالى مقاومة كبيرة جداً تسمى المقاومة المضاعفة للجهد.
- نظراً لكبر مقاومة الفولتميتر فإنه لا يسحب تياراً يذكر من الدائرة الأصلية عند توصيله على التوازي مع جزء الدائرة المطلوب قياس فرق الجهد عليه.
- الأوميتر : جهاز يستخدم لقياس قيمة مقاومة مجهولة.
- الأوميتر هو ميكرو أميتر يوصل على التوالى مع مقاومة ثابتة وأخرى متغيرة وعمود جاف قوته الدافعة 1.5V ، فينحرف مؤشره إلى نهاية التدريج إذا تلامس طرفاه بدون مقاومة. وإذا ادخلت مقاومة بين طرفيه تقل شدة التيار ويقل إنحراف مؤشره، وهو معاير لقراءة قيمة المقاومة مباشرة.

القوانين والعلاقات الهامة :

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسى B عند نقطة بعدها العمودى d متر عن سلك مستقيم

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} \text{ weber/m}^2 \text{ (or Tesla) } \quad \text{ يمر به تيار شدته I أمبير من العلاقة :}$$

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسى عند مركز ملف دائرى نصف قطره r وشدة التيار I المار فيه وعدد لفاته N من العلاقة :

$$B = \frac{\mu N I}{2r} \text{ (Tesla)}$$

- تتعين كثافة الفيض المغناطيسى عند أى نقطة على المحور داخل ملف لولبى عدد لفاته N وطوله l ويمر به تيار كهربى B من العلاقة :

$$B = \frac{\mu I N}{l} \text{ (Tesla)}$$

- تتعين القوة المؤثرة على سلك طوله l يحمل تياراً كهربياً I وموضوعاً فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه B من العلاقة :

$$F = B I l \sin \theta$$

حيث θ هى الزاوية المحصورة بين السلك واتجاه المجال المغناطيسى.

- يعطى عزم الازدواج المؤثر على ملف مستطيل مساحة وجهه A وعدد لفاته N يمر به تيار كهربى I موضوع موازياً لمجال مغناطيسى كثافة فيضه B بالعلاقة.

$$\tau = B I A N = \vec{m}_d \cdot \vec{B} \quad \text{Nm}$$

حيث $\vec{m}_d = I A N$ هو عزم ثنائي القطب المغناطيسى عمودياً على مستوى الملف.

- تتعين مقاومة مجزئ التيار فى الأميتر من العلاقة $R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$ ، حيث R_s مقاومة مجزئ التيار، I_g أقصى تيار يتحمله ملف الجلفانومتر، R_g مقاومة ملف الجلفانومتر، I شدة التيار الكلية.

$$R_m = \frac{V - V_g}{I_g} \quad \text{تتعين المقاومة المضاعفة للجهد فى الفولتميتر من العلاقة}$$

- حيث R_m المقاومة المضاعفة للجهد، V الجهد الكلى، V_g فرق الجهد على ملف الجهاز، I_g شدة التيار التى تلزم لجعل مؤشر الجلفانومتر ينحرف إلى نهاية التدرج.

اسئلة وتمارين

أولاً: أسئلة المقال

١- ما هى العوامل التى تتوقف عليها كثافة الفيض المغناطيسى فى كل حالة من الحالات الآتية :

- حول سلك مستقيم يمر به تيار كهربى.
- عند مركز ملف دائرى يمر به تيار كهربى.
- عند أى نقطة على المحور داخل الملف اللولبى الذى يمر به تيار كهربى.

٢- ما هى العوامل التى تتوقف عليها القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى موضوع عمودياً على اتجاه المجال ؟

٣- اثبت أن القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى كثافة فيضه B على سلك مستقيم طوله ℓ يمر به تيار كهربى I موضوع عمودياً على اتجاه المجال تتعين من العلاقة.

$$F = B I \ell$$

٤- اثبت أن عزم الأزواج المؤثر على ملف عدد لفاته N ومساحة مقطع A يمر به تيار كهربى شدته I موضوع موازياً لمجال مغناطيسى منتظم كثافته فيضه B تعطى من العلاقة.

$$\tau = B I A N$$

٥ - صف مع الرسم تركيب الجلفانومتر الحساس موضحاً فكرة عمله.

٦ - اشرح كيف يمكن تحويل الجلفانومتر الحساس إلى أميتر مع استنتاج العلاقة المطلوبة.

٧ - اشرح كيف يمكن تحويل الجلفانومتر الحساس إلى فولتميتر مع استنتاج العلاقة المستخدمة.

٨ - علل لما يأتى :

- وجود اسطوانة من الحديد المطاوع داخل ملف الجلفانومتر.
- يتصل ملف الجلفانومتر ذى الملف المتحرك من أسفل بسلك زنبركى.

- (ج) عند استخدام الجلفانومتر ذى الملف المتحرك كفولتميتر توصل مقاومة كبيرة على التوالى مع ملف الجلفانومتر.
- (د) يدمج الأميتر على التوالى فى الدائرة بينما يدمج الفولتميتر على التوازى.
- (هـ) توصل مقاومة عيارية بالأوميتير.
- (و) يجب أن تكون القوة الدافعة الكهربائية للعمود المتصل بالأوميتير ثابتة.

٩ - ماذا يقصد بكل من :

المقاومة المضاعفة للجهد - مجزئ التيار.

وما فائدة كل منهما ؟ استنبط القانون الخاص بكل منهما.

- ١٠ - اشرح كيف يمكنك استخدام الجلفانومتر ذى الملف المتحرك فى قياس كل من شدة التيار الكهربى - القوة الدافعة الكهربائية - المقاومة الكهربائية.

ثانياً: المسائل

- ١ - ملف مساحة مقطعه 0.2m^2 وضع عمودياً على خطوط فيض مغناطيسى منتظم كثافته 0.04Weber/m^2 احسب الفيض المغناطيسى الذى يمر خلال الملف. (0.008 Weber)
- ٢ - سلك طوله 10 cm يمر به تيار شدته 5A وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 1 Tesla. احسب القوة المؤثرة على السلك عندما يكون :
- (أ) السلك فى وضع عمودى على المجال المغناطيسى (0.5 N)
- (ب) السلك يصنع زاوية 45° مع المجال. (0.356 N)
- (ج) السلك مواز لخطوط المجال المغناطيسى (صفر)
- ٣ - سلك مستقيم قطره 2 mm يمر به تيار شدته 5A احسب كثافة الفيض المغناطيسى على بعد 0.2 m ($5 \times 10^{-6}\text{Tesla}$)
- ٤ - ملف دائرى نصف قطره 0.1m يمر به تيار شدته 10A احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند مركزه (علما بأن الملف يتكون من لفة واحدة) . ($2 \pi \times 10^{-5}\text{Tesla}$)

- ٥- ملف لولبى طوله 50cm عدد لفاته 4000 لفة يمر به تيار شدته 2A احسب كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة بداخله وعلى محوره. (0.02Tesla)
- ٦- ملف مستطيل طوله 12cm وعرضه 10cm وعدد لفاته 50 لفة يمر به تيار شدته 3A وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيض 0.4 Tesla احسب العزم المغناطيسى المؤثر عليه عندما يكون مستوى الملف موازياً للمجال (0.72Nm)
- ٧- جلفانومتر مساحة مقطع ملفه $(12 \times 5) \text{ cm}^2$ معلق فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.1 Tesla فإذا كان عدد لفاته 600 لفة احسب شدة التيار اللازم لتوليد عزم ازدواج قدره 1Nm (2.78 A)
- ٨- ملف عدد لفاته 500 لفة يمر به تيار شدته 10A وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.25Tesla ، فإذا كانت مساحة مقطعه 0.2m^2 احسب عزم الازدواج المؤثر عليه عندما تكون الزاوية بين العمودى على الملف والمجال 30° (125 Nm)
- ٩ - ملف أميتر لا يتحمل تياراً أكبر من 40 mA فإذا كانت مقاومة ملفه 0.5Ω يراد استخدامه لقياس تيار شدته 1A كم تكون مقاومة مجزئ التيار اللازم لذلك؟ (0.021 Ω)
- ١٠ - جلفانومتر يمر به تيار شدته 0.02A لينحرف مؤشره إلى نهاية التدرج، وعندئذ يكون الفرق فى الجهد بين طرفيه 5V ، كم تكون قيمة المقاومة المضاعفة للجهد التى تجعله صالحاً لقياس فرق جهد قدره 150V ؟ (7250 Ω)
- ١١- فولتمتر معد لقراءة 150V عند انحراف مؤشره إلى نهايته، فإذا كانت مقاومة ملفه 50Ω ، وكانت شدة التيار المار فيه $4 \times 10^{-4} \text{ A}$ ، احسب قيمة المقاومة المضاعفة للجهد اللازمة لذلك. (374950 Ω)

١٢- جلفانومتر مقاومة ملفه 0.1Ω ويقرأ عند نهاية تدريجه تياراً شدته $5A$ أردنا زيادة قراءته بمقدار 10 أمثال. ما قيمة مقاومة مجزئ التيار اللازمة؟

(0.01Ω)

١٣- أميتر مقاومته 30Ω احسب قيمة مقاومة مجزئ التيار اللازم لإنقاص حساسية الجهاز إلى الثلث . وما مقدار المقاومة الكلية المكافئة للأميتر والمجزئ حينئذ؟

(15Ω , 10Ω)

١٤- جلفانومتر مقاومته 54Ω إذا وصل بمجزئ للتيار (أ) يمر فى الجلفانومتر 0.1 من التيار الكلى، أما إذا وصل بمجزئ آخر (ب) فإن التيار الذى يمر فيه يصبح 0.12 من التيار الكلى، أوجد مقدار كل من المقاومتين (أ) ، (ب).

(6Ω , 7.63Ω)

١٥- جلفانومتر ذو ملف متحرك مقاومته 50Ω ينحرف مؤشره إلى نهاية تدريجه عندما يمر به تيار شدته $0.5A$ كيف يمكن تحويله بحيث يقيس :

(أ) فروق فى الجهد اقصاها $200V$ (توصل مقاومة 350Ω على التوالي).

(ب) تيار كهربى شدته $2A$ (توصل مقاومة 16.6Ω على التوازي).

١٦- مللى أميتر مقاومته 5Ω أقصى تيار يتحملة ملفه $15mA$ يراد تحويله إلى أوميتر

باستخدام عمود قوته الدافعة الكهربائية $1.5V$ ومقاومته الداخلية 1Ω ، احسب قيمة

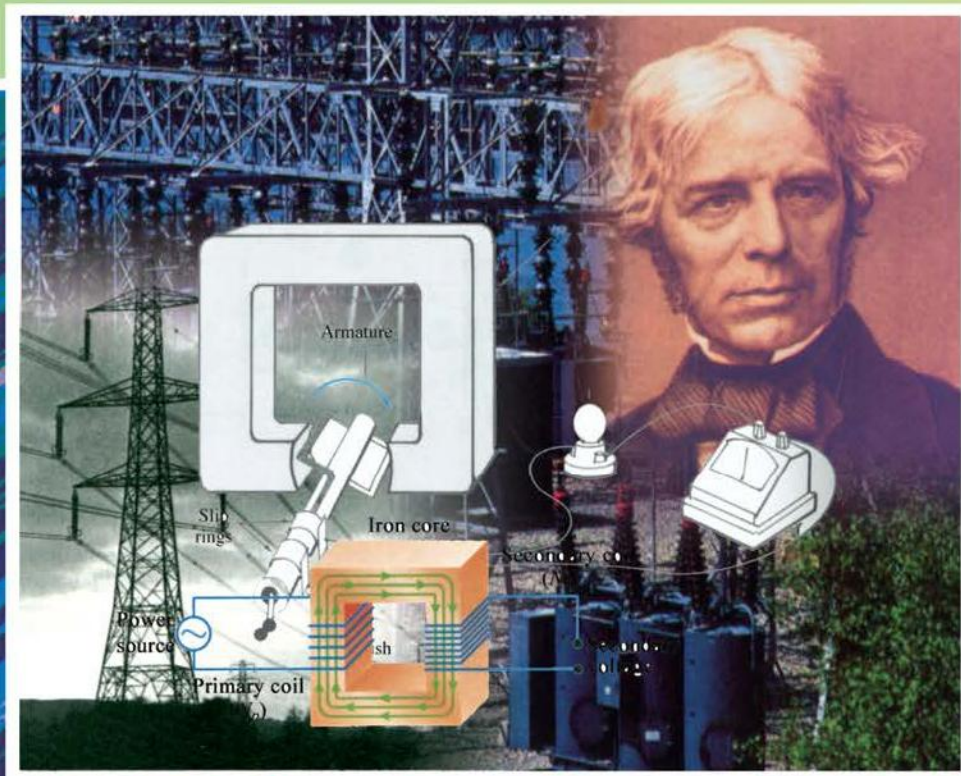
المقاومة العيارية اللازمة والمقاومة الخارجية التى تجعل مؤشره ينحرف إلى $10mA$

وكذلك شدة التيار المار به إذا وصل بمقاومة خارجية مقدارها 400Ω

($3mA$, 50Ω , 94Ω)

الكهرلية التيارية والكهرومغناطيسية

الوحدة الأولى



الفصل الثالث : الحث الكهرومغناطيسي

الفصل الثالث

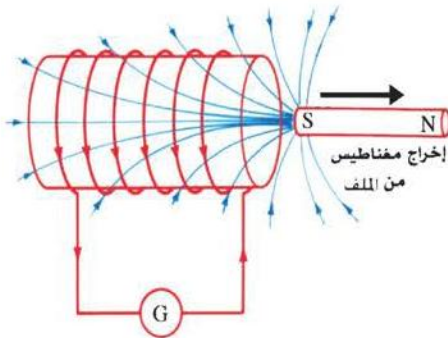
الحث الكهرومغناطيسي

مقدمة :

رأينا أن مرور تيار كهربى فى موصل يسبب مجالاً مغناطيسياً. وبمجرد اكتشاف أورستد Oersted للارتباط بين المجالات الكهربائية والمغناطيسية، ظهر تساؤل: هل من الممكن أن يولد مجال مغناطيسى تياراً كهربياً؟ وهو ما أجاب عليه فاراداي Faraday فى أحد أعظم الانتصارات فى الفيزياء، وهو اكتشاف الحث الكهرومغناطيسى Electromagnetic Induction، الذى تبنى عليه فكرة عمل وتشغيل معظم الأجهزة الكهربائية كالمولدات والمحولات الكهربائية.

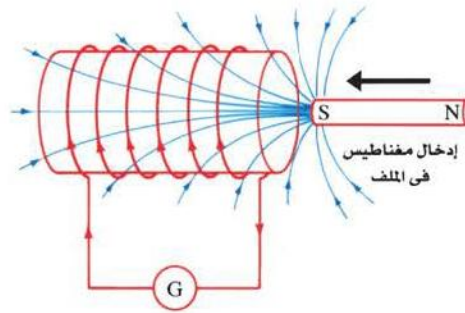
تجربة فاراداي :

قام فاراداي بإعداد ملف من سلك من النحاس، لفاته معزولة عن بعضها البعض، وعندما انتهى من إعداده، قام بتوصيل طرفيه بجلفانومتر حساس صفر تدريجه فى المنتصف شكل (٣-١). وعندما أدخل فاراداي مغناطيساً فى الملف، لاحظ أثناء ادخاله أن مؤشر الجلفانومتر ينحرف انحرافاً لحظياً فى اتجاه معين، وعندما أخرج فاراداي المغناطيس من الملف لاحظ أثناء إخرجه أن مؤشر الجلفانومتر ينحرف فى الاتجاه المضاد. هذه الظاهرة أطلق عليها اسم "الحث الكهرومغناطيسى". حيث تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة، Induced emf وكذلك يتولد تيار كهربى



شكل (٣-١) ب)

عند خروج المغناطيس



شكل (٣-١) أ)

عند دخول المغناطيس

مستحث في الملف أثناء ادخال المغناطيس في الملف أو اخراجه منه، بحيث يكون رد الفعل في اتجاه يعارض الفعل، فإن كان المغناطيس يدخل فإن المجال المغناطيسي المستحث يعمل على مقاومة الإدخال، وإن كان المغناطيس يخرج فإن المجال المغناطيسي المستحث يعمل على استبقاء المغناطيس أو جذبه للداخل.

وبعد تفكير توصل فاراداي إلى أن القوة الدافعة الكهربائية المستحثة وكذلك التيار الكهربى المستحث يتولدان في الدائرة كنتيجة لقطع لفات السلك خطوط الفيض المغناطيسى أثناء حركة المغناطيس.

قانونا فاراداي

ومن خلال تجارب عديدة أمكن لفاراداي استخلاص ما يلى :

١ - الحركة النسبية بين الموصل والمجال المغناطيسى الذى يتغير فيها المعدل الزمنى الذى يقطع به الموصل خطوط الفيض تولد قوة دافعة مستحثة فى الموصل. ويتوقف اتجاهها على اتجاه حركة الموصل.

٢ - يتناسب مقدار القوة الدافعة المستحثة طردياً مع المعدل الزمنى الذى يقطع به الموصل خطوط الفيض. أى أن :

$$emf \propto \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

حيث emf متوسط القوة الدافعة المستحثة ، $\Delta \phi_m$ التغير فى خطوط الفيض المقطوعة خلال الزمن Δt

٣ - مقدار القوة الدافعة المستحثة يتناسب طردياً مع عدد لفات الملف الذى يقطع خطوط الفيض أى أن :

$$emf \propto N$$

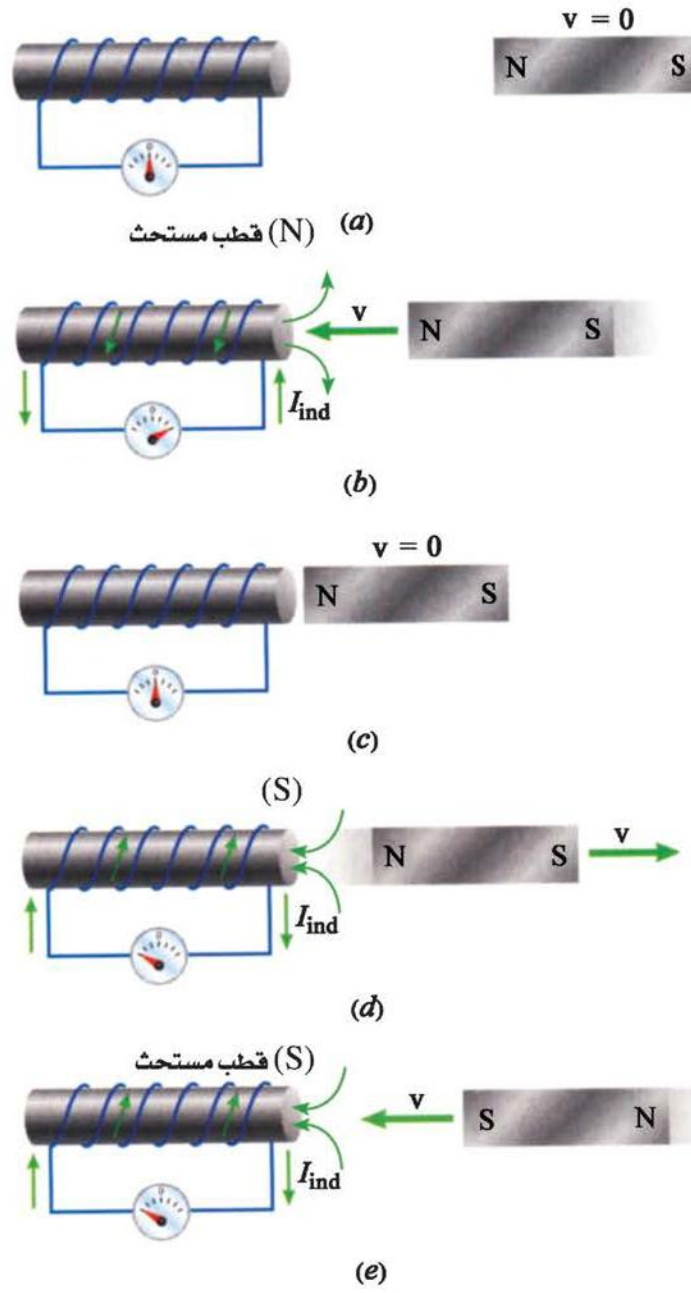
وبالتالى يمكن بتحليل النتائج السابقة استنتاج العلاقة :

$$emf = - N \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t} \quad (١-٣)$$

وهو ما يعرف بقانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسى.

تدل الاشارة السالبة فى هذا القانون على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة (وايضاً اتجاه

التيار المستحث) يعاكس التغير المسبب له. وهو ما يعرف بقاعدة لنز Lenz's Rule



شكل (٣-٢)

قاعدة لنز

قاعدة لنز Lenz's Rule :

تنص قاعدة لنز على ما يلى :

يكون اتجاه التيار الكهربى المستحث بحيث يعاكس التغير المسبب له.

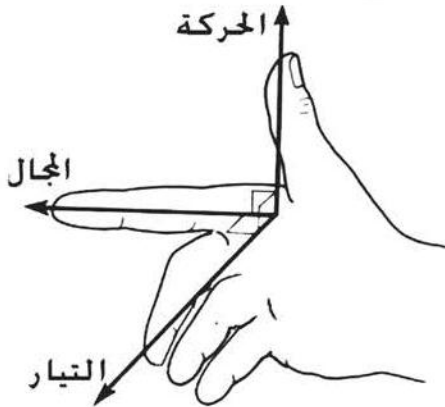
ويوضح شكل (٣-٢) تطبيقاً مباشراً لقاعدة لنز. فعند تقريب القطب الشمالى للمغناطيس من الملف، يمر التيار الكهربى المستحث المتولد فى الملف فى اتجاه بحيث يكون قطبا شمالياً عند طرف الملف المواجه للقطب الشمالى للمغناطيس. فتعمل قوة التنافر بين القطبين المتشابهين على مقاومة حركة تقريب هذا القطب.

وعند إبعاد القطب الشمالى للمغناطيس عن الملف يكون اتجاه التيار المستحث المتولد فى الملف فى اتجاه بحيث يكون قطبا جنوبياً. فتعمل قوة التجاذب بين القطبين المختلفين (شمالى وجنوبى) على الاحتفاظ بالمغناطيس، أى مقاومة حركة إبعاد القطب المؤثر.

اتجاه التيار المستحث فى سلك مستقيم :

بين فاراداي فى واحدة من تجاربه العديدة أن التيار الكهربى المستحث فى سلك مستقيم يسرى فى إتجاه عمودى على المجال المغناطيسى. وبعد ذلك بعدة سنوات اختار فليمنج هذه التجربة لوضع قاعدة بسيطة تربط بين إتجاه حركة السلك واتجاه المجال واتجاه التيار المستحث. تعرف هذه القاعدة باسم قاعدة اليد اليمنى لفليمنج وهى :

قاعدة اليد اليمنى لفليمنج Fleming's Right Hand Rule :

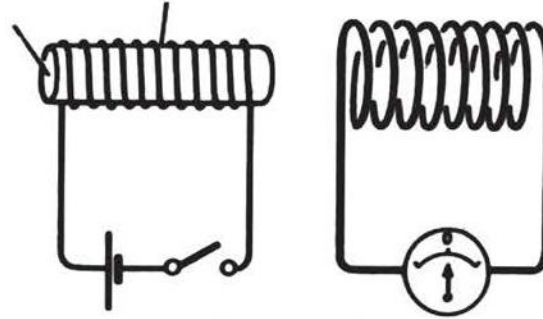


شكل (٣-٣)

قاعدة اليد اليمنى لفليمنج

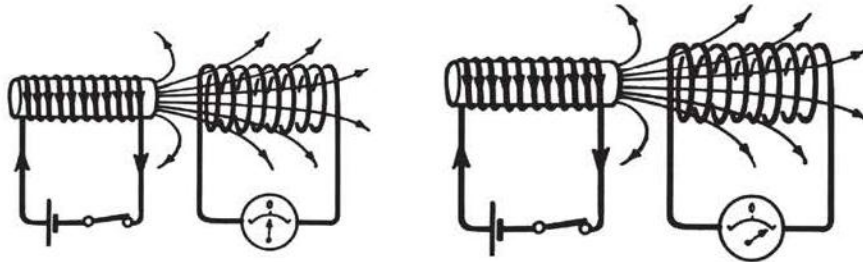
اجعل أصابع اليد اليمنى الابهام والسبابة والوسطى (ومعه باقى الأصابع) متعامدة على بعضها البعض بحيث تشير السبابة إلى اتجاه المجال والابهام إلى اتجاه الحركة، وعندئذ يشير الأوسط (ومعه باقى الأصابع) إلى اتجاه التيار المستحث (شكل ٣-٣).

الحث المتبادل Mutual Induction بين ملفين



شكل (٣-٤) (أ)

(أ) في حالة عدم وجود تيار في الملف الأول لا توجد قوة دافعة كهربية في الملف الثاني



شكل (٣-٤) (ب)

(ب) لحظة غلق دائرة الملف الأول فإن قوة دافعة كهربية تتولد في الملف الثاني

شكل (٣-٤) (ج)

(ج) بعد استقرار الفيض المغناطيسي فإن التيار في الملف الثاني ينعدم

إذا وضع ملفان أحدهما داخل الآخر أو أحدهما بالقرب من الآخر كما في شكل (٣-٤) فإن تغير شدة التيار الكهربى في أحدهما يولد قوة دافعة كهربية مستحثة في الآخر. وتبعاً لقانون فاراداي، تتناسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة مع معدل التغير في الفيض المغناطيسى المار به. ونظراً لأن الفيض المغناطيسى يتناسب طردياً مع شدة التيار في الملف الأول. فإن القوة الدافعة الكهربية المستحثة تتناسب مع معدل التغير في شدة التيار في الملف الأول.

ولهذا يكون :

$$(emf)_2 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$(emf)_2 = - M \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad (٣ - ٢)$$

حيث M معامل الحث المتبادل بين الملفين. ووحدته تكافئ VsA^{-1} وهو ما يسمى بالهنرى **Henry**. فالهنرى هو وحدة قياس معامل الحث بصفة عامة.

وتدل الإشارة السالبة - كما تقتضى قاعدة - لنز على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة أو اتجاه التيار المستحث يكون بحيث يقاوم التغير المسبب له.

ويتوقف معامل الحث المتبادل بين ملفين على العوامل الآتية :

١ - وجود قلب من الحديد **Core** داخل الملفين.

٢ - حجم وعدد لفات الملفين **Coils**.

٣ - المسافة الفاصلة بينهما.

ويعد المحول الكهربى أوضح مثال للحث المتبادل.

تجربة دراسة الحث المتبادل بين ملفين

ويمكن دراسة الحث المتبادل بين ملفين تجريبياً كما يلى :

يوصل أحد الملفين ببطارية ومفتاح وريوستات. وعندئذ يعرف هذا الملف بالملف الابتدائى.

ويوصل الملف الثانى بجلفانومتر حساس، صفه فى المنتصف، ويعرف هذا الملف بالملف الثانوى

شكل (٣ - ٥). ثم تتبع الخطوات التالية:

١ - تقفل دائرة الملف الابتدائى. وبتقريب (أو ادخال) الملف الابتدائى من (أو فى) الملف الثانوى،

يلاحظ إنحراف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين مما يدل على أن قوة دافعة مستحثة

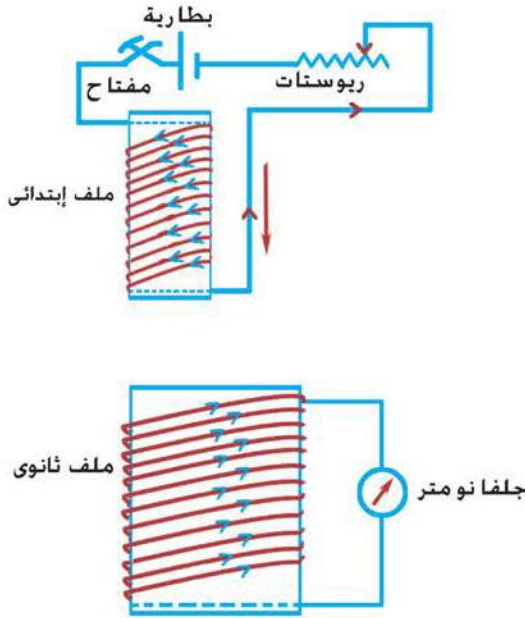
تولدت فى الملف الثانوى، نتيجة لتغير خطوط الفيض المغناطيسى التى تمر بلفات هذا الملف.

وعند إبعاد (أو إخراج) الملف الابتدائى عن (أو من) الملف الثانوى، ينحرف مؤشر الجلفانومتر

فى اتجاه مضاد.

٢ - يتم ادخال الملف الابتدائى فى الملف

الثانوى، وتزداد شدة التيار المار فى الملف الابتدائى، فينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الملف الثانوى فى إتجاه معين، وعند إنقاص شدة التيار المار فى الملف الابتدائى ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى الإتجاه المضاد. مما يدل على تولد قوة دافعة مستحثة فى الملف الثانوى أثناء زيادة شدة التيار فى الملف الابتدائى أو أثناء إنقاصه.



شكل (٣-٥)

دراسة الحث المتبادل بين ملفين

٣ - مع وجود الملف الإبتدائى داخل الملف الثانوى، تقفل دائرة الملف الابتدائى. عندئذ ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى إتجاه معين، ثم تفتح دائرة الملف الابتدائى، وعندئذ ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى إتجاه مضاد، مما يدل

على أن قوة دافعة مستحثة تتولد فى الملف الثانوى أثناء قفل الدائرة أو فتحها. وبتحليل الملاحظات السابقة نجد ما يلى :

١ - ينحرف مؤشر الجلفانومتر فى اتجاه معين فى الحالات الآتية :

(أ) أثناء تقريب أو ادخال الملف الابتدائى فى الملف الثانوى.

(ب) أثناء زيادة شدة التيار فى الملف الابتدائى.

(ج) عند قفل الدائرة الابتدائية أثناء وجود الملف الابتدائى داخل (أو قرب) الملف الثانوى.

تتولد فى جميع هذه الحالات قوة دافعة كهربية فى الملف الثانوى عند حدوث أى تغير موجب فى الفيض المغناطيسى الذي يقطعه الملف الثانوى. ويكون إتجاه القوة الدافعة الكهربية المستحثة وإتجاه التيار المستحث فى إتجاه عكسى (أى فى عكس اتجاه التيار بالملف الابتدائى)،

حتى يكون المجال المغناطيسي المستحث في اتجاه مضاد ليقاوم زيادة المجال المغناطيسي المؤثر.

٢ - ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الإتجاه المضاد في الحالات الآتية :

(أ) أثناء إبعاد أو إخراج الملف الابتدائي من الملف الثانوي.

(ب) أثناء نقص شدة التيار في الملف الابتدائي.

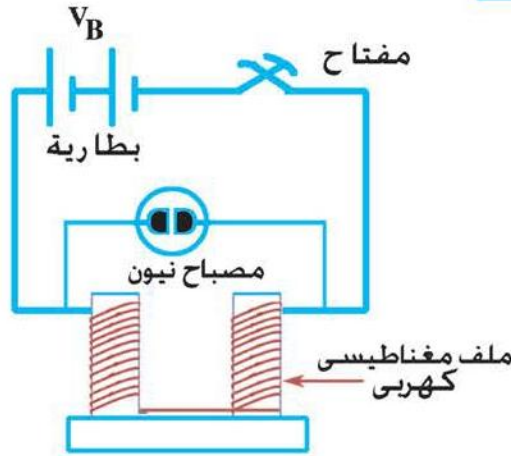
(ج) عند فتح الدائرة الابتدائية أثناء وجود الملف الابتدائي داخل (أو قرب) الملف الثانوي.

وهي الحالات التي تتناقص فيها شدة المجال المغناطيسي المؤثر. ويكون اتجاه القوة الدافعة الكهربائية المستحثة واتجاه التيار المستحث في إتجاه طردى، حتى يكون المجال المغناطيسي الناشئ عنه في نفس الاتجاه ليقاوم تناقص المجال المغناطيسي المؤثر.

وهذه الملاحظات توضح قاعدة لنز حيث يكون اتجاه التيار المستحث بحيث يقاوم التغير

المسبب له.

الحث الذاتي Self Induction ملف :



شكل (٦-٣)

توضيح أثر الحث الذاتي في ملف

يمكن إدراك ما نغنيه

بالحث الذاتى ملف بتوصيل

ملف مغناطيس كهربى قوى

(عدد لفاته كبير) على التوالى

مع بطارية ومفتاح ليمر به

تيار كهربى كما فى شكل

(٦-٣). يتولد عن مرور

التيار الكهربى فى الملف

مجال مغناطيسى قوى حيث

تعمل كل لفة كمغناطيس قصير

بحيث تقطع اللفات المجاورة

خطوط الفيض المغناطيسى له. عند فتح الدائرة يلاحظ مرور شرر كهربى بين طرفى المفتاح.

يفسر هذا بأن قطع التيار الكهربى فى دائرة الملف يؤدي إلى تلاشى المجال المغناطيسى لللفاته،

فيتغير المعدل الزمنى الذى تقطع به كل لفه خطوط الفيض، فتتولد فيها قوة دافعة مستحثة.

والقوة الدافعة المستحثة فى لفات الملف ككل ناتجة عن الحث الذاتى للملف نفسه.

هذه القوة الدافعة المستحثة الناشئة عن الحث الذاتى للملف عند قطع التيار فيه - أى عند فتح الدائرة - تعمل تبعاً لقاعدة لنز على توليد تيار تأثيرى فى نفس اتجاه التيار الأصيل مما يؤدى إلى ظهور شرر عند طرفى المفتاح.

وعندما يكون عدد لفات الملف كبيراً، تكون القوة الدافعة المستحثة عند قطع التيار emf_1 أكبر كثيراً من القوة الدافعة الكهرلية (V_B) للبطارية، وقد تسبب توهج مصباح نيون يوصل على التوازي بين طرفى الملف (يتطلب مصباح النيون لتوجهه جهداً يصل إلى حوالى 180 فولت).

ونظراً لأن القوة الدافعة الكهرلية المستحثة تتناسب طردياً مع المعدل الزمنى لتغير الفيض المغناطيسى - الذى يتناسب بدوره مع المعدل الزمنى لتغير التيار فى الملف - فإن القوة الدافعة المتولدة بالحث الذاتى تتناسب طردياً مع المعدل الزمنى لتغير التيار فى الملف أى أن :

$$(emf)_1 \propto \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

$$\therefore (emf)_1 = - L \frac{\Delta I_1}{\Delta t} \quad (3-3)$$

حيث L ثابت التناسب، ويعرف بمعامل الحث الذاتى للملف. وتدل الإشارة السالبة على

أن القوة الدافعة المستحثة تعاكس التغير المسبب لها (قاعدة لنز). ويعبر عن L بالعلاقة

$$L = - \frac{emf}{\Delta I / \Delta t} \quad (3-4)$$

أى أن معامل الحث الذاتى للملف يقدر بالقوة الدافعة الكهرلية المستحثة، عندما يكون المعدل الزمنى لتغير التيار يساوى الوحدة (أى عندما يتغير التيار بمقدار أمبير واحد فى الثانية) ويقاس الحث الذاتى لملف بوحدة تسمى الهنرى.

الهنرى Henry ،

هو معامل الحث الذاتى لملف حين تتولد قوة دافعة مستحثة تساوى فولت واحد عندما يتغير التيار بمعدل أمبير واحد فى الثانية.

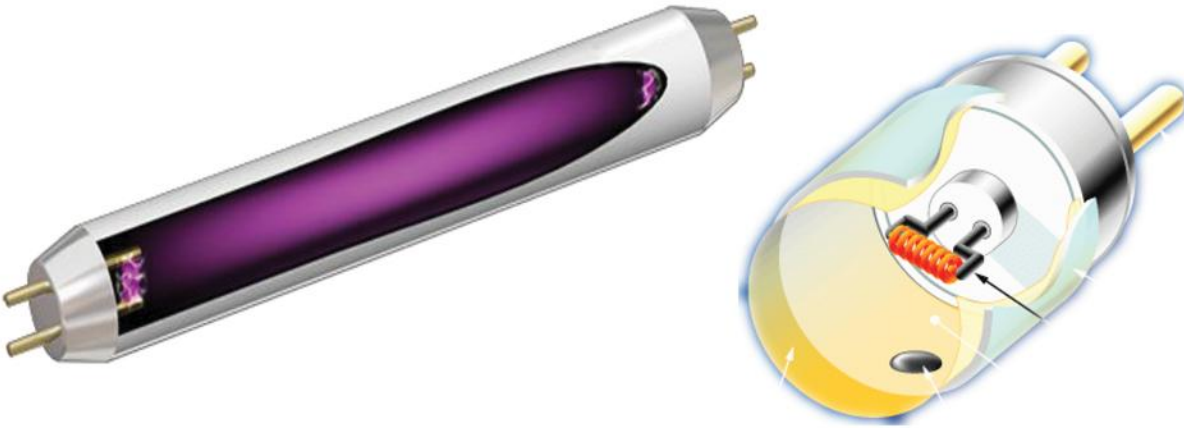
أي أن :

$$\frac{\text{واحد فولت} \cdot \text{ثانية}}{\text{أمبير}} = \text{واحد هنري}$$

$$1H = Vs/A$$

ويتوقف معامل الحث الذاتي لملف على شكله الهندسي ، وعلى عدد لفاته، وعلى المسافة بين اللفات ؛ أي على طول الملف وعلى نفاذية القلب المغناطيسية .

ومن تطبيقات الحث الذاتي بدء إضاءة المصباح الفلوروسنت باستخدام ملف لولبي معامل حثه الذاتي كبير.



التيارات الدوامية : Eddy Currents

إذا تم تغيير عدد خطوط الفيض المغناطيسي التي تخترق قطعة معدنية، تتولد فيها تيارات مستحثة، تسمى التيارات الدوامية. والتغير في عدد خطوط الفيض المغناطيسي المقطوعة يتم إما بتحريك القطعة المعدنية في مجال مغناطيسي ثابت، وإما بتعرض القطعة المعدنية لمجال مغناطيسي متغير، وليكن المجال المغناطيسي الناشئ عن تيار متردد.

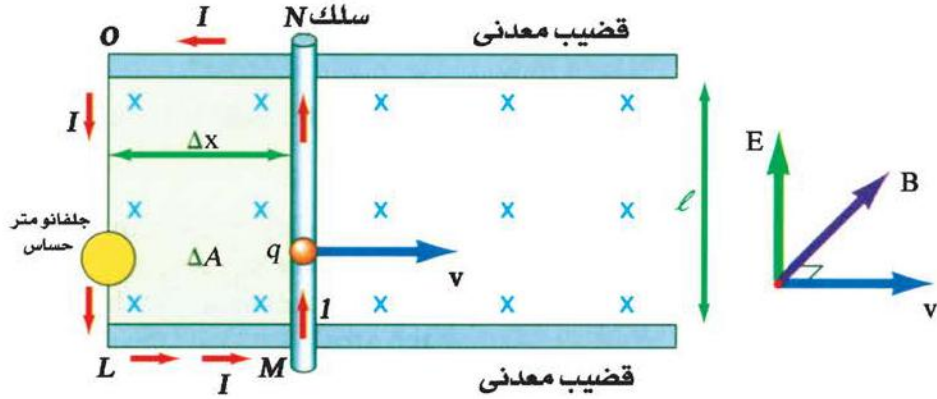
ويستفاد من التيارات الدوامية في صهر الفلزات فيما يسمى بأفران الحث Induction Furnaces .

القوة الدافعة الكهربية المستحثة في سلك مستقيم متحرك :

إذا وضع سلك طوله l عموديا على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه B (اتجاهه

عمودى على الورقة إلى الداخل) (شكل ٧-٣). وتم تحريك السلك فى اتجاه عمودى على المجال بسرعة v ، بحيث أزيح مسافة قدرها Δx فى زمن قدره Δt ، فإن التغير فى المساحة يكون:-

$$\Delta A = \ell \Delta x$$



شكل (٧-٣)

توليد e.m.f مستحثه فى سلك مستقيم

ويكون التغير فى الفيض هو :

$$\Delta \phi_m = B \Delta A = B \ell \Delta x$$

وتتبعين القوة الدافعة الكهربية عندئذ من العلاقة :

$$emf = - \frac{\Delta \phi_m}{\Delta t}$$

$$emf = - \frac{B \ell \Delta x}{\Delta t} = - B \ell v$$

حيث v هى السرعة التى يتحرك بها السلك. والإشارة السالبة لمراعاة قاعدة لنز.

وبالتالى يكون مقدار القوة الدافعة هى :

$$emf = B \ell v$$

(٥-٣)

وإذا كانت الزاوية بين اتجاه السرعة التى يتحرك بها السلك واتجاه كثافة الفيض هى θ

فإن :

$$emf = B \ell v \sin \theta$$

(٦-٣)

دينامو التيار المتردد (المولد الكهربى) :

المولد الكهربى أو الدينامو AC Generator - Alternator - Dynamo هو وسيلة أو جهاز لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية، عندما يدور ملفه فى مجال مغناطيسى. ويمكن نقل التيار المستحث بواسطة أسلاك لمسافات طويلة.

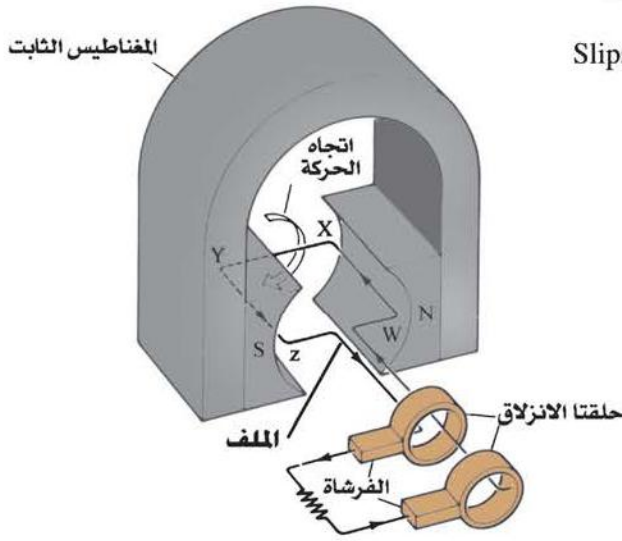
ويتركب المولد الكهربى البسيط كما فى الشكل (٣-٨) من أجزاء أربعة هى :

(أ) المغناطيس الثابت Field Magnet

(ب) الملف Armature (Loop)

(ج) حلقتا انزلاق Slips

(د) فرشتان Brushes



الشكل (٣-٨)

رسم مبسط للدينامو أى مولد التيار المتردد

يمكن أن يكون المغناطيس الثابت مغناطيساً دائماً أو مغناطيساً كهربياً. والملف إما أن يكون ملفاً من لفة واحدة، أو عدة لفات، بين قطبي المغناطيس وتتصل بنهايتيه حلقتان معدنيتان تدوران مع دوران الملف فى المجال المغناطيسى. التيارات المستحثة فى الملف تمر إلى الدائرة الخارجية خلال فرشتين Brushes من الجرافيت، كل منهما تلامس واحدة من الحلقتين المنزلقتين.

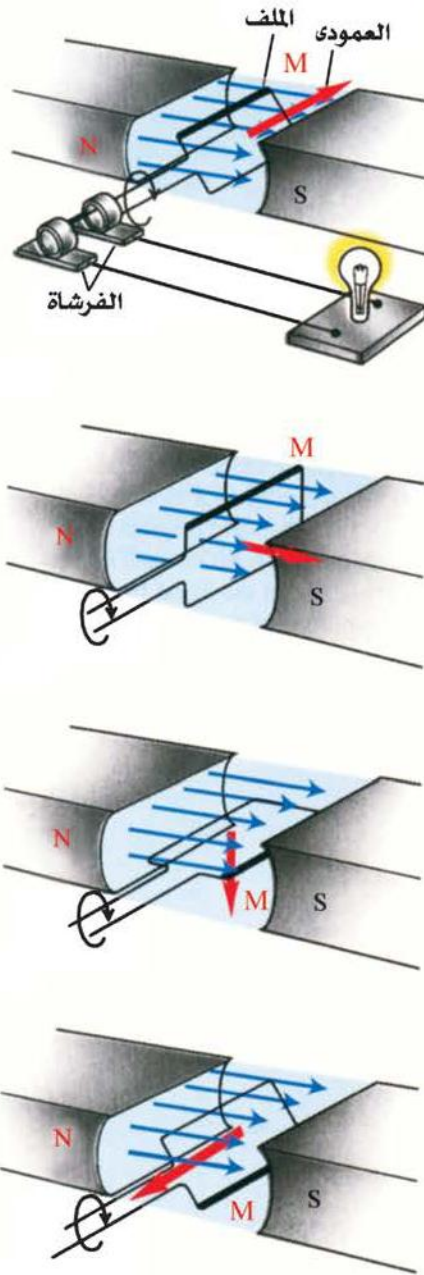
والشكل (٣-٩) يمثل دوران الملف بين قطبي المغناطيس وإتجاه التيار المستحث فى لحظة

ما .

