

هدية من شبكة رواد التميز السودانية

رواد التميز

المناهج الدراسية السودانية
المرحلة الثانوية
الصف الثالث ثانوي

الفيزياء

الصف الثالث ثانوي

أكبر موقع لخدمات طلاب الشهادة السودانية (أساس - ثانوي)
www.rowadaltamayoz.com

رواد التميز



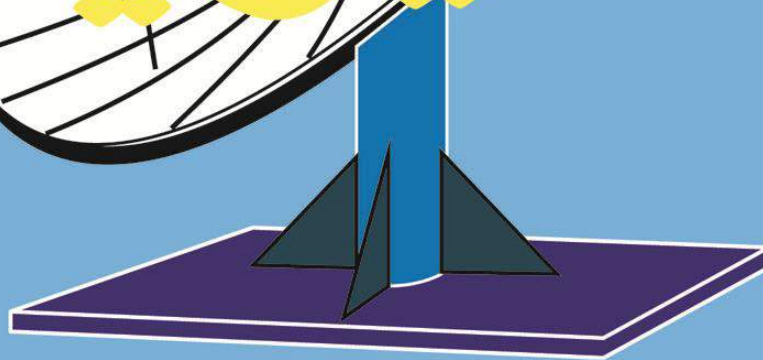


جمهورية السودان



التعليم الثانوي

الفيزياء



الصف الثالث

جمهورية السودان
وزارة التربية والتعليم
المركز القومي للمناهج والبحث التربوي
- بخت الرضا -

الفيزياء

الصف الثالث الثانوي

الطبعة الثانية ٢٠٠٥

إعداد لجنة بتكليف من المركز القومي للمناهج والبحث التربوي من الأساتذة :

الدكتور : محمد حسن أحمد سنادة - جامعة السودان المفتوحة
الدكتور : مبارك درار عبد الله - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا
الدكتور : عز الدين عبد الرحيم مجنوب - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا

مراجعة الطبعة الثانية

بروفسير: محجوب محمد الحسين - جامعة أفريقيا العالمية
الدكتور : عبد العظيم زين العابدين أحمد - جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا
الأستاذة: سلوى محمد سليمان - المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

الإخراج الفني والتصميم :

الأستاذ : إبراهيم الفاضل الطاهر - المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

الجمع بالحاسوب :

ابتهاج مصطفى علي الفكي - المركز القومي للمناهج والبحث التربوي
تهاني بابكر سليمان - المركز القومي للمناهج والبحث التربوي

المحتويات

الصفحة	الموضوع
	المقدمة
	الباب الأول : المجال التناقلي والحركة الدائرية وحركة الكواكب والأقمار الاصطناعية
2	الفصل الأول : المجال التناقلي (مجال الجاذبية) .
19	الفصل الثاني : الحركة الدائرية .
37	الفصل الثالث : حركة الكواكب والأقمار الاصطناعية .
	الباب الثاني : الموجات والضوء
59	الفصل الأول : الحركة التوافقية البسيطة .
72	الفصل الثاني : الموجات .
80	الفصل الثالث : الضوء .
96	الفصل الرابع : الانكسار .
105	الفصل الخامس : العدسات .
115	الفصل السادس : المجموعات البصرية .
122	الفصل السابع : المرايا الكرية .
	الباب الثالث : المجالات المغناطيسية والكهربية :
128	الفصل الأول : المغناطيسية .
132	الفصل الثاني : الكهرباء الساكنة .
144	الفصل الثالث : الكهرباء التيارية .
157	الفصل الرابع : المجال المغناطيسي للتيار الكهربائي .
	الباب الرابع : الذرة والاتصالات :
169	الفصل الأول : الذرة .
195	الفصل الثاني : الاتصالات .

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

يسرنا أن نقدم هذا الكتاب الثالث في الفيزياء للمرحلة الثانوية وسيجد الطلاب أن موضوعات هذا الكتاب أكثر تنوعاً مما درسه في الصفين الأول والثاني ، فبينما انحصر كتاب الصف الأول في الميكانيكا فقط فقد اشتمل كتاب الصف الثاني على موضوعات في الميكانيكا والحرارة . ذلك لأن علم الفيزياء يركز على سلوك الظواهر الفيزيائية (الطبيعية) كلها . ورغم ما يبدو من تنوع في هذه الظواهر إلا أنها في جوهرها مرتبطة مع بعضها ، ونلاحظ ذلك في أبسط صورة في تحولات الطاقة حيث نرى طاقة حركية تحولت إلى طاقة حرارية ، أو طاقة حرارية تحولت إلى طاقة ميكانيكية ثم إلى كهربية كما في محطات الكهرباء الحرارية ، أو طاقة كهربائية تتحول إلى طاقة ميكانيكية أو إلى طاقة حرارية ... الخ .

وقد تمكن علم الفيزياء من الوصول إلى أن القوى في الكون ترجع في النهاية إلى ثلاثة أنواع فقط وهي : قوى الجاذبية والقوى الكهرومغناطيسية والقوى النووية (هي في الواقع نوعان) وعلى ذلك فكل أنواع القوى التي نشاهدها هي نتاج بعض أو كل هذه القوى .

وقد حاولنا في هذا الكتاب تصنيف المواضيع حسب تشابه الخواص الفيزيائية . فرغم أن الجاذبية (الثقل) والكهربية المغناطيسية قد لا تبدو مرتبطة مع بعضها إلا أنها جميعاً تشترك في خاصية التأثير عن بعد أي أنها كلها مجالات ولذلك تتشابه فيها قوانين القوة والشدة والمجال وهذا مما يساعد الطالب على فهمها واستيعابها وتذكر القوانين لتشابهها .

وكذلك نجد ارتباطاً بين الحركة في دائرة والحركة التوافقية البسيطة ، أي الحركة الدورية المتكررة في خط مستقيم مما ييسر استنتاج وفهم قوانين الأخيرة من الأولى وكذلك استنتاج قوانين الموجات . والموجات يدخل في إطارها كل من الصوت والضوء أي الموجات الكهرومغناطيسية عموماً مع اشتراكها في قوانين الانعكاس والانكسار والتداخل والحيود وفي قانون السرعة . ولذلك نجد أن كل من الصوت والضوء ضمنت في هذا الكتاب تحت اسم الموجات .

ولقد كان لا بد من تضمين بعض المفاهيم الأساسية للفيزياء الحديثة في منهج المرحلة الثانوية لما لهذا الفرع - والذي بدأ مع بداية القرن العشرين والذي

يركز على دراسة سلوك الذرة والجسيمات الأولية - من أهمية ، وهو العلم الذي تفرع ونما لينتج هذه الثورة التكنولوجية التي نشاهدها في عالم اليوم .
وقد حاولنا قدر الإمكان أن نترج بالمواضيع تيسيراً لفهم الطالب حيث قمنا بشرح المفاهيم والمصطلحات الجديدة بصورة متدرجة وبأمثلة مستمدة بقدر الإمكان من البيئة .

من الواضح أن هناك تكامل - بين الفيزياء والرياضيات والعلوم الهندسية - في مقررات المرحلة الثانوية . والطالب لا بد له من الربط بين المفاهيم والمعادلات التي درسها في إحدى هذه المواد لتطبيقها في موضعها المناسب إذا احتاج لذلك .

وفي الختام نرجو أن نكون قد قدمنا عملاً يستفيد منه الأساتذة والطلاب .
هادفين من وراء ذلك تيسير فهم أساسيات الفيزياء وتطبيقاتها . ونهيب بالإخوة المعلمين والمختصين أن يمدونا بأرائهم ومقترحاتهم لتجويد الأداء مستقبلاً . والله من وراء القصد وهو يهدي السبيل .

المؤلفون

مقدمة الطبعة الثانية

يسرنا أن نضع بين يدي القارئ الطبعة الثانية لكتاب الفيزياء للصف الثالث بالمرحلة الثانوية. بعد مراجعته أملين أن تكون هذه الطبعة أتم وأكمل من سابقتها ، وفي نفس الوقت نرحب بملاحظات المهتمين عن هذه الطبعة لمزيد من الضبط في الطباعات القادمة .

لقد احتوت الطبعة الأولى لهذا الكتاب العديد من الأخطاء ، نتج بعضها من اختصار النص الأصلي. كما ظهرت أخطاء أخرى طباعية ولغوية. وقد راعينا في هذه الطبعة تصحيح تلك الأخطاء وإعادة صياغة بعض الفقرات لإزالة ما شابها من غموض وبدأ لنا حذف بعض الأجزاء التي رأينا أن لا ضرورة لها في هذه المرحلة من التعليم العام. والأجزاء المحذوفة هي :

- أ) الصوت ، إشعاع الجسم الأسود ، النظرية الموجية للانعكاس والانكسار في الباب الثاني من الطبعة الأولى .
- ب) قوانين وقواعد كيرتشفوف ، المكثفات في الباب الثالث من الطبعة الأولى .
- ج) الأشعة الكونية ، النظائر ، الكشف عن الإشعاع في الباب الرابع من الطبعة الأولى .

كذلك اختصرنا وبسطنا المعادلات الواردة في شرح برهان نموذج بوهر (بور) للذرة ولمزيد من التوضيح أضفنا للكهرباء التيارية توصيل الأعمدة الكهربائية ولاحظ القارئ أيضا إعادة رسم بعض الأشكال وإضافة أشكال جديدة لتوضيح بعض المفاهيم وتركيب بعض الأجهزة. كما أضيفت مجموعة من الصور حتى تغطي بعدا حقيقيا على موضوع الدرس. كذلك استخدمنا للقسم العلامة

المناسبة للكتابة من اليمين وهي \ بدلا من / المناسبة للغات التي تكتب من اليسار. ولا بد هنا من تقديم الشكر الجزيل لكل من وافانا بملاحظاته من المعلمين والشكر أجزله للبروفيسر محبوب محمد الحسين (جامعة أفريقيا العالمية) والذي قام بمراجعة الطبعة الأولى مراجعة دقيقة وتحديد الأخطاء كما قام بمراجعة هذه الطبعة. كما نرجي الشكر للدكتور عبد العظيم زين العابدين أحمد (جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا) لملاحظاته القيمة ولمراجعته لهذه الطبعة والشكر أيضا للدكتورة خالدة تاج النصر (كلية التربية-جامعة الخرطوم) وللأستاذة سلوى محمد سليمان (المركز القومي للمناهج). والشكر للأستاذة الهادي أحمد البشير (موجه فني مادة الفيزياء) وخالد محمد هارون ومناهل محمد بحر الدين لملاحظاتهم القيمة. وختاماً الشكر للدكتور محمد مزمل البشير مدير المركز القومي للمناهج والبحث التربوي الذي هيا لنا هذه الفرصة لمراجعة هذا الكتاب والله موفق.

الباب الأول :

**الجمال التشاقلي والحركة
الدائرية وحركة الكواكب
والأقمار الاصطناعية**

(1-1) الفصل الأول

المجال الثقالي (مجال الجاذبية)

(1-1-1) مقدمة :

ترتبط حياتنا بشكل مباشر بالمجال الثقالي للأرض (مجال الجاذبية الأرضية) ، حيث تتأثر أجسامنا مباشرة وكل الأجسام الموجودة على كوكب الأرض بما في ذلك الغلاف الجوي حول الأرض بهذا المجال . كما يرتبط تعاقب الليل والنهار وتعاقب فصول الشتاء والصيف والخريف بدوران الأرض حول محورها ودورانها حول الشمس الناتج عن وجود تجاذب بين الشمس والأرض وبقيّة كواكب المجموعة الشمسية (انظر شكل (1-1)) بل أن التجاذب يمتد حتى يشمل التجاذب بين الشمس وكل نجوم المجرة وبين المجرات المختلفة في الكون.

المجرة تتكون من بلايين النجوم التي تشكل منظومة واحدة وتُدور حول محورها

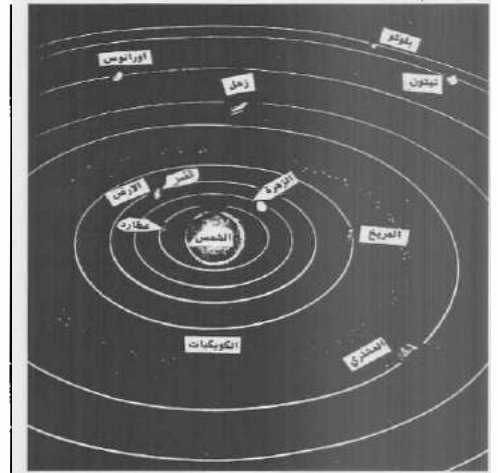
فمجرة درب التبانة (لأنها تشبه دربا به تبن) وهي التي تقع فيها المجموعة الشمسية وبها بلايين النجوم ، حيث تجري الشمس حول مركزها (ومعها كل المجموعة الشمسية) بسرعة تبلغ حوالي 250 كم\ث (انظر شكل (2-1)) ، ويقول الله تبارك وتعالى في سورة يس (والشمس تجري لمستقر لها ذلك تقدير العزيز العليم) والقمر قدرناه منازل حتى عاد كالعرجون القديم ◊ لا الشمس ينبغي لها أن تدرك القمر ولا الليل سابق النهار وكل في فلك يسبحون) . وكلمة فلك تعني مدار .

(2-1-1) جذب الأرض للأجسام :

من البدهة لكل إنسان إدراك ظاهرة سقوط الأجسام نحو سطح الأرض، مما يدل على جذب الأرض لهذه الأجسام ولولا هذا الجذب لظلت في مكانها ولم تسقط..

ولقد عرف المسلمون منذ القرن التاسع للميلاد قوة التثاقل الناشئة عن جذب الأرض للأجسام وأطلقوا على هذه القوة اسم القوة الطبيعية وهي ما نسميه اليوم بقوة التثاقل أو وزن الجسم . وقد عبر عن ذلك العالم " البيروني بقوله " لامحالة أن الخلاء الذي في بطن الأرض يمسك الناس حواليتها . أما الشريف الإدريسي (493 هـ - 565 هـ ، 1100م - 1170 م) فقد ذكر في كتابه نزهة المشتاق في اختراق الآفاق " أن الأرض جاذبة لما عليها من الثقل بمنزلة حجر المغنطيس الذي يجذب الحديد " .

كما أدركوا أن قوة التثاقل تتعاضد كلما كبر الجسم حيث أورد ذلك العالم ابن سينا في كتابه الإشارات والتنبيهات . كذلك أكد العالم الخازني (515 هـ ، 1170م) أن الأجسام الساقطة تنجذب نحو مركز الأرض ، وأن اختلاف قوة الجذب يرجع إلى المسافة بين الجسم الساقط وهذا المركز . وهذا بالضبط ما أكده العلم لاحقاً .



الشكل (1-1): المجموعة الشمسية

الشكل (2-1): مجرة ضخمة ذات ازرع تشبه مجرتنا

وبها بلايين النجوم بعضها يتركز في مركزها المتوهج .
تقع شمسنا قرب طرف احد ازرع مجرتنا الشبيهة بهذه .

ثم بذلت بعد ذلك مجهودات أخرى عديدة لفهم طبيعة جذب الأرض للأجسام أهمها مجهودات العالم الإيطالي جاليليو (1564-1642م) والذي أجرى التجربة المشهورة من فوق برج بيزا المائل والتي أثبتت أن الأجسام ذات الكتل المختلفة والتي تسقط من ارتفاع واحد تصل في نفس الزمن إلى الأرض. أما العالم الإنجليزي المشهور اسحق نيوتن (1642-1727م) فقد استطاع صياغة قانون التثاقل (التجاذب) الأرضي في صورة معادلة رياضية. حيث ذكرت بعض المراجع إن تفاحة سقطت قرب نيوتن عندما كان يجلس تحت شجرتها مما جعله يتساءل: لماذا سقطت هذه التفاحة إلى أسفل ؟ وعندها افترض أن هنالك قوة تجاذب بين الأجسام والأرض وهي التي أجبرت التفاحة على السقوط إلى أسفل.

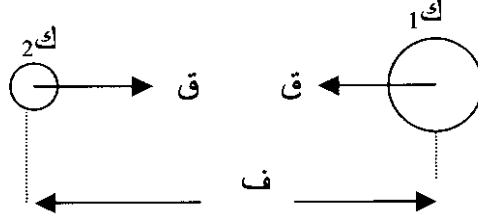
(1-1-3) قانون التثاقل :

لقد قام نيوتن بتحليل بعض الحسابات الفلكية التي سجلها بعض العلماء السابقين له أبرزهم العالم كبلر لحركة القمر حول الأرض وللكواكب حول الشمس وافترض أن نفس القوة التي جذبت التفاحة إلى الأرض هي التي تجعل القمر يدور حول الأرض . أي أنه توصل إلى حقيقة أن القمر ما كان يمكنه الدوران حول الأرض لولا وجود تجاذب بين الأرض والقمر.

وفي عام 1666م استنتج اسحق نيوتن قانون التثاقل الكوني وينص هذا القانون على أن :

أي جسمين كتلتاهما m_1 و m_2 يتجاذبان بقوة F تتناسب طردياً مع مضروب كتلتيهما وعكسياً مع مربع المسافة (r) بين مركزيهما.

الشكل التالي يوضح الجسمين والمسافة بينهما والقوة.



أي أن : $ق \propto ك_1 \times ك_2$
وعكسياً مع مربع المسافة ف بين مركزي الكتلتين :

أي أن : $ق \propto \frac{1}{ف^2}$
وعليه فإن قوة التجاذب (التناقل) بين جسمين :

$$ق \propto \frac{ك_1 \times ك_2}{ف^2}$$

(1- 1) قانون التناقل الكوني

$$ق = ج \times \frac{ك_1 \times ك_2}{ف^2}$$

أي أن

حيث ج هو ثابت التناسب ويسمى ثابت التناقل الكوني وقيمه ثابتة في كل أنحاء الكون وقد أمكن تحديد قيمته حيث وجد أن :

$$ج = 6.67 \times 10^{-11} \text{ نيوتن } \cdot \text{م}^2 \text{ كجم}^{-2}$$

قانون التناقل أعلاه يدل على أن الأرض التي كتلتها (مثلاً) $ك_1$ تجذب إليها أي جسم كتلته $ك_2$ موجود عليها أو قربها كما أن هذا الجسم $ك_2$ يجذب إليه الأرض $ك_1$ بنفس القوة (أنظر الشكل أعلاه) . أي أن الجذب ليس خاصية الأرض وحدها ، وإنما خاصية كل الأجسام المادية ولكن لأن كتلة الأرض كبيرة جداً جداً مقارنة بكتل الأجسام الأخرى التي عليها فأن قوة التجاذب بين هذه الأجسام

مع بعضها صغيرة جداً مقارنة مع قوة جذب الأرض لأي منها ولذلك لا تتحرك الأجسام القريبة من بعضها على الأرض نحو بعضها رغم وجود تجاذب بينها .
واضح من قانون التثاقل الكوني (1-1) أن قوة التجاذب بين الكتلتين تتضاءل كلما كبرت المسافة بينهما ولذلك تكون قوة جذب الأرض ضعيفة جداً على الأجسام التي على مسافات بعيدة عن الأرض، لأن F^2 تكون كبيرة جداً .
والآن يمكننا أن نتخيل مقدار الفوضى التي كانت ستحدث لو لم تكن الأرض تجذب الأجسام إليها حيث ستكون كلها بدون وزن وسيختفي الغلاف الجوي حولها وبالتالي يختفي الهواء الذي نحتاجه للتنفس و حدوث غير ذلك من الظواهر وهذا يدل على الأهمية القصوى للتثاقل لحياة الإنسان .

(1-1-4) عجلة الجاذبية الأرضية (عجلة السقوط الحر) :

نحن نعرف من دراستنا في الصف الأول وحسب قانون الحركة الثاني لنيوتن أن وزن جسم على سطح الأرض هو قوة وبالتالي تساوى الكتلة $\times$ العجلة.
أي :

الوزن = كتلة الجسم $\times$ عجلة الجاذبية الأرضية (عجلة السقوط الحر الناتجة عن جذب الأرض للجسم) . أي أن :

$$W = K \times D \quad (2-1)$$

حيث $K \equiv$ كتلة الجسم ، $D = 9.8 \text{ م/ث}^2$ على سطح الأرض
ولكننا نعرف أيضاً أن هذا الجسم والأرض يتجاذبان حسب قانون التثاقل الكوني بقوة التثاقل بين الاثنين مما يعنى أن :

$$\text{وزن الجسم} = \text{قوة التثاقل بين الأرض والجسم}$$

أي أن :

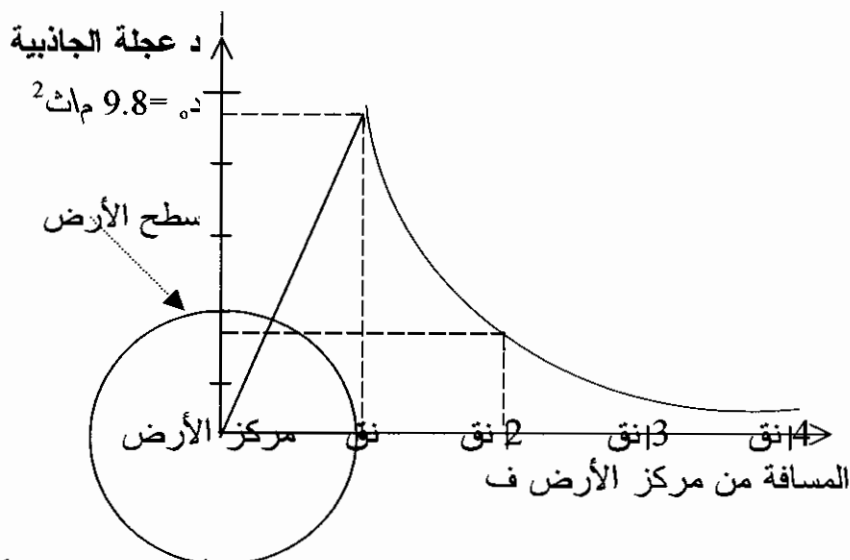
$$K \times D = \frac{J \times K}{F^2} \quad (3-1)$$

حيث $K_1 =$ كتلة الأرض و F هي بعد الجسم من مركز الأرض. ومن هذه المعادلة بعد قسمة الطرفين على K نجد أن عجلة الجاذبية للأرض (عجلة السقوط الحر) هي:

$$(4 - 1)$$

$$d = \frac{K_1}{F^2}$$

المعادلة (4-1) توضح أن عجلة الجاذبية الأرضية تتوقف على كتلة الأرض (وهي كمية ثابتة) وتتوقف أيضا على بعد الجسم من مركز الأرض (تقل كلما زاد هذا البعد)، ولكنها لا تتوقف على كتلة الجسم نفسه فكل الأجسام الخفيفة أو الثقيلة تؤثر عليها نفس عجلة الجاذبية الأرضية إذا كانت في نفس الموقع (وهذا ما كان قد أثبته العالم جاليليو بالتجربة من برج بيزا المائل) .



الشكل (3-1) : تغير قيمة d مع المسافة داخل الأرض وخارج الأرض

بعد أي جسم موجود على سطح الأرض من مركز الأرض ف=نق
(نصف قطر الأرض) وبالتالي تكون عجلة الجاذبية الأرضية على سطح الأرض
والتي سنرمز لها بالرمز :

$$د = \frac{ج ك ا}{2 نق} = 9.8 \text{ م ث}^{-2} \quad (5-1)$$

حيث ف = نق على سطح الأرض. ولكن إذا كان هناك جسم على بعد
ف = 2 نق فإن :

$$د = \frac{ج ك ا}{4 نق} \quad \text{أي أن } د = د_0 \quad 4 \text{ \text{ا}}$$

وكلما زادت ف كلما قلت عجلة الجاذبية الأرضية . شكل (3-1) يوضح
منحنى تغير قيمة د كلما ارتفعنا عن سطح الأرض حيث يقل تجاذب الأرض
والجسم لأنه يتناسب عكسيا مع مربع المسافة . الشكل أيضا يوضح أن القانون
(4-1) لا ينطبق على تغير قيمة (د) داخل الأرض حيث د = صفر في مركز
الأرض وتزيد قيمتها خطيا حتى تصبح قيمة د = د₀ على سطح الأرض . أي أن
د₀ (عجلة الجاذبية الأرضية على سطح الأرض) هي أعلى قيمة لعجلة الجاذبية
الأرضية مقارنة بقيمتها داخل الأرض أو قيمتها كلما ارتفعنا عن سطح
الأرض. بقسمة المعادلة (4-1) على المعادلة (5-1) نجد أن :

$$د = د_0 = \frac{(ج ك ا ف^2)}{(ج ك ا نق^2)} = نق^2 \div ف^2$$

$$د = د_0 \times \frac{نق^2}{ف^2} \quad \text{أي أن :} \quad (6-1)$$

باستعمال المعادلة (6-1) يمكن إيجاد قيمة د في أي موقع فوق سطح الأرض
إذا علمنا ارتفاعها عن سطح الأرض حيث ف = نق + (ذلك الارتفاع) حيث
نصف قطر الأرض نق = 6400 كم وقيمة د₀ معروفة كما في معادلة (5-1) .

مثال(1-1) :

طائرة ركاب تطير على ارتفاع 15 كم فوق سطح الأرض. جد عجلة الجاذبية الأرضية د داخل تلك الطائرة علما بأن نصف قطر الأرض نق = 6400 كم.
الحل:

$$\begin{aligned} \text{ف} &= \text{ارتفاع الطائرة عن مركز الأرض} = \text{نق} + 15 \text{ كم} = 6415 \text{ كم} , \\ \text{د} &= [9.8 \times (6400 \text{ كم})^2] \div (6415 \text{ كم})^2 \\ &= 9.7524223 = 0.99533 \times 9.8 = \end{aligned}$$

أي أن هنالك انخفاضا طفيفا في قيمة (د) وأن د = 99.533% من قيمة د_ه

مثال(2-1) : كتلة الأرض

يندهش بعض الناس إذا قلت لهم أن كتلة الأرض أو كتلة الشمس أو ذاك النجم تساوي كذا كجم وذلك لأنهم أنه لإيجاد أي كتلة لا بد من وضعها على ميزان وعليه فمن المستحيل إيجاد ميزان توازن به الأرض أو الشمس . ولكن نظرة واحدة إلى المعادلة (4-1) أعلاه توضح أن الأمر أبسط من ذلك بكثير حيث أن :

$$\text{د} = \frac{\text{ج ك}}{\text{نق}^2} \quad (5-1)$$

ومنها نجد أن كتلة الأرض : ك_ا = $\frac{\text{د} \text{ه نق}^2}{\text{ج}}$ (7-1)

حيث نحن نعرف أن (د_ه) = 9.8 م/ث²، نصف قطر الأرض (نق) = 6400 كم
= 6.4 × 10⁶ م. وثابت التجاذب الكوني (ج) = 6.67 × 10⁻¹¹ نيوتن. م² /كجم²

$$\begin{aligned} \text{كتلة الأرض ك} &= \frac{(6.4 \times 10^6)^2 \times 9.8}{6.67 \times 10^{-11}} = \frac{40.96 \times 10^{12} \times 9.8}{6.67} \\ &= 6,018 \times 10^{24} \text{ كجم} = 6 \times 10^{24} \text{ كجم} \\ &= 6000000000000000000000000 \text{ كجم} \end{aligned}$$

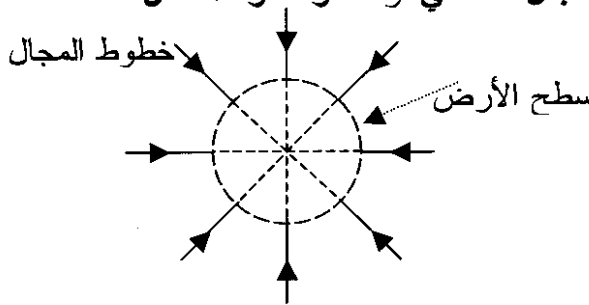
(5-1-1) المجال التثاقلي

قانون التثاقل الكوني (1-1) يدل على وجود قوة تجاذب بين أي جسمين ماديين بالرغم من وجود مسافة بينهما. وجود هذه القوة يعنى أن أي جسم يؤثر على الجسم الآخر من بعد. عند وجود تأثير قوة بالرغم من وجود مسافة يقال أن هناك **مجالاً**. وفي الحالة التي ندرسها الآن يسمى المجال **بالمجال التثاقلي** ويعرف كالآتي:

المجال التثاقلي لأي جسم هو المنطقة حول هذا الجسم التي يؤثر بها على الأجسام الموجودة فيها .

إلى جانب المجال التثاقلي يوجد أيضاً المجال الكهربى لأن الشحنات الكهربائية تتجاذب أو تتنافر من بُعد أيضاً ولذلك لكل شحنة مجال كهربى. وكذلك يوجد المجال المغناطيسى لأن الأقطاب المغناطيسية تتجاذب وتتنافر من بعد وتتشابه القوانين الفيزيائية في المجالات المختلفة مما يسهل فهمها وتذكرها وسنتطرق إلى هذين المجالين في هذا الكتاب لاحقاً .

والمجال التثاقلي (مثله مثل بقية المجالات) يمثل بخطوط تسمى خطوط القوة وشكل (4-1) يوضح شكل هذه الخطوط الوهمية حول الأرض. وتسمى هذه الخطوط بخطوط المجال التثاقلي أو خطوط قوة التثاقل .



الشكل (4-1) خطوط المجال التثاقلي للأرض = خطوط قوة التثاقل

(6-1-1) شدة المجال الثقالي للأرض :

نلاحظ في شكل (4-1) أن كثافة الخطوط (أي عدد الخطوط في وحدة المساحة) تقل كلما بعدت عن الأرض (تتباعد عن بعضها) وقد عرفنا من قانون الثقائل الكوني (1-1) أن قوة الثقائل تتناسب عكسياً مع مربع المسافة ولذلك فخطوط المجال الثقالي تمثل أيضاً القوة من حيث الاتجاه ومن حيث المقدار حيث تقل مع البعد عن الأرض ولذلك تسمى أيضاً خطوط قوة الثقائل. ولكن لأن قوة الثقائل تكون بين جسمين بينما المجال الثقالي لجسم مادي يوجد حول هذا الجسم حتى لو لم يكن هناك جسم آخر قريب منه؛ ولذلك فلا بد من كمية أخرى تبرز لنا تأثير هذا المجال حول الجسم المادي حتى ولو لم يكن هناك جسم آخر موجود في تلك المنطقة، وهذه الكمية تسمى شدة المجال الثقالي.

ولذلك فشدّة المجال الثقالي للأرض في نقطة ما على مسافة (ف) من مركز الأرض تعرف بأنها هي قوة الثقائل بين كتلة الأرض وبين ما مقداره وحدة الكتلة (=1) في نفس النقطة.

$$\text{شدة} = \text{ق} \div \text{ك} \quad \text{نيوتن / كجم} \quad (8-1) \quad \text{أي أن :}$$

$$\text{شدة} = \frac{\text{ج ك}}{\text{ف}^2} \quad \text{نيوتن / كجم} \quad (9-1)$$

المعادلة (9-1) توضح أن شدة المجال الثقالي للأرض تتناسب طردياً مع كتلة الأرض فقط وعكسياً مع مربع المسافة من مركز الأرض إلى النقطة التي نحدد عندها شدة المجال.

من المعادلة (8-1) تصبح قوة الثقائل بين الأرض وأي جسم كتلته ك هي:

$$\text{ق} = \text{شدة} \times \text{ك نيوتن} \quad (10-1)$$

أي أن قوة الثقائل :

= قوة الثقائل على وحدة الكتلة (شدة المجال الثقالي) × الكتلة .

وعموماً تصبح شدة المجال التثاقلي لأي جسم مادي (بما في ذلك الأرض) كتلته ك هي :

$$\text{شدة} = (ج \times ك) \div ف^2 \quad (11-1)$$

بمقارنة المعادلة (9-1) مع المعادلة (4-1) نجد شدة المجال التثاقلي للأرض في أي موقع فوق سطح الأرض تساوي عجلة الجاذبية الأرضية (عجلة السقوط الحر) في ذلك الموقع. أي أن :

$$د = \text{شدة} = \frac{ج \times ك}{ف^2} \quad \text{نيوتن / كجم} \quad (12-1)$$

ولذلك نجد أن شدة المجال التثاقلي للأرض تتغير مع المسافة (ف) تماماً كما تتغير (د) في شكل (4-1) .

(7-1-1) الطاقة التثاقلية (طاقة الوضع) :

لقد عرفنا في الصف الأول مفهوم الطاقة وقلنا أن :

الطاقة هي المقدرة على إنجاز الشغل

وكنا قد عرفنا أن الشغل الذي تنجزه قوة (ق) عندما تزيح جسمًا في اتجاه

تأثيرها إزاحة مقدارها (ف) هو :

$$\text{شغ} = ق \times ف \quad (13-1)$$

فإذا رفعت جسمًا من سطح الأرض إلى سطح مبنى مثلاً تكون قد بذلت عليه شغلاً وبذلك اكتسب طاقة اسمها **طاقة الوضع** (بسبب ارتفاعه عن الأرض) وهذا الجسم على سطح المبنى له قابلية إنجاز شغل . فلو سقط الجسم من على سطح المبنى فإن قوة جذب الأرض للجسم هي التي تبذل شغلاً وعليه فطاقة الوضع لجسم على ارتفاع ما عن سطح الأرض تساوي الشغل المبذول لرفع

الجسم إلى هذا الارتفاع. أي أن: طاقة الوضع = الشغل المبذول لرفع الجسم في عكس اتجاه جذب الأرض إلى ذلك الارتفاع وعليه من معادلة (1-13) تكون طاقة الوضع:

$$ط_r = ق \times ف \quad (14-1)$$

حيث ف هي المسافة بين موقع الجسم فوق سطح الأرض ومركز الأرض. ولكن في مركز الأرض ف=صفر ولذلك فطاقة الوضع تساوي صفرًا في مركز الأرض. أما ق فهي قوة الثقالة الكوني ولكن هنا في عكس اتجاهها المعهود، أي إلى أعلى لأن الشغل المبذول لرفع الجسم ولذلك:

$$ق = - \text{قوة الثقالة الكوني} . \text{ أي من (1-1) :$$

$$ق = - \frac{ج ك ا ك}{ف^2}$$

حيث ك ا ≡ كتلة الأرض ، ك ≡ كتلة الجسم ، ج ≡ ثابت الثقالة الكوني ، ف ≡ بعد الجسم عن مركز الأرض . وعليه لكي نرفع جسمًا ما من مركز الأرض إلى سطحها فابننا يجب أن نبذل شغلًا وهذا الشغل المبذول يمدده بطاقة الوضع :

$$ط_r = ق \times ف = - (ج ك ا ك \div ف^2) \times ف$$

(15-1)

نيوتن م = جول

$$ط_r = - (ج ك ا ك) \div ف$$

أي أن طاقة الوضع سالبة وإنها تتناسب عكسيا مع المسافة ف (وليس مع مربع المسافة كما في حالة القوة).

واضح من (15-1) أن وحدة طاقة الوضع هي نيوتن×متر أي جول لقد درسنا في فيزياء الصف الأول أن طاقة الوضع لجسم رفع من سطح الأرض إلى ارتفاع (ل) هي:

الشغل اللازم لرفعه إلى هذا الارتفاع = القوة (في هذه الحالة الوزن) × الارتفاع.

أي أن : $\text{ط و} = \text{ك} \times \text{د} \times \text{ل}$

حيث ك كتلة الجسم ، د عجلة الجاذبية الأرضية ($\text{ك} \times \text{د} = \text{الوزن}$) ، ل الارتفاع عن سطح الأرض. ورغم أن هذا القانون يختلف عن (15-1) إلا أنه أيضاً صحيح . فمن شكل (5-1) نجد أن :

طاقة الوضع على ارتفاع $\text{ل} = -\text{ك د (نق + ل)}$ ، وطاقة الوضع على سطح الأرض $= -\text{ك د نق}$ حيث $\text{نق} = \text{نصف قطر الأرض}$.
 ∴ الفرق في طاقة الوضع :

$$= -\text{ك د ل} - (-\text{ك د (نق + ل)}) = -\text{ك د ل} + \text{ك د (نق + ل)}$$

$= -\text{ك د ل} + \text{ك د ل} + \text{ك د نق} = \text{ك د نق}$

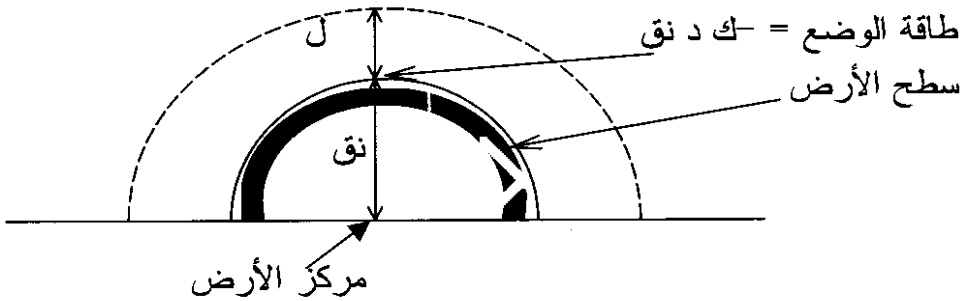
وعليه إذا رفعنا جسماً كتلته (ك) من سطح الأرض إلى ارتفاع (ل) فإن طاقة وضعه مقارنة مع سطح الأرض هي :

(16-1)

$$\text{ط و} = \text{ك د ل}$$

وقد اعتبرت موجبة لتسهيل التعامل مع القانون رغم أنها ناتجة عن شغل سالب ضد جذب الأرض ولكن إذا ترك الجسم ليسقط فسيقوم بشغل موجب في اتجاه عجلة الجاذبية .

طاقة الوضع $= -\text{ك د (نق + ل)}$



الشكل (5-1) : الفرق في طاقة الوضع .

(1-1-8) الجهد الثقالي :

لقد درسنا فيما سبق قانون الثقائل الكوني وهو حساب القوة الثقالية بين جسمين ماديين وعرفنا أن هنالك مجالا ثقالياً حول أي جسم مادي . وقد عبرنا عن هذا المجال الثقالي في أي نقطة حول الجسم بمفهوم جديد هو شدة المجال الثقالي الذي لا يتطلب وجود جسم آخر غير الجسم الأصلي . الآن نجد أننا في حاجة إلى التعبير عن طاقة الوضع في أي نقطة حول جسم مادي له مجال ثقالي دون الحاجة إلى جسم آخر نرفعه لإكسابه طاقة وضع ويسمى هذا بالجهد الثقالي.

وبنفس الطريقة التي وجدنا بها شدة المجال الثقالي نقول أن الجهد في المجال الثقالي لجسم ما هو طاقة وضع وحدة الكتلة (أي ك = 1) في تلك النقطة.

ومما سبق ومن (1-15) نجد في حالة الأرض أن :

نيوتن.م اكجم = جول/اكجم (1-17)

$$\text{الجهد الثقالي} = \frac{\text{طو}}{\text{ك}} = - \frac{\text{ج ك}}{\text{ف}}$$

حيث ك هي كتلة الأرض ، ف هي المسافة من مركز الأرض. أي أن الجهد الثقالي للأرض في أي نقطة حول الأرض لا يتوقف على كتلة أي جسم في تلك النقطة. وعموما لأي جسم مادي أو كوكب أو نجم كتلته ك يكون الجهد الثقالي في أي نقطة حوله هو: $(-ج ك) \div ف$. وإذا وجد جسم آخر كتلته ك في هذه النقطة فإن:

$$\text{طاقة الوضع } \text{طو} = \text{الجهد الثقالي} \times \text{كتلة الجسم}$$

مثال (3-1) :

جد طاقة وضع جسم كتلته (1 طن) يدور على ارتفاع 1000 كم من سطح الأرض علماً بأن كتلة الأرض = 6×10^{24} كجم وثابت الثقائل (ج) = $10 \times 6.67 \times 10^{-11}$ نيوتن. م² كجم⁻² ونصف قطر الأرض يساوي 6400 كيلومتر .
ثم جد الجهد الثقالي لهذا الجسم على ذلك الارتفاع .

الحل :

$$\text{ط و} = \frac{\text{ج ك ا}}{\text{ف}} - \text{ك} = 1000 \text{ كجم} , \text{ك} = 6 \times 10^{24} ,$$

$$\text{ج} = 10 \times 6.67 - \text{ف} = 6.4 \times 10^6 \text{ م} .$$

$$\text{ف} = \text{نق} + 1000 \text{ كم} = 6.4 \times 10^6 + 1 \times 10^6 = 7.4 \times 10^6 \text{ م}$$

$$\therefore \text{ط و} = - \frac{24 \times 10 \times 6 \times 1000 \times 10 \times 6.67}{6 \times 10 \times 7.4}$$

$$\text{ط و} = - \frac{10 \times 10 \times 6 \times 6.67}{7.4} = - 10 \times 5.41 \text{ جول}$$

$$\text{الجهد الثقالي} = - \frac{\text{ج ك ا}}{\text{ف}} = - \frac{24 \times 10 \times 6 \times 10 \times 6.67}{6 \times 10 \times 7.4}$$

$$= - 10 \times 5.41 \text{ نيوتن م اكجم} = - 10 \times 5.41 \text{ جول اكجم}$$

لاحظ إننا لم نستخدم المعادلة ط و = ك د ف حيث لا بد أن تتغير د مع الارتفاع ولا بد لحساب د من استعمال المعادلة (1-4) وعندها ستحصل على نفس النتيجة .

توضيح:

قوة الثقائل الكوني (قانون نيوتن) تكون بين جسمين ماديين (المعادلة (1-1))، ولكن أي جسم مادي له مجال ثقالي حوله حتى بدون وجود أي جسم آخر بقربه. لذلك ابتكر العلماء شدة المجال الثقالي (شد=القوة المؤثرة على وحدة الكتلة -

المعادلة (1-11)) والتي بواسطتها تمكن العلماء من حساب شدة أي مجال حول أي جسم في أي نقطة دون وجود جسم آخر. [عند وجود جسم آخر كتلته ك فإن قوة التناقل عليه $Q = K \times$]. كذلك لاحظ العلماء أن طاقة الوضع ط ر حسب المعادلة (1-15) هي لجسم كتلته ك موجود في المجال التناقلي لجسم آخر. ولذلك وجد العلماء أنفسهم مرة أخرى في حاجة لمعرفة الطاقة الموجودة في المجال التناقلي في أي نقطة حول أي جسم مادي دون الحاجة لوجود جسم آخر. ولذلك ابتكر العلماء **الجهد** (المعادلة (1-17)) - أي طاقة الوضع التي يمكن أن تكتسبها وحدة الكتلة في أي مجال تناقلي). وبما أن هناك مجالات أخرى غير المجال التناقلي حيث يوجد المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي فسنجد أن مفهوم شدة المجال ومفهوم **الجهد** موجودان هناك أيضا كما سنرى لاحقا.

تمرين (1-1)

كتلة الأرض ك_ا = 6×10^{24} كجم ، نصف قطر الأرض (نق) = 6.4×10^6 م
ثابت التناقل الكوني ج = 6.67×10^{-11} نيوتن م² كجم⁻²

1) بما أن قوة جذب الأرض للأجسام ق = ك د (حيث ك = كتلة الجسم ، د = عجلة السقوط الحر) . أي أن القوة ق تتناسب مع كتلة الأجسام فلماذا إذن لا تسقط الأجسام الثقيلة أسرع من الخفيفة ؟

2) على أي ارتفاع من سطح الأرض تصبح عجلة الجاذبية 5 م² ث⁻² استعمل الثوابت الموجودة في أعلى الصفحة
[الإجابة : الارتفاع = 2546 كم]

3) إذا كانت عجلة السقوط الحر على سطح القمر 2 م² ث⁻² وقطره 3500 كم احسب كتلة القمر [9.2×10^{22} كجم]

4) على أي مسافة من الأرض يجب أن يكون جسم يقع بين الأرض والشمس بحيث تصبح قوة جذب الأرض عليه تساوي قوة جذب الشمس عليه إذا

علمت أن المسافة بين الأرض والشمس تساوي 150 مليون كيلو متر
بينما كتلة الشمس ك_ش = 3.24×10^5 ك_ا (حيث ك_ا = كتلة الأرض) .

[على مسافة = 263563 كيلومتر من الأرض]

(5) تصل كتلة ناقلة (سفينة) النفط العملاقة إلى 500,000 طن . فإذا اقتربت ناقلتان متساويتا الكتلة في البحر بحيث أصبحت المسافة بينهما 1 كم ، أحسب قوة التجاذب بين الناقلتين (اعتبر كل ناقلة كتلة نقطية- أي أهمل حجم الناقلة) . قارن بين القوة التي حصلت عليها مع قوة تجاذب أي من الناقلتين مع الأرض . أعط الإجابة في صورة نسبة . [القوة بين الناقلتين 16.675 نيوتن، بين أي من الناقلتين والأرض 4.89×10^9 نيوتن]

(6) أحسب طاقة الوضع لقمر اصطناعي كتلته 1000 كجم يدور حول الأرض على ارتفاع 600 كم فوق سطح الأرض إذا علمت أن كتلة الأرض تساوي 6×10^{24} كجم ونصف قطر الأرض 6400 كم . جد أيضاً الجهد الثقالي في مدار هذا القمر الاصطناعي ثم جد شدة المجال الثقالي في هذا المدار .

[ط_ج = 5.7×10^{10} جول ، الجهد = 5.7×10^7 جول / كجم ، شد = 815.7 نيوتن / كجم] .

(7) أحسب الجهد الثقالي للأرض على بعد 380,000 كيلو متر من مركزها علماً بأن كتلة الأرض 6×10^{24} كجم [1.1×10^6 جول / كجم] .

(8) أحسب عجلة عجلة السقوط الحر على سطح المشتري إذا كانت كتلته 1.9 $\times 10^{27}$ كجم ونصف قطره 71500 كيلومتر . [25 م / ث²]

(9) أحسب الجهد الثقالي للشمس على بعد 150 مليون كيلومتر من مركزها (نفس المسافة بين الأرض والشمس) علماً بأن كتلة الشمس 2×10^{30} كجم . [8.9×10^8 جول / كجم]

(2-1) الفصل الثاني

الحركة الدائرية المنتظمة

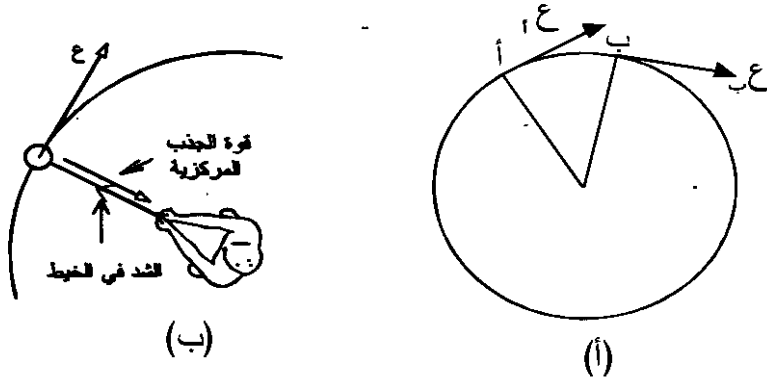
(1-2-1) مقدمة :

ذكرنا عند الحديث عن قانون الثقائل الكوني أن القمر يدور حول الأرض، وأن الكواكب تدور حول الشمس. فإذا نظرنا حولنا على الأرض نجد أن الحركة في غالبيتها الأعم ليست حركة في خط مستقيم وإنما في منحنيات . لذلك لابد من دراسة حركة الأجسام التي تتحرك في دائرة أو جزء من دائرة وسيوضح أثناء هذه الدراسة أن هناك فروقاً بين حركة الجسم في خط مستقيم التي درسناها في الصف الأول وحركته في دائرة . وستفيدنا هذه الدراسة في فهم حركة الكواكب حول الشمس ، وحركة الأقمار الاصطناعية حول الأرض ، ولماذا لا تسقط الكواكب ومن بينها الأرض على الشمس والتي هي في تجاذب دائم معها ؟

(2-2-1) حركة جسم في دائرة أفقية :

لفهم حركة الجسم في مسار دائري والقوى المؤثرة على هذا الجسم؛ يمكن لكل واحد منا القيام بإجراء تجربة بسيطة بربط جسم (مثلاً صامولة) في خيط ثم أمسك الطرف الآخر للخيط باليد وأدر الجسم مع الخيط في دائرة أفقية وستلاحظ أنه كلما زادت سرعة الجسم كلما كان شد الخيط لليد أكبر ؛ ولأن الجسم يدور في دائرة فإن سرعة هذا الجسم تكون في أي نقطة على الدائرة مماسة لهذه الدائرة (انظر شكل (1-6 أ)). ولذلك فالسرعة ع تغير اتجاهها باستمرار مع حركة الجسم . وعندما يكمل الجسم دورة كاملة تغير السرعة ع اتجاهها بزاوية مقدارها 360° .

هذه السرعة ع تسمى بالسرعة المماسية وهي متجه ، أي أن لها مقداراً ولها اتجاهاً في نفس الوقت حتى لو كانت هذه السرعة منتظمة أي ثابتة حيث لا يتغير مقدارها مع الزمن ولكن اتجاهها يظل متغيراً وهذا التغير في الاتجاه له قيمة فيزيائية كما سنرى لاحقاً.



الشكل (1-6) : حركة جسم مربوط بخيط في مسار دائري

بالرجوع إلى التجربة أعلاه إذا أطلقت طرف الخيط الذي تمسكه في يدك في أي لحظة أثناء دوران الجسم ، فستجد أن الجسم ينطلق مبتعداً في نفس اتجاه السرعة المماسية في تلك اللحظة ، ويسير في ذلك الاتجاه كما لو أن الجسم كان يحاول طول الوقت السير في خط مستقيم، ولكن كان الخيط يمنعه ويجبره على السير في دائرة نصف قطرها طول الخيط .

أي أن الخيط كان يمد الجسم بقوة تشده إلى مركز الدائرة ليدور حولها وهذه القوة هي التي يحسها الشخص الممسك بالخيط في صورة شد في الخيط يزيد كلما زادت سرعة الجسم .

إذا لكي يدور أي جسم في دائرة لا بد من وجود قوة تشده أو تربطه مع مركز الدائرة وتسمى هذه القوة : **قوة الجذب المركزية** .

وعلى ذلك في التجربة السابقة فالخيط هو الذي يمد الجسم بقوة الجذب المركزية وتظهر هذه القوة في صورة شد في الخيط إلى الخارج وتعاذل قيمة هذا الشد قيمة قوة الجذب المركزية (اتجاه الشد عكس اتجاه القوة كما في شكل (1-6)(ب)) .

لاحظ أننا إذا أوقفنا الجسم عن الدوران يختفي الشد ويسترخي الخيط وبالتالي تختفي هذه القوة لأن وجودها مربوط بوجود الدوران .

1-2-3) قوانين الحركة الدائرية :

1/ الزمن الدوري :

هو الزمن اللازم لكي يكمل الجسم الذى يدور فى دائرة دورة كاملة ويرمز بالرمز Z

فالأرض مثلاً تكمل دورة كاملة حول الشمس فى 365 يوماً وربع اليوم تقريباً (بالضبط 365 يوم و 6 ساعات و 9 دقائق و 59 ثانية). إذا فالزمن الدوري لدوران الأرض حول الشمس هو هذا المقدار محسوباً بالثانية. وعليه فالزمن الدوري للأرض:

$$Z = 365.25 \text{ يوم} \times 24 \text{ ساعة} \times 60 \text{ دقيقة} \times 60 \text{ ثانية} = 31557600 \text{ ثانية}$$

من التعريف أعلاه نستنتج أن الزمن الدوري هو الزمن اللازم للجسم لقطع مسافة تساوى محيط الدائرة أى 2π نق حيث نق هو نصف قطر الدائرة. ولكن هذه المسافة (محيط الدائرة) = سرعة دوران الجسم (السرعة المماسية) $\times$ الزمن الدوري (Z) . أى أن:

$$ع \times Z = 2\pi \text{ نق} \quad (18-1)$$

ومنها نجد أن السرعة المماسية:

$$ع = \frac{2\pi \text{ نق}}{Z} \quad (19-1)$$

2/ التردد:

التردد هو عدد الدورات فى الثانية ويرمز له بالرمز λ (من نذبذة) ويقاس بالهيرتز = دورة \ ثانية

أي أن التردد: $ذ = \text{مقلوب الزمن الدوري} ز = 1 \div ز$ (20-1)
وبناء عليه تصبح السرعة المماسية من (19-1) هي:

(21-1)

$$ع = 2\pi \text{ نق } ذ$$

مثال (4-1):

قمر اصطناعي يدور حول الأرض على ارتفاع 300 كم من سطح الأرض مرة كل 90 دقيقة. جد سرعة هذا القمر في مداره إذا علمت أن نصف قطر الأرض يساوي 6400 كم.

الحل :

الزمن الدوري للقمر الاصطناعي $ز = 90 \text{ دقيقة} = 60 \times 90 = 5400$ ثانية

$$= 5.4 \times 10^3 \text{ ث}$$

السرعة المماسية $ع = 2\pi \text{ نق } 1 ز$

نصف قطر مدار القمر الاصطناعي (اعتباراً من مركز الأرض):

$$\text{نق} = \text{نصف قطر الأرض} + 300 \text{ كم} = 6400 + 300 = 6700 \text{ كم}$$

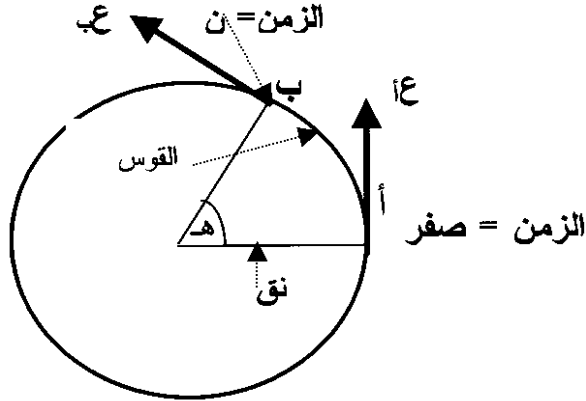
$$= 6700000 \text{ متر} = 6.7 \times 10^6 \text{ م}$$

$$ع = (2\pi \text{ نق}) \div ز = (6.2832 \times 6.7 \times 10^6) \div (5.4 \times 10^3)$$

$$= 7795.8 \text{ م/ث} = 7.796 \text{ كم/ث.}$$

لاحظ أن سرعة هذا القمر الاصطناعي في مداره قريبة من 8 كم/ث وهي سرعة عالية جداً مقارنة بسرعات الأجسام على الأرض ولو قلت هذه السرعة عن هذه القيمة بقليل سيسقط هذا القمر إلى الأرض كما سنرى لاحقاً.

3/ السرعة الزاوية :



الشكل (7-1): حركة جسم في دائرة من أ إلى ب

شكل (7-1) يوضح حركة جسم في مسار دائري من (أ) إلى (ب) في زمن (ن) حيث سار على المحيط المسافة (القوس) (س) صانعا خلال هذه الحركة زاوية مقدارها (هـ). وبما أن: المسافة = السرعة × الزمن. فإن:

$$س = ع \times ن \quad (22-1)$$

حيث ع هي السرعة المماسية والتي سنفترض أنها منتظمة في كل دراستنا للحركة الدائرية في هذا الفصل أي أن قيمتها ثابتة ولكن اتجاهها متغير بسبب حركة الجسم في مسار دائري. وعليه فإن قيمة ع = قيمة ع = قيمة ع. ولكن نحن نعلم أيضا أن طول القوس:

$$س = نق \times هـ \quad (\text{بالراديان}) \quad (23-1)$$

وهي العلاقة التي بنى عليها التقدير الدائري (الراديان) حيث نق هو نصف قطر الدائرة التي يكون القوس جزءاً منها و(هـ) هي الزاوية التي تصنعها حركة الجسم مع مركز الدائرة أثناء سيره على محيط الدائرة من (أ) إلى (ب) وتسمى بالزاوية المزاحة وتقاس بالراديان (الراديان هي الزاوية التي طول قوسها على محيط الدائرة يساوي نصف قطر الدائرة أي س = نق).

من (22-1) و (23-1) :

$$ع \times ن = نق \times هـ$$

$$(24-1) \quad \therefore \text{السرعة المماسية } ع = نق \times \left(\frac{هـ}{ن}\right)$$

الكمية : $\frac{هـ}{ن}$ هي معدل تغير الزاوية المزاحة في الزمن ولذلك فهي مثلها مثل تغير المسافة في الزمن هي سرعة ولكنها خاصة بالحركة الدائرية (لوجود الزاوية هـ) وتسمى السرعة الزاوية وهي تمثل مقدار الزاوية المزاحة في الثانية الواحدة ويرمز لها بالرمز ω (ينطق اوميغا omega)

(25 -1 أ)

$$\therefore \omega = \frac{هـ}{ن}$$

وتقاس بالراديان في الثانية . وبتعويض (25-1 أ) في (24-1) نحصل على :

(26-1)

$$ع = نق \times \omega$$

السرعة المماسية :

أما إذا أكمل الجسم دورة كاملة فإن :

الزاوية المزاحة هـ = 2π والزمن ن = ز (الزمن الدوري)

$$(25-1 ب) \quad \text{فإن: } \omega = \frac{هـ}{ن} = \frac{2\pi}{ز}$$

وبالتعويض في المعادلة (26-1) نحصل على :

(27-1)

$$ع = نق \times \frac{2\pi}{ز}$$

أي أن : ع $\times$ ز = نق $\times$ 2π (وهو ما حصلنا عليه في المعادلة (18-1))

مثال (5-1) : أحسب السرعة الزاوية التي يتحرك بها سطح الكرة الأرضية أثناء دورانها حول محورها .

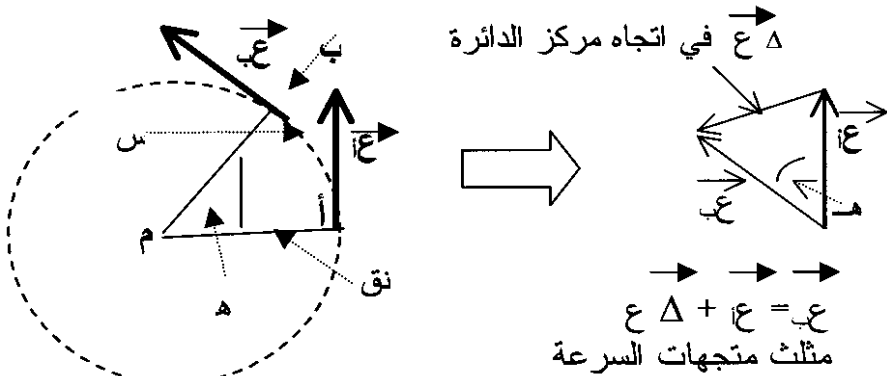
الحل :

تدور الأرض وتقطع زاوية قدرها 2π في كل (يوم) 24 ساعة (86400 ثانية). لذا نجد أن سرعتها الزاوية تساوي:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{86400} = 7.27 \times 10^{-5} \text{ راديان } \text{ثانية}^{-1}$$

4/ قوة الجذب المركزية :

عرفنا فيما سبق أنه لكي يدور جسم في مسار دائري لا بد من وجود قوة تجذبه لمركز الدائرة تسمى قوة الجذب المركزية . شكل (8-1) يوضح حركة جسم في مسار دائري بسرعة منتظمة وبالرغم من أن قيمة السرعة ثابتة إلا أن تغيير الاتجاه له قيمة فيزيائية كما سنرى فيما بعد . ولكي نميز بين القيمة العددية والمتجه نضع فوق رمز السرعة $\vec{v}$ سهمًا للرمز لمتجه السرعة. فمثلاً في النقطة أ متجه السرعة هو $\vec{v}_A$ أما طول الخط المماس للدائرة في شكل (8-1) فيمثل مقدار السرعة.



الشكل (8-1): اتجاهات السرعة في الحركة الدائرية

لنفرض أن الجسم عندما كان في النقطة (أ) كانت سرعته $(\vec{ع} \text{ أ})$ وبعد فترة زمنية قصيرة $(\Delta \text{ ن})$ (تنطق دلتا ن)) أصبحت سرعته $(\vec{ع} \text{ ب})$ وقطع مسافة س (القوس أ ب) مكوناً زاوية (هـ) والتي تسمى الزاوية المزاخة وتقاس بالراديان. فإذا رسمنا متجهات السرعة $\vec{ع} \text{ أ}$ و $\vec{ع} \text{ ب}$ كضلعي مثلث بنفس اتجاهاتها وأطوالها التي على الدائرة كما موضح في يمين الشكل (1-8) فسنجد أن الفرق في الاتجاه يصنع متجهاً جديداً هو المتجه $\Delta \text{ ع}$ والذي نلاحظ أنه في اتجاه مركز الدائرة. هنا استعملنا ما يعرف بالجمع الاتجاهي وهو عملية بسيطة نقول أن متجه السرعة في النقطة ب يساوي متجه السرعة في النقطة أ مضافاً إليه المتجه الذي طوله المسافة الناتجة عن التغير في الاتجاه. أي أن $\vec{ع} \text{ ب} = \vec{ع} \text{ أ} + \Delta \text{ ع}$ (جمع اتجاهي) حتى ولو كانت قيمة $\Delta \text{ ع}$ = قيمة ع ب . المثلث الناتج (شكل (1-8)) يسمى مثلث المتجهات وفي هذه الحالة يسمى مثلث متجهات السرعة.

نلاحظ أن مثلث المتجهات ع أ ، $\Delta \text{ ع}$ ، ع ب يشابه المثلث أ ب م على الدائرة [شكل (1-8)] بافتراض أن المسافة أ ب صغيرة جداً بحيث يمكن اعتبارها خطاً مستقيماً. وبالتالي فإن الزاوية (هـ) صغيرة جداً بحيث أن المسافة:

$$\text{أ ب} = \text{س} = \text{ع} \times \Delta \text{ ن}$$

حيث $\Delta \text{ ن}$ الزمن اللازم لحركة الجسم من أ إلى ب.

$$\frac{\text{س}}{\text{نق}} = \frac{\text{أ ب}}{\text{ب م}} = \frac{\Delta \text{ ع}}{\vec{ع} \text{ ب}}$$

من تشابه المثلثين نجد أن:

وبما أن قيمة $\text{ع أ} = \text{ع ب} = \text{ع}$ فإن :

$$\frac{\Delta \text{ ع} \times \Delta \text{ ن}}{\text{نق}} = \frac{\text{س}}{\text{نق}} = \frac{\Delta \text{ ع}}{\text{ع}}$$

$$\frac{\Delta \text{ ع} \times \Delta \text{ ن}}{\text{نق}} = \frac{\Delta \text{ ع}}{\text{ع}}$$

$$\frac{\text{ع}^2}{\text{نق}} = \frac{\Delta \text{ ع}}{\Delta \text{ ن}} \quad \therefore$$

الكمية $\frac{\Delta v}{\Delta t}$ هي تغير السرعة في الزمن وبالتالي هي عجلة

$$\therefore \frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{العجلة ج}$$

وبما أن Δv في اتجاه مركز الدائرة فهذه العجلة تكون في اتجاه مركز الدائرة

$$\therefore \text{العجلة ج} = \frac{v^2}{r} \quad (28-1)$$

من قانون الحركة الثاني لنيوتن فإن أي قوة (ق) = الكتلة $\times$ العجلة. وبما أن قوة الجذب المركزية أيضا في اتجاه مركز الدائرة لأنها القوة اللازمة لبقاء الجسم في حالة دوران ولأنه لا توجد قوة أخرى في هذا الاتجاه فلا بد أن تكون العجلة ج في المعادلة (28-1) هي عجلة قوة الجذب المركزية المتجهة إلى مركز الدائرة $\therefore$ قوة الجذب المركزية ق = ك $\times$ ج وبالتالي من (28-1) تصبح قوة الجذب المركزية

$$ق = \frac{K v^2}{r} \quad (29-1)$$

وعلى ذلك فإن قوة الجذب المركزية المطلوبة لكي تحافظ على سير الجسم في مساره الدائري تتناسب طردياً مع مربع السرعة (وكتلة الجسم) وعكسياً مع نصف قطر الدائرة . وكنا قد لاحظنا في تجربة الجسم مربوط في خيط ويدور في دائرة أفقية نصف قطرها طول الخيط أن الشد في الخيط والذي يعادل قوة الجذب المركزية يزداد كلما زدنا سرعة الجسم ومن المعادلة أعلاه أيضاً يمكن أن نفهم لماذا كان من الأسهل تحريك جسم مربوط في خيط طويل مقارنة مع إدارة جسم مربوط في خيط قصير (أجر التجربة بنفسك واحترس من أن تصيب شخصاً بجوارك) .

قوة الجذب المركزية في المعادلة (1-29) هي نفسها القوة المطلوبة لكي يدور القمر حول الأرض والكواكب حول الشمس . أي أنه :

للأجرام السماوية والأقمار الإصطناعية قوة الجذب المركزية = قوة التناقل

مثال (1-6): لنأخذ كمثال دوران القمر حول الأرض حيث قوة التناقل بين الأرض والقمر هي قوة الجذب المركزية التي تحفظه في مساره حول الأرض. من المعلومات أدناه أحسب سرعة القمر في مداره حول الأرض والزمن الدوري للقمر. الحل: من (1-1) و (1-29) :

$$\frac{ج ك ق ك ا}{نق^2} = \frac{ك ق ع^2}{نق} \quad \text{حيث نق هنا هي نصف قطر المسار الدائري للقمر.}$$

$$\text{أي : } \frac{ج ك ا}{نق} = ع^2 , \quad \text{حيث } ج = 6.67 \times 10^{-11} , \quad ك = 6 \times 10^{24} \text{ كجم}$$

$$\text{ونصف قطر مدار القمر} = 380.000 \text{ كم} = 380.000.000 \text{ م} = 38 \times 10^7 \text{ م}$$

$$ع = \sqrt{\frac{ج ك ا}{نق}} = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{38 \times 10^7}}$$

$$= 10^3 \times \sqrt{\frac{6 \times 6.67}{38}} = 1026 \text{ م/ث} = 1.026 \times 10^3 = 1 \text{ كم/ث}$$

وبالتالي يقطع القمر 88646 كيلومتر في مداره حول الأرض في اليوم الواحد. مدار القمر = $2\pi \text{ نق} = 6.283 \times 38 \times 10^7 \text{ م} = 23.875 \times 10^8 \text{ م}$ الزمن الدوري للقمر = عدد الأيام التي يكمل فيها دورة كاملة حول الأرض = $23.875 \times 10^5 \text{ كم} \div 86646 \text{ كم/اليوم} = 27.55 \text{ يوم}$ هذا الزمن الدوري للقمر بالرغم من أنه الزمن الفعلي لدوران القمر حول الأرض إلا أنه أقل من الشهر القمري الحقيقي الذي نستخدمه في التقويم الهجري والذي يساوي تقريباً 29.53 يوم والذي يترتب عليه عادة أن يكون أحد الشهور

القمرية 29 يوما والآخر 30 يوما. الفرق بين الشهر القمري والزمن الدوري ناتج من أن القمر يتبع الأرض في دورانها حول الشمس مما يتسبب في هذه الزيادة في الشهر القمري مقارنة بالزمن الدوري الفعلي للقمر.

5/ العلاقة بين قوة الجذب المركزية و (ز) و (ذ) و (و)

نسترجع معاً الآن بعض العلاقات الرياضية الهامة للحركة في مسار دائري التي حصلنا عليها سابقاً:

(1) العلاقة بين السرعة المماسية (ع) والزمن الدوري (ز) والتردد (ذ):

$$ع = \pi^2 \text{ نق} \div ز \quad (19-1)$$

وبما أن التردد ذ هو مقلوب الزمن الدوري ز (أي ذ = 1/ز) فإن:

$$ع = \pi^2 \text{ نق} \cdot ذ \quad (21-1)$$

(2) العلاقة بين السرعة المماسية (ع) والسرعة الزاوية (و):

$$\text{السرعة المماسية} = ع = \text{نق} \times و \quad (26-1)$$

$$(3) \text{ قوة الجذب المركزية: } ق = \frac{ك ع^2}{\text{نق}} \quad (27-1)$$

من العلاقات أعلاه نجد علاقات جديدة لقوة الجذب المركزية:

فمن (19-1) و (29-1) نجد أن:

$$ق = \frac{ك \pi^2 \text{ نق}^2}{ز^2} \quad (30-1)$$

ومن (21-1) و (29-1) نجد أن:

$$ق = \frac{ك \pi^2 \text{ نق}^2}{ز^2} \quad (31-1)$$

ومن (26-1) و (29-1) نجد أن:

$$ق = ك \text{ نق} \cdot و^2 \quad (32-1)$$

$$ق = ك \cdot و \cdot ع \quad (33-1) \quad \text{وأيضاً:}$$

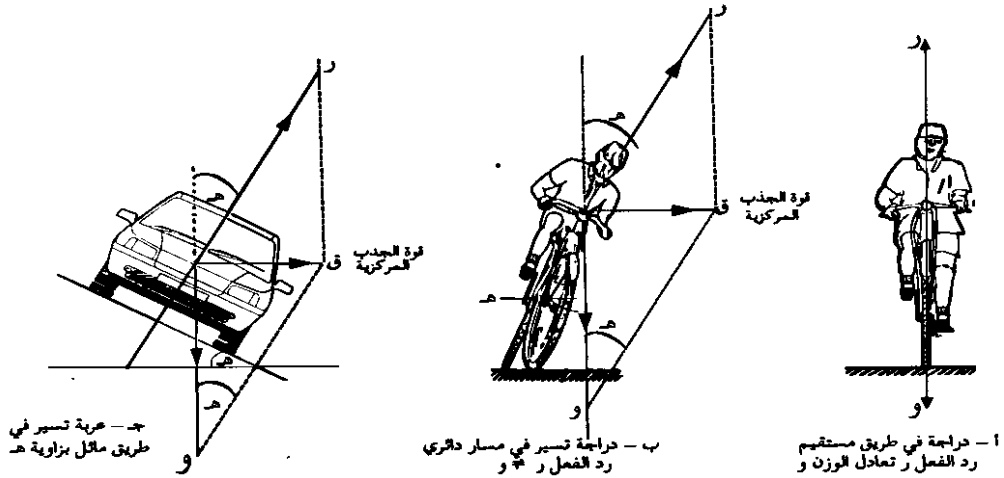
مثال (1-7): جسم صغير كتلته 20 جرام يدور في دائرة نصف قطرها 0.5 متر 3 دورات في الثانية. جد:

- (أ) الزمن الدوري . (ب) السرعة المماسية .
(ج) السرعة الزاوية. (د) قوة الجذب المركزية .

الحل: المعطيات: ك = 0.02 كجم نق = 0.5 م ذ = 3 هيرتز
(أ) الزمن الدوري ز = 1\3 ذ = 3\1 ث = 0.3333 ثانية
(ب) السرعة المماسية ع = 2π نق ذ = $2\pi \times 0.5 \times 3$ = 9.425 م/ث
(ج) السرعة الزاوية: يمكن إيجادها بأكثر من طريقة:
إما: 2π ز = ω أو 2π ذ = ω أو ع = ω انق
ومن المعادلة الثانية نجد أن: $\omega = 3 \times 6.283 = 18.85$ راديان/ث
(د) قوة الجذب المركزية: يمكن إيجادها بأكثر من معادلة:
أما ق = (ك ع²) انق أو ق = ك نق² ω أو ق = ك ω ع
من المعادلة الأخيرة: ق = $0.5 \times 18.85 \times 9.425 = 88.828$ نيوتن

(1-2-4) الحركة الدائرية على سطح الأرض :

قد تكون لاحظت أنك إذا كنت تركب دراجة أو أحد آخر يركب دراجة فإن الدراجة تميل على المستوى الرأسي الذي كانت فيه عند اضطرارها للسير في طريق شبه دائري أو منحنى .
ولا شك أنك لاحظت في التلفزيون سباقات الدراجات العادية والنازية (المواتر) وإنها كلها مع راكبيها تميل في المنحنيات وأن زاوية ميلها تكون أكبر كلما كانت سرعتها أعلى وأنها جميعاً تميل نحو مركز الدائرة التي يكون المنحنى أو الطريق الدائري جزءاً منها . (انظر شكل (1-9)).



الشكل (1-9): الميلان يولد قوة الجذب المركزية

السبب في ذلك أن الدراجات بكل أنواعها ، تحتاج مع راكبيها إلى قوة الجذب المركزية عند سيرها في طريق دائري أو منحنى وبما أنها غير مربوطة مع مركز الدائرة بأي وسيلة (إلا بقليل من الاحتكاك بين عجلات الدراجة والطريق) فإنها مع راكبيها تميل تلقائياً لتوليد قوة الجذب المركزية.

شكل (1-9) أ) يوضح القوى المؤثرة على الدراجة في الحالة العادية (أي عندما تكون الدراجة عمودية على سطح الأرض) وذلك حسب قانون نيوتن الثالث (لكل فعل رد فعل مساو له في القوة ومضاد له في الاتجاه) حيث الفعل هو وزن الجسم (و) ، (اتجاهه إلى مركز الأرض) أما رد الفعل فهو رد فعل سطح الأرض (ر) الذي يظهر في صورة ضغط على عجلات الدراجة (واتجاهه يبدأ من نقاط تلامس العجلات مع الأرض مروراً بالدراجة وراكبيها وهو في هذه الحالة إلى أعلى).

وفي هذه الحالة $و = ر$

أما شكل ((1-9ب)) فيوضح القوى المؤثرة على الدراجة وراكبها عندما تتحرك في مسار دائري ولذلك تميل تلقائياً صانعة زاوية مقدارها هـ مع الاتجاه الرأسى. الوزن يظل كما هو متجهاً إلى مركز الأرض. أما رد الفعل فيظل كما هو من حيث أنه يبدأ من خط تلامس العجل مع سطح الأرض ماراً بالدراجة والراكب ولكن لأن الدراجة والراكب مالا عن الاتجاه الرأسى بزاوية هـ فإن رد الفعل رمال بنفس الزاوية. هذا الميلان يولد تلقائياً متوازي أضلاع قوى وذلك لوجود قوة الثالثة ظهرت بسبب الميلان وهى فى اتجاه الميلان وموازية لسطح الأرض. هذه القوة هى ما تحتاجه الدراجة وهى **قوة الجذب المركزية** لكى تستطيع السير فى المسار الدائرى.

عند النظر إلى نفس الشكل نجد أن قوة الجذب المركزية الناتجة عن ميلان الدراجة هى:

$$\text{قوة الجذب المركزية: } ق = ر جا هـ \quad \text{بينما الوزن } و = ر جتا هـ$$

$$\text{بقسمة (ق) على (و) نجد أن: } \frac{ق}{و} = \frac{جا هـ}{جتا هـ} = ظا هـ$$

∴ قوة الجذب المركزية الناتجة عن الميلان :

(1-34)

$$ق = و ظا هـ$$

فإذا كانت هـ = صفر أى لا يوجد ميلان فإن ظا هـ = صفر وبالتالى ق = صفر أى لا توجد قوة جذب مركزية إذا لم يوجد ميلان. لذلك إذا حاولت وأنت تتركب دراجة أن تسير فى طريق دائرى وفى نفس الوقت تمنعها من الميلان فإنك لا محالة ساقط إلا إذا كنت تسير بسرعة بطيئة جداً . أما السيارات فلا تستطيع الميلان عند الحركة فى طريق دائرى ولذلك لا توجد قوة جذب مركزية ما عدا تلك التى يوفرها احتكاك عجلات السيارة مع سطح الأرض ولذا يختل توازن السيارة إذا سارت بسرعة كبيرة فى مسار دائرى. ولتوفير قوة الجذب المركزية للسيارات فى هذه الحالات لا بد من جعل

السيارات تميل على الاتجاه الأفقي وهذا لا يمكن إلا إذا تم رصف طرق المرور السريع في المنحنيات بحيث تميل على المستوى الأفقي بزاوية (شكل (1-9) ج) لإمداد السيارات بقوة الجذب المركزية اللازمة . ويزاد ميلان الطريق كلما كانت السرعة المسموح بها عالية . ويطبق نفس القانون (1-34) على السيارات في هذه الطرق (يمكن استنتاجه من الرسم) . ويحدث نفس الميلان تلقائياً للطائرات التي تطير في مسار منحن .

نعود الآن مرة أخرى للقانون (1-34) حيث $ق$ هي قوة الجذب المركزية وبالتالي من (1-29) :

$$ق = ك ع^2 \div نق$$

حيث $نق$ = نصف قطر المنحنى ، $ع$ = سرعة الدراجة أو السيارة. ومن (1-34)

$$نجد أن : \frac{ك \times ع^2}{نق} = ك \times د \times ظا هـ$$

(1-35)

$$\therefore ع = \sqrt{نق \times د \times ظا هـ}$$

ومن هذه المعادلة يمكن حساب السرعة المسموح بها لسيارة في طريق يميل بزاوية $هـ$ لأنه إذا زادت السرعة أكثر من هذه فإن السيارة تصبح غير مستقرة، أما الدراجات فإنها تزيد ميلانها تلقائياً كلما زادت سرعتها .

مثال (1-8): سيارة كتلتها 1 طن تسير بسرعة 72 كم في الساعة في طريق دائري نصف قطره انحنائه 100م ويميل على المستوى الأفقي بزاوية $هـ = 15^\circ$. جد قوة الجذب المركزية على هذه السيارة وبين ما إذا كانت هذه السرعة مناسبة لهذا الطريق . (د = 9.8 م/ث²) .

$$الحل : ق = و ظا هـ = ك \times د \times ظا هـ$$

$$ق = 1000 \times 9.8 \times ظا هـ = 0.268 \times 9800 = 2626 \text{ نيوتن}$$

$$ع = \sqrt{\text{نق} \times د \times ظا ه} = 16.2 \text{ م \textbackslash ث}$$

بينما السرعة 72 كم/ساعة = $\frac{72000}{60 \times 60}$ = 20 م\ث
 ∴ السرعة التي تسير بها السيارة أكبر مما صمم له الطريق حيث أن قوة الجذب المركزية اللازمة في هذه الحالة :

$$\frac{ك ع^2}{\text{نق}} = \frac{20 \times 1000}{100} = 4000 \text{ نيوتن}$$

$$\text{ولكن من ظا ه} = \frac{ع^2}{\text{نق} \times د} = \frac{20 \times 20}{9.8 \times 100} = 0.408, \therefore ه = 22.2^\circ$$

أي أن الميلان اللازم للسير في الطريق بسرعة 72 كلم/ساعة = 20 م\ث هو 22.2°

(1-2-5) قوة الطرد المركزية :

عرفنا فيما سبق أن قوة الجذب المركزية ضرورية لكي يسير أي جسم في مسار دائري ويكون اتجاهها إلى مركز الدائرة. وعند إجبار أي جسم للسير في مسار دائري أو منحني هناك قوة رد فعل لقوة الجذب المركزية حسب قانون نيوتن الثالث تسمى بقوة الطرد المركزية ويكون اتجاهها إلى الخارج وهي قوة موجودة كرد فعل وليست قوة أصيلة . ولكن لهذه القوة تأثيراتها الملاحظة في الحياة العامة:

- (1) فعند مناقشتنا لمثال الصامولة المربوطة في خيط والتي تدور في دائرة أفقية وجدنا أن هنالك شد في الخيط إلى الخارج يشد اليد الممسكة به وذلك بسبب قوة الطرد المركزية.
- (2) كذلك نحن نعرف أن قوة التناقل هي التي تمد السفينة الفضائية التي تدور حول الأرض بقوة الجذب المركزية ، بينما قوة الطرد المركزية هي رد الفعل الذي يمنع سقوط السفينة إلى الأرض ويظهر توازن هاتين القوتين بوضوح

علي رجال الفضاء داخل السفينة حيث يكونون في حالة انعدام وزن (لا وزن لهم) .

(3) الركاب الواقفون في سيارة مسرعة غيرت اتجاهها فجأة لتسير في منحني يجدون أن أجسامهم قد مالت في الاتجاه المعاكس لاتجاه دوران السيارة لعدم وجود قوة الجذب المركزية الكافية على أجسامهم رغم وجود هذه القوة على السيارة.

(4) قوة الطرد المركزية تظهر بوضوح في السوائل فلو حركت ماء في كوب بملعقة في حركة دائرية سريعة فستجد أن الماء يتحرك نحو جدار الوعاء لأنه أجبر على حركة دائرية حقيقية بدون وجود قوة الجذب المركزية الكافية على السائل لأنه غير متماسك فتتحرك قوة الطرد المركزية جزيئاته إلي الخارج فيتجمع حول جدار الإناء وينخفض في المركز.

(5) أما إذا وضعت سائلاً في إناء أسطوانى وبالسائل أجسام صغيرة ثم جعلت هذا الإناء يدور (مثلاً بواسطة محرك) فستجد أن السائل لا يستطيع إمداد هذه الأجسام بقوة الجذب المركزية اللازمة لحفظها في مداراتها ولذلك ستتحرك هذه الأجسام نحو جدار الوعاء . ويستعمل هذا الأسلوب في فرز المحاليل المختلفة الكثافة سواء في الطب أو الصناعة مثل فرز البلازما عن بقية الدم أو فرز الزبدة عن اللبن أو فرز السكر عن المولاص في مصانع السكر ويسمى هذا الجهاز بالنابذة (Centrifuge) .

تمارين (1-2)

- (1) قوة التثاقل (التجاذب) بين الشمس والقمر تساوي مرتين تقريباً قوة التثاقل بين الأرض والقمر. لماذا إذن لا يهرب القمر إلى الشمس خارجاً من الجاذبية عندما يكون القمر بين الأرض والشمس مثلاً أثناء كسوف الشمس ؟ ملحوظة : لا تنس أن القمر يدور مع الأرض حول الشمس .
- (2) لكي تدور سفينة فضائية بها رجال حول الأرض لا بد من أن تساوي قوة الجذب المركزية عليها قوة جذب الأرض لها على ذلك الارتفاع . هل يفسر هذا وجود رجال الفضاء في حالة انعدام الوزن ؟ وكيف ؟
- (3) يدور القمر حول الأرض في مدار يمكن اعتباره دائرياً نصف قطره 3.84×10^8 م في 27.3 يوماً . فإذا كانت كتلة القمر 7.4×10^{22} كجم أحسب :
 - أ / السرعة الزاوية للقمر . $[2.7 \times 10^{-6}$ راديان \ث]
 - ب / السرعة الخطية للقمر . $[1.04 \text{ كم \ث} \approx 1 \text{ كم \ث}]$
 - ج / القوة اللازمة لحفظ القمر في مداره حول الأرض . $[\approx 2 \times 10^{20}$ نيوتن]
- (4) تلميذ يركب دراجة يسير في طريق منحني نصف قطر انحنائه 10 م بسرعة 5 م\ث . فإذا كانت كتلتي التلميذ والدراجة تساوي 60 كجم . جد قوة الجذب المركزية المطلوبة . ثم جد الميلان اللازم لمدة بهذه القوة .
[ق = 150 نيوتن ، هـ = ظا 1^{-} 0.25]

(3-1) الفصل الثالث

حركة الكواكب والأقمار الاصطناعية

(1-3-1) مقدمة :

في دراساتك للجغرافيا في الصف الأول عرفت أن الكواكب تدور حول الأرض في مدارات ليست بالضبط دائرية كما أن هناك أقماراً تدور حول بعض الكواكب . حيث للأرض قمراً واحداً يدور حولها ولكوكب المريخ قمران بينما يدور عدد كبير من الأقمار حول المشتري وزحل وهكذا .. ولا توجد أقمار حول كوكبي عطارد والزهرة بسبب قربهما الشديد من الشمس والتي لن تسمح بوجود أقمار حولهما لأنها ستجذبها إليها وتمتصها في داخلها (انظر الجدول (1-1)). وتسمى تلك المجموعة من الكواكب والأقمار والأجسام الأخرى والتي تدخل جميعها في نطاق جاذبية الشمس بالمجموعة الشمسية .

الجدول رقم (1-1) يوضح الزمن الدوري لبعض الكواكب حول الشمس وحول محورها وعدد أقمارها المكتشفة حتى عام 2004. وهذا الجدول للمقارنة وليس للحفظ

جدول رقم (1-1) زمن دوران الكواكب حول الشمس وحول نفسها (حول محورها).

الكوكب	القطر بالكلم	البعد عن الشمس بالمليون كلم	زمن الدوران حول الشمس (الزمن الدوري حول الشمس)	زمن الدوران حول المحور (الزمن الدوري حول المحور)	الأقمار التي تدور حول الكوكب
عطارد	4880	58	88 يوماً	58.6 يوماً	-
الزهرة	12104	108	225 يوماً	243 يوماً	-
الأرض	12756	149	365 يوماً	24 ساعة	1
المريخ	6794	228	1 سنة و 322 يوماً	24.62 ساعة	2
المشتري	142984	778	11 سنة و 314 يوماً	9.50 ساعة	63
زحل	120536	1429	29 سنة و 168 يوماً	10.10 ساعة	34
أورانوس	51118	2871	84 سنة	10.49 ساعة	27
نبتون	49532	4504	164 سنة و 292 يوماً	15.8 ساعة	17
بلوتو	2274	5913	248 سنة و 146 يوماً	6 أيام	1

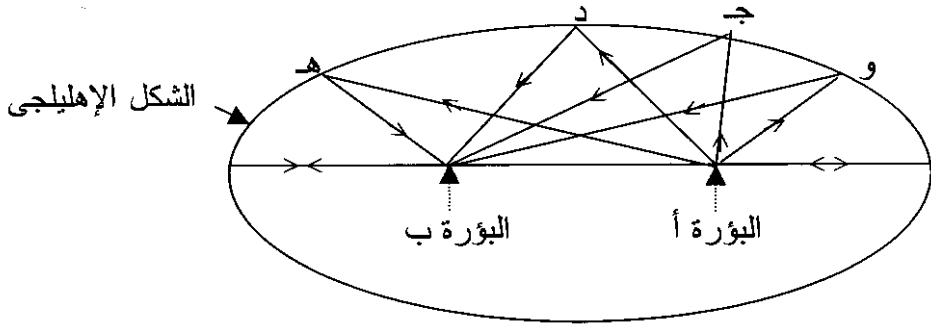
(1-3-2) قوانين كبلر :

لقد تمكن العالم الألماني كبلر (1571-1630م) وبعد دراسة استمرت عشرين سنة للقياسات التي قام بها أستاذه الفلكي الدنماركي تيوخو براهي (1546-1601م) والذي كان كبلر يعمل مساعداً له في التوصل إلى ثلاثة قوانين تحكم حركة الكواكب حول الشمس . وهذه القياسات شبيهة بما في العمودين الثالث والرابع في الجدول (1-1) أعلاه ولكنها طبعاً ليست بنفس الدقة . وقد استفاد اسحق نيوتن في عام 1666م من قياسات تيوخو براهي لحركة القمر والكواكب في استنتاج قانون التناقل الكوني .

1/ قانون كبلر (Kepler) الأول :

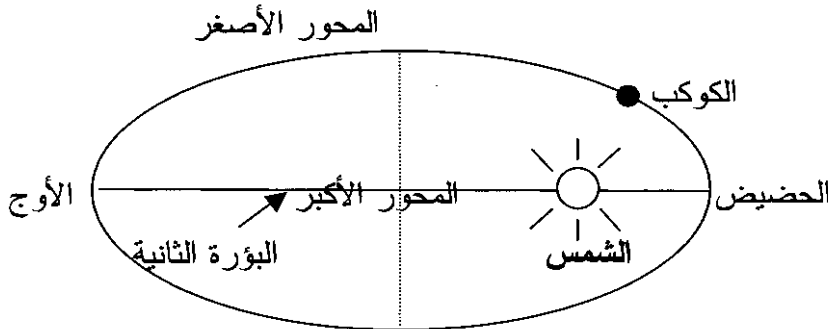
كل كوكب يتحرك في مدار إهليلجي بحيث تكون الشمس في إحدى بؤرتي هذا المدار الإهليلجي .

(يسمى هذا القانون أيضاً بقانون المدارات) . وحسب هذا القانون فإن مدارات الكواكب ليست دائرية وإنما في شكل إهليلجي .
والشكل الإهليلجي هو مسقط (مسطح) الشكل البيضي (أي في شكل البيضة المنتظمة) . والاسم منسوب إلى شجرة تشبه ثمرتها هذا الشكل . وكل من الشكل البيضي (المجسم) ومسقطه الشكل الإهليلجي (المسطح) له بؤرتان أو مركزان يحلان محل المركز الواحد في الدائرة (انظر شكل (1-10)) . فإذا وضعت مصدراً ضوئياً في إحدى بؤرتي المجسم البيضي المنتظم (الذي مسقطه هو الشكل الإهليلجي) فإن الأشعة ستعكس من السطح الداخلي للمجسم وتتجمع في البؤرة الثانية ولهذا سميت بالبؤرة لأنها النقطة التي تتجمع فيها الأشعة . ولو وضعت هذا المصدر في البؤرة الثانية لتجمعت الأشعة في البؤرة الأولى .
أما إذا وضعت مصدراً ضوئياً في مركز الكرة والتي مسقطها هو الدائرة فإن الأشعة ستعكس من السطح الداخلي للكرة لتعود وتتجمع في مركز الكرة أي أن مركز الكرة هو البؤرة التي يتجمع فيها الضوء .
وفي حالة الشكل الإهليلجي القريب من الدائرة تكون البؤرتان قريبتان من بعضهما وينطبقان على بعض في حالة تحول الشكل الإهليلجي إلى دائرة .



الشكل (10-1) : الشكل الإهليلجي .

وينطبق على الشكل الإهليلجي في كل الأحوال قاعدة المسافات أي :
مجموع المسافات أ ج + ج ب = مجموع المسافات أ د + د ب وهكذا . أي أن
المسافة من إحدى البؤرتين إلى محيط الشكل ثم إلى البؤرة الأخرى ثابتة لكل
النقاط على المحيط . وعادة تستخدم هذه القاعدة لرسم الشكل الإهليلجي وذلك
باستخدام خيط طوله أ ج ب مثبت في النقطتين أ و ب وبوضع قلم داخل الخيط
في النقطة ج ثم تحريكه مشدودا يمكن رسم محيط الشكل الإهليلجي .
نعود الآن إلى قانون كبلر الأول حيث نلاحظ أن البؤرة التي بها الشمس
تكون أقرب إلى مدار الكوكب في نقطة تسمى (الحضيض) أما الجانب البعيد
فيسمى (الأوج) كما في شكل (11-1).



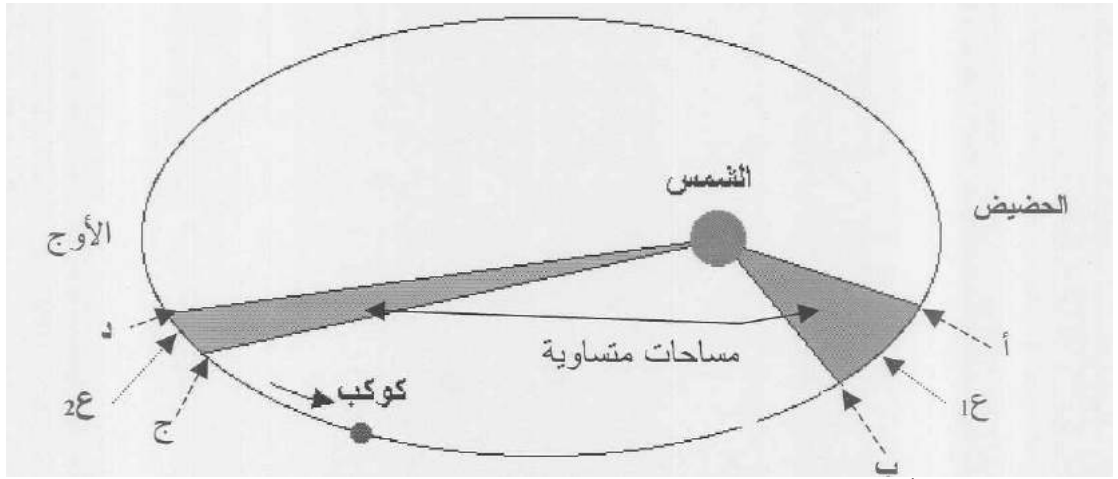
الشكل (11-1) : مدار أحد الكواكب حول الشمس وموقع البؤرة الثانية وبعدا الأوج والحضيض عن الشمس

في الواقع بعض الكواكب تدور في مدارات تقريباً دائرية والشمس في المركز وفي هذه الحالة يحسب متوسط نصف المحورين الأصغر والأكبر (شكل (11-1)) لإيجاد متوسط بعد الكوكب عن الشمس حيث المحور الأكبر هو البعد بين الحضيض والأوج بينما المحور الأصغر هو المحور العمودي الذي يمر بمنتصف المحور الأكبر.

2/ قانون كبلر الثاني (شكل (11-1)) :

الخط الواصل بين الشمس وكل كوكب يرسم مساحات متساوية في أزمنة متساوية

ولهذا يسمى هذا القانون أيضاً بقانون المساحات .



الشكل (12-1) : قانون كبلر الثاني .

وهذا يعني أن مساحات الشكلين المثلثين في شكل (12-1) متساويتان وأن الزمن الذي يستغرقه الكوكب للتحرك من ب إلى أ (في حالة الحضيض) هو نفس الزمن الذي يستغرقه الكوكب للتحرك من د إلى ج (في حالة الأوج) مما يعني تلقائياً أن الكوكب يتحرك ببطء في منطقة الأوج ويكون أسرع في منطقة

الحضيض حتى يتمكن من قطع المساحات المتساوية في نفس الزمن. أي أن السرعة (ع < 2ع) .

3/ قانون كبلر الثالث :

مكعب متوسط المسافة بين الشمس والكوكب يتناسب طردياً مع مربع الزمن الدوري للكوكب (أي مربع زمن دوران الكوكب حول الشمس)

ويسمى هذا القانون أيضاً بقانون الزمن الدوري .
فإذا رمزنا لمتوسط المسافة بين الكوكب والشمس بالرمز (نق) . بحيث تكون :

$$\text{نق} = \frac{\text{نصف المحور الأكبر} + \text{نصف المحور الأصغر}}{2}$$

وهذا يعني ضمناً افتراض أن المدار قريب من الدائرة. إذن حسب قانون كبلر الثالث فإن : نق^3 تتناسب مع $ز^2$ ، حيث $ز = \text{الزمن الدوري}$
ونحن نعرف أن قوة الجذب المركزية التي تحفظ الكوكب في مداره حول الشمس = قوة التناقل بين الكوكب والشمس في (1-1) و (29-1) . أي أن :

$$\frac{ج ك كش}{\text{نق}^2} = \frac{ك ع^2}{\text{نق}}$$

حيث كش هي كتلة الشمس ، ع هي متوسط سرعة الكوكب .

$$\frac{ج ك كش}{\text{نق}} = ع^2 \quad \therefore$$

(36-1)

نحن نعرف أيضاً من (26-1) أن السرعة المماسية:

$ع = \omega \times \text{نق}$ حيث ω هي السرعة الزاوية
ولكن السرعة الزاوية من (19-1) :

$$\omega = \frac{\pi 2}{ز} \quad \therefore ع = \omega \times \text{نق} \quad \text{بالتربيع} \quad \therefore ع^2 = \omega^2 \times \text{نق}^2$$

من المعادلة الأخيرة ومعادلة ω أعلاه وباستعمال المعادلة (36-1)

$$\therefore \frac{ج كس}{نق} = \frac{2\pi 4}{ز^2} = ع^2$$

$$\therefore ج كس ز^2 = 2\pi 4 ع^3$$

$$(37-1) \quad \therefore نق^3 = \frac{ج كس}{\frac{2\pi 4}{ز^2}} \times ز^2$$

ولأن $\frac{ج كس}{2\pi 4} =$ ثابت فإن $نق^3$ تتناسب مع $ز^2$ (قانون كبلر الثالث)

$$(38-1) \quad \text{أي أن:} \quad \text{ثابت لكل الكواكب} = \frac{نق^3}{ز^2}$$

وقد استفاد نيوتن من قانون كبلر الثالث (الذي استنتجه كبلر من مراقبة حركة الكواكب) في استنتاج قانون الثقائل الكوني . لقد وجد أن الثابت :

$$(39-1) \quad \boxed{\frac{ج كس}{2\pi 4} = \frac{نق^3}{ز^2} = 10 \times 3.35 \times 10^{18} م^3 ث^{-2}}$$

لكل كواكب المجموعة الشمسية في المتوسط

(3-3-1) تطبيقات على قانون كبلر الثالث :

مثال (9-1): من الثابت في معادلة (39-1) يمكن إيجاد كتلة الشمس :

$$\text{حيث كس} = \frac{18 10 \times 3.35 \times 2\pi 4}{11- 10 \times 6.67} = 10 \times 2 \times 10^{30} \text{ كجم}$$

$$\text{حيث ج} = 10 \times 6.67 \times 10^{11} \text{ نيوتن} \times م^2 كجم^{-2}$$

وكنا في الفصل الأول قد وجدنا أن كتلة الأرض ك_ا = 6×10^{24} كجم

أي أن كتلة الشمس تساوي تقريباً 333333 مرة كتلة الأرض .

مثال (1-10) : نحن نعلم أن الأرض تدور دورة كاملة حول الشمس تقريباً كل 365.25 يوم (بالضبط كل 365 يوم و 6 ساعات و 9 دقائق و 9.5 ثانية) .
 أ/ أحسب نصف قطر مدار الأرض حول الشمس (أي متوسط المسافة بين الأرض والشمس)

ب/ أحسب سرعة الأرض في مدارها حول الشمس .

ج/ أحسب سرعة دوران الأرض حول نفسها.

الحل :

$$\text{أ/ من المعادلة (1-39)} \quad \frac{\text{نق}^3}{\text{ز}^2} = 3.35 \times 10^{18} \text{ م}^3 \text{ ث}^{-2}$$

$$\therefore \text{نق}^3 = 3.35 \times 10^{18} \times \text{ز}^2$$

$$\text{ز} = 365.25 \text{ يوم} = 3.15576 \times 10^7 \text{ ثانية}$$

$$\therefore \text{نق} = \sqrt[3]{3.35 \times 10^{18} \times \text{ز}^2} = \sqrt[3]{3.35 \times 10^{18} \times (3.156)^2 \times 10^{14}} =$$

$$= 1.495 \times 10^{11} = \sqrt[3]{3.337 \times 10^{11}} = \left(\frac{1.495 \times 10^{11}}{3 \times 10} \right) \text{ كم}$$

$$= 149.500.000 \text{ كم} \approx 150 \text{ مليون كيلو متر}$$

وكنا قد وجدنا أن متوسط المسافة بين الأرض والقمر = 380.000 كم . أي أن المسافة بين الأرض والشمس تعادل 400 مرة تقريباً بعد القمر عن الأرض .

الوحدة الفلكية: هي المسافة بين الشمس والأرض . وقد اتخذها الفلكيون وحدة لقياس المسافات بين الأجرام السماوية . فمثلاً يبعد عطارد تقريباً 0.387 بينما يبعد المريخ 1.524 وحدة فلكية عن الشمس . طبعاً تبعد الأرض 1 وحدة فلكية .

ب) $\therefore$ طول مدار الأرض حول الشمس = $2\pi \text{ نق} = 936000000 \text{ كم}$

$$= 936 \text{ مليون كيلومتر تقطعها الأرض مرة كل سنة}$$

$$\text{متوسط سرعة الأرض} = \frac{\text{طول مدار الأرض}}{\text{ز}}$$

$$\therefore \text{متوسط سرعة الأرض في مدارها حول الشمس} = \frac{{}^6 10 \times 936}{{}^6 10 \times 31.5576}$$

$$= 29.660 \text{ كم \AA ث}$$

أي أن الأرض تجري في مدارها حول الشمس تقريباً بسرعة 30 كم في الثانية ومع ذلك لا نحس نحن بهذه السرعة الهائلة .

ج) الآن نوجد سرعة سطح الأرض عند دوران الأرض حول نفسها دورة كاملة كل 24 ساعة (=86400 ثانية= الزمن الدوري) وبما أنها تدور حول نفسها فمعنى ذلك أنها تدور حول محيطها الذي طوله 40200 كم تقريباً (لاحظ أن المحيط = 2π نق حيث نق = نصف قطر الأرض = 6400 كم) .

$$\therefore \text{سرعة سطح الأرض عند دورانها حول نفسها} = \frac{\text{المحيط}}{\text{الزمن الدوري}} = \frac{{}^6 10 \times 40.2}{86400 \text{ ث}} = 465 \text{ م\AA ث} = \text{ع}$$

أي أسرع من الصوت في الهواء (سرعة الصوت في الهواء حوالي 340 م \AA ث تقريباً) ، أي تقريباً نصف كيلومتر في الثانية . أو حوالي 1670 كيلو متر في الساعة .

وهي سرعة ليست كبيرة جداً ، وبعض الطائرات الحربية النفاثة قد تفوق سرعتها هذه السرعة . ونحن طبعاً لا نحس بوجود هذه السرعة ولكن إذا تأملنا الظل سنجد أنه ينقص بالتدريج في الصباح ويزيد بعد الظهر بسبب هذه الحركة من الغرب إلى الشرق .

ملاحظة: قد تسأل نفسك أيها الطالب: إذا كانت الأرض تدور حول محورها الجنوبي الشمالي من الغرب إلى الشرق فماذا يحدث للغلاف الجوي حولها أثناء هذا الدوران. وإذا طارت طائرة ركاب من مطار ما متجهة إلى الشرق بسرعة أقل من سرعة دوران الأرض حول نفسها فهل معنى ذلك أن

الأرض ستسبقها وأن الطائرة لن تصل أبداً ؟ مثلاً الطائرة التي تطير من الخرطوم إلى صنعاء هل ستسبقها الأرض ؟
 الإجابة طبعاً لا . فالغلاف الجوي والطائرة كلها جزء من الأرض بسبب الجاذبية فالغلاف الجوي يتحرك بنفس سرعة الأرض وكذلك الطائرة التي انطلقت من المطار هي جزء من الأرض . (وهذا لا يعني دوران الأرض حول محورها ليس له تأثيراته الأخرى الطفيفة والتي لا مجال لذكرها هنا)
 وهنا لا بد من الإشارة إلى أن أشهر الأجسام الفلكية التي يتحرك بعضها في مدارات اهليلجية واضحة هي المذنبات . والمذنبات هي أجسام من الصخور والغبار والغازات المتجمدة وكمثال لذلك المذنب هالي الذي يقترب من الشمس كل 76 سنة كان آخرها عام 1986م وعند اقترابه منها يتشكل له ذنب بسبب الرياح الشمسية (الجسيمات القادمة من الشمس) حيث يظهر المذنب مضيئاً للعيان وبعد ابتعاده عن الشمس يختفي الذنب . والمحور الأكبر في مدارات المذنبات كبير جداً مقارنة مع المحور الأصغر وهناك مذنبات مداراتها مفتوحة ولا تمر حول الشمس إلا مرة واحدة .

كما أنه لا بد من الإشارة هنا إلى أن الشمس أيضاً تدور حول مركز المجرة التي هي جزء منها ويستغرق دوران الشمس دورة كاملة حول مركز المجرة حوالي 200 مليون سنة بينما المجرة كلها أيضاً تجري مع بقية المجرات . وهكذا فالكون كله في حركة دائبة حيث تجري كل المجرات من مركز التكوين الأول له والذي كان في صورة انفجار وبالتالي يتوسع الكون ؛ ﴿ والسمااء بنيناها بأيدٍ وإنا لموسعون ﴾ سورة الذاريات، الآية 47.

(1-3-4) الأقمار الاصطناعية :

وهي أجسام صنعها الإنسان تحمل أجهزة (ولهذا تسمى اصطناعية) لكي تدور حول الأرض وتسمى أقماراً ؛ لأنها أجسام تدور حول الأرض مثلها مثل القمر . وأول قمر اصطناعي أطلق في عام 1957م اسمه " اسبوتنك " أطلقه الاتحاد السوفيتي (روسيا) ولم تكن هناك أقمار اصطناعية قبل هذا التاريخ .

والآن تدور حول الأرض الآلاف من الأقمار الاصطناعية وعدد قليل من السفن الفضائية التي يسافر إليها رواد الفضاء ويبقون فيها فترة من الزمن لإجراء تجارب ثم يعودون إلى الأرض.

أما الأقمار الاصطناعية فهي عبارة عن أجهزة مصممة لأغراض معينة تدور على ارتفاعات مختلفة عن الأرض ويمكن أحياناً وضعها في مدارها بواسطة صواريخ وأحياناً تحمل في السفن الفضائية لوضعها في مداراتها .
والأقمار الاصطناعية نوعان :

النوع الأول : على ارتفاعات تعتبر منخفضة (من ارتفاع 300 كم فوق سطح الأرض إلى 1000 كم أو أكثر) ويختلف الغرض من استخدامها . فبعضها أقمار تجسس تقوم بنقل صور المنشآت العسكرية على سطح الأرض ويمكن بواسطتها التصنت على المحادثات اللاسلكية . وبعضها الغرض منه تصوير ودراسة سطح الأرض والثروات التي عليه أو في جوفه للاستفادة من هذه المعلومات في استغلال تلك الثروات. وبعضها يستعمل للأرصاد الجوية وتصوير السحب وحركة الرياح والقياسات الأخرى ويتم تبادل تلك الصور والمعلومات بين الدول المختلفة. وهناك أجهزة صغيرة في حجم الموبايل تقوم عند تشغيلها بالاتصال بعدد من الأقمار الاصطناعية ومن ثم تحدد لحاملها خطى الطول والعرض بدقة للمكان الموجود فيه في تلك اللحظة وتسمى اختصاراً GPS من (Global Positioning System) .

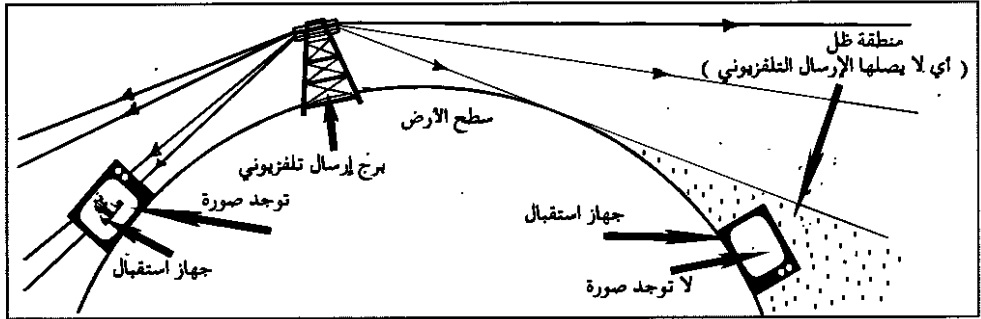
أما النوع الثاني : فهي أساساً أقمار اتصالات وتستعمل لنقل الصور التلفزيونية والإرسال الإذاعي والمحادثات التلفزيونية والتي تستقبل على سطح الأرض بواسطة ما هو معروف اليوم بالأطباق الفضائية ، ولكي يمكن استقبال الإرسال من هذه الأقمار بدون تحريك الأطباق توضع هذه الأقمار على ارتفاع حوالي 36000 كم فوق سطح الأرض فوق خط الاستواء لكي تكمل دورة واحدة حول الأرض في 24 ساعة كالأرض تماماً ولهذا يكون هذا القمر دائماً فوق نقطة واحدة فوق سطح الأرض.

(أ) أهمية أقمار الاتصالات:

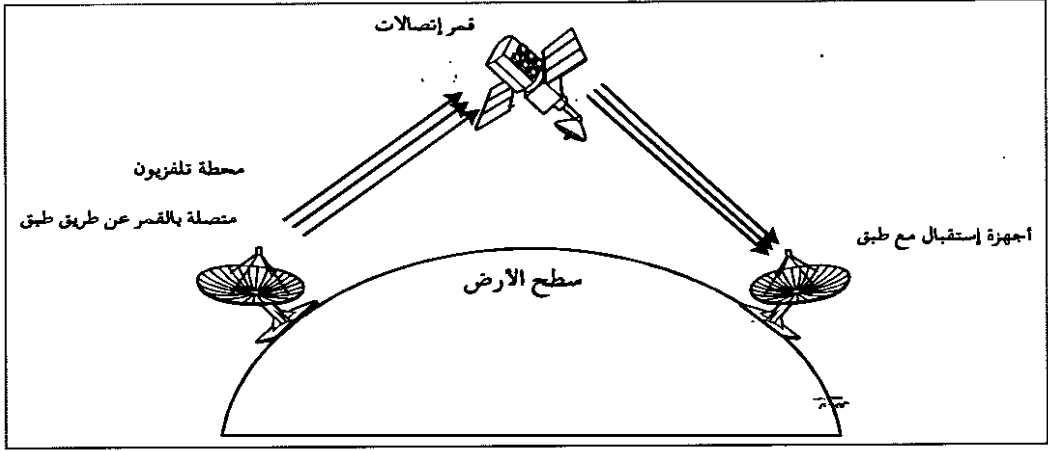
المعروف أن موجات الراديو والتي تستخدم للإرسال الإذاعي والتلفزيوني (والتي هي موجات كهرومغناطيسية) تنتشر في خطوط مستقيمة . مما يحد من

مدى انتشار موجات التلفزيون المرسل من أجهزة الإرسال التلفزيوني على سطح الأرض لأن الأرض عبارة عن كرة . فموجات التلفزيون المرسل من محطة إرسال تلفزيوني لا تصل إلى أجهزة التلفزيون البعيدة عن محطة الإرسال لأن هذه الموجات لا يمكنها أن تتحني مع انحناء سطح الأرض لتصل لهذه الأجهزة (انظر شكل (13-1)) .

ولتغطية مساحة أكبر للإرسال التلفزيوني في محطة ما لا بد من تكرار أبراج (هوائيات) الإرسال كل حوالي 60 كيلو متراً حتى تصل الصورة إلى الجانب الذي يسمى بالمظلم بالنسبة لهذه الموجات والمسافة بين البرج والآخر تتوقف على ارتفاع الأبراج . عملية تكرار أبراج الإرسال التلفزيوني لتغطية بلد ما تحتاج إلى عدد قد يكون كبير جداً من هذه الأبراج التي تكلف ما لا كثيراً . كما أن الوصول بالبرامج التلفزيونية إلى الدول المجاورة لا يتم باستعمال هذه الطريقة إلا في المناطق القريبة من الحدود بين البلدين مهما كان ارتفاع برج الإرسال . ولحل هذه المشكلة تم استخدام الأقمار الاصطناعية للاتصالات والتي يتم إرسال الإشارات (الموجات) التلفزيونية إليها بواسطة جهاز إرسال في شكل طبق موجه إلى القمر المعني ثم يقوم ذلك القمر بإعادة إرسال هذه الإشارات إلى الأرض فتغطي مساحة واسعة من سطح الأرض حيث يمكن استقبال هذه الإشارات بواسطة جهاز استقبال (هوائي أو أريال) في شكل طبق موجه إلى موقع ذلك القمر مع بقية الأجهزة اللازمة (شكل (14-1)) .



الشكل (13-1) : موجات التلفزيون المرسل من محطة الإرسال تصل إلى بعض الأجهزة ولا تصل إلى أجهزة أخرى .



الشكل (1-14) : استخدام الأقمار الاصطناعية في الاتصالات

ويمكن تغطية كل سطح الأرض باستعمال 3 أقمار اتصالات متزامنة فقط. ولكن لأن عدد المحطات التلفزيونية في العالم والتي تريد الوصول إلى أكبر عدد من المشاهدين كبير جداً فإن عدد أقمار الاتصالات المخصصة أصبح كبيراً كل واحد منها مخصص لمجموعة من المحطات التلفزيونية .