نأخذ فى الاعتبار الوجه M من الملف الدوار فى أوضاع مختلفة كما فى شكل (٣-٩).

عندما يدور الملف حول محوره فى دائرة نصف قطرها r تكون السرعة الخطية هى :

$$v = \omega r$$



شكل (٩-٣)

تغير التيار المستحث خلال دورة كاملة للملف

حيث ω السرعة الزاوية وتساوي $(2\pi f)$
حيث f هو التردد. وبالتعويض عن v في
العلاقة (11-6) نجد أن :

$$e.m.f = B \ell \omega r \sin \theta$$

حيث θ هي الزاوية بين اتجاه السرعة
التي يتحرك بها السلك واتجاه كثافة الفيض.
عندما يكون الملف في الوضع العمودي علي
اتجاه الفيض فإن القوة الدافعة المستحثة تكون
صفراً.

ومن ثم تكون القوة الدافعة المستحثة
الكلية هي :

$$emf = 2B \ell \omega r \sin \theta$$

لكن مساحة وجه الملف (A) هي :

$$A = (\ell)(2r)$$

$$emf = BA \omega \sin \theta$$

وعندما يكون عدد لفات الملف N تصبح
القوة الدافعة المستحثة اللحظية هي :

$$emf = NBA \omega \sin \theta \quad (٧-٣)$$

ومن هذه العلاقة نتبين أن القوة الدافعة
المستحثة تتغير جيئياً (أي بموجب منحنى الجيب
Sine Curve) مع الزمن. وهذه الحقيقة موضحة
في الشكل (٣-١٠). فالقوة الدافعة الكهرلية
المستحثة تتغير من نهاية عظمى موجبة عند
 $\theta = 90^\circ$ ، إلى صفر عند $\theta = \text{zero}$

وتكون النهاية العظمى للقوة الدافعة

المستحثة هي :

$$(8-3) \quad (emf)_{\max} = NBA \omega = NBA (2 \pi f) \quad \text{نظراً لأن } (\sin 90^\circ = 1), \text{ ويمكن تعيين القوة}$$

الدافعة المستحثة اللحظية بدلالة النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة بواسطة العلاقة :

$$emf = (emf)_{\max} \sin \theta$$

$$(9-3)$$

$$emf = (emf)_{\max} \sin 2 \pi f t$$

$$\theta = \omega t = 2 \pi f t$$

$$(10-3) \quad \text{فإن ,}$$



شكل (١٠-٣)

مولد التيار المتردد

ومن هذا الشكل نتبين أن التيار المتولد يغير اتجاهه كل نصف دورة، وأن تغيره يمثل منحنى جيبى (شكل ١٠-٣)، ومنه أيضاً يتضح مفهوم التردد f وخلال ذبذبة كاملة تزداد شدة التيار من الصفر إلى نهاية عظمى، ثم تتناقص إلى الصفر، ثم يعكس التيار الكهربى اتجاهه فى الدائرة ويأخذ فى الزيادة حتى يصل إلى نهاية عظمى، ثم يأخذ فى التناقص حتى يصل إلى الصفر مرة أخرى. ويقال

عندئذ أن التيار قد أتم ذبذبة كاملة. ويكون الملف قد أتم بدوره دورة كاملة. وعدد الذبذبات فى الثانية f هو التردد. ومن المعروف أن تردد التيار المنزلى يساوى 50 ذبذبة فى الثانية.

مثال :

ملف فى مولد كهربى بسيط للتيار المتردد عدد لفاته 100 لفة مساحة مقطع كل منها 0.21 m^2 يدور الملف بتردد 50 دورة فى الثانية فى مجال مغناطيسى ثابت كثافة فيضيه 0.3 Weber/m^2 ما النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة وما قيمتها عندما تكون الزاوية بين اتجاه السرعة وكثافة الفيض 30° ؟

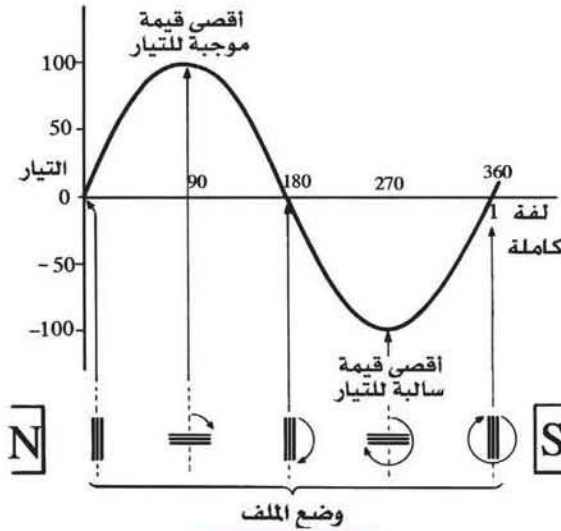
الحل :

$$(emf)_{\max} = NBA \omega = NBA (2 \pi f)$$

$$= 100 \times 10^{-3} \times 0.21 \times 2 \times \frac{22}{7} \times 50 = 6.6 \text{ V}$$

النهاية العظمى للقوة الدافعة المستحثة المتولدة تساوى 6.6V

$$\text{emf} = (\text{emf})_{\max} \sin \theta = 6.6 \times \sin 30 = 6.6 \times \frac{1}{2} = 3.3 \text{ V}$$



شكل (٣-١٠) (ب)

العلاقة البيانية لشدة التيار مع زاوية الدوران (المنحنى الجيبى)

وينبغي أن نتذكر أن التيار المستحث يتناسب طردياً مع القوة الدافعة المستحثة.

لهذا يكون التيار المستحث اللحظى هو :

$$I = I_{\max} \sin (2 \pi f t)$$

وبلغ التيار المستحث نهايته العظمى عندما تبلغ القوة الدافعة المستحثة نهايتها العظمى وينعدم التيار المستحث عندما تنعدم القوة الدافعة المستحثة.

القيمة الفعالة للتيار Effective Current

و مما ينبغي الإشارة إليه أن القيمة المتوسطة لتيار متردد تساوي الصفر خلال دورة كاملة. إذ أن مقداره يتغير من ($I_{\max}$ إلى $-I_{\max}$) و مع ذلك تستنفذ الطاقة الكهربائية كطاقة حرارية نتيجة لحركة الشحنة الكهربائية. و يتناسب معدل الطاقة الكهربائية المستنفذة طردياً مع مربع شدة التيار.

وأفضل طريقة لقياس الشدة الفعالة للتيار المتردد هي إيجاد قيمة التيار الموحد الإتجاه الذى يولد نفس معدل التأثير الحرارى فى مقاومة معينة، أو الذى يولد نفس القدرة التى يولدها التيار المتردد.

هذه القيمة تسمى القيمة الفعالة للتيار I_{eff} وتساوى 0.707 من النهاية العظمى للتيار،

أى أن :

$$I_{\text{eff}} = 0.707 I_{\text{max}} \quad (١١ - ٣)$$

وئمة علاقة مماثلة للقوة الدافعة الكهرلية الفعالة هي :

$$(emf)_{\text{eff}} = 0.707 (emf)_{\text{max}} \quad (١٢ - ٣)$$

مثال :

إذا كانت شدة التيار الفعالة في دائرة 10A و فرق الجهد الفعال هو 240 V فما هي النهاية العظمى لكل من التيار و فرق الجهد ؟

الحل :

$$I_{\text{eff}} = 0.707 I_{\text{max}}$$

$$10 = 0.707 I_{\text{max}}$$

$$I_{\text{max}} = \frac{10}{0.707} = 14.14 \text{ A} \quad \text{ومنها}$$

$$V_{\text{eff}} = 0.707 V_{\text{max}}$$

$$240 = 0.707 V_{\text{max}}$$

$$V_{\text{max}} = \frac{240}{0.707} = 339.5 \text{ V}$$

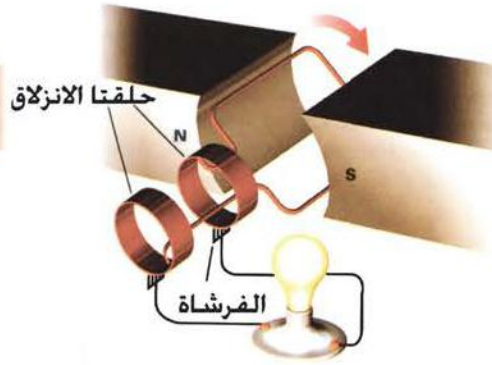
تقويم التيار الكهرلي المتردد في المولد الكهرلي :

تتطلب كثير من التطبيقات الكهرلية استخدام تيار مستمر DC من مصدر تيار متردد AC، مثل تحضير بعض الفلزات بالتحليل الكهرلي لمركباتها باستخدام تيار موحد الاتجاه. كما نحتاج إلى تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر في شاحن التليفون المحمول. ويقتضى هذا تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر (أى تيار فى إتجاه واحد) فيما يعرف بعملية تقويم التيار Rectification. كذلك يمكن تحويل المولد المتردد إلى مولد مستمر DC Generator. ولهذا الغرض يتم استبدال الحلقتين المعدنيتين بما يسمى «مقوم التيار» Commutator ويتركب مقوم التيار من أسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة إلى نصفين 1 ، 2 معزولين تماماً عن بعضهما كما فى الشكل (١١ - ٣). ويلامس نصفى الأسطوانة 1 ، 2 أثناء دورانها فرشأتان F_1 ، F_2 . ويراعى أن



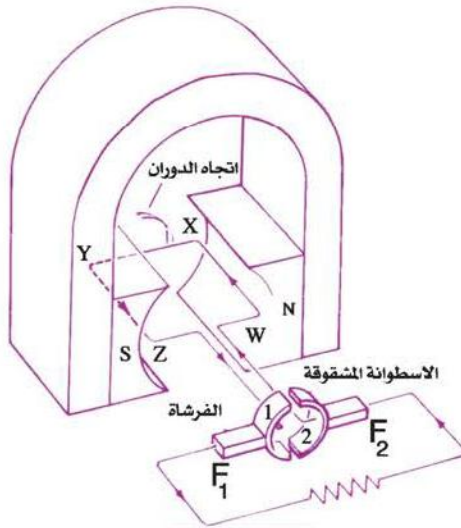
شكل (٣-١١) (ب)

ب- مولد التيار المستمر



شكل (٣-١١) (أ)

أ- مولد التيار المتردد



شكل (٣-١١) (ج)

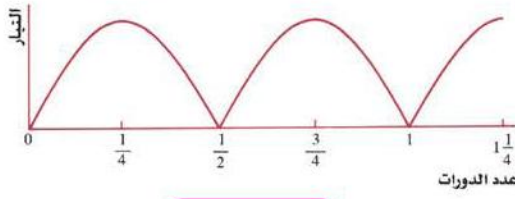
ب- استخدام الاسطوانة المشقوقة
يوحد اتجاه التيار

تلامس الفرشأتان الشققتين العازلتين في اللحظة التي يكون فيها مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسي، أي في اللحظة التي تكون فيها القوة الدافعة الكهربائية المتولدة في الملف صفراً.

ولناخذ في الاعتبار أن الملف سيبدأ في الدوران في الاتجاه المبين بالشكل (٣-١١ ج)، وفي خلال النصف الأول من الدورة ستكون الفرشاة F_1 ملاصقة لنصف الاسطوانة 1 والفرشاة F_2 ملاصقة لنصف الاسطوانة 2، وأن التيار الكهربائي سيمر في الملف في الاتجاه (WXYZ)، ويترتب على ذلك أن يمر التيار الكهربائي في الدائرة الخارجية من الفرشاة F_1 إلى الفرشاة F_2 خلال النصف الأول من الدورة.

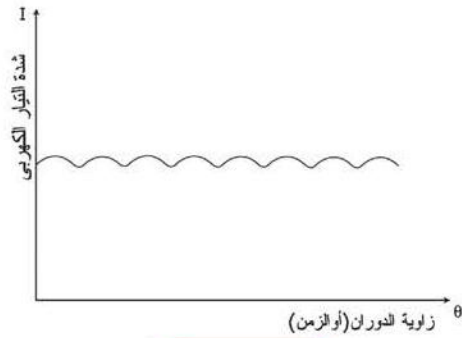
وفي النصف الثاني من الدورة يعكس التيار

الكهربائي اتجاهه في الملف بمعنى أن التيار الكهربائي يمر في الملف في الاتجاه (ZYXW). وفي نفس الوقت تصبح الفرشاة F_1 ملاصقة لنصف الاسطوانة 2. ويمر التيار في الدائرة الخارجية من الفرشاة F_1 إلى الفرشاة F_2 ، وهو نفس اتجاهه في النصف الأول من الدورة. ومع استمرار الدوران تظل الفرشاة F_1 موجبة والفرشاة F_2 سالبة. لذلك يكون التيار الكهربائي في الدائرة



شكل (٣-١١) د

د- منحنى التيار مع زاوية الدوران (منحنى جيبى موحد الاتجاه)



شكل (٣-١٢)

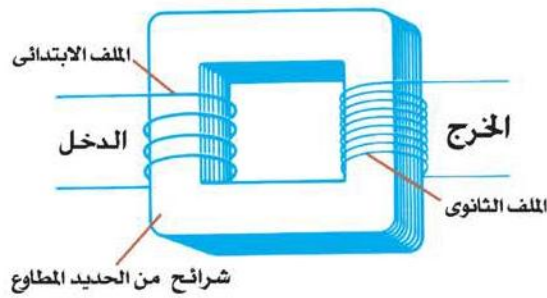
التيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريباً

الخارجية موحد الإتجاه دائماً، كما فى الشكل (٣-١١) د. ويلاحظ هنا أن القوة الدافعة الكهربائية موحدة الاتجاه، لكن مقدارها يتغير من الصفر إلى النهاية العظمى، ثم إلى الصفر كل نصف دورة من دورات الملف.

وللحصول على تيار كهربى موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريباً تستخدم عدة ملفات بينها زوايا صغيرة، وتستخدم اسطوانة معدنية مجوفة مشقوقة إلى عدد من الأجزاء يساوى ضعف عدد الملفات، فتكون شدة التيار الكهربى المار فى الدائرة الخارجية ثابتة القيمة تقريباً، وبهذه الكيفية يتم الحصول فعلياً على مولد ثابت الشدة DC generator (شكل ٣-١٢).

المحول الكهربى Transformer :

المحول الكهربى جهاز تعتمد فكرة عمله على الحث المتبادل بين ملفين ويستخدم لرفع الجهد أو خفضه. فالمحولات المستخدمة فى محطات القوى تسمى محولات الجهد



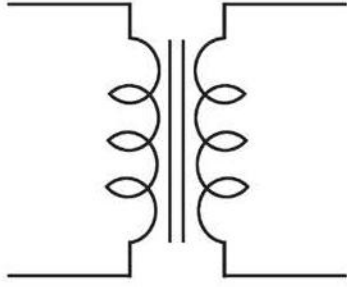
شكل (٣-١٣)

تركيب المحول الرافع

العالى وتكون محولات رافعة Up-Converter . والمحولات

المستخدمة عند مناطق التوزيع محولات خافضة Down-Converter .

ويتركب المحول الكهربى كما فى الشكل (٣-١٣) من ملفين ابتدائى وثانوى. والملفان ملفوفان حول قلب من الحديد يتكون من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها،



شكل (٣-١٤)

رمز المحول

وذلك للحد من التيارات الدوامية. وللمحد بالتالى من الطاقة الكهربائية المفقودة.

عندما يمر تيار كهربى فى الملف الابتدائى، فإن مجالاً مغناطيسياً يتولد عنه. أما القلب الحديدى فيعمل على تركيز خطوط الفيض هذا المجال لتقطع الملف الثانوى.

العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهربيتين فى ملفى المحول المثالى:

عندما يوصل الملف الابتدائى بمصدر جهد متردد، يولد التغير فى المجال المغناطيسى قوة دافعة كهربية مستحثة فى الملف الثانوى لها نفس التردد. وتعين القوة الدافعة الكهربائية المستحثة

فى الملف الثانوى من العلاقة.

$$V_s = -N_s \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

حيث N_s عدد لفات الملف الثانوى و $\frac{\Delta \phi}{\Delta t}$ معدل خطوط الفيض المغناطيسى التى تقطعه. كذلك تتولد قوة دافعة كهربية فى الملف الابتدائى وترتبط أيضاً بالمعدل الذى يتغير به الفيض. تتزن هذه القوة الدافعة تقريباً مع القوة الدافعة الكهربائية للمصدر الخارجى. وقد يستهلك جزء من الجهد داخل مقاومة السلك. وتعمل هذه القوة الدافعة المستحثة. على تحديد قيمة التيار بحيث لا يزداد أكثر من اللازم فيحترق الملف الابتدائى. وتعين بالتالى من العلاقة :

$$V_p = -N_p \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

حيث N_p عدد لفات الملف الابتدائى.

وبفرض عدم وجود فقد فى الفيض المغناطيسى، بحيث يمر الفيض المغناطيسى الناتج

بأكمله فى الملف الثانوى، يمكننا بقسمة العلاقتين السابقتين الحصول على ما يلى:

$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p} \quad (١٣-٣)$$

وتدلنا هذه العلاقة على كيفية ارتباط القوة الدافعة للملف الثانوى V_s بالقوة الدافعة للملف الابتدائى V_p .

فإذا كان N_s اكبر من N_p ، يكون لدينا محول رافع للجهد، حيث تكون القوة الدافعة الكهرلية للملف الثانوى اكبر من القوة الدافعة الكهرلية للملف الابتدائى. على سبيل المثال إذا كان عدد لفات الملف الثانوى ضعف عدد لفات الملف الابتدائى يكون V_s ضعف V_p . وإذا كان N_s اقل من N_p يكون لدينا محول خافض للجهد حيث تكون V_s اقل من V_p .

العلاقة بين شدتى التيارين فى ملفى المحول :

إذا فرضنا عدم وجود فقد فى الطاقة الكهرلية فى المحول، فإن قانون بقاء الطاقة يقتضى أن تكون الطاقة الكهرلية المستنفذة فى الملف الابتدائى مساوية للطاقة الكهرلية المتولدة فى الملف الثانوى أى أن :

$$V_p I_p t = V_s I_s t$$

ومنها تكون قدرة الدخل Input Power مساوية لقدرة الخرج Output Power. أى أن :

$$V_p I_p = V_s I_s$$

$$\therefore \frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s} \quad (١٤-٣)$$

بالاستعانة بالعلاقين (11 - 11) و (12 - 11) نجد أن :

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \quad (١٥-٣)$$

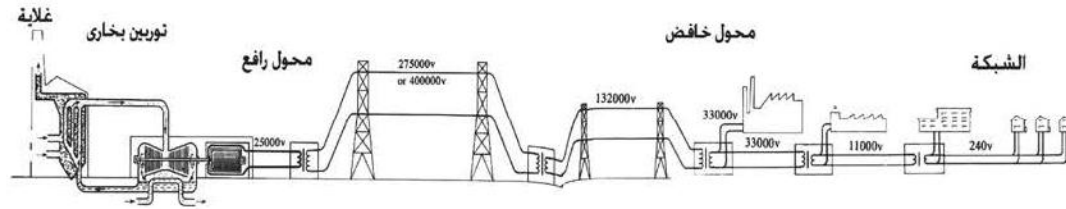
أى أن شدة التيار فى أى من الملفين تتناسب عكسياً مع عدد لفاته. فمثلاً عندما يكون عدد لفات الملف الثانوى ضعف عدد لفات الملف الابتدائى، فإن شدة تيار الملف الثانوى تساوى نصف شدة تيار الملف الابتدائى.

ومن هنا نتبين أهمية استخدام المحول الرافع للجهد عند محطة التوليد الكهرلية، حيث

يتم رفع الجهد إلى قيمة عالية، وتقل شدة التيار بالتالي إلى قيمة منخفضة جداً، فيقل معدل الفقد في القدرة الذي يساوي I^2R ، حيث I شدة التيار الكهربى المار فى الأسلاك والتي مقاومتها R . لذلك إذا أمكننا خفض التيار الكهربى فى أسلاك النقل بواسطة المحول الرفع للجهد إلى $\frac{1}{100}$ مثلاً من شدة تيار الملف الابتدائى له، فإن الطاقة المفقودة تصل إلى $\frac{1}{10000}$ من الطاقة المفقودة إذا ظل التيار الكهربى فى الملف الابتدائى بنفس شدته الأصلية.

وعند مناطق التوزيع تستخدم محولات خافضة للجهد. حيث يكون فرق الجهد على الملف الثانوى 220 فولت. وهو جهد التشغيل لمصابيح الإضاءة ومعظم الأجهزة الكهربائية المستخدمة فى المنازل.

استخدامات المحول الكهربى :



شكل (٣-١٥)

استخدام المحولات فى نقل الطاقة الكهربائية



شكل (٣-١٦)

محول عملاق فى محطات
الخفض والتوليد

تستخدم المحولات الكهربائية لنقل الطاقة الكهربائية Transmission من محطات توليدها إلى أماكن استخدامها على مسافات بعيدة عبر أسلاك معدنية دون فقد يذكر فى الطاقة الكهربائية، حيث تستخدم محولات رافعة للجهد عند محطات التوليد Generation، ومحولات خافضة للجهد عند مناطق التوزيع (شكل ٣-١٥)، حيث تستخدم المحولات العملاقة فى هذه المحطات (شكل ٣-١٦). كما تستخدم المحولات الكهربائية فى بعض الأجهزة المنزلية كالأجراس والثلاجات إلى آخره.

كفاءة المحول الكهربى :

إذا لم يكن هناك فقد فى الطاقة الكهرلية فى المحول . بمعنى أن الطاقة الكهرلية المتولدة فى الملف الثانوى تساوى الطاقة الكهرلية المستنفدة فى الملف الابتدائى . تكون كفاءة المحول 100% . ومثل هذا المحول غير موجود فى الحياة العملية ، إذ يحدث فقد فى الطاقة للأسباب الآتية :

١ - يتحول جزء من الطاقة الكهرلية إلى طاقة حرارية فى الأسلاك . ولإنقاص هذا الفقد يفضل استخدام أسلاك معدنية مقاومتها أقل ما يمكن .

٢ - يتحول جزء من الطاقة الكهرلية فى القلب الحديدى إلى طاقة حرارية بسبب التيارات الدوامية . وللحد من هذا الفقد يصنع القلب الحديدى من شرائح معزولة من الحديد المطاوع السليكونى لكبر مقاومته النوعية ، وذلك للحد من التيارات الدوامية Eddy Currents .

٣ - يتحول جزء من الطاقة الكهرلية إلى طاقة ميكانيكية تستنفذ فى تحريك جزيئات القلب الحديدى . وللحد من هذا الفقد ، يستخدم الحديد المطاوع السليكونى لسهولة حركة جزيئاته المغناطيسية .

وبصفة عامة إذا كانت الطاقة المفقودة تمثل 10% من الطاقة الكهرلية الأصلية تكون كفاءة المحول 90%

وتعرف كفاءة المحول بنسبة الطاقة الكهرلية التى نحصل عليها من الملف الثانوى إلى الطاقة الكهرلية المعطاة للملف الابتدائى فى نفس الزمن أى أن :

$$\eta = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p} = \frac{V_s \times N_p}{V_p \times N_s} \quad (١٦-٣)$$

أمثلة :

- ١ - محول يعمل على مصدر تيار متردد قوته الدافعة الكهربية 240V يعطى تياراً شدته 4A وقوته الدافعة الكهربية 900V فما هي شدة تيار المصدر بفرض أن كفاءة المحول 100%؟

الحل :

$$\therefore \frac{V_s}{V_p} = \frac{I_p}{I_s}$$

$$\therefore \frac{900}{240} = \frac{I_p}{4}$$

$$\therefore I_p = \frac{900 \times 4}{240} = 15 \text{ A}$$

- ٢ - جرس كهربى مركب على محول كهربى كفاءته 80% يعطى 8V إذا كانت القوة الدافعة الكهربية فى المنزل 220V . فما عدد لفات الملف الثانوى، إذا كانت عدد لفات الملف الابتدائى 1100 لفة؟ وما هي شدة التيار فى الملف الثانوى، إذا كانت شدة التيار فى الملف الابتدائى 0.1A؟

الحل :

$$\eta = \frac{V_s I_s}{V_p I_p}$$

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

$$80\% = \frac{8}{220} \times \frac{1100}{N_s}$$

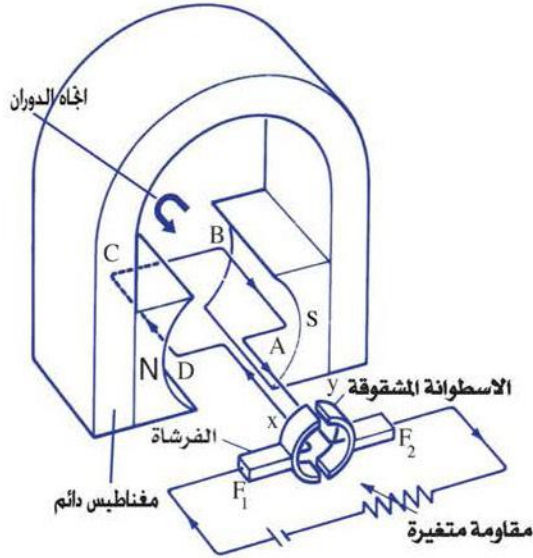
$$N_s = 50 \text{ turns (لفة)}$$

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

$$\frac{I_s}{0.1} = \frac{1100}{50}$$

$$I_s = 2.2 \text{ A}$$

محرك التيار الكهربى المستمر DC Motor



شكل (١٨-٣)

عمل المحرك (الموتور) المستمر

هو جهاز يستخدم لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية ويعمل بمصدر كهربى مستمر (مثل البطارية) (شكل ٣-١٨). ويتركب فى أبسط صورة كما فى شكل (٣-١٨) من ملف مستطيل (ABCD) يتكون من عدد كبير من لفات سلك نحاس معزول ملفوفة حول قلب من الحديد المطاوع مكون من اقراص رقيقة معزولة عن بعضها للحد من التيارات الدوامية.

والملف ومعه القلب الحديدى قابلان للدوران بين قطبى مغناطيس قوى على شكل حذاء الفرس. ويتصل طرفا الملف بنصفي

اسطوانة معدنية مشقوقة بالطول Commutator وهما النصفان (x,y)، وهما معزولان عن بعضهما، وقابلان للدوران حول نفس محور دوران الملف. يكون المستوى الفاصل بين نصفي الاسطوانة متعامدا مع مستوى الملف والخط الواصل بين الفرشتين موازيا لخطوط المجال المغناطيسى وعند تشغيل المحرك الكهربى توصل الفرشتان F_1 , F_2 بقطبى بطارية.

المحرك والجلفانومتر

فكرة عمل المحرك الكهربى هى نفسها فكرة عمل الجلفانومتر ذى الملف المتحرك. الاختلاف بينهما ان ملف المحرك الكهربى يجب ان يدور باستمرار فى نفس الاتجاه. فتصميم المحرك الكهربى يقتضى ان يغير نصف الاسطوانة المعدنية x,y موضعيهما بالنسبة للفرشتين F_1 و F_2 كل نصف دورة. ويترتب على هذا ان التيار الكهربى المار فى ملف المحرك الكهربى يعكس اتجاهه فى الملف كل نصف دورة.

شرح العمل خلال دورة كاملة للملف :

نبدأ بوضع يكون فيه مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض المغناطيسي وتكون فيه الفرشاة F_1 المتصلة بالقطب الموجب للبطارية ملامسة لنصف الاسطوانة (x)، والفرشاة F_2 المتصلة بالقطب السالب للبطارية ملامسة لنصف الاسطوانة (y) كما في الشكل (٣-١٨). فيمر التيار الكهربى فى الملف فى الإتجاه (DCBA). وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفليمنج تبين أن القوة المؤثرة على السلك (AB) يكون إتجاهها إلى أعلى، والقوة المؤثرة على السلك (CD) يكون إتجاهها إلى أسفل. وينشأ عن هاتين القوتين ازدواج Couple يعمل على دوران الملف فى الاتجاه المبين بالرسم (شكل ٣-١٨). ومع دوران الملف يقل عزم الازدواج تدريجياً حتى ينعدم عندما يصبح مستوى الملف عمودياً على إتجاه خطوط الفيض. لكن الملف مدفوعاً بقصوره الذاتى Inertia يستمر فى دورانه. حتى يكون النصفان (x,y) قد تبادلا موضعيهما بالنسبة للفرشتين F_1, F_2 حيث يصبح نصف الاسطوانة (x) ملامساً للفرشاة F_2 ، ونصف الاسطوانة (y) ملامساً للفرشاة F_1 ، فينعكس إتجاه التيار فى الملف، ويمر فى الاتجاه (ABCD). وبتطبيق قاعدة اليد اليسرى لفليمنج فى هذا الوضع الجديد، تبين أن القوة المؤثرة على السلك (AB) تكون إلى أسفل، بينما القوة المؤثرة على السلك (CD) تكون إلى أعلى. ويعمل الازدواج الناشئ من هاتين القوتين على إستمرار دوران الملف فى نفس الإتجاه الدائرى السابق. ويزداد عزم الازدواج تدريجياً حتى يصل إلى نهايته العظمى، عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض، ثم يقل عزم الازدواج حتى ينعدم عندما يكون مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض، وبالقصور الذاتى يستمر الملف فى حركته قليلاً، بما يسمح لنصفى الاسطوانة (x,y) أن يتبادلا موضعيهما بالنسبة للفرشتين F_1, F_2 ، فينعكس التيار الكهربى مرة أخرى فى الملف. ويستمر الملف فى الدوران فى نفس الاتجاه، ويزداد عزم الازدواج تدريجياً حتى يصل إلى نهايته العظمى، عندما يكون مستوى الملف موازياً لخطوط الفيض، ويكون الملف قد أتم دورة كاملة. ويتكرر ما حدث، ويستمر الملف فى الدوران. وللاحتفاظ بعزم دوران ثابت عند النهاية العظمى نستخدم عدة ملفات بين مستوياتها زوايا صغيرة متساوية. ويتصل طرف كل ملف بقطعتين متقابلتين من أسطوانة معدنية مشقوقة إلى عدد من القطع يساوي ضعف عدد الملفات. بحيث يلامس كل قطعتين متقابلتين من الاسطوانة المشقوقة أثناء دورانها الفرشتان F_1, F_2 فى وضع أقصى عزم ازدواج.

تلخيص

التعاريف والمفاهيم الأساسية :

- الحث الكهرومغناطيسي : هى ظاهرة تتولد فيها قوة دافعة كهربية مستحثة، كذلك تيار كهربي مستحث فى الملف اثناء إدخال مغناطيس فيه او اخراجه منه.
- وجود الحديد المطاوع داخل الملف يعمل على تركيز خطوط الفيض المغناطيسى التى تقطع الملف، مما يزيد القوة الدافعة الكهربية المستحثة وكذلك التيار المستحث.
- قانون فاراداي للقوة الدافعة المستحثة :
- تتناسب القوة الدافعة المستحثة المتولدة فى ملف بالحث الكهرومغناطيسى تناسباً طردياً مع المعدل الزمنى الذى يقطع به الموصل خطوط الفيض، وكذلك مع عدد لفات الملف.
- قاعدة لنز : يكون اتجاه التيار الكهربي المتولد بالتأثير (المستحث)، بحيث يصاد التغير فى الفيض المغناطيسى المسبب له .
- قاعدة اليد اليمنى لفليمنج : إجعل الإبهام والسبابة والوسطى (ومعه باقى الأصابع) من أصابع اليد اليمنى متعامدة على بعضها، بحيث تشير السبابة إلى اتجاه المجال، والابهام إلى اتجاه الحركة. عندئذ تشير الوسطى وباقى الأصابع إلى اتجاه التيار المستحث.
- الحث المتبادل : هو التأثير الكهرومغناطيسى الحادث بين ملفين متجاورين (أو متداخلين)، أحدهما يمر به تيار كهربي متغير الشدة، فيتأثر به الملف الثانوى، ويقاوم التغير الحادث فى الملف الأول الابتدائى .
- الحث الذاتى : هو التأثير الكهرومغناطيسى الحادث فى نفس الموصل اثناء تغير شدة التيار فيه زيادة أو نقصاً لمقاومة هذا التغير.
- معامل الحث الذاتى : يقدر عددياً بالقوة الدافعة الكهربية المتولدة بالحث فى الملف عندما يكون المعدل الزمنى لتغير التيار فيه 1 A/s
- وحدة قياس معامل الحث الذاتى : الهنرى هو الحث الذاتى للملف الذى تتولد عنه قوة دافعة كهربية حثية تساوى 1 V عندما يكون المعدل الزمنى لتغير التيار فى الملف 1 A/s

$$1H = \frac{1V.S}{A} = \frac{\text{فولت . ثانية}}{\text{أمبير}}$$

- يتوقف معامل الحث الذاتى للملف على :
 - (أ) شكله الهندسى
 - (ب) عدد لفاته
 - (ج) المسافة بين اللفات
 - (د) سماحية القلب المغناطيسى
- مولد التيار الكهربى (الدينامو) : جهاز لتحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية عندما يدور ملف فى مجال مغناطيسى. وهو يعطى تيارا مترددا.
- يتركب المولد الكهربى البسيط من :
 - (أ) المغناطيس الثابت (مغناطيس قوى)
 - (ب) ملف من سلك معلق بين قطبى المغناطيس.
 - (ج) حلقتى انزلاق ملامستين لفرشتى التيار المتردد، أو اسطوانة معدنية جوفاء مشقوقة الى عدد من الأجزاء المعزولة عن بعضها للحصول على تيار مستمر تقريبا.
- التيار المتردد : تيار تغير شدته واتجاهه بصورة دورية مع الزمن (منحنى الجيب).
- المحول الكهربى : جهاز لرفع أو خفض القوة الدافعة الكهربائية المترددة عن طريق الحث المتبادل بين ملفين.
- كفاءة المحول : هى النسبة بين الطاقة الكهربائية التى نحصل عليها من الملف الثانوى إلى الطاقة الكهربائية المعطاه للملف الابتدائى.
- المحرك الكهربى (الموتور) : جهاز لتحويل الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية

القوانين الهامة :

- القوة الدافعة المستحثة المتولدة في ملف عدد لفاته N نتيجة تغير في خطوط الفيض المغناطيسي $\Delta\Phi$ المقطوعة في زمن Δt يعطى بالعلاقة :

$$emf = - N \frac{\Delta \phi}{\Delta t} \text{ Volt}$$

الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه القوة الدافعة المستحثة . وبالتالي التيار المستحث . عكس التغير المسبب له.

- القوة الدافعة المستحثة المتولدة في ملف ثانوى نتيجة تغير في خطوط الفيض المغناطيسى الناشئة عن الملف الابتدائى $\Delta\Phi$ والتي تقطع الملف الثانوى في زمن Δt تعطى من العلاقة :

$$emf = - M \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث M معامل الحث المتبادل .

- القوة الدافعة المتولدة بالحث الذاتى نتيجة التغير في شدة التيار المار في الملف بمقدار ΔI في زمن Δt تعطى من العلاقة :

$$emf = - L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث L معامل الحث الذاتى للملف

- القوة الدافعة المستحثة في سلك مستقيم طوله ℓ يتحرك بسرعة ثابتة v يصنع اتجاهها زاوية θ مع اتجاه مجال مغناطيسى كثافة فيضه B يعطى من العلاقة.

$$emf = B\ell v \sin \theta$$

- القوة الدافعة المستحثة اللحظية المتولدة في ملف الدينامو تعطى من العلاقة :

$$emf = NBA \omega \sin \theta$$

حيث N عدد لفات الملف ، B كثافة الفيض المغناطيسى ، A مساحة وجه الملف ، θ هى الزاوية بين اتجاه السرعة v واتجاه كثافة الفيض المغناطيسى B .

$$\text{السرعة الزاوية} = \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{الزمن بالثانية}} = 2\pi \times$$

وتكون نهاية عظمى عند $\theta = 90^\circ$ ، صفر عند $\theta = 0^\circ$

- العلاقة بين القيمة الفعالة للتيار I_{eff} ، النهاية العظمى له I_{max} هي:-

$$I_{eff} = 0.707 I_{max}$$

- قوانين المحول الكهربى

(١) العلاقة بين القوتين الدافعتين الكهرييتين للمضى المحول.

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

(ب) العلاقة بين شدة التيار فى ملفى المحول :

$$I_s / I_p = N_p / N_s$$

(ج) كفاءة المحول .

$$\eta = \frac{V_s \times I_s}{V_p \times I_p} = \frac{V_s \times N_p}{V_p \times N_s}$$

p تعنى الابتدائى ، s تعنى الثانوى

أسئلة وتمارين

أولاً: ضع علامة (✓) أمام الاجابة الصحيحة :

١- تنحرف ابرة الجلفانومتر المتصل طرفاه بملف لولبي عند اخراج المغناطيس من الملف بسرعة وذلك لأن :

- (أ) عدد لفات الملف كبيرة (ب) يقطع الملف خطوط الفيض المغناطيسي
(ج) عدد لفات الملف قليلة (د) عدد لفات الملف مناسبة

٢- تنحرف ابرة الجلفانومتر المتصل طرفاه بملف لولبي عند اخراج المغناطيس من الملف في اتجاه عكس اتجاه انحرافها عند ادخال المغناطيس في الملف وذلك.

- (أ) لتولد تيار مستحث اتجاهه عكس اتجاه التيار عند ادخال المغناطيس
(ب) لتولد تيار كهربى (ج) لنقص عدد خطوط الفيض المغناطيسي
(د) لتغير عدد خطوط الفيض (هـ) لعدم تغير عدد خطوط الفيض

٣- تختلف القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة في الملف عند ادخال او اخراج مغناطيس منه نتيجة لاختلاف :

- (أ) (شدة التيار - طول سلك الملف - عدد خطوط الفيض)
(ب) (قوة المغناطيس - سرعة حركة المغناطيس - عدد لفات الملف)
(ج) (مساحة مقطع الملف - كتلة وحدة الاطوال من الملف - نوع مادة السلك المصنوع منه الملف) .

- (د) (طول الملف - عدد اللفات - نوع المغناطيس)
(هـ) (كثافة الفيض - الزمن - شدة التيار)

٤- عند مرور تيار كهربى في الملف الابتدائى ثم دخول ملف ثانوى فيه طرفاه متصلان بجلفانومتر يكون انحراف مؤشر الجلفانومتر في اتجاه :

- (أ) عكس التيار في الملف الابتدائى (ب) يشير إلى صفر التدرج
(ج) متزايد (د) نفس اتجاه التيار في الملف الابتدائى
(هـ) متغير

٥- عند قطع التيار المار بالملف الابتدائي، وهو بداخل الملف الثانوي يتولد :

- (أ) تيار مستحث طردى
- (ب) مجال كهربي
- (ج) تيار مستحث عكسي
- (د) تيار متردد
- (هـ) مجال مغناطيسي

٦- يرجع بطء التيار في الملف اللولبي أثناء مروره فيه إلى :

- (أ) تولد تيار تأثيري طردى
- (ب) تولد مجال مغناطيسي
- (ج) تولد ق.د.ك عكسية تقاوم فرق الجهد الأصلي
- (د) تولد فيض مغناطيسي
- (هـ) تولد مجال كهربي

٧- تصنع المقاومات من أسلاك ملفوفة لفا مزدوجة :

- (أ) لتقل مقاومة السلك
- (ب) لتزيد مقاومة السلك
- (ج) لتلافي الحث الذاتي
- (د) لتتعدم مقاومة السلك
- (هـ) لتسهيل عملية التوصيل

٨- يمكن تحديد اتجاه التيار الكهربي المتولد في ملف الدينامو باستخدام :

- (أ) قاعدة فليمنج لليد اليسرى
- (ب) قاعدة لنز
- (ج) قاعدة فليمنج لليد اليمنى

٩- يكون معدل قطع الملف لخطوط الفيض المغناطيسي في الدينامو أكبر ما يمكن عندما يكون :

- (أ) مستوى الملف عموديا على خطوط الفيض.
- (ب) مستوى الملف مائلا بزاوية 30°
- (ج) مساحة الملف اقل ما يمكن
- (د) مساحة الملف أكبر ما يمكن
- (هـ) مستوى الملف مواز لخطوط الفيض

١٠- تتناسب شدة التيار المار فى ملفى المحول الكهربى مع عدد لفات الملف تناسباً :

(أ) طردياً (ب) عكسياً

(ج) يتوقف على نوع مادة السلك (د) يتوقف على درجة حرارة السلك

(هـ) يتوقف على درجة حرارة الجو.

١١- تزداد قدرة الموتور على الدوران باستخدام :

(أ) عدد أكبر من اللفات (ب) عدة ملفات بين مستوياتها زوايا متساوية

(ج) عدة مغناطيسات (د) سلك نحاس معزول

(هـ) مقوم التيار

١٢- تسمى النسبة بين الطاقة الكهربائية فى الملف الثانوى إلى الطاقة الكهربائية من الملف

الابتدائى :-

(أ) الطاقة المفقودة (ب) الطاقة المعطاة

(ج) كفاءة المحول (د) قوة تشغيل المحول

(هـ) الطاقة المكتسبة

ثانياً: عرف كلا مما يأتى :

- | | |
|---------------------------|--|
| ١ - الحث الكهرومغناطيسى . | ٢ - قانون فاراداي للقوة الدافعة المستحثة . |
| ٣ - قاعدة لنز . | ٤ - قاعدة فليمنج لليد اليمنى . |
| ٥ - الحث المتبادل . | ٦ - وحدة قياس الحث المتبادل . |
| ٧ - الحث الذاتى . | ٨ - معامل الحث الذاتى . |
| ٩ - الهنرى . | ١٠ - ملف الحث . |
| ١١ - التيار المتردد . | ١٢ - الدينامو . |
| ١٣ - الموتور . | ١٤ - المحول الكهربى . |
| ١٥ - كفاءة المحول الكهربى | ١٦ - القوة الدافعة العكسية فى الموتور . |

ثالثا : أسئلة المقال :

- ١- ما هي العوامل التى تتوقف عليها القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى موصل؟ أذكر العلاقة بين هذه العوامل والقوة الدافعة المستحثة.
- ٢- اذكر قانون فاراداي للقوة الدافعة الكهربية المستحثة فى ملف وكيف يمكن تحقيقه عمليا.
- ٣- ما المقصود بالحث المتبادل بين ملفين؟ وما المقصود بمعامل الحث المتبادل؟ كيف يمكن باستخدام الحث المتبادل إثبات قاعدة لنز.
- ٤- إذا أمر تيار كهربي فى ملف - استنتج المعادلة التى تربط بين القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى هذا الملف ومعدل تغير التيار المار فيه. ومنها إستنتج تعريفا لكل من معامل الحث الذاتى والهنرى.
- ٥ - متى تكون القوة الدافعة المستحثة المتولدة فى ملف أكبر ما يمكن ومتى تكون صفرا.
- ٦- إشرح تجربة لتوضيح تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية وتجربة أخرى توضح حدوث العكس. ثم أذكر القاعدة المستخدمة لتحديد اتجاه التيار فى الحالة الأولى وإتجاه الحركة فى الحالة الثانية.
- ٧- استنتج علاقة يمكن بواسطتها تعيين القوة الدافعة الكهربية المستحثة فى لحظة ما فى مولد التيار المتردد.
- ٨- ما هي التعديلات التى أدخلت على دينامو التيار المتردد للحصول على تيار مقوم.
- ٩- صف تركيب المحول الكهربي واشرح نظرية عمله. ما معنى أن كفاءة المحول الكهربي 80% ؟
- ١٠- ماذا يقصد بكفاءة المحول الكهربي؟ وما هي العوامل التى تنقص منها وكيفية التغلب عليها؟ وهل تصل كفاءة المحول إلى 100% أم لا ولماذا؟
- ١١- صف مع الرسم تركيب الموتور موضحا فكرة عمله.