(ب) حساب ارتفاع أقمار الاتصالات عن سطح الأرض :

هناك ارتفاع محدد لأقمار الاتصالات وهو الارتفاع اللازم لكي تدور هذه الأقمار حول الأرض في 24 ساعة مثلها مثل الأرض وفي نفس اتجاه دوران الأرض (من الغرب إلى الشرق) بحيث تبدو ثابتة في مدارها حتى يمكن توجيه الأطباق الفضائية إليها دون الحاجة إلى تغيير ذلك الاتجاه . وهذا أيضاً يتطلب أن تكون هذه الأقمار فوق خط الاستواء.

لقد برهننا فيما سبق قانون كبلر الثالث لكواكب المجموعة الشمسية (المعادلة (1-28) أ) والذي ينص على أن مكعب متوسط المسافة بين الشمس والكوكب يتناسب طردياً مع مربع الزمن الدوري للكوكب . أي :

$$\text{نق}^3 = \frac{\text{ج ك ش}}{2\pi^4} \times \text{ز}^2 \quad (1-37)$$

حيث (نق) = متوسط المسافة بين الشمس والكوكب و (كش) = كتلة الشمس و (ز) هي الزمن الدوري للكوكب و (ج) ثابت الثقائل الكوني .
 نفس القانون ينطبق على الأقمار الاصطناعية التي تدور حول الأرض على أي ارتفاع حيث تصبح نق هنا هي المسافة بين مركز الأرض والقمر الاصطناعي وفى هذه الحالة نستبدل كتلة الشمس بكتلة الأرض ك_ا و ز هو الزمن الدوري للقمر الاصطناعي .

نشاط : عدل المعادلة (1-36) لكي تصبح مناسبة لما يدور حول الأرض من أقمار (القمر الطبيعي وأقمار الاتصالات) وجد قيمة ثابت التناسب (المقابل ل(1-39)) في هذه الحالة.

وبما أن الزمن الدوري لقمر الاتصالات حتى يبدو القمر ثابتاً في مداره هو 24 ساعة

$$\text{أي أن: } \quad \text{ز} = 24 \times 60 \times 60 = 86400 \text{ ثانية .}$$

$$\text{وكتلة الأرض} = 6 \times 10^{24} \text{ كجم . و ج} = 6.67 \times 10^{-11} \text{ نيوتن م}^2 \text{ كجم}^{-2}$$

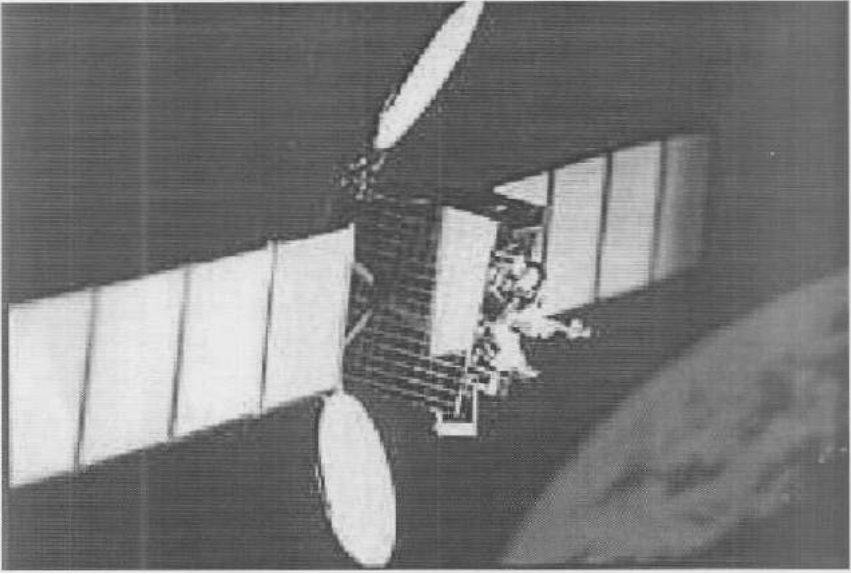
$$\text{فإن: نق} = \sqrt[3]{\frac{\text{ج ك}^2 \text{ ز}^2}{2\pi^4}} = \sqrt[3]{\frac{(6.67 \times 10^{-11}) \times (6 \times 10^{24})^2 \times (86400)^2}{4 \times (3.14)^2}}$$

$$= 42297.5 \text{ كيلو متر}$$

وهذه المسافة هي نصف قطر مدار قمر الاتصالات مقاسة من مركز الأرض . أما ارتفاع هذا القمر فوق سطح الأرض فهو:

$$\text{ل} = \text{نق} - \text{نصف قطر الأرض}$$

$$\text{ل} = 42297.5 - 6400 = 35897.5 = 35900 \text{ كم}$$



الشكل (1-15) صورة قمر اتصالات يدور حول الأرض.
(الألواح الظاهرة هي الخلايا الضوئية التي تحول ضوء الشمس إلى كهرباء)

ونلاحظ أن الاستقبال من هذا النوع من أقمار الاتصالات يحتاج إلى استعمال طبق وجهاز استقبال خاص ؛ وذلك لأن الإرسال الوارد من على ذلك الارتفاع يكون عادة ضعيفا . ويمكن استقبال الإرسال مباشرة بواسطة الأجهزة التلفزيونية العادية باستعمال عدد من الأقمار الاصطناعية القريبة من الأرض حيث تكون الإشارة قوية بحيث كلما اختفى القمر الذي يصل الإرسال منه خلف الأفق تصل الإشارة للمشاهد من قمر آخر .

ج) السرعة اللازمة لكي يدور القمر الاصطناعي حول الأرض :
لقد عرفت أيها الطالب عند دراستك في الصف الثامن بمرحلة الأساس لكتاب العلم في حياتنا ضمن موضوعات الإنسان والكون - أنه لكي تدور الأقمار الاصطناعية حول الأرض في مدار دائري لا بد من إطلاقها بواسطة صاروخ

متعدد المراحل (عادة 3 مراحل) بحيث لا تقل سرعة مرحلته الأخيرة عن 8 كم/ث. وتسمى هذه السرعة **بالسرعة الفلكية الأولى** فإذا كانت سرعة القمر الاصطناعي أقل من هذه القيمة فلن يكون القمر الاصطناعي قادراً على الدوران حول الأرض وإنما سيعود مرة إلى الأرض مثله مثل قذيفة المدفعية والتي سرعتها في العادة أقل من تلك السرعة الكبيرة.

فالصاروخ الذي يحمل القمر الصناعي عادة ما يكون كبيراً وثقيلاً ومركباً عادة من 3 صواريخ حيث يبدأ الصاروخ الأسفل حاملاً بقية المراحل والقمر الاصطناعي نفسه بالانطلاق من الأرض متحركاً ضد مجال الجاذبية وبالتدريج يكتسب سرعة تزيد كلما قل وزنه باحتراق الوقود المخزون فيه . وعند نفاذ الوقود ينفصل هذا الصاروخ من بقية المنظومة فيقل وزنها كثيراً ويبدأ الصاروخ الثاني في العمل لزيادة السرعة ، وهكذا حتى ينفصل الصاروخ الثاني ويبدأ الثالث في العمل وهذا الأخير يتمكن من زيادة السرعة حتى تصل إلى السرعة المطلوبة فينفصل الصاروخ الأخير ويدور القمر في مداره بأخر سرعة أمده بها الصاروخ.

ولكن كيف تم تحديد قيمة هذه السرعة لدوران القمر الاصطناعي أو أي جسم في مدار دائري حول الأرض ؟

المسألة بسيطة حيث أننا نعرف أنه لكي يدور هذا القمر الاصطناعي حول الأرض في مدار دائري فلا بد أن تتساوى **قوة الجذب المركزية اللازمة للدوران حول الأرض مع قوة التثاقل الكوني** بين هذا القمر والأرض . فإذا افترضنا أن المسافة بين مركز الأرض والقمر الاصطناعي = ف ، وكتلة القمر الاصطناعي = ك ، وكتلة الأرض = ك_ا = 6×10^{24} كجم وسرعة الدوران = ع وثابت التثاقل الكوني ج = 6.67×10^{-11} نيوتن م²/كجم² فإن قوة الجذب المركزية من (1-1) و (29-1) هي:

$$ق = \frac{ك ع^2}{ف} = \frac{ج ك ك_ا}{ف^2}$$

$$أي: ع^2 = \frac{ج ك_ا}{ف}$$

$$\sqrt{\frac{24 \times 10^6 \times 6.67 \times 10^{-11}}{f}} = \sqrt{\frac{g}{f}} = e \quad \text{أي أن:}$$

فإذا افترضنا أن f = نصف قطر الأرض = 6.4×10^6 م ، وهو أقل مدار ممكن نظرياً فإن:

$$e = \sqrt{\frac{24 \times 10^6 \times 6.67 \times 10^{-11}}{6.4 \times 10^6}} = 7907.67 \text{ ماث}$$

∴ $e = 8000$ ماث = 8 كماث تقريباً

لاحظ أيها الطالب أننا يمكن مما درسناه في الفصل الأول من هذا الكتاب (المعادلة (1-7)) ومن معادلة e أعلاه يمكن استنتاج أن:

$$\frac{g}{f} = e^2 = f \quad \text{حيث } d = \text{عجلة الجاذبية الأرضية (عجلة السقوط الحر)}$$

$e = \sqrt{f d} = \sqrt{6.4 \times 10^6 \times 9.8} = 7918.59 \approx 8000$ ماث
واضح أن هذه السرعة لا تتوقف على كتلة القمر الاصطناعي. فمهما كانت الكتلة فلا بد من هذه السرعة ولكن طبعاً الكتلة الكبيرة تحتاج إلى صاروخ أقوى . لاحظ أنه كلما زادت السرعة عن 8 كلماث فإن مدار القمر الاصطناعي سينحرف عن المدار الدائري ويصبح المدار اهليلجياً حسب قانون كيبلر الأول وهو القانون الطبيعي للدوران في مجال الجاذبية حيث أن الدوران في مدار دائري هو حالة خاصة وليست عامة تنطبق في هذه الحالة على أقل سرعة .
وتسمى أقل سرعة تسمح للقمر الصناعي بالدوران حول الأرض بدون أن يسقط بالسرعة الفلكية الأولى .
(د) سرعة الإفلات :

سرعة الإفلات هي السرعة اللازمة لصاروخ ينطلق من الأرض للإفلات من مجال الثقالة الأرضي . مثلاً في حالة إرسال سفينة فضائية إلى القمر أو

سفينة لاستكشاف الكواكب الأخرى (في المجموعة الشمسية) كالمريخ أو المشتري أو زحل ... الخ أو للنزول على أي منها - فلا بد لهذه السرعة أن تكون أكبر من أدنى سرعة للدوران حول الأرض وهي 8 كم/ث .

لحساب سرعة الإفلات نعود مرة أخرى إلى طاقة الوضع الثقالية (انظر: (7-1-1 : الطاقة الثقالية)) وكذلك المعادلة (15-1) وهي :

(31-1)

$$ط و = \frac{-ج ك ك ا}{نق}$$

إذا رفعنا جسماً إلى ارتفاع نق من مركز الأرض فسنعمل ضد المجال الثقالي وستصبح للجسم طاقة وضع حسب (31-1) . ولذلك لرفع صاروخ أو قمر اصطناع من سطح الأرض إلى مسافة بعيدة جداً عن الأرض حتى يتمكن من الإفلات من مجال الجاذبية لابد من طاقة حركة أكبر من طاقة الوضع تلك . وطاقة الحركة هي $\frac{1}{2} ك ع^2$ حيث ك كتلة الجسم و ع سرعته

(40-1)

$$\frac{ج ك ك ا}{نق} \leq \frac{1}{2} ك ع^2$$

أي

لاحظ أننا اعتبرنا طاقة الوضع موجبة لأنها في الواقع ناتجة عن الفرق بين طاقة الوضع على مسافة بعيدة جداً عن الأرض (التي سينتقل إليها الصاروخ وهي = صفر لبعدها عن الأرض) وبين طاقة الوضع على سطح الأرض أي = صفر - (طاقة الوضع على سطح الأرض) أي نحضر المعادلة (31-1) في (-) ، وعليه فأقل طاقة حركة مطلوبة تساوي موجب طاقة الوضع على سطح الأرض .

$$\text{أي } ع^2 = \frac{2 ج ك_1}{نق}$$

(41-1)

$$\boxed{\text{أو } ع = \sqrt{\frac{2 ج ك_1}{نق}}}$$

$$ج = 10^{11-} \times 6.67 ، ك_1 = 10^{24} \times 6 ، نق = 10^6 \times 6.4$$

$$\therefore ع = \sqrt{\frac{2 \times 10^{24} \times 6 \times 10^{11-} \times 6.67}{10^6 \times 6.4}} = 11.183 \times 10^3 \text{ م/ث}$$

أي ع $\approx 11 \times 10^3$ م/ث تقريبا. وهذه هي سرعة الإفلات من جاذبية الأرض وتسمى السرعة الفلكية الثانية حيث كانت السرعة الفلكية الأولى هي السرعة اللازمة للدوران حول الأرض وبنفس الطريقة يمكن حساب السرعة الفلكية الثالثة وهي سرعة الإفلات من جاذبية الشمس وبالتالي الخروج من المجموعة الشمسية.

مثال (7-1) : أول قمر اصطناعي يدور حول الأرض كان إسبوتنك الروسي في عام 1957م والذي كان يدور حول الأرض في زمن قدره 96 دقيقة . احسب متوسط ارتفاعه فوق الأرض إذا علمت أن $d = 9.8$ م/ث² ونصف قطر الأرض $= نق = 10^6 \times 6.4$ م .

الحل : باستعمال قانون كبلر الثالث لقمر يدور حول الأرض نحصل على :

$$نق^3 = \frac{ج ك_1}{2\pi^2 ز^2}$$

$$\boxed{\text{أو : } \frac{نق^3}{ز^2} = \frac{ج ك_1}{2\pi^2}}$$

وباستعمال قيم ج و ك؛ من المثال السابق نجد أن:

$$2 \text{ نق}^3 = \frac{10 \times 6 \times 10^{11} \times 10 \times 6.67}{2\pi \times 4} = \frac{10 \times 1.014 \times 10^{13} \times 10^3 \text{ م}^3 \text{ ث}^2}{2\pi \times 4}$$

$$2 \text{ نق}^3 \approx \frac{10 \times 10^{13} \times 10^3 \text{ م}^3 \text{ ث}^2}{2\pi \times 4}$$

وبما أن ز = 96 دقيقة = 60 × 96 = 5760 ثانية .

$$2 \text{ نق}^3 = 10 \times 10^{13} \times 1 \times 10^2 \text{ ز}^2 = 10 \times 10^{13} \times 1 \times 10^2 (5760)^2$$

$$\therefore \text{نق} = \sqrt[3]{10 \times 10^{13} \times 10^2 (5760)^2} = \sqrt[3]{10 \times 3.32 \times 10^{20}}$$

$$= \sqrt[3]{10 \times 0.332 \times 10^{21}}$$

$$\text{نق} = 10^7 \times 0.6923 \text{ م} = 6923 \text{ كم}$$

$$\text{الارتفاع فوق سطح الأرض} = \text{ف} - \text{نق} = 6400 - 6923 = 523 \text{ كم}$$

مثال (1-8): تبلغ كتلة المشتري (هو أكبر كواكب المجموعة الشمسية) ،

$$1.91 \times 10^{27} \text{ كجم} ، \text{ ونصف قطره } 7.14 \times 10^7 \text{ م} ، \text{ ويقع على مسافة}$$

$$7.78 \times 10^{11} \text{ م في المتوسط عن الشمس} ، \text{ فإذا علمت أن الثابت في قانون كبلر}$$

$$\text{الثالث هو } 3.35 \times 10^{18} \text{ م}^3 \text{ ث}^2 \text{ جد} :$$

أ/ طول السنة لكوكب المشتري .

ب/ عجلة السقوط الحر (عجلة الجاذبية) على سطح المشتري (د) . أي جد

شدة المجال الثقالي على سطح المشتري وقارن بينه وبين (د) على سطح

الأرض .

الحل :

أ/ قانون كبلر الثالث :

$$\frac{F^3}{Z^2} = \text{ثابت} = 10^{18} \times 3.35 \times 10^3 \text{ م}^3 \text{ ث}^2$$

$$\text{الزمن الدوري ز} = \sqrt{\frac{F^3}{\text{ثابت}}} = \sqrt{\frac{(10^{11} \times 7.78)^3}{10^{18} \times 3.35}} = 10^8 \times 3.75 \text{ ث}$$

∴ طول سنة المشتري = 11.88 سنة أرضية على أساس السنة الأرضية

365.25 يوم = 31557600 ثانية .

ب/ عجلة السقوط على سطح المشتري :

$$d_m = \frac{g_m}{2}$$

$$g = 10^{11} \times 6.67 = g_m, 10^{27} \times 1.91 = g_m, 10^7 \times 7.14 = g_m$$

$$\therefore d_m = \frac{10^{27} \times 1.91 \times 10^{11} \times 6.67}{2 (10^7 \times 7.14)^2}$$

$$d_m = \frac{10^{27} \times 10^{11} \times 6.67}{10^{14} \times 2 (7.14)^2} \times 0.25 \times 10^2 = 25 \text{ م}^2 \text{ ث}^2$$

أي تقريبا مرتين ونصف قدر د_ه على الأرض .

تمارين (1-3)

- (1) أ/ ما السرعة الفلكية الأولى ؟
ب/ ما سرعة الإفلات ؟
ج/ ما فائدة الأقمار الاصطناعية ؟
- (2) إذا كان ثابت التثاقل الكوني $G = 6.67 \times 10^{-11}$ نيوتن م² كجم⁻² ، وكتلة الأرض $M = 6 \times 10^{24}$ كجم فاحسب شدة المجال الثقالي للأرض في موقع القمر الذي يبعد 384.000 كم عن مركز الأرض (لاحظ أن المسافة بين الأرض والقمر تحسب هذه الأيام بدقة لا يتجاوز الخطأ فيها 40 سم).
[الإجابة : 2.71×10^{-3} نيوتن/كجم]
- (3) إذا كانت كتلة القمر $M = 7.4 \times 10^{22}$ كجم ونصف قطره 1738 كم جد سرعة الإفلات اللازمة لسفينة فضائية للعودة من سطح القمر إلى الأرض.
[الإجابة : 2.383 كم/ث]
- (4) أطلق صاروخ بسرعة 6 كم/ث رأسياً من سطح الأرض . فإذا أهملنا مقاومة الهواء لحركة الصاروخ جد أقصى ارتفاع يصل إليه الصاروخ من سطح الأرض علماً بأن نصف قطر الأرض يساوي 6400 كم.
[الإجابة : 4600 كم]
- (5) متوسط المسافة بين المريخ والشمس تعادل 1.5 مرة تقريباً متوسط المسافة بين الأرض والشمس . جد عدد السنين المطلوبة لكي يتمكن المريخ من الدوران مرة حول الشمس .

الباب الثاني :

الموجبات والضوء

(1-2) الفصل الأول

الحركة التوافقية البسيطة

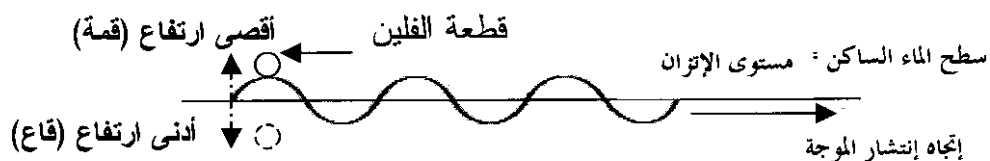
(1-1-2) مقدمة :

هل تدري كيف ينقل لك جهاز التلفزيون صور الممثلين والمذيعين وهم يتحركون ويتكلمون . إن الذي ينقل إليك هذه المناظر الخلابة هو الموجات الكهربائية المغنطيسية والتي تسري في الفراغ في كل الاتجاهات والتي سنتطرق إليها لاحقاً.

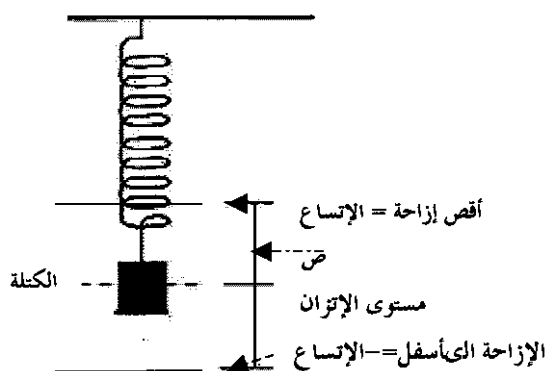
ولتفسير سلوك هذه الموجات فإننا نحتاج إلى فهم نوع آخر من أنواع الحركة وهو ما يعرف بالحركة التوافقية البسيطة.

وكمثال لهذه الحركة ربما كلنا نتذكر أننا عندما كنا صغارا ركبنا على الأرجوحة أو صنعنا واحدة بحبل لنتأرجح بها جيئة وذهابا حيث تتكرر الحركة. ويمكنك إبننا الطالب صنع بندول (متأرجح) بسيط من خيط طوله نصف متر إذا ربطت في نهايته كتلة (صامولة مثلاً) ورفعت بيدك الطرف الآخر فستجد أن هذا البندول يتحرك كالأرجوحة في حركة دورية هي حركة توافقية بسيطة.

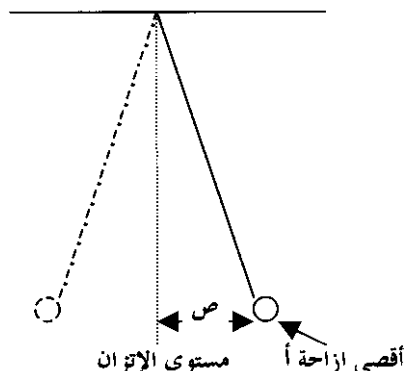
ويمكن ملاحظة الحركة التوافقية من تجربة بسيطة . فإذا وضعت قطعة فلين أو أي جسم صغير وخفيف على سطح بركة أو ماء ساكن في وعاء واسع ثم ألقيت حجراً صغيراً في الماء فستجد أن الموجات تنتشر في الماء في كل الاتجاهات وعند مراقبة قطعة الفلين فستجد أنها تتحرك مرتفعة ثم منخفضة وتكرر ذلك كلما مرت موجة على سطح الماء ذلك لأن الموجة لها قمم وقيعان (انظر شكل (1-2)) . ونقول في هذه الحالة أن قطعة الفلين تتحرك حركة توافقية رأسية وهذه الحركة تشبه حركة جسم معلق في زنبرك يتحرك صعوداً وهبوطاً . وحركة هذا الجسم أيضاً تمثل حركة توافقية بسيطة (انظر شكل (2-2)(ب)).



الشكل (1-2) : عند مرور الموجة تتحرك قطعة الفلين إلى أعلى وإلى أسفل



(ب) البندول الزنبركي



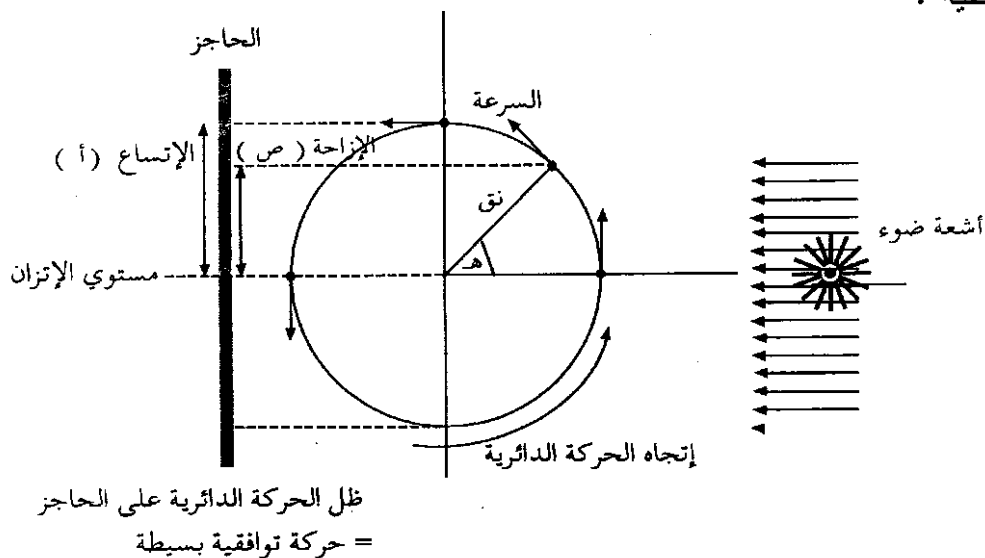
(أ) البندول البسيط

الشكل (2-2): نماذج للحركة التوافقية البسيطة

في الأمثلة السابقة، كل من قطعة الفلين والكتلة المعلقة في الزنبرك تتحرك رأسيًا (إلى أعلى وإلى أسفل) بينما يتحرك البندول البسيط والأرجوحة أفقياً ولكنها كلها تشترك في خواص محددة حيث أنها كلها تتحرك جيئة وذهاباً مروراً بمستوى يسمى مستوى الاتزان أو موضع الاتزان. حيث أن: مستوى الاتزان هو الوضع الطبيعي للمنظومة وهي ساكنة (بدون اهتزاز) (انظر الشكلين (1-2) و (2-2)). وهو يقسم الحركة إلى نصفين متساويين على جانبيه.

الإزاحة ص: هي المسافة من مستوى أو موضع الاتزان أثناء حركة الجسم وتعتبر الإزاحة موجبة فوق مستوى الاتزان أثناء الحركة الرأسية وسالبة أسفله بينما تكون موجبة يمين مستوى الاتزان في حالة الحركة الأفقية وسالبة على يساره وطبعاً تساوى صفراً في مستوى الاتزان .

الأتساع أ : هو أقصى إزاحة عن مستوى أو موضع الاتزان .
والجسم عندما يصل إلى أقصى إزاحة يعود راجعا مارا بمستوى الاتزان حتى يصل إلى أقصى إزاحة في الجانب الآخر ثم يكرر الحركة.
ولأن الحركة التوافقية البسيطة تكرر نفسها باستمرار فهي شبيهة بالحركة الدائرية التي تكرر أيضا نفسها باستمرار . وقد وجد أن هناك علاقة كاملة بين الحركة الدائرية والحركة التوافقية التي ثبت أنها عبارة عن مسقط أو ظل للحركة الدائرية . ففي شكل (2-3) جسم يدور في حركة دائرية وعند إسقاط ظله على حاجز سنرى أن ظل هذا الجسم يتحرك في حركة توافقية بسيطة من أعلى إلى أسفل وإلى أعلى مرة أخرى ويكررها باستمرار ما دام الجسم الحقيقي يدور في حركته الدائرية . ويمكنك عزيزي الطالب متابعة حركة الجسم الدائر في حركة دائرية وإيجاد موضع ظله على الحاجز لترى بنفسك أن ظل الحركة الدائرية هو حركة توافقية بسيطة. طبعاً لو كانت الأشعة تأتي من أعلى أو من أسفل لكننا حصلنا على ظل لحركة توافقية بسيطة أفقية .



الشكل (2-3): ظل الحركة الدائرية يتحرك في حركة توافقية بسيطة .

واضح من الرسم أن حركة الجسم في نصف الدائرة الأيمن يقابل الحركة التوافقية إلى أعلى بينما حركته في النصف الأيسر تقابل الحركة التوافقية إلى أسفل .

ولذلك فالدورة كاملة في الحركة الدائرية تعنى اهتزازة أو ذبذبة كاملة في الحركة التوافقية البسيطة.

الذبذبة الكاملة في الحركة التوافقية البسيطة هي رحلة الذهاب والإياب التي يستغرقها الجسم ليتحرك من نقطة ما ليعود لنفس النقطة في نفس اتجاه حركته الابتدائية .

تابع بنفسك عزيزي الطالب هذا التعريف لتتأكد من معنى الذبذبة الكاملة وبما أن الزمن الدوري في الحركة الدائرية هو الزمن اللازم لإكمال دورة كاملة فإن:

الزمن الدوري للحركة التوافقية البسيطة (ز): هو الزمن اللازم لعمل ذبذبة كاملة .

وبالتالي وبنفس الطريقة يصبح:

تردد الحركة التوافقية البسيطة (ذ) [ذ من ذبذبة] هو عدد الذبذبات الكاملة في الثانية الواحدة

$$\text{أي أن : ذ} = \frac{1}{\text{الزمن الدوري}} \quad \text{و} \quad \frac{1}{\text{ذ}} = \text{ز}$$

وتقاس ز بالثانية بينما تقاس ذ بالهيرتز = ذبذبة في الثانية
التشابه بين الحركة الدائرية و الحركة التوافقية البسيطة لا يقف عند هذا الحد،
حيث نجد أن السرعة الزاوية ω في الحركة الدائرية يقابلها في الحركة التوافقية البسيطة التردد الزاوي ω .
التردد الزاوي ω :

وهو مقدار الزاوية المزاحة في الثانية الواحدة ويساوي $\omega = \text{هـ} \div \text{ن}$
وعندما يكمل الجسم اهتزازة كاملة فإن الزمن $\text{ن} = \text{ز}$ والزاوية المزاحة $\text{هـ} = 2\pi$ وبالتالي تصبح :

(1-2)

$$\text{ذ} \cdot 2\pi = \frac{2\pi}{\text{ز}} = \omega$$

(2-1-2) معادلة الحركة التوافقية البسيطة :

في شكل (2-3) واضح أن مستوى الاتزان في الحركة التوافقية يقابل مركز الدائرة وأن اتساع الحركة التوافقية البسيطة يقابل أعلى نقطة في الدائرة ويساوي نصف قطر الدائرة نق.

وفي نفس الشكل نجد أن الإزاحة في الحركة التوافقية ص (على الحاجز) هي مسقط نصف القطر نق ويتغير مقدار الإزاحة ص بتغير الزاوية المزاحة هـ بين نصف القطر نق والمحور السيني (الأفقي) فعندما تكون هـ = 90° أي 2π راديان تصبح الإزاحة ص = أ (الاتساع) وعندما تكون هـ = 0° تصبح الإزاحة ص = 0. وهكذا. وبناء على ذلك فإن ظل نصف القطر نق على الحاجز أي مسقط نق على المحور الصادي (الرأسي) هو الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة أي: ص = نق × جا هـ

وبما أن اتساع الحركة التوافقية البسيطة أ يساوي نق فإن الإزاحة:

(2-2)

$$ص = أ \times \text{جا هـ}$$

ولكن السرعة الزاوية في الحركة الدائرية (من (1-25) أ) وكذلك التردد الزاوي ω في الحركة التوافقية البسيطة:

$$\frac{ص}{ن} = \omega$$

حيث (ن) الزمن . أي أن:

(3-2)

$$ص = ن \times \omega$$

من (2-2) و (3-2) نجد أن:

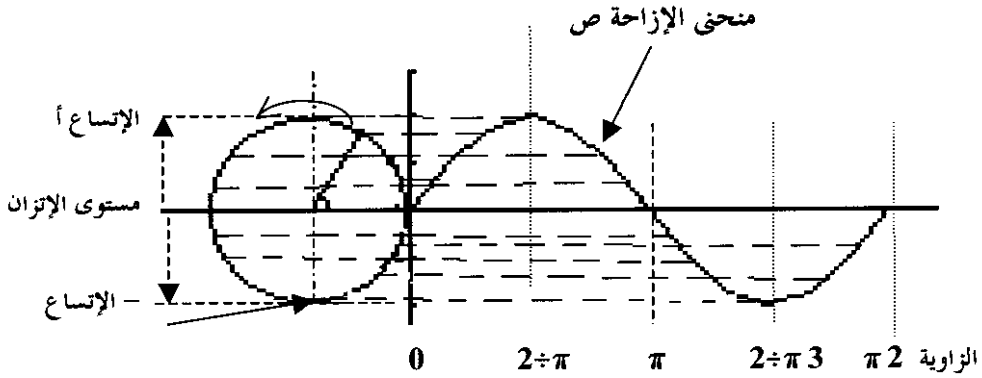
(4-2)

$$ص = أ \times \text{جا (ن} \times \omega)$$

وهذه هي معادلة الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة حيث تقاس كل من الزاوية هـ وبالتالي (ن × ω) بالراديان . وفي المعادلة (2-2) ولأن الاتساع أ = ثابت للحركة التوافقية المعينة فإن الإزاحة ص تتناسب مع جا هـ أي تأخذ نفس شكل جا هـ عندما تتغير هـ بين الصفر و 2π وهو الشكل المعروف بالمنحنى الجيبي الذي يكرر نفسه بعد كل زاوية مقدارها 2π راديان . طبعاً نحن نتذكر أن الحركة الدائرية تكرر نفسها بعد كل زاوية هـ = 2π في زمن

يساوي الزمن الدوري. شكل (4-2) يوضح المنحنى الجيبي للإزاحة ص في الحركة التوافقية وما يقابله من حركة للجسم الذي يدور في دائرة . لاحظ أن هذا الجسم يدور في عكس اتجاه عقارب الساعة.

الإزاحة ص



الشكل (4-2) المنحنى الجيبي للإزاحة

تابع أيها الطالب موضع الجسم على الدائرة وقيمة الإزاحة على المنحنى وعلاقة ذلك بالزاوية هـ $(= \omega \times \text{ن})$ كما في المعادلتين (2-2) و (4-2) حيث تلاحظ أن تغير الزاوية هـ يعني تغير الزمن ن. وأن قيم الزوايا تحت المنحنى تساوي قيم الزوايا المقابلة لها في الدائرة.

(3-1-2): السرعة والعجلة في الحركة التوافقية البسيطة:

الآن نعود إلى شكل (3-2) لنرى كيف تتغير السرعة في الحركة التوافقية البسيطة مقارنة مع تلك التي في الحركة الدائرية الممثلة بأسهم مماسة للدائرة. وكما وجدنا أن ظل نصف القطر نق في أي نقطة على الدائرة يعطينا على الحاجز الإزاحة ص فإن ظل السرعة المماسية للدائرة ع في حركة الجسم الدائرية يعطينا على الحاجز سرعة الجسم في الحركة التوافقية. فعندما يصل الجسم إلى أعلى الدائرة تكون السرعة أفقية ولذلك يكون ظلها صفر وتكون الإزاحة في هذه الحالة ص = الأتساع أ وهي فعلا النقطة التي يتوقف عندها الجسم ويرجع بعدها في الاتجاه الآخر . أما أقصى سرعة فهي المماسية للدائرة في خط الاتزان حيث نجد أن ظلها على الحاجز كاملا وفعلا تكون

ولكن عجلة قوة الجذب المركزية في الحركة الدائرية المقابلة لعجلة الحركة التوافقية من المعادلة (1-28) ومن المعادلة (2-5) أعلاه هي:

$$ج = ع^2 \div نق = \omega^2 \times نق \quad (2-7)$$

ولكن لأن الاتساع أ = نق وظل أو مسقط نق على الحاجز في اتجاه العجلة هو

نق×جاهـ فإن العجلة في معادلة (2-7) تصبح:

$$ج = - \omega^2 \times نق \times جاه = - \omega^2 \times أ \times جا \quad (2-7)$$

بالمقارنة مع الإزاحة ص في (2-2) و (2-4) نجد أن :

$$ج = - \omega^2 ص \quad (2-8)$$

علامة السالب تعني أن اتجاه جـ في عكس اتجاه الزيادة في الإزاحة ص لأن العجلة في الحركة التوافقية باتجاهها هذا تعمل على منع الزيادة في ص ولذلك تقف الحركة عند ص=أ ومن ثم تتحرك عائدة ولولا علامة السالب هذه لما توقفت الحركة أبداً لأن جـ كانت ستزيد مع الزيادة في ص باستمرار وبالتالي تزيد السرعة. من معادلة (2-8) نحصل على تعريف للحركة التوافقية البسيطة حيث:

الحركة التوافقية البسيطة هي الحركة التي تتناسب فيها العجلة طردياً مع سالب الإزاحة .

وأي حركة اهتزازية لا يوجد فيها هذا التناسب لا تعتبر حركة توافقية بسيطة.

مثال (1-2) :

يتحرك جسم في حركة توافقية باتساع قدره 0.05 متر وتردد مقداره 5 هيرتز (ذبذبة في الثانية) . جد معادلة الحركة التوافقية للجسم وجد كذلك سرعته وعجلته بعد 4 ثوان من بداية الحركة.

الحل :

$$\begin{aligned} \text{أ} = \text{الاتساع} &= 0.05 \text{ م} \quad \text{ذ} = \text{التردد} = 5 \text{ هيرتز} \\ \text{من (1-2)}: \quad \omega &= 2\pi \text{ ذ} = 5 \times 2\pi = 10\pi \text{ راديان / ثانية} \\ \text{ن} &= 4 \text{ ثانية} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ص} &= \text{أ} \times \text{جا} (\omega \times \text{ن}) = 0.05 \times \text{جا} (10\pi \times 4) \\ &= 0.05 \times \text{جا} (40\pi) = \text{صفر} \\ \text{ع} &= \text{أ} \times \omega \times \text{جتا} (\omega \times \text{ن}) = 0.05 \times 10\pi \times \text{جتا} (10\pi \times 4) \\ &= 0.5\pi \times \text{جتا} (40\pi) = 0.5\pi \text{ م} \\ \text{العجلة ج} &= -\omega^2 \text{ ص} = -100\pi^2 \times 0.05^2 \text{ جا} (10\pi \times 4) \\ &= -5\pi^2 \text{ جا} (40\pi) = \text{صفر} \end{aligned}$$

مثال (2-2) :

يتحرك جسم في حركة توافقية بسيطة وفق المعادلة :

$$\text{ص} = 4 \text{ جا} (40\pi \text{ ن}) \text{ متر}$$

جد اتساعه أ وتردده ذ وتردده الزاوي ω وزمنه الدوري ز .

$$\begin{aligned} \text{الحل :} \quad &\text{بمقارنة المعادلة ص} = \text{أ جا} (\omega \times \text{ن}) \text{ مع ص} = 4 \text{ جا} (40\pi \text{ ن}) \\ &\text{نجد أن الاتساع أ} = 4 \text{ م} \\ &\text{التردد الزاوي} \quad \omega = 40\pi \text{ راديان / ثانية} \end{aligned}$$

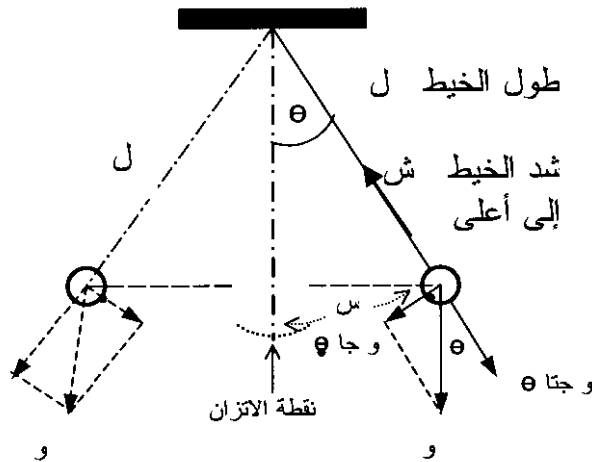
$$\text{التردد من (1-2)} \quad \text{ذ} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{40\pi}{2\pi} = 20 \text{ هيرتز}$$

$$\text{الزمن الدوري من (1-2)} \quad \text{ز} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{40\pi} = \frac{1}{20} \text{ ثانية}$$

(2-1-4) معادلة حركة البندول البسيط (النواس المتأرجح) :

إذا قمنا بتعليق جسم كتلته (ك) في الطرف الحر لخيوط مثبت طوله (ل) وأبعدنا الجسم عن نقطة توازنه ثم تركناه . فسنجد أن الجسم يتحرك

حركة تذبذبية وهذه الحركة تسمى حركة البندول التذبذبية . شكل (5-2) يوضح هذه الحركة .



الشكل (5-2) حركة البندول التذبذبية والقوة المؤثرة على الجسم .

إذا كانت إزاحة البندول (س) صغيرة جداً وبالقدر الذي يمكننا من اعتبار القوس الصغير الذي طوله (س) خطاً مستقيماً . وكانت الإزاحة الزاوية تساوي θ (تنطق ثيتا) فإن:

$$\sin \theta = \frac{\text{المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{س}{ل} \quad (\text{انظر الرسم أعلاه})$$

$$\therefore س = ل \sin \theta$$

وهناك قوتان تؤثران على جسم البندول وهما وزن الجسم (و) وشد الخيط

(ش) . حيث تتزن مركبة الوزن (و جتا θ) مع الشد في الخيط . أي أن :

$$ش = و \cos \theta = ك \cos \theta$$

حيث يعرف الوزن بأنه حاصل ضرب الكتلة (ك) $\times$ عجلة الجاذبية (د) .

أما مركبة الوزن (و جتا θ) فهي تمثل القوة المسببة للعجلة . وحسب

قانون نيوتن الثاني نجد أن : الكتلة $\times$ العجلة = القوة المسببة للعجلة

$$ك \times ج - و \cos \theta = - ك \sin \theta$$

القوة بالسالب لأنها تعمل في عكس اتجاه الزيادة في الإزاحة s .
 $\ddot{s} = -\omega^2 s$ ولكن $\ddot{s} = \frac{d^2 s}{dt^2}$

$$\therefore \ddot{s} = -\omega^2 s$$

ويمكن إيجاد تردد البندول باستخدام علاقة العجلة أعلاه بالعجلة في الحركة التوافقية البسيطة معادلة (2-8) حيث أن :

$$\ddot{s} = -\omega^2 s \quad \therefore \frac{d^2 s}{dt^2} = -\omega^2 s$$

$$\therefore \omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

أما الزمن الدوري للبندول من (2-1) فيساوي :

$$(2-9) \quad T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

كما أن تردد البندول من (2-1) يساوي :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$$

تستعمل المعادلة (2-9) لإيجاد عجلة الجاذبية الأرضية g . بإيجاد الزمن الدوري T لبندول باستعمال ساعة وبمعرفة L ، نجد g من معادلة (2-9) حيث $g = \frac{4\pi^2 L}{T^2}$

مثال (2-3) : بندول طوله 10 سم أحسب زمنه الدوري وتردده الزاوي علماً بأن عجلة الجاذبية تساوي 10 متر/ث² .

الحل : المعطيات : $L = 0.1$ متر ، $g = 10$ متر/ث²
 إيجاد الزمن الدوري (T) من (2-10) :

$$\sqrt{\frac{1}{100}} \sqrt{\pi^2} = \sqrt{\frac{0.1}{10}} \sqrt{2} = \sqrt{\frac{J}{d}} \sqrt{\pi^2} = z$$

$$0.628 \text{ ثانية} = \frac{6.28}{10} = \frac{3.14 \times 2}{10} = \frac{\pi^2}{10} = z$$

إيجاد التردد الزاوي من (1-2) :

$$10 \text{ رادين \textbackslash ثانية} = \frac{3.14 \times 2}{0.628} = \frac{\pi^2}{z} = \omega$$

إيجاد التردد (ذ) :

$$1.592 \text{ هيرتز} = \frac{1.000}{628} = \frac{1}{0.628} = \frac{1}{z} = z$$

براهين أخرى لقوانين السرعة ع والعجلة ج في الحركة التوافقية البسيطة

أولا ننبه إلى أن البرهانين الذين حصلنا بموجبهما على السرعة ع [المعادلة (2-6)] وعلى العجلة ج [المعادلة (2-8)] كافيان لك أيها الطالب حسب هذا المنهج ، ولكن سنورد هنا البرهانين التاليين للطلاب الذين يرغبون في تطبيق ما درسوه في التفاضل في الفيزياء ويمكن أن يكونا بديلين للبرهانين السابقين:

1) السرعة ع في الحركة التوافقية البسيطة: بما أن أي سرعة هي معدل تغير الإزاحة في الزمن فيمكن الحصول مباشرة على السرعة في الحركة التوافقية البسيطة من تفاضل الإزاحة في (2-4) مع الزمن . أي:

$$ع = \frac{د \text{ ص}}{د \text{ ن}} = \frac{د (أ \times ج) (ن \times \omega)}{د \text{ ن}} = أ \times \omega \times ج (ن \times \omega)$$

وهي نفس المعادلة (2-6). هذا البرهان مباشر ومختصر ويدل على فائدة التفاضل (وأیضا التكامل) في الفيزياء .

2) العجلة ج في الحركة التوافقية البسيطة: معادلة العجلة (2-8) يمكن الحصول عليها مباشرة من تفاضل السرعة بالزمن لأن العجلة هي معدل تغير السرعة في الزمن . أي:

$$ج = \frac{د ع}{د \text{ ن}} = \frac{د (أ \times \omega \times ج) (ن \times \omega)}{د \text{ ن}} = - أ \times \omega^2 \text{ ح} (ن \times \omega) = - \omega^2 \text{ ص}$$

والنتيجة هي نفس المعادلة (2-8).

إذا استوعبت هذه البراهين أيها الطالب فلك الخيار إذا في الاعتماد عليها أو تظل على البراهين السابقة في القسم (2-1-3) حيث أن أي منهما يكفي لأن المطلوب هو معرفة لماذا كانت معادلة السرعة ومعادلة العجلة كما في (2-6) و (2-8).

تمرين (2-1)

(1) يتحرك جسم في حركة توافقية بسيطة باتساع قدره 0.25 متر وتردد مقداره 2 ذبذبة في الثانية . جد معادلة الحركة التوافقية للجسم وسرعته وعجلته بعد 5 ثوان من بداية الحركة.

[الإجابة: ص=0.25 جا 4π ن ، ع = π ماث ، ج = صفر]

(2) يتحرك جسم في حركة توافقية بسيطة وفق المعادلة: ص = 2 جا 3π (ن)، جد اتساعه وتردده الزاوي وزمنه الدوري وسرعته وعجلته . [الإجابة:

أ=2م، $\omega = 3\pi$ راديان / ثانية . ز=2/3 ث، ع=6 π ماث، ج=صفر ماث²]
(3) بندول طوله 40 سم يتحرك في مجال ثقالي عجلته 10 متر/ث² . أحسب سرعته الزاوية وتردده وزمنه الدوري.

[$\omega = 5$ راديان/ث ، ذ = 2π هيرتز ، ز = $2\pi/5$ ث]

(4) بين كيف يمكنك معرفة طول حبل أحد طرفيه مربوط في سقف الحجرة والطرف الآخر في يدك مستعيناً بساعتك إذا اعتبرت أن عجلة الجاذبية تساوي 10 متر/ث². [ل=10 ز $4\pi^2$]

(5) جد الزمن الدوري والتردد والسرعة الزاوية لبندول طوله 1.8 متر علماً بأن عجلة الجاذبية تساوي 9.8 ماث².

[ز = 2.7 ث ، ذ = 0.37 هيرتز ، $\omega = 2.3$ راديان/ث]

(2-2) الفصل الثاني

الموجات

(1-2-2) مقدمة :

إذا ألقى حجر في بركة ماء ساكنة فستلاحظ تكون موجات تكون قممها وقيعانها دائرية الشكل . حيث ستتحرك هذه الموجات وتنتشر في اتجاه أفقي مبتعدة عن المنطقة التي ألقى فيها الحجر . وشكل (1-2) يوضح حركة الماء بعد إلقاء الحجر فيها .

(2-2-2) الحركة الموجية :

تعتبر الموجات من الظواهر الطبيعية التي أصبح لها دور مهم في حياتنا المعاصرة . إذ أن نقل البرامج التلفزيونية والإذاعية والاتصالات الهاتفية وخدمات الإنترنت يتم باستخدام الموجات الكهرومغناطيسية . كما تستخدم الموجات الصوتية فوق السمعية كوسيلة مهمة جداً في التشخيص الطبي وتفتيت الحصيات في الكلى .
والموجات عبارة عن اهتزازات تسري في الأوساط المختلفة أو الفراغ .

وهناك نوعان من الحركات الموجية وهما :

(1) الحركات الموجية التي تحتاج إلى وسط مادي لتنتقل فيه مثل موجات الصوت وموجات الماء .

(2) الحركات الموجية التي يمكنها الانتقال والانتشار في الفراغ وهي تسمى بالموجات الكهربية المغناطيسية ومنها موجات الضوء وموجات الراديو .
تحدث الموجات اهتزازات في الوسط الذي تنتشر فيه ؛ وهناك نوعان من الموجات:

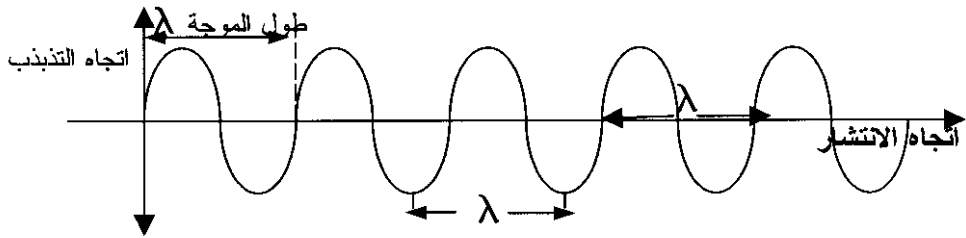
(1) الموجة المستعرضة أو العرضية: هي الموجة التي إهتزازها أو تذبذبها في الاتجاه العمودي على اتجاه انتشار الموجة (شكل(2-6)).

ومثال لذلك موجات الماء ، حيث تتحرك جزيئات الماء و تتذبذب رأسياً دون أن تنتقل في الاتجاه الأفقي (أنظر حركة قطعة الفلين في بداية الفصل السابق) . وتعتبر الموجات الكهرومغناطيسية التي تنتشر في الفراغ أيضاً

موجات مستعرضة. شكل (2-6) يوضح شكل الموجة وأن اتجاه انتشارها عمودي على اتجاه تذبذبها وشكلها كما هو واضح يشبه شكل جيب الزاوية مثله مثل شكل الحركة التوافقية البسيطة الذي درسناه في الفصل السابق.

(2) الموجة الطولية: وهي تنتشر في الأوساط المادية وهي عبارة عن اهتزاز جزيئات الوسط في اتجاه انتشار الموجة.

ومثال لها الموجات الصوتية وموجات الزنبرك التي تكون في شكل تضاعطات وتخلخلات متتالية (الشكلين (2-7) و (2-8)).



الشكل (2-6) : اتجاه الانتشار واتجاه التذبذب لموجة مستعرضة وطول الموجة (λ)

خلافًا للحركة التوافقية البسيطة أو أي حركة اهتزازية بحتة يكون للموجة طول يقاس بالمتر وذلك لأنها تنتشر عبر المكان ويرمز له بالرمز λ (ينطق لامدا).

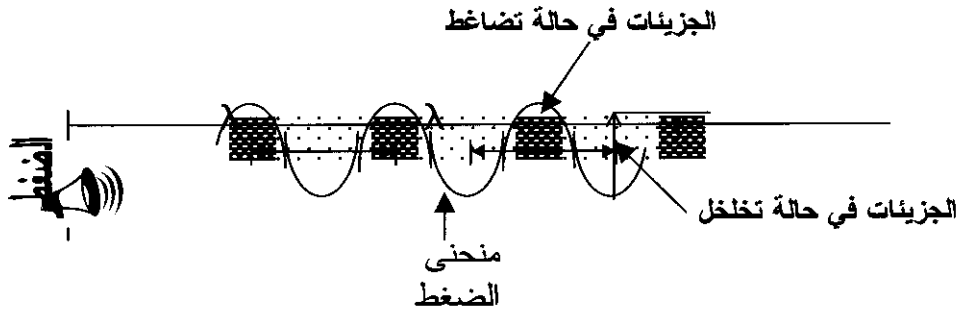
طول الموجة λ : هو المسافة التي تكمل خلالها الموجة اهتزازة أو ذبذبة كاملة.

والموجة تكرر نفسها كلما أكملت طولًا موجيًا λ .

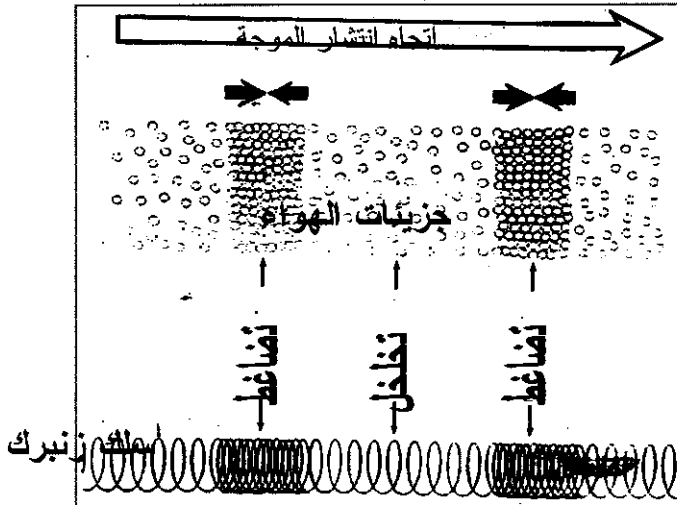
شكل (2-6) يوضح طول الموجة في الموجة المستعرضة وكما ذكرنا سابقًا فإن شكل هذه الذبذبة الكاملة منحني جيبى يشبه شكل الاهتزازة الكاملة في الحركة التوافقية البسيطة ولكن الاختلاف هنا هو أن هذا الشكل الجيبى الموجي يمر عبر المكان مع مرور الزمن خلافًا للحركة التوافقية التي لا تنتشر في المكان مع مرور الزمن .

و طول الموجة λ للموجة المستعرضة من شكل (2-6) يمكن تحديده من أي نقطتين: فهو المسافة بين أي قمتين متتاليتين أو بين أي قاعين متتاليين .

أما طول الموجة λ للموجة الطولية فهو المسافة بين مركزي تضاعطين متتاليتين أو تخلخلين متتاليتين (أنظر شكل (2-7)). لاحظ أن المنحنى الجيبي الظاهر في شكل (2-7) هو منحنى الضغط بين الجزيئات عند قياسه فعليا وهو يشبه منحنى الموجة المستعرضة .



شكل (2-7): الموجة الطولية
اتجاه تذبذب الجزيئات في نفس اتجاه انتشار الموجة



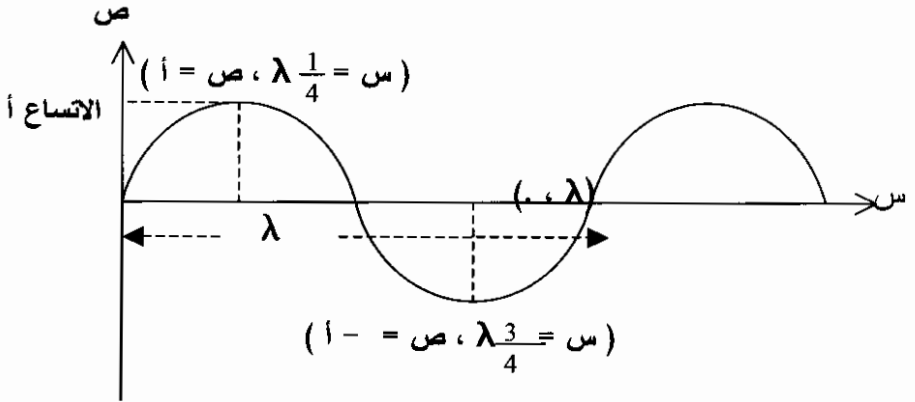
الشكل (2-8): الطريقة التي يتحرك بها الصوت في الهواء
تماثل طريقة موجات سلك الزنبرك .

(3-2-2) معادلة الموجة المتحركة :

قبل إيجاد معادلة الموجة المتحركة سننظر أولاً إلى موجة ساكنة حيث يمثل شكل (9-2) صورة لموجة ساكنة في لحظة ما وأول ما نلاحظه أن شكل الموجة هو منحني جيبي مثل الذي حصلنا عليه في الحركة التوافقية البسيطة ولكن الفرق أن الموجة - ولأنها تنتشر عبر المكان فإن إزاحة أي نقطة على شكل الجيبي - تتوقف على بعد هذه النقطة س من بداية الموجة [الشكل (9-2)] . ولذلك ، من الشكل يمكن أن نستنتج أن إزاحة الموجة ص تتناسب مع جا زاوية ما تتغير مع س. وقد وجد أن الإزاحة:

$$ص = أ \times \text{جا} \left(\frac{\pi 2}{\lambda} \times س \right) \quad (10-2)$$

حيث أ هو إتساع الموجة وهو أقصى إزاحة في الموجة و λ هو طول الموجة و س هي المسافة من نقطة البداية.



الشكل (9-2) : شكل الموجة وهي ساكنة .

في المعادلة (10-2) الزاوية هي $[(\pi 2) \div (\lambda \div س)]$ وهي زاوية تتغير مع س ومحصورة بين صفر (عندما س=صفر) و $\pi 2$ (عندما س = λ) وتكرر نفسها بعد ذلك مع استمرار الزيادة في س.

وبمقارنة المعادلة (10-2) مع شكل (9-2) نجد أنه : عندما س = 0

فإن: $v = \lambda f$ ، أما عندما $\lambda = \frac{1}{4}$ تصبح :

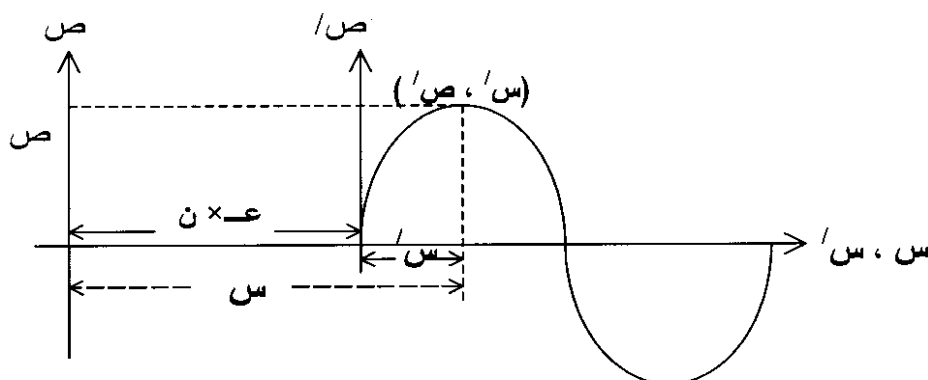
$v = \lambda f = \frac{\pi}{2}$ (الاتساع)

وعندما $\lambda = (4 \div 3)$ ، $v = \lambda f = (3 \div 2) \pi$ ؛
أما إذا أصبحت $\lambda = v$ فإن $v = \lambda f = 2\pi$ = صفر .

المعادلة (10-2) هي معادلة موجة ساكنة وبالرغم من أنها تمثل شكل الموجة الحقيقي في أي لحظة إلا أنها موجة لا تتحرك ولذلك نحتاج لمعادلة الموجة المتحركة والتي إيجادها باختيار إطارين: الأول وهو الإطار الذي إحداثياته s ، v وسنعتبره ثابتاً لا يتحرك (شكل (10-2)) وإطار آخر s' و v' نفترض أن به موجة ساكنة يمكن أن يتحرك معها بالسرعة $-v$ في داخل الإطار الأول. ولأن الموجة ساكنة في هذا الإطار فإن الإزاحة v' من معادلة الموجة الساكنة (10-2) هي:

$$v' = \lambda f' \quad (11-2)$$

سنفترض أنه في البداية عندما كان الزمن $t=0$ صفر أن المحورين كانا متطابقين ثم تحرك المحور s' ، v' الذي يحمل الموجة الساكنة على الإحداثي السيني بالسرعة $-v$ ، وبعد زمن مقداره t كان على بعد $-vt$ من الإحداثي الصادي للإطار s ، v كما موضح بشكل (10-2) . وتصبح قمة الموجة التي على بعد s' في الإطار s' ، v' على بعد s في الإطار s ، v وعليه من الشكل نجد أن:



شكل (10-2) : استنتاج معادلة الموجة المتحركة

$$\begin{aligned} \text{أي أن:} \quad s &= s' + c \times n \\ s' &= s - c \times n \end{aligned}$$

وعليه تصبح (11-2):

$$v' = v + \frac{c}{\lambda} \times \frac{\pi}{2} \quad \text{أجا} \quad v' = v - \frac{c}{\lambda} \times \frac{\pi}{2} \quad \text{أجا} \quad (s - c \times n)$$

وبما أن إزاحة الموجة في المحورين متساوية، أي $v' = v$ ، فإن:

$$(12-2) \quad v = \left[(s - c \times n) \times \frac{\pi}{\lambda} \right] \quad \text{أجا} \quad v = \left[(s + c \times n) \times \frac{\pi}{\lambda} \right]$$

وهذه هي معادلة الموجة المتحركة بسرعة c . وقد اختلفت منها تماماً أثر الإطار s' ، v' الذي استعنا به للتبسيط وأصبحت العلاقة مباشرة بين v و s . لاحظ في شكل (12-2) أن إزاحة الموجة v أصبحت بعد حركة الموجة تتغير مع s ومع الزمن n أيضاً .

الموجة مثل الحركة التوافقية البسيطة والحركة الدائرية لها تردد حيث: تردد الموجة λ هو عدد الطول الموجي λ الذي يمر في الثانية الواحدة ووحدته هيرتز أي ذبذبة في الثانية وهناك علاقة بين سرعة الموجة c وطولها الموجي λ وترددها λ . وبما أن السرعة هي المسافة التي يمثلها عدد الموجات التي مرت في الثانية. أي :

$$\begin{aligned} c &= \text{السرعة} = \text{عدد الطول الموجي المار في الثانية} \times \text{طول الموجة} \\ &= \text{التردد} \times \text{طول الموجة} = \lambda \times \lambda \end{aligned}$$

(13-2)

$$c = \lambda \times \lambda$$

وهذا القانون مهم جداً وينطبق على كل أنواع الموجات سواء أكانت موجات صوت [موجات طولية] أو موجات ماء أو موجات كهربية مغناطيسية (مثل الضوء) [موجات مستعرضة] كما سنرى لاحقاً .

أمثلة محلولة :

مثال (4-2) : موجة متحركة معادلتها في الصورة :

$$\text{ص} = 3 \text{ جا } \frac{\pi}{25} (\text{س} - 200 \text{ ن})$$

جد اتساع الموجة وطولها الموجي وسرعتها وترددها .

الحل : المطلوب : إيجاد أ ، λ ، ع ، ذ

$$\text{بمقارنة : ص} = 3 \text{ جا } \left[\frac{\pi}{25} (\text{س} - 200 \text{ ن}) \right]$$

$$\text{مع الصورة العامة ص} = \text{أ} \frac{\pi 2}{\lambda} \text{ جا } [(\text{س} - \text{ع} \times \text{ن})]$$

$$\text{نجد أن الاتساع أ} = 3 \text{ م}$$

$$\text{ونجد أن } \frac{\pi 2}{\lambda} = \frac{\pi}{25} \text{ وبالضرب العكسي نجد أن :}$$

$$\lambda = 50 \quad \therefore \text{الطول الموجي} = \lambda = 50 \text{ متر}$$

$$\text{وكذلك نجد أن ع} = 200 \text{ م \text{ا} ث}$$

أما تردد الموجة من (2-13):

$$\text{ذ} = \frac{\text{ع}}{\lambda} = \frac{200}{50} = 4 \text{ هيرتز}$$

(أي تردد في الثانية أو موجة في الثانية)

مثال (5-2) : موجة طولها الموجي 200 متر وترددها 1000 هيرتز واتساعها 5 أمتار جد سرعتها ومعادلتها .

الحل :

إيجاد السرعة ع :

$$\lambda = 200 \text{ م} , \quad \text{ذ} = 1000 \text{ هيرتز} , \quad \text{أ} = 5 \text{ م}$$

$$\text{ع} = \lambda \times \text{ذ} = 200 \times 1000 = 200000 \text{ م \text{ا} ث}$$

معادلة الموجة :

$$ص = أ جا \left(\frac{\pi 2}{\lambda} \times (س - ع ن) \right)$$

$$ص = 5 جا \left(\frac{\pi 2}{200} \times (س - 200000 ن) \right)$$

تمرين (2-2)

- (1) أعط 3 أمثلة لحركات توافقية بسيطة .
- (2) موجة متحركة طولها الموجي 20 متراً وترددها 100 هيرتز واتساعها 3 أمتار، أكتب معادلة الموجة. [ص = جا $(20 \div \pi 2) \times (س - 2000 ن)$]
- (3) بين الفرق بين الموجات الطولية والمستعرضة وأعط أمثلة لكل نوع.
- (4) هل تنتقل جزيئات الوسط في اتجاه انتشار الموجة المستعرضة ؟
- (5) هل يمكن أن تتحرك جزيئات الوسط في اتجاه انتشار الموجة الطولية مسافة أكبر من اتساع الموجة ؟ وإذا حدث ذلك هل تظل الحركة موجية ؟
- (6) موجة ترددها 1000 هيرتز وطولها الموجي 2 متر واتساعها 1 م، جد معادلة هذه الموجة . [ص = جا $(2 \div \pi 2) \times (س - 2000 ن)$]
- (7) موجة سرعتها 10000 م / ث وطولها الموجي 5 م. جد تردد هذه الموجة. [2000 هيرتز]
- (8) موجة متحركة معادلتها في الصورة ص = 7 جا $\left[\frac{\pi}{100} \times (س - 300 ن) \right]$ جد اتساعها وطولها الموجي وسرعتها وترددها .
[الإجابات: أ=7م، λ=200م، ع=300 م / ث، ذ=(2\3) هيرتز]

(3-2) الفصل الثالث

الضوء

(1-3-2) طبيعة الضوء :

(1-1-3-2) مقدمة :

تعلمنا في مراحلنا الدراسية السابقة أن الضوء شكل من أشكال الطاقة . وعندما يسقط الضوء الصادر أو المنعكس من الأجسام التي حولنا على العين فإننا نرى هذه الأجسام . وهناك أجسام مثل الشمس والنجوم والمصابيح الكهربائية والغازية تولد الضوء وتسمى مثل هذه المصادر بالمصادر الذاتية أو المضيئة .

بينما هناك أجسام مثل القمر أو الجدران أو أوراق الكتب أو زجاج النوافذ . تعكس الضوء أو ينفذ من خلالها . وتسمى مثل هذه المصادر بالمصادر غير الذاتية أو المصادر غير المضيئة .

ويمكن تحويل بعض المصادر غير المضيئة لمصادر مضيئة إذا تم تسخينها لدرجات حرارة مرتفعة . ويمكنك ملاحظة ذلك عند وضعك لسلك رفيع من الحديد في لهب ضوئي ، فإن السلك سيحمر ثم يصفر ثم يصدر ضوءاً أبيضاً . وتختلف الطريقة التي يصدر بها الضوء من مصدر لآخر ، ففي الشمس يصدر الضوء بفعل الاندماج النووي كما سندرس لاحقاً ، في حين يصدر الضوء من المصباح العادي بفعل تسخين سلك التتجستن في غلاف زجاجي مفرغ من الهواء (حتى لا يتفاعل السلك الساخن مع الأوكسجين -يتأكسد- فينقطع) فيصدر السلك الساخن ضوءاً بينما يتحول جزء من الطاقة الكهربائية في المصباح إلى حرارة .

(2-1-3-2) مفهوم الضوء :

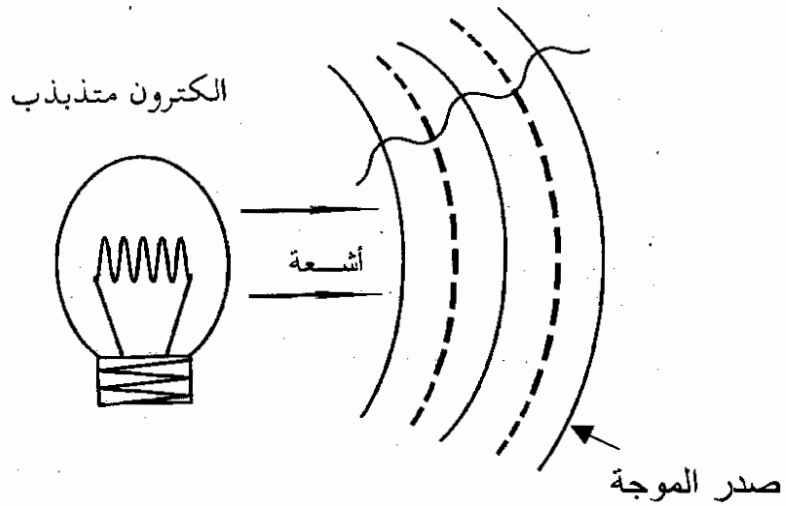
لأن الإنسان يحتاج للضوء ليرى الأشياء من حوله فقد فكر منذ القدم في أن يعرف الطريقة التي يمكن بها أن يولد الضوء ويتعرف على طبيعة الضوء نفسه. وقد ظن علماء الإغريق القدامى أن الضوء يصدر من العين

ففرى الأشياء من حولنا . ثم جاء العالم المسلم الحسن بن الهيثم الذي ولد في البصرة (354هـ/965م) ليفند هذا الزعم وليبرهن على أن رؤية الأجسام تتم عندما تنعكس أشعة الضوء الصادرة من المصادر المضيئة على هذه الأجسام فتصل إلى العين . وقد ألف ابن الهيثم كتاباً عن الضوء سماه (المناظر) تحدث فيه عن انكسار الضوء وانعكاس الضوء في المرايا الكروية . وقد ترجم هذا الكتاب إلى اللغة اللاتينية وظل المرجع الوحيد في علم الضوء حتى القرن الحادي عشر الهجري (السابع عشر الميلادي) في جميع أنحاء العالم وخاصة في أوروبا التي انتقل إليها العلم من المسلمين .

وفى منتصف القرن السابع عشر كتب العالم نيوتن نظرية الضوء الجسيمية والتي تقول أن الضوء عبارة عن فيض من الجسيمات الدقيقة المتناهية في الصغر وقد استطاعت هذه النظرية تفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار ولكنها فشلت في تفسير بعض خواص الضوء الأخرى مثل حيود الضوء عند سقوطه على حواف الأجسام حيث ينحرف عن مساره المستقيم . وقد دفع هذا بالعالم الهولندي " هايجنز " لوضع نظرية أخرى للضوء تقول أن الضوء عبارة عن موجات .

(2-3-1-3) النظرية الموجية :

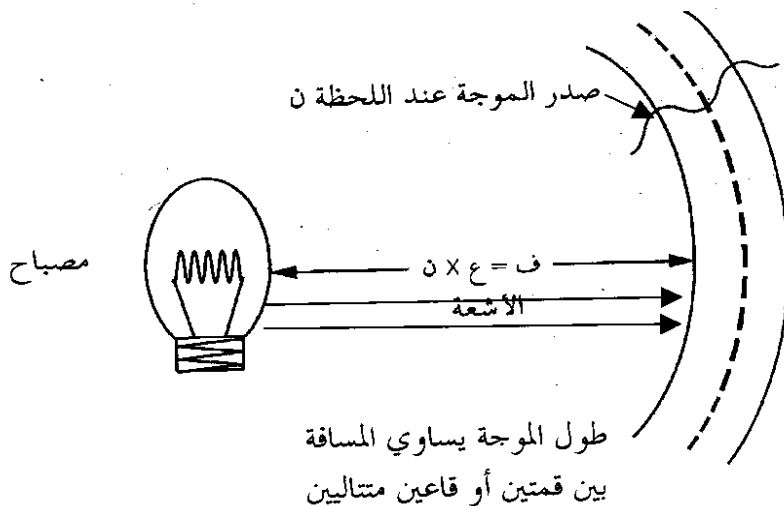
في عام 1678م وضع العالم هايجنز نظريته الموجية حيث اعتبر أن الضوء عبارة عن موجات مثل موجات البحر . وأن موجات الضوء الصادرة من أى مصباح ستنشأ في بحر سماه بحر الأثير والذي يمثل الوسط الذي ينتقل فيه الضوء . حيث يؤدي تذبذب الإلكترونات عند مرور التيار الكهربى فى فتيلة المصباح فتولد موجات بنفس الطريقة التي تتولد بها الموجات في بركة أو غدير نتيجة لتذبذب جسم ما على سطحه [شكل (2-11)]. لاحظ أن الأثير هو مجرد وسط أفترض وجوده بسبب الاعتقاد حينها أن إنتشار موجات الضوء مثلها مثل إنتشار موجات الماء يحتاج الى وسط. وقد ثبت لاحقاً بالتجارب العلمية عدم وجود الأثير .



الشكل (2-11) : موجات الضوء .

ولكن تأمل كيفية إنتشار موجات الماء على سطح البركة تساعد في فهم شكل إنتشار موجات الضوء حيث نلاحظ أن قمم وقيعان الموجة تكون في شكل دوائر مركزها الجسم المتذبذب . ويسمى الخط الدائري الذي توجد به كل القمم التي على نفس البعد من مركز التذبذب عند لحظة زمنية معينة **بجبهة أو صدر الموجة** [شكل (2-12)]. ويكون **صدر الموجة** في حالة موجات الضوء في شكل سطح كروي لأن موجات الضوء تنتشر في كل الاتجاهات في الأبعاد الثلاثة .

فإذا تولدت موجة ضوء من مصباح كهربى عند اللحظة (ن = صفر) وكانت الموجة تسير بسرعة c فإن صدر الموجة المتولد في المصباح عند اللحظة (ن = صفر) سيصبح على بعد $c \cdot n$ من المصدر عند اللحظة (ن).



الشكل (2-12) : صدر الموجة .

وتنتشر موجات الضوء في الإتجاه العمودي على صدر الموجة . ويمثل الاتجاه الذي ينتشر فيه الضوء مسار أشعة الضوء . وعندما يكون صدر الموجة بعيداً جداً عن المصدر (نصف قطر دائرة الإنتشار كبير جداً) فإنه يمكن اعتباره سطحاً مستوياً (لأن الانحناء سيكون صغيراً جداً على هذا البعد الكبير من مصدر الموجة) .

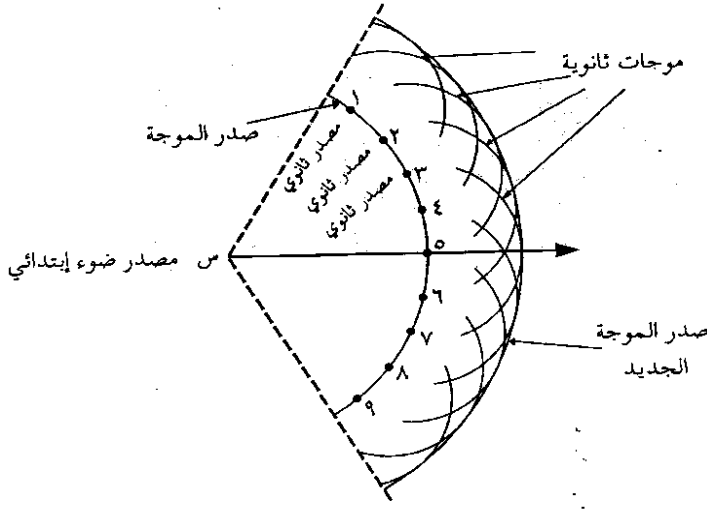
وقد وضع " هايجنز " الطريقة التي يتكون بها صدر موجة جديد في القاعدة التالية المسماة باسمه .

(2-1-3-4) قاعدة هايجنز (شكل 2-13) :

تنص قاعدة هايجنز على أن :

أي نقطة في صدر الموجة القديم يمكن إعتبارها مصدراً ضوئياً جديداً يقوم بإشعاع موجات ثانوية

ويمثل السطح الذي يتشكل من هذه المويجات الثانوية عند اللحظة (ن) صدر الموجة الجديد .



الشكل (2-13) : قاعدة هايجنز .

(2-4-2) الطيف الضوئي :

إن إعتبار الضوء عبارة عن موجات يعني أن للضوء طولاً موجياً λ وتردداً λ . فإذا كانت سرعة الضوء تساوي c فإن :

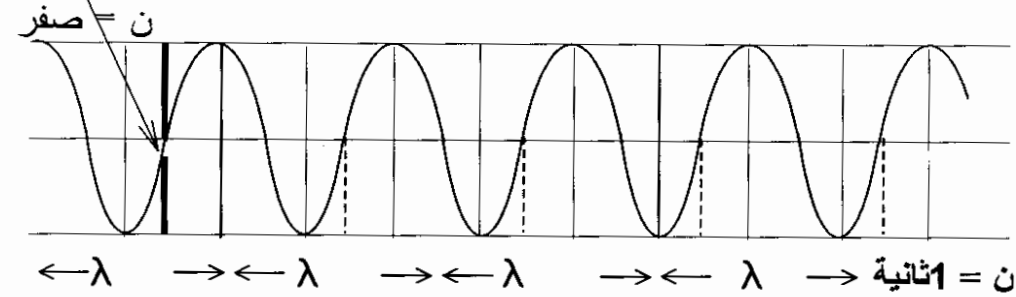
سرعة الضوء = التردد $\times$ طول الموجة

$$c = \lambda \times \nu$$

ويمكن إثبات هذه العلاقة عند متابعة سلسلة موجية كانت بدايتها عند فتحة ما عند اللحظة (ن) = صفر كما بالشكل (2-14) .

ويقاس التردد (ν) بالهيرتز ويساوي ذبذبة في الثانية بينما يقاس طول الموجة λ بالمتر ولكن لأن هذا الطول صغير جداً، تستخدم وحدة تسمى أنجستروم وتساوي 10^{-10} متر .

التردد $\lambda =$ عدد الموجات في الثانية



الشكل (2-14) : علاقة طول الموجة والتردد بسرعة الضوء .

فإذا مرت (ذ) موجة عبر الفتحة في ثانية فإن :

$$\begin{aligned} \text{ع} = \text{سرعة الموجة} &= \text{المسافة التي قطعتها بداية الموجة في ثانية} \\ &= \text{طول الموجة} \times \text{عدد الموجات} \\ &= \lambda \times \lambda = \end{aligned}$$

وهي نفس معادلة الموجة في حالة الصوت .
وتختلف سرعة الضوء من وسط (مادة معينة) الى آخر ، ففي الفراغ وإلى حد ما الهواء تكون سرعة الضوء هي 3×10^8 متر ١ ث وهي أقصى سرعة للضوء . بينما تكون سرعة الضوء في الزجاج في حدود 2×10^8 متر ١ ث وتقل سرعة الضوء في هذه الحالة بسبب عمليتي الامتصاص والإشعاع المتوالية التي تقوم بها الذرات التي تقع على مسار الشعاع حيث يمتص الشعاع الساقط من الهواء على الوسط بواسطة أول ذرة تقع على مساره وتأخذ هذه الذرة زمناً معيناً لتشعه مرة أخرى لتمتصه ذرة مجاورة وهكذا تستمر عملية الامتصاص والإشعاع إلى أن يغادر الشعاع الزجاج مرة أخرى للهواء .

وبما أن $(\lambda \times \lambda = \text{ع})$ فإن انخفاض قيمة ع تعنى إما انخفاض قيمة ذ أو انخفاض قيمة λ وقد وجد أن التردد ذ يظل ثابتاً بينما يتغير الطول الموجي ولذلك تتغير سرعته الضوء في الأوساط الشفافة كالزجاج والماء بسبب تغير λ .

لقد أفلحت النظرية الموجية في تفسير بعض خواص الضوء كالانعكاس والانكسار غير أنها فشلت في تفسير بعض الظواهر الأخرى مثل الظاهرة الكهروضوئية التي سندرسها لاحقاً. لاحظ أن الضوء هو جزء من طيف كبير يسمى الطيف الكهربى المغناطيسى (الكهرومغناطيسى) سنتطرق اليه بالتفصيل في الفصل الثانى من الباب الرابع وتطبق عليه المعادلة (2-14) وسرعة ع .

(2-3-3) طاقة الضوء ونظرية الكم لبلاىك :

في عام 1900م استطاع العالم الالماني " ماكس بلاىك " وضع نظرية التى تنص على أن طاقة الضوء والطيف الكهرومغناطيسى عموماً تكون في صورة دفعات صغيرة من الطاقة المنفصلة عن بعضها . وتسمى كل دفعة من الطاقة بالكمّة (أي الكمىة الصغيرة) . وتتناسب طاقة الكمّة الواحدة (ط) مع ذ-تردد الضوء (أو الإشعاع عموماً) ويسمى ثابت التناسب بثابت " بلاىك " ونرمز له بالرمز (هـ) . أي أن :

(2-15)

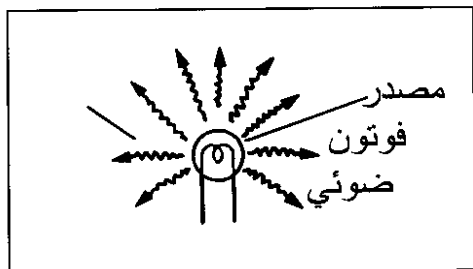
$$ط = هـ \times ذ$$

طاقة الكمّة

وقد وجد بلاىك أن الثابت :

$$هـ = 6.625 \times 10^{-34} \text{ جول . ثانية}$$

وتسمى كمّة الطاقة هذه بالفوتون (شكل (2-15)) .



شكل (2-15) : الفوتونات

وعليه حسب نظرية " بلاىك " يعتبر الضوء مكوناً من الفوتونات. وتسمى هذه النظرية بنظرية " الكم لبلاىك " .

أما شدة شعاع من الضوء فتساوى طاقة الفوتون الواحد مضروباً في عدد الفوتونات التى تعبر وحدة المساحة في الثانية .

(16-2)

$$\begin{aligned} \text{شدة الإشعاع} &= \text{ه} \times \text{ذ} \times \text{عد} \\ \text{شع} &= \text{ه} \times \text{ذ} \times \text{عد} \end{aligned}$$

أي أن :

حيث تمثل (عد) عدد الفوتونات التي تعبر وحدة المساحة في الثانية .

وهكذا فنظرية الكم لا تعتبر الضوء في صورة سيل متصل من الموجات .

لقد استطاعت نظرية الكم تفسير بعض الظواهر الفيزيائية بنجاح ومن هنا بدأ العلم الواسع في الفيزياء الذي يسمى بميكانيكا الكم والذي استطاع أن يطور علم الفيزياء تطوراً كبيراً بمقدرته على تفسير الظواهر الذرية وسلوك الأجسام الدقيقة .

مثال (2-6) :

جد مقدار الطاقة في فوتون الضوء الأخضر الذي طول موجته 5000 انجستروم علماً بأن سرعة الضوء 10×3 م/ث وثابت بلانك $\text{ه} = 6.625 \times 10^{-34}$ جول. ثانية

الحل :

$$\lambda = 5000 \times 10^{-10} = 5 \times 10^{-7} \text{ متر}$$

$$\text{ط} = \text{ه} \times \text{ذ}$$

$$\text{لكن ذ} = \frac{c}{\lambda}$$

$$\therefore \text{ط} = \frac{\text{ه} \times c}{\lambda} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{5 \times 10^{-7}}$$

$$\therefore \text{طاقة الفوتون} = \text{ط} = 3.975 \times 10^{-19} \text{ جول} .$$

مثال (2-7) :

شعاع من الضوء قدرته 1 واط وطول موجته 9.9×10^{-7} متر أحسب عدد فوتونات هذا الشعاع في الثانية .

الحل :

$$\text{طول الموجة } \lambda = 9.9 \times 10^{-7} \text{ م}$$

القدرة هي الطاقة في الثانية

$$\begin{aligned} \text{قدرة الشعاع} &= 1 \text{ واط} = 1 \text{ جول / ثانية} = \text{طاقة الشعاع في الثانية} = \\ &= \text{طاقة الفوتون الواحد} \times \text{عدد فوتونات الشعاع في الثانية} = \\ &= \text{ط} \times \text{عد} = \text{ه} \times \text{ذ} \times \text{عد} \quad (\text{حيث عد} = \text{عدد الفوتونات في الثانية}) \end{aligned}$$

$$1 \text{ واط} = \text{ه} \times \text{ذ} \times \text{عد} , \therefore \text{ذ} = \frac{\text{ه}}{\text{عد}}$$

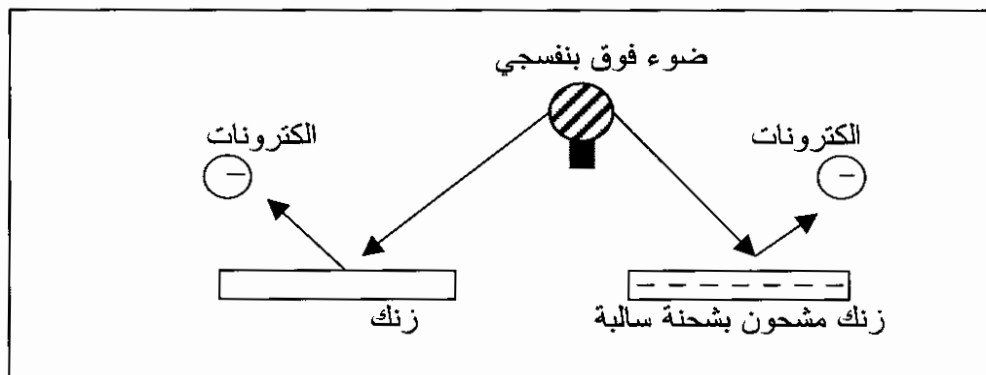
$$\frac{10^{-10} \times 9900}{8 \times 10 \times 3 \times 10^{34} \times 6.625} = \frac{\lambda}{\text{ه} \times \text{عد}} = \frac{1}{\text{ه} \times \text{ذ}} = \text{عد} \therefore$$

$$18 \times 10^{18} \times 5 \approx 16 \times 10^{16} \times 498 = \text{فوتون} .$$

(2-3-4) : الظاهرة الكهربية الضوئية (الكهروضوئية) :

تعتبر الشمس المصدر الرئيس الذي يمد الكرة الأرضية بالطاقة ، وهناك منظومات طبيعية كثيرة تحول هذه الطاقة لطاقة مفيدة للإنسان . فالنبات مثلاً يحول طاقة الشمس لطاقة كيميائية يستفيد منها الإنسان في غذائه . وقد حاول العلماء تصميم منظومات تحول طاقة الشمس لطاقة مفيدة للإنسان فتمكنوا من تصميم أجهزة تحول ضوء الشمس لطاقة كهربائية ، وتسمى هذه الأجهزة بالخلايا الشمسية . وهي تحول ضوء الشمس لكهرباء اعتماداً على ظاهرة تسمى بالظاهرة الكهربية الضوئية أو اختصاراً بالظاهرة الكهروضوئية .

وقد لاحظ هذه الظاهرة العالم الألماني " هيرتز " عام 1887م . حيث وجد أن سقوط أشعة فوق بنفسجية على سطح معدني يؤدي لانبعاث الالكترونات من هذا السطح بنفس الطريقة التي يؤدي بها سقوط حجر على بركة ضحلة لتناثر رذاذ الماء في الهواء من هذا السطح . وقد لاحظ نفس الظاهرة عام 1888م عالم آخر يدعى " هولواش " حيث لاحظ أيضاً أن لوح الزنك المعزول والمشحون شحنة سالبة يفقد شحنته عند تعرضه لضوء فوق بنفسجي (شكل (2-16)) .

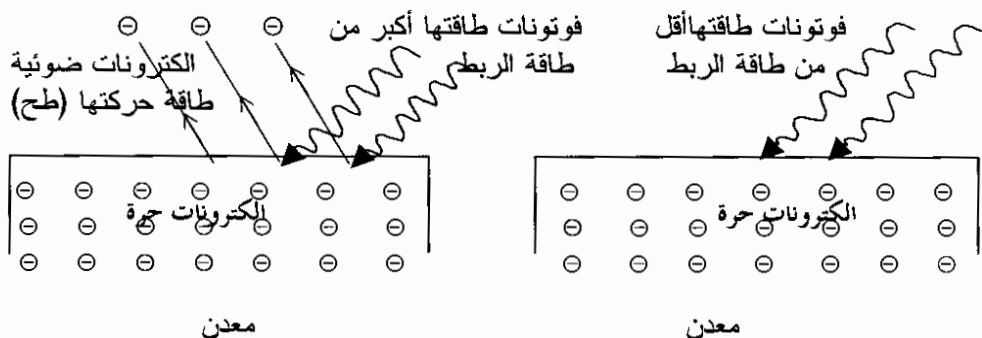


الشكل (2-16) : تجربة هولواش .

وهذا يعني أن الضوء يعطي طاقة للالكترونات لتتحرر من سطح المعدن وتسمى هذه الظاهرة بالظاهرة الكهروضوئية (الكهربية الضوئية).

وفي عام 1905م استطاع العالم الألماني " ألبرت انشتاين " تفسير الظاهرة الكهروضوئية على ضوء نظرية الكم " لبلاك " التي درسناها سابقاً . حيث اعتبر أن الضوء يتكون من كمات متقطعة من الفوتونات . فإذا سقط ضوء تردده (ν) على سطح معدن فإن طاقة الفوتون الواحد ستساوي ($h \times \nu$) حيث h = ثابت بلانك حسب المعادلة (2-15) .

وعند اصطدام الفوتون بسطح المعدن يقوم الكترون واحد بامتصاص طاقة الفوتون ويستنفذ جزءاً منها في التحرر من الارتباط بسطح المعدن . ويسمى الحد الأدنى من الطاقة اللازم لتحرير الالكترون من سطح المعدن بطاقة الربط (أو دالة الشغل) ونرمز لها بالرمز Φ (ينطق فاي = Φ) . أما الجزء الباقي من الطاقة الممتصة فيذهب لإكساب الالكترون طاقة حركة مقدارها (طج) وتسمى هذه الالكترونات التي تتحرر من المعدن بسقوط الضوء عليه بالالكترونات الضوئية (انظر شكل (2-17)) .



(ب) تنطلق الكترونات الضوئية الناتجة عن اصطدام الفوتونات (الضوء) بسطح المعدن .

(أ) تظل الكترونات في المعدن لأن طاقة الفوتون الساقط عليها أقل من من طاقة إرتباط الإلكترون بالمعدن

الشكل (2-17) : تفسير الظاهرة الكهروضوئية .

ويمكن كتابة العلاقة بين طاقة الفوتون وطاقة الإلكترون في صورة رياضية. حيث نجد أن :

الطاقة التي فقدها الفوتون = الطاقة التي اكتسبها الإلكترون
(أولاً لتحرر من سطح المعدن وثانياً لإكتساب طاقة حركة) .
أي أن $h \times \nu =$ الطاقة اللازمة لتحرر الإلكترون من المعدن
(طاقة الربط) + طاقة الحركة التي إكتسبها الإلكترون. أي أن:

(2-17)

$$h \times \nu = \Phi + \text{طح}$$

وبما أن طاقة الحركة عامة تساوي $\frac{1}{2} m v^2$ حيث v هي سرعة الإلكترون المحرر ،
(ك) هي كتلة الإلكترون بينما تمثل (ع) سرعة الإلكترون المحرر .

(2-18)

$$\therefore h \times \nu = \Phi + \frac{1}{2} m v^2$$

مثال (2-8) :

إذا كانت طاقة الربط (دالة الشغل) في البوتاسيوم تساوي 10×3.2 جول.
فاحسب طاقة حركة الالكترون عندما يضاء اللوح بأشعة طولها الموجي 10×354 متر إذا اعتبرت أن ثابت بلانك $h = 6.6 \times 10^{-34}$ جول ثانية.

الحل :

$$\begin{aligned} \text{سرعة الضوء في الفراغ} &= (c) = 3 \times 10^8 \text{ متر/ث} \\ \lambda &= 10 \times 354 \text{ متر} , \quad h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ جول ثانية} \\ \Phi &= 10 \times 3.2 \text{ جول} \\ \text{طاقة الفوتون} &= \text{طاقة حركة الالكترون} + \text{طاقة الربط في البوتاسيوم} \\ h \times \nu &= \text{طح} + \Phi \end{aligned}$$

$$h \times \nu = \frac{c \times h}{\lambda} + \Phi$$

$$\text{طح} = \frac{c \times h}{\lambda} - \Phi = \frac{10 \times 354 \times 6.6 \times 10^{-34}}{3 \times 10^8} - 10 \times 3.2$$

$$= 10 \times 5.59 - 10 \times 3.2 = 10 \times 2.39 \text{ جول}$$

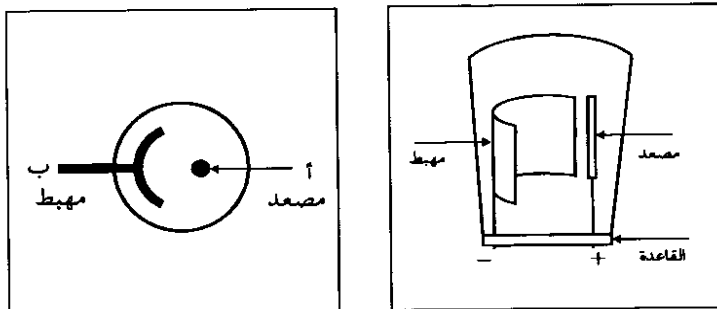
أي أن طاقة حركة الالكترون $\approx 10 \times 24$ جول

(2-3-5) الخلية الكهروضوئية :

يمكن الاستفادة من الظاهرة الكهروضوئية في تحويل الطاقة الضوئية لطاقة كهربائية . وهذا ما تقوم به الخلية الكهروضوئية والتي لها أشكال عدة ، ولكنها كلها تتفق في أنها كلها مكونة من مهبط ومصدر ، وأنها تمرر التيار في دائرة إذا أسقط عليها ضوء .

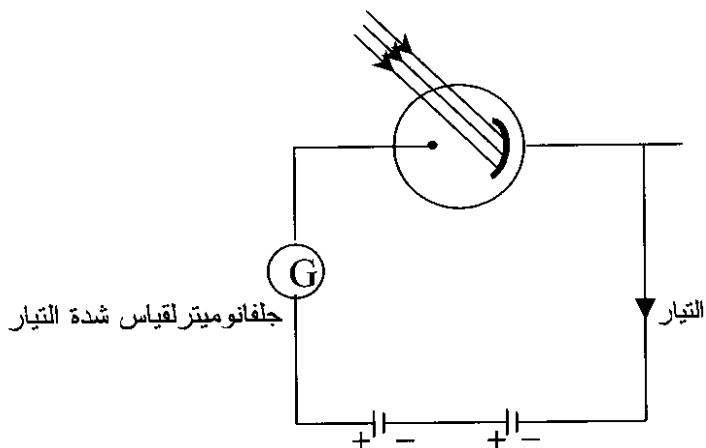
وتتركب الخلية الكهروضوئية في واحدة من صورها من غلاف زجاجي مفرغ من الهواء بداخله لوح نصف أسطواني من معدن طلي سطحه الداخلي بطبقة من مادة السيزيوم ويتصل اللوح بمسمار توصيل مثبت في

قاعدة الغلاف الزجاجي من الخارج ، ويسمى هذا اللوح بالمهبط لأنه يوصل
بالقطب السالب وهذا اللوح هو



الشكل (2-18) : خلية كهروضوئية .

الذى تتحرر من سطحه الإلكترونات عند سقوط الضوء عليه ولأنه
موصل بالقطب السالب فستتأثر هذه الإلكترونات معه لأنها هي أيضا سالبة.
ويوجد أمام المهبط قضيب معدني يتصل هو الآخر بمسمار توصيل
مثبت في قاعدة الغلاف الزجاجي من الخارج . ويسمى هذا القضيب **بالمصدر**
حيث يوصل بالقطب الموجب بحيث يجذب إليه الإلكترونات (شكل (2-18)).
ولكي تعمل الخلية يوصل **المهبط بالقطب السالب** لبطارية ذات قوة دافعة
كهربية كبيرة بينما يوصل **المصدر بالقطب الموجب** للبطارية . فعند سقوط
الضوء على المهبط تتبعث منه الإلكترونات ، ليجذبها المصدر الموجب فيمر
التيار في الدائرة حيث يدل على مروره جهاز الجلفانوميتر الحساس
لمرور التيار الكهربائي الضعيف الموضح في شكل (2-19) . ويزداد تيار
الخلية الضوئية كلما زادت شدة الضوء وتردده وأيضا بزيادة فرق جهد
البطارية.



الشكل (2-19) : ضوء يسقط على خلية كهروضوئية فيمر التيار .

(2-4-5-1): إستخدامات الخلية الكهروضوئية:

(أ) تستخدم الخلية الكهروضوئية في كثير من أجهزة التصوير حيث تحول أجزاء الصورة الضوئية لإشارات ونبضات كهربائية . حيث نلاحظ أن الجزء المظلم من أي صورة لا يصدر منه ضوء ، وبالتالي لا يمر تيار في الخلية بينما الجزء المضيء في الصورة يسقط منه الضوء على الخلية فيولد تياراً شدته تتناسب مع الضوء الصادر من الصورة . وهكذا يتحول الضوء الصادر من الصورة إلى تيارات تتحول مرة أخرى إلى صورة.

(ب) كما تستخدم الخلية الكهروضوئية في الاتصالات حيث تحول المحادثات التلفونية من تيارات كهربية إلى إشارات ضوئية في الألياف الضوئية (سندرسها لاحقاً) ثم تحول في الطرف الآخر لهذا الليف الضوئي بواسطة الخلية الكهروضوئية إلى تيارات كهربية مرة أخرى حيث تنقل بالأسلاك إلى جهاز التلفون. وتستخدم الخلية الكهروضوئية كذلك في الاستفادة من طاقة الشمس الضوئية وتحويلها لطاقة كهربية

(ج) كما تستخدم الخلية الكهروضوئية في التحكم فيتم توصيل دائرة ما عندما يسقط على الخلية ضوء (شكل (2-19)) وتتوقف الدائرة عندما ينقطع عنها الضوء. ويتم التحكم في فتح الأبواب في الأماكن العامة وفي المصاعد ، فعندما يمر إنسان ويقطع الضوء الساقط على الخلية ينفتح الباب . وأكثر استخدام للخلية الكهروضوئية في جهاز التلفزيون في المنزل لفتح أو إغلاق أو تغيير المحطات حيث يصدر جهاز الريموت عند الضغط عليه نبضة من

الأشعة دون الحمراء تسقط على الخلية الموجودة في جهاز التلفزيون فتقوم بالمهمة المطلوبة.

مثال (2-9) :

عند سقوط ضوء طوله الموجي $10 \times 5 \text{ } ^7\text{-}$ متر على معدن كانت طاقة حركة الإلكترون المتحرر هي $10 \times 19.8 \text{ } ^{20}\text{-}$ جول . فإذا كان ثابت بلانك يساوي $10 \times 6.6 \text{ } ^{34}\text{-}$ جول ثانية : أحسب طاقة الربط في المعدن . ثم أحسب أقل تردد (ذ) يلزم لتحرير الإلكترون من سطح المعدن .

الحل :

$$\lambda = 10 \times 5 \text{ } ^7\text{-} \text{ متر} \quad \text{طح} = 10 \times 19.8 \text{ } ^{20}\text{-} \text{ جول}$$

$$\text{هـ} = 10 \times 6.6 \text{ } ^{34}\text{-} \text{ جول} \cdot \text{ثانية} \quad \text{ع} = 10 \times 3 \text{ } ^8\text{-} \text{ متر ا ث}$$

$$\text{هـ} \times \text{ذ} = \text{طح} + \Phi$$

$$\Phi = \text{هـ} \times \text{ذ} - \text{طح} = \frac{\text{هـ} \times \text{ع}}{\lambda} - \text{طح}$$

$$\Phi = 10 \times 19.8 \text{ } ^{20}\text{-} - \frac{10 \times 3 \times 10 \times 6.6 \text{ } ^{34}\text{-}}{10 \times 5 \text{ } ^7\text{-}} = \Phi$$

$$\Phi = 10 \times 19.8 \text{ } ^{20}\text{-} \text{ جول}$$

إيجاد أقل تردد يحرر الإلكترون (التردد الحرج):

أقل تردد هو التردد الذي يكفي فقط لإخراج الإلكترون من المعدن دون إكسابه طاقة حركة (أي أن طاقة الفوتون تساوى طاقة الربط فقط وأن طح = صفر) ويسمى التردد في هذه الحالة بالتردد الحرج ذ_ح (أو تردد العتبة) .

$$\text{بتعويض طح} = \text{صفر} \quad \text{ذ} = \text{ذ}_{\text{ح}}$$

$$\text{وبما أن} \quad \text{هـ} \times \text{ذ} = \text{طح} + \Phi$$

$$\text{إذا} \quad \text{هـ} \times \text{ذ}_{\text{ح}} = \text{صفر} + \Phi$$

$$\text{هـ} \times \text{ذ}_{\text{ح}} = \Phi \quad \therefore \text{التردد الحرج} = \text{ذ}_{\text{ح}} = \frac{\Phi}{\text{هـ}} = \frac{10 \times 19.8 \text{ } ^{20}\text{-}}{10 \times 6.6 \text{ } ^{34}\text{-}}$$

$$= 10 \times 3 \text{ } ^{14}\text{-} \text{ هيرتز}$$

تمرين (2-3)

هـ = $10 \times 6.6 \times 10^{-34}$ جول. ثانية، (شحنة الإلكترون) ش.ا = 1.6×10^{-19} كولوم،
(سرعة الضوء) ع = 3×10^8 م.ث، (كتلة الإلكترون) ك.ا = 9×10^{-31} كجم
1 الكترون فولت = 1.6×10^{-19} جول

(1) دالة شغل الصوديوم تساوي 2 الكترون فولت أحسب طاقة حركة وسرعة
الالكترون عندما يضاء الالكترون بأشعة طولها الموجي 150×10^{-9} متر.
وما أقل تردد يمكن الالكترون من التحرر من المعدن (التردد الحرج) ؟.

[طح = 10^{-18} جول، ع = 1.5×10^6 متر.ث، ذح = 4.8×10^{14} هيرتز]

(2) ما مقدار الطاقة في كمية ضوء طولها الموجي 3000 انجستروم ؟.
[$10^{-19} \times 6.6$ جول]

(3) شعاع من الضوء قدرته 66 واط وتردده 5×10^{14} هيرتز. أحسب عدد
فوتونات هذا الشعاع . [2×10^{20} فوتون]

(4) الكترون طاقة حركته 4×10^{-19} جول ينبعث من معدن عندما سقط عليه
ضوء طولها الموجي 4×10^{-7} م. أحسب طاقة ربط الإلكترون في المعدن
والتردد الحرج . [$\Phi = 9.5 \times 10^{-20}$ جول ، ذح = 1.44×10^{14} هيرتز]

(5) إذا كانت طاقة حركة الإلكترون المنبعث من معدن هي 8×10^{-19}
جول فما طول موجة الضوء الساقط عليه علماً بأن دالة شغل المعدن
 2.88×10^{-19} جول ؟. [$\lambda = 1.8 \times 10^{-7}$ متر]

(4-2) الفصل الرابع

الانكسار

(1-4-2) مقدمة :

في ظاهرة الانكسار يغير الشعاع الضوئي مساره واتجاهه عند انتقاله من وسط شفاف إلى وسط شفاف آخر مادته مختلفة . ويستفاد من ظاهرة الانكسار في تطبيقات كثيرة في حياتنا حيث تصنع العدسات التي تكسر الأشعة لتصحيح وعلاج قصر النظر وطوله . كما تستخدم العدسات في المجاهر (المايكروسكوبات) وفي المناظير الفلكية وفي كاميرات التصوير العادية والتلفزيونية . ويستفاد من ظاهرة الانكسار في نقل المعلومات بالليزر عبر الألياف الضوئية.

(2-4-2) تفسير ظاهرة الانكسار :

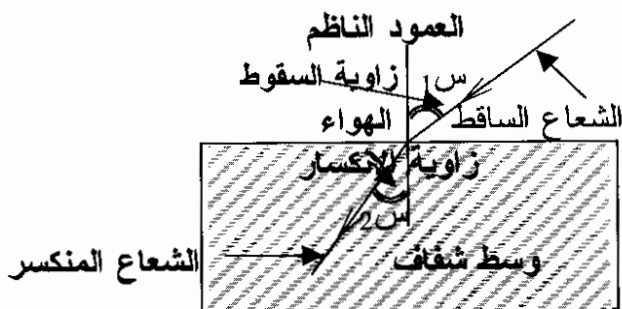
وجد العلماء أن ظاهرة الانكسار تحدث لأن الضوء يغير سرعته عند انتقاله من وسط لآخر . وقد وجد العلماء أن هناك نسبة ثابتة بين سرعة الضوء في الهواء وسرعته في أي وسط معين ، وتسمى هذه النسبة بمعامل الانكسار المطلق (م) لهذا الوسط المعين . ونرمز لهذه النسبة بالرمز (م) . أي أن :

$$م = \text{معامل الانكسار المطلق للوسط} = \frac{\text{سرعة الضوء في الهواء}}{\text{سرعة الضوء في الوسط}} \quad (19-2)$$

أيضاً إذا سقط شعاع بزاوية (س₁) من الهواء (وتسمى زاوية السقوط) على أي وسط شفاف فإن الشعاع ينكسر بزاوية معينة مقدارها (س₂) (وتسمى زاوية الانكسار) . وتكون نسبة جيب الزاوية الموجودة في الهواء (س₁) إلى جيب الزاوية الموجودة في الوسط (س₂) ثابتة وتسمى هذه النسبة بمعامل الانكسار المطلق للمادة ونرمز له بالرمز (م) .

$$(20-2)$$

$$م = \frac{\text{جا س}_1}{\text{جا س}_2}$$



الشكل (20-2) : ظاهرة الانكسار .

(3-5-2) قانون الانكسار الأول :

الشعاع الساقط والشعاع المنكسر والعمود الناظم تقع جميعا في مستوى واحد.

(4-5-2) قانون الانكسار الثاني (قانون سنل (Snell's Law) :

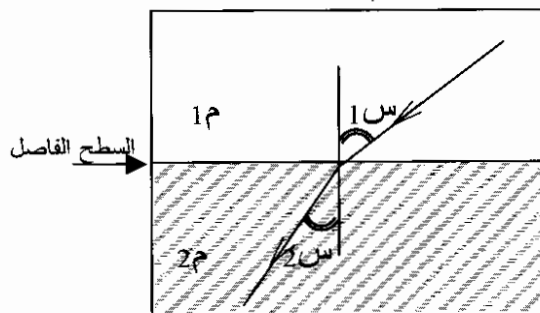
" إذا سقط شعاع في وسط معامل انكساره المطلق (م1) بزاوية (س1) وانكسر في وسط معامل انكساره المطلق (م2) بزاوية (س2) فإن :

(21-2)

$$1م \times جاس1 = 2م \times جاس2$$

وهذا القانون يتحقق فقط إذا تحقق القانون الأول للانكسار . ويسمى هذا القانون بقانون سنل (شكل (21-2)). أي أن معامل الانكسار بين الوسيطين:

$$م = \frac{جاس1}{جاس2} = \frac{1م}{2م}$$



الشكل (21-2) : قانون سنل .

مثال (2-10) : سقط شعاع من وسط بزواوية 30° وانكسر بزواوية 60° في الهواء. جد معامل انكسار هذا الوسط .

الحل : حسب قانون الانكسار نجد أن :

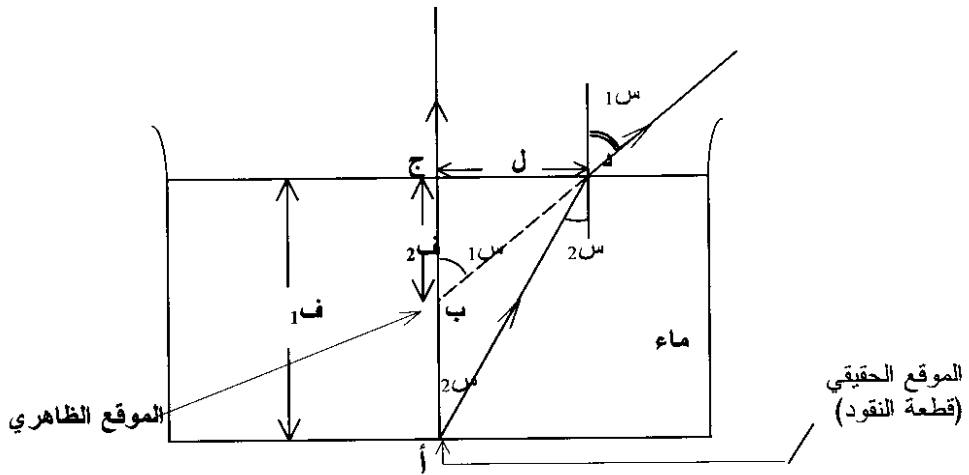
$$m = \frac{\text{جاس}_1}{\text{جاس}_2} \quad \text{حيث أن :}$$

$$\begin{aligned} \text{س}_1 = 60^\circ \text{ (في الهواء) , } \text{س}_2 = 30^\circ \text{ (في الوسط)} \\ \therefore \text{معامل الانكسار} = m = \frac{\text{جاس}_1}{\text{جاس}_2} = \frac{\text{جاس}_{60^\circ}}{\text{جاس}_{30^\circ}} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}} = \sqrt{3} \end{aligned}$$

(2-4-5) العمق الحقيقي والظاهري :

إذا وضعت قطعة نقود في قاع حوض به ماء ثم نظرت لهذه القطعة من الهواء فستجد أن قطعة النقود تبدو في موضع أعلى من موضعها الحقيقي (شكل (2-22)). ويعزى ذلك أن الأشعة المنبعثة من قطعة النقود لا تصل للعين مباشرة بل ستنكسر مبتعدة عن العمود القائم عند الحد الفاصل بين الوسيطين لتتجمع إمتدادات الأشعة المنكسرة والتي تصل للعين فتراها في الموضع (ب) والذي يسمى بالموضع الظاهري [شكل (2-22)]. وتسمى المسافة بين الموضع الحقيقي (أ) و سطح الماء

$$(1) \quad m = \frac{\text{جاس}_1}{\text{جاس}_2} = \frac{\text{ل}}{\text{ب د}} \div \frac{\text{ل}}{\text{أ د}} = \frac{\text{أ د}}{\text{ب د}}$$



الشكل (22-2) : العمق الحقيقي والعمق الظاهري .

الذي يمثل السطح الفاصل بالعمق الحقيقي ونرمز له بالرمز (ف1) بينما تسمى المسافة بين الموضع الظاهري و سطح الماء بالعمق الظاهري ونرمز له بالرمز (ف2) . هناك علاقة بين العمق الحقيقي (ف1) والظاهري (ف2) يمكن استنباطها من تعريف معامل الانكسار . فحسب تعريف معامل الانكسار نجد أن :

أما إذا كان النظر عموديا من أعلى فإن:

$$أد = أج = ف1 ، ب د = ب ج = ف2$$

وفي هذه الحالة يكون معامل الانكسار:

$$(22-2) \quad \frac{\text{العمق الحقيقي}}{\text{العمق الظاهري}} = \frac{ف1}{ف2} = م$$

أي أن معامل الانكسار يساوي العمق الحقيقي على العمق الظاهري .

مثال (2-11) : وضعت قطعة نقود في قاع حوض به ماء عمقه 16 سم فظهرت قطعة النقود على بعد 12 سم . جد معامل انكسار الماء .