رابعا: علل لما يأتى

- (١) يصنع قلب المحول الكهربي من شرائح رقيقة معزولة عن بعضها البعض.

- (ب) لا يـمـغـنـط سـاق مـن الـحـديـد المـطـاوع إذا لـف حـولـه سـلك مـعـدنى مـعـزول مـلفوف لـفا مزدوجا يـمر بـه تـيار كـهـربى مـسـتـمـر.
- (ج) يـتـحـرك سـلك يـمر بـه تـيار كـهـربى عـندما يـكـون حـر الـحـركـة فـى مـجـال مـغـنـاطـيـسى.
- (د) لا يـصـلح المـحـول الكـهـربى فـى رـفـع أو خـفـض قـوة دافـعة كـهـربـية مـسـتـمـرة.
- (هـ) سـرعة دـوران مـلف المـوتـور مـنـتـظـمة.
- (و) انـعـدام التـيار المـسـتـحـث فـى السـلك المـسـتـقيم أـسـرع مـنـه فـى مـلف قـلبـه هـوائى. وانـعـدام التـيار فـى المـلف ذو القـلب الهـوائى أـسـرع مـنـه فـى مـلف مـلفوف حـول قـلب مـن الـحـديـد.
- (ز) يـتـصـل طـرفا مـلف الـديـنامـو لـتـولـيد تـيار مـوحد الـاتـجـاه بـأسـطـوانة مـعـدنية مـجـوفة مـشـقـوقة إـلى نـصـفـين مـعـزولـين تـمـامـا عـن بـعـضـهـما.

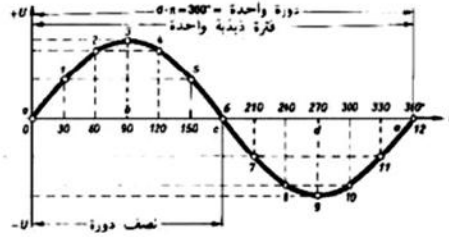
خامسا : تمارين :

- ١- مـلف عـدد لـفاتـه 80 لـفة مـسـاحـة مـقـطـعة 0.2 m^2 مـعلق عـمـوديا عـلى مـجـال مـنـتـظـم. مـتـوسـط القـوة الدافـعة المـسـتـحـثة 2V عـندما يـدور المـلف $1/4$ دـورة خـلال 0.5s احـسـب كـثـافة الفـيـض المـغـنـطـيـسى. (0.0625 Tesla)
- ٢- إذا كـانـت كـثـافة الفـيـض المـغـنـطـيـسى بـين قـطبـى مـغـنـاطـيـسى مـولـد كـهـربى هـى 0.7Tesla و كـان طـول مـلف الـجـهـاز 0.4m لكـى تـتـولـد قـوة دافـعة كـهـربـية مـسـتـحـثة فـى هـذا السـلك تـساوى وـاحـد فولت احـسـب سـرعة حـركـته. (3.57 m/sc)
- ٣- مـلف دـيـنامـو يـتـكوـن مـن 800 لـفة مـسـاحـة مـقـطـعة 0.25m^2 يـدور بـمـعدـل 600 دـورة كـل دـقـيـقة فـى مـجـال كـثـافة فـيـضـه 0.3Tesla احـسـب القـوة الدافـعة المـسـتـحـثة عـندما يـصـنع العـمـودى عـلى المـلف زـاويـة 30° مـع الفـيـض المـغـنـطـيـسى. (6.28V)
- ٤- سـاق مـن النـحاس طـولـها 30cm تـتـحـرك عـمـوديا عـلى مـجـال مـغـنـطـيـسى كـثـافة فـيـضـه 0.8 Tesla بـسرعة 0.5m/s احـسـب القـوة الدافـعة الكـهـربـية المـسـتـحـثة فـى هـذه السـاق. (0.12V)

- ٥- هوائي سيارة طوله متر. تتحرك السيارة بسرعة 80 km/hr فى اتجاه متعامد على المركبة الأفقية للمجال المغناطيسى للأرض. فتولدت قوة دافعة كهربية $4 \times 10^{-4} \text{ V}$ فى الهوائي احسب المركبة الأفقية للمجال المغناطيسى للأرض. $(18 \times 10^{-6} \text{ Tesla})$
- ٦- احسب معامل الحث الذاتى لملف تتولد فيه قوة دافعة كهربية مستحثة مقدارها 10 V إذا تغيرت شدة التيار المار فيه بمعدل 40 A/S (0.25 H)
- ٧- الحث المتبادل بين ملفين متقابلين هو 0.1 H ، وكانت شدة التيار المار فى أحد الملفين 4 A فإذا هبطت شدة التيار فى ذلك الملف إلى الصفر فى 0.01 s . احسب القوة الدافعة الكهربية المستحثة المتولدة فى الملف الثانى. (40 V)
- ٨- ملف مستطيل أبعاده $0.4 \text{ m} \times 0.2 \text{ m}$ وعدد لفاته 100 لفة يدور بسرعة زاوية ثابتة 500 دورة فى الدقيقة فى مجال منتظم كثافة الفيض 0.1 T ومحور الدوران فى مستوى الملف عمودى على المجال. احسب القوة الدافعة الكهربية العظمى المستحثة المتولدة فى الملف. (41.89 V)
- ٩- محول خافض كفاءته 90% وجهد ملفه الابتدائى 200 V وجهد ملفه الثانوى 9 V فإذا كانت شدة التيار فى الملف الابتدائى 0.5 A وعدد لفات الملف الثانوى 90 لفة، فما هى شدة التيار فى الملف الثانوى وعدد لفات الملف الابتدائى ؟ $(10 \text{ A}, 1800 \text{ لفة})$
- ١٠- محول خافض يعمل على مصدر قوته الدافعة الكهربية 2500 V يعطى ملفه الثانوى تيار شدته 80 A ، والنسبة بين عدد لفات الملف الابتدائى وعدد لفات الملف الثانوى 20 ، وبفرض أن كفاءة هذا المحول 80% ، احسب القوة الدافعة الكهربية بين طرفى الملف الثانوى وشدة التيار المار فى الملف الابتدائى . $(100 \text{ V}, 4 \text{ A})$

الفصل الرابع

دوائر التيار المتردد



درسنا في الفصل السابق الدينامو الذي يولد التيار الكهربائي المتردد، وهو التيار الذي تتغير شدته دورياً من الصفر إلى نهاية عظمي، ثم تهبط إلى الصفر وذلك خلال نصف دورة، ثم ينعكس اتجاه التيار المتردد وتزداد شدته من الصفر إلى نهاية عظمي ثم تقل إلى الصفر وذلك في نصف الدورة الثاني. ويكرر تغير قيمة التيار بنفس الكيفية كل دورة. ويمثل التيار المتردد بيانياً بمنحني جيبية كما هو موضح بالشكل (4 - 1). حيث تتغير شدة التيار المتردد وكذلك القوة الدافعة الكهربائية في الشدة والاتجاه تبعاً لقانون الجيب للزاوية من الصفر إلى 360° .

تردد التيار المتردد : هو عدد الذبذبات (الدورات الكاملة) التي يعملها التيار المتردد في الثانية الواحدة، وهي نفس عدد دورات ملف الدينامو الذي يولد هذا التيار في الثانية الواحدة، وتردد التيار المستخدم في مصر هو 50 Hz.

مميزات التيار المتردد

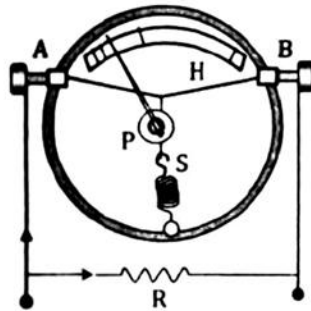
- 1- يمكن رفع أو خفض القوة الدافعة الكهربائية للتيار المتردد حسب الحاجة، وذلك باستخدام المحولات الكهربائية.
- 2- يمكن نقل الطاقة الكهربائية المترددة من مصادر التوليد إلى أماكن الاستهلاك عبر الأسلاك لمسافات بعيدة دون فقد كبير نسبياً وذلك باستخدام المحولات الكهربائية.
- 3- يصلح استخدام التيار المتردد في بعض العمليات، ولكنه لا يصلح في بعض العمليات الأخرى كالتحليل الكهربائي والطلاء بالكهرباء.
- 4- يمكن تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر.
- 5- لكل من التيار المتردد والتيار المستمر تأثير حراري عند مرورهما في مقاومة أومية حيث أن التأثير الحراري لا يتوقف على اتجاه مرور التيار.

قياس شدة التيار المتردد

الأميتر الحراري : Hot wire ammeter

لا يصلح الأميتر ذو الملف المتحرك لقياس شدة التيار المتردد بسبب تغير شدته واتجاهه باستمرار، حيث تعتمد فكرة عمله على ثبوت شدة واتجاه المجال المغناطيسي المؤثر على ملفه حتى يستقر مؤشره عند قراءة معينة، لذلك يستخدم التأثير الحراري للتيار المتردد في قياس شدته، والجهاز المستخدم لذلك يسمى الأميتر الحراري.

تركيب الأميتر الحراري وفكرة عمله :



يتركب الأميتر الحراري كما بالشكل من سلك رفيع مصنوع من سبيكة الإيريديوم والبلاتين الذي يسخن ويتمدد بمقدار محسوس عند مرور التيار الكهربائي به مشدود بين مساميرين (A ، B) ومثبت عند منتصفه طرف خيط حرير ملفوف لفة واحدة حول بكر (P) وطرفه الآخر يُشد بواسطة زنبرك (S) مثبت في جدار الجهاز ما يجعله مشدود دائماً، والبكرة مثبت عليها مؤشر يتحرك على تدريج غير منتظم لتحديد قيمة التيار، ويوصل على التوازي مع سلك الإيريديوم البلاتيني مقاومة R تستخدم كمجزئ للتيار.

عمل الأميتر الحراري:

يُدمج الأميتر الحراري علي التوالي بدائرة المراد قياس شدة التيار المار بها. وعند مرور التيار الكهربائي في السلك يسخن ويمتدد ويرتخي، فيشده خيط الحرير لتدور البكرة بالمؤشر الذي يتحرك علي التدرج حتى يثبت المؤشر عندما تثبت درجة حرارة سلك الإيريديوم البلاتيني ويتوقف تمدده ويحدث ذلك عندما تتسوي كمية الحرارة المتولدة فيه مع كمية الحرارة المفقودة منه، وتدل قراءة التدرج الذي يثبت عنده طرف المؤشر علي القيمة الفعلية للتيار المتردد.

وتتم معايرة تدرج الأميتر الحراري بمقارنته بقراءة الأميتر ذو الملف المتحرك بتوصيلها معاً علي التوالي في دائرة كهربائية يمر بها تيار مستمر. مع ملاحظة أن تدرج الأميتر الحراري غير منتظم وأقسامه ليست متساوية حيث يزداد اتساعها كلما زادت قيمة التيار المقص لأن كمية الحرارة المتولدة في السلك تتناسب طردياً مع مربع قيمة التيار (I^2).

عيوب الأميتر الحراري:

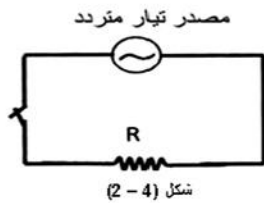
- 1- بطء تحرك مؤشره عن الصفر حتي يثبت، كما أنه يعود ببطء إلي الصفر بعد قطع التيار عنه.
- 2- يتأثر سلك الإيريديوم البلاتيني بدرجة حرارة الجو ارتفاعاً وانخفاضاً، ويسبب ذلك خطأ في دلالة الأميتر (خطأ صفري)، وللتغلب علي هذا العيب يشد السلك علي لوحة مع عزله عنها من مادة لها نفس معامل تمدد السلك.

دوائر التيار المتردد (AC)

(1) التيار المتردد وفرق الجهد المتردد في مقاومة أومية عديمة الحث:

يمثل الشكل (4 - 2) دائرة تيار متردد تتكون من مصدر للتيار ومقاومة عديمة الحث ومفتاح موصلة معاً علي التوالي. عند غلق الدائرة، تعطى القيمة اللحظية لفرق الجهد V (عند لحظة معينة) بين طرفي المقاومة بالعلاقة:

$$V = V_{\max} \sin \omega t \dots\dots\dots (1)$$



حيث $V_{\max}$ القيمة العظمي له ، و ωt زاوية الطور عند تلك اللحظة.

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{وحيث أن:}$$

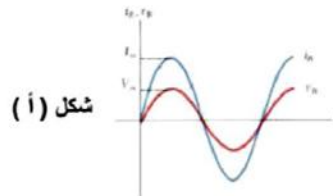
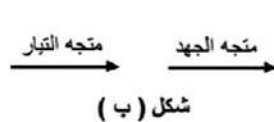
$$\therefore I = \frac{V_{\max}}{R} \sin \omega t$$

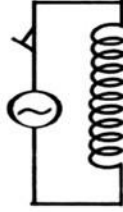
تتعين قيمة التيار اللحظية (في نفس اللحظة) من العلاقة:

$$I = I_{\max} \sin \omega t \dots\dots\dots (2)$$

وبمقارنة المعادلتين (1) ، (2) نجد أن كل من V ، I في مقاومة أومية عديمة الحث لهما نفس الطور. لذلك ينمو التيار والجهد معاً حتي يصل إلي القيمة العظمي في آن واحد. وبعبارة أخرى يكون فرق الجهد وشدة التيار متفقان في الطور.

ويمكن تمثيلهما بيانياً كما بالشكل (أ)، أو يمثل طورهما بمتجهين لهما نفس الاتجاه كما بالشكل (ب).



(2) التيار المتردد وفرق الجهد المتردد في دائرة ملف حث عديم المقاومة:

شكل (3 - 4)

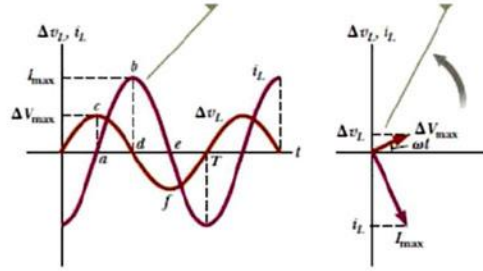
يمثل الشكل رقم (4 - 3) دائرة تيار متردد تتكون من مصدر للتيار وملف حث عديم المقاومة ومفتاح، موصلة معا علي التوالي. عند غلق الدائرة ينمو التيار تدريجيا من الصفر بمعدل $(\frac{\Delta I}{\Delta t})$ حتى يصل إلى نهاية عظمى، وتتولد بالحث الذاتي قوة دافعة مستحثة عكسية مقدارها $(-L \frac{\Delta I}{\Delta t})$ تقاوم التغير في شدة التيار المسبب لها، ويكون ترددها مساو لتردد المصدر واتجاهها معاكس (مضاد) لاتجاه القوة الدافعة الكهرلية للمصدر. وبتطبيق قانون كيرتشف الثاني، فإن:

$$V - L \frac{\Delta I}{\Delta t} = I R$$

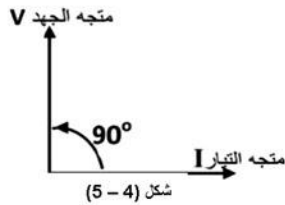
وبإهمال المقاومة الأومية بالدائرة، فإن قيمة فرق الجهد بين طرفي الملف تعطى بالعلاقة:

$$V = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

وحيث أن I تتغير علي صورة منحنى جيبى، فإن المقدار $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ يمثل ميل المماس للمنحنى عند أي نقطة، ويكون لهذا المقدار قيمة عظمى عندما تكون شدة التيار (I) مساوية للصفر، ويقل بالتدريج حتى يصل إلى الصفر عندما تصل شدة التيار (I) إلى قيمتها العظمى. وعندما نقل شدة التيار يصبح الميل $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ مقداراً سالباً، وهكذا يصبح شكل منحنى V كما موضح بالشكل (4 - 4)



شكل (4 - 4)



شكل (5 - 4)

ويتضح من الشكل البياني أن فرق الجهد V يكون متقدماً في الطور عن التيار بزاوية 90° ، ويمثل طور كل من V ، I متجهياً بالشكل (4 - 5)

المفاعلة الحثية لملف (X_L) :

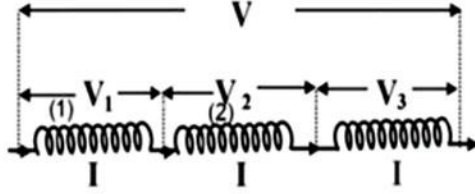
وهي الممانعة التي يلقاها التيار المتردد في الملف بسبب حثه الذاتي، ووجد أن المفاعلة الحثية لملف تتناسب طردياً مع كل من تردد التيار المنساب في الملف ومعامل الحث الذاتي له. المفاعلة الحثية للملف $= 2\pi \times$ تردد التيار $\times$ معامل الحث الذاتي

$$X_L = 2\pi f L \quad \Omega$$

وفي هذه الحالة تكون قيمة التيار $(I) = \frac{\text{القوة الدافعة الكهرلية}}{\text{المفاعلة الحثية}}$

المقاومة الحثية لعدة ملفات

أولاً : متصلة معاً على التوالي



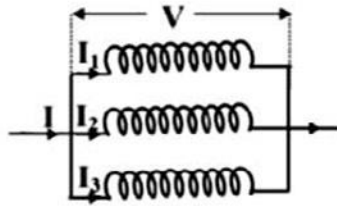
تكون المقاومة المكافئة كما في حالة المقاومة:

$$X_L = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3}$$

وإذا كانت المقاومة متساوية، فإن:

$$X_L = n X_{L1}$$

ثانياً: متصلة معاً على التوازي



$$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}}$$

وإذا كانت المقاومة متساوية، فإن: $X_L = \frac{X_{L1}}{n}$

مثال : ملف حثه الذاتي 700 mH مهمل المقاومة وصل بمصدر متردد فوته الدافعة الكهربائية 200 فولت وتردده 50 Hz ، احسب شدة التيار المار في الملف.

الحل

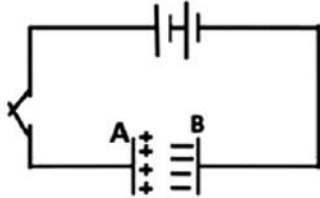
$$X_L = 2\pi f L = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times 0.7 = 220 \Omega$$

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{200}{220} = 0.9 \text{ A}$$

(3) التيار المتردد وفرق الجهد المتردد في دائرة مكثف :

المكثف الكهربائي : في أبسط صوره عبارة عن لوحين معدنيين متوازيين تفصلهما مادة عازلة. عند توصيل المكثف بمصدر كهربائي تُشحن المكثف بحيث يكون أحد لوحيه موجب الشحنة والآخر سالب الشحنة، وينتج بينهما فرق في الجهد (V). فإذا كانت سعة المكثف (C) فاراد وفرق الجهد (V) فولت فإن كمية الشحنة المتكونة على أحد اللوحين (Q) كولوم تعطى بالعلاقة: $Q = CV$

توصيل المكثف مع مصدر كهربائي مستمر :

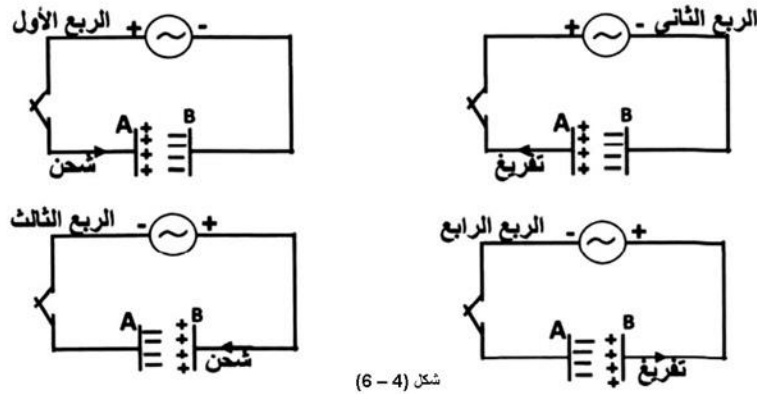


عند توصيل مكثف ببطارية حيث يتصل اللوح (A) بالقطب الموجب، واللوح (B) بالقطب السالب كما بالشكل، فإن إلكترونات سالبة تُزاح من القطب السالب للبطارية إلى اللوح (B) فيقل جهده الكهربائي وتؤثر شحنة اللوح (B) السالبة على اللوح (A) فيزاح منه إلكترونات سالبة تجاه القطب الموجب للبطارية فيشحن اللوح (A) بشحنة موجبة ويرتفع جهده.

وعندما يتساوى فرق الجهد المتكون بين اللوحين مع فرق الجهد بين قطبي البطارية، يتوقف انتقال الشحنات وبذلك يتم شحن المكثف. ويُحسب ذلك أن تياراً لحظياً قد مر في الدائرة حتى تمام عملية الشحن، ويتحتم بعدها.

توصيل المكثف مع مصدر كهربى متردد :

عند توصيل المكثف بمصدر تيار متردد، فإنه أثناء نصف الدورة الأول من جهد المصدر يُشحن المكثف حتي يصل فرق الجهد بين لوحيه نهاية عظمي تساوي النهاية العظمي للقوة الدافعة للمصدر. وحين يأخذ جهد المصدر emf في الهبوط ، يبدأ المكثف في تفريغ شحنته إلى المصدر كون جهد المكثف أعلي في تلك اللحظة، حتي إذا وصلت قيمة جهد المصدر emf للصفر يكون فرق الجهد بين لوحى المكثف قد وصل أيضا إلي الصفر. وفي نصف الدورة الثاني، يُشحن لوحى المكثف ولكن بشحنة مضادة لشحنتيهما في نصف الدورة الأول، حتي يصل فرق الجهد بينهما إلي النهاية العظمي للقوة الدافعة للمصدر، حينها يأخذ المكثف في تفريغ شحنة عند انخفاض emf للمصدر حتي يصل كل منهما إلي الصفر في نهاية النصف الدورة الثاني كما بالشكل رقم (4 - 6). ويتكرر ذلك في الدورات الأخرى.



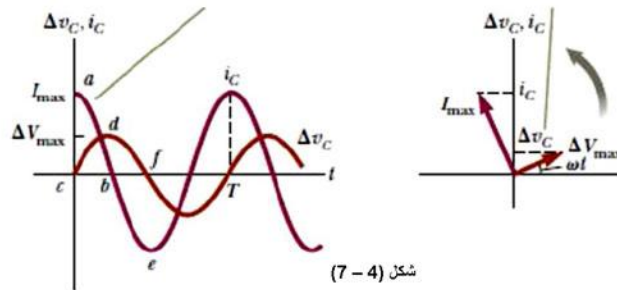
شكل (4 - 6)

يتضح من ذلك أن تيارًا مترددًا يمر في دائرة بها مصدر متردد ومكثف. أي أن المكثف يسمح بمرور التيار المتردد في الدائرة. وتتناسب شدة التيار المتردد المار في أية لحظة تناسب طرديًا مع معدل التغير في كمية الشحنة على المكثف $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ أو فرق الجهد بين لوحيه $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ حيث أنه عند أي لحظة تتفق كمية الشحنة وفرق الجهد بين لوحى المكثف في الطور .

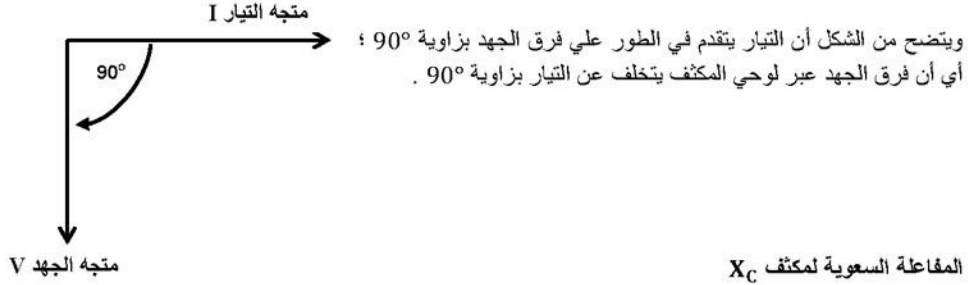
$$Q = CV \quad , \quad I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \text{وحيث أن:}$$

$$I = C \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad \text{أي أن:}$$

وحيث أن V تتغير مع زاوية الطور علي صورة منحنى جيبي، فإن المقدار $\frac{\Delta V}{\Delta t}$ يمثل ميل المماس للمنحنى عند أي نقطة، ويكون نهاية عظمي عندما تكون زاوية الطور مساوية للصفر، ويقل بالتدريج حتي يصل إلي الصفر عندما تصل V إلى نهاية عظمي. وعندما تقل V يصبح ميل المماس مقدارًا سالبًا وتصبح شدة التيار اللحظي مقدارًا سالبًا ، وهكذا يصبح المنحنى كما موضح بالشكل (4 - 7).



شكل (4 - 7)



وهي الممانعة التي يلقاها التيار المتردد في المكثف بسبب سعته، وتقدر المفاعلة السعوية X_C لمكثف متصل بمصدر متردد تردده f من العلاقة:

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \quad \Omega$$

ويتضح من هذه العلاقة أن المفاعلة السعوية للمكثف تتناسب عكسياً مع كل من تردد المصدر وسعة المكثف.

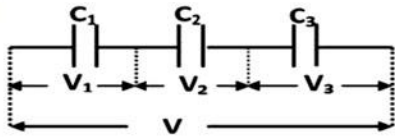


المفاعلة السعوية لعدة مكثفات

أولاً : متصلة معاً على التوالي

عند توصيل عدة مكثفات معاً على التوالي فإن كمية الشحنة Q تكون متساوية على أي من المكثفات، بينما :

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

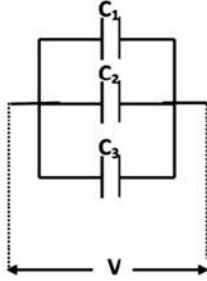


$$\therefore \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

$$\therefore \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

وإذا كانت المكثفات عددها n ومتساوية السعة ، فإن: $C = \frac{C_1}{n}$

ثانيًا : متصلة معا على التوازي



عند توصيل عدة مكثفات معا على التوازي، فإن فرق الجهد بين لوحي أي منها V يكون متساويًا

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$VC = VC_1 + VC_2 + VC_3$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

وإذا كانت المكثفات عددها n ومتساوية السعة، فإن: $C = n C_1$

مثال : ثلاث مكثفات سعاتها 20، 80، 40 ميكروفاراد وصلت معا على التوازي مع مصدر متردد قوته الدافعة الكهربائية 100 فولت وتردده 50 هرتز أوجد شدة التيار المار في الدائرة

الحل

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = (20 + 80 + 40) \times 10^{-6} = 1.4 \times 10^{-4} \text{ فاراد}$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1 \times 7 \times 10^4}{2 \times 22 \times 50 \times 1.4} = 22.72 \Omega$$

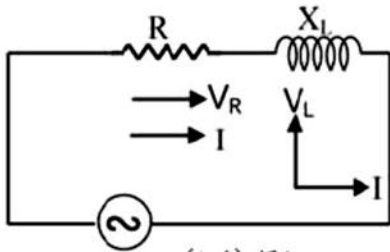
$$I = \frac{100}{22.72} = 4.4 \text{ A}$$

المعاوقة: Impedance

توجد في دوائر التيار المتردد التي تحتوي على مقاومات أومية وملفات حث ومكثفات ممانعة لمرور التيار سببها مفاعلة الملفات والمكثفات علاوة على مقاومة الأسلاك ومكونات الدائرة. ويطلق على محصلة المفاعلة والمقاومة معا بالدائرة اسم المعاوقة ويرمز لها بالرمز Z .

دائرة تيار متردد تحتوي على مقاومة أومية R وملف حث L على التوالي

بصفة عامة من المستحيل عمليًا إنتاج ملف ذي حث فقط، لأن لكل ملف قدرًا معينًا من المقاومة.



شكل (٤-٨)

ولحساب فرق الجهد الكلي بتلك الدائرة تُستخدم المتجهات الطورية كما بالشكل (4 - 8). حيث أن التيار له نفس الطور في جميع مكونات الدائرة لإتصالها على التوالي، بينما فرق الجهد عبر أحد مكونات الدائرة قد يتفق أو يختلف في الطور مع التيار، فالتيار وفرق الجهد عبر المقاومة الأومية في طور واحد، بينما فرق الجهد عبر الملف يتقدم في الطور عن التيار بزاوية 90° .

وبالتالي فإن فرق الجهد عبر الملف يتقدم في الطور عن فرق الجهد عبر المقاومة الأومية بزاوية 90° .

لذلك يمكن تعيين فرق الجهد الكلي V من العلاقة :

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

وحيث أن: $V_L = I X_L$ ، $V_R = I R$

فإن : $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

ويمكن إيجاد زاوية الطور θ بين فرق الجهد الكلي والتيار من العلاقة:

$$\tan \theta = \frac{V_L}{V_R} = \frac{X_L}{R}$$

مثال : تيار متردد قوته الدافعة 80 فولت وتردده 50 Hz يمر في ملف حثه الذاتي $\frac{21}{220}$ هنري ومقاومته 40Ω ،

احسب:

1- المعاوقة الكلية بالدائرة. 2- فرق الجهد بين طرفي كل من المقاومة والملف.

3- هل يمكن جمع فروق الجهد بين طرفي المقاومة والملف جبريًا لإيجاد فرق الجهد عبر المصدر؟ ولماذا؟

الحل

المفاعلة الحثية للملف: $X_L = 2\pi fL = 2 \times \frac{22}{7} \times 50 \times \frac{21}{220} = 30\Omega$

معاوقة الدائرة: $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(40)^2 + (30)^2} = 50\Omega$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{80}{50} = 1.6A$$

$$V_R = 40 \times 1.6 = 64V$$

$$V_L = 30 \times 1.6 = 48V$$

$$V = 64 \times 48 = 112V$$

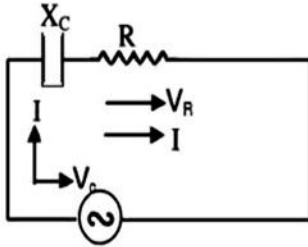
المجموع الجبري لفروق الجهد:

وهو أكبر من القوة الدافعة للمصدر، أما إذا أوجدنا محصلة فروق الجهد اتجاهيًا، فإن :

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} = \sqrt{(64)^2 + (48)^2} = 80V$$

لذلك لا تُجمع الجهود في دوائر التيار المتردد جبريًا بل متجهيًا.

دائرة تيار متردد تحتوي على مقاومة أومية R ومكثف C على التوالي



التيار له نفس الطور في جميع مكونات الدائرة لإتصالها على التوالي، والتيار وفرق الجهد عبر المقاومة الأومية في طور واحد، بينما فرق الجهد عبر المكثف يتأخر في الطور عن التيار بزاوية 90° . وبالتالي فإن فرق الجهد عبر المكثف يتأخر في الطور عن فرق الجهد عبر المقاومة الأومية بزاوية 90° .

لذلك يمكن تعيين فرق الجهد الكلي V من العلاقة :

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

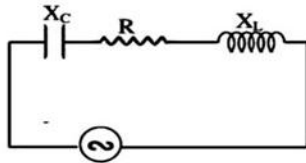
$$V_C = I X_C \quad , \quad V_R = I R \quad \text{وحيث أن:}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad \text{فإن:}$$

ويمكن إيجاد زاوية الطور θ بين فرق الجهد الكلي والتيار من العلاقة:

$$\tan \theta = \frac{-V_C}{V_R} = \frac{-X_C}{R}$$

دائرة تيار متردد تحتوي على مقاومة أومية R وملف حث L ومكثف C على التوالي



يكون طور التيار في المقاومة والملف والمكثف هو نفسه لإتصالها على التوالي ، بينما يختلف طور فرق الجهد فيما بينها. ففي المقاومة الأومية فرق الجهد والتيار في طور واحد، وفي الملف يتقدم فرق الجهد في الطور عن التيار بمقدار 90° ، وفي المكثف يتأخر فرق الجهد في الطور عن التيار بمقدار 90° .

لذلك يتم تعيين فرق الجهد الكلي V من العلاقة :

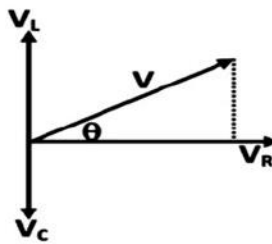
$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

وبالتالي يمكن إيجاد المعاوقة من العلاقة:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

وزاوية الطور بين الجهد الكلي والتيار من العلاقة:

$$\tan \theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

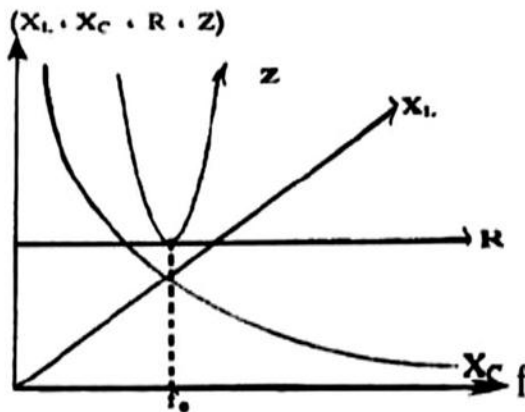


ويلاحظ أن :

- 1- إذا كانت $X_L > X_C$ فيكون مقدار ظل زاوية الطور موجباً، وتكون للدائرة خواص حثية حيث أن الجهد الكلي يسبق التيار بزاوية θ
- 2- إذا كانت $X_C > X_L$ فيكون مقدار ظل زاوية الطور سالباً، وتكون للدائرة خواص سعوية حيث أن الجهد الكلي يتأخر عن التيار بزاوية θ
- 3- إذا كانت $X_L = X_C$ فإن مقدار زاوية الطور = صفر، وتكون للدائرة خواص مقاومة أومية حيث أن الجهد الكلي والتيار في طور واحد.
- 4- لا تستهلك في كل من الملف والمكثف قدرة كهربية نتيجة لمفاعلتهم الحثية والسعوية على الترتيب لأنهما يخزنان الطاقة (القدرة) على هيئة مجال مغناطيسي في ملف الحث ومجال كهربي في المكثف، ثم يرجعها إلى الدائرة مع تنابع دورة التيار المتردد. لذلك فإن القدرة المستهلكة في الدائرة هي بسبب وجود المقاومة الأومية بها.

المنحنيات البيانية في الشكل المقابل تمثل تأثير تغيير

تردد التيار المتردد المار بالدائرة وكل من:



1- المقاومة الأومية

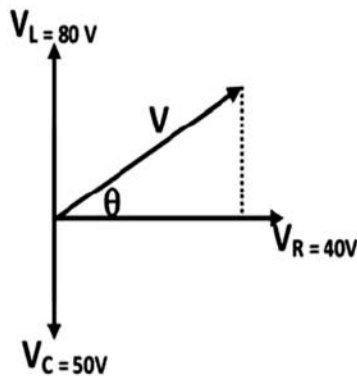
2- المفاعلة الحثية والمفاعلة السعوية

3- المعاوقة بالدائرة

العلاقة بين التردد وكل من (X_L, X_C, R, Z)

مثال : دائرة تيار متردد تتكون من المصدر وملف حث مهمل المقاومة الأومية ومقاومة أومية ومكثف متصلة معا على التوالي. فإذا كان فرق الجهد عبر الملف 80 فولت وعبر المقاومة 40 فولت وعبر المكثف 50 فولت وكانت القيمة الفعالة للتيار في 2A ، ارسم مخطط متجهات الطور لهذه الجهود، ثم احسب:

- 1- الجهد الكلي بالدائرة.
- 2- زاوية الطور بين الجهد الكلي والتيار ثم حدد خواص الدائرة.
- 3- القدرة الكهربية المستهلكة بالدائرة .
- 4- المعاوقة بالدائرة



$$V = \sqrt{(40)^2 + (80 - 50)^2}$$

$$V = 50 \text{ V}$$

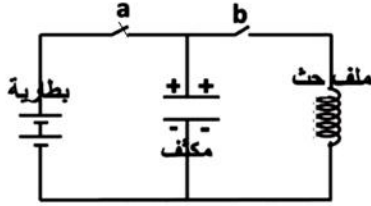
$$\tan \theta = \frac{80 - 50}{40} = \frac{30}{40} = \frac{3}{4}$$

$$\theta = 37^\circ$$

$$R = \frac{V_R}{I} = \frac{40}{2} = 20 \Omega \quad \text{المقاومة:}$$

$$I^2 R = 4 \times 20 = 80 \text{ W} \quad \text{القدرة:}$$

$$Z = \frac{50}{2} = 25 \Omega$$



الدائرة المهتزة Oscillating circuit

تتكون الدائرة المهتزة من ملف حث L له مقاومة صغيرة جدًا، ومكثف، C . يمكن أن يتصلا معًا عن طريق مفتاح (b) كما بالشكل.

يخزن المكثف الطاقة في شكل مجال كهربائي ناتج عن فرق الجهد الكهربائي بين لوحيه، بينما يخزن ملف الحث طاقته في شكل مجال مغناطيسي.

1. عند غلق المفتاح a يتصل المكثف بالبطارية فيمر تيار لحظيًا ليبدأ شحن المكثف حتى يتساوى فرق الجهد بين لوحيه مع فرق الجهد المستمر V فيتوقف مرور التيار إليه.

- تكون شحنة اللوح المتصل بالقطب الموجب وشحنة اللوح المتصل بالقطب السالب سالبة. يتولد مجالًا كهربائيًا بين لوحَي المكثف، ويخزن المكثف طاقة كهربائية. ويبقى المكثف مشحونًا حتى بعد فتح المفتاح (a) .

2. عند إتمام شحن المكثف، يتم فتح المفتاح a وغلق المفتاح b ليتم توصيل المكثف المشحون مع ملف الحث، فيبدأ المكثف في تفريغ شحنته q ويمر تيار كهربائي I خلال الملف، فيتولد في الملف مجالًا مغناطيسيًا يخزن الطاقة التي كانت مخزنة في المجال الكهربائي على هيئة طاقة مغناطيسية.

3. مع تناقص فرق الجهد تدريجيًا بين لوحَي المكثف C ، تزداد شدة التيار خلال الملف، فتزداد شدة المجال المغناطيسي حول الملف.

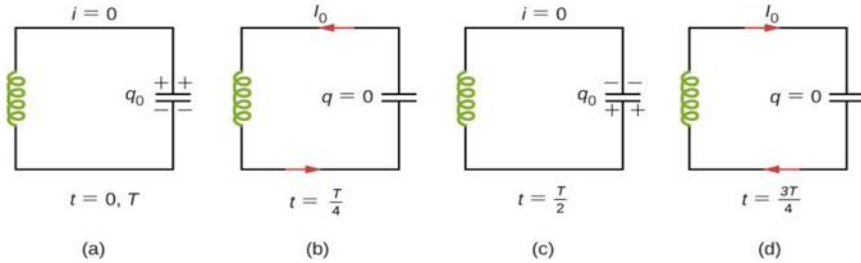
- في اللحظة التي يكون المكثف قد أفرغ كل شحنته، تكون قيمة التيار في الملف قد وصلت إلى أقصى قيمة لها وأيضًا الطاقة المغناطيسية المخزنة فيه.

4. بعدها تبدأ شدة التيار في التناقص خلال الملف، فتتولد قوة دافعة طردية في ملف الحث تعمل على استمرار تدفق التيار في الاتجاه الأصلي.

- يشحن هذا التيار لوحَي المكثف بقطبية معاكسة للشحنة الأصلية لهما. وتستمر عملية شحن المكثف حتى ينخفض التيار في الملف إلى الصفر ويتلاشى تمامًا مجاله المغناطيسي. هكذا تعود الطاقة إلى المكثف مرة أخرى على هيئة طاقة كهربائية.

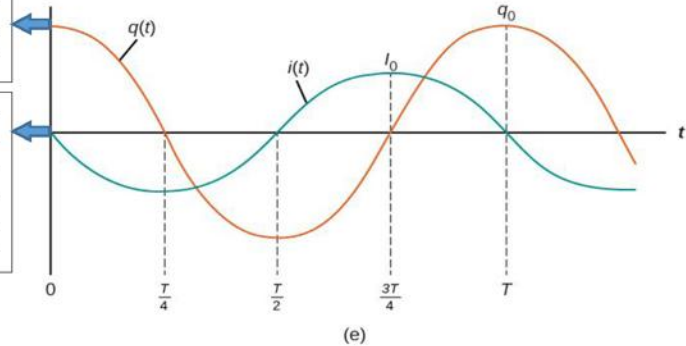
- يبدأ المكثف الآن في التفريغ مرة أخرى عبر الملف وتكرر العملية بأكملها. تتغير قطبية الجهد مع مرور الطاقة ذهابًا وإيابًا بين المكثف وملف الحث مما يسبب مرور تيار متردد في دائرتهم.

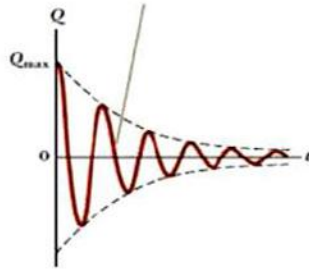
- ويلاحظ تبادل الطاقة باستمرار بين المجالين، وبالتالي تبادل الطاقة المخزنة في الملف على هيئة مجال مغناطيسي والمخزنة في المكثف على هيئة مجال كهربائي.



- كمية الشحنة على لوحَي المكثف قيمة عظمى
- فرق الجهد عبر المكثف قيمة عظمى
- شدة المجال الكهربائي بين لوحَي المكثف قيمة عظمى
- الطاقة الكهربائية المخزنة في المكثف قيمة عظمى
- معدل التغير في شدة التيار قيمة عظمى

- معدل تفريغ المكثف = صفر
- معدل سريان الشحنة = صفر
- معدل التغير في كمية الشحنة = صفر
- شدة التيار في الملف = صفر
- شدة المجال المغناطيسي في الملف = صفر
- الطاقة المغناطيسية المخزنة في الملف = صفر





ونظرا لوجود مقاومة أومية في الملف والأسلاك الأخرى، فإن جزءا من الطاقة يتحول تدريجيا إلى حرارة فتقل شدة التيار المتردد في الدائرة ويقل فرق الجهد بين لوحي المكثف تدريجيا إلى أن ينعدم، فيتوقف الشحن والتفريغ. والشكل يمثل اضمحلال الشحنة علي لوحي المكثف بمرور الوقت.

ولكن إذا أمكن تغذية المكثف بشحنت اضافية تعوض النقص المستمر لها ، يمكن أن تستمر عمليتي الشحن والتفريغ.

حساب تردد التيار المار في الدائرة المهتزة:

يتم حساب تردد التيار المتردد في الدائرة المهتزة من العلاقة :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{هرتز}$$

وتم استنتاج هذه العلاقة بتساوي المفاعلة الحثية للملف والمفاعلة السعوية للمكثف.

$$X_L = X_C \quad \therefore 2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C}$$

ويمكن التعويض عن معامل الحث الذاتي لملف لولبي L بالعلاقة:

$$L = \frac{\mu AN^2}{l} \quad \text{هنري}$$

مثال : أوجد تردد التيار المار في دائرة مهتزة إذا كان معامل الحث الذاتي للملف $16\mu H$ وسعة المكثف 4.9 مللي فاراد.

الحل

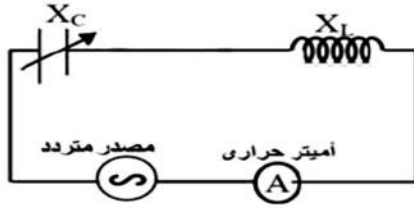
$$f = \frac{1}{2\pi} \times \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{7}{2 \times 22} \times \sqrt{\frac{10^6 \times 10^4}{16 \times 49}} = \frac{7}{44} \times \frac{10^5}{4 \times 7} = 568.18 \text{ Hz}$$

دائرة الرنين Tuning circuit

دائرة الرنين دائرة LCR تحتوي على مكثف وملف حث.

ظاهرة الرنين :

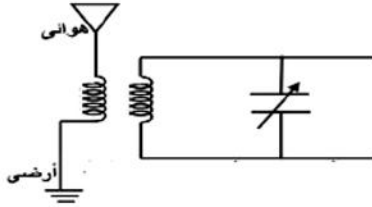
يمكن ملاحظة ظاهرة الرنين في الصوت حيث تزداد سعة اهتزاز شوكتين رنائيتين بصورة ملحوظة إذا اتفق تردداهما، وعند اختلاف ترددي الشوكتين عن بعضهما تقل سعة الإهتزاز.