الحل :

$$\frac{f_1}{f_2} = m$$

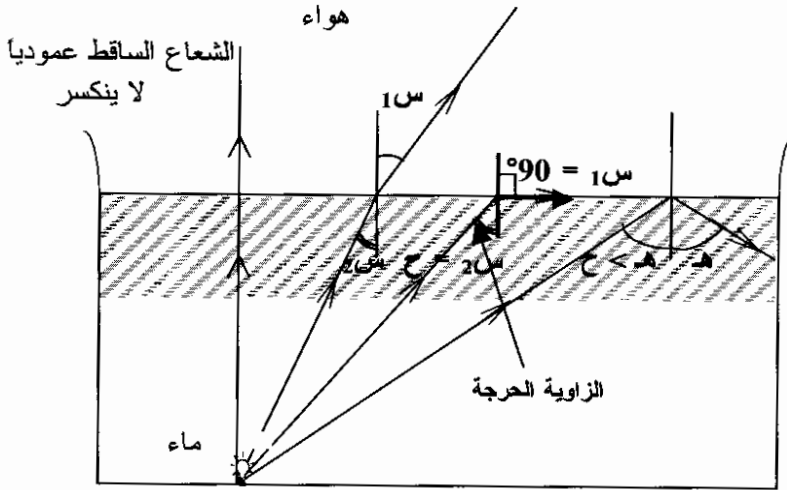
$$f_1 = \text{العمق الحقيقي} = 16 \text{ سم}$$

$$f_2 = \text{العمق الظاهري} = 12 \text{ سم}$$

$$\frac{4}{3} = \frac{16}{12} = \frac{f_1}{f_2} = m$$

(2-4-6) الزاوية الحرجة والانعكاس الكلي الداخلي :

إذا وضعنا مصباحاً في قاع حوض به ماء فإن الأشعة ستسقط بزوايا مختلفة وستخرج بزوايا مختلفة للهواء حيث يخرج الشعاع للهواء بزاوية أكبر من زاوية سقوطه . وكلما زادت زاوية السقوط زادت زاوية الانكسار ، إلى أن يسقط الشعاع بزاوية يكون الشعاع المنكسر فيها منطبقاً على سطح الماء ، وتكون زاوية الانكسار 90° (شكل (2-23)) . وتسمى هذه الزاوية بالزاوية الحرجة ونرمز لها بالرمز (ح) .



الشكل (2-23) : الزاوية الحرجة (س₂=ح) والانعكاس الكلي الداخلي .

ويمكن إيجاد علاقة بين الزاوية الحرجة (ح) ومعامل الانكسار (م) (انظر شكل (23-2)) . فحسب تعريف معامل الانكسار نجد أن :

$$م = \frac{\text{جاس}_1}{\text{جاس}_2}$$

$$\text{وبما أن } س_1 = 90^\circ \quad س_2 = ح$$

$$\therefore م = \frac{\text{جا } 90^\circ}{\text{جا ح}} = \frac{1}{\text{جا ح}}$$

(23-2)

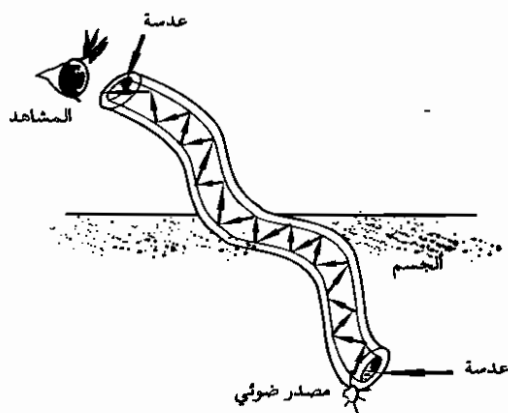
$$\therefore \text{جا ح} = \frac{1}{م}$$

وإذا سقط الشعاع في الماء بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة فإن الشعاع ينعكس بحيث تكون زاوية الانعكاس مساوية لزاوية السقوط وتسمى هذه الظاهرة بظاهرة الانعكاس الكلي الداخلي . (انظر شكل (23-2) ، الزاوية هـ < ح)

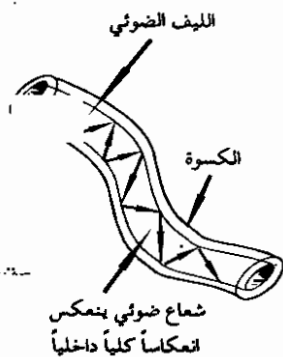
ويستفاد من ظاهرة الانعكاس الكلي في نقل المكالمات الهاتفية ، والتشخيص الطبي باستخدام الألياف الضوئية (شكل (24-2)) . والليف الضوئي عبارة عن أسطوانة مرنة رفيعة جداً تصنع من مادة زجاجية ويكون معامل الانكسار في قلب الاسطوانة أكبر من معامل الانكسار في الطبقة الخارجية للأسطوانة ، والمحيطه بقلب الأسطوانة والتي تسمى بالكسوة أو اللحاء ، لذا فإن شعاع الضوء الذي يسقط على قلب الأسطوانة ينعكس كلياً عند سقوطه بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة . وهكذا ينتقل الضوء عبر الليف البصري بالانعكاس الكلي عدة مرات .

وتستخدم الألياف الضوئية في المناظير الطبية حيث يسلط ضوء يسقط على العضو المراد رؤيته وينعكس ماراً عبر الألياف ليصل لعين الطبيب فيتمكن من رؤية العضو المعين . كما تستخدم الألياف في نقل المكالمات الهاتفية حيث تحول الإشارات الكهربائية إلى ضوء ويحمل الضوء هذه المكالمات من جهاز الإرسال الذي يسقط منه هذا الضوء على الألياف لينتقل

عبرها بالانعكاس المتعدد حتى يصل إلى جهاز الاستقبال الذي يستخلص المكالمة ويحولها إلى إشارات كهربائية وينقلها لهاتف الاستقبال .



(ب) منظر مبسط من الليف الضوئي ويمكن الرؤية بالرغم من الانحناءات بسبب الانعكاس الكلي الداخلي



(١) : الليف الضوئي

الشكل (24-2) الليف الضوئي

مثال (2-12) :

جد الزاوية الحرجة لوسط معامل انكساره $\sqrt{2}$. وبين ماذا يحدث لأشعة تسقط بزاوية 50° .

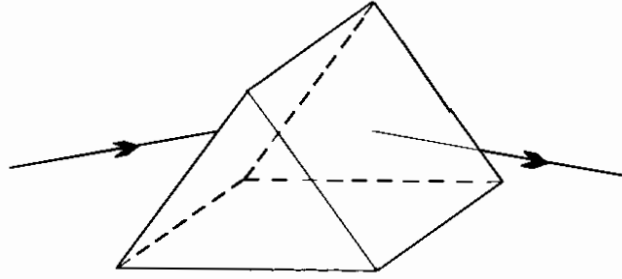
الحل :

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{m} = \text{جا ح} \\ \text{ح} = 45^\circ$$

عندما يسقط الشعاع بزاوية 50° فإنه ينعكس انعكاساً كلياً داخلياً.

(2-4-7) : المنشور :

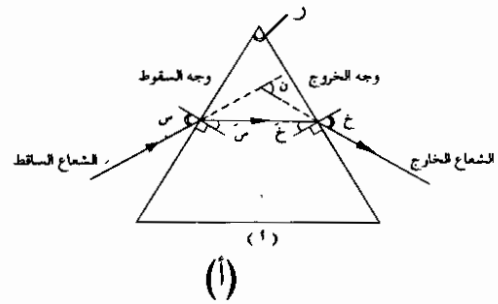
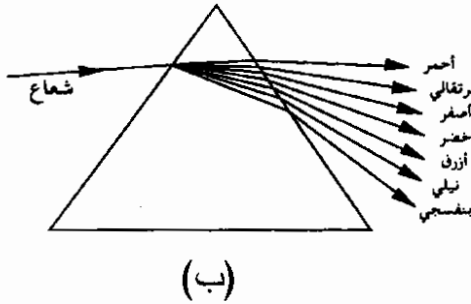
إذا تأملت الأفق في يوم ممطر فقد يكون حظك سعيداً فتلاحظ ظاهرة قوس قزح حيث ستلاحظ وجود ألوان الطيف السبعة الزاهية في شكل أقواس على صفحة السماء . ولعلك تساءلت ما الذي يجعل هذه الألوان الخلابة تظهر في السماء . والإجابة عن ذلك تكمن في ظاهرة الانكسار فيما يسمى بالمنشور . فما هو هذا المنشور ؟ وما علاقته بالألوان الطيف ؟



الشكل (25-2) : المنشور .

فالمنشور عبارة عن جسم زجاجي وجهه الأمامي والخلفي في شكل مثلث بينما قاعدته ووجهاه الجانبيان في شكل مستطيلات (شكل (25-2)) .
ويستخدم المنشور في فرز ألوان الطيف السبعة المكونة للون الأبيض (شكل (26-2) ب) .

فإذا سقط شعاع على منشور بزاوية سقوط مقدارها (س) وانكسر هذا الشعاع داخل المنشور ، ثم خرج بزاوية خروج قدرها (خ) فإن الزاوية المحصورة بين الشعاع الساقط أو امتداده ، والشعاع الخارج أو امتداده ، تسمى بزاوية الانحراف ونرمز لها بالرمز (ن) . بينما تسمى الزاوية التي تتحصر بين وجه السقوط ووجه الخروج بزاوية رأس المنشور ونرمز لها بالرمز (ر) .



الشكل (26-2) : زوايا المنشور (أ) وألوان الطيف (ب) .

ويستخدم المنشور في فصل ألوان الطيف التي يتكون منها الضوء الأبيض. فإذا سلطنا شعاعاً ضوئياً أبيض على منشور زجاجي ثم وضعنا حاجزاً ليستقبل الشعاع الخارج فسنلاحظ أن المنشور سيخرج كل لون من

ألوان الطيف في مسار منفصل وبزاوية خروج وانحراف مختلفة حيث يكون اللون الأحمر في أعلى الحاجز يليه اللون البرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي .

ويخرج كل لون في مسار مختلف لأن معامل انكسار الزجاج يختلف باختلاف هذه الألوان .

تمرين (2-4)

- (1) أذكر شرط حدوث الإنعكاس الكلي الداخلي.
- (2) لماذا يحدث إنكسار الضوء عند إنتقاله من وسط لآخر.
- (3) كيف ينتقل الضوء في الليف البصري المنحني رغم أنه يسير في خطوط مستقيمة؟
- (4) كم سرعة الضوء في الماس إذا كان معامل إنكساره 2.42 ؟
- (5) سقط شعاع من وسط بزواوية 45° وانكسر بزواوية 60° في الهواء . جد معامل انكسار هذا الوسط .
- (6) جد الزاوية الحرجة لوسط معامل انكساره $3\sqrt{3}$
- (7) وضعت قطعة نقود في قاع حوض به سائل شفاف عمقه 20 سم فإذا كان معامل انكسار السائل $\frac{3}{2}$ جد البعد الذي تظهر فيه قطعة النقود .
- (8) سقط شعاع في الماء بزوايا مقدارها أ) 30° ب) 70° على سطح فاصل بين الماء والزجاج. أحسب زاوية الإنكسار في الزجاج في كل حالة.

(معامل إنكسار الزجاج 3\2 ومعامل إنكسار الماء 3\4)

[أ) 26.3° ، ب) 56.4°]

- (9) إذا كان معامل إنكسار الزجاج 3\2 ومعامل إنكسار الماء 3\4 فأحسب الزاوية الحرجة أ) للزجاج ، ب) للماء ، ج) بين الماء والزجاج.

[أ) 32° ، ب) 43° ، ج) 81°]

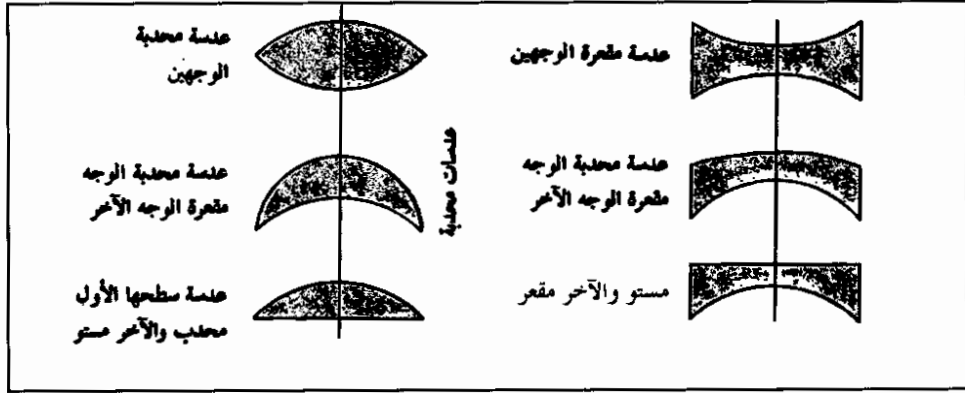
- (10) إذا كانت سرعة الضوء في سائل 2×10^8 م\ث. أحسب معامل إنكسار السائل. (سرعة الضوء في الفراغ 3×10^8 م\ث)

[م = 2\3]

(2-5) الفصل الخامس

العدسات

العدسات هي أجسام تصنع من مواد شفافة منفذة للضوء ومن أشهرها العدسة المحدبة والعدسة المقعرة (شكل (2-27)). وتستخدم العدسات في النظارات الطبية وآلات التصوير والمجاهر (الميكروسكوبات) والمناظير المكبرة.

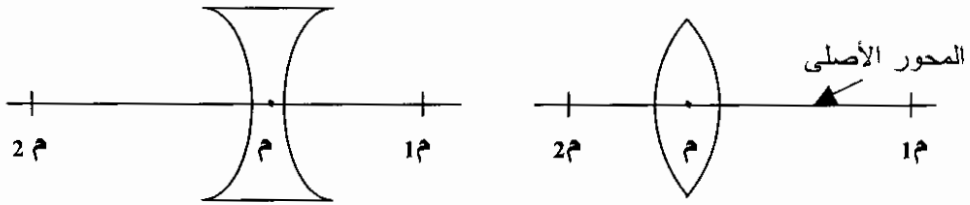


الشكل (2-27) : عدسات محدبة ومقعرة .

ولكي نتعرف الكيفية التي بها تكون العدسات الصور لا بد لنا من تحديد وتعريف بعض النقاط والخطوط التي تحدد الطريقة التي ينكسر بها الشعاع عبر العدسة .

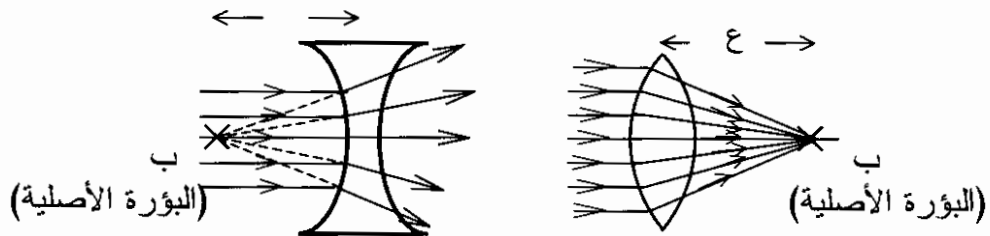
(2-5-1) مصطلحات العدسات :

- (1) المركز البصري للعدسة (م) : هي نقطة تقع في منتصف العدسة تماماً .
- (2) مركز تكور العدسة (م₁ ، م₂) : لكل سطح من سطحي العدسة مركز تكور وهو مركزي الكرة التي يكون سطح العدسة جزءاً منها .
- (3) المحور الأصلي للعدسة : هو المستقيم المار بالمركز البصري (م) للعدسة ومركزي التكور (م₁ ، م₂) (شكل (2-28)) .



الشكل (28-2): المحور الأصلي و المركز البصري (م) ومراكز تكوير العدسة.

4) بؤرة العدسة (ب) (شكل (29-2)) :
هي النقطة التي تتجمع عندها الأشعة الخارجة من العدسة أو امتداداتها والتي تسقط موازية للمحور الأصلي . ع



عدسة مقعرة الوجهين

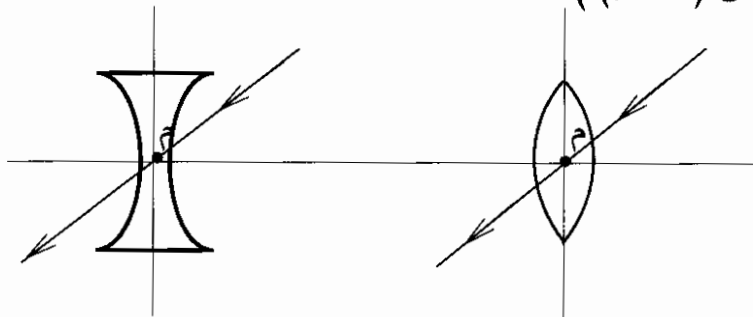
عدسة محدبة الوجهين

الشكل (29-2) : البؤرة .

ويسمى بعد البؤرة عن العدسة بالبعد البؤري ويرمز له بالرمز ع .

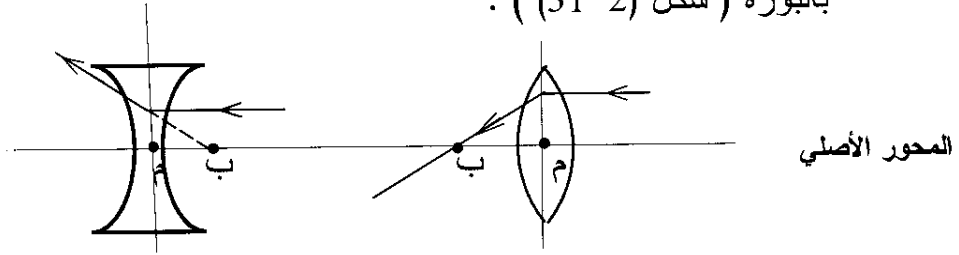
بعض خواص الأشعة الساقطة على العدسة :

1) إذا سقطت أشعة مارة بـ المركز البصري للعدسة فإنها تنفذ دون أن تنكسر (شكل (30-2)) .

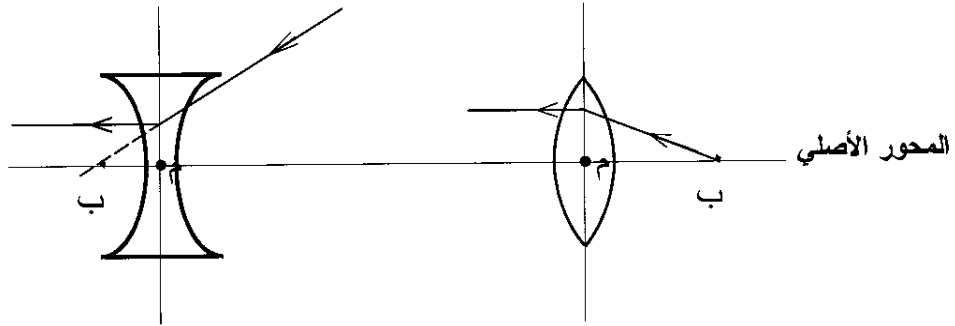


الشكل (30-2) : مسار الشعاع المار بالمركز البصري .

(2) إذا سقطت أشعة موازية للمحور الأصلي فإنها تنفذ مارة هي أو امتداداتها بالبويرة (شكل (2-31)) .



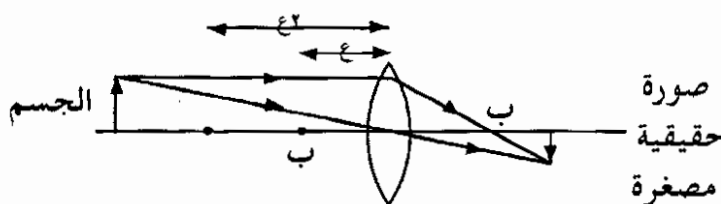
الشكل (2-31) : مسار الشعاع الموازي للمحور الأصلي .
 (3) إذا سقطت أشعة بحيث تمر هي أو امتداداتها بالبويرة فإنها تنفذ موازية للمحور الأصلي (شكل (2-32)) .



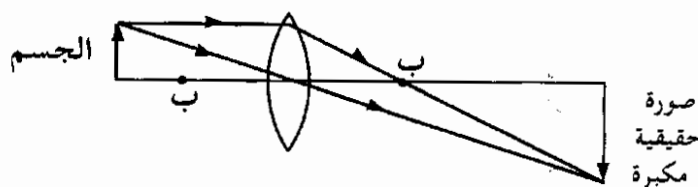
الشكل (2-32) : مسار الشعاع المار بالبويرة .

(2-5-2) تكون صورة لجسم بواسطة عدسة : (شكل (2-33))

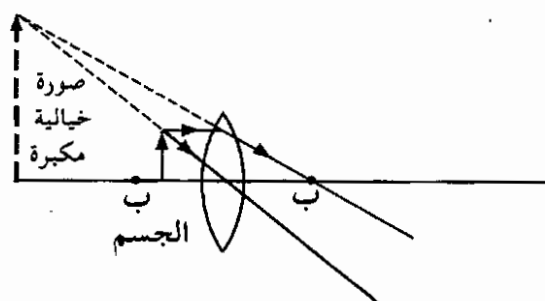
إذا وضعنا جسماً أمام عدسة محدبة فإن الصورة المتكونة يمكن معرفتها بمتابعة مسار شعاعين يخرجان من أعلى الجسم. الشعاع الأول يمر بالمركز البصري وهذا ينفذ دون أن ينكسر والآخر يوازي المحور الأصلي وهذا ينكسر ماراً بالبويرة فيكون أعلى الصورة عند نقطة تلاقي الشعاعين.



(١) الجسم على مسافة أكبر من ضعف البعد البؤري



(٢) الجسم على مسافة أكبر من البعد البؤري



(٣) الجسم على مسافة أصغر من البعد البؤري

الشكل (2-33): الصور المتكونة لجسم على ابعاد مختلفة من عدسة محدبة (لامعة)

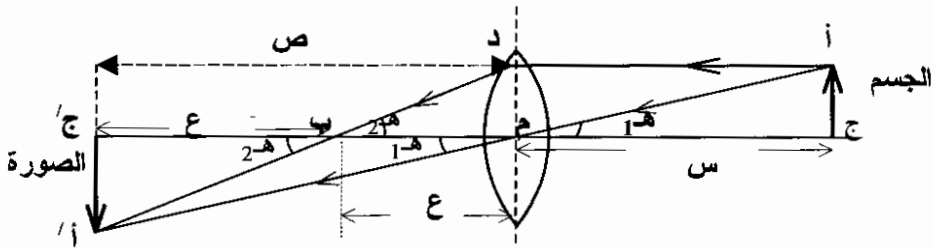
بإنزال خط عمودي من رأس الصورة إلى المحور الأصلي نحصل على الصورة المتكونة . شكل (2-33) يوضح أماكن تكون الصور لثلاثة أجسام على ابعاد مختلفة من العدسة ونلاحظ أن الصورة تكون مقلوبة وتكبر كلما قربنا من العدسة و تتحول إلى صورة معتدلة ولكن خيالية أي لا يمكن إستقبالها على حاجز لأنها في نفس الجانب الموجود فيه الجسم وذلك عندما يكون الجسم بين البؤرة والعدسة.

الأشكال الثلاثة توضح أن هناك علاقة بين بعد الجسم عن العدسة وبين الصورة وبعدها من العدسة وسنستخدم شكل (2-34) لإستنتاج هذه العلاقة.

(2-5-3) قانون العدسات :

في الشكل (2-34) الجسم (أ ج) موضوع أمام عدسة محدبة على بعد من العدسة أكبر من البعد البؤري فتتكون صورة الجسم (أ' ج') على الجانب الآخر من العدسة. وكما ذكرنا سابقا أن هناك ثلاث مسافات من العدسة تحدد خواص الصورة المتكونة، وهي:

- (أ) بعد البؤرة من العدسة ويسمى البعد البؤري ونرمز له بالرمز ع ؛
- (ب) بعد الجسم عن العدسة ونرمز له بالرمز س ؛
- (جـ) بعد الصورة عن العدسة ونرمز له بالرمز ص .



الشكل (2-34) : بعد الجسم وبعد الصورة والبعد البؤري .

العلاقة بين ع ، س ، ص يمكن إيجادها من المثلثات في شكل (2-34) . فعند النظر إلى المثلث أ' ج' م (المثلث الذي به الصورة) والمثلث أ ج م (المثلث الذي به الجسم) نجد أن :

بالتقابل بالرأس

$$\angle \text{أ' ج' م} = \angle \text{أ ج م} \quad \angle \text{أ' ج' م} = \angle \text{أ ج م}$$

$$\therefore \text{ظا هـ} = \frac{\text{أ' ج' م}}{\text{أ ج م}} = \frac{\text{أ ج م}}{\text{أ ج م}}$$

$$\frac{\text{أ ج}}{\text{س}} = \frac{\text{أ' ج' م}}{\text{ص}}$$

$$(1) \quad \frac{\text{ص}}{\text{س}} = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}} = \frac{\text{أ' ج' م}}{\text{أ ج م}}$$

وبالنظر للمثلث أ' ج' ب والمثلث د م ب نجد أن :

$$\frac{أ' ج'}{ج' ب} = \frac{د م}{م ب} = \frac{أ ج}{ج ب} = \frac{د م}{م ب} \quad \therefore \text{ظا هـ}_2$$

$$\frac{د م}{ع} = \frac{أ ج'}{ع - ص}$$

$$\frac{ص - ع}{ع} = \frac{أ ج'}{د م} \quad \therefore$$

وبما أن أ ج م د مستطيل وبما أن الضلعين (أ ج) و (د م) متوازيان . فإن:

$$(2) \quad 1 - \frac{ص}{ع} = \frac{ع}{ع} - \frac{ص}{ع} = \frac{ع - ص}{ع} = \frac{أ ج'}{أ ج} = \frac{أ ج'}{د م}$$

من (1) و (2) نجد :

$$\frac{ص}{ص} - \frac{ص}{ع} = 1 - \frac{ص}{ع} = \frac{ص}{س}$$

وبجعل ص عامل مشترك في الطرفين نجد أن :

$$\left(\frac{1}{ص} - \frac{1}{ع} \right) ص = \left(\frac{1}{س} \right) ص$$

$$\frac{1}{ص} - \frac{1}{ع} = \frac{1}{س}$$

(24-2)

قانون العدسات

$$\frac{1}{ص} + \frac{1}{س} = \frac{1}{ع}$$

وهذا القانون يسمى قانون العدسات وينطبق على العدسة المحدبة والتي بعدها البؤري ع موجب الإشارة وعلى العدسة المقعرة حيث البعد البؤري ع سالب .

ويمكن إيجاد التكبير (ت) من العلاقة (1) حيث أن :

$$\frac{\text{بعد الصورة}}{\text{بعد الجسم}} = \frac{\text{ص}}{\text{س}} = \frac{\frac{\text{أ}}{\text{ج}}}{\frac{\text{أ}}{\text{ج}}} = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}} = \text{التكبير (ت)}$$

(25-2)

$$\frac{\text{ص}}{\text{س}} = \text{ت}$$

(2-5-4) خواص الصور التي تتكون بواسطة العدسة :

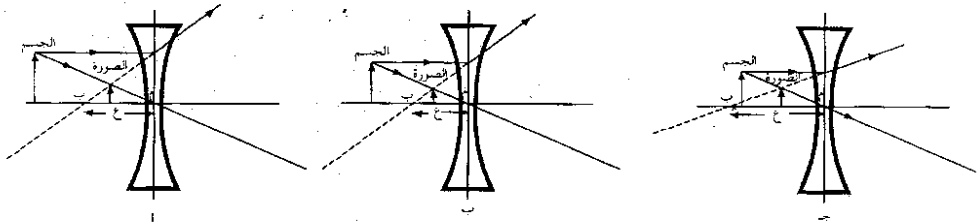
(أ) العدسة المحدبة [الشكل (2-33)] :

1/ الجسم على بعد أكبر من ضعف البعد البؤري . أي أن الجسم على بعد أكبر من (2 ع) وتكون الصورة حقيقية مقلوبة مصغرة .

2/ الجسم على مسافة أكبر من البعد البؤري وأقل من ضعف البعد البؤري أي أن الجسم على بعد أكبر من ع وأقل من 2 ع وتكون الصورة حقيقية مقلوبة مكبرة .

3/ الجسم بين البؤرة والعدسة. في هذه الحالة تكون الصورة خيالية معتدلة مكبرة.

(ب) العدسة المقعرة [شكل (2-35)]:



الشكل (2-35): تكون الصور بواسطة عدسة مقعرة

في الشكل من اليسار (أ) الجسم على بعد أكبر من 2 ع ؛ (ب) الجسم بين ع و 2 ع؛ (ج) الجسم على بعد أصغر من ع. ونلاحظ في الحالات الثلاث أن الصورة معتدلة ومصغرة وتقع بين البؤرة والمركز البصري للعدسة وخيالية (تقديرية) لأنها في نفس الجانب الموجود فيه الجسم أي أن ص = - (سالبة) بينما س = + علما بأن البعد البؤري ع في كل الأحوال سالب.

أمثلة في العدسات

مثال (2-13) :

وضع جسم على بعد 6 سم من عدسة محدبة بعدها البؤري 5 سم .
جد بعد الصورة وتكبيرها وصفاتها ، ثم أرسم الشكل .
الحل :

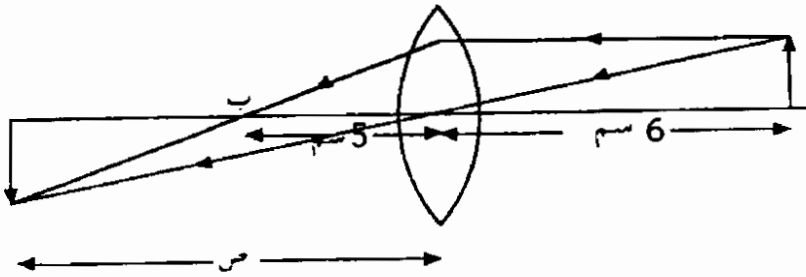
$$ع = 5 ، س = 6$$

$$\frac{1}{ص} + \frac{1}{س} = \frac{1}{ع}$$

$$\frac{س - ع}{ع \times س} = \frac{1}{س} - \frac{1}{ع} = \frac{1}{ص}$$

$$ص = \frac{س \times ع}{س - ع} = \frac{5 \times 6}{5 - 6} = 30 \text{ سم}$$

$$\text{التكبير (ت)} = \frac{ص}{س} = \frac{30}{5} = 6$$



من الرسم صفات الصورة حقيقية ، مقلوبة ، مكبرة .
(بعد الجسم أقل من ضعف البعد البؤري وأكبر من البعد البؤري) .

مثال (2-14) :

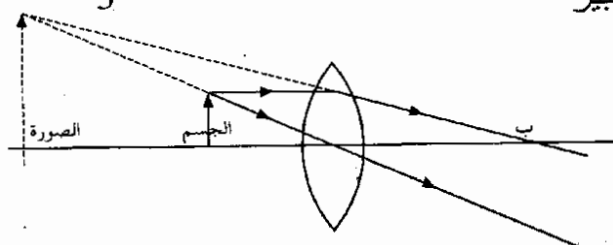
سقطت أشعة من جسم على عدسة محدبة بعدها البؤري 3 سم مكونة صورة خيالية على بعد 6 سم من العدسة. جد بعد الجسم وصف الصورة المتكونة ، ثم (ارسم الشكل) .

الحل :

ع = 3 سم ، ص = -6 سم (الصورة خيالية- تكونت من إمتدادات الأشعة)

$$س = \frac{ص \times ع}{ص - ع} = \frac{3 \times -6}{-6 - 3} = \frac{18}{-9} = -2 \text{ سم}$$

$$ت = \frac{ص}{ع} = \frac{-6}{3} = -2 = \text{التكبير}$$



صفات الصورة : من قيم وإشارات ص و ت نجد أن :

$$\begin{array}{lcl} \text{الصورة خيالية} & \text{ص} = - & \text{(سالب)} \\ \text{الصورة مكبرة} & |ت| = 3 & > 1 \end{array}$$

ت = - = الصورة معتدلة

مثال (2-15) :

وضع جسم على بعد 20 سم من عدسة مقعرة بعدها البؤري 5 سم .
صف الصورة المتكونة .

الحل :

العدسة مقعرة ولذلك البعد البؤري سالب: ع = -5 سم ، س = 20 سم

$$ص = \frac{س \times ع}{س - ع} = \frac{20 \times -5}{-5 - 20} = \frac{100}{-25} = -4 \text{ سم (الصورة خيالية)}$$

$$ت = \frac{ص}{س} = \frac{-4}{20} = -\frac{1}{5} = \text{الصورة معتدلة (الصورة معتدلة)}$$

صفات الصورة :

$$\begin{array}{lcl} \text{الصورة خيالية} & \text{ص} = - & \\ \text{الصورة مصغرة} & |ت| = \frac{1}{5} & < 1 \end{array}$$

ت = - = الصورة معتدلة

تمارين (5-2)

- (1) وضع جسم على بعد 12 سم من عدسة محدبة بعدها البؤري 4 سم .
صف الصورة المتكونة ثم أرسم الشكل.
(ص = 6 سم ، ت = $\frac{1}{2}$ ، الصورة حقيقية ، مقلوبة ، مصغرة)
- (2) وضع جسم على بعد 10 سم من عدسة محدبة بعدها البؤري 8 سم . جد
بعد الصورة وتكبيرها . [ص = 40 ، ت = 4]
- (3) وضع جسم على بعد 2 سم من عدسة محدبة بعدها 3 سم . صف
الصورة المتكونة .
(ص = -6 ، ت = -3 ، الصورة خيالية مكبرة معتدلة)
- (4) سقطت أشعة من جسم على بعد 2 سم من عدسة مقعرة بعدها البؤري 3 سم.
جد التكبير ومن ثم صف الصورة المتكونة ثم أرسم الشكل.
(ت = $-\frac{3}{5}$ ، خيالية ، مصغرة ، معتدلة)
- (5) وضع جسم على بعد 5 سم من عدسة فتكونت له صورة حقيقية مكبرة 4
مرات فما نوع العدسة وما بعدها البؤري . [العدسة محدبة ، ع = 4 سم]
- (6) وضع جسم على بعد 6 سم من عدسة مقعرة بعدها البؤري 3 سم . صف
الصورة المتكونة ثم أرسم الشكل.
(ص = -2 ، ت = $-\frac{1}{3}$ ، صورة خيالية ، معتدلة مصغرة)
- (7) سقطت أشعة من جسم على بعد 12 سم من عدسة محدبة بعدها البؤري
6 سم . جد التكبير ومن ثم صف الصورة المتكونة .
(ت = 1 ، حقيقية ، مقلوبة ، مساوية للجسم)

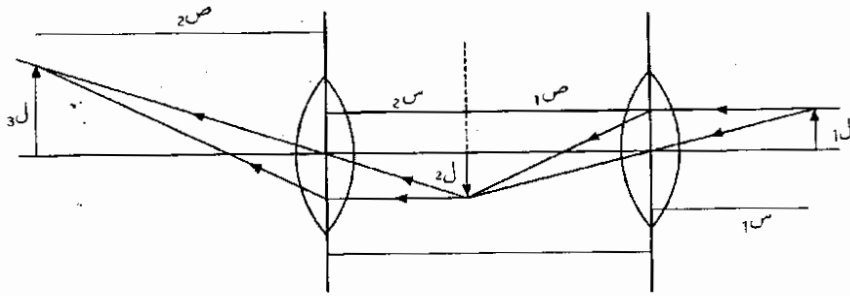
(6-2) الفصل السادس

المجموعات البصرية

(1-6-2) المجموعات البصرية المكونة من عدستين :

إذا وضعنا عدة عدسات بحيث تشترك جميعها في المحور الأصلي فإن مجموعة العدسات تسمى بالمجموعة البصرية . وأبسط مجموعة بصرية تتكون من عدستين . فإذا وضعنا عدستين بعدهما البؤري (ع₁) و (ع₂) على بعد (ل) من بعضهما . ووضعنا جسم (ل₁) على بعد (س₁) من (العدسة الأولى) فإن صورة ستتكون للجسم على بعد (ص₁) من (العدسة الأولى) ، انظر شكل (2-36) حيث نجد من قانون العدسات أن :

$$\frac{1}{ص_1} = \frac{1}{س_1} - \frac{1}{ع_1}$$



البعد البؤري = ع₁ ل البعد البؤري = ع₂

الشكل (2-36) : المجموعة البصرية .

وستصبح الصورة ل₂ جسماً للعدسة الثانية على بعد س₂ حيث أن :

$$س_2 = ل - ص_1$$

وستتكون صورة نهائية (ل₃) بواسطة العدسة الثانية على بعد ص₂ منها حيث نجد من قانون العدسات :

$$\frac{1}{ص_2} = \frac{1}{س_2} - \frac{1}{ع_2}$$

أما تكبير كل من العدستين الأولى والثانية فيساوي :

$$ت_1 = \frac{ص_1}{ل_1} = \frac{ل_2}{ل_1} ، \quad ت_2 = \frac{ص_2}{ل_2} = \frac{ل_3}{ل_2}$$

أما التكبير الكلي ت فيساوي :

$$T = \frac{\text{طول الصورة النهائية}}{\text{طول الجسم الأصلي}} = \frac{L_3}{L_1}$$

$$(26-2) \quad \therefore T = \frac{L_3}{L_1} = \frac{L_2}{L_1} \times T_2 \times T_1 = \frac{V_2}{S_1} \times \frac{V_1}{S_2} = \frac{V_1}{S_1}$$

إذا: تكبير المجموعة البصرية المكونة من عدستين يساوي :

$$(27-2) \quad T = \text{تكبير العدسة الأولى} \times \text{تكبير العدسة الثانية}$$

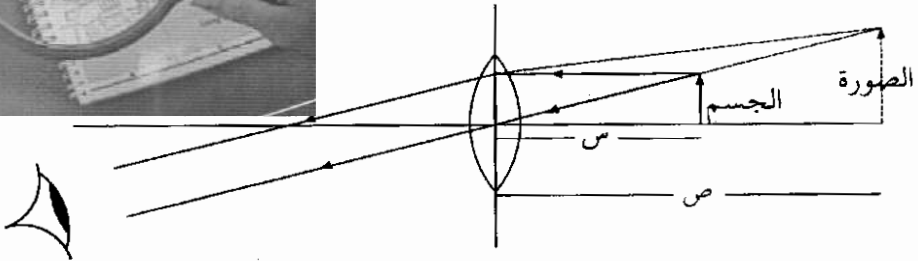
$$T_1 \times T_2 =$$

(2-6-2) الأجهزة البصرية :

(أ) المجهر البسيط (شكل (2-37)) :

يتكون المجهر البسيط من عدسة واحدة مكبرة وتستخدم في تكبير أي

شئ يحتاج لتكبير بسيط .



الشكل (2-37) : المجهر البسيط . عين المشاهد

تتميز الصورة المتكونة بالمجهر البسيط بعدة مميزات هي :

1) تكون الصورة مكبرة $|T| > 1$ حيث يعطى التكبير من الصيغة الرياضية : $T = \frac{V}{S}$

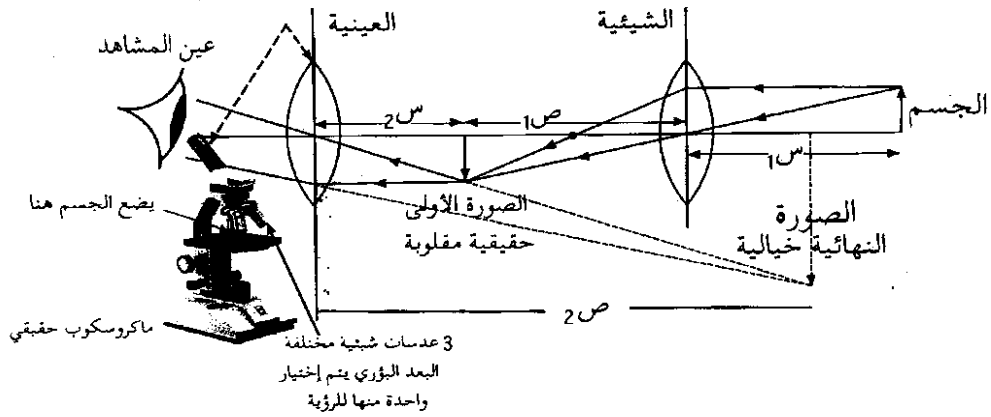
(2) تكون الصورة خيالية دائماً أي أن : $v = -$

(لأنها في نفس الجانب الموجود به الجسم [أنظر الى الصورة المجاورة للرسم])

ب) المجهر (الميكروسكوب) المركب (شكل (2-38)) :

هو جهاز يستخدم لرؤية الأجسام القريبة الدقيقة وهو يستخدم في الفحص الطبي لرؤية الطفيليات والأنسجة وغيرها.

ويتكون من عدستين محدبتين تسمى القريبة من العين بالعينية وتسمى القريبة من الشيء المراد فحصه بالشيئية .



الشكل (2-38) : المجهر (الميكروسكوب) المركب .

ويتميز المجهر بعدة خواص هي :

(1) تكون الصورة النهائية خيالية دائماً .

$$v_2 = -$$

(2) تكبير المجهر يساوي : $T = T_1 \times T_2 = \text{تكبير الشيئية} \times \text{تكبير العينية}$

$$T = \frac{v_1}{s_1} \times \frac{v_2}{s_2}$$

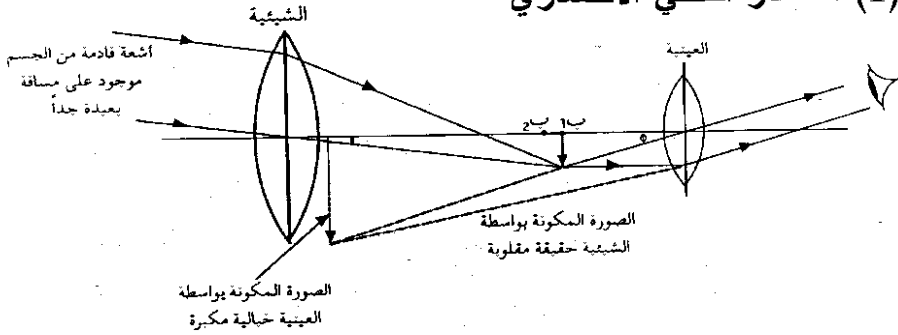
لاحظ أن تكبير المجهر هو نفس تكبير المجموعة البصرية المكونة من عدستين

(3) ويمكن إيجاد طول أنبوب المجهر (ل) [أنظر الرسم] من العلاقة :

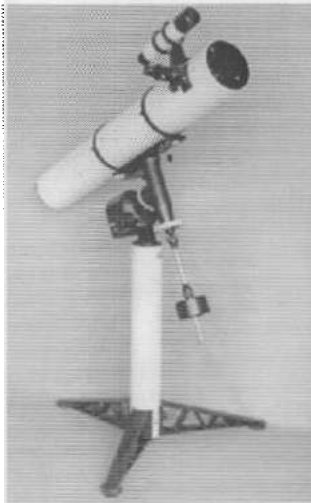
(28-2)

$$L = v_1 + s_2$$

(ج) أنواع أخرى من المناظير : (1) المنظار الفلكي الانعكاسي



شكل (2-40) : المنظار الفلكي

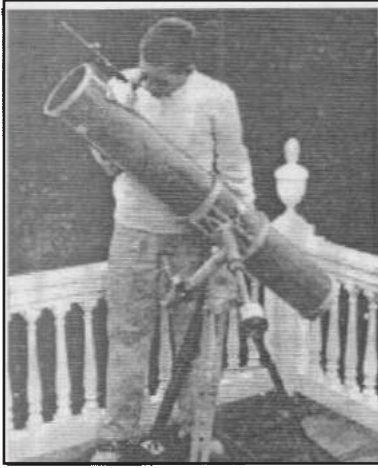


منظار فلكي مركب عليه منظار
فلكي آخر صغير يستعمل للتوجيه
للمنطقة المراد رؤيتها مكبرة

هذا المنظار يستخدم في رصد الأجرام السماوية والنجوم والمجرات وكل الأجسام البعيدة جداً. ويتكون في أبسط صورته مثل المجهر المركب من عدسة شبيبية توجه نحو الجسم المراد رويته ويكون بعدها البؤري كبير نسبياً، بينما ينظر المراقب خلال العدسة العينية التي بعدها البؤري صغير نسبياً. شكل (2-39). نسبة لأن الجسم بعيد جداً تكون الصورة المكونة له مقلوبة وفي بؤرة الشبيبية تقريباً. هذه الصورة تعتبر جسماً بالنسبة للعينية. وللحصول على صورة مكبرة تحرك العينية حتى تصبح الصورة من الشبيبية داخل البعد البؤري للعينية فنحصل على صورة خيالية مكبرة ولكنها أيضاً مقلوبة مقارنة مع الجسم نفسه. وهذا المنظار يسمى إنكساري لأنه مركب من عدسات

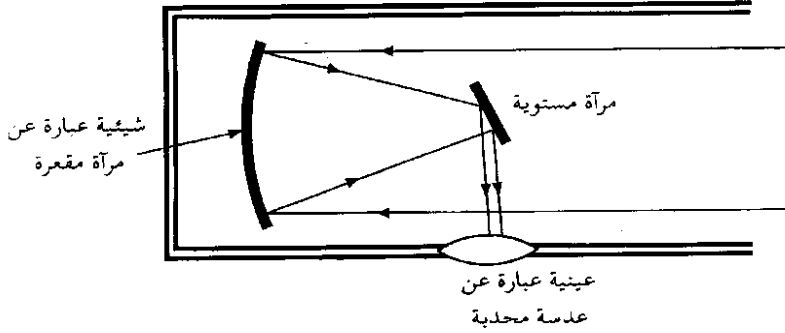
والعدسات تعمل بإنكسار الضوء وذلك للتمييز بينه وبين منظار نيوتن الإنعكاسي (شكل (2-40)) والذي يعمل بإنعكاس الضوء من مرآة مقعرة .

$$\text{تكبير المنظار الفلكي} = \frac{\text{بعد الصورة الأولى من الشبيبية}}{\text{بعد نفس الصورة من العينية}}$$



(2) منظار نيوتن الفلكي :

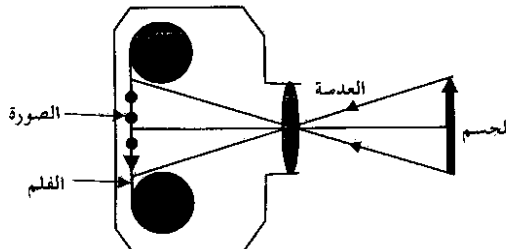
وهذا المنظار أيضا يستخدم لرصد الأجرام السماوية مثل الأقمار ، والنجوم والمذنبات ، ويتكون من مرآة مقعرة تسقط عليها الأشعة القادمة من هذه الأجرام لتتكون لها صورة على بؤرة هذه المرآة [شكل (2-40)]. ولرؤية هذه الصورة وتكبيرها توضع مرآة مستوية عاكسة تعترض الأشعة قبل أن تكون صورة وتنعكس هذه الأشعة لتمر عبر العينية التي تكبر هذه الصورة لتراها العين بوضوح . ولذلك يسمى بالمنظار الإنعكاسي



شكل (2-40): منظار نيوتن الفلكي

(د) آلة التصوير (الكاميرا) (شكل (2-41)) :

تتكون آلة التصوير من صندوق مغلق جدرانه الداخلية سوداء وفي مقدمته عدسة محدبة وفي مؤخرته شريحة حساسة للضوء (فيلم) .



شكل (2-41) : آلة التصوير (الكاميرا) .

وتتصل العدسة بأسطوانة تعمل على تغيير المسافة بين العدسة والشريحة الحساسة (الفيلم). ولتصوير منظر معين تصوب الكاميرا نحو المنظر ثم تحرك العدسة حتى تقع الصورة على الشريحة الحساسة والتي تحوي بعض مركبات الفضة التي تتأثر وتتفاعل مع الضوء كيميائياً . ويتم إظهار الشريحة بمواد كيميائية معينة ثم تطبع منها الصورة بعد ذلك.

أمثلة محلولة

مثال (2-16) :

استخدم مجهر بسيط لرؤية جسم على بعد 4 سم منه فتكونت له صورة على بعد 20 سم . جد البعد البؤري للمجهر .
الحل :

$$\text{ص} = 20 - \text{سم} \quad \text{س} = 4 \text{ سم} \quad \frac{1}{\text{ع}} = \frac{1}{\text{س}} + \frac{1}{\text{ص}}$$

$$\frac{20 - \times 4}{20 - 4} = \frac{\text{س ص}}{\text{س} + \text{ص}} = \text{ع}$$

$$\text{ع} = \frac{80 -}{16 -} = 5 \text{ سم}$$

مثال (2-17) :

مجهر مركب البعد البؤري لشيئته 3 سم ولعينيته 5 سم . وضع جسم على بعد 4 سم فوقعت صورته النهائية على بعد 20 سم . جد تكبير المجهر وطول أنبوبة المجهر .
الحل :

بالنسبة للشيئية : $\text{س}_1 = 4$ ، $\text{ع}_1 = 3$

$$\text{بالنسبة للشيئية : ص}_1 = \frac{\text{س}_1 \text{ع}_1}{\text{ع}_1 - \text{س}_1} = \frac{3 \times 4}{3 - 4} = 12 \text{ سم}$$

بالنسبة للعينية : $\text{ع}_2 = 5 \text{ سم}$ ، $\text{ص}_2 = 20 - \text{سم}$

$$\text{س}_2 = \frac{\text{ص}_2 \text{ع}_2}{\text{ص}_2 - \text{ع}_2} = \frac{2 \times 20 -}{25 -} = 4 \text{ سم}$$

$$\begin{aligned} \text{طول أنبوبة المجهر} = \text{ل} = \text{ص}_1 + \text{س}_2 = 12 + 4 = 16 \\ \text{تكبير المجهر} = (\text{ت}) = \frac{\text{ص}_1}{\text{س}_1} \times \frac{\text{ص}_2}{\text{س}_2} = \frac{20}{4} \times \frac{12}{4} = 15 \\ 15 = 5 \times 3 = \end{aligned}$$

تمرين (2-6)

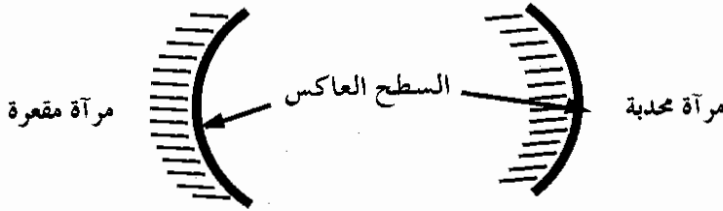
- (1) مجهر بسيط البعد البؤري لعدسته 7 سم . فأين نضع جسمًا حتى تتكون له صورة على بعد 42 سم ؟
[س = 6 سم]
- (2) مجهر مركب البعد البؤري لشيئته 2 سم وطول أنبوته 11 سم . وضع جسم على بعد 3 سم منه فتكونت صورته على بعد 30 سم . جد البعد البؤري للعينية وتكبير المجهر . [ع = 6 سم ، ت = 12]
- (3) وضع جسم على بعد 2 سم من شيءية مجهر مركب البعد البؤري لشيئته 3 سم ولعينته 5 سم فتكونت له صورة على بعد 20 سم . جد التكبير وطول القصبة . [د = 10 سم ، ت = 15]
- (4) منظار البعد البؤري لشيئته 40 سم وطول قصبته 45 سم . استخدم لرصد جسم بعيد فوقعت الصورة على بعد 30 سم . جد البعد البؤري للعينية وتكبير المنظار . [ع = 6 سم ، ت = 8]
- (5) منظار البعد البؤري لعينته 6 سم ولشيئته 100 سم ، استخدم لرصد جسم بعيد فتكونت صورته على بعد 30 سم . جد التكبير وطول المنظار . [د = 105 ، ت = 20]

(2-7) الفصل السابع

المرايا الكرية

(2-7-1) أنواع المرايا الكرية :

هناك نوعان من أنواع المرايا الكرية (شكل (2-42)) وهما : المرآة المقعرة وهي جزء من سطح كرة زجاجية مجوفة طلي سطحها الخارجي بالفضة فأصبح السطح الداخلي المقعر عاكساً للضوء .



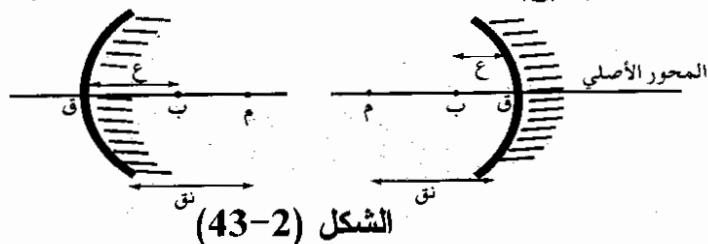
الشكل (2-42) : مرآة محدبة ومرآة مقعرة .

والمرآة المحدبة وهي جزء من سطح كرة زجاجية مجوفة طلي سطحها الداخلي بالفضة فأصبح سطحها الخارجي عاكساً للضوء . وتستخدم المرآة المقعرة في تركيز الأشعة في مصابيح السيارات والكشافات ، بينما تستخدم المرآة المحدبة في تمكين سائق السيارة من رؤية السيارات التي خلفه. ولمعرفة كيفية تكوين الصور بواسطة المرايا الكرية لا بد لنا من تعريف بعض النقاط والمحاور الهامة التي تتمتع الأشعة عندها بخواص معينة.

(2-7-2) مصطلحات المرايا الكرية (شكل (2-43)) :

- (1) قطب المرآة (ق) : هي نقطة تقع في منتصف المرآة تماماً .
- (2) مركز تكور المرآة (م) : هو مركز الكرة التي صنعت منها المرآة .
- (3) نصف قطر المرآة (نق) : هو المسافة بين قطب المرآة ومركز تكور المرآة
- (4) المحور الأصلي للمرآة: هو المستقيم المار بقطب المرايا ومركز التكور.

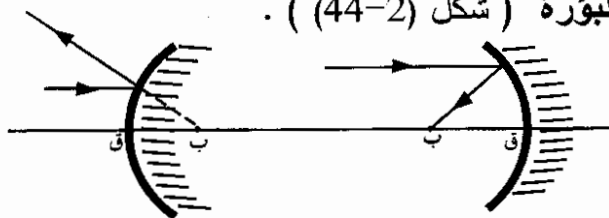
- (5) البؤرة (ب) : هي النقطة التي تتجمع عندها الأشعة المنعكسة من المرآة أو امتداداتها والتي سقطت موازية للمحور الأصلي وقريبة منه .
- (6) البعد البؤري (ع) : هو المسافة بين قطب المرآة والبؤرة .



الشكل (2-43)

لاحظ أن البعد البؤري ع للمرآة المقعرة يقع أمام السطح العاكس ولذلك ع = + (موجبة) بينما ع للمرآة المحدبة يقع خلف السطح العاكس ولذلك ع سالبة خواص بعض الأشعة الساقطة على المرايا الكرية :

- (1) إذا سقط شعاع موازياً للمحور الأصلي وقريباً منه فإنه ينعكس ماراً هو أو امتداده بالبؤرة (شكل (2-44)) .



الشكل (2-44): بؤرة المرآة - حقيقية للمرآة المقعرة وخيالية للمرآة المحدبة.

- (2) إذا سقط شعاع ماراً هو أو امتداده بالبؤرة فإنه ينعكس موازياً للمحور الأصلي.

(2-7-3) قانون المرايا الكرية :

هو نفس قانون العدسات حيث نجد أن :

(2-30)

$$\frac{1}{ص} + \frac{1}{س} = \frac{1}{ع}$$

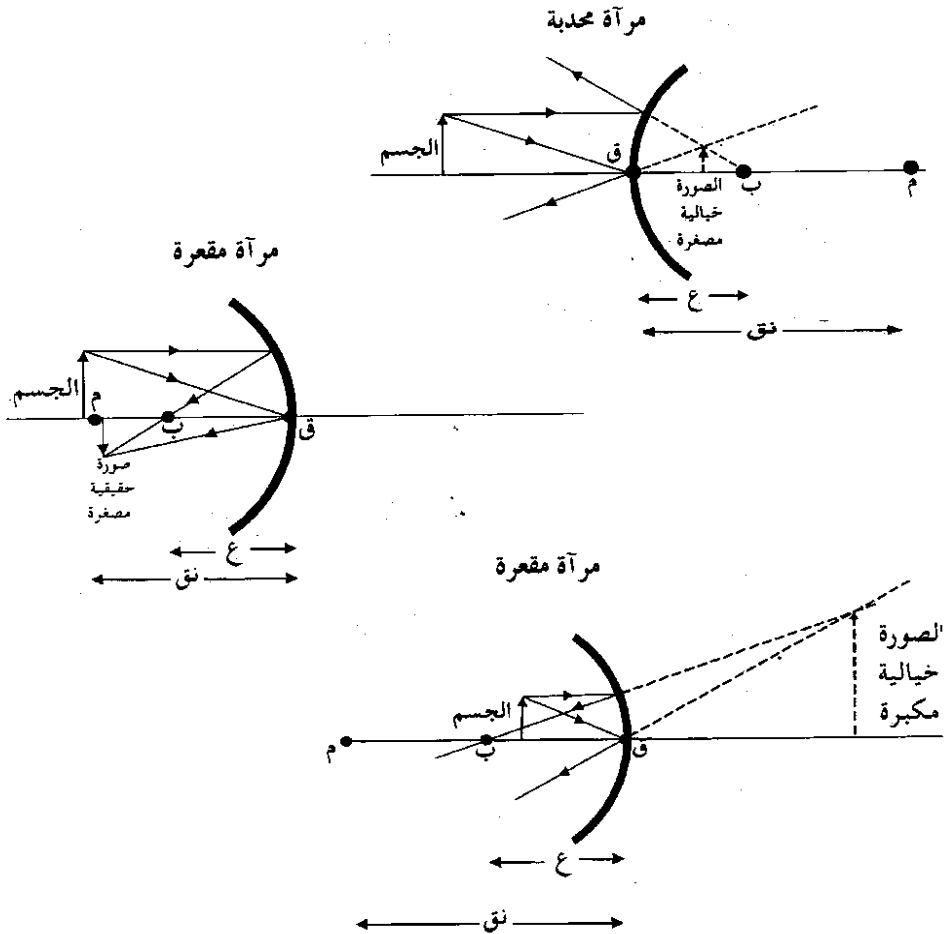
حيث ع - البعد البؤري للمرآة وس بعد الجسم وص بعد الصورة عن المرآة القانون أعلاه أيضاً يسمى قانون المرايا الكرية . وكذلك نجد أن تكبير المرايا هو نفس التكبير في العدسات أي :

$$\frac{\text{بعد الصورة عن المرآة}}{\text{بعد الجسم عن المرآة}} = \frac{\text{ص}}{\text{س}} = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}} = \text{التكبير (ت)}$$

(31-2)

$$\frac{\text{ص}}{\text{س}} = \text{ت}$$

بعد الصورة ص = - للمرآة المحدبة ولذلك ت = - أي أن الصورة خيالية



الشكل (2-45) يوضح مسار الأشعة التي تكون الصور في المرآة المقعرة والمحدبة.

الصور المتكونة بوساطة المرايا المقعرة أو المحدبة يمكن الحصول عليها بأكثر من طريقة ولكن أبسطها برسم شعاعين فقط: الشعاع الأول يرسم من رأس الجسم مواز للمحور الأصلي فينعكس فيمر هو أو إمتداده بالبؤرة ؛ أما الشعاع الثاني يرسم أيضا من رأس الجسم إلى قطب المرآة فينعكس (زاوية السقوط = زاوية الإنعكاس) فيلتقي الشعاع المنعكس أو إمتداده بالشعاع الأول أو إمتداده عند رأس الصورة . شكل (2-45). هذا الشكل أيضا يوضح أن الصورة المتكونة بوساطة مرآة مقعرة تكون حقيقية ومقلوبة إلا إذا كان الجسم داخل البعد البؤري حيث تصبح الصورة مكبرة ولكنها خيالية (لا يمكن إستقبالها على حاجز) ولذلك تستخدم أحيانا في محلات الحلاقة لتكبير صورة الزبون. أما الصور المتكونة بوساطة المرآة المحدبة فدائما خيالية ومصغرة ولذلك تستعمل لمعاونة سائقي السيارات لرؤية السيارات التي خلفهم فتغطي مساحة واسعة خلف السيارة لأن الصورة مصغرة.

مثال (2-20) :

وضع جسم على بعد 5 سم من مرآة مقعرة بعدها البؤري 4 سم . جد بعد الصورة وتكبيرها وصفاتها . (أرسم الشكل)

الحل : $s = 5$ ، $e = 4$

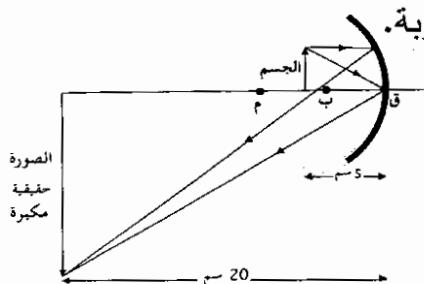
$$\frac{1}{s} + \frac{1}{e} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore \frac{1}{s} - \frac{1}{e} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad \frac{s - e}{s \cdot e} = \frac{1}{f}$$

$$\text{بعد الصورة} = s = \frac{4 \times 5}{4 - 5} = \frac{20}{-1} = -20 \text{ سم}$$

$$\text{التكبير (ت)} = \frac{v}{s} = \frac{20}{5} = 4$$

من الحل نجد أن الصورة حقيقية مكبرة مقلوبة.



تمرين (2-7)

- (1) وضع جسم على بعد 6 سم من مرآة محدبة بعدها البؤري 3 سم. جد بعد الصورة وتكبيرها وصفاتها ثم أرسم الشكل. [ص = -2 ، ت = -31 ، الصورة خيالية معتدلة مصغرة]
- (2) سقطت أشعة من جسم على مرآة مقعرة بعدها البؤري 5 سم فكونت امتداداتها صورة على بعد 20 سم خلف المرآة . جد بعد الجسم وتكبير الصورة وصفاتها . [س = 4 ، ت = -5 ، الصورة خيالية معتدلة مكبرة]
- (3) وضع جسم على بعد 6 سم من مرآة فتكونت له صورة مقلوبة مكبرة مرتين فما نوع المرآة ؟ وما بعدها البؤري ؟ [المرآة مقعرة ، ع = 4 سم]
- (4) سقطت أشعة من جسم على مرآة مقعرة بعدها البؤري 3 سم فتجمعت امتداداتها على بعد 6 سم خلف المرآة. صف الصورة المتكونة وأوجد بعد الجسم. [س = 2 ، ت = -31 ، حقيقية، مصغرة، معتدلة].
- (5) وضع جسم على بعد 12 سم من مرآة محدبة بعدها البؤري 4 سم. صف الصورة المتكونة. [ص = -3 ، ت = -41 ، خيالية ، مصغرة ، معتدلة]
- (6) سقطت أشعة من جسم على مرآة مقعرة بعدها البؤري 3 سم فتجمعت امتداداتها على بعد 6 سم خلف المرآة . صف الصورة وجد بعد الجسم ثم أرسم الشكل . [س = 2 ، ت = -31]
- (7) وضع جسم على بعد 12 سم من مرآة محدبة بعدها البؤري 4 سم. صف الصورة المتكونة. [ص = -3 ، ت = -41 ، خيالية ، مصغرة، معتدلة].
- (9) إذا كان لديك مرآتان مقعرة ومحدبة، فأيهما تختار كمرآة لسيارتك لترى بها السيارات التي خلفك.

الباب الثالث :

المجالات المغناطيسية والكهربية

(1-3) الفصل الأول

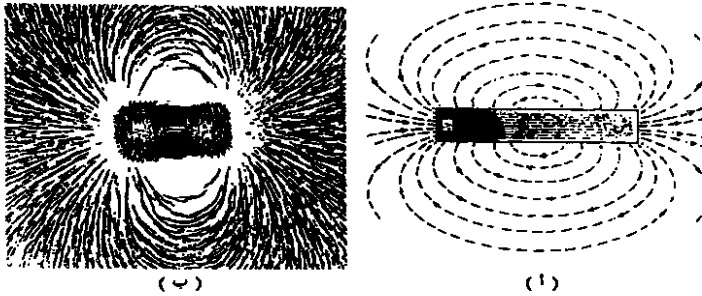
المغناطيسية

(1-1-3) مقدمة :

كما عرفنا في دراستنا السابقة فإن المغناطيس هو قضيب من الحديد له القدرة على جذب قطع المواد المغناطيسية كالحديد والنيكل إذا قربت منه . . و تتركز قوة المغناطيس عند قطبيه الشمالي (ش) والجنوبي (ج) . ومن خواص المغناطيس :

أن القطبين المتشابهين يتنافران بينما يتجاذب القطبان المختلفان

والمغناطيس يحدث تأثيراً على المنطقة الموجودة حوله بحيث تتأثر المواد المغناطيسية بوجود قوة في هذه المنطقة . ويطلق على هذه المنطقة المجال المغناطيسي . وتكون في شكل خطوط منحنية يمكن معرفتها ببرادة الحديد (قطع الحديد الصغيرة جداً مثل تلك الناتجة عن برد الحديد بمبرد) كما في شكل ((1-3) ب). حيث تصل هذه الخطوط بين القطبين وينتشر بعضها في الفراغ المحيط بالمغناطيس وتتركز بكثافة أكبر قرب قطبي المغناطيس، وتسمى هذه الخطوط بخطوط القوة المغناطيسية أو الفيض المغناطيسي وشكل ((1-3) أ) يوضح ذلك .



الشكل (1-3) : خطوط القوة المغناطيسية (الفيض المغناطيسي) حيث
أ) الشكل التخطيطي و ب) الشكل الحقيقي

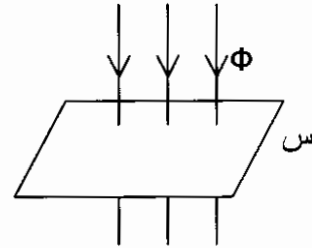
أي أن الفيض المغنطيسي Φ (ينطق فاي) هو عدد خطوط القوة المغنطيسية المارة خلال مساحة ما ويقاس بوحدة تسمى ويبر Weber ، حيث:
 $1 \text{ ويبر} = 10^8 \text{ ماكسويل} = 10^8 \text{ Maxwell}$ خط من خطوط القوة المغنطيسية لأن $1 \text{ ماكسويل} = 1$ خط من خطوط القوة المغنطيسية.

(2-1-3) كثافة الفيض المغنطيسي :

هي الفيض المغنطيسي الذي يمر عمودياً على سطح مساحته وحدة المساحة [شكل (2-3)] ،

وتسمى أيضاً بكثافة خطوط القوة المغنطيسية لأن الفيض المغنطيسي حسب التعريف السابق هو عدد خطوط القوة المغنطيسية ونرمز لها بالرمز (ب) والذي يمثل الحرف الأول من اسم العالم " بيو " الذي كان له الفضل في اكتشاف علاقة الكهرباء بالمغنطيسية (شكل (2-3)).
 فإذا كان الفيض المغنطيسي الذي ينفذ عمودياً عبر مساحة قدرها S هو Φ فإن كثافة الفيض هي:

$$B = \frac{\Phi}{S} \text{ (ويبر/م}^2\text{)} \quad (1-3)$$



الشكل (2-3) : خطوط الفيض تخترق سطح مساحته S .

وتقاس كثافة الفيض المغنطيسي عادة بوحدة أخرى اسمها تسلا Tesla

حيث أن : $1 \text{ تسلا} = 1 \text{ ويبر/م}^2$.

نرجو أن لا تتزعج من هذه الوحدات التي تبدو كثيرة؛ فويبر هو وحدة الفيض المغنطيسي بينما تسلا هو وحدة كثافة الفيض (الفيض \ المساحة) أما ماكسويل فهو خط قوة مغنطيسية واحد وكلها على أسماء علماء بحثوا في الكهربائية والمغنطيسية.

(3-1-3) القوة المغناطيسية :

لاحظنا خلال التجربة السابقة أن برادة الحديد تتجمع بكثافة أكبر في طرفي المغناطيس ، وتسمى كل منطقة منهما بالقطب (شكل (3-1) ب) . وكلما زادت كمية برادة الحديد حول القطب دل ذلك على زيادة كثافة خطوط القوة أو كثافة الفيض مما يعني أن مغناطيسية القطب ذات شدة أكبر ، وبالتالي شدة المجال كبيرة . ويسمى المقدار الذي يعبر عن مقدار المغناطيسية في قطب معين بالشدة المغناطيسية ونرمز لها بالرمز ش .

فإذا قربنا القطب الشمالي لمغناطيس شدته ش₁ من القطب الجنوبي لمغناطيس شدته ش₂ فإننا نلاحظ أن قوة التجاذب (ق) بينهما تزيد عندما تقل المسافة (ف) بينهما . وقد وجد العلماء أن هذه القوة تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينهما أي أن

$$ق \propto \frac{1}{ف^2}$$

وكلما زادت الشدة المغناطيسية زادت قوة التجاذب أيضاً أي أن ق تتناسب طردياً مع ش₁ و ش₂ .

$$ق \propto ش_1 \quad \text{وأيضا} \quad ق \propto ش_2$$

$$\text{إذن} \quad ق \propto \frac{ش_1 ش_2}{ف^2}$$

(2-3)

$$\therefore ق = ث \frac{ش_1 ش_2}{ف^2}$$

حيث تمثل ث م ثابت التناسب الذي يعتمد على نوع الوسط الموجود بين القطبين ويسمى بالثابت المغناطيسي وهو يساوي :

(3-3)

$$ث م = \frac{\mu}{\pi 4}$$

حيث تسمى μ (تنطق ميو) بالنفاذية المغناطيسية حيث وجد في الفراغ أن:

$$\mu = 10^{-7} \times \pi 4 \text{ نيوتن / امبير}^2$$

حيث امبير هو وحدة قياس التيار

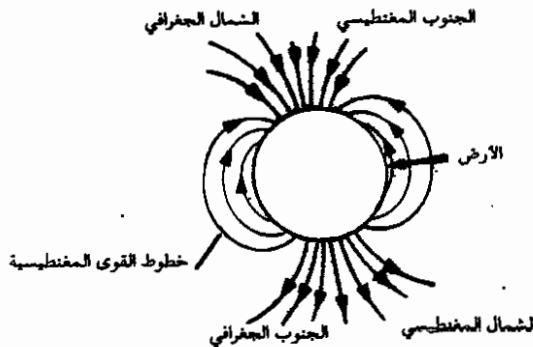
فإذا كان هناك وسط آخر غير الفراغ بين القطبين فإن النفاذية تقل .
ويمكن كتابة القوة ق بدلالة النفاذية μ في الصورة :

$$(4-3) \quad \frac{\frac{\mu}{4\pi} \times \frac{I_1 I_2}{r^2}}{f_2} = Q$$

لاحظ التشابه بين معادلة القوى المغنطيسية (2-3) ومعادلة قوة التناقل الكوني (1-1) حيث في الحالتين تتناسب القوة عكسيا مع مربع المسافة وطرديا مع مضروب الكتلتين في حالة التناقل ومضروب شدة القطبين في المغنطيسية وذلك لأن أي من القوتين نتاج وجود مجال ، فالقوانين تتشابه في المجالات المختلفة.

(4-1-3) المجال المغنطيسي للأرض :

إذا علق مغنطيس بخيط فإن القطب الشمالي للمغنطيس يتجه تقريبا نحو الشمال بينما يتجه القطب الجنوبي للمغنطيس نحو الجنوب .
فما السبب في ذلك ؟ فسر العلماء هذه الظاهرة بعد أن اكتشفوا أن الأرض عبارة عن مغنطيس كبير يوجد قطبه الشمالي قرب القطب الجنوبي الجغرافي ، بينما يوجد قطبه الجنوبي قرب القطب الشمالي الجغرافي (انظر شكل (3-3)) . وعند وضع مغنطيس حر الحركة ينجذب أحد قطبيه للقطب الجنوبي للأرض فينتجه قطب المغنطيس الآخر نحو الشمال الجغرافي .



الشكل (3-3) : خطوط القوة المغنطيسية للأرض .

(2-3) الفصل الثاني

الكهربية الساكنة

(1-2-3) خاصية التكهرب :

تكتسب الأجسام المختلفة الكترونات أو تفقدها بفعل خاصية يطلق عليها خاصية التكهرب . فعند ذلك قطعة من المطاط بالصوف تنتقل الالكترونات من الصوف للمطاط فيصبح المطاط سالب الشحنة لأنه اكتسب الكترونات بينما يصبح الصوف موجب الشحنة لأنه فقد الكترونات .

وهذه الشحنات لها نفس خاصية الأقطاب المغناطيسية من حيث أن الشحنات المتشابهة تتنافر بينما تتجاذب الشحنات المختلفة . ويمكن إكساب الجسم شحنة موجبة أو سالبة بعدة طرق هي :

(أ) الشحن بالدلك : حيث يكتسب الجسم الدالك شحنة مخالفة للجسم المدلوك لأن أحدهما يفقد إلكترونات والثاني يكتسبها .

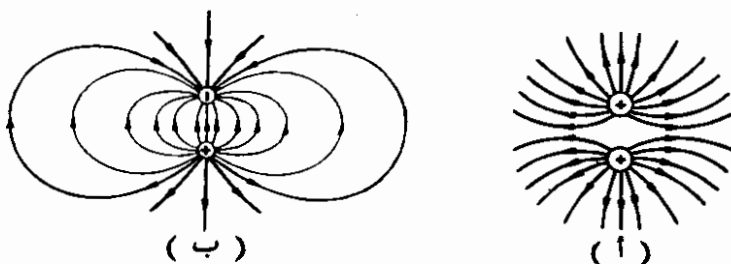
(ب) الشحن باللمس: في هذه الحالة يكتسب الجسم المراد شحنة نفس شحنة الجسم المشحون .

(ج) الشحن بالتأثير (أي عن بعد) : حيث يكتسب الجسم المراد شحنة بعد توصيله إلى الأرض شحنة مخالفة للشحنة الأصلية حيث تتسرب الشحنة المشابهة للشحنة الأصلية إلى الأرض .

هذا النوع من الكهرباء يسمى بالكهربية الساكنة ويمكن معرفة حالة الجسم الكهربائية من حيث الشحنة باستخدام جهاز بسيط يسمى بالكشاف الكهربى .

(2-2-3) المجال الكهربى :

الشحنة تؤثر بطريقة ما على المنطقة المحيطة بها فتؤثر هذه بدورها على الشحنات الأخرى . ويسمى هذا التأثير المنتشر بالمجال الكهربى وله خطوط تشبه خطوط المجال المغناطيسى وتسمى خطوط المجال الكهربى والتي سننظر لها لاحقا بشئ من التفصيل . وشكل (3-4) يوضح تلك الخطوط .



الشكل (3-4): (أ) الشحنات المتشابهة تتنافر .
(ب) الشحنات المختلفة تتجاذب .

إذا قربنا شحنتين متشابهتين أو مختلفتين (ش₁) و (ش₂) المسافة بينهما ف فسنلاحظ أن قوة التنافر أو التجاذب (ق) بينهما تزيد كلما قربنا الشحنتين من بعضهما . وقد توصل العالم كولوم للعلاقات التالية :

$$ق \propto \frac{1}{ف^2} , ق \propto ش_1 , ق \propto ش_2$$

حيث ق = قوة التنافر أو التجاذب ، ف = المسافة بين الشحنتين

ش₁ = شحنة الجسم الأول ، ش₂ = شحنة الجسم الثاني

ومن العلاقات أعلاه نجد أن :

$$ق \propto \frac{ش_1 ش_2}{ف^2}$$



(3-5)

$$ق = ك \frac{ش_1 ش_2}{ف^2}$$

ويسمى هذا القانون بقانون كولوم .

لاحظ أن وحدة الشحنة ش هي الكولوم

لاحظ أيضا القوة الكهربائية ولأنها ناتجة عن مجال تشبه قوة التناقل الكوني وتشبه كذلك القوة بين قطبين مغناطيسيين .

ث_ك يسمى بثابت الوسط لأن قيمته تعتمد على خواص الوسط الموجود بين الشحنتين الكهربائيتين وهو في هذا شبيه بالنفاذية المغنطيسية. وقد وجد أن الثابت (ث_ك) يعتمد بدوره على ثابت آخر يسمى بسماحية الوسط (ε) (تتعلق إبسلون) عبر العلاقة :

$$(6-3) \quad \boxed{\frac{1}{\epsilon \pi 4} = \text{ث}_K}$$

حيث يعبر (ε) عن مدى سماح الوسط لخطوط القوى الكهربائية للنفاذ عبره. وعندما يكون الهواء أو الفراغ هو الوسط الفاصل بين الشحنتين فإن سماحية الفراغ نرمز لها بالرمز (ε₀) حيث:

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ كولوم}^2 \text{ نيوتن} \cdot \text{متر}^2$$

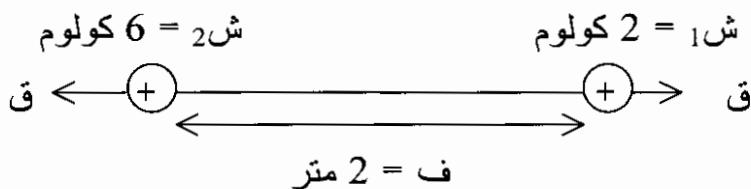
أما ثابت الوسط للهواء أو الفراغ فيساوي :

$$\text{ث}_K = 9 \times 10^9 \text{ نيوتن} \cdot \text{متر}^2 \text{ كولوم}^{-2}$$

أمثلة محلولة

مثال (3-1) :

جد قوة التنافر بين شحنتين موجبتين مقدارهما 2 كولوم و 6 كولوم عند وضعهما على بعد 2 متر من بعضهما في الفراغ علماً بأن ث_ك = 9×10^9 .
الحل :



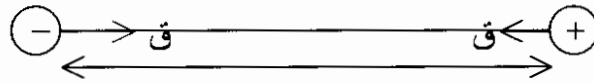
$$ق = \text{ث}_K = \frac{\text{ش}_1 \text{ش}_2}{\text{ف}^2} = \frac{2 \times 6 \times 9 \times 10^9}{4}$$

$$ق = 27 \times 10^9 \text{ نيوتن}.$$

مثال (3-2) : وضعت شحنتان إحداهما موجبة ومقدارها 3 كولوم والأخرى سالبة ومقدارها 2 كولوم على بعد 3 سنتيمترات من بعضهما . جد قوة التجاذب بينهما .

الحل :

$$\text{ش}_1 = 3 \text{ كولوم} \quad \text{ش}_2 = -2 \text{ كولوم}$$



$$ف = 10 \times 3 \times 10^{-2} \text{ متر}$$

$$ق = \frac{\text{ش}_1 \text{ش}_2}{ف^2} = \frac{2 \times 3 \times 10 \times 9}{10 \times 9 \times 10^{-4}}$$

$$ق = 10 \times 6 \times 10^{13} \text{ نيوتن .}$$

(3-2-3) كثافة الفيض الكهربى وشدة المجال الكهربى :

خطوط المجال الكهربى الموضحة فى شكل (4-3) تسمى خطوط القوة الكهربائية . ويعرف الفيض الكهربى Φ بأنه هو عدد خطوط القوة الكهربائية المارة خلال مساحة ما . ونلاحظ أن خطوط القوة الكهربائية تكون كثيفة قرب الشحنة بينما تقل كثافة هذه الخطوط عندما تبتعد عن الشحنة (انظر شكل (4-3) . ويرمز لكثافة خطوط القوة الكهربائية بالرمز (د) وتسمى بكثافة الفيض الكهربى وهى فى ذلك تشبه كثافة الفيض المغنطيسى .

كثافة الفيض الكهربى (د) : هو عدد خطوط القوة الكهربائية التى تمر عمودياً عبر سطح مساحته وحدة المساحة .

فإذا اخترقت خطوط القوى التى عددها (Φ) عمودياً سطح مساحته (س) فإن كثافة الفيض الكهربى تساوى :

(7-3)

$$د = \frac{\Phi}{س}$$

ووحدة خط م^2 .

وتوجد علاقة بين كثافة الفيض الكهربى (7-3) وشدة المجال الكهربى . ولأن المجالات متشابهة فتعريف شدة المجال الكهربى يشبه تعريف

شدة المجال التثاقلي الذي عرفناه في الفصل الأول والذي قلنا أنه قوة التثاقل على وحدة الكتلة. وعليه فإن:

شدة المجال الكهربائي (ي) في أي نقطة داخل هذا المجال هي القوة الكهربائية التي يؤثر بها المجال الكهربائي على وحدة الشحنة الموجودة في تلك النقطة

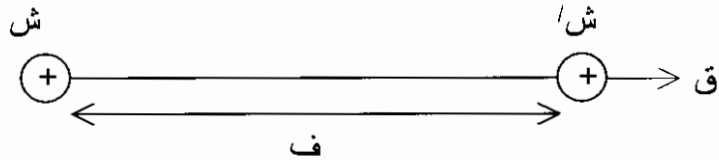
ويمكن حساب شدة المجال (ي) لشحنة مقدارها (ش₁) عند نقطة تبعد عنها مسافة (ف) من قانون كولوم (3-5) ومن التعريف أعلاه ؛ حيث:

$$\frac{\text{ثك ش}_1}{\text{ف}^2} = \frac{\text{ثك ش}_1 \times \text{ش}_2}{\text{ف}^2 \times \text{ش}_2} = \frac{\text{ق}}{\text{ش}_2} = \text{ي}$$

وعموما شدة المجال الكهربائي لأي شحنة ش

$$(8-3) \quad \text{ي} = \frac{\text{ثك ش}}{\text{ف}^2} = \frac{1}{\epsilon \pi 4} \frac{\text{ش}}{\text{ف}^2}$$

فإذا وضعنا شحنة مقدارها ش[/] على بعد ف من الشحنة ش فإن القوة المؤثرة على ش[/] تساوي :



$$\text{ق} = \frac{\text{ثك ش ش}^/}{\text{ف}^2} = \text{ش}^/ \times \frac{\text{ثك ش}}{\text{ف}^2} = \text{ي ش}^/$$

$$(9-3) \quad \text{أي أن} \quad \text{ق} = \text{ي} \times \text{ش}^/$$

ولأن الشحنة ش[/] لا اتجاه لها فإن شدة المجال الكهربائي ي تكون في اتجاه القوة ق (أنظر الشكل أعلاه). ويمكن معرفة وحدات شدة المجال (ي) من هذه المعادلة . حيث نجد أن :

$$\text{ي} = \frac{\text{ق (نيوتن)}}{\text{ش}^/ (\text{كولوم})}$$

أي أن شدة المجال الكهربائي تقاس بوحدات النيوتن / كولوم .
وقد وجد أن كثافة الفيض الكهربائي (د.ك) تتناسب طردياً مع شدة المجال الكهربائي (ي)

$$\text{د.ك} \propto \text{ي}$$

حيث وجد أن ثابت التناسب يساوي سماحية الوسط ϵ . أي أن :

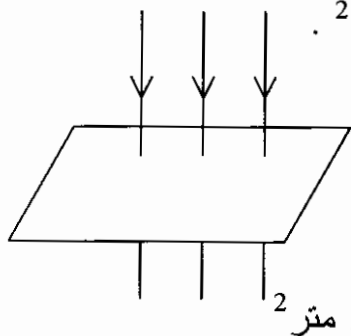
(10-3)

$$\text{د.ك} = \epsilon \times \text{ي}$$

∴

مثال (3-3) :

جد كثافة الفيض الكهربائي وشدة المجال عند منطقة تمر بها خطوط قوة عددها 8850 خط في مساحة قدرها 10 متر² . علماً بأن سماحية الفراغ تساوي $10 \times 8.85 \times 10^{-12}$ كولوم² / نيوتن. متر² .
الحل :



$$\Phi = \text{عدد الخطوط} \\ 8850 =$$

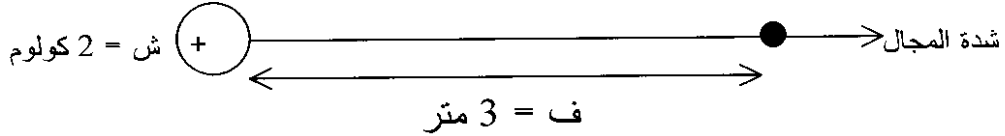
$$\text{د.ك} = \text{كثافة الفيض} = \frac{\Phi}{\text{س}} = \frac{8850}{10} = 885 \text{ خط / متر}^2$$

$$\therefore \text{شدة المجال} = \text{ي} = \frac{\text{د.ك}}{\epsilon} = \frac{885}{10 \times 8.85 \times 10^{-12}}$$

$$\text{ي} = \frac{885}{10 \times 8.85 \times 10^{-12}} = 10^{14} \text{ نيوتن / كولوم} .$$

مثال (3-4) :

جد شدة المجال الناتج من شحنة موجبة مقدارها 2 كولوم عند نقطة تبعد عنها مسافة 3 متر . جد كذلك كثافة الفيض الكهربائي عند تلك النقطة .
الحل :



لإيجاد كثافة الفيض نفترض وجود شحنة مقدارها 1 كولوم عند النقطة المعنية وتكون القوة عليها تساوي شدة المجال :

$$ي = \frac{\text{ش} \times \text{ش}}{\text{ف}^2} = \frac{2 \times 10 \times 9}{9} = 2 \times 10^9 \text{ نيوتن / كولوم} .$$

$$\text{كثافة الفيض} = \epsilon \times ي$$

$$= 8.85 \times 10^{-12} \times 2 \times 10^9 = 17.70 \times 10^{-3} \text{ خط / م}^2$$

$$= 177 \times 10^{-4} \text{ خط / م}^2$$

(3-2-4) مقارنة بين المجال الكهربائي والمجال التناقلي والمجال المغنطيسي :

نلاحظ التشابه لدرجة التطابق في معالجة المجالات . فنفس الكميات الفيزيائية نجدها في كل المجالات .
فالمجالات كلها تؤثر عن بعد . ففي المجال التناقلي نجد تأثير الكتلة على الكتلة بينما في المجال الكهربائي نجد تأثير الشحنة على الشحنة وفي المجال المغنطيسي نجد تأثير القطب على القطب . وفي كل الحالات نجد القوة تحسب هذا التأثير في صورة قانون التربيع العكسي (أي تتناسب عكسي مع مربع المسافة) .

$$\text{فقوة التناقل ق} = \frac{\text{ج ك}_1 \times \text{ك}_2}{\text{ف}^2} \quad (\text{ك} = \text{الكتلة})$$

$$\text{والقوة الكهربائية} = \frac{\text{ش ك}_1 \times \text{ش}_2}{\text{ف}^2} \quad (\text{ش} = \text{الشحنة})$$

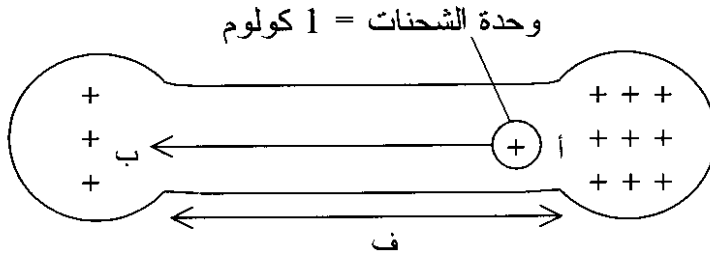
$$\text{والقوة المغنطيسية} = \frac{\text{ش م}_1 \times \text{ش}_2}{\text{ف}^2} \quad (\text{ش} = \text{شدة قطب المغنطيس})$$

وكل المجالات لها شدة وجهد وتشابه قوانينها .

(3-2-5) فرق الجهد الكهربى :

تسرى الشحنات الموجبة في المجال الكهربى من المنطقة التي فيها شدة المجال الكهربى عالية إلى المنطقة ذات شدة مجال كهربى منخفض . ويقال أن النقطة الأولى جهدا عال وأن الثانية جهدا منخفض . وكنا قد وجدنا عند دراستنا للمجال التناقلي أن الجهد التناقلي في نقطة ما يساوي طاقة وضع وحدة الكتلة في تلك النقطة . وكذلك الجهد الكهربى في أي نقطة في مجال كهربى هو طاقة الوضع الكهربائية لوحدة الشحنة في تلك النقطة . أي تكون النقطة ذات الجهد العالى، طاقة وضعها الكهربائية عالية والعكس صحيح . وعلى ذلك ففرق الجهد بين أي نقطتين في مجال كهربى هو الفرق بين طاقة النقطتين . فلكي تنتقل شحنة في المجال الكهربى من نقطة ذات جهد منخفض إلى أخرى ذات جهد عال فلا بد من مد الشحنة بهذا الفرق في الطاقة، أي لا بد من بذل شغل وقد علمنا من قبل أن الطاقة هي المقدرة على بذل شغل . لذلك ففرق الجهد هو شغل :

ويعرف فرق الجهد جـ بين النقطتين أ و ب (شكل (3-5))، بأنه : الشغل الذي تبذله وحدة الشحنات الموجبة (شحنة مقدارها (1+ كولوم) للتحرك من أ إلى ب



الشكل (3-5) : طريقة سريان الشحنات الموجبة .

وعليه فحسب تعريف الشغل نجد أن :

جـ = فرق الجهد بين النقطتين أ و ب .

= الشغل المبذول لنقل شحنة مقدارها (1 كولوم لمسافة (ف) بين أ و ب .

∴ جـ = القوة على 1 كولوم × المسافة = ق × ف .

وبما أن القوة على 1 كولوم تساوي شدة المجال (ي) (المعادلة (3-9))
حيث ش' = 1 كولوم. إذن : ج = شدة المجال (ي) × المسافة (ف)

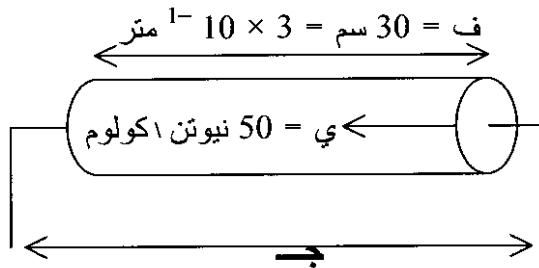
(11-3)

$$\text{ج} = \text{ي} \times \text{ف}$$

مثال (3-5) :

موصل طوله 30 سم وشدة المجال بداخله 50 نيوتن / كولوم . جد
فرق الجهد جـ بين طرفي الموصل .

الحل :



$$\text{ج} = \text{فرق الجهد} = \text{ي} \times \text{ف} = 50 \times 10^{-1} = 5 \text{ فولت} .$$

مثال (3-6) :

ما مقدار شدة المجال الكهربائي التي تؤثر على إلكترون بقوة تساوي
وزنه، علماً بأن كتلة الإلكترون = 9.1×10^{-31} كجم ، وشحنته = 1.6×10^{-19} كولوم ، وعجلة السقوط الحر = 9.8 م/ث^2 .

الحل :

$$\text{ي} = \frac{\text{ق}}{\text{ش}} , \quad \text{ش} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ كولوم}$$

$$\text{ق} = \text{القوة} = \text{وزن الإلكترون} = \text{ك} \times \text{د} \quad (\text{د} = \text{عجلة السقوط الحر})$$

$$= 9.1 \times 10^{-31} \times 9.8$$

$$\therefore \text{ي} = \frac{9.8 \times 10^{-31} \times 9.1}{1.6 \times 10^{-19}} = 55.7375 \times 10^{-12} \text{ نيوتن / كولوم}$$

مثال (3-7) :

شحنتان نقطيتان ($+ 1 \times 10^{-9}$ كولوم) ، ($- 4 \times 10^{-9}$ كولوم)
موضوعتان في الهواء والمسافة بينهما 12 سم أحسب :
أ/ شدة المجال الكهربائي عند منتصف المسافة بينهما .
ب/ القوة المؤثرة في شحنة مقدارها ($- 1 \times 10^{-12}$) كولوم موضوعة في منتصف المسافة بينهما .

ج/ شدة المجال في نقطة تبعد 12 سم عن الشحنة الأولى و 24 سم عن الشحنة الثانية ، وعلى امتداد الخط الواصل بينهما .

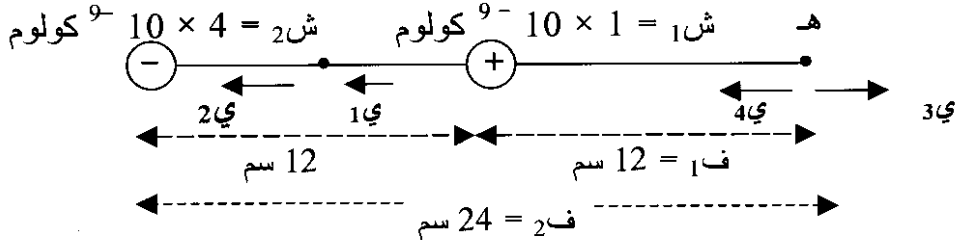
الحل : أ/ بتطبيق المعادلة $ي = ش \cdot \frac{ش}{ف^2}$

ي₁ = شدة المجال الكهربائي للشحنة الموجبة في منتصف المسافة .

ي₂ = شدة المجال الكهربائي للشحنة السالبة في منتصف المسافة .

لاحظ أن شدة المجال الكهربائي تكون في اتجاه المجال الكهربائي للشحنة . أي : خارج من الشحنة الموجبة وداخل إلى الشحنة السالبة .

منتصف المسافة بين الشحنتين = 6 سم = 0.06 متر .



$$ي_1 = \frac{9 \times 10 \times 1 \times 9 \times 10 \times 9}{4 \times 10 \times 36} = 3^+ 10 \times 2.5 \text{ نيوتن \textbackslash كولوم} .$$

$$ي_2 = \frac{9 \times 10 \times 4 \times 9 \times 10 \times 9}{4 \times 10 \times 36} = 3^+ 10 \times 10 \text{ نيوتن \textbackslash كولوم} .$$

$$ي = ي_1 + ي_2 = 4 \times 10 \times 1 + 4 \times 10 \times 0.25 = 4 \times 10 \times 1.25 \text{ نيوتن \textbackslash كولوم} .$$

ب/ من المعادلة : ق = ش ي نجد أن :

$$ق = 4 \times 10 \times 1.25 = 12^- 10 \times 1 \times 4 \times 10 \times 1.25 = 8^- 10 \times 1.25 \text{ نيوتن (قوة تجاذب)}$$

ج/ حساب المجال في النقطة هـ :

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \times \cos\theta$$

ي₃ = شدة المجال للشحنة الموجبة في النقطة (هـ)

ي₄ = شدة المجال للشحنة السالبة في النقطة (هـ)

$$E_3 = \frac{10 \times 10^{-9} \times 9}{4\pi \times 10^{-14}} = 625 \text{ نيوتن / كولوم}.$$

$$E_4 = \frac{10 \times 4 \times 10^{-9} \times 9}{4\pi \times 10^{-14}} = 625 \text{ نيوتن / كولوم}.$$

∴ محصلة شدة المجال (مجالان متعاكسان) = $E_3 - E_4 = 625 - 625 = \text{صفر}$

تمرين (3-1)

(1) ما عدد الإلكترونات التي يفقدها جسم لتصبح شحنته 16 كولوم ؟
 وما نوع شحنة الجسم في هذه الحالة إذا علمت أن شحنة الإلكترون الواحد = 1.6×10^{-19} كولوم ؟

[عدد الإلكترونات = 10^{20} إلكترون شحنة موجبة]

(2) هل يعتبر التوصيل بالأرض ضروريا في الشحن بالتأثير ولماذا؟
 (3) أحسب شدة المجال الناتج من شحنة مقدارها 10 كولوم عند نقطة تبعد عن الشحنة مسافة 3 متر. وجد كذلك كثافة الفيض عند هذه النقطة.

[$E = 10^{10}$ نيوتن / كولوم ، $E = 8.85 \times 10^{-12}$ خط / م²]

(4) أحسب شدة المجال داخل موصل طوله 3 سم . وفرق الجهد بين طرفيه 6 فولت . [200 نيوتن / كولوم]

(5) أحسب كثافة الفيض الكهربى المار عبر مساحة قدرها 3 متر² إذا كان عدد الخطوط المارة عمودياً يساوي 60000 خط . وأحسب كذلك شدة المجال.

(6) جد شدة المجال في منتصف المسافة بين شحنتين مقدارهما 9 كولوم و 18 كولوم ويبعدان عن بعضهما مسافة 6 متر . $[9 \times 10^9 \text{ نيوتن/كولوم}]$

(7) شحنة مقدارها 4 كولوم وضعت في الفراغ. أحسب شدة المجال الكهربى عند نقطة تبعد عنها 6 متر . $[ي = 10^9 \text{ نيوتن/كولوم}]$
وجد الفيض الكلى المار عبر سطح كرة مركزها نفس الشحنة ونصف قطرها 6 متر.

(8) جد القوة التى تؤثر على شحنة مقدارها 2 كولوم في مجال منتظم شدته 5 نيوتن/كولوم . $[ق = 10 \text{ نيوتن}]$

(9) موصل فرق الجهد بين طرفيه 10 فولت ، جد الشغل المبذول بواسطة شحنة مقدارها 3 كولوم للتحرك من أحد طرفي الموصل للطرف الآخر.
[30 جول]

(10) جد شدة المجال الناتج عن شحنة مقدارها 5 كولوم عند نقطة تبعد عنها مسافة 3 متر ، وكذلك جد القوة المؤثرة على شحنة مقدارها 2 كولوم عند تلك النقطة . $[ي = 5 \times 10^9 \text{ نيوتن/كولوم} ; ق = 10^{10} \text{ نيوتن}]$

(3-3) الفصل الثالث

الكهربية التيارية

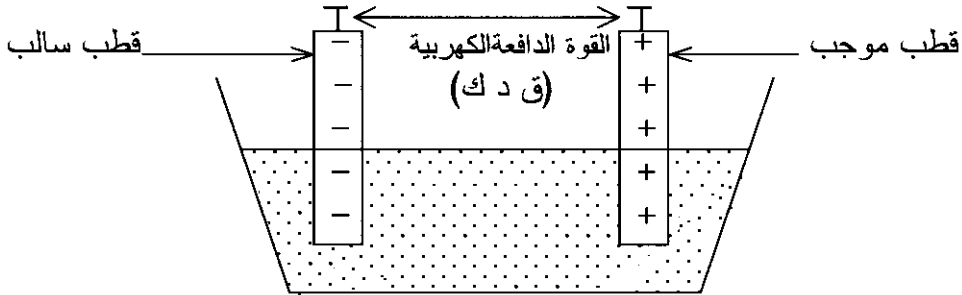
(1-3-3) مقدمة :

تسمح بعض المواد بسريان التيار الكهربائي خلالها وتسمى هذه المواد **بالموصلات** ، حيث تتحرك الإلكترونات بحرية في الفراغات الموجودة بين ذرات المادة عندما تكتسب طاقة حرارية أو حينما تكون تحت تأثير فرق جهد كهربائي .

وهناك مواد أخرى لا تسمح بسريان التيار الكهربائي وتسمى **بالمواد العازلة أو العوازل** وفيها لا تستطيع الإلكترونات الفكاك من ذرات المادة لتصبح الكثرونات حرة تسري تحت تأثير فرق الجهد الكهربائي . وهناك مواد نصف موصلة وهذه تستعمل بكثرة في صناعة الدوائر الالكترونية وهي أشباه الموصلات .

(2-3-3) القوة الدافعة الكهربائية في الأعمدة الكهربائية والبطاريات :

درسنا في مرحلة الأساس ، كما درسنا ذلك في العلوم الهندسية ، أن غمر لوحين من مادتين مختلفتين في بعض المحاليل الكيميائية يؤدي لتراكم الشحنات الموجبة على أحد الأقطاب ويسمى **بالقطب الموجب** . كما تتراكم الشحنات السالبة على القطب الآخر ويسمى **بالقطب السالب** (شكل (3-6)) .



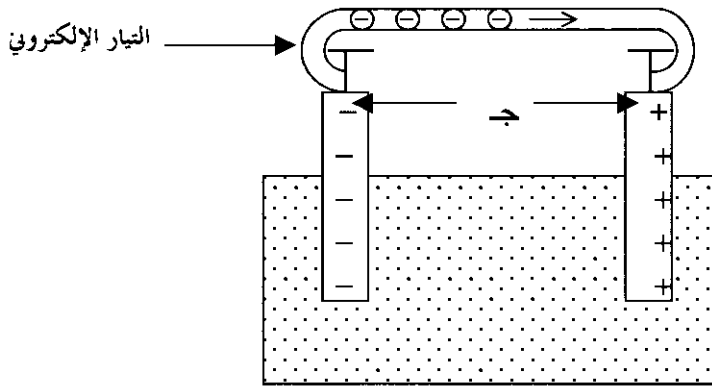
الشكل (3-6) : العمود الكهربائي .

ويؤدي تراكم هذه الشحنات في القطبين الموجب والسالب لتولد فرق في الجهد بين القطبين ويسمى فرق الجهد هذا **بالقوة الدافعة الكهربائية** ونرمز لها بالرمز (ق.د.ك.) . وهذه صورة مبسطة للبطاريات .

وعندما نوصل القطب الموجب مع السالب بسلك موصل تسري الالكترونات الحرة من القطب السالب للقطب الموجب فيقل تراكم الشحنات السالبة والموجبة على القطبين فيصبح فرق الجهد بين القطبين في هذه الحالة أقل من القوة الدافعة الكهربائية (ق.د.ك). الأصلية ويسمى هذا بفرق الجهد بين طرفي البطارية ونرمز له بالرمز (ج). أي أن ج > ق دك

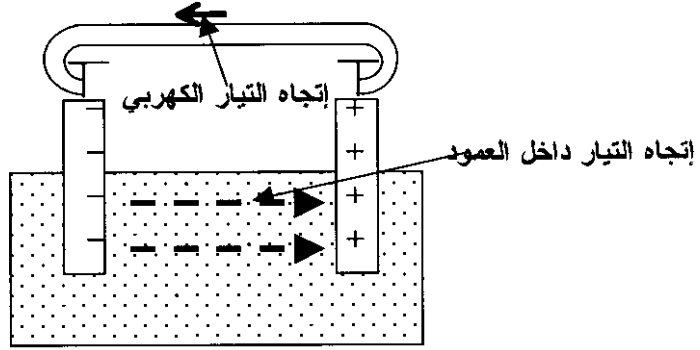
(3-3-3) التيار الكهربى وشدته :

عند توصيل القطبين الموجب والسالب بموصل فإن سيلاً من الالكترونات الحرة يسري عبر هذا الموصل من القطب السالب للموجب ، ويسمى هذا التيار الذي يسري بالتيار الالكترونى (شكل (3-7)) .



الشكل (3-7) : التيار الالكترونى يسري من القطب السالب للقطب الموجب .

أما التيار الكهربى فقد اصطلح على أنه تيار الشحنات الموجبة الذي يسري من القطب الموجب للسالب (شكل (3-8)) وذلك بالرغم من أن التيار الذي يسري فعلياً في الموصلات هو التيار الالكترونى . وقد تم افتراض وجود التيار الكهربى (الموجب) ليتماشى مع قوانين المغنطيسية وكذلك الكهربائية الساكنة حيث تسري خطوط المجال الكهربى من الشحنة الموجبة للشحنة السالبة .



الشكل (3-8) : التيار الكهربى يسرى من القطب الموجب إلى القطب السالب .
إذا مرت كمية من الشحنة مقدارها (ش) خلال مقطع موصل معين في
زمن قدره (ن) ثانية فإن شدة التيار (ت) هي :

$$(12-3) \quad T = \frac{\text{كمية الشحنة}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{ش}}{\text{ن}}$$

أي أن شدة التيار (ت) تساوي كمية الشحنة المارة عبر مقطع
موصل معين في الثانية . وتقاس شدة التيار بوحدة تسمى أمبير نسبة للعالم "
أمبير " الذي أسهم في وضع قوانين الكهرباء .

الأمبير : هو كمية التيار عندما تمر شحنة مقدارها 1 كولوم في
الثانية الواحدة .

أي أن : 1 أمبير = 1 كولوم \ 1 ثانية

(3-4-4) فرق الجهد (ج) :

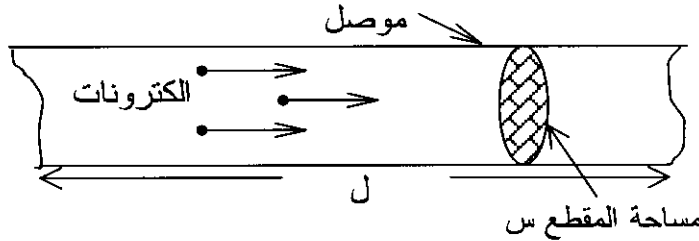
إذا كان هناك فرق في الجهد الكهربى بين طرفي موصل (مثلا عند
توصيل سلك بين طرفي بطارية) فإن التيار الكهربى يسرى من الطرف ذي
الجهد العالي إلى الطرف ذي الجهد المنخفض . ونرمز لفرق الجهد الكهربى
بالرمز (ج) .

وقد عرفنا فرق الجهد بين نقطتين عند دراستنا للكهربية الساكنة بأنه هو الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات الموجبة (أي 1 كولوم) بين النقطتين . ويقاس فرق الجهد الكهربى بوحدة تسمى الفولت نسبة للعالم فولتا . وكنا قد وجدنا في الفصل الثانى المعادلة (3-11) $\mathcal{E} = \mathcal{E} \times \mathcal{F}$. حيث : $\mathcal{E}$ = شدة المجال الكهربى (المعادلة (3-8) ، $\mathcal{F}$ = المسافة . وعليه نجد أن وحدة فرق الجهد (ج) هي نيوتن . م \text{ا} كولوم .

أي أن 1 فولت = $\frac{\text{نيوتن} \cdot \text{متر}}{\text{كولوم}}$ = جول\كولوم أي هو طاقة اشحنة

(3-3-5) المقاومة الكهربائية (م) :

إذا مر تيار عبر موصل نتيجة لوجود فرق في الجهد بين طرفي الموصل فإن الإلكترونات المارة تواجه مقاومة عند مرورها خلال ذرات الموصل حيث تعمل هذه الذرات على عرقلة مرور التيار بسبب اصطدام الإلكترونات بها .



وتسمى هذه المقاومة التي يبديها الموصل عند مرور التيار فيه بالمقاومة الكهربائية ونرمز لها بالرمز (م) .

وتزيد مقاومة الموصل م بزيادة طوله (ل) . أي أن :

$$M \propto L \quad (i)$$

كما تزيد مقاومة الموصل كلما قلت مساحة المقطع لأن زيادة مساحة المقطع تسمح بمرور إلكترونات أكثر . أي أن مقاومة الموصل تتناسب عكسياً مع مساحة المقطع (س) . أي أن :

وبجمع (أ) و (ب) نجد أن :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{l}{A} \quad (ب) \quad \frac{1}{\rho} = \frac{l}{A}$$

(13-3)

$$\rho = \frac{l}{A}$$

صورة
مقاومة
حقيقية

وتقاس المقاومة (م) بوحدة تسمى اوم نسبة للعالم اوم ونرمز لهذه الوحدة بالرمز Ω (تنطق أوميكا (الكبيرة)). ويسمى ثابت التناسب ρ (رو) بالمقاومة النوعية للموصل حيث أن المقاومة النوعية ρ = المقاومة م لموصل عندما يكون الطول = وحدة الطول (أي 1 م) والمساحة = وحدة المساحة (س = م²) . وبوضع ρ موضع القانون نجد أن :

$$\rho = \frac{\text{م س}}{\text{ل}} = \frac{\text{أوم} \cdot \text{متر}^2}{\text{متر}} = \text{أوم} \cdot \text{متر} = \Omega \cdot \text{م}$$

وتعتمد المقاومة النوعية على نوع المادة المصنوع منها الموصل. فمثلا تساوي المقاومة النوعية للنحاس 1.7×10^{-8} أوم . متر، بينما تساوي المقاومة النوعية للفضة 1.6×10^{-8} أوم . متر . أما المقاومة النوعية للألمونيوم فتساوي 2.8×10^{-8} أوم . متر . أي أن الفضة موصل أفضل من النحاس لأن مقاومتها النوعية أقل ولكنها أغلى من النحاس ولذلك يستعمل النحاس ، كما أن النحاس أفضل من الألمونيوم .

(3-4-6) قانون أوم :

شدة التيار (ت) المار عبر موصل تزيد بزيادة فرق الجهد بين طرفي الموصل (ج) .

أي : $\propto$ ج ت

(3-14)

∴ ج م × ت
حيث ثابت التناسب م = مقاومة الموصل

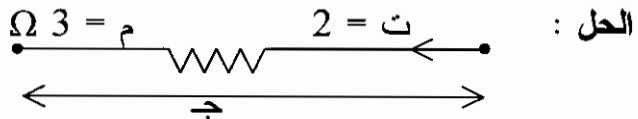
مثال (3-8) : جد شدة التيار المار عبر موصل إذا كان يدخل فيه 10^{21} الكترون كل 4 ثوان ، علماً بأن شحنة الالكترون تساوي 1.6×10^{-19} كولوم

الحل :
ت = شدة التيار = $\frac{\text{الشحنة الكلية}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{عدد الالكترونات} \times \text{شحنة الالكترون}}{\text{الزمن}}$

$$40 \text{ أمبير} = \frac{160}{4} = \frac{10^{21} \times 1.6 \times 10^{-19}}{4}$$

مثال (3-9) :

يسري تيار شدته 2 أمبير في موصل مقاومته 3Ω . أحسب فرق الجهد بين طرفي الموصل .



من قانون اوم : ج م × ت = $2 \times 3 = 6$ فولت

مثال (3-10) :

المقاومة النوعية للنحاس = $1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{م}$. أحسب مقاومة سلك طوله 10 م ومساحة مقطعه 10^{-7} متر² .

الحل :

$$\rho = 1.72 \times 10^{-8} \text{ س} = 10^{-7} \text{ متر}^2$$

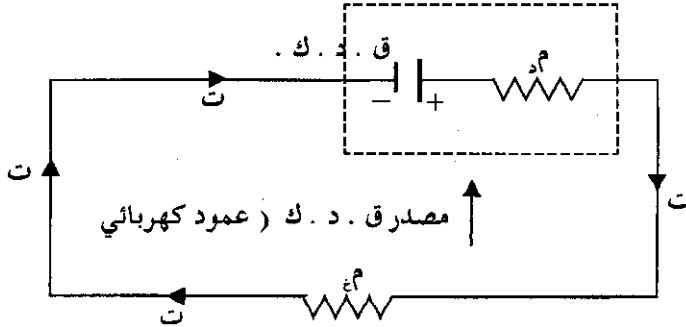
$$l = 10 \text{ متر}$$

$$R = \frac{\rho \times l}{S} = \frac{1.72 \times 10^{-8} \times 10}{10^{-7}} = 1.72 \Omega$$

$$R = 1.72 \Omega$$

(7-3-3) قانون أوم للدائرة الكاملة :

يسري التيار الكهربائي في موصل عند توصيله بمصدر كهربائي ويحدث فرقاً في الجهد بين طرفي الموصل . وتمثل حجرة البطارية التي تستخدم في تشغيل أجهزة الراديو والمصابيح أحد أنواع الأعمدة الكهربائية التي يعطي العمود الواحد منها فرقاً في الجهد قدره 1.5 فولت . وعندما نوصل قطبي عمود كهربائي بموصل يسري تيار كهربائي عبر الموصل من القطب الموجب إلى القطب السالب خارج العمود الكهربائي ، بينما يسري التيار الكهربائي داخل العمود من القطب السالب إلى القطب الموجب ويواجه التيار مقاومة داخل العمود تسمى بالمقاومة الداخلية للعمود ونرمز لها بالرمز (م د) . ويمكن رسم الدائرة الكهربائية لهذا العمود كما في شكل (9-3) .



الشكل (9-3) : دائرة أوم الكاملة .