وبالمثل، ففي دائرة تحتوي على مصدر تيار متردد يمكن تغيير تردده ومكثف متغير السعة وملف حث وأميتر حراري كما بالشكل. فإنه بتغيير تردد المصدر الكهربائي فإن القيمة الفعالة للتيار بالدائرة تتغير ، حيث تقل

إذا كان الاختلاف كبير بين تردد المصدر وتردد الدائرة، وتزيد كلما اقترب تردد المصدر من تردد الدائرة، وتكون قيمة التيار أكبر ما يمكن عندما يتفق تردد المصدر مع تردد الدائرة. وتتحقق هذه الحالة عندما تتساوى المفاعلة الحثية للملف والمفاعلة السعوية للمكثف. ويمكن الوصول بالدائرة إلى حالة الرنين بتغيير تردد المصدر أو سعة المكثف أو عدد لفات الملف حتي يتفق ترددها مع تردد المصدر تبعاً للعلاقة:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



وتستخدم دائرة الرنين كدائرة توليف في أجهزة الاستقبال اللاسلكي لاختيار محطة الإذاعة المراد سماعها .

عمل دائرة الرنين في أجهزة الاستقبال أو اللاسلكي:

تتصل دائرة الرنين في أجهزة الاستقبال أو اللاسلكي بهوائي (أريال) جهاز الاستقبال حيث تصل إلي الهوائي موجات محطات الإذاعة المختلفة ولكل منها تردد معين. تؤثر هذه الموجات في الهوائي وتولد فيه تيارات لها نفس تردد المحطات. تسمح دائرة الرنين في جهاز الإستقبال فقط بمرور التيار الذي يتفق تردده مع تردد الدائرة. وعندما تريد الاستماع الي إذاعة معينة فإنك تغير من تردد الدائرة بتغيير سعة المكثف أو عدد لفات الملف، فيمر التيار الذي يتفق تردده مع تردد الدائرة إلى جهاز الإستقبال، ويخضع لعمليات معينة مثل التكبير والتقويم وفصل التيار المعبر عن الصوت الذي يمر إلى سماعة جهاز الاستقبال.

" تلخيص "

- ١- التيار المتردد : هو التيار الذي تتغير شدته دورياً من الصفر إلى نهاية عظمى ثم يعود إلى الصفر في نصف دورة ثم يعكس اتجاهه وتزداد شدته إلى نهاية عظمى ثم يعود إلى الصفر في نصف دورة الثاني
- ٢- الاميتر الحراري : هو جهاز يستخدم لقياس التيار المتردد أو المستمر على أساس التمدد الذي تحدثه الحرارة التي يولدها التيار في سلك من الايريديوم البلاتيني
- ٣- المفاعلة الحثية لملف يمر به تيار متردد : هي الممانعة التي يلقاها التيار المتردد في الملف بسبب حثه الذاتي

$$X_L = 2\pi.f.L \quad \Omega$$

$$X_L = X_{L1} + X_{L2} + X_{L3}$$

٤- المفاعلة الكلية لملفات على التوالي

$$\frac{1}{X_L} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}}$$

٥- المفاعلة الكلية لملفات على التوازي

٦- المفاعلة السعوية للمكثف : هي الممانعة التي يلقاها التيار المتردد في مكثف بسبب سعته

$$X_C = \frac{1}{2\pi f.C}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

٧- السعة الكلية لمكثفات متصلة على التوالي

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$

٨- السعة الكلية لمكثفات متصلة على التوازي

٩- المعاوقة : هي مكافئ المفاعلة والمقاومة معا في دائرة واحدة

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}}$$

١٠- تردد دائرة الرنين المهتزة

" أسئلة وتمارين "

س١ : ماذا يقصد بكل من الاتي :

المفاعلة الحثية - المفاعلة السعوية - المعاوقة - دائرة مهتزة

س٢ : اذكر العوامل التي يتوقف عليها كل من :-

١- المفاعلة الحثية ٢- المفاعلة السعوية ٣- تردد الدائرة المهتزة ٤- المعاوقة

س٣ : كيف نحسب السعة الكلية لعدة مكثفات متصلة معا

أ- على التوالي ب- على التوازي

س٤ : مما تتركب الدائرة المهتزة مع شرح عملها

س٥ : مما تتركب دائرة الرنين مع شرح عملها في جهاز الاستقبال اللاسلكي

س٦ : مكثفان سعتهما 24 , 48 ميكرو فاراد اوجد السعة الكلية لهما

أ- إذا وصلا على التوالي ب- إذا وصلا على التوازي

س٧ : تيار متردد يمر في مقاومة 12 اوم وملف حث حثه الذاتي $\frac{7}{440}$ هنري اوجد المعاوقة

علما بأن تردده = 50 هيرتز (13 Ω)

س٨ : ملف حثه الذاتي $\frac{7}{275}$ هنري ومقاومته 6 Ω احسب شدة التيار المار في الملف إذا وصل :

أ- بمصدر تيار مستمر قوته الدافعة 6 فولت مهمل المقاومة الداخلية

ب- بمصدر تيار متردد تردده 50 هرتز وقوته الدافعة 6 فولت

(0.6 A , 1 A)

س٩ : ثلاث مكثفات السعة الكهربائية لكل منهما 14 ميكرو فاراد وصلت على التوازي معا ومع مصدر تردده 50 هرتز احسب المفاعلة السعوية الكلية

س١٠ : مقاومة 6 اوم ومكثف مفاعلته السعوية 80 Ω وملف حث الذاتي 0.28 هنري متصلة معا على التوالي بمصدر جهد متردد 20 فولت وتردده 50 هرتز احسب

أ- فرق الجهد بين طرفي المكثف ب- زاوية الطور بين الجهد الكلي والتيار المار في الدائرة

ج- القيمة العظمى لشدة التيار المتردد

(160 V , 53⁰ , 2.8 A)

س١١ : تتكون دائرة رنين في جهاز الاستقبال من ملف حث 10 مللي هنري ومكثف متغير السعة ومقاومة مقدارها 50 Ω وعندما تصطدم بها موجات لاسلكية ذات تردد 980 كيلو هرتز يتولد عبر الدائرة فرق جهد 10^{-4} فولت اوجد قيمة السعة اللازمة في حالة الرنين وشدة التيار في هذه الحالة

(2.635 X 10⁻¹² F- 2 X 10⁻⁶ A)

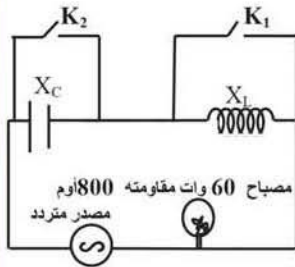
س١٢ : دائرة كهربية مكونة من ملف مفاعله الحثية 250Ω متصل على التوالي بمقاومة قيمتها 100Ω ومكثف متغير السعة ومصدر للتيار المتردد قوته الدافعة الكهربية 200 فولت وتردده $\frac{1000}{44}$ هرتز فوصلت شدة التيار المار في الدائرة إلى أكبر قيمة لها اوجد :

أ- سعة المكثف التي جعلت شدة التيار أكبر قيمة

ب- فرق الجهد بين طرفي الملف و فرق الجهد بين طرفي المكثف في هذه الحالة

($28 \times 10^{-6} \text{ F}$, 500v , 500v)

س١٣ : في الدائرة الموضحة بالشكل بها مصدر متردد (50 هرتز) وقوته الدافعة 220 فولت ومكثف سعته 4 ميكروفاراد وملف حثه 2.53 هنري احسب :



١- المفاعلة السعوية

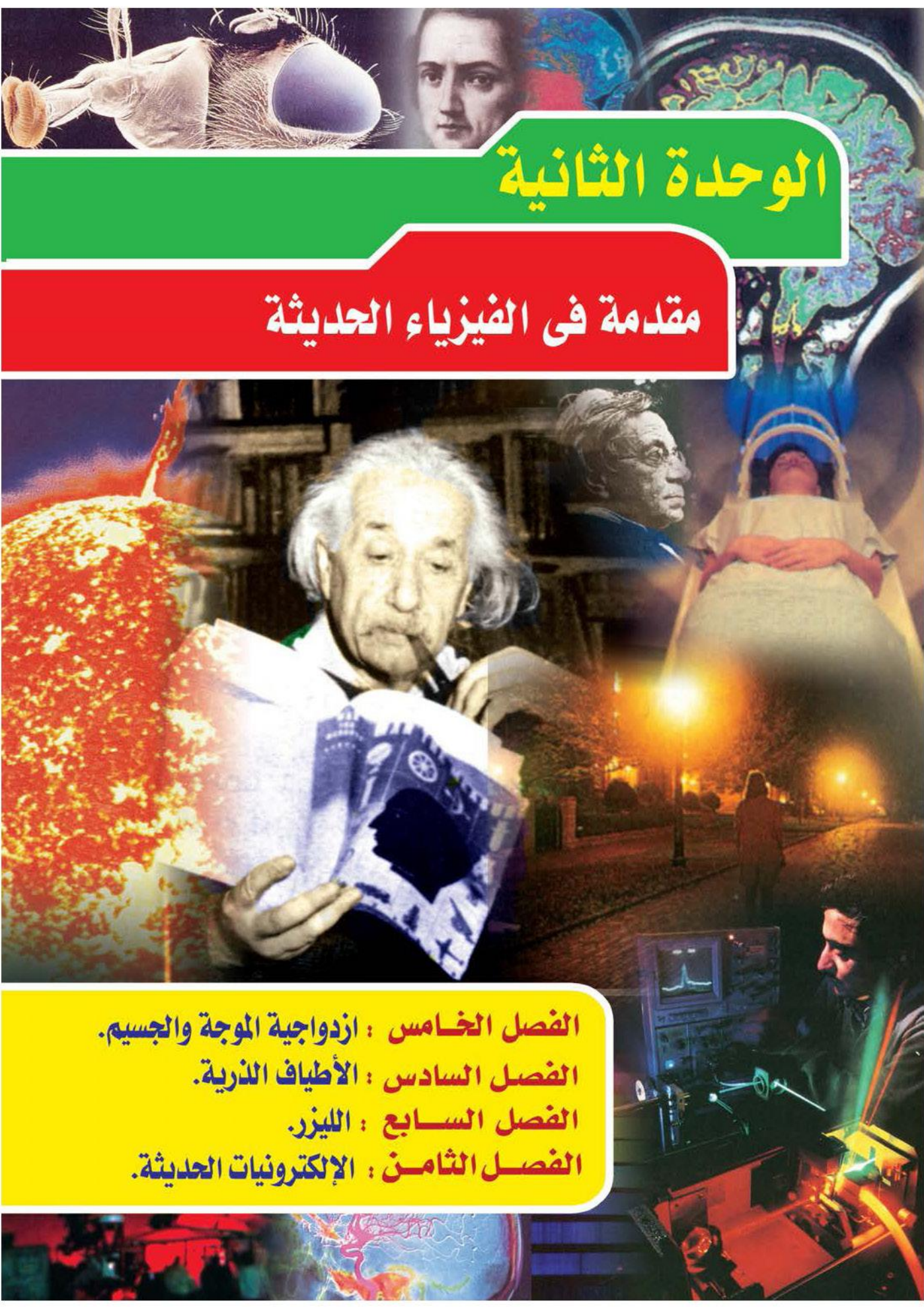
٢- المفاعلة الحثية

٣- ماذا يحدث لإضاءة المصباح عند غلق K_1 فقط وما هي المعاوقة ؟

٤- ماذا يحدث لإضاءة المصباح عند غلق K_2 فقط وما هي المعاوقة ؟

٥- ماذا يحدث لإضاءة المصباح عند غلق K_1 ، K_2 وما هي المعاوقة ؟

(795.4Ω , 795.4Ω , 1128Ω , 800Ω)

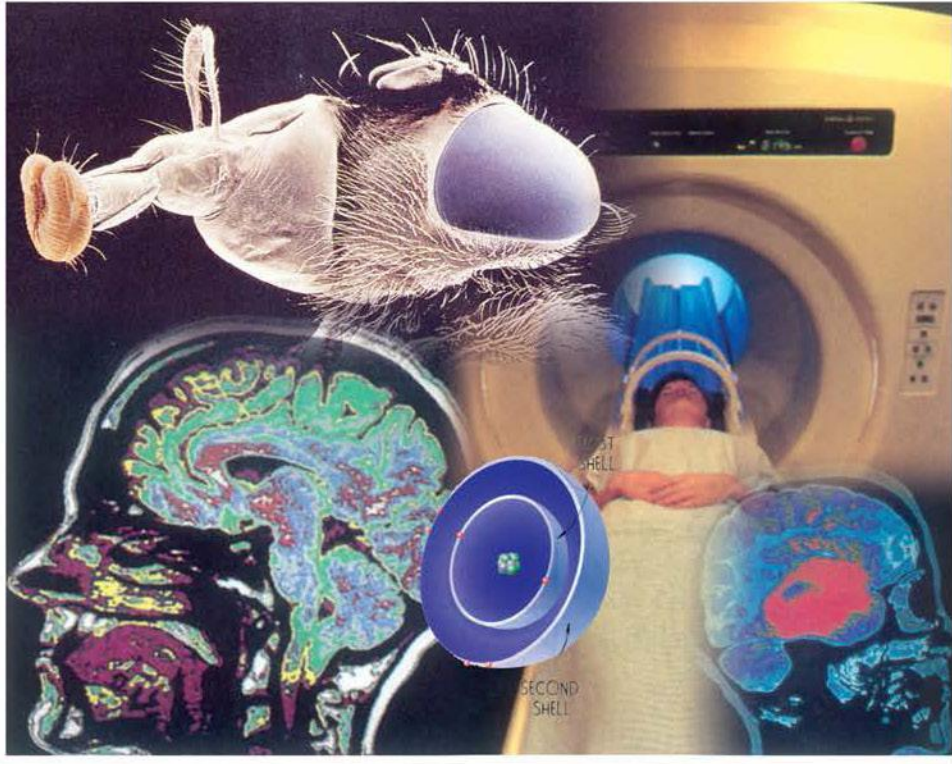


الوحدة الثانية

مقدمة في الفيزياء الحديثة

- الفصل الخامس : ازدواجية الموجة والجسيم.
- الفصل السادس : الأطياف الذرية.
- الفصل السابع : الليزر.
- الفصل الثامن : الإلكترونيات الحديثة.

مقدمة فى الفيزياء الحديثة



الوحدة الثانية

الفصل الخامس : ازدواجية الموجة والجسيم

الوحدة الثانية

مقدمة في الفيزياء الحديثة

الفصل الخامس

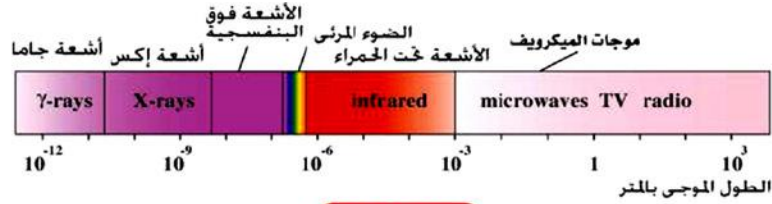
ازدواجية الموجة والجسيم

مقدمة :

يُدرج كل ما درسناه حتى الآن تحت ما يسمى "الفيزياء الكلاسيكية". ليس معنى هذا أنها فيزياء غير مستعملة، بل أنها تفسر مشاهداتنا اليومية وتجاربنا المعتادة. أما الوحدة الحالية فهي تتضمن بعض المفاهيم الأساسية للفيزياء الحديثة التي تعتبر مدخلا مهما لفيزياء الكم Quantum Physics. ويتعامل هذا الفرع من الفيزياء مع مجموعة كبيرة من الظواهر العلمية التي قد لا نراها بصورة مباشرة في حياتنا اليومية، ولكنها تتناول العديد من ظواهر هذا الكون والتي لا تستطيع الفيزياء الكلاسيكية تفسيرها، وخاصة عندما نتعامل على المستوى الذري أو دون الذري Subatomic Scale.

كما يفسر هذا الفرع من الفيزياء كل الظواهر الإلكترونية والتي هي أساس نظم الإلكترونيات والاتصالات الحديثة، كما يفسر التفاعلات الكيميائية على مستوى الجزيء، والتي تمكن العالم أحمد زويل من تصوير بعضها باستخدام كاميرا الليزر فائقة السرعة بما أهله للفوز بجائزة نوبل في الكيمياء عام 1999.

إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation



(شكل ١-٥)

الطيف الكهرومغناطيسي

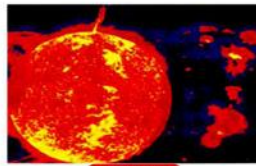
استقر فهمنا حتى الآن عن الضوء على هيئة موجات كهرومغناطيسية. ومن خصائص الموجات أنها تنعكس وتنتشر وتعاين التداخل والحيود. وفهمنا أيضا أن الضوء المرئي هو جزء محدود من الطيف الكهرومغناطيسي (شكل 1-5). وتختلف الموجات الكهرومغناطيسية فيما بينها في ترددها وطولها الموجي، ولكنها تنتشر بسرعة ثابتة في الفراغ هي $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ، ولا تحتاج الموجات الكهرومغناطيسية إلى وسط مادي لانتشارها.

ونلاحظ جميعا أن بعض الأجسام الساخنة تشع ضوءا وحرارة. ومن أمثلة هذه الأجسام الشمس (شكل 2-5) وسائر النجوم، وكذلك قطعة الفحم المتقدة (شكل 3-5)، وفتيلة المصباح الكهربائي (شكل 4-5). ونلاحظ أيضا أن اللون الغالب على الضوء الصادر من كل هذه المصادر وغيرها متغير.



(شكل ٣-٥)

قطعة فحم متقدة تشع إشعاعا كهرومغناطيسيا



(شكل ٢-٥)

الشمس مصدر للإشعاع الكهرومغناطيسي



(شكل ٤-٥)

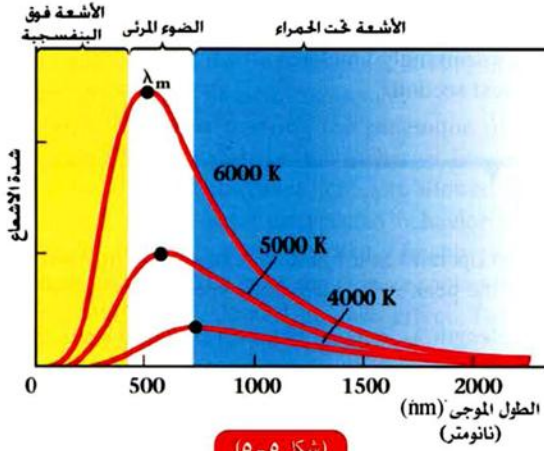
المصباح المتوهج



(شكل ٤-٥)

المصباح المتوهج

المصباح الكهربائي يشع إشعاعا كهرومغناطيسيا

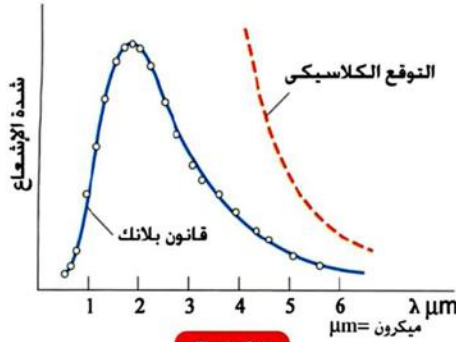


(شكل 5-5)

يتناسب الطول الموجي لقمة المنحنى عكسياً مع درجة الحرارة

وعند تحليل الإشعاع الكهرومغناطيسي الصادر عن مصدر ما، نجد أنه لا يشع كل الأطوال الموجية بنفس القدر بل تختلف شدة الإشعاع مع الطول الموجي. ويسمى المنحنى الذي يبين شدة الإشعاع للأطوال الموجية المكونة للإشعاع بمنحنى بلانك **Planck's Distribution** (شكل 5-5).

ووجد عملياً أيضاً أن الطول الموجي الذي له أقصى شدة إشعاع λ_m يتناسب عكسياً مع درجة الحرارة المطلقة لمصدر الإشعاع. ويعرف هذا بقانون فين **Wien's Law**. أي أنه كلما زادت درجة الحرارة المطلقة لمصدر الإشعاع، كان الطول الموجي الذي له شدة عظمى أقصر. ويلاحظ أنه عند الأطوال الموجية الطويلة جداً أو القصيرة جداً تقترب شدة الإشعاع من الصفر.



(شكل 5-6)

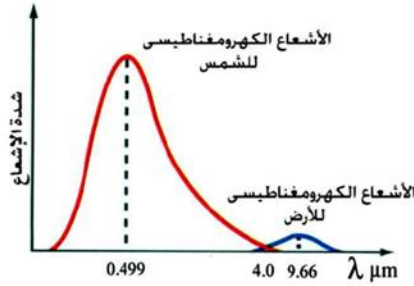
الإشعاع يقل مع زيادة التردد عكس توقعات الفيزياء الكلاسيكية

فمثلاً درجة حرارة الشمس عند سطحها هي 6000 K، وهذا يجعل شدة الإشعاع العظمى تقع عند طول موجي 5000 Å (0.5 micron) أي في نطاق الطيف المرئي. ولذلك فإن حوالي 40% من الطاقة الإشعاعية للشمس عبارة عن ضوء مرئي، و 50% تقريباً إشعاع حراري **Infrared Radiation**، أما باقي الإشعاع يتوزع على بقية مناطق الطيف. ويتحليل الإشعاع الصادر عن المصباح الكهربائي المتوهج (درجة الحرارة 3000 K) نحصل على نفس منحنى بلانك، وهذا يجعل شدة الإشعاع العظمى تقع عند طول موجي حوالي 1000 nm = $10^{-6}m = 10000 \text{ Å} = 1 \text{ micron}$ (شكل 5-5)، ويمثل الضوء المرئي عادة حوالي 20% من طاقة الإشعاع الصادر عن فتيلة المصباح، والباقي في صورة حرارة.

ولا يمكن تفسير هذه المشاهدات التي أظهرها منحنى بلانك باستخدام الفيزياء الكلاسيكية. فمن المعروف من الفيزياء الكلاسيكية أنه باعتبار الإشعاع موجات كهرومغناطيسية، فإن شدة الإشعاع الصادر عن جسم ساخن تزداد كلما زاد التردد. فلماذا إذاً تقل شدة الإشعاع عند الترددات العالية (شكل 5-6)؟

استطاع العالم بلانك **Planck** في عام 1900 أن يضع تفسيراً لهذه الظاهرة، ووجد أن هذا المنحنى يتكرر مع كل الأجسام الساخنة التي تشع طيفاً متصلًا من الإشعاع وليس فقط الشمس، بل أيضاً الأرض والكائنات الحية. ولكن الأرض -

باعتبارها جسماً غير متوهج - فإنها تمتص إشعاع الشمس، ثم تشعه مرة أخرى. ولكن لأن درجة حرارتها منخفضة كثيراً بالنسبة للشمس، فإننا نجد أن الطول الموجي عند قمة المنحنى حوالي 10 micron وهو في نطاق الأشعة تحت الحمراء **Infrared Radiation** (شكل 5-7).



(شكل 5-7)

مقارنة بين إشعاع الأرض وإشعاع الشمس



(شكل ٨-٥)

صورة جنوب سيناء بالقمر الصناعي لاند سات

وهناك أقمار صناعية وأجهزة قياس محمولة جواً وأجهزة أرضية تصور سطح الأرض باستخدام مناطق الطيف المختلفة الصادرة عنها، ومن بينها الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض بالإضافة إلى الضوء المرئي، وكذلك باستخدام موجات الميكروويف Microwaves التي تستخدم في الرادار (شكل 5 - 8). ويقوم العلماء بتحليل هذه الصور لتحديد مصادر الثروة الطبيعية Earth Resources. وتسمى هذه التقنية الاستشعار عن بُعد Remote Sensing. وتعتبر مصر من الدول الرائدة في هذا المجال.

كما يُستخدم الإشعاع الصادر عن الأجسام في بعض التطبيقات العسكرية، مثل أجهزة الرؤية الليلية لرصد الأجسام المتحركة في الظلام بفعل ما تشعه من إشعاع (شكل 5 - 9 ، 5 - 10).



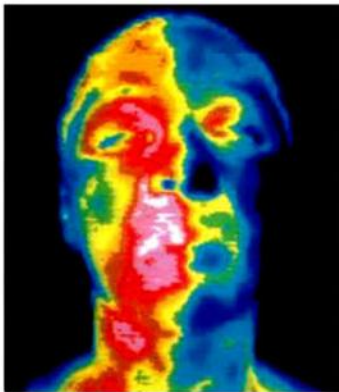
(شكل ١٠-٥)

صورة ملتقطة بجهاز الرؤية الليلية



(شكل ٩-٥)

أ-جهاز الرؤية الليلية



(شكل ١١-٥)

صورة حرارية للوجه والرقبة

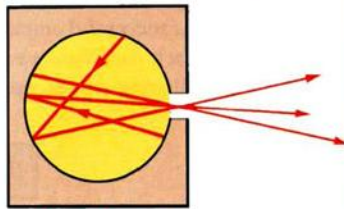
كما يستخدم التصوير الحراري Thermal Imaging في مجال الطب، وخاصة في مجال الأورام Tomography (شكل 5 - 11)، وعلم الأجنة Embryology، وكذلك في مجال اكتشاف الأدلة الجنائية Criminology، حيث يبقى الإشعاع الحراري لشخص فترة بعد انصراف الشخص.

وسُميت هذه الظاهرة "إشعاع الجسم الأسود" Black Body Radiation.

أما سبب هذه التسمية فلأن الجسم الأسود هو جسم يمتص كل ما يسقط عليه من إشعاع ذي أطوال موجية مختلفة. فهو يعتبر ممتص مثالي

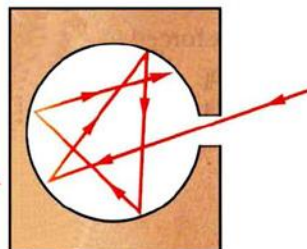
Perfect Absorber، ثم يعيد إشعاعه بصورة مثالية، أي يكون أيضاً باعثاً مثالياً Perfect Emitter.

فإذا تصورنا تجويفاً Cavity مغلقاً به ثقب صغير، فإن ما بداخل هذا التجويف يبدو أسود. لأن الإشعاع المار إلى داخل التجويف يظل في معظمه محصوراً بداخله من كثرة الانعكاسات، ولا يخرج منه إلا جزء يسير، وهو ما يسمى إشعاع الجسم الأسود (شكل 5 - 12 أ، ب)



(شكل ١٢-٥ أ)

ما يخرج من التجويف خلال الثقب جزء يسير يسمى إشعاع الجسم الأسود



(شكل ١٢-٥ ب)

ما يسقط داخل التجويف لا يخرج فيبدو أسود

تفسير بلانك

استطاع بلانك أن يفسر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود بفرض غريب عن عصره هو أن الإشعاع الصادر عن الجسم المتوهج يتألف من وحدات صغيرة أو دقات من الطاقة يسمى كل منها الكوانتم (الكَم) Quantum أو الفوتون Photon . وبذلك فإن الإشعاع الصادر عن الجسم المتوهج هو فيض هائل من هذه الفوتونات . وهذه الفوتونات تصدر عن تذبذب الذرات، وطاقة هذه الذرات المتذبذبة ليست متصلة وإنما كمّاءة Quantized أو غير متصلة Discontinuous، أي منفصلة Discrete. وتأخذ مستويات الطاقة فيما $E = nh\nu$ ، حيث h هو ثابت بلانك $h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ، و ν هو التردد Frequency(Hz) .

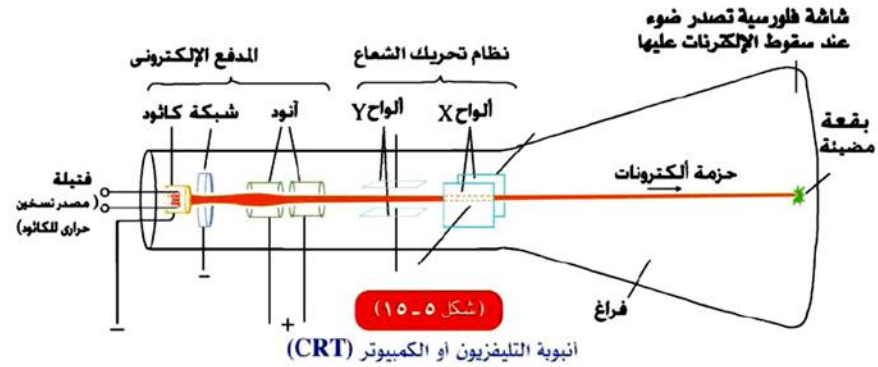
ولا تشع الذرة أي إشعاع طالما بقيت في مستوى واحد. ولكن كلما انتقلت الذرة من مستوى طاقة عالٍ إلى مستوى طاقة أقل، فإنها تصدر فوتوناً طاقته $E = h\nu$.

وبذلك توجد فوتونات ذات طاقة عالية إذا كانت ν كبيرة، و فوتونات ذات طاقة منخفضة إذا كانت ν صغيرة. وحيث يزداد تردد الإشعاع عن التردد الذي له أقصى شدة إشعاع في منحنى بلانك، تزداد طاقة فوتوناته، ويتناقص عدد الفوتونات المنبعثة التي لها هذه الطاقة. وحيث أن الإشعاع يتألف من بلايين من هذه الفوتونات، فنحن لا نلاحظ هذه الفوتونات منفصلة، ولكن نلاحظ خواص الإشعاع الصادر ككل . وهذه الخواص التي تعبر عن فيض الفوتونات هي الخواص الكلاسيكية للموجات.

التأثير الكهروضوئي والانبعاث الحراري:

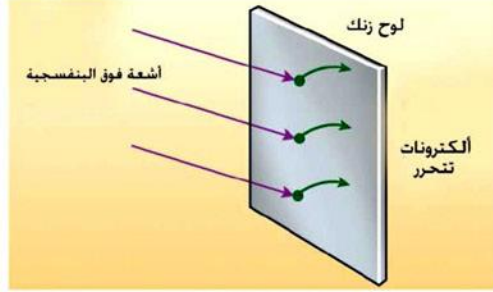
الانبعاث الحراري Thermionic emission

يحتوي المعدن علي أيونات موجبة والإلكترونات حرة تستطيع أن تتحرك داخل المعدن، ولكنها لا تستطيع أن تغادره بسبب قوي التجاذب التي تجذبها دائماً للداخل. وهو ما يسمى حاجز جهد السطح. Surface Potential Barrier ، ولكن يمكن لبعض هذه الإلكترونات أن تخرج إذا أعطيناها طاقة حرارية أو ضوئية مثلاً (شكل 5 - 14) . وهي فكرة أنبوبة أشعة الكاثود Cathode Ray Tube (CRT) ، وهي التي تستخدم في شاشة التليفزيون والكمبيوتر (شكل 5 - 15) .



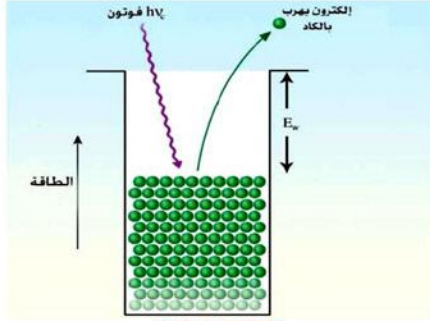
حيث تتكون هذه الأنبوبة من سطح معدني يسمى المهبط أو الكاثود Cathode (قطب سالب) يتم تسخينه بواسطة فتيلة التسخين Filament، فتنتقل بعض الإلكترونات من المهبط بفعل الحرارة متغلبة علي قوي الجذب عند السطح، ويتم تعجيل وتنظيم الإلكترونات المنبعثة بفعل قطب موجب يسمى المصعد أو الأنود Anode، وتنتقل حزمة الإلكترونات من هذا الجزء الذي يسمى المدفع الإلكتروني E-Gun، حيث تلتقطه الشاشة الفلوريسية المتصلة بالمصعد مما يسبب تياراً في الدائرة الخارجية. وعندما تصطدم هذه الإلكترونات بالشاشة فإنها تصدر ضوءاً تختلف شدته من نقطة لأخرى حسب شدة الإشارة الكهربائية المرسلية التي تتحكم في شدة تيار الإلكترونات بواسطة شبكة خاصة Grid (جهد سالب) تعترض طريق هذه الإلكترونات. ويمكن توجيه مسار حزمة الإلكترونات E-beam بواسطة مجالات كهربائية أو مغناطيسية لمسح الشاشة نقطة بنقطة Raster حتى تكتمل الصورة (شكل 5 - 15) .

ظاهرة التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect



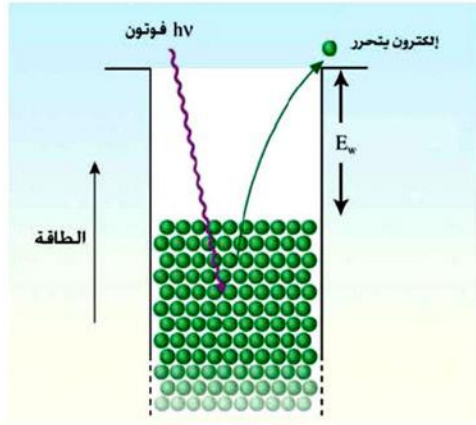
(شكل 5-14)

يمكن أن ينحدر الإلكترون من المعدن إذا أعطى طاقة كافية



(شكل 5-14)

أقل طاقة يمكن أن تنحدر الإلكترون (دالة الشغل)



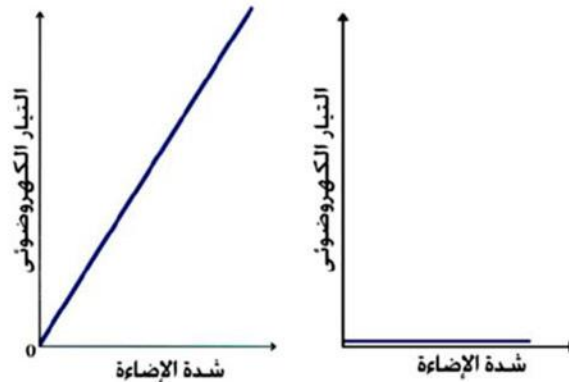
(شكل 5-14)

الإلكترون الأكثر ارتباطاً يحتاج إلى طاقة أكبر

وعندما يسقط ضوء على الكاثود بدلاً من تسخين الفتيحة، فإن أيضاً يمر تياراً كهربياً في دائرة الخلية الكهروضوئية. ومعنى ذلك أن الإلكترونات تحررت بفعل الضوء. وتسمى ظاهرة انطلاق الإلكترونات بسبب سقوط ضوء على سطح معدني ظاهرة التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect (شكل 5 - 14).

لا يمكن تفسير هذه الظاهرة بالنظرية الكلاسيكية للضوء. فباعتبار أن الضوء موجات كهرومغناطيسية، يمكن أن يمتص بعضها في المعدن، أي تعطي موجات الضوء طاقة للإلكترونات لتنتقل. عندئذ فإننا نواجه عدة مشكلات في فهم ما يحدث في الملاحظة العملية. فإنه طبقاً لهذا التصور الكلاسيكي، فإن شدة التيار أو انطلاق الإلكترونات

(والتي تسمى الإلكترونات الكهروضوئية Photoelectrons) يتوقف على شدة الموجة الساقطة بصرف النظر عن ترددها، وأن الطاقة الحركية للإلكترونات المنطلقة (أو سرعتها) يجب أن تزداد مع زيادة شدة الإضاءة. وكذلك حتى لو كانت شدة الإضاءة قليلة، فإن تسليط الضوء على المعدن لمدة طويلة كفيلاً بإعطاء الإلكترونات الطاقة اللازمة لتتحرر، بصرف النظر عن تردد موجة الضوء الساقط. ولكن الملاحظة العلمية تختلف تماماً عن هذه التوقعات المبينة على النظرية الكلاسيكية. فقد لوحظ أن انطلاق الإلكترونات من المعدن يتوقف بالدرجة الأولى على تردد الموجة الساقطة وليس على شدتها. إذ لا تنطلق هذه الإلكترونات إلا إذا كان تردد الضوء الساقط أعلى من قيمة حرجية ν_c مهما كانت الشدة. أما إذا زاد التردد عن ν_c ، فإن التيار الكهروضوئي يزداد مع الشدة (شكل 5 - 17).



(شكل 5-17)

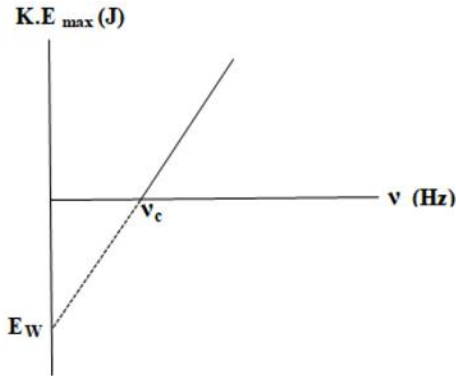
إذا كانت $\nu > \nu_c$

تغير التيار الكهروضوئي مع شدة الإضاءة

(شكل 5-17)

إذا كانت $\nu < \nu_c$

تغير التيار الكهروضوئي مع شدة الإضاءة



ثم أن الطاقة الحركية للإلكترونات المنطلقة - وبالتالي سرعتها - تتوقف أيضًا انطلاق الإلكترونات يحدث لحظيًا . ولا تكون هناك فترة انتظار لتجميع الطاقة إلا بل إن الإلكترونات تنطلق في التو واللحظة، حتي لو كانت شدة الأضاءة ضعيفة ν_c .

تفسير أينشتاين

تمكن أينشتاين Einstein من أن يفسر هذه المشاهدات التي عجزت النظرية الكلاسيكية للضوء عن تفسيرها. وقد فاز أينشتاين بجائزة نوبل في الفيزياء عام 1921 م عن هذا التفسير باكتشافه قانون التأثير الكهروضوئي.

يتلخص هذا التفسير فيما يلي :

إذا سقط فوتون طاقته $h\nu$ على سطح معدني وكانت هذه الطاقة أكبر من حد معين يسمى دالة الشغل ويرمز لها بالرمز E_w Work Function وتساوي $h\nu_c$ ، وهي الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات من سطح المعدن (شكل 5 - 14)، فإن هذا الفوتون يستطيع بالكاد أن يحرر إلكترونًا من سطح هذا المعدن، أي أن :

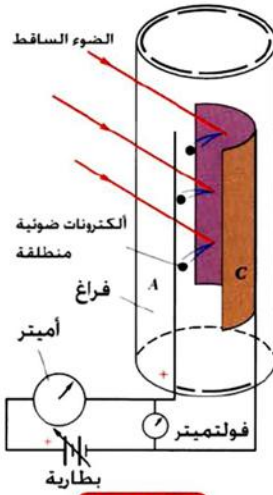
$$E_w = h\nu_c \quad (5-1)$$

فإذا كانت طاقة الفوتون الساقط أكبر من ذلك، فإن الإلكترونات تتحرر ويظهر فرق الطاقة على شكل طاقة حركية Kinetic Energy (KE) أي يتحرر بسرعة أكبر، وتزداد هذه الطاقة الحركية بزيادة تردد الإشعاع الساقط. أما إذا كانت $h\nu$ أقل من E_w ، فإن الإلكترون لا يتحرر مهما كانت شدة الإضاءة. كذلك فإن انطلاق الإلكترونات يحدث لحظيًا ولا يكون هناك فترة انتظار لتجميع الطاقة بشرط أن تكون طاقة الفوتون $h\nu$ أكبر من E_w .

وعلى ذلك فإنه $h\nu_c$ (حيث ν_c هي التردد الحرج) تتوقف على E_w أي نوع المادة، ولا تتوقف على شدة الضوء، أو زمن التعرض للضوء، أو فرق الجهد بين المهبط والمصدر.

ويمكن كتابة معادلة أينشتاين على الصورة الآتية :

$$\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - h\nu_c \quad (5-2)$$

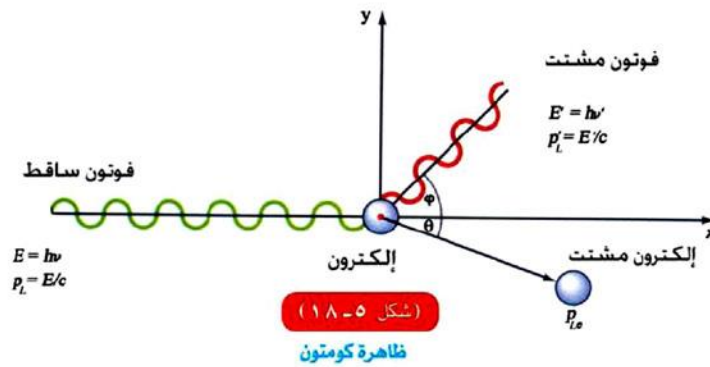


(شكل ١٦-٥)

تيار كهروضوئي ينشأ عن امتصاص فوتونات على سطح معدني (خلية كهروضوئية)

ظاهرة كومبتون Compton Effect

لوحظ أنه عند سقوط فوتون (من أشعة إكس أو جاما) على إلكترون حر أن تردد الفوتون يقل ويغير اتجاهه، وتزداد سرعة الإلكترون ويغير اتجاهه (شكل 5 - 18).



وليمكن تفسير ذلك بالنظرية الموجية (الكلاسيكية)، إنما يمكن تفسير ذلك من خلال فرض بلاك أن الإشعاع الكهرومغناطيسي مكون من فوتونات، وأن هذه الفوتونات يمكن أن تصطدم بالإلكترونات كما تصطدم كرات البلياردو. عندئذ لابد من بقاء كمية الحركة Conservation of Momentum أي أن المجموع الجبري لكمية الحركة قبل التصادم يساوي المجموع الجبري لكمية الحركة بعد التصادم، وكذلك قانون بقاء الطاقة Conservation of Energy أي أن :

$$(طاقة الفوتون + طاقة الإلكترون) = (طاقة الفوتون + طاقة الإلكترون)$$

بعد التصادم. ومن ثم، فإبنا لابد أن نعتبر أن الفوتون مثل الجسم له كمية حركة، كما للإلكترون كمية حركة.

خواص الفوتون:



(شكل 5-19)
القفلة الذرية

من كل ماسبق من مشاهدات وتجارب، فإن الفوتون هو كم من الطاقة مركز في حيز صغير جداً، وله كمية حركة، وطاقته تساوي $h\nu$ ، وهو يتحرك باستمرار بسرعة الضوء c ، وهي ثابتة مهما كان التردد. وقد أثبت أينشتاين أن الكتلة والطاقة ترتبطان بعلاقته الشهيرة $E = mc^2$. أي أن فقد الكتلة يظهر على شكل طاقة. وهذا هو أساس القنبلة الذرية (شكل 5 - 19) حيث وجد أن انشطار النواة يصحبه فقد كتلة صغيرة جداً، ولكنها تتحول إلى طاقة كبيرة جداً حيث أن مربع سرعة الضوء مقدار كبير جداً ($c^2 = 9 \times 10^{16} \text{ m}^2/\text{s}^2$).

ولذلك فإن قانون بقاء الكتلة وقانون بقاء الطاقة يندمجان في قانون بقاء الطاقة والكتلة معاً. ومعنى ذلك أن الفوتون الذي طاقته $h\nu$ تكون الكتلة المكافئة لهذه الطاقة أثناء حركته تساوي $h\nu/c^2$. وحيث أن سرعته c ، فإن كمية الحركة وهي حاصل ضرب الكتلة في السرعة تصبح $h\nu/c$.

فإذا سقطت حزمة من الفوتونات علي سطح ما وانعكست عنه بمعدل Φ_L Photons/s، فإذا كان كل فوتون يسقط علي السطح وينعكس عنه يعاني تغيرًا في كمية الحركة يساوي $2mc$ ، ولأن القوة التي تؤثر بها حزمة الفوتونات علي السطح التي اصطدمت به يساوي التغير في كمية حركتها في الثانية، فإن :

$$F = 2mc\Phi_L$$

$$F = 2 \left(\frac{h\nu}{c} \right) \Phi_L = \frac{2P_w}{c} \quad (5-3)$$

حيث P_w هي قدرة حزمة الفوتونات بالوات Watts للضوء الساقط علي السطح . هذه القوة صغيرة جدًا، فلا تؤثر تأثيرًا ملحوظًا علي سطح كبير الكتلة كالحائط مثلاً، ولكنها يمكن أن تؤثر علي إلكترون حر لصغر كتلته وحجمه، فتقذفه بعيدًا. وهذا هو تفسير ظاهرة كومبتون.