حيث تمثل (ق . د . ك .) القوة الدافعة الكهربائية للعمود الكهربائي بينما تمثل (م د) المقاومة الداخلية . أما مقاومة الموصل والتي تسمى بالمقاومة الخارجية

فنرمز لها بالرمز (مخ) . وتسمى الدائرة المبينة في الشكل (3-9) والتي تحوي مصدراً كهربياً ومقاومات بدائرة أوم الكاملة . وتكون القوة الدافعة الكهربائية (ق.د.ك.) مساوية لمجموع فروق الجهد في المقاومة الخارجية والداخلية معاً . أي أن :

$$(ق.د.ك.) = ج.د + ج.خ = م.د + م.خ$$

$$(15-3) \quad (ق.د.ك.) = (م.د + مخ) \times ت$$

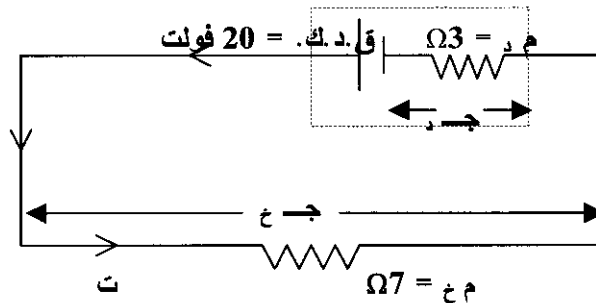
ويسمى هذا القانون بقانون أوم للدائرة الكاملة ، ويكون فرق الجهد بين طرفي البطارية (ج) على النحو التالي :

$$(16-3) \quad ج = (ق.د.ك.) - م.د \times ت$$

أي أن فرق الجهد بين طرفي البطارية أقل من (ق.د.ك.) للبطارية لأن المقاومة الداخلية تستنزف طاقة فتكون فرقاً في الجهد مقداره :

$$(ج.د = م.د \times ت)$$

مثال (3-11) : وصلت بطارية قوتها الدافعة 20 فولت ومقاومتها الداخلية 3 Ω مع مقاومة قدرها 7 Ω . أحسب التيار المار في الدائرة وفرق الجهد عبر المقاومة الخارجية . وفرق الجهد بين طرفي البطارية .
الحل :



من قانون اوم $ج = ت \times م$ أو $ق.د.ك. = ت \times م$
حيث المقاومة الكلية $م = م.د + م.خ$ (المقاومة الخارجية + المقاومة الداخلية للبطارية).

$$\text{شدة التيار} = ت = \frac{(ق.د.ك.)}{م_د + م_غ} = \frac{20}{7 + 3} = \frac{20}{10} = 2 \text{ أمبير}$$

$$ج_غ = \text{فرق الجهد بين طرفي المقاومة الخارجية} = م_غ \times ت = 7 \times 2 = 14 \text{ فولت}$$

فرق الجهد ج_د بين طرفي البطارية هو ق.د.ك. مطروحا منه فرق الجهد ج_غ بين طرفي المقاومة الداخلية للبطارية م_د

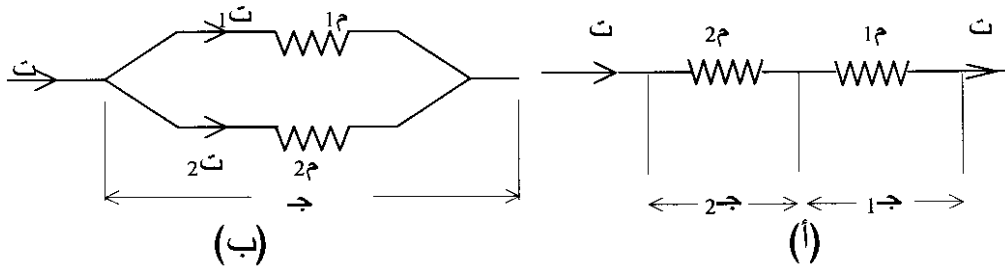
$$ج_د = (ق.د.ك.) - ج_غ = 20 - 14 = 6 \text{ فولت}$$

$$ج_د = م_د \times ت = 3 \times 2 = 6 \text{ فولت}$$

(8-3-3) طرق توصيل المقاومات :

كما عرفنا في مقررات العلوم الهندسية فإن المقاومات توصل مع بعضها بطريقتين هما :

(أ) التوصيل على التوالي . (ب) التوصيل على التوازي .



الشكل (10-3) : مقاومات موصلة على التوالي (أ) وعلى التوازي (ب) .

(أ) توصيل المقاومات على التوالي (شكل 10-3) (أ)

نفس التيار ت يمر في المقاومتين $ت_1 = ت_2 = ت$

فرق الجهد الكلي للمقاومتين $ج = ج_1 + ج_2$

$$ج = ت \times (م_1 + م_2)$$

قانون اوم : $ج = ت \times م$

إذا المقاومة المكافئة (م) للمقاومتين $م_1$ و $م_2$ هي : $م = م_1 + م_2$

إذا في حالة التوصيل على التوالي: $م = م_1 + م_2$ ؛ $ج = ج_1 + ج_2$ ؛ $ت_1 = ت_2 = ت$

(17-3)

ب) توصيل المقاومات على التوازي (شكل (3-10) (ب))

من الشكل نجد أن فرق الجهد الكلي $\mathcal{E}$ هو نفسه فرق الجهد بين طرفي كل من المقاومتين. أي : $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$ من الشكل أيضا نجد أن التيار ينقسم الى قسمين أي : $\mathcal{I} = \mathcal{I}_1 + \mathcal{I}_2$ وعليه : $\mathcal{E} = \mathcal{I} \times \mathcal{R} = \mathcal{I}_1 \times \mathcal{R}_1 = \mathcal{I}_2 \times \mathcal{R}_2$ أي أن : $\mathcal{I} = \mathcal{I}_1 + \mathcal{I}_2$ ، $\mathcal{I}_1 \times \mathcal{R}_1 = \mathcal{I}_2 \times \mathcal{R}_2$ ، $\mathcal{I}_1 = \mathcal{I} \times \frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2}$ ، $\mathcal{I}_2 = \mathcal{I} \times \frac{\mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2}$ وبما أن : $\mathcal{I} = \mathcal{I}_1 + \mathcal{I}_2$ إذا : $\mathcal{I} = \mathcal{I}_1 + \mathcal{I}_2$ أي :

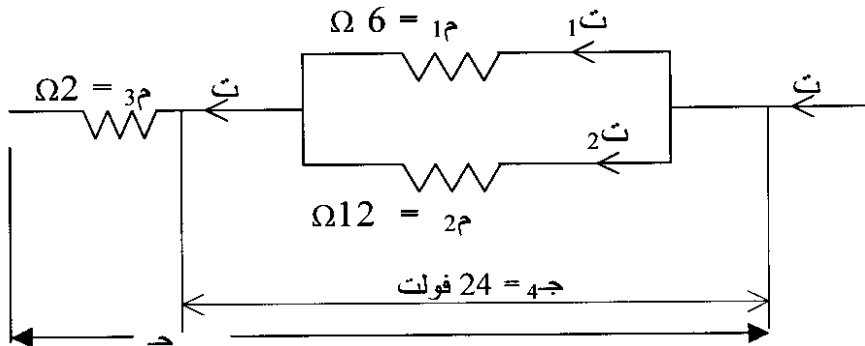
في حالة التوصيل على التوازي وبقسمة الطرفين على $\mathcal{E}$:

$$(18-3) \quad \frac{1}{\mathcal{R}} = \frac{1}{\mathcal{R}_1} + \frac{1}{\mathcal{R}_2} + \dots$$

$$\mathcal{I}_1 = \mathcal{I} \times \frac{\mathcal{R}_2}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2} , \quad \mathcal{I}_2 = \mathcal{I} \times \frac{\mathcal{R}_1}{\mathcal{R}_1 + \mathcal{R}_2}$$

مثال (3-12) : وصلت المقاومتان 6Ω و 12Ω على التوازي ثم وصلت المقاومة التي مقدارها 2Ω على التوالي معهما، فإذا كان فرق الجهد عبر المقاومتين 6Ω و 12Ω يساوي 24 فولت . أرسم الشكل ثم أحسب :

- (1) المقاومة الكلية .
- (2) التيار المار في كل مقاومة .
- (3) التيار الكلي .
- (4) فرق الجهد بين طرفي المقاومة 2Ω أوم .
- (5) فرق الجهد الكلي .



إيجاد المقاومة الكلية :

1م و 2م موصلتان على التوازي . أفرض مقاومتهما الكلية تساوي 4م :

$$\frac{1}{4} = \frac{3}{12} = \frac{1+2}{12} = \frac{1}{12} + \frac{1}{6} = \frac{1}{2م} + \frac{1}{1م} = \frac{1}{4م}$$

$$\therefore 4م = 4م \text{ أوم} .$$

وبما أن 4م و 3م موصلتان على التوالي فإن :
المقاومة الكلية م = 3م + 4م = 2 + 4 = 6 أوم

$$\text{تيار 1م} = \text{ت1} = \frac{4م}{1م} = \frac{24}{6} = 4 \text{ أمبير}$$

$$\text{تيار 2م} = \text{ت2} = \frac{4م}{2م} = \frac{24}{12} = 2 \text{ أمبير}$$

ت = التيار الكلي = ت1 + ت2 = 4 + 2 = 6 أمبير
فرق جهد 3م = ت × 3م = 2 × 6 = 12 فولت .
فرق الجهد الكلي = م × ت = 6 × 6 = 36 فولت
أيضاً : ج = ج4 + ج3 = 24 + 12 = 36 فولت

(3-3-10): توصيل الأعمدة الكهربائية على التوالي وعلى التوالي :

يمكن توصيل عدد من الأعمدة الكهربائية (حجارة البطارية أو البطاريات) معا إما للحصول على قوة دافعة كهربية (ق.د.ك.) عالية وبالتالي توصل الأعمدة على التوالي أو للحصول على تيار عال وفي هذه الحالة توصل الأعمدة على التوازي.

أ (توصيل الأعمدة على التوالي :



الشكل (3-11) : توصيل الأعمدة الكهربائية على التوالي .

في شكل (3-11) ثلاثة أعمدة كهربية قوتها الدافعة الكهربائية 1ق ، 2ق ، 3ق موصلة على التوالي. القوى الدافعة الكهربائية للأعمدة قد تكون غير متساوية. القوة الدافعة الكهربائية المكافئة

$$ق = 1ق + 2ق + 3ق \quad (3-19)$$

ويكون هناك تيار واحد في الدائرة هو I يمر خلال كل الأعمدة. أي أن توصيل الأعمدة على التوالي يشبه توصيل المقاومات على التوالي مع ملاحظة أن المقاومات الداخلية لهذه الأعمدة موصلة فعلا على التوالي. أما إذا كان أحد الأعمدة في الشكل السابق معكوس مثلا I_2 فإن:

$$I = I_1 - I_2 + I_3 \quad (20-3)$$

ويكون اتجاه التيار من الاتجاه الموجب لمحصلة القوة الدافعة الكهربائية. أي يمكن مضاعفة I د.ك. عدة مرات بالتوصيل على التوالي وكمثال لذلك بطاريات السيارات حيث توجد في داخل البطارية 6 أعمدة كهربية القوة الدافعة الكهربائية لكل عمود 2 فولت موصلة على التوالي فتصبح القوة الدافعة الكهربائية للبطارية 12 فولت. أما في حالة البطارية 24 فولت فيوصل 12 عمود على التوالي.

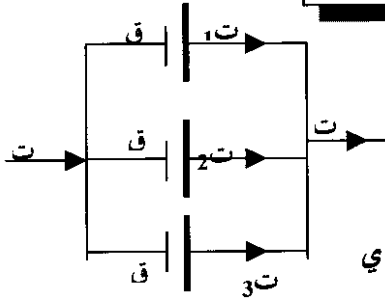
(ب) توصيل الأعمدة على التوازي:

توصل الأعمدة كما في شكل (3-12) ، الأقطاب الموجبة معا والسالبة معا. سنفترض أن I د.ك. لكل الأعمدة متساوية I وبالتالي تصبح:

القوة الدافعة الكهربائية المكافئة $E =$

أما التيار $I = I_1 + I_2 + I_3$

(21-3)



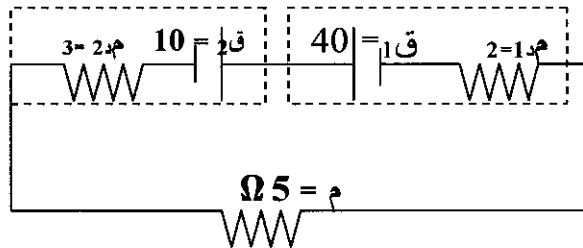
الشكل (3-12) توصيل الأعمدة على التوازي

أي أن التيار يتضاعف بعدد الأعمدة ولكن القوة الدافعة الكهربائية الكلية تساوي E د.ك. للعمود الواحد. لاحظ أن المقاومات الداخلية لهذه الأعمدة موصلة على التوازي ولذلك تكون المقاومة الداخلية المكافئة للأعمدة أقل من مقاومة العمود الواحد.

إذا فحصت بطارية سيارة ستجد أنه بالإضافة الى توصيل أعمدة البطارية على التوالي لمضاعفة E د.ك. فإن داخل كل عمود توجد مجموعة من الخلايا موصلة على التوازي لمضاعفة التيار. فعدد الخلايا الموصلة على التوازي في بطارية شدة تيارها 50 أمبير أقل من تلك الموصلة في حالة بطارية تيارها 70 أمبير ، فشدة التيار في بطاريات السيارات تتوقف على عدد الخلايا الموصلة على التوازي في داخل الأعمدة في البطارية.

تمرين (3-2)

- (1) ما الفرق بين التيار الكهربائي والتيار الإلكتروني ؟
- (2) وصلت مقاومتان مقدارهما 3 أوم و 5 أوم على التوالي . فإذا كان فرق الجهد الكلي = 16 فولت . فجد التيار المار وفرق جهد كل مقاومة.
[ت = 2 أمبير ؛ ج₁ = 6 فولت ؛ ج₂ = 10 فولت]
- (3) وصلت بطارية قوتها الدافعة الكهربائية 30 فولت ومقاومتها الداخلية 3 أوم مع مقاومة قدرها 12 أوم . جد شدة التيار المار في الدائرة وفرق الجهد عبر المقاومة الخارجية وفرق الجهد بين طرفي البطارية.
[ت = 2 أمبير ؛ ج₁ = 24 فولت ؛ ج₂ = 24 فولت]
- (4) وصلت مقاومتان مقدارهما 20 أوم و 5 أوم على التوازي ، ثم وصلت مقاومة أخرى مقدارها 6 أوم على التوالي معهما . فإذا كان فرق الجهد الكلي يساوي 20 فولت فجد شدة التيار وفرق الجهد في كل مقاومة.
[م = 10 Ω ؛ ت = 2 أمبير ؛ ج₁ = 8 فولت ؛ ج₂ = 12 فولت]
- (5) وصلت مقاومتان مقدارهما 3 أوم و 6 أوم على التوازي ثم وصلت المقاومتان مع بطارية قوتها الدافعة 8 فولت ومقاومتها الداخلية 2 أوم . جد شدة التيار في الدائرة وفي كل مقاومة وكذلك فرق الجهد بين طرفي البطارية .
- (6) مرّ عدد من الإلكترونات قدرها 10^{20} الكترون عبر مقطع معين لموصل في زمن قدره 8 ثانية . فإذا كانت شحنة الإلكترون هي 1.6×10^{-19} كولوم احسب شدة التيار . [ت = 2 أمبير]
- (7) أحسب مقاومة سلك من النحاس طوله 100 متر ومساحة مقطعه 2 سم² علماً بأن المقاومة النوعية للنحاس تساوي 1.7×10^{-8} أوم.متر .
(في الدائرة المبينة أدناه جد شدة التيار وفرق الجهد بين طرفي كل بطارية بما فيها مقاومتها الداخلية .
[ت = 3 أمبير ، ج₁ = 34 فولت ، ج₂ = 19 فولت]



(3-4) الفصل الرابع

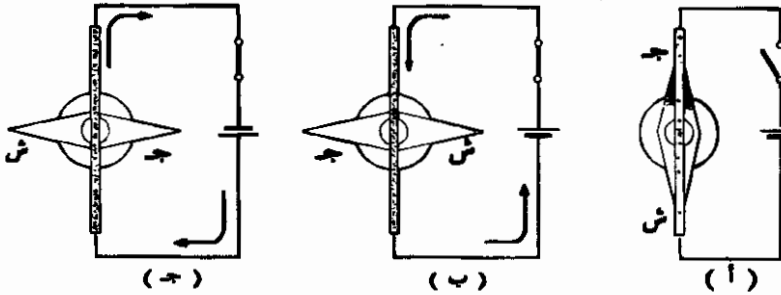
المجال المغنطيسي للتيار الكهربى

(3-4-1) مقدمة :

إذا وصلت مروحة بتيار كهربى فستلاحظ أن المروحة بدأت في الدوران لتحرك الهواء الذي حولها . وتحدث نفس الظاهرة عند بداية تشغيل محرك العربة فعندما يدير السائق المفتاح لتشغيل السيارة فإن التيار الكهربى يسري لمبتدئ الحركة (الاستارت) الذي يقوم بدوره بتشغيل محرك السيارة . فما الذى يجعل المروحة تدور والمحرك يدور ؟ الإجابة على هذا السؤال تكمن في اكتشاف العالم " أورستد " أستاذ الفيزياء بجامعة كوبنهاجن سنة 1819.

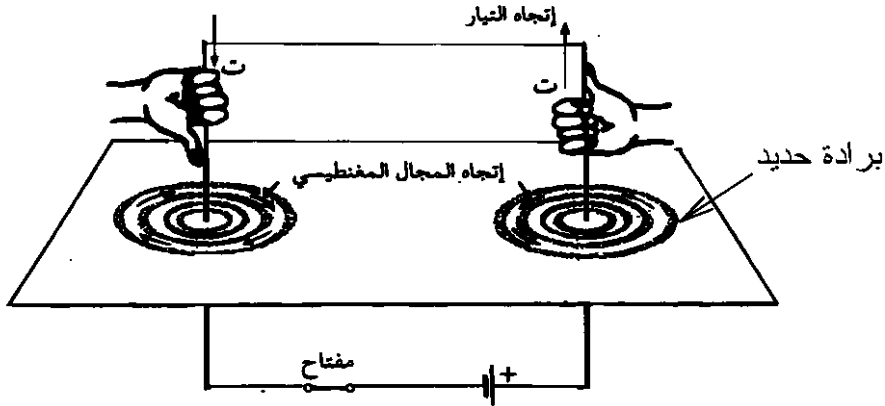
(3-4-2) المجال المغنطيسى للتيار الكهربى :

اكتشف العالم " أورستد " عن طريق الصدفة أن الإبرة المغنطيسية تنحرف وتستقر في وضع عمودي على سلك عند مرور تيار كهربى فيه مما يدل على تولد مجال مغنطيسى حول السلك عند مرور التيار الكهربى في السلك (شكل (3-13)) .



- الشكل (3-13): (أ) الأبرة المغنطيسية تظل ثابتة في حالة عدم وجود تيار .
 (ب) وتنحرف عموديا عند مرور التيار .
 (ج) وتنعكس أقطابها عند عكس التيار .

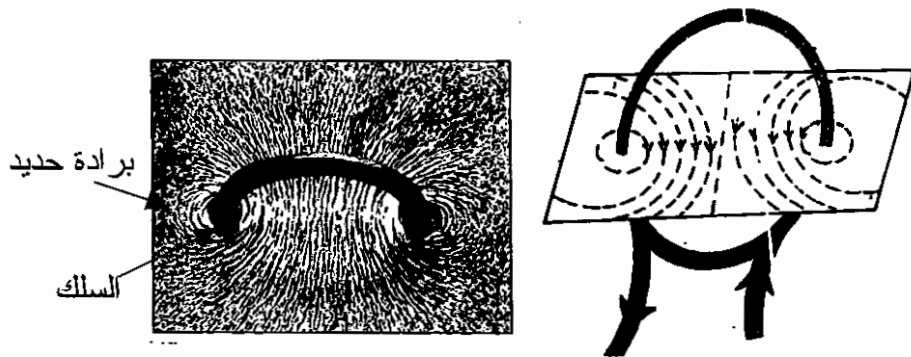
ويمكن معرفة شكل خطوط القوة المغناطيسية عند نثر برادة الحديد حول السلك على ورق مقوى يخترقه السلك عمودياً كما في شكل (3-14) ، حيث نجد أن خطوط القوة المغناطيسية تكون في شكل دوائر متحدة المركز ومركزها هو السلك نفسه . ويمكن معرفة اتجاه خطوط القوى المغناطيسية بوضع إبرة مغناطيسية بالقرب من السلك فيكون اتجاه خطوط القوة المغناطيسية هو نفس اتجاه (القطب الشمالي) للإبرة (شكل (3-13)) ب ، ج .



الشكل (3-14) : المجال المغناطيسي لسلك مستقيم وقاعدة اليد اليمنى .

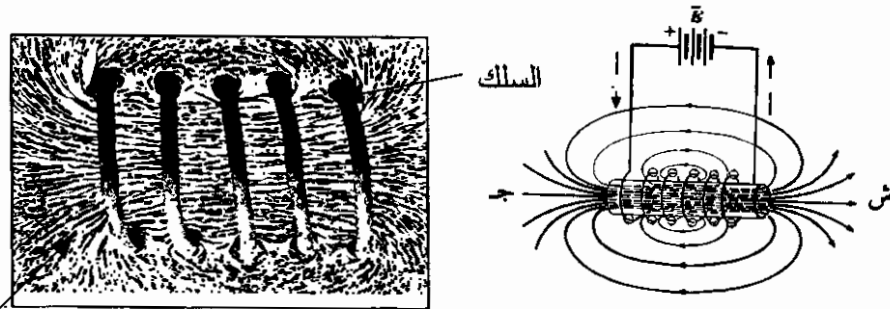
وتستخدم قاعدة اليد اليمنى " لأمبير " لمعرفة اتجاه خطوط القوى المغناطيسية المتولدة من سلك يحمل تياراً كهربياً . وحسب هذه القاعدة فإننا إذا قبضنا على السلك باليد اليمنى بحيث يشير الإبهام لاتجاه التيار الكهربى ستشير باقي الأصابع لاتجاه خطوط القوة المغناطيسية (شكل (3-14)) .

وتكون خطوط القوة في السلك المستقيم في شكل دوائر كما بيئنا من قبل . أما في حالة سلك دائري أو ملف (شكل (3-15)) فإن خطوط القوة المغناطيسية (الفيض) تكون مستقيمة عند مركز دائرة السلك أو محور الملف الدائري وتصبح في شكل خطوط منحنية يزيد انحنائها تدريجياً كلما ابتعدنا عن محور الملف لتصبح في شكل حلقة مغلقة قرب السلك كما في شكل (3-15) .



الشكل (3-15) : المجال المغنطيسي لسلك دائري .

أما خطوط القوة المغنطيسية الناتجة عن تيار يمر في ملف لولبي (شكل (3-16)) (الذي يكون ملفوفاً في شكل لولب كما بالرسم وهذا النوع من الملفات هو الموجود فعلياً في الدوائر الكهربائية والالكترونية) فيكون اتجاهه داخل الملف في اتجاه محور الملف بينما خارج الملف يشبه المجال المغنطيسي للقضيب المغنطيسي .



الشكل (3-16) : المجال المغنطيسي لملف لولبي .

وتتوقف كثافة خطوط القوة المغنطيسية (أي كثافة الفيض المغنطيسي) "ب" على شدة التيار (ت) حيث تزيد كثافة الفيض بزيادة شدة التيار (ت) في كل الحالات والعكس صحيح . أي أن :

ب $\propto$ ت

غير أن كثافة الفيض تتوقف أيضا على عوامل أخرى حسب شكل السلك الذي يمر فيه التيار . ففي حالة السلك المستقيم تقل كثافة الفيض كلما ابتعدنا عن السلك. أي كلما زادت المسافة (ف) بين السلك والنقطة التي نريد حساب شدة المجال عندها تقل كثافة الفيض . مما يعني أن (ب) تتناسب عكسياً مع (ف) .

$$ب \propto \frac{1}{ف}$$

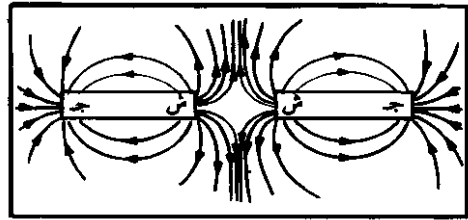
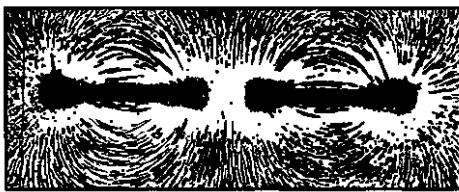
كما تعتمد كثافة الفيض (ب) على النفاذية المغناطيسية μ (ميو) عبر العلاقة :

$$ب = \frac{\mu}{\pi 2 ف} ت \quad (22-3)$$

وكما عرفنا سابقاً يقاس الفيض بوحدة وبر (Weber) بينما تقاس كثافة الفيض بوحدة تسلا (Tesla) وهي تساوي وبر / متر² .

(3-4-3) القوة المؤثرة على سلك يحمل تياراً في مجال مغناطيسي :

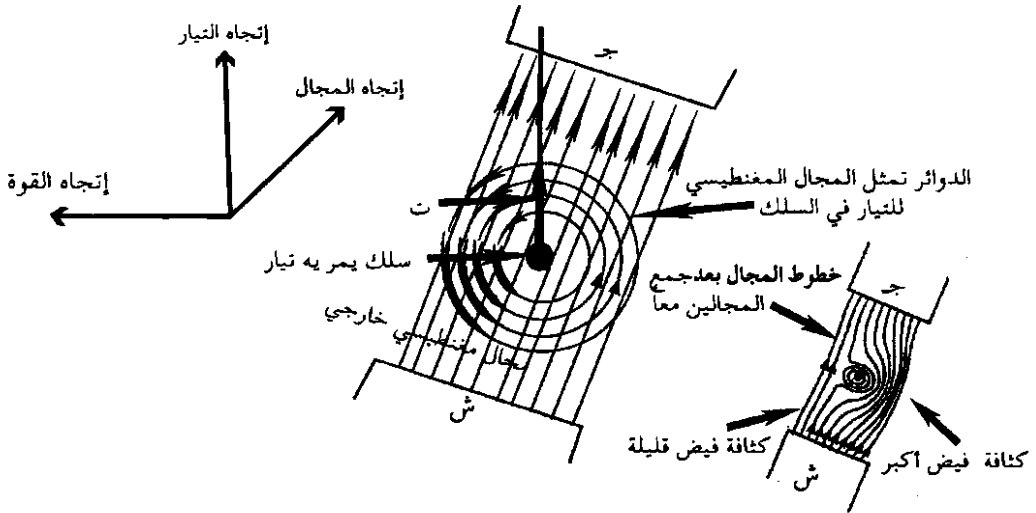
إذا وضعنا قطبين شماليين لمغناطيسين بجوار بعضهما فإنهما يتنافران ويتبعدان عن بعضهما إلى أن يصبح المغناطيسان في منطقة خالية من المجالات (شكل (3-17)) .



الشكل (3-17) : المغناطيسان يتنافران عندما تكون كثافة الفيض عالية ويتحركان مبتعدين عن بعضهما .

وهذا يعني أن المغناطيسين يتحركان من المنطقة ذات كثافة الفيض العالية إلى المنطقة ذات الكثافة المنخفضة. وهذا ما يحدث في حالة مرور تيار في سلك.

إذا وضعنا سلكاً يحمل تياراً في مجال مغنطيسي لمغنطيس قوي فإن هذا التيار سيولد مجالاً مغنطيسياً في شكل دوائر متحدة المحور حول السلك كما في شكل (3-18) . وتكون خطوط مجال السلك في نفس اتجاه خطوط المجال المغنطيسي للمغنطيس في جانب (هنا الجانب الأيمن من الرسم) مما يزيد كثافة الخطوط (أي يزيد المجال المغنطيسي) في هذا الجانب . بينما تكون خطوط مجال السلك في عكس اتجاه خطوط المجال المغنطيسي للمغنطيس في الجانب الآخر مما يجعل الفيض المغنطيسي للسلك يضعف الفيض المغنطيسي للمغنطيس في هذا الجانب فيتحرك السلك من المنطقة التي كثافة فيضها عالية إلى المنطقة التي كثافة فيضها منخفضة وهذه الحركة تدل على أن المجال المغنطيسي قد أثر بقوة على السلك . ويمكن معرفة اتجاه هذه القوة بتطبيق قاعدة " فلمنج " لليد اليسرى (شكل (3-19)) . والتي وضعها العالم " فلمنج " وهي تنص على أن اتجاه القوة المؤثرة على السلك يمكن معرفتها بفرد أصابع اليد اليسرى بحيث تكون الإبهام والسبابة والوسطى متعامدة في حين تشير السبابة إلى اتجاه المجال ويشير الوسطى إلى اتجاه التيار فإن الإبهام سيشير إلى اتجاه القوة المؤثرة على السلك وبالتالي لاتجاه حركة السلك .



الشكل (3-18) : السلك يتحرك من المنطقة ذات كثافة الفيض العالية إلى المنطقة ذات الكثافة المنخفضة .



الشكل (3-19) : قاعدة فلمنج لليد اليسرى :المجال والتيار والقوة متعامدة مع بعضها. يمثل السبابة المجال والوسطى التيار والإبهام القوة.

أما مقدار القوة المؤثرة على السلك (ق) فهي تزيد بزيادة كثافة الفيض المغنطيسي (ب) كما تزيد بزيادة تيار الموصل (ت) وطوله (ل) . لأن زيادة (ب ، ت ، ل) تزيد كثافة خطوط القوة في الجانب الذي فيه اتجاه الخطوط هو نفس اتجاه المجال المغنطيسي للمغنطيس وتقلله بصورة كبيرة في الجانب الآخر الذي فيه اتجاه الخطوط عكس اتجاه المجال المغنطيسي للمغنطيس مما يزيد القوة المؤثرة على السلك أي أن :

(23-3)

$$ق = ب \times ل \times ت$$

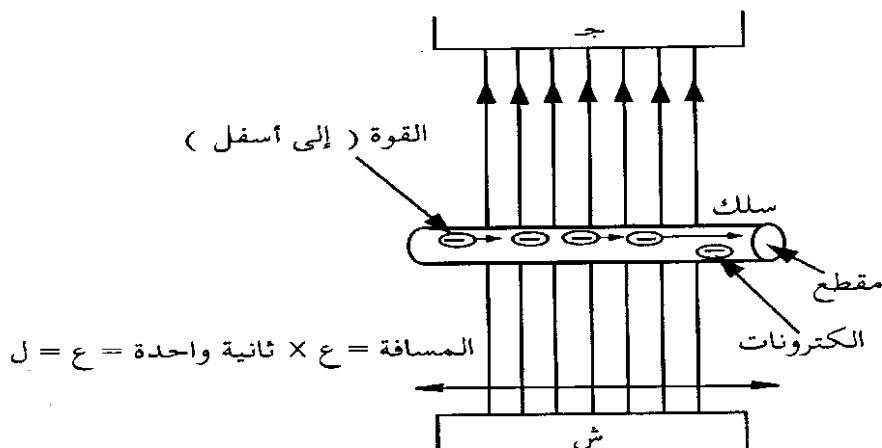
ويمكنك أيها الطالب إجراء التجربة السابقة بنفسك إذا كان عندك مغنطيسان (أو مغنطيس يشبه حدوة الفرس) وبطارية وسلك بحيث يكون اتجاه المجال عمودياً على السلك . فإذا وصلت البطارية بالسلك فستجده يتحرك في نفس الاتجاه المحدد بواسطة قاعدة " فلمنج " لليد اليسرى .

لقد تمت الاستفادة من وجود القوة المتولدة في سلك يحمل تياراً في تصميم المحركات الكهربائية والتي تدور بمرور التيار الكهربائي فيها والتي درستها في العلوم الهندسية .

(3-4-4) القوة المؤثرة على شحنة متحركة في مجال مغنطيسي :

عرفنا مما سبق أن المجال المغنطيسي يؤثر على سلك يحمل تياراً بقوة عمودية على اتجاه المجال والتيار . وهذا التيار هو في حقيقته تيار الكتروني

عبارة عن سيل من الالكترونات المشحونة بشحنة سالبة . ويمكن حساب القوة المؤثرة على الكترون واحد مشحون بشحنة مقدارها (ش) باستخدام قانون القوة المؤثرة على سلك في المعادلة (3-23) .



الشكل (3-20) : القوة المؤثرة على شحنة متحركة .
 فإذا كان الالكترون يتحرك بسرعة (ع) في الموصل فإن طول السلك (ل) الذي يقطعه الالكترون في الثانية الواحدة يساوي (ع) شكل (3-20) .
 أي أن :

$$ل = ع \text{ متر في ثانية}$$

فإذا كان عدد الالكترونات الحرة الموجودة في السلك يساوي (عد) فإن شدة التيار (ت) تساوي :

$$\begin{aligned} \text{ت} &= \text{مقدار الشحنة المارة عبر مقطع السلك في الثانية} \\ &= \text{شحنة الالكترون الواحد} \times \text{عدد الالكترونات المارة في ثانية} \\ &= ش \times \text{عد} \\ \text{ت} &= ش \times \text{عد} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{القوة المؤثرة على السلك} = ق = ب \times ل \times \text{ت}$$

$$\text{وبما أن } ل = ع , \text{ ت} = ش \times \text{عد}$$

$$\therefore ق = ب \times ع \times ش \times \text{عد}$$

ولكن القوة المؤثرة على عدد من الالكترونات = القوة المؤثرة على السلك
 $= ب \times ع \times ش \times \text{عد}$

∴ القوة المؤثرة على الكترون واحد = $\frac{\text{القوة المؤثرة على كل الالكترونات}}{\text{عدد الالكترونات}}$

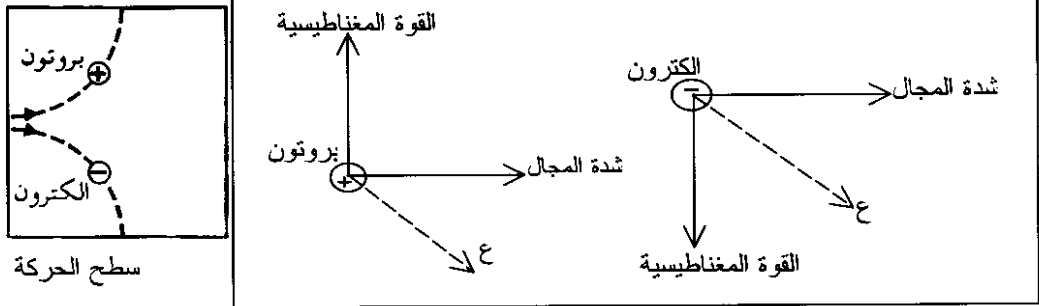
$$= \frac{\text{ب} \times \text{ع} \times \text{ش} \times \text{عد}}{\text{عد}} = \text{ب} \times \text{ع} \times \text{ش}$$

وهذا يعني أن القوة المؤثرة على جسيم واحد مشحون بشحنه ش هي:

(24-3)

$$\boxed{\text{ق} = \text{ب} \times \text{ع} \times \text{ش}}$$

حيث ب - كثافة الفيض المغناطيسي ؛ ع - سرعة الجسيم ؛ ش - شحنة الجسيم وهذه قاعدة عامة حيث يمكن أن يكون هذا الجسيم إلكترون في سلك أو في الفراغ أو بروتون أو أي جسم آخر له شحنة يمر في مجال مغناطيسي. واضح أن هذه القوة تكون موجبة أو سالبة (في الإتجاه المعاكس) حسب شحنة الجسيم.



(ب)

(أ)

الشكل (21-3)

شكل (21-3) (أ) يوضح اتجاه شدة المجال والسرعة والقوة (المتعامدة على بعضها) في حالتي الكترون (سالبة الشحنة) وبروتون (موجب الشحنة) حسب المعادلة (24-3). ولأن الشحنتين مختلفتين فنجد أن اتجاه القوة المغناطيسية على الالكترونات في عكس اتجاه القوة على البروتونات. هذه القوة تؤثر على كل من الشحنتين بحيث تنحرف أثناء حركتها في المجال المغناطيسي لتسير في مسار منحن كما في الشكل (21-3) (ب).

أمثلة محلولة

مثال (3-13) :

سلك مستقيم طوله 50 سم يمر به تيار شدته 8 أمبير وضع في مجال كثافة فيضه 2 وبر \متر² . أحسب القوة المؤثرة على السلك ؟
الحل :

$$ل = 50 \text{ سم} = 0.5 \text{ متر}$$

$$ت = 8 \text{ أمبير}$$

$$ب = 2 \text{ وبر \متر}^2$$

$$ق = ب ت ل = 0.5 \times 8 \times 2 = 8 \text{ نيوتن .}$$

مثال (3-14) :

أحسب كثافة الفيض المغنطيسي عند نقطة تبعد 5 سم عن سلك مستقيم يمر به تيار شدته 5 أمبير علماً بأن : $\mu = 4 \times \pi \times 10^{-7}$ وبر \أمبير. متر
الحل :

$$ت = 5 \text{ أمبير} , \mu = 4 \times \pi \times 10^{-7} \text{ وبر \أمبير متر}$$

$$ف = 5 \times 10^{-2} \text{ متر}$$

$$ب = \frac{\mu ت}{\pi ف} = \frac{4 \times \pi \times 10^{-7} \times 5}{2 \times 10 \times 5 \times \pi} = 2 \times 10^{-5} \text{ تسلا .}$$

مثال (3-15) :

أحسب القوة المؤثرة على سلك طوله 1 متر عند وضعه على بعد 5 سم من السلك المذكور في المثال (3-14) إذا كان التيار المار في السلك يساوي 50 أمبير.
الحل :

$$ل = 1 \text{ متر}$$

$$ت = 50 \text{ أمبير}$$

$$ب = 2 \times 10^{-5} \text{ وبر \متر}$$

$$ق = ب ل ت = 2 \times 10^{-5} \times 1 \times 50 = 10^{-3} \text{ نيوتن .}$$

$$= 100 \times 10^{-5} = 10^{-3} \text{ نيوتن .}$$

مثال (3-16) :

جد القوة المؤثرة على الكترون شحنته $10 \times 1.6 \times 10^{-19}$ كولوم إذا سار بسرعة 10^6 متر \ث في مجال مغنطيسي كثافة فيضه 10^{15} تسلا .
الحل :

$$\text{ب } 10^{15} \text{ تسلا ، ش } = 10 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ كولوم ، ع } = 10^6 \text{ متر\ث}$$

$$\text{ق } = \text{ب} \times \text{ش} \times \text{ع} = 10^{15} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^6 = 160 \text{ نيوتن}$$

تمرين (3-4)

- (1) عرّف الفيض المغنطيسي وكثافة الفيض ووحداتهما .
- (2) ما العوامل التي يتوقف عليها مقدار القوة التي يؤثر بها مجال مغنطيسي على شحنة متحركة ؟
- (3) اذكر خواص خطوط الفيض :
- (i) لسلك مستقيم . (ii) لملف دائري . (iii) لملف لولبي .
- (4) احسب كثافة الفيض الناتج من سلك مستقيم يحمل تياراً شدته 20 أمبير عند نقطة تبعد عنه 2 سم . $[2 \times 10^{-4} \text{ تسلا}]$
- (5) احسب كثافة الفيض الناتج عن سلك مستقيم يمر به تيار شدته 10 أمبير عند نقطة تبعد عنه 2 سم . وما القوة المؤثرة على سلك مستقيم موازٍ للأول وطوله 25 سم ، ويمر به تيار شدته 40 أمبير ويبعد 2 سم عن السلك الأول .

$$[10^{-4} \text{ تسلا ، } 10^{-3} \text{ نيوتن}]$$

- (6) سلك مستقيم طوله 30 سم ويحمل تياراً شدته 5 أمبير وضع في مجال مغنطيسي كثافة فيضه 2 وبر \م² . احسب القوة المؤثرة عليه .
[3 نيوتن]

- (7) بروتون شحنته $10 \times 1.6 \times 10^{-19}$ كولوم يسير بسرعة مقدارها 10×10^4 متر\ث في مجال شدته 10^{16} تسلا . جد القوة المؤثرة عليه .
[32 نيوتن]

(8) بين على ضوء مفهوم كثافة الفيض لماذا يتنافر القطبان المغنطيسيان المتشابهان؟ ولماذا يتجاذب القطبان المختلفان؟

(9) اشعة الكترونية تسير بسرعة 9×10^5 متر \(\text{ث}^{-1}\) في اتجاه عمودي على مجال مغنطيسي كثافة فيضيه 100 تسلا ، فإذا علمت أن شحنة الالكترون تساوي 1.6×10^{-19} وكتلته 9×10^{-31} كجم فاحسب القوة المؤثرة على الالكترون والعجلة التي يسير بها الالكترون.
[ق = 14.4×10^{12} نيوتن؛ ج = 1.6×10^{19} م\(\text{ث}^{-2}\)]

(10) جسم مشحون بشحنة سالبة ولج في مجال مغنطيسي كثافة فيضيه 1000 تسلا بسرعة 10^6 متر \(\text{ث}^{-1}\) فكانت القوة المؤثرة عليه 32×10^2 نيوتن. جد عدد الالكترونات في هذا الجسم .
[عد = 2×10^{13} الكترون]

الباب الرابع :

الذرة و الاتصالات

(1-4) الفصل الأول

الذرة

(1-1-4) مقدمة :

كان العلماء منذ قديم الزمان يعتبرون أن المادة تتكون من وحدات دقيقة تسمى بالذرات . وتجددت هذه النظرية على يد عالم الفيزياء " روبرت بويل " وعالم الكيمياء " لافوازييه " في القرنين السادس عشر والسابع عشر الميلاديين . وقد ورد اسم الذرة في القرآن الكريم أكثر من مرة مثلاً في سورة الزلزلة وفي سورة سبأ الآية (22) ﴿ قل ادعوا الذين زعمتم من دون الله لا يملكون مثقال ذرة في السموات ولا في الأرض ومالهم فيهما من شرك وما له منهم من ظهير ﴾ .

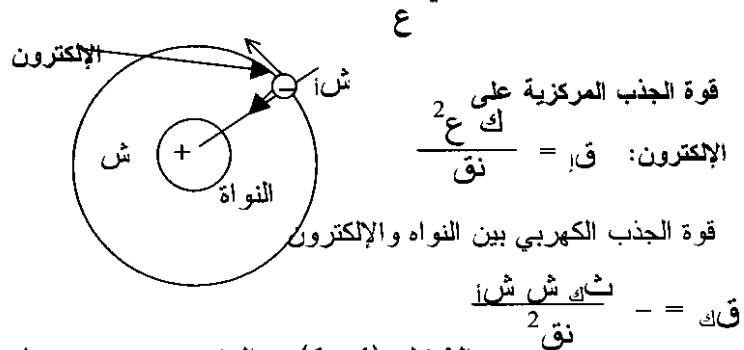
وقد نبه القرآن إلى وجود جسيمات أصغر من الذرة في قوله تعالى في سورة سبأ الآية (3) ﴿ وقال الذين كفروا لا تأتينا الساعة قل بلى وربي لتأتينكم عالم الغيب لا يعزب عنه مثقال ذرة في السموات ولا في الأرض ولا أصغر من ذلك ولا أكبر إلا في كتاب مبين ﴾ وورد كذلك في سورة يونس الآية (61) ﴿ وما تكون في شأن وما تتلوا منه من قرآن ولا تعملون من عمل إلا كنا عليكم شهوداً إذ تفيضون فيه وما يعزب عن ربك من مثقال ذرة في الأرض ولا في السماء ولا أصغر من ذلك ولا أكبر إلا في كتاب مبين ﴾ . وهذه الآيات تتحدث عن وجود جسيمات أصغر من الذرة في القرن السادس الميلادي بينما كان العلماء الأوربيون لا يعتقدون بوجود جسيمات أصغر من الذرة منذ بداية تطور العلوم في أوربا في القرن السادس عشر الميلادي حتى جاء القرن العشرون الميلادي عندما اكتشف العلماء الالكترونات والبروتونات . ذلك أنه رغم معرفة العلماء أن المادة تتكون من ذرات إلا أن تركيب الذرة نفسها ظل سراً غامضاً حتى مطلع القرن العشرين . حيث عرف العلماء أن كل ذرة بها (Z) الكترون وأن كتلة الالكترون ضئيلة جداً مقارنة مع كتلة الذرة .

وكان العلماء يعتقدون حينها بوجود شحنات موجبة تعادل شحنات الالكترونات السالبة بالذرة . ولكي يعرف العلماء كيف تترتب الالكترونات والشحنات الموجبة في الذرة فقد قام العالم " رذرفورد " عام 1911م بتسليط شعاع من جسيمات (ألفا) (جسيم ألفا هو نواة ذرة الهيليوم ويتكون من بروتونين ونيوترونين كما سنرى لاحقاً) على غشاء رقيق من الذهب .

وافترض "رذرفورد" من النتائج التي حصل عليها من انحراف جسيمات ألفا عند مرورها خلال الغشاء أن الذرة بها نواة ثقيلة تتمركز بها الشحنة الموجبة وذلك لتنافر جسيمات ألفا الموجبة مع هذه النواة . وتوجد خارج هذه النواة الإلكترونات . و باستخدام مقدار انحراف جسيمات ألفا عند مرورها قرب النواة قدر " رذرفورد " أن قطر الذرة حوالي 10^{-10} م بينما يبلغ قطر النواة حوالي 10^{-14} م . أي أن قطر الذرة 10000 مرة قدر قطر النواة . وقد واجهت " رذرفورد " مشكلة وضع الإلكترونات في الذرة . فلو افترض أن الإلكترونات ساكنة فسوف تجذبها النواة لتلتصق معها وهذا يناقض حقيقة أن قطر الذرة أكبر بكثير من قطر النواة . أما إذا افترض أن الإلكترونات تدور حول النواة فإن هذا يعني أن الإلكترونات أثناء حركتها تولد مجالا مغناطيسيا وكهربيا معا مما يعني انها ستشع موجات كهرومغناطيسية (كهربية مغناطيسية) حسب تنبؤات معادلات الموجات الكهرومغناطيسية . وهذا يعني أن الإلكترون سيفقد طاقة وسيؤدي الفقدان المستمر للطاقة إلى دوران الإلكترون في مسار حلزوني حتى يسقط على النواة وتنهار الذرة . وهذا يتناقض مع حقيقة أن الذرة مستقرة ولا تشع موجات في حالة الاستقرار . لذا كان نموذج " رذرفورد " في حاجة ماسة لتعديل يخرج منه هذا المأزق وهذا ما فعله " نيلز بوهر " .

(2-1-4) نموذج بوهر :

في عام 1913م تمكن العالم " نيلز بوهر (ينطق بور) " من وضع نموذج جديد للذرة اعتبر فيه الذرة مكونة من نواة موجبة تدور حولها الإلكترونات في مدارات معينة كما تدور الكواكب حول الشمس ، ويحتوي كل مدار على الكترونات ذات طاقة معينة . ويكون الإلكترون مستقراً ولا يشع أي طاقة عندما يكون في مستوى الطاقة المناسبة لذلك المدار .



الشكل (1-4) : الكترون يدور حول النواة .

ويمكن إيجاد قيمة الطاقة المناسبة في أي مدار بمعرفة القوى المؤثرة على الإلكترون . فإذا كانت كتلة الإلكترون تساوي (ك) وشحنه تساوي (ش) وكان الإلكترون يسير في مدار دائري نصف قطره (نق) بسرعة (ع) حول نواة شحنتها (ش) فإن الإلكترون لا بد له من القوة التي تحفظه في مداره حول النواة وهي قوة الجذب المركزية. وهذه القوة كما درسنا في الحركة الدائرية هي :

$$ق = \frac{ك ع^2}{نق} \quad (1-4)$$

قوة الجذب المركزية هذه على الإلكترون هي في الواقع قوة الجذب الكهربائي الناتجة من جذب النواة الموجبة للإلكترون السالب وهي حسب قانون كولوم تساوي :

$$ق = \frac{شك ش ا}{نق^2} \quad (2-4)$$

وهي تعمل على جذب الإلكترون نحو النواة . وبناءا على ذلك فإن :
قوة الجذب المركزية = قوة الجذب الكهربائي

$$\frac{شك ش ا}{نق^2} = \frac{ك ع^2}{نق}$$

$$\frac{شك ش ا}{نق} = ك ع^2 \quad (3-4)$$

ملاحظة :

لا يسقط الإلكترون في النواة بسبب قوة الجذب الكهربائي لوجود قوة الطرد المركزية حسب قانون نيوتن الثالث كرد فعل لقوة الجذب المركزية . المعروف أن طاقة الحركة لأي جسم كتلته ك وسرعته ع هي $(\frac{1}{2} ك ع^2)$ ولذلك بقسمة الطرفين في المعادلة (3-4) على 2 نجد أن طاقة الحركة:

$$\frac{شك ش ا}{2 نق} = \frac{1}{2} ك ع^2 = طح \quad (4-4)$$

أما طاقة الوضع فهي ناتجة عن الشغل المبذول بواسطة قوة الجذب الكهربائي على الإلكترون في المدار وهي تساوي :

ط_و = الشغل المبذول = القوة الكهربائية × المسافة بين الإلكترون والنواة (نق)

$$\text{ط}_و = \frac{\text{ش ش ا}}{\text{نق}^2} - \frac{\text{ش ش ا}}{\text{نق}} = \text{نق} \quad (5-4)$$

(لاحظ التشابه بين هذه المعادلة وقانون طاقة الوضع للمجال التناقلي الذي درسناه في الباب الأول وبنفس علامة السالب)

إذن الطاقة الكلية للإلكترون ط_ك = طاقة الحركة + طاقة الوضع

$$\text{ط}_ك = \text{ط}_ح + \text{ط}_و$$

$$\frac{\text{ش ش ا}}{\text{نق}} - \frac{\text{ش ش ا}}{2 \text{نق}} =$$

$$\frac{\text{ش ش ا}}{2 \text{نق}} = \left[1 - \frac{1}{2} \right] \frac{\text{ش ش ا}}{\text{نق}} =$$

∴ الطاقة الكلية للإلكترون الذي يدور حول النواة في مدار نصف قطره (نق):

(6-4)

$$\text{ط}_ك = \frac{\text{ش ش ا}}{2 \text{نق}}$$

لاحظ أن كل من ش_ك (ثابت التناسب) و ش (شحنة النواة) و ش_ا (شحنة الإلكترون) هي ذات قيم ثابتة، وبالتالي يمكن كتابة المعادلة (6-4) كالآتي:

(7-4)

$$\text{ط}_ك = \frac{\text{ثابت}}{\text{نق}}$$

أي أن الطاقة الكلية للإلكترون في مداره تعتمد فقط على نصف قطر ذلك المدار. وهي تقل كلما زاد نصف القطر وتزيد كلما قل. وتعني علامة السالب أن الطاقة الكلية للإلكترون هي طاقة جذب إلى النواة ويلزم طاقة خارجية لفصله عنها، أي يلزم طاقة موجبة.

لقد وجد بوهر بعد بعض الحسابات أن نصف القطر نق في المعادلة

(7-4) المناسب للإلكترون لكي يدور حول النواة دون أن يشع طاقة يتناسب مع مربع الأعداد الصحيحة 1 ، 2 ، 3 ، ... ، أي أن : نق تتناسب مع عد²

أي أن: $\text{نق} = \text{ثابت} \times \text{عد}^2$ (8-4)

حيث عد هو أي عدد صحيح وقد سمي هذا العدد بالعدد الكمي المداري.
لاحظ أن الثوابت في المعادلتين (7-4) و (8-4) ليست متساوية لأنها
ثوابت تتناسب في حالتين مختلفتين. بتعويض (8-4) في (7-4) نجد أن:

(9-4)

$$\therefore \text{ط} \times \text{عد} = \text{ثابت} \times \frac{1}{\text{عد}^2}$$

حيث عد = 1 ، 2 ، 3 ،

المعادلة (9-4) توضح أن الإلكترون يوجد في الذرة في مستويات
طاقة هي ط عد . ونرمز لمستوى الطاقة المناظر للعدد الكمي المداري عد = 1
بالرمز (ط₁) ويسمى بمستوى الطاقة الأرضي أو بالمستوى الأرضي. بينما
نرمز لمستوى الطاقة المناظر للعدد الكمي المداري عد = 2 بالرمز (ط₂)
ويسمى بمستوى الطاقة الثاني وهكذا ...
وتقاس طاقة الإلكترون في الذرة بالجول أو بوحدة الإلكترون
فولت (إ.ف.).

وتعرف وحدة الإلكترون فولت (إ.ف) بأنها:

هي الشغل المبذول أو الطاقة اللازمة لنقل إلكترون واحد بين
نقطتين فرق الجهد بينهما واحد فولت .

∴ الإلكترون فولت (إ.ف) = الشغل لنقل الإلكترون خلال فرق جهد مقداره
1 فولت

وبما أن الطاقة اللازمة لنقل شحنة ش خلال فرق جهد مقداره ج فولت
= ج × ش فإن: الإلكترون فولت

$$= \text{ج} \times \text{ش}_1 = 1 \text{ فولت} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ كولوم}$$

حيث شحنة الإلكترون ش₁ = 1.6×10^{-19} كولوم

$$\therefore \text{الإلكترون فولت} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ جول} \quad (10-4)$$

والسبب في استعمال وحدة الإلكترون فولت في الفيزياء الذرية هي أن وحدة
الجول كبيرة جدا.

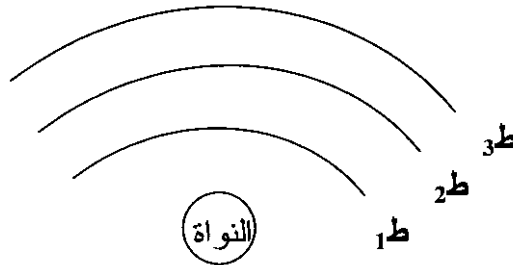
لقد حسبت قيمة الثابت في المعادلة (4-9) ووجد أنه يعتمد على عدد البروتونات في النواة أي العدد الذري Z . وعلى ضوء هذه الحسابات وجد أن:
 الثابت $= 13.6 \times Z^2$ إ.ف. (4-11)
 أي يتناسب مع مربع عدد البروتونات.
 بتعويض (4-11) في (4-9) نجد أن الطاقة الكلية للإلكترون في الذرة التي عددها الذري Z هي:

$$ط_{ع} = - 13.6 \times \frac{Z^2}{عد} \quad \text{إ.ف.} \quad (4-12)$$

مستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين:

يمكن إيجاد قيم الطاقة في مستويات الطاقة المختلفة في ذرة الهيدروجين الذي نواته بروتوناً واحداً فقط وذلك بتعويض ($Z = 1$) في معادلة الطاقة (4-12) لنحصل على :

$$ط_{ع} = - \frac{13.6}{عد^2} \quad \text{إ.ف.} \quad (4-13)$$



الشكل (4-2) : مستويات الطاقة (عد = 1 ، 2 ، 3) .

حيث نجد أن طاقة المستوى الأرضي (الأول) في ذرة الهيدروجين تساوي :
 $ط_1 = - 13.6$ إ.ف.

أما طاقة المستويين الثاني والثالث فتساويان :

$$ط_2 = \frac{13.6 - 3.4}{4} \text{ إ. ف}$$

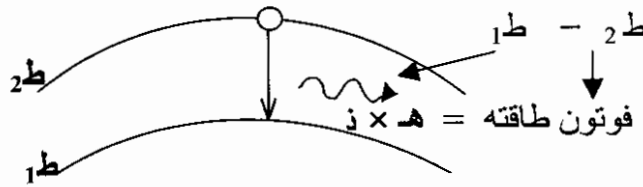
$$ط_3 = \frac{13.6 - 1.511}{9} \text{ إ. ف} \quad (14-4)$$

وعند انتقال الإلكترون من مستوى طاقة أعلى مثل (ط₂) إلى مستوى الطاقة الأدنى ط₁ فإن الذرة تشع فوتوناً طاقته تساوي الطاقة التي فقدها الإلكترون (شكل (3-4)). وهذه الطاقة المفقودة تساوي الفرق بين طاقتي مستويي الإلكترون، أي:

(15-4)

$$ط_2 - ط_1 = ه \times ز$$

حيث: ه = ثابت بلانك ، ز = تردد الفوتون



الشكل (3-4): إشعاع فوتون عند هبوط الإلكترون إلى مستوى طاقة أدنى.