وفي النموذج الميكروسكوبي (المجهري) يمكن تصور الفوتون علي أنه كرة نصف قطرها يساوي الطول الموجي للموجة λ ، تتذبذب بتردد ν . ومجموع هذه الفوتونات لها مجال كهربائي ومجال مغناطيسي، والمجالان متعامدان علي بعضهما البعض وعلي اتجاه انتشار حزمة الفوتونات . ولذلك فإننا نعتبر أن حزمة الفوتونات تحمل الطاقة التي يحملها شعاع الضوء . ونستطيع أن نراقب الخواص الموجية في سلوك حزمة الفوتونات ككل ، وشدة الموجة – ومقياسها شدة المجال الكهربائي أو شدة المجال المغناطيسي المصاحب لشعاع الضوء – تدل علي مدى تركيز الفوتونات. أي أن الحركة الموجية تكون مصاحبة لتيار فوتونات بأعداد كبيرة، وهذا مايسمي النموذج الماكروسكوبي (أي الكبير)، أي أن النموذجين الماكروسكوبي والميكروسكوبي مرتبطان ببعضهما البعض.

فإذا كان الأمر يتعلق بما يحدث علي مستوي الإلكترون أو الذرة ، فإننا نستخدم نموذج الفوتون وهو النموذج الميكروسكوبي. ولكن الخاصية الموجية والخاصية الجسيمية للفوتونات متلازمتان. المهم أن نفهم كيف نطبق كل في مكانه حسب حجم العائق الذي يعترض طريق الضوء. فإن كان العائق له أبعاد أكبر بكثير من λ طبقنا النموذج الماكروسكوبي، أما إذا كان العائق علي مستوي الذرة أو الإلكترون أي في حدود λ فإننا لابد أن نتعامل مع النموذج الميكروسكوبي أي الفوتون .

مثال :

احسب القوة التي يؤثر بها شعاع قدرته $1W$ عندما ينعكس عن سطح حائط .

الحل

$$F = \frac{2P_w}{c} = \frac{2 \times 1}{3 \times 10^8} = 0.67 \times 10^{-8} N$$

وهذه القوة ضئيلة جدًا لاتكاد تؤثر علي الحائط.

علاقة الطول الموجي للفوتون بكمية الحركة الخطية

$$\therefore \lambda = \frac{h}{P_L} \quad (5 - 4)$$

أي أن الطول الموجي للفوتون يعادل ثابت بلانك مقسوماً على كمية الحركة P_L . ويلاحظ أنه عند سقوط حزمة من الفوتونات على سطح ما، فإن إنعكاسها أو نفاذها يتوقف على مقارنة الطول الموجي λ والمسافات البينية لذرات السطح . فإذا كانت λ أكبر بكثير من المسافات البينية، فإن الفوتونات تعامل هذا السطح كسطح متصل وتنعكس عنه كما في النظرية الموجية. أما إذا كانت المسافات البينية مقاربة للطول الموجي λ ، فإن الفوتونات تنفذ من بين الذرات . وهذا ما يحدث مثلاً في حالة نفاذ أشعة X خلال الأوساط المختلفة.

مثال :

احسب الكتلة المكافئة وكمية حركة فوتون إذا كان الطول الموجي $\lambda = 380\text{nm}$

الحل

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{(3 \times 10^8 \text{ m/s})}{(380)(1 \times 10^{-9} \text{ m})}$$

$$= 7.89 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{(6.625 \times 10^{-34} \text{ Js})(7.89 \times 10^{14} \text{ s}^{-1})}{(3 \times 10^8 \text{ m/s})^2}$$

$$= 5.81 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

$$P_L = \frac{h}{\lambda} = \frac{(6.625 \times 10^{-34} \text{ Js})}{(380)(1 \times 10^{-9} \text{ m})}$$

$$= 1.74 \times 10^{-27} \text{ kgm/s}$$

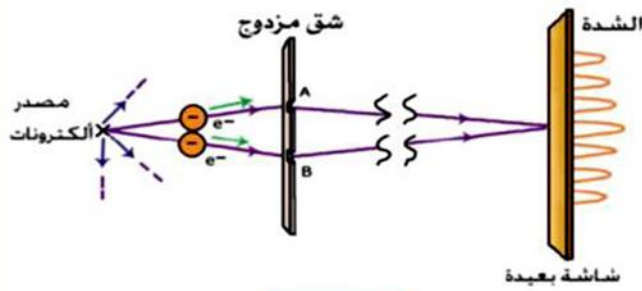
الطبيعة الموجية للجسيم :

في الكون قدر كبير من التماثل **Symmetry** . فإذا كانت الموجات لها طبيعة جسيمية، فلماذا لا يكون للجسيم طبيعة موجية ؟ هذا التناظر **Wave-Particle Duality** صاغه دي برولي **De Broglie** عام 1923 من خلال معادلة مماثلة لمعادلة الفوتون، بأن الجسيم له طبيعة موجية طولها الموجي:

$$\lambda = \frac{h}{P_L} \quad (4 - 5)$$

حيث P_L هي كمية حركة الجسيم. ولكن ما معني ذلك ؟

أنا ننظر إلى الضوء علي أنه مجموعة هائلة من الفوتونات، في مجملها مغا لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعي من انتشار وانعكاس وانكسار وتداخل وحيود، ويحدد تركيز الفوتونات شدة الموجة. والفوتون يسلك كما لو كان يحمل الصفات الوراثية للموجة من حيث التردد والطول الموجي والسرعة.



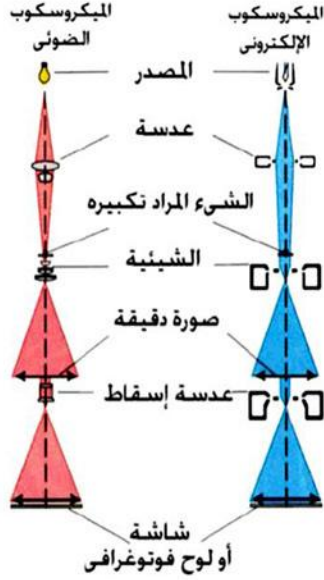
(شكل 5 - 20)

حيود الإلكترونات في شق مزدوج

بنفس المنطق فإننا ننظر إلى الشعاع الإلكتروني علي أنه مجموعة هائلة من الإلكترونات في مجملها لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعي. أما كل إلكترون علي حدة فهو أيضًا كما لو كان يحمل الصفات الوراثية لكل من حيث الشحنة والكتلة والدوران حول نفسه (اللف المغزلي) **Spin** وكمية الحركة. وعلي هذا يكون للموجة المصاحبة طول موجي. ويعني ذلك أن شدة الموجة المصاحبة تدل أيضًا علي تركيز الإلكترونات، ويكون للموجة المصاحبة خواص الانتشار والتداخل والحيود، تمامًا كالضوء (شكل 5 - 20) .

ولكن هل معني ذلك أنه يمكن استخدام شعاع من الإلكترونات كما نستخدم شعاعًا من الضوء؟ الإجابة نعم! والدليل علي ذلك هو اختراع الميكروسكوب الإلكتروني.

المجهر (الميكروسكوب) الإلكتروني Electron Microscope



(شكل ٥-٢١)

الميكروسكوب الإلكتروني



(شكل ٥-٢٢)

رأس ذبابة كما ترى بالميكروسكوب الإلكتروني

يعتبر المجهر الإلكتروني من الأجهزة العملية التي تعتمد على الطبيعة الموجية للإلكترونات. يشبه المجهر الإلكتروني الميكروسكوب الضوئي في نواح عديدة. ولكن المجهر الضوئي يستخدم الشعاع الضوئي، أما المجهر الإلكتروني فيستخدم الشعاع الإلكتروني. والاختلاف المهم بينهما هو قدرة التحليل **Resolving Power**، حيث أن المجهر الإلكتروني له قدرة تحليلية كبيرة جداً، لأن الإلكترونات بإمكانها أن تحمل طاقة حركة عالية جداً ومن ثم أطوالاً موجية قصيرة جداً (معادلة 5-4)، وبالتالي يكون معامل تكبيره كبير جداً، بحيث يستطيع أن يرصد أجساماً دقيقة جداً لا يستطيع الضوء العادي أن يرصدها (شكل 5-21).

ويمكن حساب سرعة الإلكترون الذي تم تعجيله بالمجال الكهربائي من العلاقة :

$$eV = \frac{1}{2} mv^2 \quad (5-5)$$

وبالتالي يمكن أن يكون الطول الموجي المصاحب للشعاع الإلكتروني أقصر ألف مرة أو أكثر

من الطول الموجي للضوء المرئي. ولذلك فإن المجهر الإلكتروني له قدرة تمييز أكبر للتفاصيل الدقيقة. أما العدسات المستخدمة في تركيز شعاع الإلكترونات في الميكروسكوب الإلكتروني فهي عدسات مغناطيسية، ويتم دراستها من خلال البصريات الإلكترونية

Electron Optics

تلخيص

- الفيزياء الكلاسيكية لا تستطيع أن تفسر كثيرا من الظواهر ، وخاصة تلك التي يتعامل فيها الضوء أو الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الإلكترون أو الذرة.
- الضوء أو أى إشعاع كهرومغناطيسي يتألف من مجموعة هائلة من الفوتونات، طاقة كل منها $h\nu$ ، حيث h ثابت بلانك و ν التردد.
- الدليل على وجود الفوتونات ظاهرة التأثير الكهروضوئي، حيث يتوقف التيار الكهروضوئي على شدة الإضاءة الساقطة، طالما كان التردد أعلى من تردد حرج. أما إذا كان التردد أقل من التردد الحرج فلا يسرى تيار. وتتوقف طاقة حركة الإلكترونات المحررة بفعل التأثير الكهروضوئي على التردد وليس على شدة الإضاءة.
- الفوتون له كتلة وله كمية حركة وله سرعة ثابتة هي سرعة الضوء، وله حيز هو الطول الموجي، وبالتالي يؤثر بقوة صغيرة للغاية على أى سطح يسقط عليه . ولكن تأثير هذه القوة على إلكترون حر كبير لصغر حجمه وكتلته.
- تأثير كومتون إثبات للصفات الجسيمية للفوتونات، حيث يكون للفوتون كتلة وسرعة وكمية حركة.
- الموجة تصف السلوك الجماعي للفوتونات.
- الطول الموجي للفوتون هو ثابت بلانك مقسوماً على كمية الحركة. ونفس العلاقة تنطبق على الجسيم الحر، حيث يصف الطول الموجي فى هذه الحالة الموجة المصاحبة للجسيم.
- المجهر الإلكتروني دليل على علاقة دي برولى للجسيمات، ويستخدم فى رؤية الأبعاد بالغة الصغر.

أسئلة وتمارين

أولاً: التمارين

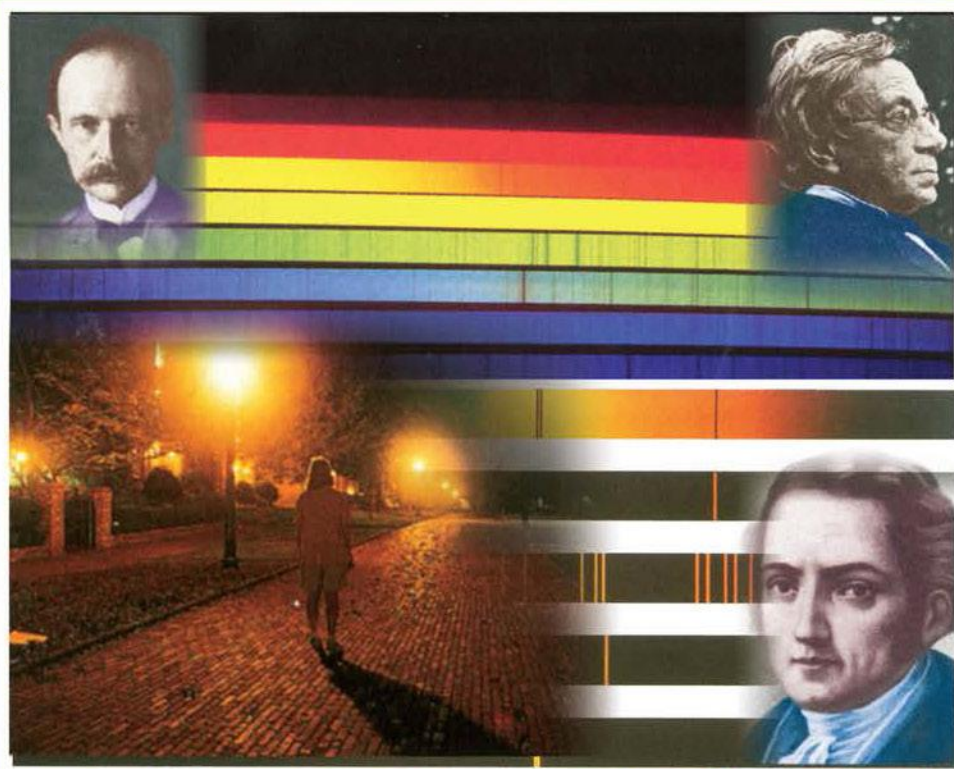
- ١ - احسب طاقة فوتون طولله الموجى 700 nm ثم احسب كتلته وكمية حركته.
($0.86 \times 10^{-27} \text{kgm/s}$, $0.29 \times 10^{-35} \text{kg}$, $2.58 \times 10^{-19} \text{J}$)
- ٢ - احسب كتلة الفوتونات فى حالة X ray وفى حالة γ ray إذا كان الطول الموجى لأشعة
X 100nm وأشعة γ 0.05nm
($m_X = 2.2 \times 10^{-35} \text{kg}$, $m_\gamma = 4.4 \times 10^{-33} \text{kg}$)
- ٣ - احسب الطول الموجى لكرة كتلتها 140kg تتحرك بسرعة 40m/s ، ثم احسب الطول
الموجى للإلكترون إذا كان يتحرك بنفس السرعة.
($\lambda = 1.18 \times 10^{-34} \text{m}$, $\lambda_e = 1.8 \times 10^{-5} \text{m}$)
- ٤ - محطة إذاعة تبث على موجة ترددها 92.4MHz احسب طاقة الفوتون الواحد المنبعث من
هذه المحطة، ثم احسب عدد الفوتونات المنبعثة فى الثانية إذا كانت قدرة المحطة 100 kW
($E = 612.15 \times 10^{-28} \text{J}$, $n = 16.3 \times 10^{29} \text{ photon/sec}$)
- ٥- تعرض إلكترون لفرق جهد مقداره 20kV احسب سرعته عند التصادم مع المصعد من
قانون بقاء الطاقة، حيث شحنة الإلكترون $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ وكتلته $9.1 \times 10^{-31} \text{kg}$ ثم
احسب الطول الموجى لهذا الإلكترون وكمية حركته.
($v = 0.838 \times 10^8 \text{m/s}$, $\lambda = 0.868 \times 10^{-11} \text{m}$, $P_L = 7.625 \times 10^{-23} \text{kgm/s}$)
- ٦- إذا كانت أقل مسافة يمكن رصدها بمجهر إلكترونى 1 nm احسب سرعة الإلكترون
ومن ثم جهد المصعد.
- (Velocity = $0.728 \times 10^6 \text{m/s}$, $V = 1.5 \text{ Volt}$)
- ٧- احسب القوة التى يؤثر بها شعاع قدرته 100 kW على جسم كتلته 10 kg ماذا يحدث
إذا كان الجسم إلكترونًا ؟ ولماذا ؟
($F = 0.67 \times 10^{-3} \text{N}$)

ثانياً: أسئلة المقال

- ١- اشرح لماذا فشلت النظرية الموجية فى تفسير التأثير الكهروضوئى وكيف فسر
أينشتين النتائج العملية لهذه الظاهرة.
- ٢- كيف تثبت الخاصية الجسيمية للضوء من إشعاع الجسم الأسود.
- ٣- اشرح ظاهرة كومتون وبين كيف أنها دليل على الخاصية الجسيمية للضوء.

مقدمة فى الفيزياء الحديثة

الوحدة الثانية



الفصل السادس : الأطياف الذرية

الفصل السادس

الأطياف الذرية

مقدمة :

كلمة الذرة Atom تعود إلى اللغة الإغريقية وتعنى الوحدة التى لاتنقسم. ووضع العلماء تصورات مختلفة لتركيب الذرة من خلال التجارب العملية كما يلي:

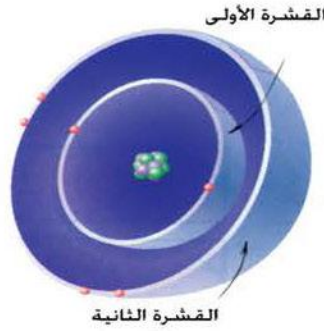
نموذج ذرة بور Bohr's Model (١٩١٣)

درس بور الصعوبات التى واجهت نموذج رذرفورد وتوصل إلى نموذج لذرة الهيدروجين مستخدماً تصورات رذرفورد، وهى:

(١) توجد عند مركز الذرة نواة موجبة الشحنة.



بور



(شكل ١-٦)

نموذج بور الذرى

(٢) تتحرك الإلكترونات سالبة الشحنة حول النواة فى

مدارات محددة تعرف باسم الأغلفة Shells

لكل منها مستوى طاقة. ولا يصدر الإلكترون

إشعاعاً طالما كان يتحرك فى مستوى الطاقة

الخاص به (شكل ١-٦).

(٣) الذرة متعادلة كهربياً حيث أن شحنة الإلكترونات

حول النواة يساوى عدد الشحنات الموجبة التى

تحملها النواة.

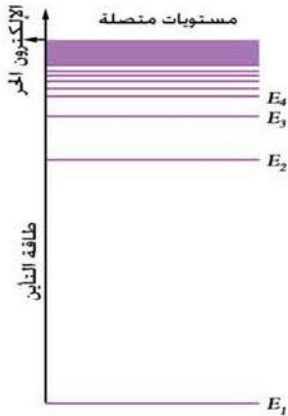
ثم أضاف إليها الفروض الثلاثة الهامة الآتية:

١- إذا انتقل إلكترون من مدار خارجى طاقته E_2 إلى

مدار داخلى طاقته E_1 ($E_2 > E_1$) فإنه تنطلق

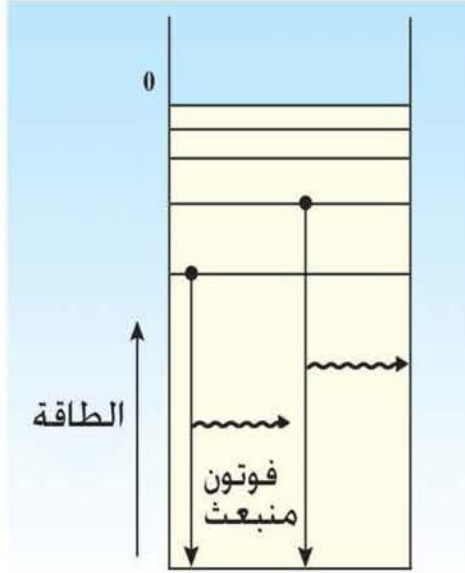
نتيجة لذلك كمية من الإشعاع (أى فوتون) طاقته

$$h\nu = E_2 - E_1$$



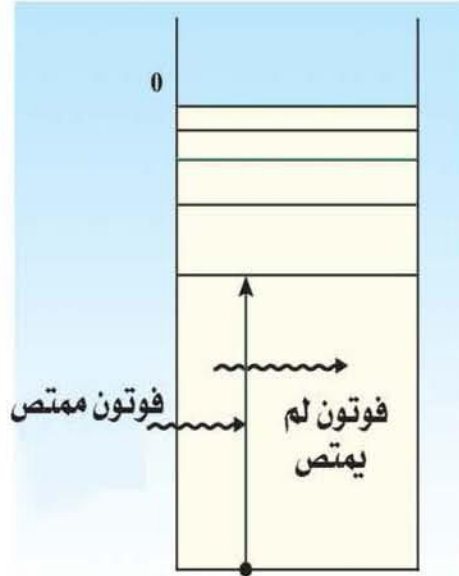
(شكل ١-٦ ب)

مستويات الطاقة بالذرة



(شكل ٦-٢ ب)

فوتون منبعث



(شكل ٦-٢ أ)

امتصاص فوتون

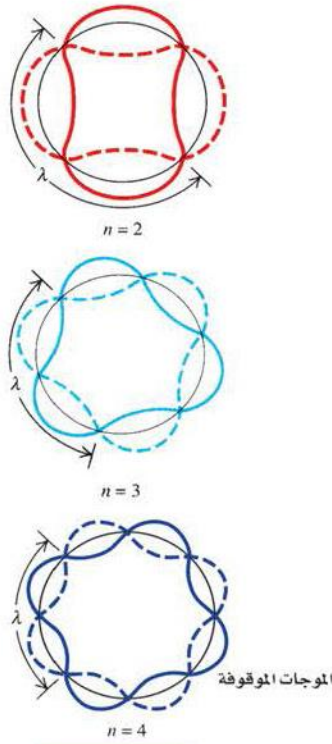
حيث U تردد الإشعاع المنبعث أو الممتص (شكل ٦-٢).

٢- القوى الكهربائية (قانون كولوم) و القوى الميكانيكية (قانون نيوتن) قابلة للتطبيق في مجال الذرة.

٣- يمكن حساب المدار تقديريا من العلاقة $2\pi r = n\lambda$ إذا اعتبرنا أن الموجة المصاحبة له تمثل موجة موقوفة (احسب نصف قطر المدار عند $n = 1, 2, 3$) (شكل ٦-٣).

انبعاث الضوء من ذرة بور (الطيف الخطي لغاز الهيدروجين):

١- عند إثارة ذرات الهيدروجين (بأن تكتسب طاقة) فإنها لا تثار كلها بنفس الدرجة، ولذلك تنتقل الإلكترونات في الذرات المختلفة من المستوى الأول K ($n=1$) إلى مستويات مختلفة أعلى منه ($n = 2$ or 3 or 4 ).



(شكل ٦-٣)

يمكن حساب طاقة المستوى في ذرة الهيدروجين من العلاقة :

$$E_n = \frac{-13.6}{n^2} eV$$

$$\text{حيث } 1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

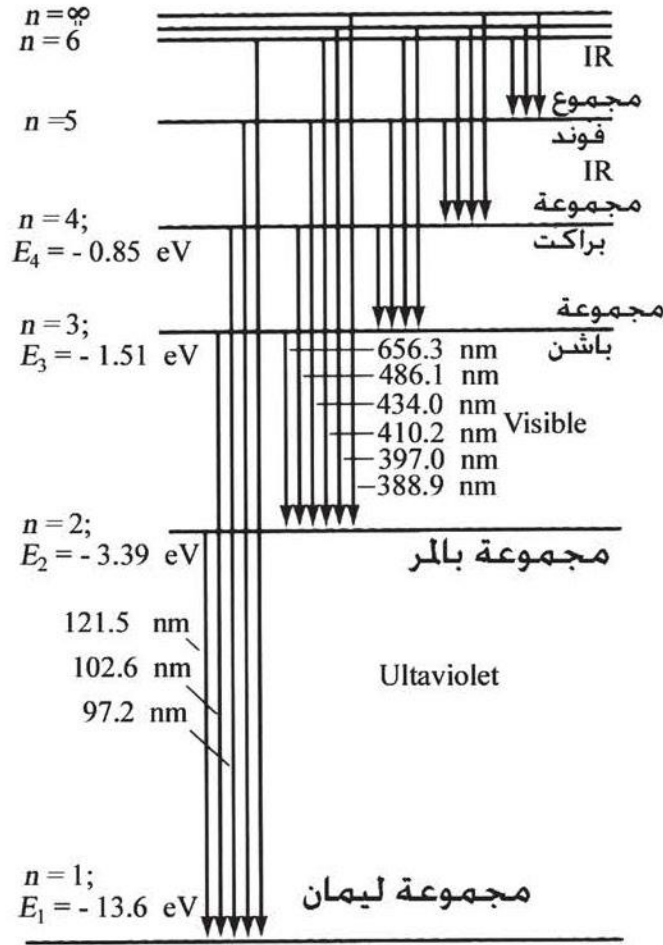
٢ - لا تبقى الإلكترونات في مستويات الطاقة العالية إلا لفترة قصيرة جداً (تقدر بنحو 10^{-8} ثانية) ثم تهبط إلى مستويات أدنى.

٣ - عندما يهبط الإلكترون من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أدنى فإنه يفقد فرق الطاقة على شكل إشعاع تردده (V) وطاقته (hV)، حيث $hV = E_2 - E_1$ وطوله

$$\lambda = \frac{c}{V} \text{ الموجى}$$

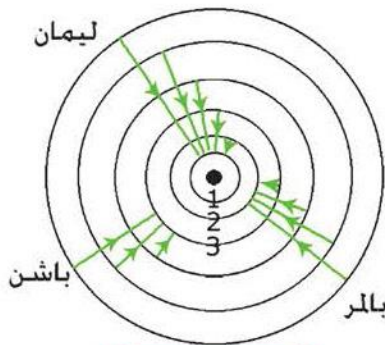
٤ - ولذلك يتكون الطيف الخطي للهيدروجين من خمس مجموعات (أو متسلسلات Series) من الخطوط، كل خط منها يقابل طاقة محددة، وبالتالي تردداً محدداً.

وتتقرب المتسلسلات لطيف ذرة الهيدروجين (شكل ٦-٤) كما يلي:



شكل (٦-٤) (أ)

صورة لتسلسلات ذرة الهيدروجين



شكل (٦-٤) (ب)

نموذج الذرة لأطياف الهيدروجين

١- مجموعة ليمن Lyman حيث ينتقل الإلكترون إلى المستوى K ($n = 1$) من المستويات الأعلى. وتقع هذه المجموعة في منطقة الأشعة فوق البنفسجية وهي ذات أطوال موجية قصيرة وترددات عالية.

٢- مجموعة بالمر Balmer حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى L ($n = 2$) وتقع

هذه المجموعة في منطقة الضوء المنظور.

٣- مجموعة باشن Paschen حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى M ($n = 3$) وتقع هذه المجموعة في منطقة الأشعة تحت الحمراء.

٤- مجموعة براكت Brackett حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى N ($n = 4$)، وتقع هذه المجموعة في منطقة الأشعة تحت الحمراء.

٥- مجموعة فوند Pfund حيث ينتقل الإلكترون من المستويات العليا إلى المستوى O ($n = 5$)، وتقع هذه المجموعة في أقصى المنطقة تحت الحمراء وهي أكبر الأطوال الموجية وأقلها تردداً.

المطياف Spectrometer

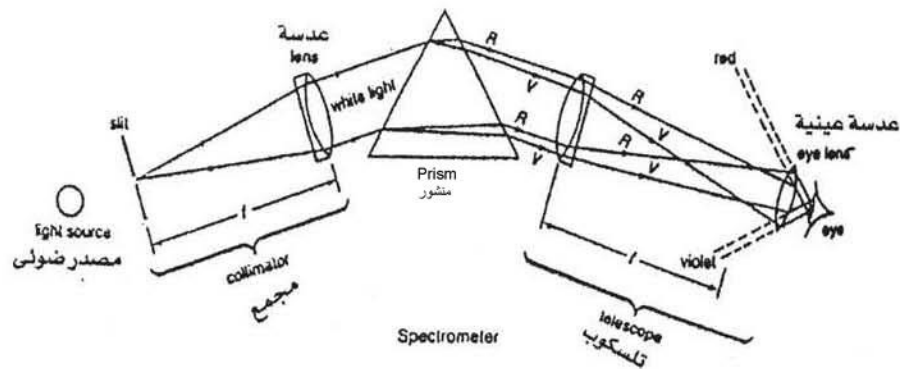


شكل (٦-٥) أ

جهاز المطياف

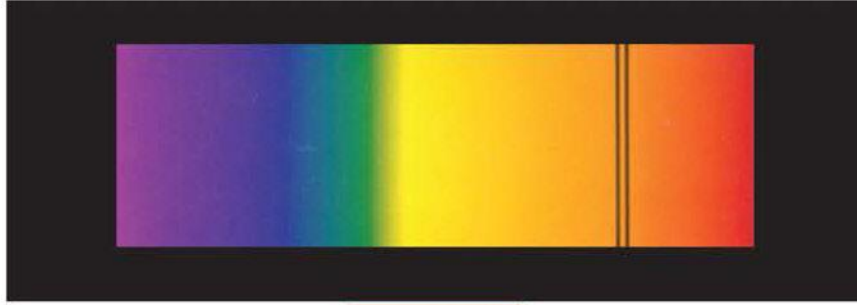
للحصول على طيف نقى يستخدم عادة المطياف (Spectrometer) (شكل ٦-٥) ويتكون من ثلاثة أجزاء رئيسية، هي:

- ١- مصدر الأشعة: وهو عبارة عن مصدر ضوئي أمامه فتحة مستطيلة ضيقة يمكن التحكم في اتساعها بواسطة مسمار محوى. توجد هذه الفتحة في بؤرة عدسة محدبة.



شكل (٦-٥) ب

رسم تخطيطي للمطياف



شكل (٦-٥ ج)

استخدام المطياف لتقدير درجة حرارة النجوم وما بها من غازات

٢- منصدة قابلة للدوران يوضع عليها منشور ثلاثي من الزجاج.

٣- تلسكوب ويتكون من عدستين محدبتين هما الشيئية والعينية.



فرانوهوفر

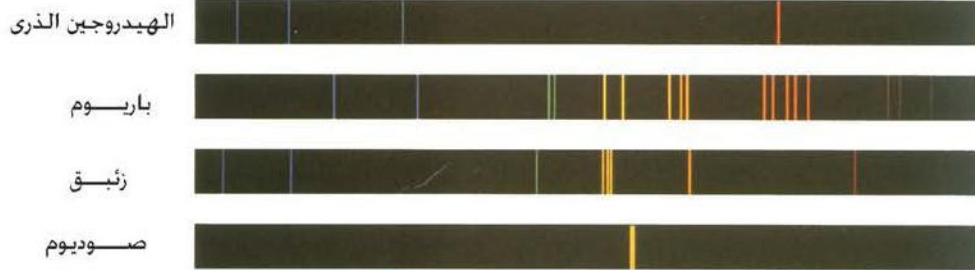
لاستخدام المطياف في الحصول على طيف نقى تضاء الفتحة المستطيلة الضيقة - كما في الشكل السابق - بضوء ابيض متألق يسقط من الفتحة على المنشور في وضع النهاية الصغرى للانحراف، ويوجه التلسكوب لاستقبال الأشعة المارة خلال المنشور، ويتضح أن أشعة كل لون تكون متوازية فيما بينها، وغير موازية لأشعة الألوان الأخرى. لذلك تعمل الشيئية على تجميع كل منها في بؤرة خاصة في المستوى البؤرى لهذه العدسة يمكن رؤيتها محددة بواسطة العينية، وبذلك يتم الحصول على طيف نقى.

بدراسة الأطياف للمواد المختلفة، والتي تكون ذراتها في حالة إثارة نلاحظ أن:

- الطيف الذى يتكون من جميع الأطوال الموجية أو يتضمن توزيعاً مستمراً أو متصلاً للترددات يكوّن صورة طيف شريطى فيما يعرف بالطيف المستمر.
- أما الطيف الذى يتضمن توزيعاً غير مستمر للترددات أو الأطوال الموجية يسمى الطيف الخطى.
- الطيف الناتج عن انتقال الذرات المثارة من مستوى أعلى إلى مستوى أدنى يسمى طيف انبعاث.

وجد عمليا أنه إذا مر ضوء أبيض خلال غاز فإنه يلاحظ اختفاء بعض الأطوال الموجية فى الطيف المستمر للضوء الأبيض بعد تحليله. هذه الأطوال الموجية هى نفسها الأطوال الموجية فى أطياف الانبعاث الخطية لهذا الغاز شكل (٦-٦)

يسمى هذا الطيف بطيف الامتصاص الخطى Absorption Spectra. وتمثل خطوط فرونهورفر Fraunhofer فى طيف الشمس أطياف امتصاص خطية للعناصر الموجودة فى جو الشمس. أثبت ذلك وجود عنصرى الهليوم و الهيدروجين على الشمس.



شكل (٦-٦)

طيف الانبعاث لبعض العناصر

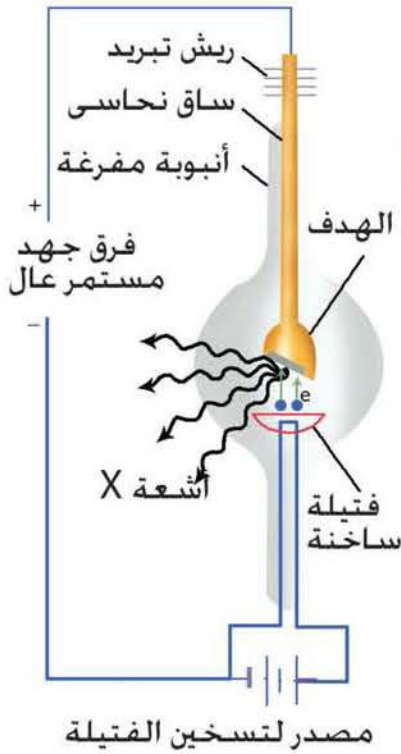
الأشعة السينية X-Rays

ما هى الأشعة السينية؟

هى أشعة كهرومغناطيسية غير مرئية، طولها الموجى قصير (ما بين $10^{-8}m$, $10^{-13}m$). وتقع بين الأطوال الموجية للأشعة فوق البنفسجية وأشعة جاما وبالتالى فهى عالية الطاقة. أول من اكتشفها رونتجن Rontgen، وسماها هكذا لأنه لم يعرف ماهيتها، فأطلق عليها اسم الأشعة المجهولة.

خواصها:

- ذات قدرة كبيرة على اختراق الأوساط.
- ذات قدرة كبيرة على تأيين الغازات.
- تحيد فى البلورات.



شكل (٧-٦)

أنبوب كوليدج لتوليد الأشعة السينية

- تؤثر على الألواح الفوتوغرافية الحساسة.

طريقة الحصول على الأشعة السينية باستخدام

أنبوب كوليدج Coolidge

عند تسخين الفتيلة تنطلق الإلكترونات نحو الهدف تحت تأثير المجال الكهربائي، حيث تكتسب طاقة حركة كبيرة جداً يتوقف مقدارها على فرق الجهد بين الفتيلة والهدف.

عندما تصطدم الإلكترونات بالهدف (من التنجستن) يتحول جزء من طاقتها أو كلها إلى أشعة شكل (٧-٦) .

طيف الأشعة السينية:

بتحليل حزمة من الأشعة السينية الصادرة من هدف ما إلى مكوناتها من الأطوال الموجية المختلفة نحصل على

طيف يتكون من نوعين كما في شكل (٨-٦) .

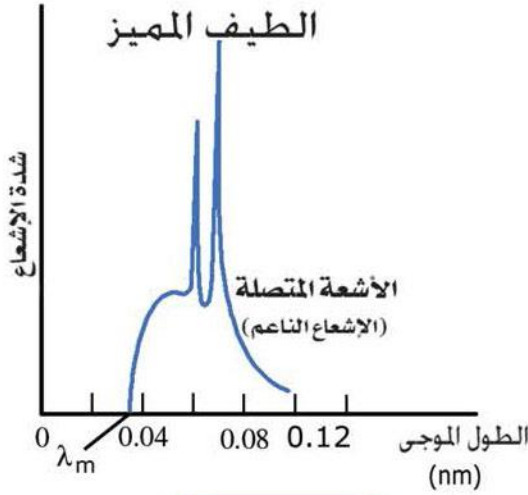
أ- طيف متصل Continuous Spectrum من جميع الأطوال الموجية (في حدود معينة) لا تتغير بتغير مادة الهدف.

ب- طيف خطي Line Spectrum يقابل أطوالاً موجية محددة تميز العنصر المكون لمادة الهدف يسمى بالطيف المميز للأشعة السينية.

تفسير تولد الأشعة السينية:

أ- الطيف الخطي المميز:

ينتج الطيف الخطي إذا اصطدم الإلكترون بأحد الإلكترونات القريبة من نواة في



شكل (٦-٨)

الطيف المتصل والطيف الخطي

مادة الهدف. حيث يكتسب الأخير كمية كبيرة من الطاقة، فيقفز إلى مستوى طاقة أعلى أو يغادر الذرة، ويحل محله إلكترون آخر من أحد المستويات الخارجية ذات الطاقة الأعلى.

ويظهر الفرق بين طاقة المستويين على شكل إشعاع له طول موجي محدد. ويلاحظ أن:

١- الطول الموجي للأشعة المميزة لا يتوقف على فرق الجهد المستخدم، ولكن يتوقف على نوع العنصر، فكلما زاد العدد الذري للعنصر (مادة الهدف) نقص الطول الموجي للإشعاع المميز.

٢- عند فروق الجهود المنخفضة قد لا تظهر الأشعة المميزة.

٣- يمكن حساب الطول الموجي لأشعة إكس (السينية) المميزة أو الشديدة Hard من العلاقة:

$$h \times \frac{c}{\lambda} = (\Delta E)$$

(٦-١)

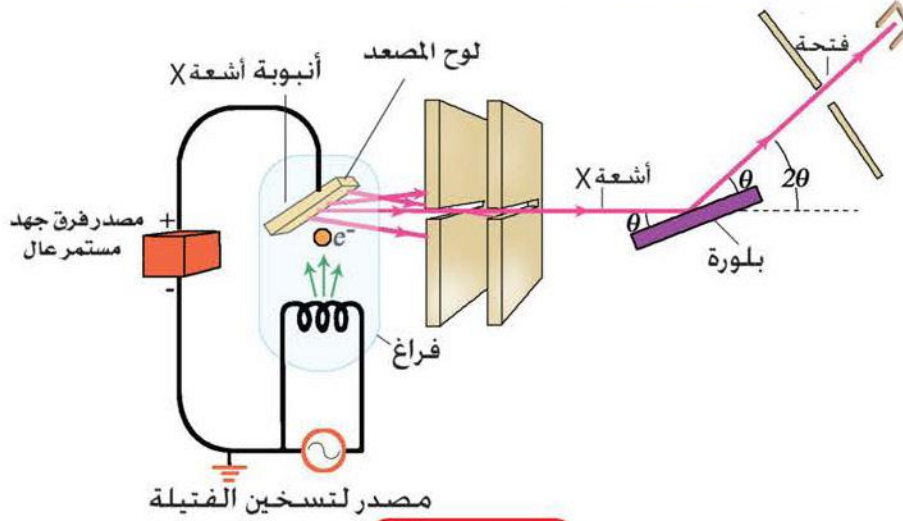
ب- الطيف المستمر أو المتصل:

ينتج نتيجة تناقص سرعة الإلكترونات بمرورها قرب إلكترونات ذرات مادة الهدف، فتقل طاقتها نتيجة التصادمات والتشتت Scattering، وتصدر إشعاعاً كهرومغناطيسياً بناء على نظرية ماكسويل- هرتز. لذلك يسمى هذا الإشعاع الإشعاع المستمر أو المتصل أو أشعة الكابج (الفرملة) Bremsstrahlung أو الإشعاع اللين Soft.

الفرق بين طاقة الإلكترونات الأصلية وطاقتها بعد مرورها في مادة الهدف يظهر على شكل إشعاع كهرومغناطيسي يحتوي على جميع الأطوال الموجية الممكنة؛ لأن الإلكترونات تفقد طاقتها على دفعات وبدرجات متفاوتة.

هذا الإشعاع هو الإشعاع المستمر (الطيف المستمر للأشعة السينية).

التطبيقات الهامة للأشعة السينية:



شكل (٦-٩)

استخدام أشعة أكس في دراسة البلورات



شكل (٦-١٠)

أشعة أكس للصدر

١- من أهم خصائص الأشعة السينية قابليتها للحيود عند مرورها في البلورات، لذلك تستخدم في دراسة التركيب البلوري للمواد شكل (٦-٩)، حيث يحدث تداخل بين الموجات التي تنفذ من بين الذرات، كما لو كانت فتحات عديدة، مثلما يحدث في التداخل في الشق المزدوج وهو يشبه بذلك ما يسمى بحزوز الحيود Diffraction Grating حيث تتكون هدب مضئية ومظلمة تبعا لفرق المسار بين الموجات المتداخلة.

٢- لها قدرة كبيرة على النفاذ. ولذلك تستخدم في الكشف عن العيوب التركيبية في المواد المستخدمة في الصناعات المعدنية.

٣- بالإضافة إلى خاصية النفاذ، فلها قدرة على تصوير العظام لتحديد الكسور أو الشروخ وفي بعض التشخيصات الطبية شكل (٦-١٠).

تلخيص

- فروض بور وتصوره لذرة الهيدروجين.
- عندما يقفز الإلكترون من مستوى طاقة أعلى الى مستوى طاقة أقل فإنه يصدر اشعاعاً تردده ν وطاقته $(h\nu)$ تساوى مقدار الفرق بين طاقتى المستويين أى أن:

$$h\nu = E_2 - E_1$$

حيث E_2 طاقة المستوى الأعلى، E_1 طاقة المستوى الأقل.

- يتكون الطيف الخطي لذرة الهيدروجين من خمس مجموعات أو متسلسلات من الخطوط. كل خط منها يقابل طاقة محددة، وبالتالي تردداً وطولاً موجياً محدداً .
هى:

مجموعه ليمان	فى المنطقة فوق البنفسجية
مجموعه بالمر	فى منطقة الضوء المنظور
مجموعه باشن	فى المنطقة تحت الحمراء
مجموعه براكت	فى المنطقة تحت الحمراء
مجموعه فوند	فى اقصى المنطقة تحت الحمراء

- المطياف: هو جهاز يستخدم فى تحليل الضوء الى مكوناته (المرئية وغير المرئية).
 - الاشعة السينية:
- هى اشعة غير مرئية اطوالها الموجية قصيرة جداً، واول من اكتشفها رونتجن Rontgen عام ١٨٩٥. نظرا لعدم معرفته بطبيعتها اطلق عليها اسم اشعه اكس (الاشعة المجهولة).
- يستخدم حيود الاشعة السينية فى دراسة التركيب البلورى للجوامد، وفى كثير من المجالات الطبية والصناعية.

أسئلة وتمارين

أولاً: أسئلة المقال

- ١- كيف استطاع بور أن يفسر طيف ذرة الهيدروجين ؟
- ٢- على أى أساس تم تقسيم طيف ذرة الهيدروجين إلى خمس مجموعات ؟
- ٣- علل: تعتبر مجموعة ليمان من مجموعات طيف ذرة الهيدروجين أكبرها طاقة بينما مجموعة فوند أقلها طاقة .
- ٤- اشرح كيف يستخدم المطياف فى الحصول على طيف نقى
- ٥- وضع برسم كامل البيانات كيفية توليد أشعة X باستخدام أنبوبة كولج
- ٦- قارن بين الطيف المميز للأشعة السينية والطيف المتصل لها .
- ٧- اشرح كيف يحدث كل من الطيف الخطى المميز والطيف المتصل للأشعة السينية ثم قارن بينهما .
- ٨- أذكر بعض التطبيقات الخاصة بالأشعة السينية .

ثانياً: عرف كلا من

- | | |
|-----------------|-------------------|
| ١- الطيف الخطى | ٢- الطيف المستمر |
| ٣- طيف الإمتصاص | ٤- طيف الإنبعاث . |

مقدمة في الفيزياء الحديثة



الوحدة الثانية

الفصل السابع : الليزر

الليزر Laser

الفصل السابع

مقدمة :

قلما ترك اكتشاف علمي من اثر على مجالات وتطبيقات على افرع العلم مثلما تركه اكتشاف اشعة الليزر . فقد شملت تطبيقاته علم البصريات و علم الفيزياء عامة، وسائر افرع العلوم الأساسية، الكيمياء الجيولوجيا والبيولوجيا، وافرع العلوم التطبيقية كالطب والهندسة، وبالأخص الاتصالات.

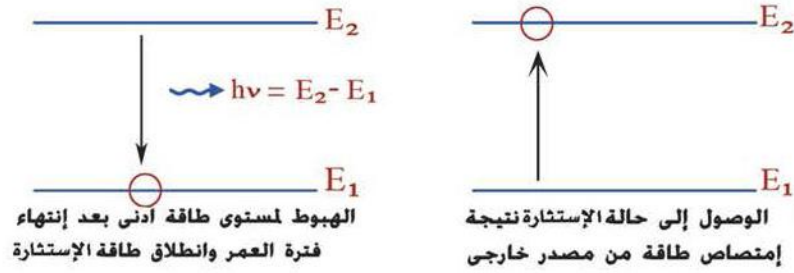
كلمة ليزر كلمة جديدة على اللغة العربية، وهى الحروف الأولى من كلمات باللغة الانجليزية تعنى تضخيم (او تكبير) شدة الضوء بواسطة الانبعاث المستحث .
Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

فى عام ١٩٦٠ توصل العالم الأمريكى ميمان Maiman من صناعة اول ليزر بواسطة بللورة من الياقوت Ruby المطعم بالكروم. بعده بشهور امكن تركيب الليزر الغازى مثل ليزر He-Ne، ثم توالى تركيب الأنواع المختلفة من الليزر.

الانبعاث التلقائى Spontaneous Emission والانبعاث المستحث Stimulated Emission

عرفنا مما سبق ان للذرة مستويات طاقة - ادناها يسمى المستوى الأرضى Ground State، وهو الذى تتواجد فيه الذرة فى حالتها العادية. وإذا رمزنا لطاقة المستوى الأرضى بالرمز E_1 ورمزنا لطاقة المستويات التى تليه بالرموز E_2, E_3, E_4 ، فإن هذه المستويات تسمى مستويات إثارة الذرة Excited States وإذا تواجدت الذرة فى احد هذه المستويات تكون ذرة مثارة Excited Atom. إذا قذفنا ذرة فى حالتها العادية بفوتون طاقته $(E_2 - E_1)$ ، فإن الذرة تمتص هذا القدر من الطاقة، وتنتقل من المستوى الأرضى إلى مستوى الإثارة الأول الذى تبلغ طاقته E_2 . تسمى هذه العملية إثارة الذرة إلى المستوى E_2 . ولكن سرعان ما تتخلص الذرة بعد فترة وجيزة (حوالى 10^{-8} s) - تسمى فترة العمر Lifetime - من طاقة الإثارة بإشعاعها على شكل فوتون، وتعود إلى حالتها العادية (شكل ٧ - ١).

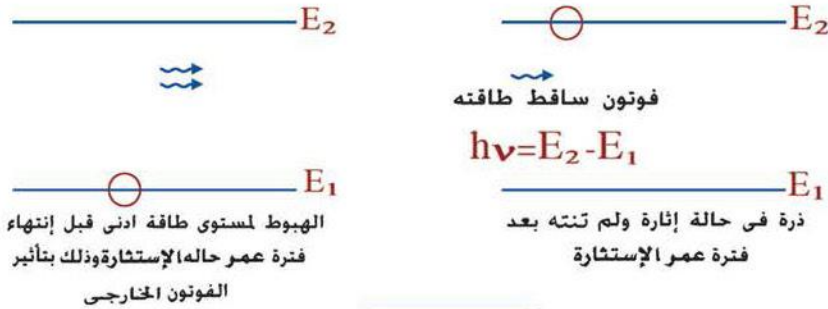
ويسمى هذا الإشعاع التلقائي Spontaneous Emission (وهو الانبعاث السائد في مصادر الضوء العادية). ويكون للفوتون المنبعث نفس تردد الفوتون الذي سبب الإثارة ، أما الاتجاه والطور فهما عشوائيان (شكل (٧ - ١)).



شكل (٧ - ١)

الانبعاث التلقائي

وفي عام ١٩١٧ بين اينشتاين Einstein أنه الى جانب الإشعاع التلقائي هناك اشعاع آخر من الذرة، يسمى الاشعاع المستحث Stimulated Emission (وهو الانبعاث السائد في مصادر الليزر). إذا سقط فوتون طاقته $(E_2 - E_1)$ على ذرة مثارة بالفعل - وموجودة في مستوى الإثارة E_2 قبل انتهاء فترة العمر، - فإن هذا الفوتون يدفع الذرة إلى أن تشع طاقة إثارتها على شكل فوتون آخر له نفس تردد واتجاه وطور الفوتون الساقط، وتعود



شكل (٧ - ٢)

الانبعاث المستحث

الذرة إلى المستوى الأرضي (شكل (٧ - ٢)).

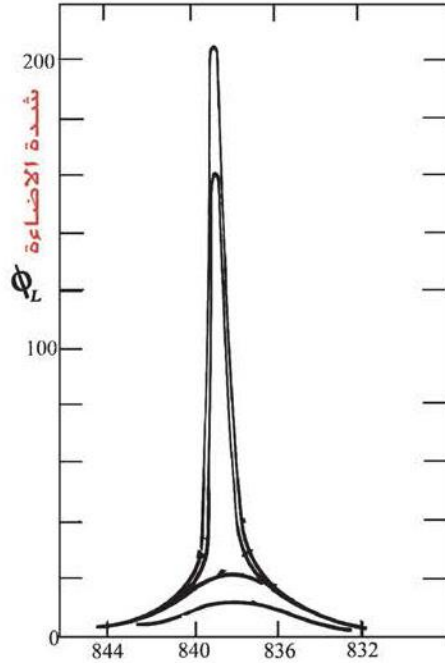
نرى من ذلك أنه في حالة الاشعاع المستحث، يوجد فوتونان. الأصلي والمستحث لهما نفس التردد، ويتحركان معا بنفس الطور وفي نفس الاتجاه.

انطلاق الفوتونات من ذرات المادة بهذه الكيفية يجعلها تتجمع في حزم متوازية وبصورة مترابطة لمسافات طويلة جداً، وتكون ذات تركيز عال (أى عالية الشدة) على طول مسار الحركة، ولا تعاني من التشتت أو الانتشار الذى تعانيه حزم الفوتونات المنبعثة بطريقة الانبعاث التلقائى.

تبين المقارنة التالية خصائص الانبعاث التلقائى والانبعاث المستحث،

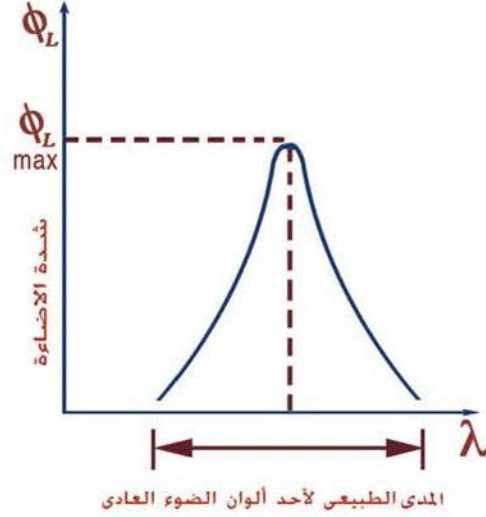
الانبعاث التلقائى	الانبعاث المستحث
١ يحدث عندما تنتقل الذرات المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه فى الطاقة، وتنتقل الفرق بين طاقتى المستويين فى شكل فوتونات تلقائياً، بدون أى مؤثر خارجى، وذلك بعد انتهاء زمن بقائها Lifetime فى الحالة المثارة.	يحدث عندما تنتقل الذرات المثارة من مستوى الإثارة إلى مستوى آخر أقل منه فى الطاقة، وتنتقل الفرق بين المستويين على شكل فوتونات، وذلك بتأثير تفاعلها مع فوتونات أخرى خارجية لها نفس طاقة الفوتونات المنطلقة، وذلك قبل انتهاء الفترة الزمنية لبقائها فى حالة الإثارة.
٢ الفوتونات المنبعثة تغطى مدى طيفياً كبيراً من الأطوال الموجية للمطيف الكهرومغناطيسى.	للفوتونات المنبعثة جميعاً طول موجى واحد فقط Monochromatic
٣ تتحرك الفوتونات بعد انبعاثها بصورة عشوائية تماماً.	تتحرك الفوتونات بعد انبعاثها بنفس الطور Coherent وفى اتجاه واحد، على شكل أشعة متوازية تماماً Collimated.
٤ يقل تركيز الفوتونات أثناء الانتشار Spreading، بحيث تتناسب شدة الإشعاع عكسياً مع مربع المسافة التى تتحركها (هذا ما يعرف فى فيزياء البصريات بقانون التربيع العكسى).	تظل شدة الشعاع ثابتة أثناء انتشارها ولمسافات طويلة. ولذا فهى لا تخضع لقانون التربيع العكسى، حتى أنه يمكن إرسال شعاع ليزر إلى سطح القمر واستقباله مرة أخرى على الأرض دون تشتت Scattering أو انتشار Spreading على الرغم من طول المسافة المقطوعة.
٥ يعتبر الانبعاث السائد فى مصادر الضوء العادية.	يعتبر الانبعاث السائد فى مصادر الليزر.

خصائص أشعة الليزر



شكل (٧ - ٣ ب)

المدى الطيفي لضوء ليزر



المدى الطبيعي لأحد ألوان الضوء العادي

شكل (٧ - ١٣)

المدى الطيفي لأحد ألوان الضوء العادي

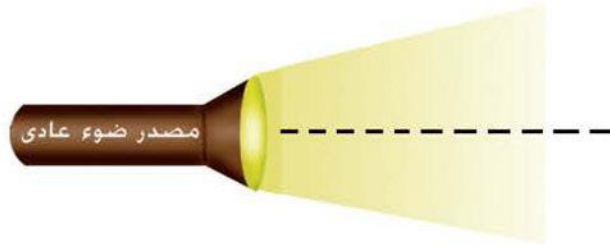
١- النقاء الطيفي Monochromaticity:

يحتوى كل خط من خطوط الطيف الضوئي في مصادر الضوء العادية على مدى كبير من الأطوال الموجية (وإليها يرجع بسبب التعدد في درجات اللون الواحد عند رؤيته بالعين المجردة) و تتفاوت في شدتها من طول موجى لأخر كما هو مبين بشكل (٧ - ١٣) .

أما مصادر الليزر فهي تنتج خطاً طيفياً واحداً فقط، له مدى ضئيل جداً من الأطوال الموجية. وتتركز الشدة عند هذا الطول الموجى المحدد (شكل ٧ - ٣ ب)، أى أنه

يعتبر ضوء أحادى الطول الموجى Monochromatic Light.

٢- توازى الحزمة الضوئية Collimation:



أشعة الضوء العادي تتشتت أثناء انتشارها



أشعة الضوء الليزر تنتشر
في حزمة متوازية لمسافات طويلة

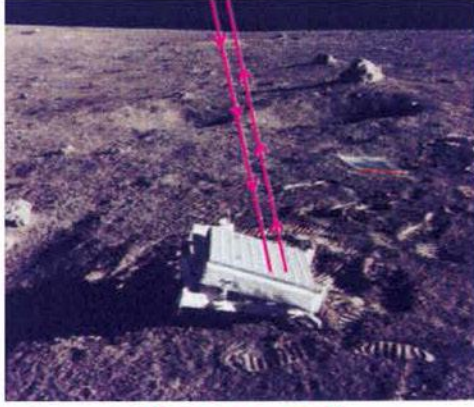
شكل (٧ - أ)

تشتت الضوء العادي وعدم تشتت ضوء الليزر



شكل (٧ - ب)

إطلاق شعاع ليزر
من الأرض إلى عاكس على سطح القمر
على بعد 380000km من الأرض



شكل (٧ - ٤د)

تقدير المسافة بين الأرض و القمر باستخدام انعكاس شعاع ليزر على عاكس مثبت على سطح القمر



شكل (٧ - ٤ج)

قياس المسافات الفلكية بشعاع ليزر

فى مصادر الضوء العادية يزداد قطر الحزمة الضوئية المنبعثة من المصدر أثناء انتشارها نتيجة التشتت (Scattering) (شكل ٧ - ١٧) . أما فى شعاع الليزر فإن قطر الحزمة يظل ثابتا أثناء الانتشار لمسافات طويلة، حيث تتحرك الحزم الضوئية بصورة متوازية ولا تعاني من تشتت يذكر ، فتمكن بذلك من نقل الطاقة الضوئية لمسافات طويلة دون فقد ملحوظ.

٣- الترابط Coherence

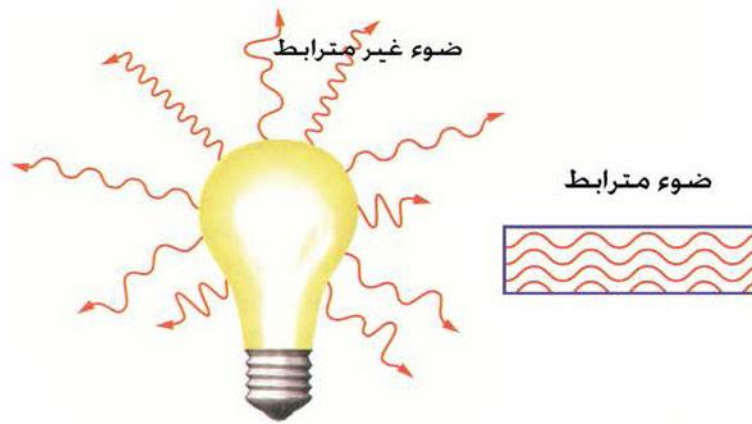
تنطلق فوتونات الضوء العادى من مصادرها بصورة عشوائية غير مترابطة Incoherent، حيث تنطلق فى لحظات زمنية مختلفة، وتنتشر باختلاف كبير وغير ثابت فى فرق الطور.

أما فى مصادر الليزر، تنطلق الفوتونات بصورة مترابطة زمانيا ومكانيا، حيث تنطلق من المصدر فى نفس اللحظة، وتحفظ فيما بينها بفرق طور ثابت أثناء الانتشار لمسافات طويلة. وهذا يجعلها أكثر شدة وأكثر تركيزا (شكل ٧ - ٥) .

٤- الشدة Intensity

تخضع الأشعة الضوئية المنبعثة من المصادر العادية لقانون التربيع العكسى، حيث تقل

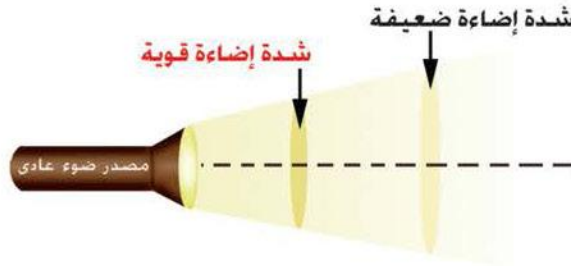
الشدة الضوئية الساقطة على وحدة المساحات من السطح كلما بعد هذا السطح عن مصدر الضوء نتيجة عدم ترابط موجاته طبقاً لقانون التربيع العكسي (شكل ٧ - ١٤) .
أما أشعة الليزر الساقطة على السطح فهي تحتفظ بشدة ثابتة لوحدة المساحات ولا تخضع لقانون التربيع العكسي.



شكل (٧ - ٥)

(١٤ - ٧)

الترابط



تقل شدة إضاءة الضوء العادي كلما بعد عن مصدره طبقاً لقانون التربيع العكسي



يحتفظ ضوء الليزر بشدة ثابتة أثناء انتشاره

شكل (٧ - ٦)

انخفاض شدة الضوء العادي مع انتشاره ولكنها ثابتة لضوء الليزر

العناصر الأساسية لليزر

تتضمن أجهزة توليد الليزر على اختلاف أحجامها وأشكالها وطاقتها ثلاثة عناصر رئيسة مشتركة هي:

١- الوسط الفعال Active Medium: وهو المادة الفعالة لإنتاج الليزر، وهو إما أن يكون بلورات صلبة Crystalline Solids، مثل الياقوت الصناعي Ruby أو مواد صلبة شبه موصلة Semiconductors، مثل بلورات السيليكون (الفصل الثامن). أو صبغات سائلة Liquid Dye، مثل الصبغات العضوية المذابة في الماء، أو ذرات غازية مثل خليط غازي الهليوم والنيون، أو غازات متأينة مثل غاز الأرجون المتأين، أو جزيئات غازية مثل غاز ثاني أكسيد الكربون.

٢- مصادر الطاقة Sources of Energy: هي المسئولة عن اكساب ذرات أو أيونات الوسط الفعال الطاقة اللازمة لإثارتها لتوليد الليزر وهي كما يلي:

(أ) الإثارة بالطاقة الكهربائية: وتتمثل في استعمال الطاقة الكهربائية المباشرة بأسلوبين: أحدهما استخدام مصادر الترددات الراديوية Radio Frequency Waves (RF)، الثاني استخدام التفريغ الكهربى Electric Discharge بفرق جهد عال مستمر، يستخدم النوع الثاني غالباً في أجهزة الليزر الغازية، مثل ليزر غاز ثاني أكسيد الكربون وليزر الهليوم والنيون، وليزر الأرجون.

(ب) الإثارة بالطاقة الضوئية، وتعرف هذه الطريقة باسم الضخ الضوئى Optical Pumping. ويمكن أن تتم بوسيلتين مختلفتين هما:

- المصابيح الوهاجة Flash Lamps ذات القدرة العالية (كما في ليزر الياقوت).

- شعاع ليزر كمصدر للطاقة (وتستخدم هذه الطريقة في ليزر الصبغات السائلة).

(ج) الإثارة بطاقة حرارية، حيث يستخدم التأثير الحرارى الناتج عن الضغط الحركى للغازات في حث وإثارة المواد التى تبعث أشعة الليزر.

(د) الإثارة بالطاقة الكيميائية، حيث تعطى التفاعلات الكيميائية بين المواد طاقة تؤدى إلى حث جزيئاتها على إنتاج شعاع الليزر. مثال ذلك التفاعلات بين مزيج من الهيدروجين والفلور، أو التفاعلات بين خليط من فلوريد الديوتيريوم وثانى أكسيد الكربون.

٣ - التجويف الرنيني Resonant Cavity:

وهو الوعاء الحاوي والمنشط لعملية التكبير. وهو عادة ما يكون:



(i) تجويف رنيني خارجي External Resonant Cavity

، ويكون على شكل مرآتين متوازيتين يحصران بينهما المادة الفعالة بحيث تكون الانعكاسات المتعددة بينهما هي الأساس في عملية التكبير الضوئي Amplification كما في الليزرز الغازية شكل (٧ - ١٧) .

شكل (٧ - ١٧)

تجويف رنيني خارجي

(ب) تجويف رنيني داخلي Internal Resonant Cavity

حيث يتم طلاء نهايتي المادة الفعالة لتعمل كمرآتين يحصران بينهما المادة الفعالة، كما في الليزرز الصلبة بصفة عامة مثل ليزر الياقوت (شكل ٧ - ب). وتكون إحدى المرآتين شبه منفذة Semitransparent لتسمح بمرور بعض أشعة الليزر المتولدة.



شكل (٧ - ب)

تجويف رنيني داخلي

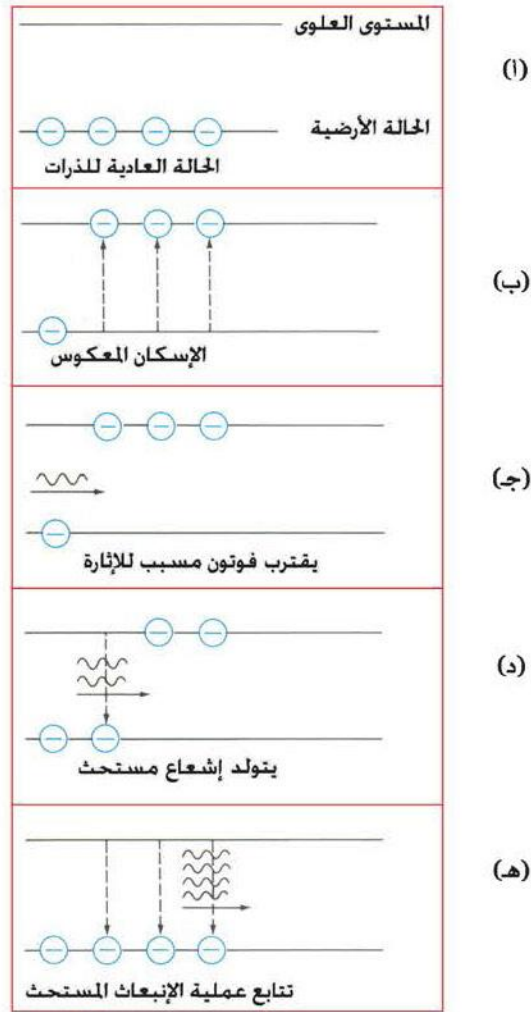
نظرية عمل الليزر

يعتمد الفعل الليزري Laser Action على الوصول بذرات أو جزيئات الوسط الفعال لإنتاج الليزر إلى حالة الإسكان المعكوس Population Inversion، وهي الحالة التي يكون فيها عدد الذرات في مستويات الإثارة العليا أكبر من عددها في المستويات الأدنى. حتى تنهيا الفرصة لفوتونات الانبعاث المستحث أن يتضخم عددها عند مرورها ذهابا وإيابا خلال الوسط الفعال Active Medium، نتيجة الانعكاسات المتتالية بين سطحي مرآتين. فيتم حث ذرات أخرى واقعة على مسار الشعاع، وتتولد فوتونات جديدة. وهكذا يتضخم الشعاع، وتحدث عملية تكبير الإشعاع بالانبعاث المستحث Stimulated Emission (شكل ٧ - ٨).



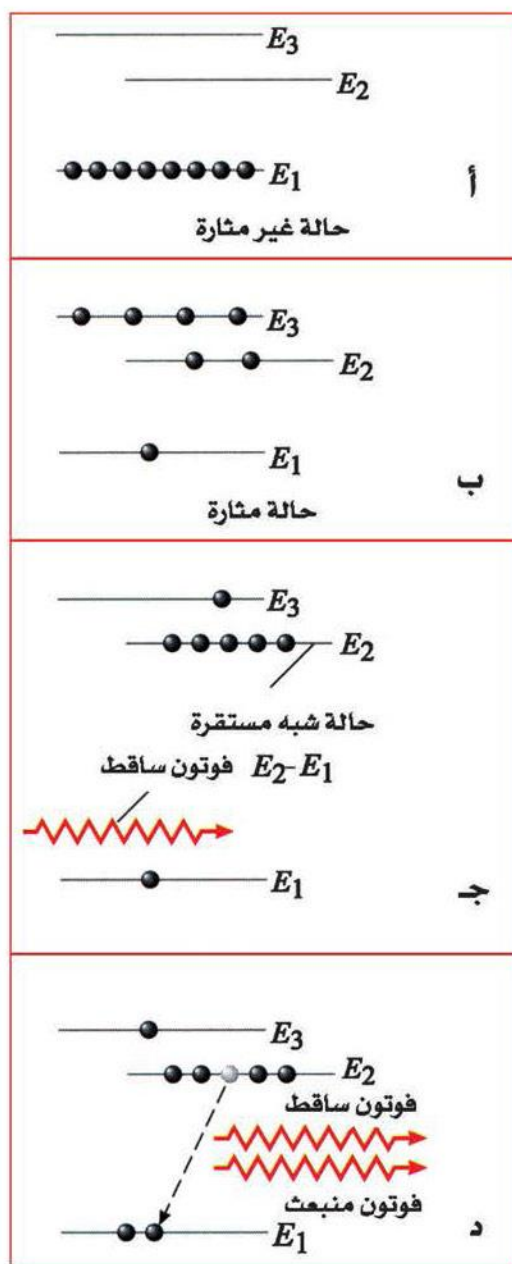
شكل (٧ - ١٨)

انبعاث مستحدث بفوتون خارجي



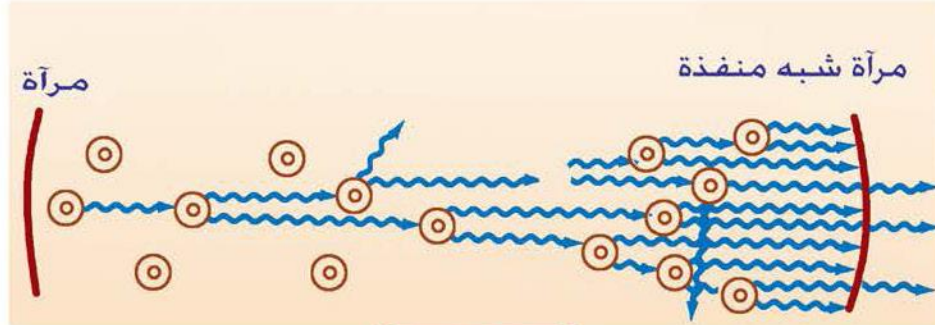
شكل (٧ - ١٨)

تتابع خطوات الفعل الليزر



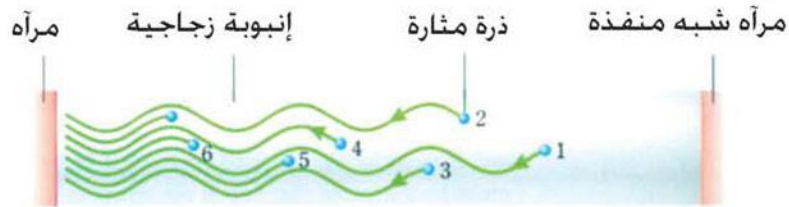
شكل (٧ - ٨ ج)

الإسكان المعكوس عن طريق مستوى ثالث
شبه مستقر



شكل (٧ - ٨د)

الانعكاس التبادلي بين المرآتين



شكل (٧ - ٨هـ)

تضخيم الإشعاع بالانعكاسات المتتالية

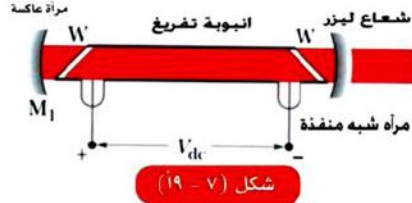


شكل (٧ - ٨و)

الإشعاع الخارج من المرآة شبه المنفذة

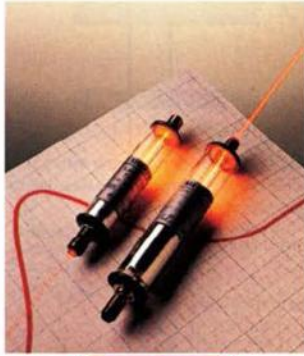
ليزر الهليوم - نيون (Helium - Neon Laser)

يتركب جهاز ليزر الهيليوم - نيون مما يلي :



شكل (٧ - ١٩)

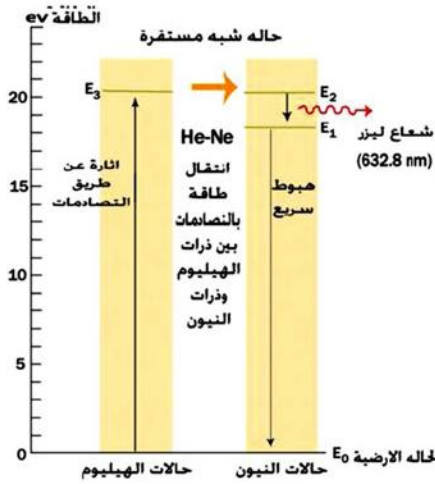
رسم تخطيطي لجهاز الليزر هليوم - نيون



شكل (٧ - ٩ب)

شكل خارجي لجهاز ليزر الهليوم - نيون

(حوالي 10^{-3} s)، ويسمى هذا المستوي بالمستوي شبه المستقر **Metastable State**. وبذلك يتحقق وضع الإسكان المعكوس



شكل (٧ - ١١٠)

رسم مبسط لمخطط مستويات الطاقة

في ليزر الهليوم - نيون

- 1- أنبوبة من زجاج الكوارتز بها خليط من ذرات غازي الهيليوم والنيون بنسبة 1:10 على الترتيب، تحت ضغط منخفض حوالي 0.6 mmHg (شكل 7-9 أ) (شكل 7-9 ب)، وقد تم اختيار هذين العنصرين نظرا لتقارب قيم طاقة مستويات الإثارة شبه المستقرة في ذرات كل منهما.
- 2- يوجد عند نهايتي الأنبوبة مرآتان مستويتان متوازيتان ومتعامدتان على محور الأنبوبة، معامل انعكاس إحداهما 99.5% والأخرى شبه منفذة ومعامل انعكاسها 98%.

- 3- مجال كهربائي عال التردد يغذي الأنبوبة من الخارج لإثارة ذرات الهيليوم والنيون، أو فرق جهد كهربائي عال مستمر يسلب على الغازين داخل الأنبوبة لإحداث تفريغ كهربائي

Electric Discharge

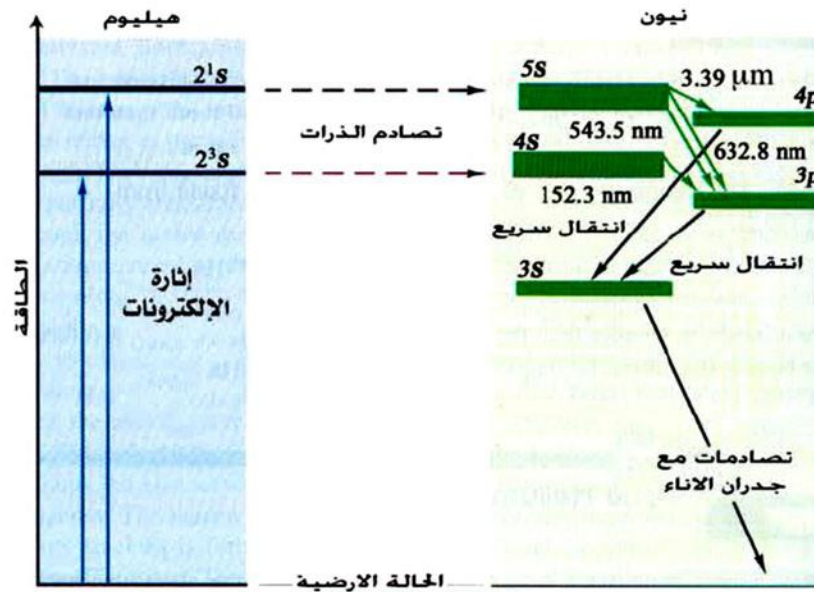
عمل الجهاز:

- 1- يؤدي فرق الجهد الكهربائي داخل الأنبوبة إلى إثارة ذرات الهيليوم إلى مستويات الطاقة العليا، كما بالشكل (7 - 10).
- 2- تصطدم ذرات الهيليوم المثارة بذرات النيون. ونتيجة لتقارب قيم طاقة مستويات الإثارة شبه المستقرة بين الذرتين تثار ذرات النيون.
- 3- يحدث تراكم لذرات النيون المثارة في مستوي طاقة يتميز بفترة عمر طويلة نسبيا

Population Inversion

- 4- تهبط أول مجموعة من ذرات النيون تم إثارتها هبوطا تلقائيا إلى مستوي طاقة إثارة أقل، وبذلك تشع فوتونات لها طاقة تعادل الفرق بين طاقتي المستويين، وهذه الفوتونات تنتشر عشوائيا في جميع الاتجاهات داخل الأنبوبة.
- 5- مجموعة الفوتونات التي تتحرك في اتجاه محور الأنبوبة تصادف في طريقها أحد المرآتين العاكستين، فترتد بذلك مرة أخرى داخل الأنبوبة ولا تستطيع الخروج.
- 6- أثناء حركة الفوتونات بين المرآتين داخل الأنبوبة، تصطدم ببعض ذرات النيون في مستوي الإثارة شبه المستقر والتي لم تنته فترة العمر لها، فتحثها على إطلاق فوتونات لها نفس طاقة واتجاه الفوتونات المصطدمة بها. فيتضاعف بذلك عدد الفوتونات المتحركة داخل الأنبوبة بين المرآتين.
- 7- تتكرر الخطوة السابقة مرة أخرى، ولكن بالعدد الجديد من الفوتونات المتحركة بين المرآتين، فيتضاعف هذا العدد مرة أخرى، وهكذا حتى تتم عملية تضخيم الإشعاع.

- 8- عندما تصل شدة الإشعاع داخل الأنبوبة إلى حد معين، يخرج جزء منه من خلال المرآة شبه المنفذة في صورة شعاع ليزر، ويبقى باقي الإشعاع داخل الأنبوبة لتستمر عملية الانبعاث المستحث وإنتاج الليزر.
- 9- بالنسبة لذرات النيون التي هبطت إلى المستوي الأقل فإنها تفقد بعد فترة وجيزة باقي ما بها من طاقة في صور أخرى متعددة وتهبط إلى المستوي الأرضي لتتصادم بها ذرات هيليوم أخرى، وتمدها بالطاقة لمستوي الإثارة شبه المستقر، وهكذا.
- 10- بالنسبة لذرات الهيليوم التي فقدت طاقتها بالتصادم مع ذرات النيون وعادت إلى المستوي الأرضي، فإنها تعود وتثار مرة أخرى بفعل التفريغ الكهربائي داخل الأنبوبة،
- 11- الشكل (7-10 ب) يوضح الانتقالات الفعلية بين مستويات الطاقة في ليزر الهيليوم - نيون



شكل (٧ - ١٠ ب)

الانتقالات الفعلية بين مستويات الطاقة في ليزر الهيليوم - نيون

تطبيقات على الليزر:

يغطي ضوء الليزر مناطق عديدة من الطيف الكهرومغناطيسي بدءاً من منطقة الضوء المرئي إلى منطقتي الأشعة فوق البنفسجية وتحت الحمراء. ويوجد حالياً أنواع وأحجام مختلفة من الليزر، فبعض أجهزة الليزر يمكن أن تركز الضوء في نقطة صغيرة كافية لإسالة وتبخير الحديد، ومنها ما يكفي لتقن الماس، بالمقابل هناك أنواع أخرى من أجهزة الليزر تبعث من الطاقة ما يكفي لتدمير الصواريخ والطائرات التي قد تستخدم في ما يسمى حرب النجوم Star War .

ومن أهم التطبيقات الأخرى لأشعة الليزر ما يلي :

أ- الهولوجرافي أو التصوير المجسم Holography:

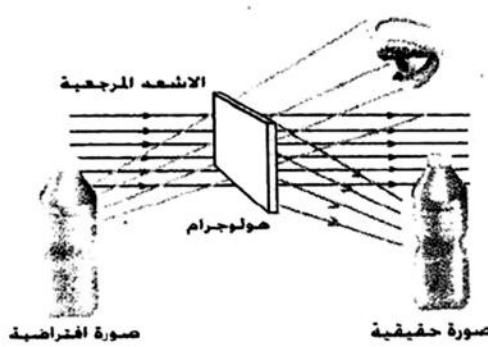
تتكون صور الأجسام بتجميع الأشعة الضوئية التي تترك سطح الجسم المضاء حاملة المعلومات منه إلى حيث تتكون الصورة نتيجة الاختلاف في الشدة الضوئية لهذه الأشعة من نقطة إلى أخرى. فهل الشدة الضوئية لهذه الأشعة تحمل كل ما يمكن من معلومات عن سطح الجسم؟

لنأخذ شعاعين يمثلان موجتين تركا الجسم المضاء عند نقطتين عليه. هناك اختلاف في سعة الموجتين يظهر كاختلاف في الشدة الضوئية. لأن الشدة الضوئية تتناسب مع مربع السعة. ولكن هناك أيضاً اختلاف في طول المسار الذي تتبعه الموجة من كل من النقطتين على سطح الجسم المضاء إلى اللوح الفوتوجرافي الذي تسجل عليه الصورة بسبب وجود تضاريس على سطح الجسم. بذلك فإن الأشعة التي تترك الجسم المضاء تحمل - بجانب الاختلاف فيما بينهما في الشدة الضوئية - اختلافاً في طول المسار عند وصولها إلى اللوح الفوتوجرافي.

بتعبير آخر، هناك اختلاف في طور موجات الضوء يساوي $(\frac{2\pi}{\lambda} \times \text{فرق المسار})$.

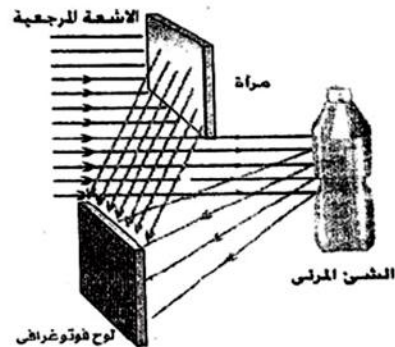
يسجل اللوح الفوتوجرافي المعتاد الاختلاف في الشدة الضوئية فقط، وهو ما يكون الصورة المستوية (ثلاثية الأبعاد) Plane Image. على ذلك فإن ما نحصل عليه من صور مستوية هو نتيجة جزء فقط من المعلومات التي تحملها موجات الضوء عن الجسم.

في عام 1948 اقترح العالم المجري جابور Gabor - الحاصل على جائزة نوبل - طريقة للحصول على ما لم نحصل عليه من المعلومات واستخراجها من الأشعة المنعكسة عن الجسم باستخدام أشعة أخرى لها نفس الطول الموجي، نسميها الأشعة المرجعية Reference Beam، وهي حزمة من الأشعة المتوازية تلتقي مع حزمة الأشعة التي تترك الجسم المضاء حاملة المعلومات، ويتم إلتقاء الحزمتين عند اللوح الفوتوجرافي، فتحدث نتيجة لذلك ظاهرة التداخل الضوئي بين حزمتي الأشعة. وبعد تحميل اللوح الفوتوجرافي، تظهر هدب التداخل الناتجة وهي صورة مشفرة نسميها الهولوجرام Hologram. بإثارة الهولوجرام بأشعة ليزر لها نفس الطول الموجي وبالنظر خلاله بالعين المجردة، نرى صورة مماثلة تماماً للجسم في أبعاده الثلاثة دون استخدام عدسات. لا يمكن تحقيق ذلك إلا باستخدام مصدر ضوئي فوتونات موجاته مترابطة. وهذا متوفر فقط في أشعة الليزر. (شكل 11-7 أ) (شكل 11-7 ب)



شكل (11-7) أ

الهولوجرام هو نوع من محزوز الحيود



شكل (11-7) ب

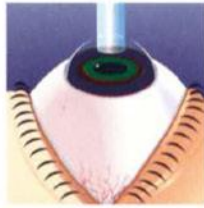
تكوين الهولوجرام

ب- في الطب :



شكل (٧-١٢)

استخدام الليزر في علاج
الانفصال الشبكي



شكل (٧-١٣)

مراحل علاج القرنية بالليزر

تحتوي الشبكية **Retina** في العين علي خلايا حساسة للضوء. أحيانا تصاب العين بانفصال بعض أجزاء الشبكية . في هذه الحالة تفقد الأجزاء المصابة بالانفصال وظيفتها ما لم يتم علاجها بسرعة قد تتعرض العين إلي انفصال تام للشبكية وتفقد العين قدرتها علي الإبصار .

وإذا تم تدارك هذه الحالة في أول الأمر، فإن علاجها يكون عن طريق إجراء عملية تلتحم فيها أجزاء الشبكية المنفصلة بالطبقة التي تحتها. وقديما كانت هذه العملية تستغرق وقتًا وجهدًا كبيرين، إلا أن أشعة الليزر التي تستخدم الآن لهذا الغرض وفرت كل من الوقت والجهد ، فعملية الالتحام شكل (7-12) تتم في أجزاء صغيرة من الشبكية، حيث تصوب حزمة رفيعة من أشعة الليزر خلال إنسان العين إلي الجزء المصاب بالانفصال أو التمزق، وتعمل الطاقة الحرارية لأشعة الليزر علي إتمام عملية الالتحام. وبذلك تتم حماية العين من استمرار انفصال الشبكية من ناحية، وحمايتها من التعرض لفقد القدرة علي الإبصار من ناحية أخرى .

كما يستخدم الليزر في علاج حالات قصر وطول النظر، وبذلك يستغني المريض عن النظارة

شكل (7-13)

وأيضًا يمكن استخدام أشعة الليزر مع الألياف الضوئية في التشخيص والعلاج بواسطة المناظير الطبية

Endoscopes.

ج- في الاتصالات حيث تستخدم أشعة الليزر والألياف الضوئية في الاتصالات كبديل لكابلات التليفونات.

د- في الصناعة وعلي الأخص الصناعات الدقيقة

هـ- في المجالات العسكرية مثل: توجيه الصواريخ بدقة عالية **Precision Guidance** والقنابل

الذكية **Smart Bombs** ورادار الليزر **LADAR (Laser Radar)**

و- التسجيل علي الأقراص المدمجة (أقراص الليزر **CDs**)

ز- طباعة الليزر، حيث يستخدم شعاع ليزر في نقل المعلومات من الكمبيوتر إلى أسطوانة **drum**

عليها مادة حساسة للضوء، ثم يتم الطبع علي الورق باستخدام الحبر **Toner**

ح- الفنون والعروض الضوئية

ط - أعمال المساحة **Surveying** لتحديد المساحات والأبعاد بدقة.

ي- أبحاث الفضاء.

تلخيص

• الانبعاث التلقائي:

هو انطلاق اشعاع من الذرة المثارة عند انتقالها من مستوى طاقة أعلى إلى مستوى طاقة أقل بعد انتهاء فترة العمر تلقائياً وبدون تدخل خارجي.

• الانبعاث المستحث:

هو انطلاق إشعاع من الذرة المثارة نتيجة اصطدامها بفوتون آخر خارجي له نفس طاقة الفوتون المسبب لإثارتها، لتخرج في النهاية فوتونات في حالة ترابط (أي لها نفس الطور والاتجاه والتردد).

• خصائص شعاع الليزر:

- ١- النقاء الطيفي.
- ٢- توازي الحزمة الضوئية.
- ٣- ترابط الفوتونات.
- ٤- شدة وتركيز الإشعاع.

• نظرية عمل الليزر

- ١- الوصول بالوسط الفعال إلى وضع الإسكان المعكوس.
- ٢- انطلاق الطاقة من الذرات المثارة بالانبعاث المستحث.
- ٣- تضخيم الإشعاع المنطلق بالانبعاث المستحث داخل التجويف الرنيني.

• العناصر الأساسية لليزر:

يتضمن أي جهاز ليزر وجود ثلاثة عناصر أساسية هي :

- ١- الوسط المادي الفعال
- ٢- مصدر الطاقة.

٣- التجويف الرنينى.

• ليزر الهيليوم. نيون.

هو أحد أنواع الليزرزات الغازية. والوسط الفعال فيه عبارة عن خليط من غازى الهيليوم والنيون بنسبة 1:10

• تطبيقات الليزر

١- فى مجال التصوير ثلاثى الأبعاد.

٢- فى مجال الطب مثل علاج الشبكية وعلاج قصر وطول النظر.

٣- فى مجال الاتصالات.

٤- فى مجال الصناعة.

٥- فى المجالات العسكرية.

٦- التسجيل على الأقراص المدمجة.

٧- الطباعة الليزر.

٨- عروض الليزر والفنون.

٩- أعمال المساحة.

١٠- أبحاث الفضاء.

أسئلة ومقارن

أسئلة المقال

- ١- ما المقصود بكلمة الليزر؟
- ٢- قارن بين الإشعاع التلقائي والإشعاع المستحث من حيث الطريقة التي يحدث بها كل منهما وخصائصه
- ٣- يتميز ضوء الليزر عن الضوء العادي بعدة خصائص. ناقش كلاً من هذه الخصائص بالتفصيل
- ٤- ناقش بالتفصيل مبدأ عمل الليزر
- ٥- ما المقصود بكل من: عملية الضخ - وضع الإسكان المعكوس.
- ٦- ما هو الدور الذى يقوم به التجويف الرنينى فى إنتاج شعاع الليزر؟
- ٧- تتكون أجهزة الليزر على اختلاف أنواعها من ثلاثة عناصر أساسية. ما هى هذه العناصر؟
- ٨ - على أى أساس تم اختيار عنصرى الهليوم والنيون كوسط فعال لإنتاج شعاع الليزر؟
- ٩- ما هو الدور الذى يقوم به عنصر الهليوم فى توليد الليزر فى ليزر الهليوم - نيون؟
- ١٠- أشرح بالتفصيل كيف تم توليد شعاع الليزر فى جهاز ليزر الهليوم - نيون.
- ١١- اشرح بالتفصيل كيف تتم عملية التصوير ثلاثى الأبعاد باستخدام الليزر.
- ١٢- يستخدم الليزر كثيراً فى مجال الطب. ناقش أحد استخداماته فى هذا المجال.
- ١٣ - يلعب الليزر دوراً فعالاً فى توجيه الصواريخ فى التطبيقات الحربية. على أى أساس يستخدم الليزر فى هذا الغرض؟

مقدمة فى الفيزياء الحديثة



الوحدة الثانية

الفصل الثامن : الإلكترونيات الحديثة

الفصل الثامن

الإلكترونيات الحديثة

مقدمة:

يشهد العالم تقدماً هائلاً في مجال الإلكترونيات والاتصالات، حتى أنها أصبحت السمة المميزة لهذا العصر. فقد أصبحت الإلكترونيات والاتصالات، جزءاً لا يتجزأ من حياتنا، فالتليفزيون والتليفون المحمول والكمبيوتر والأقمار الصناعية وغيرها من النظم تعد شاهداً على التقدم الهائل في استخدامات الإلكترونيات والاتصالات سواء في نقل المعلومات أو الترفيه أو الثقافة، بل أنها أصبحت أيضاً عنصراً أساسياً في الحرب الحديثة. فلم تعد الأسلحة قوة نيران فقط، وإنما يقوم التوجيه والاستطلاع والرصد والتشويش والخداع بدور حاسم. كذلك في مجال الطب، سواء في التشخيص أو المتابعة أو العمليات الجراحية، فإن الإلكترونيات لها دور أساسي. وباختصار لا يوجد مجال واحد من مجالات الحياة إلا وتلعب الإلكترونيات دوراً حيوياً فيه، بدءاً من الألعاب الإلكترونية إلى الحرب الإلكترونية. ومن ثم فلا بد من تحصيل قدر مبسط من المعلومات عن الإلكترونيات، مهما كان التخصص المهني مستقبلاً.

أشباه الموصلات النقية:

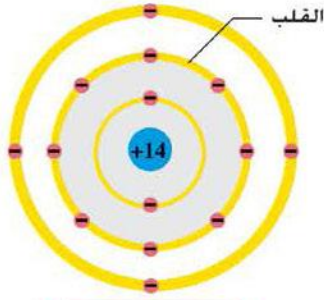
توجد ثلاثة أنواع من المواد من وجهة نظر التوصيلية الكهربائية، وهي الموصلات

Conductors والعوازل Insulators وأشباه الموصلات Semiconductors.

الموصلات: هي التي توصل الكهرباء والحرارة بسهولة (مثل المعادن).

العوازل: التي لا توصل الكهرباء والحرارة بسهولة (مثل الخشب والبلاستيك).

أشباه الموصلات: هي مرحلة متوسطة تتميز بأن التوصيلية تزداد مع درجة الحرارة (ومن أمثلتها السيليكون).

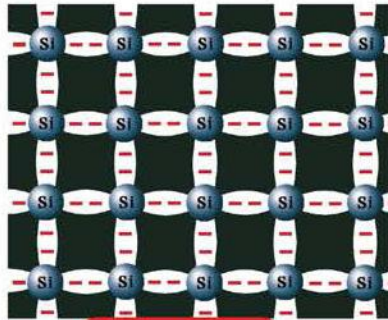


شكل (٨ - ١)

ذرة السيليكون

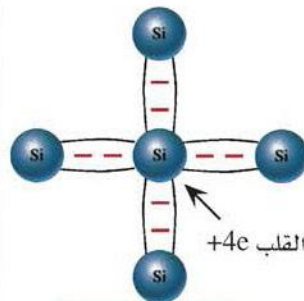
السيليكون من العناصر المهمة في الكون. فهو يدخل في تركيب الرمل وصخور القشرة الأرضية. ولكن بلورة السيليكون النقي تتكون من ذرات سيليكون تربطها روابط تساهمية (البلورة هي ترتيب هندسي منتظم للذرات في الحالة الجامدة). فذرة السيليكون تحتوى على أربعة إلكترونات في القشرة الخارجية (شكل ٨ - ١)، ولذلك تتشارك كل ذرة سيليكون مع أربعة ذرات من جيرانها، بحيث تكتمل القشرة الخارجية Outer Shell. وبذلك تحتوى القشرة الخارجية لكل ذرة سيليكون على ثمانية إلكترونات بأسلوب التشارك (شكل ٨ - ٢، ب). ولا بد أن نميز هنا بين

نوعين من الإلكترونات السيليكون. النوع الأول إلكترونات المستويات الداخلية، وهي مرتبطة بشدة Tightly Bound، وترتبط جذبا بنواة الذرة. ثم النوع الثانى إلكترونات التكافؤ فى القشرة الخارجية Valence Electrons ولها حرية أكبر فى الحركة عبر المسافات البينية. وفى درجات الحرارة المنخفضة (شكل ٨ - ٢ ج) تكون جميع الروابط بين الذرات فى البلورة سليمة ولا توجد فى هذه الحالة إلكترونات حرة على غرار المعدن. إلا أنه بارتفاع درجة الحرارة تنكسر بعض الروابط Bonds فتنتقل بعض الإلكترونات من روابطها وتصبح إلكترونات حرة. ويترك مثل هذا الإلكترون وراءه مكانا فارغا فى الرابطة المكسورة Broken Bond يعبر عنه



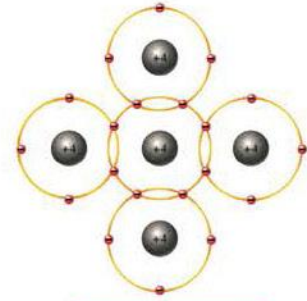
شكل (٨ - ٢ ج)

بلورة السيليكون فى درجة الصفر المطلق كل الروابط سليمة



شكل (٨ - ٢ ب)

(الرابطة التساهمية) يمكن تمثيل ذرة السيليكون (نواة موجبة +14 وإلكترونات سالبة -14) بقلب شحنته موجبة +4e يحيط به أربعة إلكترونات فى القشرة الخارجية شحنتها سالبة -4e



شكل (٨ - ٢ أ)

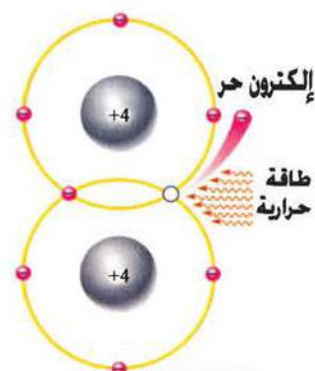
كل ذرة تتشارك مع جيرانها الأربعة

بالفجوة Hole التي كان الإلكترون يشغلها (شكل ٨ - ٣) . ولأن الذرة متعادلة فإن غياب إلكترون عن الذرة يعنى ظهور شحنة موجبة. ولذلك فإن الفجوة تمثل شحنة موجبة. ويلاحظ أننا لا نسمى الذرة التي كسرت أحد روابطها أيونا لأن الفجوة سرعان ما تقتنص إلكترون آخر، إما من رابطة مجاورة أو من الإلكترونات الحرة. فتعود الذرة متعادلة كما كانت، وتنتقل الفجوة إلى رابطة أخرى وهكذا.



شكل (٨ - ٣)

كلما زادت درجة الحرارة كسرت روابط أكثر



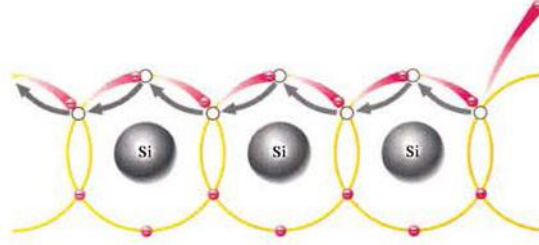
شكل (٨ - ٣)

كسر الرابطة يحتاج طاقة

وكلما زادت درجة الحرارة زاد عدد الإلكترونات الحرة وعدد الفجوات، مع مراعاة أن عدد الإلكترونات الحرة يساوى عدد الفجوات في حالة السيليكون النقي. ولا تظل هذه الزيادة مستمرة حيث تصل البلورة إلى حالة من الاتزان الديناميكي Dynamic Equilibrium تسمى الاتزان الحراري Thermal Equilibrium، إذ لا تنكسر إلا نسبة ضئيلة من الروابط، وفيها يتساوى عدد الروابط المكسورة في الثانية مع عدد الروابط التي يتم تكوينها في الثانية، ليبقى في النهاية هناك عدد ثابت من الإلكترونات الحرة والفجوات الحرة لكل درجة حرارة.

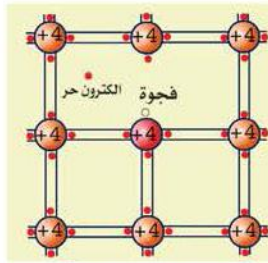
وعلى ذلك فإن الإلكترونات الحرة تمثل النوع الثالث من الإلكترونات التي تتحرك، وهى أيضا مقيدة ولكن في حيز أكبر هو البلورة ذاتها، ويحدها سطح البلورة. يحتاج كسر الرابطة إلى حد أدنى من الطاقة إما على صورة طاقة حرارية أو ضوئية. وفي حالة التسام الرابطة Recombination تنطلق الطاقة على شكل طاقة حرارية أو ضوئية.

وكما يتحرك الإلكترون حركة عشوائية، تتحرك أيضا الفجوات عشوائيا حيث تتجه حركة الإلكترونات داخل الروابط لملء الفراغات التي تنشأ عن كسر الروابط (شكل ٨ - ٤).



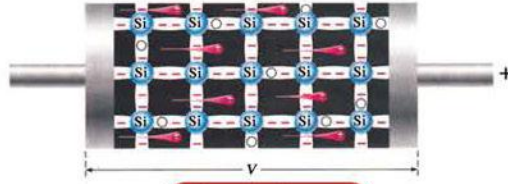
شكل (٨ - ٤)

تتحرك الفجوات عشوائيا بين الروابط



شكل (٨ - ٤ ج)

عند درجة حرارة معينة يظل عدد الإلكترونات الحرة والفجوات الحرة ثابتا

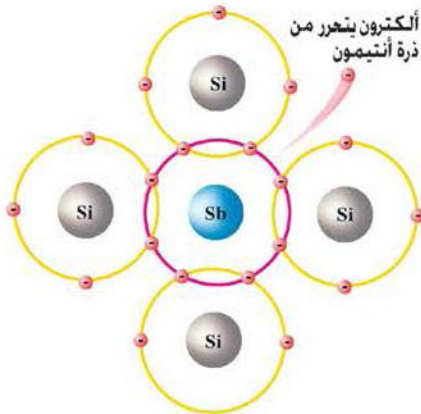


شكل (٨ - ٤ ب)

حركة الفجوات تكافئ حركة الإلكترونات داخل روابطها (في اتجاه عكسي)

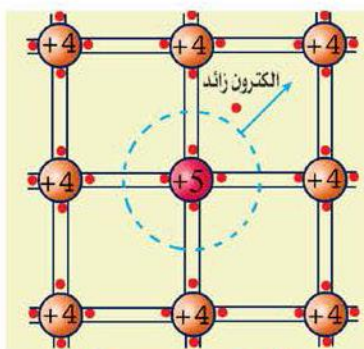
التطعيم (إضافة الشوائب) Doping

تتميز أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة للشوائب Impurities، كما تتميز بحساسيتها الشديدة للحرارة. وحيث أن السيليكون من المجموعة الرابعة في الجدول الدوري فإن إضافة عنصر مثل الفوسفور P أو الأنتيمون Sb وغيره من المجموعة الخامسة Pentavalent، من شأنه إحلال الذرة الشائبة مكان ذرة سيليكون (شكل ٨ - ١٥). هنا تحاول ذرة الفوسفور أن تقوم بنفس العمل الذي



شكل (٨ - ١٥)

ذرة أنتيمون (المجموعة الخامسة) تحل محل ذرة سيليكون



شكل (٨ - ٥)

التطعيم بشائبة خماسية يوفر إلكترونات حرة للشوائب. ويمكن تمثيل ذرة الشائبة بقلب شحنته موجبة +5C يحيط به خمسة إلكترونات أربعة منها في روابط والإلكترون الزائد يتحرر

كانت تقوم به ذرة السيليكون، من حيث إنشاء الروابط مع الجيران. ولأن الذرة الشائبة تحتوي على خمسة إلكترونات فإن أربعة منها تشترك في الروابط ويبقى إلكترون واحد خارج هذه الروابط. وتكون قوى الجذب عليه ضعيفة فسرعان ما تفقده الذرة الشائبة نهائياً وتصبح أيونا موجبا، وينضم هذا الإلكترون الحر إلى رصيد البلورة من الإلكترونات الحرة. أي أن البلورة

أصبح لها مصدر آخر للإلكترونات الحرة وهو ذرات الشوائب. وتسمى مثل هذه الذرة الشائبة بالذرة المعطية Donor. ويحدث اتزان حرارى حيث يكون مجموع الشحنة الموجبة = مجموع الشحنة السالبة.

$$n = p + N_D^+$$

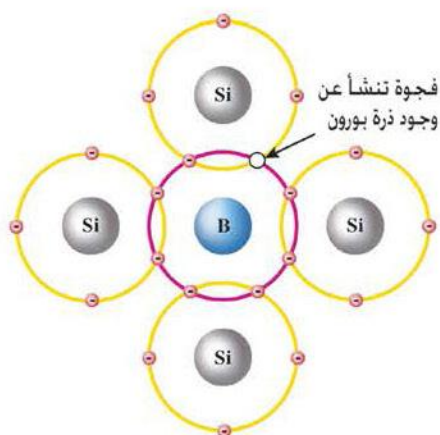
(٨ - ١)

حيث N_D هو تركيز أيونات الشوائب المعطية و n هو تركيز الإلكترونات الحرة و p هو تركيز الفجوات. ومن ثم يتضح أنه في هذه الحالة n أكبر من p تصبح هذه المادة من نوع n-type. وبالعكس إذا أضفنا ذرات الألومنيوم Al أو بورون B وغيره (المجموعة الثالثة) بدلا من الفوسفور أو الأنتيمون وغيره (شكل ٨ - ٦)، هنا تكتسب ذرة الشائبة ذات الإلكترونات الثلاثة إلكترونات من إحدى روابط السيليكون ليصبح عددها أربعة فتظهر فجوة في رابطة سيليكون. ونتيجة لذلك، تضيف ذرات الشوائب فجوات غير الفجوات التي نشأت بفعل الحرارة. ويتطلب الاتزان الحرارى أن يكون:

$$p = N_A^- + n$$

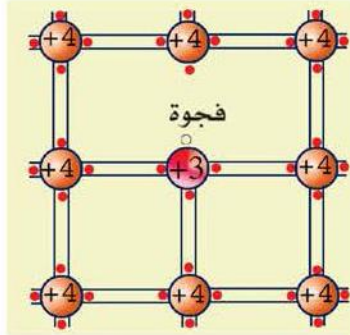
(٨ - ٢)

حيث N_A هو تركيز أيونات الشوائب السالبة، أي أن p أكبر n في هذه الحالة، وتسمى مثل هذه الذرة المستقبلة Acceptor. وفي جميع الأحوال نجد أن



شكل (٨ - ٦)

ذرة بورون (المجموعة الثالثة) تحل محل ذرة سيليكون



شكل (٨ - ٦) ب

التطعيم بشائبة ثلاثية يوفر فجوات حرة للتوصيل. يمكن تمثيل ذرة الشائبة بقلب شحنته موجبه +3C يحيط به ثلاثة إلكترونات ثم تخطف الذرة إلكترونًا من ذرة سليكون مكونة فجوة

$$np = n_i^2$$

(٣ - ٨)

حيث n_i هو تركيز الإلكترونات أو الفجوات في حالة السيليكون النقي، أي أنه إذا زادت n تنقص p وبالعكس. ويسمى هذا قانون فعل الكتلة - Mass Action Law. ويمكن على سبيل التقريب أن نقول:

في حالة n - type

$$n = N_D^+$$

(٤ - ٨)

$$p = n_i^2 / N_D^+$$

(٥ - ٨)

وفي حالة p - type

$$p = N_A^-$$

(٦ - ٨)

$$n = n_i^2 / N_A^-$$

(٧ - ٨)

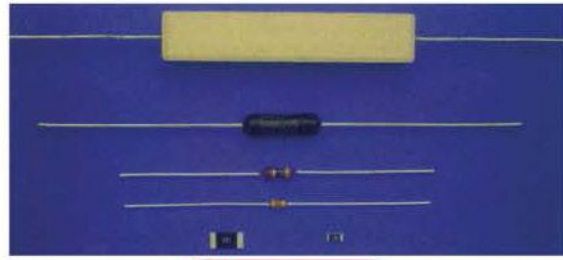
المكونات أو النبائط الإلكترونية Electronic Components and Devices

المكونات والنبائط Devices هي وحدات البناء التي تبني عليها كل الأنظمة الإلكترونية (شكل ٨ - ٧). بعض هذه المكونات بسيطة مثل المقاومة R وملف الحث L والمكثف C . وبعضها أكثر تعقيدا مثل الوصلة الثنائية pn-junction (دايود) والترانزيستور Transistor بأنواعه. كما توجد نبائط أخرى متخصصة (مثل نبائط كهروضوئية ونبائط التحكم في التيار وغيرها). وتتميز أشباه الموصلات والتي تصنع منها أغلب النبائط بحساسيتها للعوامل المحيطة بها مثل الضوء والحرارة والضغط والتلوث الذري والكيميائي وغيرها. ولهذا تستخدم كمحسسات Sensors أي كوسائل قياس لهذه العوامل. وعن طريقها يمكن قياس شدة الضوء الساقط أو درجة الحرارة أو الضغط أو الرطوبة أو التلوث الكيميائي أو الإشعاع الذري وغيرها.



شكل (٨ - ٧ب)

مجموعة من الدايدو والترانزستور



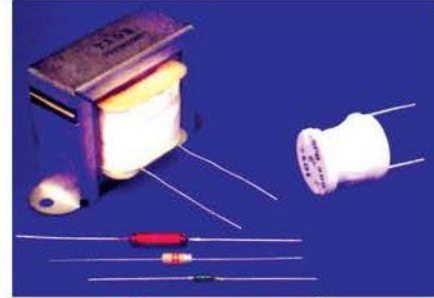
شكل (٨ - ٧أ)

مجموعة مقاومات



شكل (٨ - ٧د)

مجموعة من المكثفات



شكل (٨ - ٧ج)

مجموعة من ملفات الحث



شكل (٨ - ٧و)

مجموعة من المفاتيح

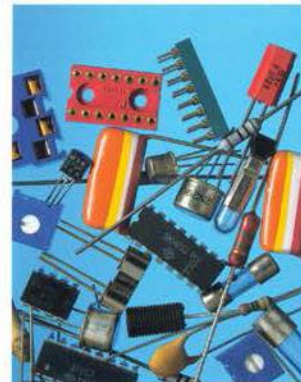


شكل (٨ - ٧هـ)

مجموعة من المحولات

شكل (٨ - ٧ز)

مجموعة مختلفة من النبايط والمكونات الإلكترونية
(هل يمكنك التعرف على بعضها؟)



الوصلة الثنائية pn Junction:

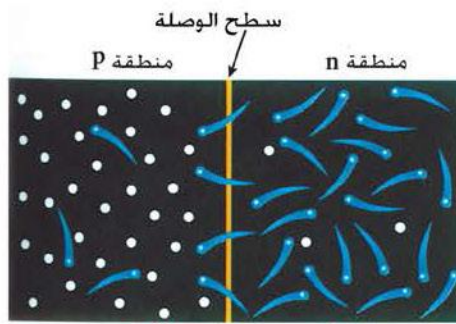


شكل (٨ - ٨)

الوصلة الثنائية

تتكون الوصلة الثنائية pn Junction (شكل ٨ - ٨) من جزئية أحدها من النوع n-type والآخر من النوع p-type، ففي هذه الحالة فإن الفجوات في p-type - وهى ذات

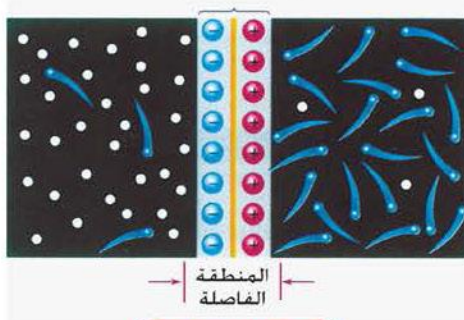
تركيز عال - تنتشر إلى منطقة n-type حيث أن تركيز الفجوات بها قليل. وكذلك الإلكترونات في منطقة n-type ذات التركيز العالى تنتشر في منطقة p-type ذات التركيز المنخفض بالنسبة للإلكترونات. ولذا ينشأ تيار انتشار يدفع الفجوات من منطقة p إلى منطقة n وتيار يدفع الإلكترونات من منطقة n إلى منطقة p. ولما كانت كل منطقة على حدة متعادلة (بسبب تعادل الشحنات الموجبة والشحنات السالبة في كل منطقة على حدة)



شكل (٨ - ٩)

انتقال الإلكترونات من n إلى p

والفجوات من p إلى n



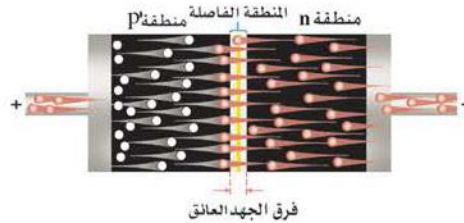
شكل (٨ - ٩ ب)

المنطقة الفاصلة خالية من الإلكترونات

والفجوات (أيونات فقط)

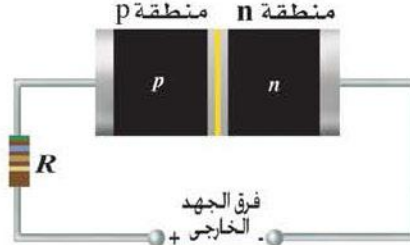
فإن هجرة الكترونات من منطقة n-type من شأنه أن يكشف جزءا من الأيونات الموجبة دون غطاء يعادلها من الإلكترونات. وكذلك فإن هجرة فجوات من منطقة p-type من شأنه كشف جزء من الأيونات السالبة دون غطاء يعادلها من الفجوات وينتج عن ذلك منطقة خالية من الإلكترونات والفجوات تكون بها أيونات موجبة في ناحية وإيونات سالبة في ناحية أخرى تسمى المنطقة الفاصلة Transition Region. (أو المنطقة القاحلة Depletion Region) ينشأ في هذه المنطقة مجال كهربى داخل الوصلة يتجه من الأيونات الموجبة إلى الأيونات السالبة ويتسبب في دفع تيار (يسمى تيارا انسيابيا Drift Current) فى اتجاه عكس اتجاه تيار الانتشار. وفي حالة الاتزان يتزن التيار فى الاتجاه الأمامى مع التيار فى الاتجاه العكسى لتكون المحصلة صفراً (شكل ٨ - ٩). فإذا طبقنا جهداً خارجياً بحيث يكون الطرف p متصلاً بالطرف الموجب للبطارية (والطرف n متصلاً بالطرف السالب للبطارية) فإن المجال الناشئ عن البطارية يكون عكس اتجاه

المجال الداخلى فى المنطقة الانتقالية فيضعفه. أما إذا عكسنا اتجاه فرق الجهد فإن المجالين يكونان فى نفس الاتجاه. ومعنى ذلك أنه فى الاتجاه الأول (الأمامى Forward Bias (Connection) يسمح بمرور تيار. ويكون التوصيل فى هذه الحالة أمامى



شكل (٨ - ١٠)

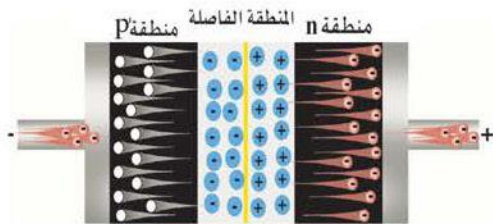
حركة الإلكترونات والفجوات نتيجة فرق الجهد الخارجى



شكل (٨ - ١١)

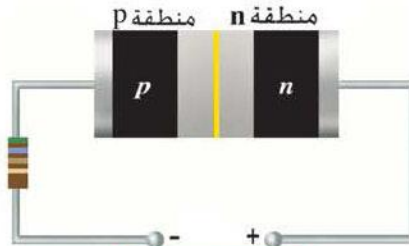
تطبيق فرق جهد خارجى أمامى

حيث يكون p متصل بالطرف الموجب و n متصل بالطرف السالب للبطارية (شكل ٨ - ١٠) أما التوصيل العكسى Reverse Bias فيكون حيث توصل p بالطرف السالب و n متصل بالطرف الموجب للبطارية (شكل ٨ - ١١). وهكذا فإن الوصلة الثنائية توصل



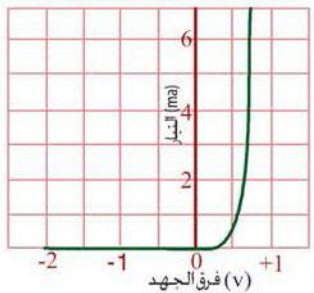
شكل (٨ - ١١)

حركة الإلكترونات والفجوات فى التوصيل العكسى



شكل (٨ - ١١)

التوصيل العكسى فى الوصلة الثنائية



فرق جهد أمامى | فرق جهد عكسى

شكل (٨ - ١٢)

التمثيل البيانى بين فرق الجهد والتيار فى الوصلة

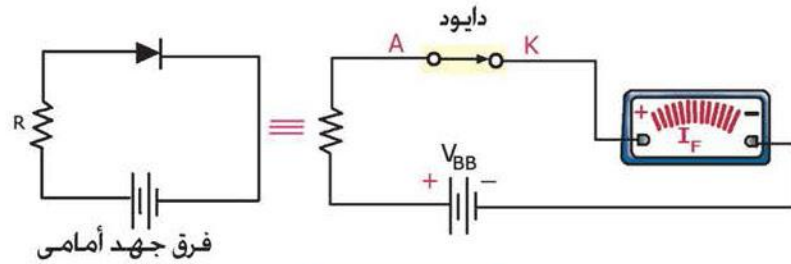
التيار بسهولة فى اتجاه وتمنعه تقريباً فى الاتجاه العكسى ، (شكل ٨ - ١٢). ويمكن تشبيه عمل الوصلة بمفتاح يكون المفتاح مغلقاً فى الاتجاه الأمامى للجهد ومفتوحاً فى الاتجاه العكسى (شكل ٨ - ١٣). ومن ثم يمكن التأكد من سلامة الوصلة الثنائية باستخدام أوميتر، إذ يجب أن يعطى مقاومة صغيرة جداً فى اتجاه ومقاومة عالية جداً فى الاتجاه العكسى. وهذا السلوك يختلف تماماً عن المقاومة الكهربائية التى توصل التيار بنفس القيمة إذا انعكس اتجاه التيار فى حالة إذا ما انعكس فرق

الجهد. للوصلة الثنائية دور مهم في عملية تقويم التيار المتردد Rectification (أي جعله في اتجاه واحد) وهو ما يستخدم في شحن بطاريات السيارة وشحن شاحن التليفون المحمول Mobile وغيره ، حيث تستخدم الوصلة الثنائية - وتسمى عادة دايود Diode - في تحويل التيار المتردد AC إلى تيار مستمر DC .

كاثود
أنود

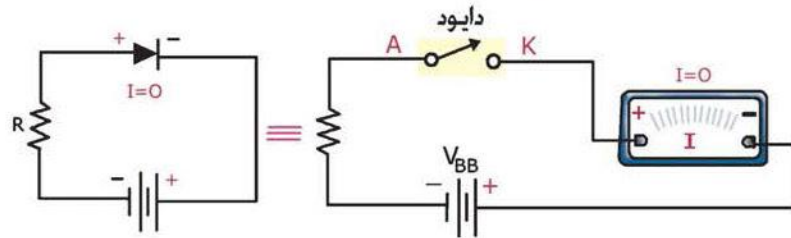
شكل (٨ - ١١٣)

رمز الدايود



شكل (٨ - ١٣ح)

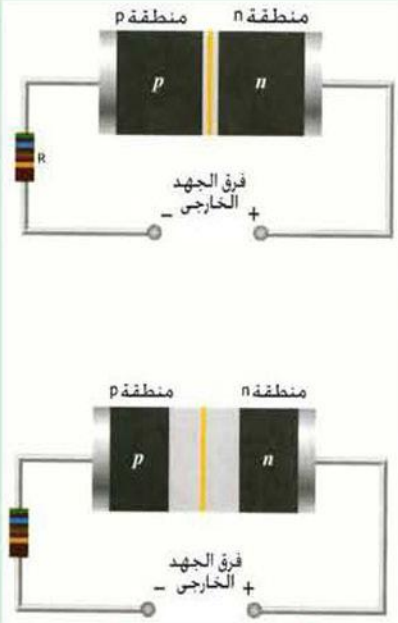
في الاتجاه الأمامي تمثل الوصلة الثنائية مفتاحاً مغلقاً (يوصل التيار)



شكل (٨ - ١٣د)

في الاتجاه العكسي يمثل الوصلة الثنائية مفتاحاً مفتوحاً (لا يوصل التيار)

معلومة إرشادية



شكل (٨ - ١٤)

عرض المنطقة الفاصلة يزداد مع
ازدياد فرق الجهد العكسي

التوليف الإلكتروني Electronic Tuning

لضبط جهاز الراديو أو التلفزيون على محطة معينة، نحتاج ضبط قيمة مكثف ملف حث لتعطي الدائرة تردداً يساوي تردد المحطة المطلوب الاستماع إليها أو مشاهدتها، وهو ما يسمى بالرنين Resonance، وفي الأجهزة الحديثة يتم تغيير قيمة المكثف باستخدام خاصية الدايمود في حالة وجود جهد عكسي. إذ يزداد عرض المنطقة الفاصلة، كلما زاد الجهد العكسي (شكل ٨ - ١٤) حسب هذا الجهد. ولأن زيادة هذا العرض تعني تزايداً في الشحنات أي الأيونات، فيشبه هذا التغير في الشحنة مع فرق الجهد ما يحدث على طرفي المكثف. أي أن الدايمود في الاتجاه العكسي يكافئ مكثفاً Capacitor وهكذا يمكن تغيير قيمته حسب فرق الجهد العكسي عليه. وهذا ما يسمى التوليف الإلكتروني.

الترانزستور Transistor:



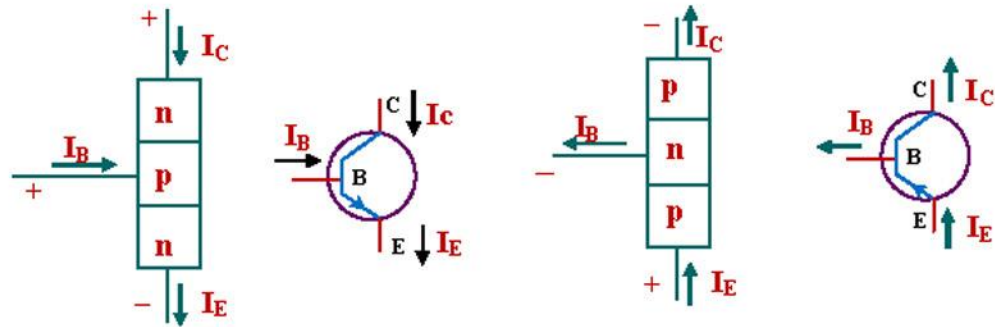
مخترعو الترانزستور
باردين وشوكلي وبراتين (من اليسار)

تم ابتكار الترانزستور عام 1955 ويرجع الفضل في ذلك إلى كل من جون باردين Bardeen وويليام شوكلي Shockley ووالتر براتين Brattain.

توجد أنواع مختلفة من الترانزستور وسنكتفي هنا بالترانزستور Bipolar junction (BJT transistor) من نوع npn ونوع pnp وبجني ذلك أن هذا النوع يتكون من منطقة p تليها n ثم p أو منطقة n تليها p ثم n (شكل 8 - 15)

وتسمى المنطقة الأولى الباعث (Emitter (E) والأخيرة المجمع (Collector (C) والوسطى القاعدة (Base (B) ، وتسمى القاعدة صغير للخلية.

ويمكن توصيل الترانزستور في الدوائر الإلكترونية بعدة طرق ، منها توصيله بحيث تكون القاعدة مشتركة. فمثلا في حالة الترانزستور npn تكون الوصلة الأولى np (الباعث - القاعدة) أمامية التوصيل Forward biased ، أما الوصلة الثانية pn (المجمع - القاعدة) فتكون عكسية التوصيل Reverse biased .



في هذه الحالة تنطلق الإلكترونات الحرة من الباعث من النوع n إلى القاعدة من النوع p حيث تنتشر لبعض الوقت إلى أن يندمجها المجمع من النوع n ، ولأن الإلكترونات تنتشر في قاعدة مليئة بالفجوات فإن عملية الالتكامل recombination التي تتم في القاعدة تسهل نسبة من هذه الإلكترونات. وبالتالي فإذا كان تيار الإلكترونات المنطلق من الباعث I_E فإن ما يصل إلى المجمع I_C يكون أقل من تيار الباعث حيث يمر في دائرة القاعدة التيار I_B وبهذا يكون

$$I_E = I_C + I_B$$

للترانزستور ثوابت تميزه مثل الثابت α_e ويسمى ثابت التوزيع ويمثل النسبة $\frac{I_C}{I_E}$ وقيمته تقرب من الواحد الصحيح لأن عرض القاعدة

صغير جداً فلا تسهل في ملء الفجوات الموجبة إلا نسبة صغيرة من الإلكترونات ، والثابت β_e ويسمى نسبة تكبير التيار ويمثل النسبة $\frac{I_C}{I_B}$ وقيمته كبيرة جداً.

العلاقة بين ثلثي الترانزستور α_e ، β_e :

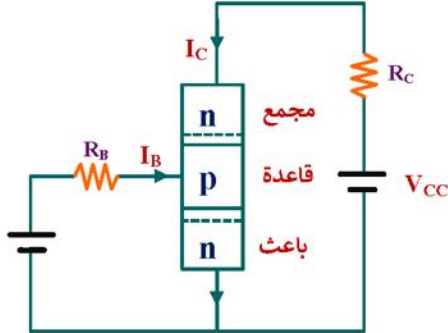
$$I_C = \alpha_e I_E , \quad I_B = (1 - \alpha_e) I_E$$

$$\beta_e = \frac{I_C}{I_B} = \frac{\alpha_e I_E}{(1 - \alpha_e) I_E}$$

$$\therefore \beta_e = \frac{\alpha_e}{1 - \alpha_e}$$

$$\therefore \alpha_e = \frac{\beta_e}{1 + \beta_e}$$

استخدام الترانزستور كمكبر:



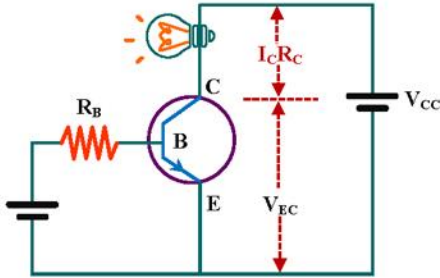
ويمكن توصيل الترانزستور بحيث يكون الباعث مشتركاً، ويستخدم حينها كمكبر **amplifier** للتيار والقدرة الكهربائية، أي أنه إذا وضعت إشارة كهربية صغيرة **signal** مثل الخرج من ميكروفون في تيار القاعدة فإن تأثيرها يظهر مكبّرًا في تيار المجمع، وهذا ما يسمى فعل الترانزستور **Transistor action**.

استخدام الترانزستور كمفتاح:

يوصل الترانزستور بحيث يكون الباعث مشتركاً. في دائرة المجمع يكون

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C$$

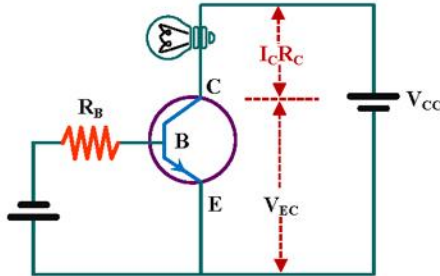
حيث V_{CC} هو جهد البطارية، و V_{CE} هو فرق الجهد بين المجمع والباعث، و I_C شدة تيار المجمع، و R_C مقاومة موجودة بالدائرة. الترانزستور كمفتاح مغلق



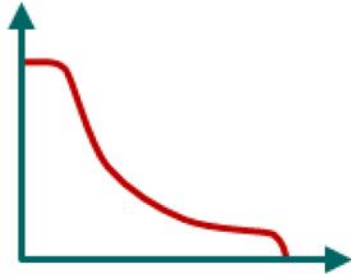
نجد أنه كلما زاد تيار المجمع I_C ، زاد فرق الجهد $I_C R_C$ بين طرفي المقاومة، وقلت قيمة V_{CE} حتى تصل إلى أقل قيمة لها (حوالي $0.2 V$). فإذا اعتبرنا القاعدة هي الدخل V_{in} والمجمع هو الخرج V_{out} ، والباعث مشترك (متصل بجهد الأرضي) وكان جهد القاعدة موجباً وكبيراً، كان تيار المجمع I_C كبيراً ولأن قيمة $I_C R_C$ تكون كبيرة يكون جهد الخرج V_{CE} صغيراً. وبهذا يعمل الترانزستور كمفتاح مغلق.

الترانزستور كمفتاح مفتوح

أما إذا كان جهد القاعدة موجباً وصغيراً أو سالباً، ينقطع تيار المجمع I_C وبهذا يعمل الترانزستور كمفتاح مفتوح. ولكن قيمة $I_C R_C$ تكون منعدمة أو صغيرة جداً وبالتالي يكون جهد الخرج V_{CE} كبيراً يساوي تقريباً V_{CC} .



مما سبق يتضح أن الترانزستور في هذه الحالة نبيلة يمكنها أن تعمل كمفتاح **switch** يوصل أو لا يوصل التيار، وأيضاً كعاكس **inverter** حيث يكون الخرج V_{CE} صغيراً عندما يكون الدخل V_{in} كبيراً، ويكون الخرج V_{CE} صغيراً عندما يكون الدخل V_{in} كبيراً.



الترانزستور كمفتاح Switch:

إذا اعتبرنا دائرة المجمع

(شكل ٨ - ١٧) فإن

$$V_{CC} = V_{CE} + I_C R_C \quad (٨ - ٩)$$

حيث V_{CC} جهد البطارية و V_{CE}

هو فرق الجهد بين المجمع والباعث و I_C

هو تيار المجمع و R_C هي المقاومة

الموجودة في الدائرة. نجد أنه كلما زاد I_C

فإن V_{CE} تقل، حتى تصل إلى أقل قيمة

لها حوالي 0.2V عندما يكون تيار

القاعدة كبيراً، أي أنه إذا اعتبرنا

القاعدة هي الدخل Input والمجمع هو

الخرج Output والباعث مشترك (متصل

بجهد الأرضي)، فإن سلوك

الترانزستور يكون على النحو التالي: إذا

كان الدخل كبيراً فإن الخرج صغير. وإذا

كان الدخل صغيراً فإن الخرج كبير

وتسمى هذه النسيطة «عاكس» Inverter.

أي إذا أعطينا جهداً موجباً على القاعدة

يسرى تيار في المجمع بحيث يكون فرق

الجهد على المجمع صغيراً. وبالعكس إذا كان فرق

الجهد على القاعدة صغيراً أو سالبا ينقطع التيار في

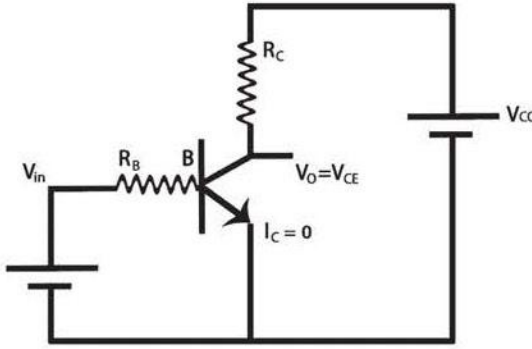
المجمع ويصبح فرق الجهد على المجمع كبيراً، أي يكون

الخرج كبيراً. وهكذا يستخدم الترانزستور كمفتاح

Switch يوصل التيار أو لا يوصل التيار (شكل ٨ - ١٧).

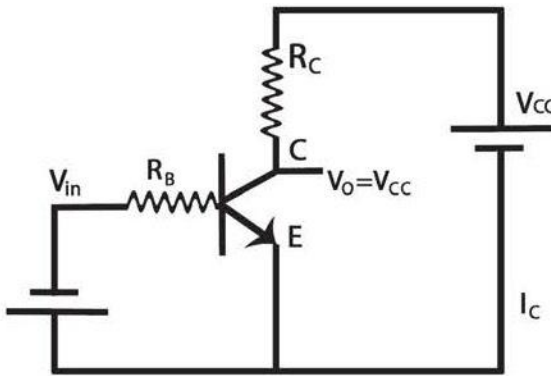
ويمكن الاستدلال على قطبية الترانزستور باستخدام

أوميتر (كيف؟).



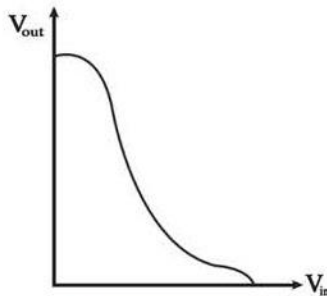
شكل (٨ - ١٧)

الترانزستور npn كمفتاح في حالة الغلق On



شكل (٨ - ١٧ ب)

الترانزستور npn كمفتاح في حالة الفتح Off



شكل (٨ - ١٧ ج)

خصائص العاكس

الإلكترونيات الرقمية Digital Electronics :

جميع الأجهزة الإلكترونية تتعامل مع الكميات الطبيعية وتحولها إلى إشارات كهربائية. فمثلا الميكروفون يحول الصوت إلى إشارة كهربائية. وكاميرا الفيديو تحول الصورة إلى إشارة كهربائية. وكذلك في التلفزيون تتحول الصورة والصوت إلى إشارة كهربائية ثم إلى إشارة كهرومغناطيسية في الإرسال، ثم تنتشر الموجة الكهرومغناطيسية. وعند الطرف المستقبل يتم تحويل الإشارة الكهرومغناطيسية إلى إشارة كهربائية في الهوائي (الإيرال) ثم إلى صوت وصورة في جهاز الاستقبال. الإلكترونيات التي تتعامل مع الكميات الطبيعية كما هي تسمى إلكترونيات تناظرية Analog Electronics. ولكن ظهر نوع حديث من الإلكترونيات يسمى الإلكترونيات الرقمية Digital Electronics.

في هذه الحالة فإن الإشارة الكهربائية لا ترسل متصلة (أي تأخذ أى قيمة حسب حالتها) ولكنها تحول إلى شفرة Code أساسها قيمتان فقط هما 0 و 1. مثلا إذا أردنا أن نعبر عن قيمة 3 نكتبها 11₂ حيث رقم 2 يرمز إلى النظام الثنائي (وليست هذه أحد عشر) ولكنها

$$3 = 1 \times 2^0 + 1 \times 2^1$$

كما نكتب 17 مثلا في النظام العشري

$$17 = 7 \times 10^0 + 1 \times 10^1$$

كذلك نكتب أى عدد في النظام الثنائي Binary في خانات تقابل الأحاد والعشرات ولكنها تكون خانة 2⁰ و خانة 2¹ و خانة 2² ... الخ. وهكذا يتم تشفير Coding كل عدد وكل حرف. ويتم تحويل كل الإشارات الكهربائية المتصلة إلى إشارات رقمية عن طريق جهاز يسمى محول تناظرى رقمى Analog to Digital Converter. وفي الطرف المستقبل يتم التحويل العكسى من إشارة رقمية إلى إشارة تناظرية عن طريق محول رقمى تناظرى Digital to Analog Converter. ما الحكمة في ذلك؟ توجد في الطبيعة إشارات كهربائية غير منتظمة وغير مفيدة تسمى الضوضاء الكهربائية Electrical Noise مصدرها الحركة العشوائية للإلكترونات. فالإلكترونات شحنات إذا تحركت فإنها تسبب تيارا عشوائيا. هذه الإشارات العشوائية تسبب تداخلا في الإشارات التي تحمل المعلومات وتشوشها. وكلنا نلاحظ ذلك مثلا في محطة إذاعة ضعيفة أو في محطة تلفزيون ضعيفة أو هوائى (إيرال) ضعيف، فتظهر نقاط بيضاء وسوداء على الشاشة. والضوضاء تضاف دائما إلى الإشارات التي تحمل المعلومات ويصعب التخلص منها. أما في حالة الإلكترونيات الرقمية فإن المعلومة ليست في قيمة الإشارة (التي قد تضاف الضوضاء إليها وتشوهها) ولكن المعلومة تكمن في الشفرة أو الكود، هل لدينا 0 أو 1؟ ولا يهم إن كانت قيمة الجهد المخصص للحالة 0 أو الحالة 1 مضاف عليها ضوضاء. هذه هي الميزة الكبيرة للإلكترونيات الرقمية. ولذلك دخلت حياتنا في العصر

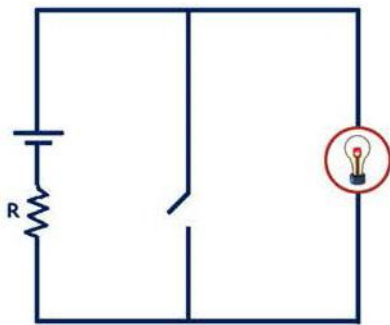
الحديث على نطاق واسع مثل التليفون المحمول والقنوات الفضائية الرقمية وأقراص الليزر المدمجة CD. ومما زاد من أهميتها اختراع الكمبيوتر المبني على الإلكترونيات الرقمية . فكل ما يدخل إلى الكمبيوتر سواء أعداد أو حروف يتحول إلى شفرات ثنائية Binary Code . كذلك تجزأ الصور إلى عناصر صغيرة تسمى Pixels وتحول أيضا إلى شفرة. ويقوم الكمبيوتر بجميع العمليات الحسابية باستخدام الجبر الثنائي Boolean (Binary) Algebra. كما يقوم بتخزين المعلومات في الذاكرة المؤقتة RAM أو الذاكرة المستديمة مثل القرص الصلب Hard Disk على شكل مغنطة في اتجاه معين مما يعنى 0 و المغنطة في اتجاه مضاد مما يعنى 1

البوابات المنطقية Logic Gates:

تعتمد كثير من التطبيقات الحديثة للإلكترونيات مثل دوائر الحاسب ووسائل الاتصالات الحديثة على عناصر رقمية من دوائر إلكترونية يطلق عليها البوابات المنطقية Logic Gates، وهى الدوائر التى تستطيع أن تقوم بعمليات منطقية مثل العكس أو التوافق أو الاختيار، وهى مبنية على الجبر الثنائي - أساس الإلكترونيات الرقمية - وأهمها:

١- بوابة العاكس Inverter (NOT) لها مدخل واحد ومخرج واحد ويمكن تمثيل عملها كما فى شكل (٨-١٨) .

input	output
الدخل	الخروج
1	0
0	1



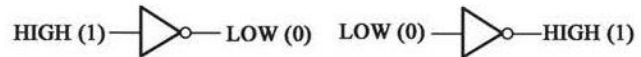
شكل (٨-١٨ ج)

الرسم المكافئ لبوابة العاكس عند غلق المفتاح لا يضاء المصباح



شكل (٨-١٨ د)

رمز بوابة العاكس Not



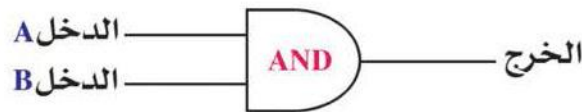
شكل (٨-١٨ ب)

حالات بوابة العاكس

٢- بوابة التوافق AND: لها مدخلان أو أكثر ومخرج واحد ويمكن تمثيل عملها في شكل (٨-١٩).

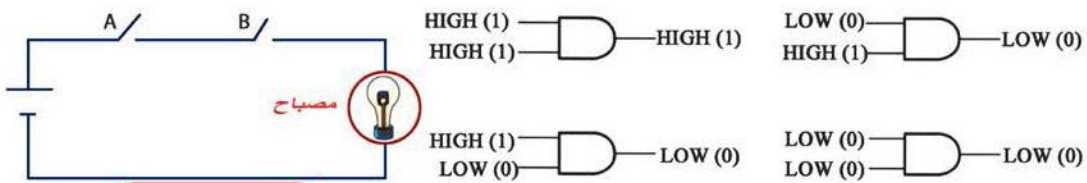
intout	output
الدخل	الخرج
00	0
01	0
10	0
11	1

أى لا يكون هناك خرج إلا إذا اتفق الدخلان على نفس قيمة 1، أى لابد من توافر شرطين (أو أكثر) معا ليكون هناك خرج 1، ويمكن تمثيلها بمفتاحين على التوالي لابد من غلقهما معا ليمر تيار ويضىء المصباح.



شكل (٨-١٩ أ)

رمز بوابة التوافق AND



شكل (٨-١٩ ج)

الرسم المكافئ لبوابة التوافق AND حيث لا يضىء المصباح إلا إذا أغلق المفتاحان معا

شكل (٨-١٩ ب)

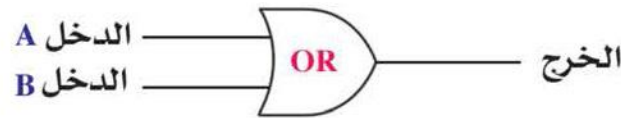
حالات بوابة التوافق

٣- بوابة الاختيار OR: لها مدخلان أو أكثر ومخرج واحد ويمكن تمثيل عملها كما

في شكل (٨-٢٠)

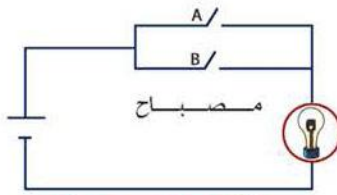
input	output
الدخل	الخرج
00	0
01	1
10	1
11	1

أي يلزم توافر أحد دخلين ليكون الخرج 1 ويمكن تمثيلها بمفتاحين على التوازي يكفى غلق أيهما ليمر تيار. جميع العمليات التي يقوم بها الكمبيوتر مبنية على استخدام هذه البوابات وغيرها.



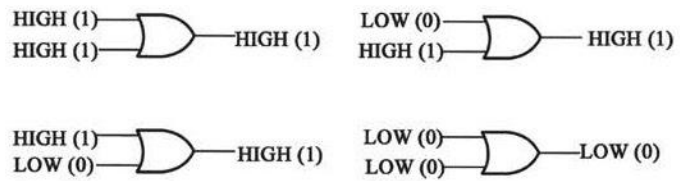
شكل (٨-٢٠)

رمز بوابة الاختيار OR



شكل (٨-٢٠ ج)

الرسم المكافئ لبوابة الاختيار OR حيث يضيء المصباح إذا أغلق أى من المفتاحين



شكل (٨-٢٠ ب)

حالات بوابة الاختيار OR

تلخيص

- بلورة المعدن تتكون من أيونات موجبة وسحابة من الإلكترونات الحرة التي تسبح في أنحاء البلورة في حركة عشوائية. وتوجد قوة تجاذب بين هذه الأيونات والسحابة. ولكن محصلة قوى التجاذب على كل إلكترون حر في المعدن صفر. وإذا حاول الإلكترون الخروج من سطح المعدن، فإن قوى التجاذب المحصلة تجذبه إلى الداخل.
- بلورة السليكون (شبه موصل) النقي تتكون من ذرات تربطها روابط تكافؤية. وفي درجات الحرارة المنخفضة لا توجد أي إلكترونات حرة. أما إذا زادت درجة الحرارة فإن بعض هذه الروابط تنكسر، فتتحرر منها الإلكترونات وتظهر فجوات. وكل من الإلكترونات والفجوات تتحرك حركة عشوائية.
- عدد الروابط المكسورة يزداد مع درجة الحرارة، ويمكن أن يزداد مع مؤثر خارجي مثل الضوء، بشرط أن تكون طاقة الفوتون كافية لكسر الرابطة.
- يمكن أن يزداد عدد الإلكترونات الحرة عن عدد الفجوات بإضافة شوائب n-type، والعكس بإضافة شوائب p-type.
- تعتمد توصيلية شبه الموصل على تركيز الإلكترونات الحرة والفجوات، أي أن شبه الموصل يحتوى على حاملين للتيار، بينما المعدن به حامل واحد للتيار هو الإلكترونات، وعددها في المعدن ثابت لا يتغير مع درجة الحرارة.
- تتميز أشباه الموصلات بحساسيتها الشديدة للبيئة المحيطة. ولذا يمكن استخدامها كمحسات Sensors للضوء والحرارة والضغط والرطوبة والتلوث الكيميائي والذرى وغيره.
- يتكون الدايود أو الوصلة الثنائية Pn Junction من منطقة p-type وأخرى n-type. وإذا وصل الطرف الموجب للبطارية إلى p-type والسالب إلى n-type يعرف هذا بالتوصيل الأمامي، ويسبب ذلك تياراً أمامياً. أما إذا عكسنا توصيل البطارية فلا يسرى تيار. ولذلك يستخدم الدايود في تقويم التيار المتردد Rectification.
- يتكون الترانزستور من npn أو pnp، ويستخدم للتكبير، حيث أن نسبة تيار المجمع إلى تيار القاعدة β كبيرة. ولذلك فأى تغير صغير في تيار القاعدة يظهر تأثيره مكبراً في المجمع.

أسئلة وتمارين

أولاً: التمارين

- ١- إذا كان تركيز الإلكترونات أو الفجوات في السيليكون النقي $1 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ أضيف إليه فوسفور بتركيز 10^{12} cm^{-3} احسب تركيز الإلكترونات والفجوات في هذه الحالة.
($n=10^{12} \text{ cm}^{-3}$, $p=10^8 \text{ cm}^{-3}$) هل السيليكون يصبح n-type أو p-type ؟
(السيليكون في هذه الحالة يصبح n-type)
- ٢- احسب تركيز الألومنيوم المطلوب اضافته حتى يعود السيليكون نقياً مرة أخرى.
($N_A=10^{12} \text{ cm}^{-3}$)
- ٣- ترانزستور له $\alpha_E = 0.99$ احسب β_E . ثم احسب تيار المجمع إذا كان تيار القاعدة $100 \mu\text{A}$
($\beta_E=99$, $I_C=99 \times 10^{-4} \text{ A}$)
- ٤- إذا كانت الإشارة الكهربائية في قاعدة الترانزستور $200 \mu\text{A}$ ومطلوب ان يكون تيار المجمع 10 mA احسب β_E ثم α_E .
($\beta = 50$, $\alpha=0.98$)
- ٥- دايود يمكن تمثيله بمقاومة في الاتجاه الأمامي 100Ω وفي الاتجاه العكسي مالا نهاية. وضعنا عليه فرق جهد 5 V + ثم عكسناه إلى 5 V - ماذا يكون التيار في كل حالة؟
(50 mA , 0)

ثانياً: أسئلة المقال

- ١- اشرح أهمية الإلكترونيات الرقمية ، واذكر خمسة تطبيقات هامة لها.
- ٢- استنتج جدول التحقق لدائرة AND يتلوها دائرة عاكس.
- ٣- استنتج جدول تحقق لدائرة OR يتلوها دائرة عاكس.

أسئلة ومساائل عامة للمراجعة

- (١) فى الدوائر الكهربائية المتصلة على التوازي تستخدم أسلاك سميكة عند طرفى البطارية، بينما يستخدم أسلاك أقل سمكاً عند طرفى كل مقاومة فى الدائرة؟
- (٢) ما المقصود بكل من:
 - القيمة الفعالة للتيار المتردد.
 - التيارات الدوامية.
 - حساسية الجلفانومتر.
 - كفاءة المحول.
- (٣) ما هى الفكرة العلمية التى يبنى عليها عمل كل من:
 - * الجلفانومتر الحساس - المحول الكهربى - مجزئ التيار فى الأميتر - المقاومة المضاعفة للجهد فى الفولتميتر
- (٤) علل : يعتبر المحول الخافض للجهد رافعاً للتيار بينما المحول الرافع للتيار خافضاً للتيار؟
- (٥) يوجد فى المحولات ثلاث نقاط أساسية يتم مراعاتها عند التصميم لتقليل الفقد فى الطاقة الكهربائية. ما هى هذه النقاط وما دورها فى فقد الطاقة؟
- (٦) لا تتولد التيارات الدوامية فى الكتل المعدنية إلا إذا كان المجال المغناطيسى المؤثر عليها متغير الشدة؟
- (٧) قارن بين دينامو التيار المتردد ودينامو التيار موحد الاتجاه ثابت الشدة تقريباً.
- (٨) علل : لزيادة قدرة الموتور تم استخدام عدة ملفات بينها زوايا صغيرة.
- (٩) أدمجت أطوال مختلفة من سلك مساحة مقطعه 0.1 cm^2 فى دائرة كهربية لايجاد مقاومة كل منها فكانت النتائج كالتالى:

الطول l بالمتر	2	4	6	10	14	16
المقاومة R أوم	5	10	15	25	35	40

ارسم علاقة بيانية بين الطول (ℓ) على المحور السيني ومقاومة السلك (R) على المحور

الصادى ومن الرسم البيانى اوجد:

(١) مقاومة جزء من هذا السلك طوله 12 m.

(٢) المقاومة النوعية لمادة السلك.

(٣) التوصيلية الكهربائية لمادة السلك.

(١٠) سلك طوله 30m ومساحة مقطعه 0.3 cm^2 وصل على التوالى مع مصدر تيار مستمر

وأميتر - تم قياس فرق الجهد بين طرفى السلك بواسطة فولتميتر فكان 0.8 V - فإذا كانت

شدة التيار المار فى السلك 2A - احسب التوصيلية الكهربائية للسلك؟

(١١) ملف مستطيل الشكل عدد لفاته (N) Turn (N) لفة ومساحة سطحه $A \text{ (m}^2\text{)}$ وضع بحيث كان

مستواه موازياً لخطوط الفيض الناشئة عن مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه (B) Tesla.

بدأ الملف فى الدوران من هذا الوضع بسرعة زاوية ثابتة مقدارها ω حتى أتم نصف دوره وضع

بالرسم فقط (دون شرح) كيف تتغير قيمة القوة الدافعة الكهربائية المتولدة بالتأثير مع زاوية

الدوران خلال هذه النصف دورة فقط، وما أقصى قيمة للقوة الدافعة الكهربائية المستحثة

المتولدة فى هذا الملف؟

(١٢) جلفانومتر مقاومة ملفه 40Ω يقيس شدة تيار أقصاها 20mA اوجد مقاومة مجزئ

التيار اللازمة لتحويله إلى أميتر يقيس شدة تيار أقصاها 100mA ، وإذا وصل ملف

الجلفانومتر بمضاعف جهد مقاومته 210Ω احسب أقصى فرق جهد يمكن قياسه؟

(١٣) قارن بين كل من :

- المحول الرفع والمحول الخافض من حيث الغرض منه وعدد لفات الملف الثانوى.

- الدينامو والموتور من حيث استخداماته.

(١٤) لماذا يتم نقل الكهرباء خلال الأسلاك من محطات توليد الكهرباء تحت فرق جهد عال؟

اختر الاجابة الصحيحة مع التعليل.

- (١) حتى تتمكن من استخدام المحولات.
- (٢) حتى نتأكد من أن التيار الكهربى سوف يمر لمسافة كبيرة.
- (٣) لتقليل الفاقد فى الطاقة الكهربائية.
- (٤) لتقليل مقاومة الأسلاك.
- (١٥) ما المقصود بكل من :
- (١) معامل الحث المتبادل بين ملفين $H = 2$.
- (٢) كفاءة المحول = 90%.
- (٣) التيارات الدوامية.
- (٤) القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد $2A$.
- (١٦) محول كهربى خافض ذو كفاءة 100% يراد استخدامه لتشغيل مصباح كهربى قدرته 24 W ويعمل على فرق جهد 12 V باستخدام منبع كهربى قوته 240 V فإذا كانت عدد لفات الملف الثانوى 480 لفة. احسب :
- (١) شدة التيار المار فى الملفين الابتدائى والثانوى.
- (٢) عدد لفات الملف الابتدائى.
- (١٧) عند مرور تيار كهربى فى سلك وضع عمودياً على مجال مغناطيسى منتظم فإن السلك يتأثر بقوة أى من الأجهزة التالية يبنى عمله على هذا التأثير:
- (١) المغناطيس الكهربى. (٢) المحرك الكهربى.
- (٣) المولد الكهربى. (٤) المحول الكهربى.
- (١٨) احسب القوة الدافعة الكهربائية لمصدر إذا كان الشغل المبذول لنقل 5C هو 100 J.
- (١٩) وصلت ثلاثة مقاومات 10Ω , 20Ω , 30Ω بمصدر كهربى فمر تيار شدته 0.05A , 0.2A , 0.15A فى المقاومات على الترتيب احسب قيمة المقاومة المكافئة للدائرة مع توضيح طريقة التوصيل بالرسم.

(٢٠) مصدر كهربي قوته الدافعه الكهربيه $130V$ وصل على التوالي مع مقاومتان 400Ω , 300Ω قارن بين قراءتى فولتميتر مقاومته 200Ω إذا وصل بين طرفى كل مقاومة على حدة (مع إهمال المقاومة الداخلية للعمود).

(٢١) سلك طوله $2m$ ومساحة مقطعه $0.1m^2$ وصل بمصدر قوته الدافعه $10V$ فمر به تيار شدته $2A$ احسب المقاومة النوعية والتوصيلية الكهربيه لمادته.

(٢٢) سلك منتظم المقطع يمر به تيار شدته $0.1A$ عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه $1.2V$ فإذا جعل السلك على شكل مربع مغلق abcd احسب المقاومة المكافئة للسلك إذا وصل المصدر بالنقطتين a,c وإذا وصل المصدر مرة أخرى بالنقطتين a,d.

(٢٣) تتصل محطة لتوليد الكهرباء بمصنع يبعد عنها مسافة $2.5km$ بسلكين فإذا كان فرق الجهد بين طرفى السلكين عند المحطة $240V$ وبين الطرفين عند المصنع $220V$ وكان المصنع يستخدم تياراً شدته $80A$ احسب مقاومة المتر الواحد من السلك ونصف قطره إذا علمت أن المقاومة النوعية لمادة السلك $1.57 \times 10^{-8}\Omega.m$.

(٢٤) بطارية سيارة قوتها الدافعة الكهربيه $12V$ ومقاومتها الداخلية 0.5Ω . احسب النسبة المئوية لفرق الجهد المفقود من هذه البطارية عند استخدامها فى إضاءة مصباح مقاومته 2Ω .

(٢٥) عين كثافة الفيض المغناطيسى عند نقطة فى الهواء على بعد $0.1m$ من سلك مستقيم طويل يمر به تيار شدته $10A$ ، علماً بأن معامل نفاذية الهواء $4\pi \times 10^{-7} \text{ Web/Am}$.

(٢٦) سلكان مستقيمان متوازيان يمر فى الأول تيار شدته $10A$ وفى الثانى تيار شدته $5A$. احسب كثافة الفيض المغناطيسى الكلى عند نقطة بين السلكين تبعد عن الأول $0.1m$ وعن الثانى $0.2m$ عندما يكون التيار فى السلكين فى نفس الاتجاه مرة وفى اتجاهين متضادين مرة أخرى.

(٢٧) سلك مستقيم لف على شكل ملف دائري لفة واحدة وأمر به تيار كهربى فإذا لف السلك نفسه مرة أخرى على شكل ملف دائرى من أربع لفات ومر به نفس التيار، قارن بين كثافتى الفيض عند مركز الملف فى كل من الحالتين.

(٢٨) ملف حلزونى طوله 0.22m ومساحة مقطعة $25 \times 10^{-4} \text{m}^2$ يحتوى على 300 لفة. ما هى شدة التيار اللازم إمراره بالملف لتكون كثافة الفيض عند منتصف محوره $1.2 \times 10^{-3} \text{Web/m}^2$ وكم يكون الفيض الكلى الذى يمر بالملف ؟

(٢٩) تيار كهربى شدته 20A يمر فى سلك مستقيم طوله 10cm فإذا وضع السلك فى مجال كثافة فيضه $2 \times 10^{-3} \text{Web/m}^2$ بحيث يصنع زاوية قدرها 30° مع اتجاه المجال. احسب القوة المؤثرة على السلك.

(٣٠) ملف مستطيل طوله 30 cm وعرضه 20 cm يتكون من 10 لفات يمر به تيار شدته 3A وضع فى مجال مغناطيسى منتظم كثافة فيضه 0.1 Tesla. احسب عزم الازدواج المؤثر عليه عندما يكون مستوى الملف يصنع زاوية 50° مع اتجاه المجال.

(٣١) ملف دائرى عدد لفاته 100 لفة وشدة التيار المار به 10A وضع فى مجال مغناطيسى كثافة فيضه 0.2 Tesla فإذا كانت مساحة مقطع الملف 0.3m^2 . احسب النهاية العظمى لعزم الازدواج المؤثر على الملف محددًا وضع الملف بالنسبة للمجال فى هذه الحالة.

(٣٢) جلفانومتر ذو ملف متحرك عند مرور تيار فيه شدته له 30mA كانت الزاوية بين الملف والمجال 60° احسب حساسية الجلفانومتر.

(٣٣) جلفانومتر مقاومة ملفه 5Ω يقيس تيار أقصى شدة له 20mA احسب أقصى تيار يمكن أن يقيسه إذا وصل بمجزئ تيار مقاومته 0.1Ω ، ثم احسب مقدار مضاعف الجهد الذى يوصل بالجلفانومتر ليعمل كفولتميتر يقيس فرق جهد قدره 5V .

(٣٤) مجزئ تيار مقاومته 0.1Ω ينقص حساسية أميتر إلى العشر، أوجد مقاومة المجزئ الذى ينقص حساسية هذا الاميتر إلى الربع.

- (٣٥) ناقش بالتفصيل المشكلة التي واجهت الفيزياء الكلاسيكية فى تفسير منحنيات شدة الإشعاع مع الطول الموجى للأجسام المتوهجة فى درجات الحرارة المختلفة؟
- (٣٦) اشرح كيف استطاع بلانك أن يفسر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود؟
- (٣٧) ما المقصود بالظاهرة الكهروضوئية وكيف تم تفسيرها فى ضوء النظرية الكمية للإشعاع؟
- (٣٨) تعتبر ظاهرة كمبتون مثلاً جيداً للطبيعة الجسيمية للموجات. ناقش ذلك بالتفصيل؟
- (٣٩) يعتبر الميكروسكوب الإلكتروني مثلاً تطبيقياً للطبيعة الموجية للإلكترونات. اشرح فكرة عمل هذا الجهاز موضحاً ما يتميز به عن الميكروسكوب الضوئى العادى. ولماذا؟
- (٤٠) ما هو الدور الذى يقوم به المجال الكهربى بين الكاثود والهدف فى توليد الأشعة السينية فى أنبوبة كولدمج؟
- (٤١) علل : يعتمد الطول الموجى للطيف المميز فى الأشعة السينية على نوع مادة الهدف، وليس على فرق الجهد المسلط بين الكاثود والهدف.
- (٤٢) يشترط فى مصادر الليزر أثناء التشغيل أن يصل الوسط الفعال لوضع الإسكان المعكوس فى حين لا يتطلب حدوث مثل ذلك فى مصادر الضوء العادية؟
- (٤٣) يعتبر التجويف الرنينى هو الوحدة المسؤولة فى جهاز الليزر عن إتمام عمليتى الانبعاث المستحث والتضخيم الضوئى. وضح بالتفصيل آلية إتمام هاتين العمليتين؟
- (٤٤) وضح الدور الذى يقوم به كل من عنصرى الهليوم والنيون فى إنتاج ليزر الهيليوم نيون؟
- (٤٥) يعتبر ليزر الهيليوم نيون مثلاً لتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية وطاقة حرارية وضح آلية هذا التحويل؟
- (٤٦) قارن بين التصوير العادى والتصوير الهولوجرافى من حيث أسلوب نقل البيانات المعبرة عن الصورة إلى اللوح الفوتوغرافى فى كل منهما.

- (٤٧) ما المقصود بالمادة شبه الموصلة النقية؟ وما هي خصائصها في التوصيل الكهربى؟
- (٤٨) ناقش الطرق الممكنة لرفع كفاءة المادة شبه الموصلة، مع ذكر الخصائص التى تكتسبها المادة فى كل طريقة .
- (٤٩) ناقش مفهوم كل من المصطلحات التالية فى الوصلة الثنائية :
- الفجوة الموجبة - الذرة الشائبة - المجال الكهربى داخل الوصلة الثنائية
- شبه موصل من النوع الموجب - تيار الانسياب
- شبه موصل من النوع السالب - تيار الانتشار
- (٥٠) ناقش مفهوم الاتزان الديناميكى الحرارى لبلورة مادة شبه موصلة؟
- (٥١) قارن بين خصائص الوصلة الثنائية فى حالة التوصيل الأمامى والتوصيل الخلفى.
- (٥٢) اشرح مع الرسم التوضيحى كيفية قيام الوصلة الثنائية بتقويم التيار المتردد.
- (٥٣) اشرح الأساس العلمى الذى يعمل عليه الترانزستور كمفتاح.
- (٥٤) إذا كانت الطاقة اللازمة لنزع إلكترون من سطح معدن هي $3.975 \times 10^{-19} J$ وعند سقوط ثلاث موجات كهرومغناطيسية أحادية الطول الموجى وأطوالها الموجية على الترتيب هي ($6000\text{\AA}$ - $5000\text{\AA}$ - $3100\text{\AA}$) وضع فى كل حالة :
- 1- هل تنبعث إلكترونات من سطح المعدن أم لا ؟
 - 2- فى حالة الإنبعث احسب طاقة حركة الإلكترون المنبعث وسرعته
- علما بأن (كتلة الإلكترون $9.1 \times 10^{-31} Kg$ وثابت بلانك $6.625 \times 10^{-34} J.S$)
- (٥٥) تعمل أنبوبة كولدج لتوليد الأشعة السينية على فرق جهد $4 \times 10^4 V$ و تيار كهربى شدته $5mA$ فإذا كانت كفاءة الأنبوبة 2% احسب :
- 1- أقصر طول موجى للأشعة السينية الناتجة ($0.31 \text{\AA}$)
 - 2- معدل الطاقة الكهربائية المستخدمة فى الأنبوبة ($200W$)
 - 3- معدل طاقة الأشعة السينية الناتجة ($4 W$)

ملاحق



ملحق ١

رموز ووحدات بعض الكميات الفيزيائية Symbols and Units of Some Physical Quantities

م	الكمية	الرمز الشائع	وحدة القياس
١	الإزاحة	x,y,z,d	m (meter)
٢	المساحة	A	m ²
٣	الحجم	V _{ol}	m ³
٤	الزمن	t	s (second)
٥	الزمن الدوري	T	s
٦	السرعة	v	m s ⁻¹
٧	الزاوية	α, θ, ϕ	deg , rad
٨	التردد الزاوي (السرعة الزاوية)	ω	rad s ⁻¹
٩	الكتلة	m,M	kg
١٠	كتلة الإلكترون	m _e	kg
١١	الكثافة	ρ	kg m ⁻³
١٢	العجلة	a	m s ⁻²
١٣	عجلة الجاذبية	g	m s ⁻²
١٤	كمية الحركة الخطية	P _L	kg m s ⁻¹
١٥	القوة	F	N , kg ms ⁻²
١٦	الوزن	F _g	N(Newton)
١٧	عزم اللي (الازدواج)	τ	Nm
١٨	الشغل	W	J(Joule)
١٩	الطاقة	E	J
٢٠	طاقة الحركة	KE	J
٢١	طاقة الوضع	PE	J

م	الكمية	الرمز الشائع	وحدة القياس
٢٢	القدرة	P_w	$W, Js^{-1} (watt)$
٢٣	الدفع	I_{imp}	Ns
٢٤	درجة الحرارة	$t^{\circ}C, t^{\circ}F, T^{\circ}K$	Celsius, Fahrenheit, Kelvin
٢٥	كمية المادة	n	mole
٢٦	الضغط	P	$Pascal, Nm^{-2}$
٢٧	الضغط الجوي	P_a	$Pascal, Nm^{-2}$
٢٨	كمية الحرارة	Q_{th}	J
٢٩	الحرارة النوعية	C_{th}	$J kg^{-1} ^{\circ}K^{-1}$
٣٠	السعة الحرارية	q_{th}	$J^{\circ}K^{-1}$
٣١	الحرارة الكامنة للتصعيد	B_{th}	$J kg^{-1}$
٣٢	الحرارة الكامنة للانصهار	L_{th}	$J kg^{-1}$
٣٣	معامل التمدد الحجمي للغاز	α_v	—
٣٤	معامل زيادة ضغط الغاز	B_p	—
٣٥	معدل الانسياب الكتلي	Q_m	kg/s
٣٦	معدل الانسياب الحجمي	Q_v	m^3/s
٣٧	معامل اللزوجة	η_{vs}	$Ns m^{-2}$
٣٨	الكفاءة	η	—
٣٩	الشحنة الكهربائية	Q, q	$C (Coulomb)$
٤٠	شحنة الإلكترون	e	C
٤١	فرق الجهد الكهربى	V	$V (Volt)$
٤٢	فرق جهد البطارية	V_B	V
٤٣	القوة الدافعة الكهربائية	emf	V
٤٤	شدة المجال الكهربى	ϵ	Vm^{-1}
٤٥	الفيض الكهربى	ϕ_e	$Gauss$

م	الكمية	الرمز الشائع	وحدة القياس
٤٦	شدة التيار الكهربى	I	A (Ampere)
٤٧	المقاومة الكهربية	R	Ω (Ohm)
٤٨	المقاومة النوعية	ρ_e	$\Omega \text{ m}$
٤٩	التوصيلية الكهربية	σ	$\Omega^{-1} \text{ m}^{-1}$
٥٠	معامل تكبير الترانزيستور	α_e, β_e	—
٥١	شدة المجال المغناطيسى	H	Am^{-1}
٥٢	كثافة الفيض المغناطيسى	B	Tesla, Wb m^{-2}
٥٣	الفيض المغناطيسى	ϕ_m	Web (Weber)
٥٤	معامل الحث الذاتى	L_m	H (Henry)
٥٥	معامل الحث المتبادل	M_m	H
٥٦	النفاذية المغناطيسية	μ	Weber $\text{A}^{-1} \text{ m}^{-1}$
٥٧	عزم ثنائى القطب المغناطيسى	$\vec{m}_d$	Nm Tesla^{-1}
٥٨	سرعة الضوء	c	ms^{-1}
٥٩	التردد الموجى	ν	Hertz (Hz)
٦٠	التردد الكهربى	f	Hz
٦١	الطول الموجى	λ	m
٦٢	معامل انكسار المادة للضوء	n	—
٦٣	قوة التفريق اللونى	ω_∞	—

ملحق ٢

الثوابت الفيزيائية الأساسية

Fundamental Physical Constants

القيمة العددية	رمز الكمية	الكمية الفيزيائية
$6.677 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$	G	١- ثابت الجذب العام Universal gravitational constant
$1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$	k	٢- ثابت بولتزمان Boltzmann constant
$6.02 \times 10^{26} \text{ Molecule.kmol}^{-1}$	N_A	٣- عدد أفوجادرو Avogadro's number
$8.31 \times 10^3 \text{ J.kmol}^{-1} \text{ K}^{-1}$	R	٤- الثابت العام للغازات Universal gas constant
$9 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$	k	٥- ثابت قانون كولوم Coulomb's Law Constant
$4\pi \times 10^{-7} \text{ Weber m}^{-1} \text{ A}^{-1}$	μ	٦- معامل نفاذية الفراغ Permeability of free Space
$3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$	c	٧- سرعة الضوء في الفراغ Speed of Light in Vacuum
$1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	e	٨- الشحنة الأولية Elementary charge
$9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$	m_e	٩- كتلة السكون للإلكترون Electron rest mass
$1.79 \times 10^{11} \text{ C.kg}^{-1}$	$\frac{e}{m_e}$	١٠- الشحنة النوعية للإلكترون Specific charge of electron
$1.673 \times 10^{-27} \text{ kg}$	m_p	١١- كتلة السكون للبروتون Proton rest mass
$6.63 \times 10^{-34} \text{ Js}$	h	١٢- ثابت بلانك Planck's constant
$1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$	u	١٣- وحدة الكتلة الذرية Atomic mass unit
$1.096 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$	R_H	١٤- ثابت ريد برج Rydberg constant
$1.675 \times 10^{-27} \text{ kg}$	m_n	١٥- كتلة السكون للنيوترون Neutron rest mass
$22.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$		١٦- حجم المول في الغاز في معدل الضغط و درجة الحرارة Molar volume of ideal gas at S.T.P
9.8066 ms^{-2}	g	١٧- شدة الجاذبية على سطح الأرض Standard gravity at Earth's surface
$6.374 \times 10^6 \text{ m}$	r_e	١٨- نصف القطر الاستوائى للأرض Equatorial radius of the Earth
$5.976 \times 10^{24} \text{ kg}$	M_e	١٩- كتلة الأرض Mass of the Earth
$7.35 \times 10^{22} \text{ kg}$	M_m	٢٠- كتلة القمر Mass of the Moon
$3.844 \times 10^8 \text{ m}$	r_m	٢١- متوسط نصف قطر مدار القمر حول الأرض Mean radius of the Moon's orbit around the Earth
$1.989 \times 10^{30} \text{ kg}$	M_s	٢٢- كتلة الشمس Mass of the Sun

القيمة العددية	رمز الكمية	الكمية الفيزيائية
$1.496 \times 10^{11} \text{ m}$	r_{es}	٢٣- متوسط نصف قطر دوران الأرض حول الشمس Mean radius of Earth's orbit around the Sun
$3.156 \times 10^7 \text{ s}$	yr	٢٤- زمن دوران الأرض حول الشمس Period of Earth's orbit around the Sun
$7.5 \times 10^{20} \text{ m}$	—	٢٥- قطر المجرة التابع لها الشمس Diameter of our galaxy
$2.7 \times 10^{41} \text{ kg}$	—	٢٦- كتلة المجرة التابع لها الشمس Mass of our galaxy
$7 \times 10^8 \text{ m}$	—	٢٧- نصف قطر الشمس Radius of the Sun
$0.134 \text{ J cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$	—	٢٨- شدة إشعاع الشمس على سطح الأرض Sun's radiation intensity at Earth's surface

ملحق ٣

البادئات القياسية Standard Prefixes

عربي	إنجليزي	الأس العشري
يوكتو	Yocto	10^{-24}
زبتو	Zepto	10^{-21}
أوتو	Atto	10^{-18}
فيمتو	Femto	10^{-15}
بيكو	Pico	10^{-12}
نانو	Nano	10^{-9}
ميكرو	Micro	10^{-6}
مللي	Milli	10^{-3}
سنتي	Centi	10^{-2}
ديسي	Deci	10^{-1}
	—	10^0
ديكا	Deka	10^1
هيكто	Hecto	10^2
كيلو	Kilo	10^3
ميغا	Mega	10^6
جيجا	Giga	10^9
تيرا	Tera	10^{12}
بيتا	Peta	10^{15}
إكسا	Exa	10^{18}
زيتا	Zetta	10^{21}
يوتا	Yotta	10^{24}

ملحق ٤
الحروف الابجدية اليونانية
Greek Alphabet

A	α	alpha	a	"father"
B	β	beta	b	
Γ	γ	gamma	g	
Δ	δ	delta	d	
E	ε	epsilon	e	"end"
Z	ζ	zêta	z	
H	η	êta	ê	"hey"
Θ	θ	thêta	th	"thick"
I	ι	iota	i	"il"
K	κ	kappa	k	
Λ	λ	lamda	l	
M	μ	mu	m	
N	ν	nu	n	
Ξ	ξ	xi	ks	"box"
O	ο	omikron	o	"off"
Π	π	pi	p	
P	ρ	rho	r	
Σ	σ, ς	sigma	s	"say"
T	τ	tau	t	
Υ	υ	upsilon	u	"put"
Φ	φ	phi	f	
X	χ	chi	ch	"Back"
Ψ	ψ	psi	ps	
Ω	ω	omega	ô	"grow"

ملحق ٥

أسماء بعض علماء الفيزياء وإنجازاتهم

● أبو البركات (ابن ملكا) (١٠٧٢ - ١١٥٢)	رائد فى الطب ومكتشف قوانين الحركة.
● أبو الحسن على (ابن يونس المصرى) (٩٥٢ - ١٠٠٩)	رائد فى علم الفلك ومخترع البندول البسيط.
● أبو الريحان محمد البيرونى (٩٧٣ - ١٠٤٨)	رائد فى علم الجغرافيا والفلك وأول من قدر نصف قطر الأرض.
● أبو على الحسن (ابن الهيثم) (٩٦٥ - ١٠٤٠)	رائد فى الرياضيات والفلك والطب ومؤسس علم البصريات.
● أبو يوسف يعقوب بن إسحق (الكندى) (٨٠٠ - ٨٧٣)	رائد فى الفلسفة والفيزياء (وخاصة البصريات) .
● إديسن (توماس) Edison (Thomas) (1847 - 1931)	مخترع الفونوجراف والمصباح الكهربى وبعض الأجهزة الإلكترونية.
● أرشميدس Arkhimêdês (قبل الميلاد 212 - 287)	له اكتشافات عديدة منها نسبة قطر الدائرة إلى محيطها وقانون الطفو والمرآة العاكسة.
● افوجادرو (اميديو) Avogadro (Amedeo) (1776 - 1856)	فيزيائى إيطالى صاحب النظرية المتعلقة بالجزيئات الغازية المعروفة باسمه.

أجرى دراسات على الكهرباء والمغناطيسية والتلفراف.	● أمبير (أندريه - ماري) Ampère (André - Marie) (1775 - 1836)
مؤسس علم الكهرومغناطيسية فى عام 1820.	● أورستد (هانس كريستيان) Oersted (Christian) (1777 - 1851)
فيزيائى المانى فحص التيارات الجلفانية واكتشف توزيع القوة الدافعة الكهربائية فى الدوائر الكهربائية وقام بصياغة قانون أوم للكهربية.	● أوم (جورج) Ohm (George) (1789 - 1854)
حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1921 لخدماته فى الفيزياء النظرية وخاصة لاكتشافه قانون التأثير الكهروضوئى.	● أينشتاين (ألبرت) Einstein (Albert) (1879 - 1955)
له مؤلفات علمية وبحوث ومساهمات فى مجال السوائل المتحركة وقوانين ضغط الهواء والماء وتوازن السوائل.	● باسكال (بليز) Pascal (Blaise) (1623 - 1662)
رائد فى علم القياسات والميكانيكا وصناعة الآلات المائية.	● بديع الزمان (ابن الرزاز الجزرى) القرن الثانى عشر
فيزيائى إنجليزى اهتم بدراسة وتطبيق حيود الأشعة السينية لتحليل البناء البلورى، حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1915.	● براج (وليم) Bragg (William) (1862 - 1942)
حاز على جائزة نوبل فى الفيزياء عام 1922 لخدماته فى إجراء الفحوصات العملية للبناء الداخلى للذرات والأشعة المنبعثة منها.	● بور (نيلز) Bohr (Neils) (1885 - 1962)
اكتشف قانون ضغط الغازات.	● بويل (روبرت) Boyle (Robert) (1627 - 1691)

● توريشلى (إيفانجلستا) Torricelli (Evangelista) (1608 - 1647)	مخترع البارومتر الزئبقى.
● جاليليو (جاليلى) Galileo (Galilei) (1564 - 1642)	فلكى إيطالى وفيزيائى وأول من أثبت أن سقوط الأجسام لا يعتمد على الكتلة وأول من صنع التلسكوب الفلكى.
● جلفانى (لويجى) Galvani (Luigi) (1737 - 1798)	فيزيائى وطبيب إيطالى أدت تجاربه على الحيوانات إلى أن الأعصاب والعضلات تولد شحنات كهربية.
● دالتون (جون) Dalton (John) (1766 - 1844)	كيميائى وفيزيائى إنجليزى أول من وضع فروض الذرة واستنتج قانون امتزاج الغازات.
● رذر فورد (إرنست) Rutherford (Ernest) (1871 - 1937)	اهتم بالإجراءات العملية فى مجال الذرة والإشعاع ونال جائزة نوبل فى الكيمياء عام ١٩٠٨ لأبحاثه فى الانحلال الإشعاعى للعناصر
● رهمكورف (هنريش) Ruhmkorff (Heinrich) (1803 - 1877)	عالم فرنسى من أصل المانى وهو ميكانيكى اهتم بالكهرباء واخترع البكرة المعروفة باسمه وأيضا ملف الحث.
● رونتجن (ويلهلم) Rontgen (Wilhelm) (1845 - 1923)	فيزيائى المانى اكتشف الأشعة السينية (أشعة إكس).
● شرودينجر (أروين) Schrodinger (Erwin) (1887 - 1961)	فيزيائى نمساوى نال جائزة نوبل لأبحاثه فى الآلية المتموجة عام ١٩٣٣.
● عبد الرحمن أبو جعفر (الخازن) (القرن الثانى عشر)	رائد علم الهيدروستاتيكا وقياس الضغط ودرجة الحرارة.

● فاراداي (مايكل) Faraday (Michael) (1791 - 1867)	اكتشف قوانين الكهرومغناطيسية ومفهوم المجال.
● فان در فالز (جوهانس) Van Der Waals (Johannes) (1837 - 1923)	منح جائزة نوبل عام 1910 من أجل دراساته المتميزة لمعادلة الحال للغازات والسوائل
● فراونهوفر (جوزف فون) Fraunhofer (Joseph Von) (1787 - 1826)	فسر الخطوط الطيفية المظلمة لضوء الشمس التي أدت إلى وجود مختلف العناصر والأيونات في الشمس.
● فولتا (الساندرو) Volta (Alessandro) (1745 - 1827)	فيزيائي إيطالي أول من صنع العمود الكهربائي (البطارية) وطور نظرية التيار الكهربى وتعرف وحدة قياس الجهد باسمه.
● فيرمي (إنريكو) Fermi (Enrico) (1901 - 1954)	فيزيائي إيطالي مشغل بالطاقة النووية واشترك في صناعة القنبلة الذرية (نوبل 1938) وأدت أبحاثه إلى إنتاج عناصر مشعة جديدة.
● كاميرلنخ (اونس) Kamelingh (Onnes) (1853 - 1926)	نال جائزة نوبل في الفيزياء عام 1913 لبحوثه على خواص المواد عند درجات الحرارة المنخفضة والتي أدت إلى إنتاج الهليوم السائل واكتشاف ظاهرة فائقة التوصيل في المعادن الفلزية وبعض المركبات.
● كبلر (جوهانس) Kepler (Johannes) (1571 - 1630)	فلكي المانى وضع قوانين الكواكب السيارة واستنبط منها نيوتن قانون الجذب العام.
● كوبرنيكس (نيكولاس) Copernicus (Nicolas) (1473 - 1543)	فلكي بولندي أثبت دوران الكرة الأرضية حول نفسها وحول الشمس.
● كيرشهوف (جوستاف) Kirchhoff (Gustav) (1824 - 1887)	فيزيائي المانى اكتشف قوانين الدوائر الكهربائية.

● لنز (هنرش) Lenz (Heinrich) (1804 - 1865)	مكتشف قوانين التيار المستحث واتجاه القوة الدافعة الكهربائية المستحثة والتيار المستحث.
● ماكس بلانك (ماكس) Planck (Max) (1858 - 1947)	منح جائزة نوبل في الفيزياء عام 1918 تقديرا واعترافا لخدماته التي أدت إلى تقدم ورقى الفيزياء بواسطة اكتشافه العلمي لكمات الطاقة.
● ماكسويل (جيمس) Maxwell (James) (1831 - 1879)	أول من افترض قوانين الكهرومغناطيسية والتي سميت بمعادلات ماكسويل.
● نيوتن (السير اسحاق) Newton (Isaac) (1642 - 1727)	اكتشف تكوين الضياء الشمسى وقوانين الجاذبية والحركة.
● هرتز (هينرش) Hertz (Heinrich) (1857 - 1894)	اكتشف الموجات الكهربائية واشتق القوانين الأساسية من معادلات ماكسويل.
● هيجنس (كريستيان) Huygens (Christian) (1629 - 1695)	أول من افترض وجود التموجات الضوئية.
● ينج (توماس) Young (Thomas) (1773 - 1829)	فيزيائى وطبيب اهتم بنظرية الضوء وأجرى تجارب عملية على التداخل الضوئى والالوان والنظرية الموجية للضوء.

المقاس	٨٢ × ٥٧ $\frac{1}{8}$
عدد الصفحات بالقلب	٢١٦ صفحة
ورق المتن	٧٠ جرام
ورق القلب	كوشيه ١٨٠ جم
أنوان المتن	٤ لبيون
أنوان القلب	٤ لبيون
رقم الكتاب	٤٧٨/١٠/٦/٢٢/٢/٣٠

<http://elearning.moe.gov.eg>