إشارة الإلكترون في الذرة

يكتسب الإلكترون في الذرة طاقة تنقله من المستوى الأدنى الى المستوى الأعلى بوحدة من الطرق التالية:

أ (إذا امتصت الذرة فوتون طاقته تساوي (ه × ز) حسب المعادلة (15-4).

(ب) عندما يكتسب الإلكترون نفسه طاقة وذلك بإمتصاصه لفوتون طاقته مناسبة لرفعه للمستوى الأعلى ، أي أن طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين الأعلى والأدنى.

(ج) عند امتصاص الإلكترون للطاقة الناتجة عن تصادم الذرة بذرات أو أيونات أو الكثرونات أو أي جسيمات ذرية .

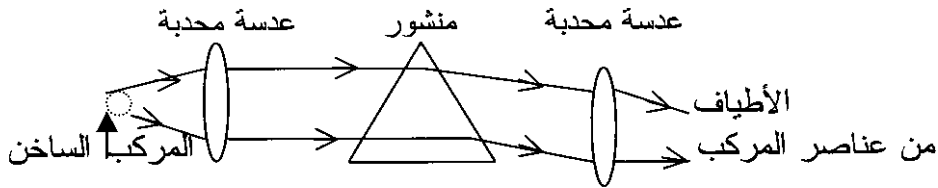
إذا فإن الإلكترون يكتسب طاقة إما بإمتصاص الذرة لفوتون أو بإمتصاصه هو نفسه لفوتون أو بإمتصاصه الطاقة الناتجة عن تصادم الذرة بجسيمات أخرى، ويعود بعدها الإلكترون إلى مستواه الأصلي (السابق) بإشعاع فوتون طاقته تساوي نفس الطاقة التي إكتسبها الإلكترون سابقاً.

وتستخدم ظاهرة إشعاع الفوتونات في توليد الضوء في مصابيح الإنارة . ففي مصباح الفلورسنت (المعروف خطأ بمصباح النيون) مثلاً يقوم الجهد الكهربائي المرتفع داخل انبوبة المصباح بتسريع الإلكترونات الحرة والأيونات التي تكونت نتيجة لتأيين ذرات الغاز داخل الأنبوبة (عادة مزيج من الأرجون مع بخار الزئبق). وتقوم هذه الجسيمات المشحونة (الأيونات) بالاصطدام بباقي ذرات الغاز فتمتص بعض إلكترونات هذه الذرات طاقة التصادم فتنتقل من المستوى الأرضي إلى أحد المستويات الأعلى ، وعند هبوط الإلكترونات إلى المستوى الأرضي تشع فوتونات فوق بنفسجية والتي تمتص بدورها بواسطة مادة الفلورسنت الموجودة على جدار انبوبة المصباح ومن ثم تقوم هذه المادة بإشعاع الضوء الأبيض الذي يمدنا بالإضاءة .

المعروف أن ذرة أي عنصر لها مستويات طاقة مختلفة عن مستويات الطاقة في ذرات العناصر الأخرى أي أن مستويات الطاقة في العناصر المختلفة ليست متشابهة. ولذلك فإن الفوتونات التي تشعها ذرات عنصر ما تكون ذات طاقات مختلفة ولذلك لها ترددات مختلفة (حسب المعادلة (4-15)) وبالتالي تعطي ألواناً مختلفة وتسمى هذه الألوان التي تصدر من ذرة أي عنصر بطيف ذلك العنصر. وبناء على ذلك فالوان طيف أي عنصر تختلف عن أطيف العناصر الأخرى.

ويستفاد من ظاهرة الاختلاف في ألوان طيف العناصر في التمييز بين العناصر التي توجد في أي مركب ما، حيث يمكن رؤية ذلك بوضوح خلال جهاز يسمى منظار الطيف (به منشور لتحليل الضوء - أنظر شكل (4-4)) الذي تظهر فيه الأطياف الصادرة من العناصر المختلفة في المركب بعد

تسخينه في شكل خطوط ملونة وبالتالي يمكن تحديد العناصر الموجودة في المركب. وكذلك عند توجيه هذا المنظار عن طريق منظار فلكي (تلسكوب) إلى أحد النجوم فإنه يمكننا تحديد العناصر الموجودة في ذلك النجم لأنها ستظهر لنا في شكل ألوان طيف خلال ذلك الجهاز وعندها يمكن معرفة العناصر المكونة لذلك النجم.



شكل (4-4) منظار طيف بسيط

مثال (1-4) :

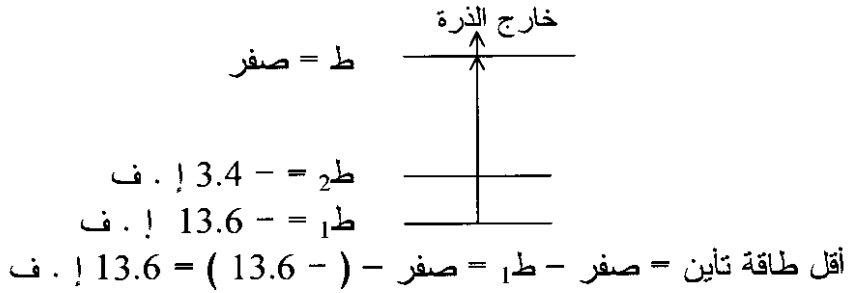
إذا كانت طاقة أقل ثلاثة مستويات في ذرة الهيدروجين مقدرة بوحدات الإلكترون فولت هي: - 13.6 إ.ف. ، - 3.4 إ.ف. ، - 1.5 إ.ف. .
جد أقل طاقة تجعل الذرة مثارة .

الحل : $ط_3 = -1.5$ إ.ف. ، $ط_2 = -3.4$ إ.ف. ، $ط_1 = -13.6$ إ.ف.
تعتبر الذرة مثارة عند انتقالها من المستوى الأرضي ($ط_1$) إلى أحد المستويات العليا . أقل طاقة تجعل الذرة مثارة عند انتقال الإلكترون من المستوى الأرضي ($ط_1$) إلى المستوى ($ط_2$) هي :

$$ط_2 - ط_1 = -3.4 - (-13.6) = 10.2 \text{ إ.ف.}$$

مثال (2-4) : إذا كانت طاقة المستوى الأرضي في ذرة الهيدروجين تساوي (-13.6 إ.ف.) فأوجد أقل طاقة تجعل الذرة مثارة .

الحل : طاقة الإلكترون وهو داخل الذرة سالبة لأنها طاقة تجاذب. تصبح الذرة مثارة عندما يغادر الإلكترون الذرة ويخرج منها . وعندما يصبح الإلكترون خارج الذرة فإن طاقته لا بد أن تكون صفراً أو أكثر. وهذا يعني أن أقل طاقة للإلكترون خارج الذرة تساوي صفراً . أي أن : $ط = 0$.



مثال (3-4) :

انتقل الكترون في ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة ط₃ = - 1.5 إ.ف إلى مستوى الطاقة ط₂ = - 3.4 إ.ف . أحسب تردد الفوتون المنبعث من انتقال الالكترون وكذلك الطول الموجي لذلك الفوتون علماً بأن ثابت بلانك يساوي 6.6×10^{-34} جول . ثانية ، وسرعة الضوء ع = 3×10^8 متر/ث .

الحل :

$$ه \times ذ = ط_3 - ط_2$$

$$= - 1.5 + 3.4 = 1.9 \text{ إ.ف} = 1.9 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ جول}$$

$$ه \times ذ = 6.6 \times 10^{-34} \times 3 = 1.98 \times 10^{-33} \text{ جول}$$

$$\text{تردد الفوتون (ذ)} = \frac{1.9 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.6 \times 10^{-34}}$$

$$= \frac{15.2}{33} \times 10^{14} = 4.6 \times 10^{14} \text{ هيرتز}$$

وبما أن سرعة الفوتون: ع = ذ × λ

$$\therefore \text{الطول الموجي للفوتون} = \lambda = \frac{ع}{ذ} = \frac{3 \times 10^8}{4.6 \times 10^{14}}$$

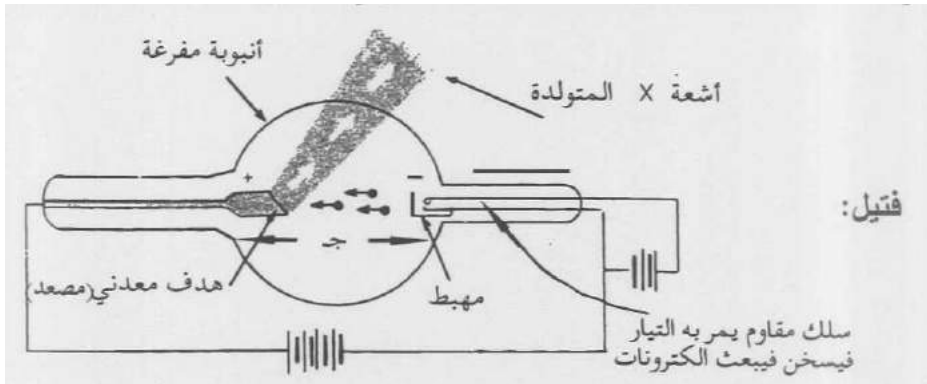
$$= 65.2 \times 10^{-8} \text{ متر}$$

(3-1-4) الأشعة السينية (أشعة X) :

في عام 1895م لاحظ العالم الألماني " وليم رونتجن " بأن أشعة قوية مجهولة تتولد عندما تصطدم الالكترونات السريعة بجسم معدني يسمى عادة بالهدف. وسميت هذه الأشعة المجهولة بالأشعة السينية (أشعة X) وذلك لأنها كانت مجهولة الطبيعة وعادة يرمز للشيء المجهول بـ (X) أو (Y) أي س أو ص لقد أمكن لاحقاً فهم كيفية تولد الأشعة السينية على ضوء قانون بقاء الطاقة. فعندما يصطدم الكترون سريع بجسم معدني فإنه يسكن (أي يتوقف) فتتحول طاقته الحركية التي كان يتحرك بها عند اصطدامه بالجسم إلى طاقة في شكل موجات كهرومغناطيسية . حيث يولد كل الكترون فوتوناً واحداً فقط . وهذا يعني أن أشعة (X) هي موجات كهرومغناطيسية (فوتونات) .

ويتركب جهاز توليد الأشعة السينية من أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء وبداخلها قطب سالب يسمى بالمهبط موصل بالقطب السالب لمصدر كهربائي عالي الجهد ، وهو معدن يقوم بقذف الالكترونات عندما يتم تسخينه بواسطة فتيل (وهو سلك ملفوف مثل سلك التنجستن المستخدم في المصابيح) فتنتافر الالكترونات السالبة مع المهبط السالب (شكل (4-5)) . ويوجد بالأنبوبة أيضاً أسطوانة معدنية متصلة بالقطب الموجب للمصدر الكهربائي وتسمى بالمصعد وهي تعمل على جذب الالكترونات السالبة إليها . ويعمل فرق الجهد (ج) على تسريع الالكترونات بإكسابها سرعة عالية وطاقة حركية بفضل الشغل الذي يبذله المصدر الكهربائي عليها . حيث نجد أن طاقة حركة الالكترونات :

طح = الشغل المبذول بواسطة المصدر الكهربائي = فرق الجهد × شحنة الالكترون



الشكل (4-5) : جهاز أشعة (X) .

$$(16-4) \quad \text{طح (الإلكترون)} = ج \times ش ا$$

وعندما تصطدم هذه الإلكترونات السريعة بالهدف المعدني تتوقف وتسكن فتنحول الطاقة الحركية لكل إلكترون قد توقف إلى طاقة تبعث في شكل فوتون تردده ν . وحسب قانون بقاء الطاقة نجد أن :

طاقة الفوتون = الطاقة الحركية للإلكترون

ولأن طاقة الفوتون = $ه \times \nu$ حيث $ه$ = ثابت بلانك .

$$(17-4) \quad \therefore ه \times \nu = \text{طح الإلكترون}$$

ونسبة لصعوبة قياس سرعة الإلكترون وبالتالي طاقة حركته فإننا سنستخدم العلاقة (16-4) بين طاقة الحركة وفرق جهد المصدر الكهربائي لإيجاد طاقة الفوتون بدلالة فرق الجهد لتصبح في الصورة :

$ه \times \nu = \text{طح} = ش ا \times ج = 1.6 \times 10^{-19} \times ج$

وتستخدم اشعة (X) أو الأشعة السينية في الطب بصورة مكثفة حيث يتم بواسطتها تصوير الكسور والتغيرات التي تحدث في الجسم بسبب الأمراض مما يمكن من تشخيص هذه الأمراض بواسطة الأطباء .

مثال (4-4) :

أحسب الطول الموجي لأشعة (X) التي تنبعث من الجهاز الذي ينتجها إذا كان فرق الجهد بين طرفي المصدر الكهربائي يساوي 100000 فولت علماً بأن شحنة الإلكترون $ش ا = 1.6 \times 10^{-19}$ كولوم وثابت بلانك $ه = 6.625 \times 10^{-34}$ جول ثانية .

الحل :

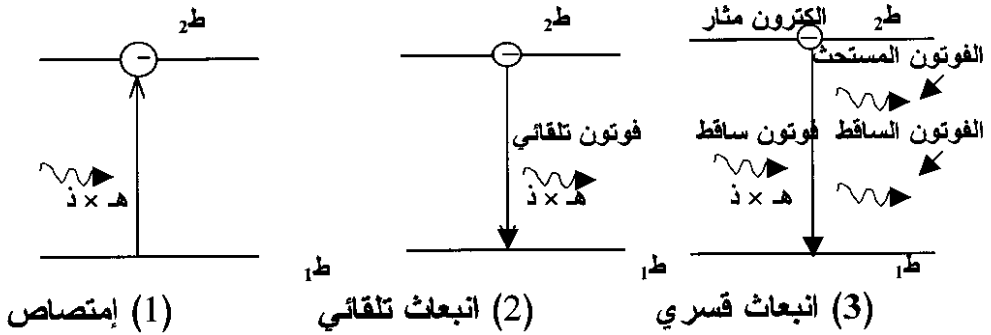
$$ه \times \nu = ج \times ش ا \quad \text{حيث } ج = \text{فرق الجهد}$$

$$ه \times \nu = \frac{ع \times ه}{\lambda}$$

$$م^{12-} 10 \times 12.422 = \frac{8 \times 10 \times 3 \times 10^{-34} \times 6.625}{10^{-19} \times 1.6 \times 10^{-5}} = \frac{ع \times ه}{ج \times ش ا} = \lambda$$

(4-1-4) الانبعاث التلقائي والانبعاث القسري :

بينا فيما سبق أن الذرة التي تمتص فوتوناً تكتسب طاقة تنقل الإلكترون من مستوى طاقة أدنى إلى مستوى طاقة أعلى وتسمى هذه المرحلة بمرحلة الإمتصاص. ، حيث يمكث الإلكترون فترة معينة (صغيرة جداً) في المستوى الأعلى وتسمى هذه الفترة بالعمر الزمني للمستوى . وبعد انقضاء هذه الفترة يعود الإلكترون تلقائياً للمستوى الأدنى فتشع الذرة فوتوناً ويسمى الإشعاع الصادر من الذرة في هذه الحالة بالانبعاث التلقائي . فإذا كانت الذرة قد إمتصت فوتوناً خارجياً فإن فوتون الانبعاث التلقائي يكون بنفس تردد الفوتون الخارجي إلا أن اتجاهه يكون عشوائياً . وهناك نوع آخر من أنواع الإشعاع يسمى بالانبعاث القسري (أو المستحث) وفي هذا النوع من الإشعاع يسقط فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقة المستويين الأعلى والأدنى على ذرة بها إلكترون موجود في مستوى الإثارة الأعلى (أي كان قد إكتسب طاقة من قبل) فيجبر هذا الفوتون الإلكترون المثار على الهبوط إلى المستوى الأدنى فتشع الذرة فوتوناً له نفس تردد واتجاه وطور الفوتون الساقط . ويسمى هذا النوع من الانبعاث (أو الإشعاع) بالانبعاث القسري (أو المستحث) . فيخرج من الذرة في هذه الحالة فوتونان هما الفوتون الساقط والفوتون المستحث (الناتج عن هبوط الإلكترون للمستوى الأدنى). (شكل (4-6)).



الشكل (4-6) : الانبعاث القسري والانبعاث التلقائي .

وهناك مستويات مثارة تبقى الإلكترونات فيها فترة زمنية طويلة نسبياً وتسمى مثل هذه المستويات بالمستويات شبه المستقرة .

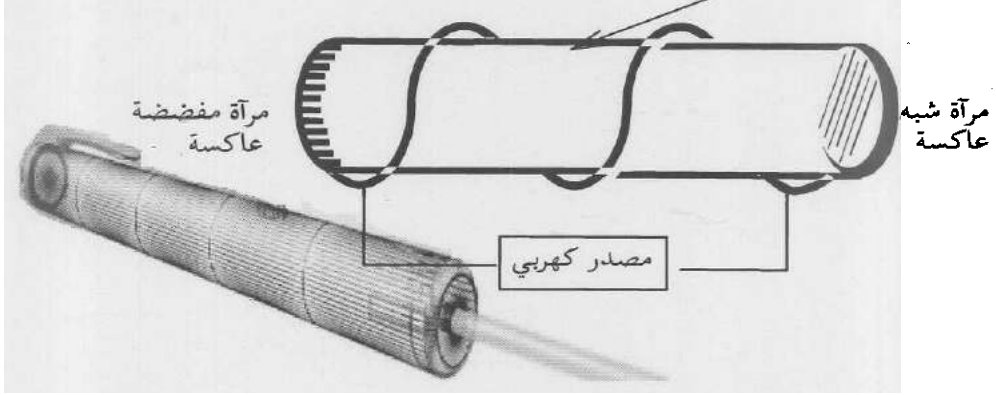
(4-1-5) أشعة الليزر:

إذا أثرنا عدداً كبيراً جداً من الذرات لتنتقل إلكتروناتها للمستوى ($ط_2$) شبه المستقر فإن الإلكترونات ستمكث فيه زمناً طويلاً نسبياً بالمقاييس الذرية (10^{-15} ثانية). وعند انقضاء العمر الزمني لبعض هذه الإلكترونات تنطلق فوتونات بالانبعاث التلقائي في اتجاهات عشوائية. فإذا صادف فوتون منها ذرة بها إلكترون مثار فإنه يجبره على إصدار فوتون بنفس تردد واتجاه وطور الفوتون الساقط، فيسقط الفوتونان الساقط والمستحث على ذرتين أخريتين مثارتين فتخرج منهما 4 فوتونات تسقط بدورها على 4 ذرات مثارة فتخرج منها 8 فوتونات وهكذا تتضاعف أعداد الفوتونات التي يمكن تركيزها في حزمة ضيقة تسمى بأشعة الليزر التي أنتجت لأول مرة في عام 1960م. وكلمة ليزر (LASER) أتت من الأحرف الأولى لكلمات الجملة الانجليزية (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). وهي تعني تضخيم الضوء بالانبعاث المستحث للإشعاع.

وأشعة الليزر هي أشعة مضخمة قوية عالية الشدة مركزة في حزمة ضيقة تكون فوتوناتها بتردد واحد وفي اتجاه واحد. ولذلك يكون تأثيرها قوياً (حسب شدتها على النقطة المركزة عليها) وتنتج الآن بكثرة أشعة ليزر غير مرئية أيضاً. وهناك عدة أنواع من الأجهزة التي تولد أشعة الليزر سنذكر منها على سبيل المثال بلورة الياقوت المطعم بالكروم (شكل (4-7)). وهذا الجهاز يتركب من بلورة ياقوت أسطوانية (من أكسيد الألمونيوم المطعم بكمية صغيرة من الكروم). وتطلى قاعدتا الأسطوانة بالفضة لتعمل مرآيا عاكسة حيث تطلى إحداها بصورة كاملة بينما تطلى الأخرى بصورة مخففة لتسمح لجزء من الأشعة بالنفاذ.

تتم إثارة ذرات الكروم باستخدام أنبوبة ضوئية تلف حول أسطوانة بلورة الياقوت حيث تصدر فوتونات ضوئية بترددات وطاقات مختلفة تمتصها الإلكترونات الكروم لتنتقل من المستوى الأرضي للكروم ($ط_1$) للمستوى شبه المستقر ($ط_2$) مباشرة. أو تنتقل للمستويات ($ط_3$) أو ($ط_4$) ثم تهبط للمستوى ($ط_2$). ولما كان المستوى ($ط_2$) شبه مستقر فإن الإلكترونات تمكث فيه فترة طويلة نسبياً مما يتيح لعدد كبير جداً من الذرات أن تكون في حالة إثارة وانتظار وبعد فترة زمنية معينة ينقضي العمر الزمني للمستوى

(ط 2) لبعض الذرات فتتهبط إلكتروناتها تلقائياً إلى المستوى الأرضي (الأول) لتنتقل فوتوناتها في اتجاهات عشوائية فيتم امتصاص معظمها بواسطة الذرات التي في طريقها ولكن تبقى الفوتونات التي تتحرك موازية لمحور الأسطوانة أي عمودياً على قاعدتي الأسطوانة فتذرع أنبوبة ضوئية



الشكل (4-7) : جهاز أشعة الليزر

الأسطوانة ذهاباً وإياباً بفضل الانعكاس من قاعدتي الأسطوانة إلى أن يصطدم أحد هذه الفوتونات بذرة كروم أخرى مثارة فيجبرها على إشعاع فوتون بنفس تردد الفوتون الساقط. ويسقط الفوتونان الساقط والمستحث على ذرتي كروم لتخرج منهما 4 فوتونات تسقط بدورها على 4 ذرات كروم تخرج منها 8 فوتونات ويستمر عدد الفوتونات في التضاعف إلى أن تصطدم الفوتونات بإحدى المرأتين وتنعكس لتصطدم بمزيد من ذرات الكروم المثارة وتستحثها لإصدار مزيد من الفوتونات . وهكذا تتزايد أعداد الفوتونات أثناء انعكاساتها المتوالية على المرأتين الموجودتين في قاعدتي الأسطوانة إلى أن تصطدم هذه الأعداد الضخمة من الفوتونات بالمراة شبه المفضضة فتخرج منها في صورة حزمة ضيقة من الأشعة عالية الشدة والتي تسمى بشعاع الليزر . وتستخدم أشعة الليزر لشدتها وتركيزها في: (1) المجال الهندسي في ثقب المعادن وصهرها وفي أعمال الخراطة وتستخدم كذلك في أعمال الرصد والمساحة (2) المجالات العسكرية وبكثرة مثل توجيه بعض القنابل

والصواريخ (القذائف) حيث تنعكس أشعة الليزر من الأهداف فتتجه القذائف إلى الأهداف التي تعكس أكبر قدر من أشعة الليزر مثل الأهداف المعدنية كالدبابات . (3) مجال الاتصالات حيث تستخدم أشعة الليزر في نقل المكالمات الهاتفية والمعلومات الرقمية عبر شبكة الألياف الضوئية كما ذكرنا سابقا . وتستخدم أشعة الليزر كذلك في تخزين المعلومات في الأقراص المدمجة CD. (4) المجال الطبي حيث يستخدم الليزر في علاج انفصال شبكية العين وتستخدم كذلك في مجال الجراحة كمشرط جراحي .

(4-1-6) الإشعاع الذري :

في عام 1896م وجد العالم الألماني " هنري بيكرل " أن ذرات اليورانيوم 92 (بها 92 بروتونا) تصدر إشعاعات تؤثر على الأفلام الفوتوغرافية وتجعلها سوداء ، كأنها تعرضت للضوء . وبعد عامين من هذا الاكتشاف نجح كل من العالمين الفرنسيين " ماري كوري " و " بيير كوري " في اكتشاف عنصرين مشعين جديدين هما البولونيوم 84 والراديوم 88 . وقد أطلقت العالمة الفرنسية مدام كوري اسم النشاط الإشعاعي على هذه الظاهرة. وتصدر هذه الإشعاعات من نواة الذرة . وتحتوي نواة الذرة على عدد من البروتونات والنيوترونات . وعادة لا يكون عدد البروتونات مساوياً لعدد النيوترونات ففي نوى الذرات الثقيلة يكون عدد النيوترونات أكبر بكثير عن عدد البروتونات.

ويسمى عدد البروتونات بالعدد الذري ونرمز له بالرمز (Z) بينما يسمى عدد البروتونات والنيوترونات معاً بعدد الكتلة (A) .

وقد وجد أن أنوية الذرات تصبح غير مستقرة (أي تصبح مشعة) إذا زاد عدد النيوترونات في النواة وبالذات إذا كان الفرق بين العددين كبيراً نوعاً ما حيث تصبح النواة في حالة عدم توازن . ومن المعلوم أن كل العناصر التي يزيد عددها الذري Z عن 83 هي ذرات مشعة.

ولمعرفة طبيعة هذه الإشعاعات قام العلماء باختبار تأثير كل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي عليها . كما قاموا كذلك بحساب مقدرة هذه الإشعاعات على اختراق المواد المختلفة . وقد دلت الاختبارات على وجود ثلاثة أنواع مختلفة من الإشعاع هي :

(1) دقائق ألفا والتي رمزها α (ألفا: أول حرف في حروف الهجاء الإغريقية).

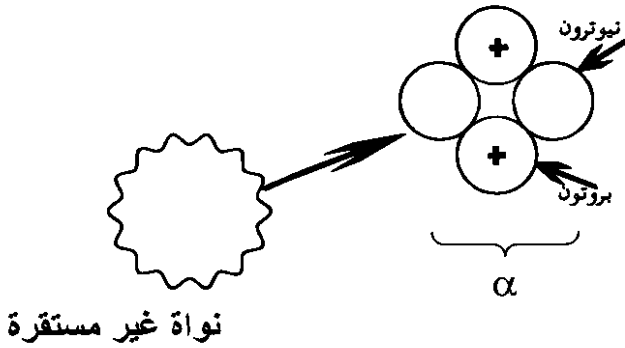
(2) دقائق بيتا والتي رمزها β (بيتا: ثاني حرف في الهجائية الإغريقية).

(3) أشعة قاما والتي رمزها γ (قاما: ثالث حرف في الهجائية الإغريقية).

(1) دقائق ألفا (α):

وهي عبارة عن نواة ذرة غاز الهيليوم التي تحوي 2 بروتون و 2 نيوترون (شكل (4-8)). وتنطلق دقائق ألفا (α) من الأنوية الثقيلة التي يزيد عدد كتلتها A عن 210. فتتخلص هذه الأنوية من الكتلة الزائدة بإطلاق دقائق α . ودقائق α موجبة الشحنة لأنها تحوي بروتونات موجبة ونيوترونات محايدة. ولدقائق α مقدرة ضعيفة على إختراق المواد. فإذا سقطت على لوح معدني سميك فإنها تتوغل فيه لمسافة قصيرة فقط ويرجع السبب في ذلك لكتلة جسيمات α الكبيرة نوعاً ما.

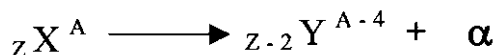
وعند انطلاق دقائق α من نواة فإن عددها الذري (عدد البروتونات) ينقص بمقدار اثنين. بينما ينقص عدد الكتلة (عدد البروتونات والنيوترونات) بمقدار أربعة.



الشكل (4-8): دقائق ألفا - α (نواة الهيليوم).

فإذا رمزنا للنواة قبل إطلاقها لدقائق ألفا (α) بالرمز ${}^A_Z X$

حيث A عدد الكتلة بينما العدد الذري Z ، ورمزنا للنواة بعد إطلاقها أشعة α بالرمز Y فإن المعادلة التي تسمى بمعادلة الانحلال تكتب في الصورة التالية:



وتدل هذه المعادلة على أن العدد الذري للنواة Z ينقص بمقدار اثنين فيصبح (Z-2) بينما ينقص عدد الكتلة (A) بمقدار أربعة فيصبح (A-4) عندما تطلق جسيمات α . ومثال ذلك انحلال اليورانيوم U وتحوله إلى ثوريوم Th وفق المعادلة :

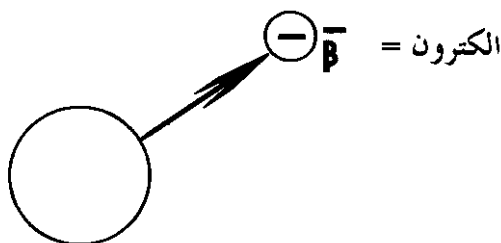
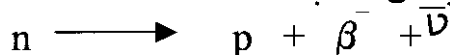


حيث نلاحظ أن نواة اليورانيوم التي بها 92 بروتونا في هذه الحالة بها 147 نيوترونا أي بزيادة 55 . وهناك ذرات يورانيوم أخرى كما سنرى لاحقا.

(2) دقائق بيتا (β) :

وهي دقائق لها نفس كتلة الإلكترون ولها شحنة مساوية لشحنة الإلكترون ولكنها قد تكون سالبة أو موجبة . دقائق بيتا السالبة هي نفسها الإلكترونات المعروفة وهي تنطلق من الأنوية التي يزيد فيها عدد النيوترونات عن عدد البروتونات (شكل (4-9)).

في هذه الحالة يتحول النيوترون n (n = neutron) في النواة إلى بروتون p (p = proton) وينطلق إلكترون ($\beta^- = e^-$) خارج النواة . وهناك جسيم آخر ينطلق مع الإلكترون ويسمى ضد النيوترينو ونرمز له بالرمز $\bar{\nu}$ (ينطق نيو بار). أما النيوترون فيتحلل حسب المعادلة :

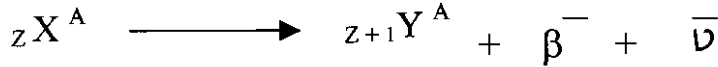


نواة تطلق أشعة β

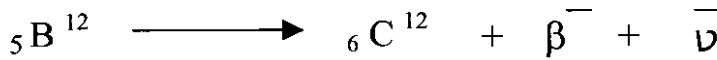
الشكل (4-9) : دقائق β .

لذا يزداد عدد البروتونات بمقدار واحد بينما ينقص عدد النيوترونات بمقدار واحد فيبقى عدد الكتلة ثابتاً .

فإذا رمزنا للنواة قبل انحلالها بالرمز ${}_Z X^A$ وللنواة بعد انحلالها بالرمز Y . فإن معادلة الانحلال تكون في الصورة :

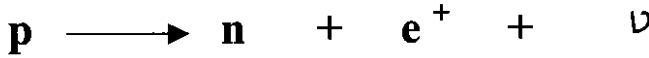


ومثال ذلك انحلال البورون وتحوله إلى كربون :



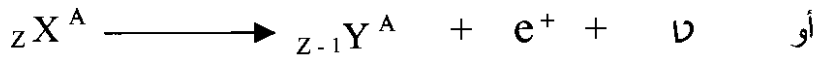
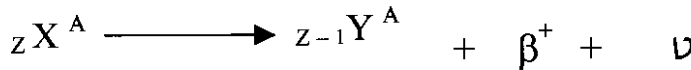
ولصغر دقائق β فإن لها مقدرة أعلى من دقائق α على اختراق المواد والتوغل فيها .

أما دقائق β الموجبة فهي عبارة عن جسيمات شحنتها موجبة ولها نفس كتلة الإلكترون وتسمى بوزيترون (من Positive electron أي إلكترون موجب) وهي تنطلق عندما يتحول البروتون (p) في نواة ما إلى نيوترون (n) فينتطلق البوزوترون $\beta^+ = e^+$ ومعه نيوترينو (ν = نيو) وفق المعادلة :

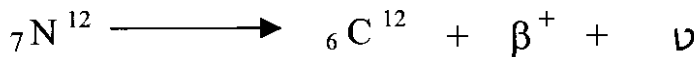


أي أن عدد البروتونات ينقص بمقدار واحد بينما يزيد عدد النيوترونات بمقدار واحد ويبقى عدد الكتلة ثابتاً . وعند انطلاق دقائق بيتا الموجبة من النواة ${}_Z X^A$

تتحول لنواة أخرى (Y) وفق المعادلة :



ومثال ذلك تحول النيتروجين إلى كربون :



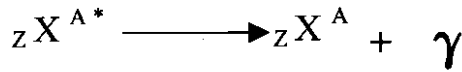
(3) أشعة قاما (γ) :

أشعة γ (قاما) عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية . وهي مثلها مثل بقية الأمواج الكهرومغناطيسية عبارة عن فوتونات لها طول موجي λ ولها تردد ذ، وسنتطرق بشئ من التفصيل لهذه الأشعة في الفصل القادم . وتتطلق أشعة γ من النواة التي بها طاقة زائدة . فإذا كانت النواة مثارة وطاقتها مثلا (ط₂) فإنها تطلق فوتونا من أشعة γ لتصبح مستقرة في مستوى الطاقة الأرضي (الأول) (ط₁) وذلك بنفس الكيفية التي تحدث للذرة حينما يطلق الإلكترون الذي في مستوى الإثارة (ط₂) فوتونا ليهبط إلى إلكترون إلى المستوى الأرضي (ط₁) (شكل (4-10)).

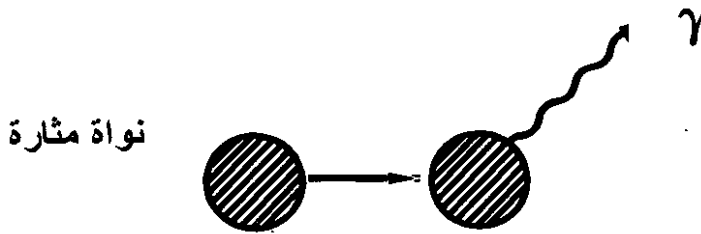
وتكون طاقة فوتون أشعة قاما (γ) مساوية للفرق بين طاقة الإثارة (ط₂) للنواة وطاقة المستوى الأرضي للنواة (ط₁) . أي أن :

$$h \times \nu = E_2 - E_1$$

فإذا رمزنا للنواة المثارة بالرمز ${}_Z X^A$ حيث تدل علامة (*) على أن النواة موجودة في مستوى مثار فإن معادلة الانحلال لهذه النواة تكتب في الصورة :



حيث ترمز ${}_Z X^A$ للنواة في المستوى الأرضي .



الشكل (4-10) : أشعة قاما (γ) من نواة مثارة

(4-1-7) طاقة الربط النووي :

تتكون نواة أي ذرة من عدد من البروتونات الموجبة الشحنة وعدد من النيوترونات المتعادلة وتتجمع كل هذه المكونات في حيز صغير جداً وتتماسك مع بعضها مكونة النواة . وقد تساءل العلماء عن سبب تماسك مكونات النواة رغم وجود قوة التنافر الكهربائي بين البروتونات الموجبة الشحنة . ثم وجدوا أن كتلة النواة أقل من مجموع كتلة مكوناتها من بروتونات ونيوترونات أي أن هناك جزء من الكتلة فقد أثناء تكون النواة أي إستنفد في ربط البروتونات والنيوترونات مع بعضها . وسميت هذه الطاقة التي تربط هذه المكونات مع بعضها بطاقة الربط النووي . وقد بين العالم المشهور اشتاين في نظرية النسبية أن الكتلة عموماً هي طاقة متجمدة أي أن الكتلة يمكن أن تتحول الى طاقة . وأن الطاقة المتجمدة في أي كتلة ك يمكن حسابها من المعادلة البسيطة التالية :

الطاقة المتجمدة في كتلة (ك) = الكتلة × مربع سرعة الضوء

$$= ك \times ع^2 \quad (4-18)$$

حيث ع هي سرعة الضوء في الفراغ . فإذا كان جزء من كتلة النواة مقداره Δ ك (دلتا ك) يستنفد في ربط مكونات النواة فإن طاقة الربط النووي تساوي :

$$\text{طاقة الربط النووي} = \Delta ك \times ع^2 \quad (4-19)$$

مثال (4-5) : أحسب طاقة الربط لنواة ذرة الديوتيريوم ^2_1H إذا كانت كتلة البروتون تساوي 1.007595×10^{-6} إ . ف وكتلة النيوترون 1.008987×10^{-6} إ . ف وكتلة الديوتيريوم 2.014102×10^{-6} إ . ف .
الحل : نواة ذرة الديوتيريوم هي نواة هيدروجين تحتوي على بروتون ونيوترون .

∴ طاقة الربط = مجموع كتل البروتونات والنيوترونات - كتلة النواة

$$= \text{كتلة البروتون} + \text{كتلة النيوترون} - \text{كتلة النواة}$$

$$= (1.007595 + 1.008987 - 2.014102) \times 10^{-6}$$

$$= 2.30888 \times 10^{-6} \text{ إ . ف}$$

وهي مقدار الكتلة التي تحولت إلى الطاقة التي تقوم بربط البروتون والنيوترون معا في النواة.

(4-1-8) الانشطار النووي :

اكتشف العلماء عام 1939م أن نواة ذرة اليورانيوم ذات عدد الكتلة (235) : $^{235}_{92}\text{U}$ تنشط إلى جزئين عند قصفها بنيوترونات بطيئة حيث تقتنص نواة اليورانيوم أحد هذه النيوترونات فتتكون نواة جديدة هي نواة اليورانيوم $^{236}_{92}\text{U}$ وهذه النواة تكون غير مستقرة ولذلك تنشط إلى نواتين متقاربتين في الكتلة إلى حد ما. وتسمى عملية انشطار نواة ذرة إلى نواتين أو أكثر بالانشطار النووي . وتنبعث أثناء الانشطار نيوترونات جديدة وكمية من الطاقة (شكل (4-11)).

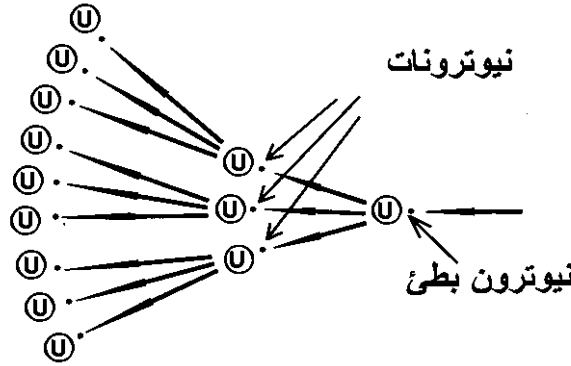
فعندما يقصف اليورانيوم (235) بنيوترون بطيء فإن نواة اليورانيوم تنشط لنواتين هما نواة عنصر الباريوم $^{141}_{56}\text{Ba}$ ونواة عنصر الكريبتون $^{92}_{36}\text{Kr}$ وتنتقل 3 نيوترونات خلال هذه العملية أيضاً بالإضافة إلى إطلاق طاقة نووية هي طاقة الربط التي كانت تربط النواتين مع بعضهما في نواة واحدة . وذلك حسب المعادلة :

يورانيوم (235) + نيوترون —→ باريوم + كريبتون + 3 نيوترونات + طاقة

طاقة + $^{235}_{92}\text{U}$ + n —→ $^{141}_{56}\text{Ba}$ + $^{92}_{36}\text{Kr}$ + 3n

وعندما تمتص النيوترونات الثلاثة المنطلقة من ذرة اليورانيوم المنشطرة بواسطة 3 ذرات يورانيوم أخرى فإنها تنشط بدورها فتخرج منها 9 نيوترونات وتلاقي هذه النيوترونات 9 ذرات يورانيوم أخرى فتنتشر فتخرج منها 27 نيوترون وهكذا يتضاعف ذرات اليورانيوم المنشطرة بسرعة فائقة . ويسمى مثل هذا النوع من التفاعل الذي يتضاعف فيه عدد ذرات اليورانيوم المنشطرة تلقائياً دون بذل طاقة غير الطاقة التي تبدأ التفاعل بالتفاعل المتسلسل .

وقد وجد أن التفاعل المتسلسل يمكن أن يشمل كل ذرات اليورانيوم إذا كانت كمية اليورانيوم الموجودة ذات كتلة محددة تسمى بالكتلة الحرجة أي يحدث انفجار في هذه الحالة فقط .



الشكل (4-11) : التفاعل النووي المتسلسل في اليورانيوم ^{235}U .

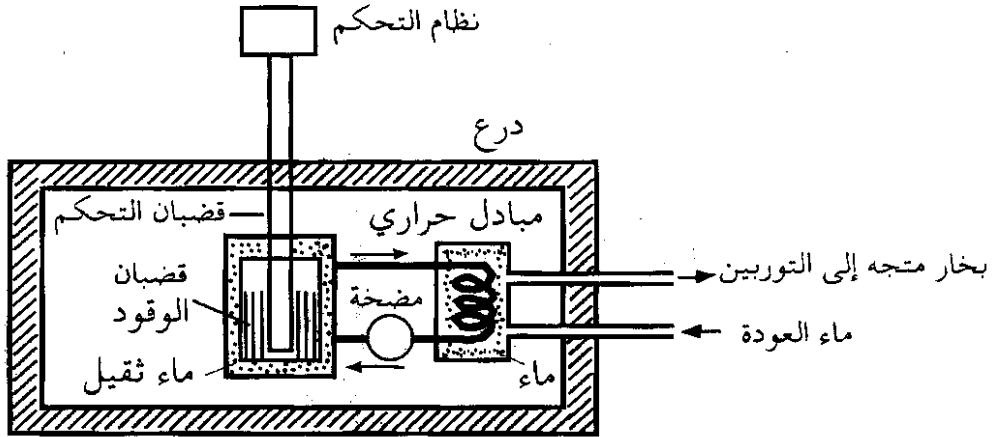
القنبلة الذرية :

تصنع القنبلة الذرية الانشطارية من عدة كيلوجرامات من عنصر اليورانيوم ^{235}U على هيئة نصف كرة على أن يكون كل نصف غير قابل للانفجار وهو منفصل عن النصف الآخر لأن كتلة أي منهما لا تبلغ الكتلة الحرجة الضرورية لانفجار اليورانيوم. ولتفجير القنبلة يقوم جهاز آلي بتقريبهما من بعضهما حيث يصلان معاً إلى الكتلة الحرجة فيحدث الانشطار النووي المتسلسل خلال بضعة أجزاء من البليون من الثانية وينتج عن ذلك كمية هائلة من الحرارة (تصل في مركز الانفجار إلى أكثر من مليون درجة مئوية) . وهذه الحرارة تمتد إلى الغلاف الهوائي المحيط بالقنبلة فيحدث انفجار عنيف. وقد تم صنع أول ثلاث قنابل نووية في منتصف عام 1945م في الولايات المتحدة وقصفت الولايات المتحدة باثنتين منها مدينتي هيروشيما وناجازاكي باليابان عام 1945م مع نهاية الحرب العالمية الثانية فأحدثت دماراً هائلاً ومئات الألوف من القتلى حيث كانت قوة كل واحدة منها تعادل انفجار 20000 طن من مادة (TNT) شديدة الانفجار .

ولكن صنع القنبلة الذرية ليس بتلك البساطة المذكورة هنا، ذلك لأن اليورانيوم ^{235}U اللازم لصنعها لا يوجد في الطبيعة إلا بكميات ضئيلة وحتى هذه توجد مختلطة باليورانيوم ^{238}U الأكثر وفرة ولذلك لا بد من فصل الإثنتين عن بعضهما للحصول على الكمية الكافية من اليورانيوم ^{235}U لصنع قنبلة. ولأن $Z = 92$ بروتون لكليهما فهما كيميائياً متشابهين ولا يمكن فصلهما كيميائياً (وهي الطريقة الأسهل) ولذلك لا بد أن يتم الفصل فيزيائياً. والطرق

المستخدمة لهذا الفصل معقدة ومكلفة ولا تنتج إلا كميات ضئيلة ولذلك استخدم عدد كبير من نفس الأجهزة ولإختلاف كتلتي النواتين تستخدم أجهزة الطرد المركزية السريعة جدا لفصلهما.

غير أن التفاعل المتسلسل في اليورانيوم يمكن الإستفادة منه أيضا في الأغراض السلمية حيث يمكن استخدام التفاعل المتسلسل في توليد الطاقة باستعمال المفاعلات النووية للاستفادة منها في توليد الكهرباء.



الشكل (4-12) : المفاعل النووي .

ويتركب المفاعل النووي من قضبان الوقود النووي الذي هو عادة اليورانيوم 238 (الذي لا يحدث فيه تفاعل متسلسل ولا ينشطر) والذي يتم تخصيبه بنسبة من اليورانيوم 235 والذي يحدث فيه التفاعل المتسلسل أي الإنشطار الذي يولد بدوره طاقة حرارية كبيرة جدا. (يتحدث الإعلام كثيرا عن هذا اليورانيوم المخصب أو الوقود النووي المخصب) ويتم التحكم في التفاعل المتسلسل في داخل المفاعل النووي وذلك لإبطائه أو لإيقافه عن طريق قضبان من الكادميوم أو البورون أو الكوبالت . وتدخل هذه القضبان بين قضبان اليورانيوم فتعمل على امتصاص النيوترونات المتولدة من التفاعل المتسلسل مما يؤدي إلى تقليل التفاعل المتسلسل و يمكن أيضا إيقافه. ويحاط المفاعل بطبقة سميكة من المعدن أو الخرسانة المسلحة لتعمل كدرع واق يمنع تسرب الإشعاعات النووية الضارة بالبشر والبيئة إلى خارج المفاعل . (شكل (4-12)).

ويمكن إنتاج طاقة كهربائية من الطاقة الحرارية المتولدة في المفاعل من التفاعل المتسلسل في اليورانيوم. حيث يستخدم سائل يمر بالمفاعل فترتفع درجة حرارته وتصبح عالية . وبعدها يمرر هذا السائل الساخن جدا حول وعاء (غلاية) به ماء ، فيتم التبادل الحراري فيسخن الماء بدوره ويتحول إلى بخار. ثم يتم ضغط البخار ويوجه نحو زعانف دوارة (توربين) فتدور فتشغل معها المولدات الكهربائية الضخمة. وهكذا تتحول الطاقة الحرارية المتولدة بفعل التفاعل النووي إلى طاقة كهربائية مفيدة وبكميات كبيرة. لاحظ أن السائل الأول مفصول عن الماء حتى لا يلوثه لأن ذلك السائل يمر على قضبان اليورانيوم المشعة وبالتالي يكون ملوثا .

(4-1-9) الاندماج النووي :

تعتبر الشمس المصدر الأساسي للطاقة على الأرض. فحركة الرياح والسحب والأمطار منها. وكذلك النبات يحول الطاقة الضوئية للشمس لطاقة كيميائية حيوية عبر عملية التمثيل الضوئي ونحن نستمد طاقتنا من النبات . فمن أين أنت طاقة الشمس وكيف تتولد ؟ لقد تمكن من حل هذا اللغز عدد من العلماء حيث بينوا أن طاقة الشمس ناتجة من الاندماج النووي حيث تندمج فيه عدة أنوية خفيفة لإنتاج نواة ثقيلة كتلتها أقل من مجموع كتل هذه الأنوية نتيجة لتحول جزء من هذه الكتل إلى طاقة حسب معادلة انشتاين التي درسناها سابقا.

فعند اندماج نواتي ذرة هيدروجين ثقيل (الهيدروجين الثقيل له نواة بها بروتون ونيوترون أي ${}^2_1\text{H}$) في درجة حرارة عالية (تصل إلى أكثر من مليون درجة مئوية داخل الشمس) وتحت ضغط عالٍ فتتكون نواة الهيليوم ${}^4_2\text{He}$. وهذه تكون كتلتها أقل من مجموع كتل نواتي الهيدروجين الثقيل لأن جزءا من كتل أنوية الهيدروجين تحول إلى طاقة وتحدث عملية الاندماج النووي وتحول الكتلة إلى طاقة باستمرار داخل الشمس، أي انه هو الوقود الذي يمدّها بالطاقة. ومثل هذا التفاعل لا ينتج الهيليوم فقط وإنما أيضا العناصر الثقيلة الأخرى. ونفس هذه العملية تجري في بقية النجوم في الكون. وقد استخدمت طريقة الاندماج النووي في صنع القنبلة الهيدروجينية المدمرة جدا (بإستخدام ${}^2_1\text{H}$) حيث تم الحصول على درجة الحرارة العالية الضرورية لعملية إندماج الأنوية من قنبلة ذرية داخل هذه القنبلة.

تمارين (4-1)

- الأنجستروم (ينطق أنقستروم) $= 10^{-10}$ متر
- (1) أحسب طول موجة الفوتون الصادر عند انتقال الإلكترون من المستوى الثالث إلى المستوى الثاني في ذرة الهيدروجين. $[\lambda = 6538 \text{ أنجستروم}]$
 - (2) أحسب تردد أشعة (X) الصادرة من أنبوبة التوليد إذا كان فرق الجهد بين طرفي بطارية التشغيل 13250 فولت. $[\text{إذ} = 32 \times 10^{17} \text{ هيرتز}]$
 - (3) أحسب الطول الموجي لأشعة (X) الصادرة من أنبوبة التوليد إذا كان فرق الجهد بين المصعد والمهبط 50000 فولت. $[\lambda = 0.248 \text{ أنجستروم}]$
 - (4) أحسب طاقة الربط النووي لذرة الهيليوم علماً بأن كتلة نواة ذرة الهيليوم تساوي 4.00277 وحدة كتل ذرية وكتلة البروتون تساوي 1.007825 وحدة كتل ذرية وكتلة النيوترون تساوي 1.008665 وحدة كتل ذرية . حيث أن وحدة الكتل الذرية تساوي $1.661 \times 10^{-27} \text{ كجم}$.
 - (5) ماذا يقصد بالنشاط الإشعاعي وما أنواع الإشعاعات التي تصدر من المواد المشعة ؟
 - (6) أذكر المكونات الأساسية للذرة وعرف العدد الذري - عدد الكتلة .
 - (7) بيّن تركيب المفاعل النووي وما استخداماته ؟
 - (8) اذكر استخدامات الإنشطار النووي في الأغراض العسكرية.
 - (9) بيّن ماذا نعني بالتفاعل المتسلسل ومتى يحدث ؟
 - (10) ما التغير الذي يحدث للنواة عند انطلاق :
 - أ/ دقائق ألفا .
 - ب/ دقائق بيتا .
 - ج/ أشعة قاما .

(2-4) الفصل الثاني

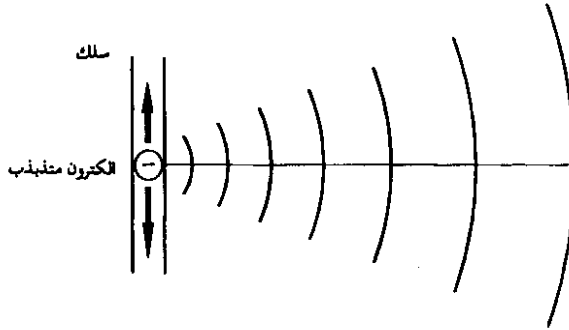
الاتصالات

(1-2-4) مقدمة :

يعتبر جهازا الراديو والتلفزيون من أهم وسائل المعرفة الحديثة المنتشرة في المنازل فهو ينقل إلينا أخبار العالم عبر نشرات الأخبار . وينقل إلينا البرامج المسلية المختلفة . فمم تتركب هذه الأجهزة وكيف تنقل إلينا الأخبار من الإذاعات المختلفة لتصل لأجهزتنا في المنازل ؟ وسنبداً أولاً بمحاولة تعريف الوسيط الذي ينقل إلينا البرامج المختلفة عبر الفضاء والذي يسمى بالموجات "الكهربية المغنطيسية" وعند دمج الكلمتين معا تصبح الموجات الكهرومغنطيسية. فما هي هذه الموجات الكهرومغنطيسية ؟ وكيف تحمل إلينا الصوت والصورة ؟

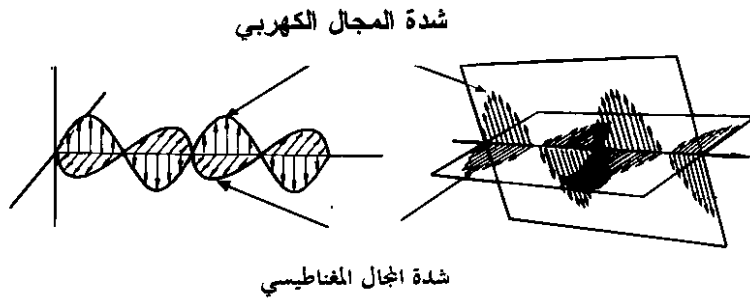
(2-2-4) الموجات الكهرومغنطيسية :

لقد علمنا في الباب الثالث أن التيار المار في سلك يولد حول السلك مجالا مغناطيسيا يكون عموديا على إتجاه التيار في السلك وبما أن التيار في السلك هو في الواقع الكترونات متحركة وأن كل إلكترون هو عبارة عن شحنة ويوجد دائما حول أي شحنة مجال كهربى. لذلك فإن الالكترونات المتذبذبة في سلك تولد تلقائيا مجالين حول السلك أحدهما كهربى والآخر مغناطيسى عمودي على الكهربى وتكون هذه المجالات في شكل موجات هي الموجات الكهرومغنطيسية (انظر شكل (4-13)) .



الشكل (4-13) : تولد الموجات الكهرومغنطيسية .

فالموجات الكهرومغناطيسية هي عبارة عن مجال كهربائي في شكل موجات يتعامد عليه مجال مغناطيسي في شكل موجات أيضاً وتنتشر هذه الموجات في الإتجاه العمودي على المجالين كما بالشكل (4-14) أي انها موجات مستعرضة .



الشكل (4-14) : الموجات الكهرومغناطيسية .

ويمكن فهم تولد هذه الموجات على ضوء العلاقة بين الكهربائية والمغناطيسية. فعندما يمر تيار متذبذب في سلك فإنه يولد مجالاً مغناطيسياً متذبذباً وهذا بدوره يولد مجالاً كهربائياً متذبذباً في المنطقة المجاورة له ليتولد مجال مغناطيسي مرة أخرى . وهكذا يستمر تولد سلسلة من المجالات الكهربائية والمغناطيسية المتعامدة التي تكون في شكل موجات كهرومغناطيسية .

وقد تمكن العالم الاسكتلندي " ماكسويل " في الربع الأخير من القرن التاسع عشر من بناء نظرية رياضية تربط بين المجالين الكهربائي والمغناطيسي . وقد تنبأ "ماكسويل" بوجود موجات كهرومغناطيسية تنتشر بنفس سرعة الضوء مما حمله على الاعتقاد بأن الضوء هو نفسه موجات كهرومغناطيسية وهو ما تم إثباته فيما بعد .

وتخضع الموجات الكهرومغناطيسية لقوانين الموجات . فسرعة الموجة ع تساوي طول الموجة (λ) مضروباً في ترددها (ν) . أي أن :

$$c = \lambda \times \nu \quad (4-20)$$

وتكون سرعة هذه الموجات الكهرومغناطيسية ثابتة في الفراغ والهواء وتساوي 3×10^8 متراً وهي سرعة الضوء المعروفة وتقل سرعة هذه

الموجات عند دخولها في أي وسط مادي مثل الزجاج أو الماء أو غيره وذلك بسبب تغير الطول الموجي λ بينما يظل تردد هذه الموجات ثابتاً .
وتقسم الموجات الكهرومغناطيسية الى أقسام حسب الطول الموجي والتردد وهذه الأقسام هي:

(1) أشعة γ (قاما) ولقد عرفنا عند دراستنا للذرة أن النواة المثارة تطلقها حتى تعود الى حالة الإستقرار وهي أمواج كهرومغناطيسية ولكن ترددها أكثر من 10^{19} ذبذبة في الثانية أو هيرتز وبالتالي يكون طول موجتها قصير جدا ويقل عن 10^{-11} متر أي أقل من قطر الذرة (10^{-10} م تقريبا) ولذلك لها مقدرة عالية على النفاذ في المواد المختلفة وهي ضارة جدا بالمخلوقات الحية حيث تسبب من ضمن ما تسبب السرطان للإنسان والتشوهات الجينية (الخلقية) في كل الإحياء وتصدر بكثافة من المواد المشعة.

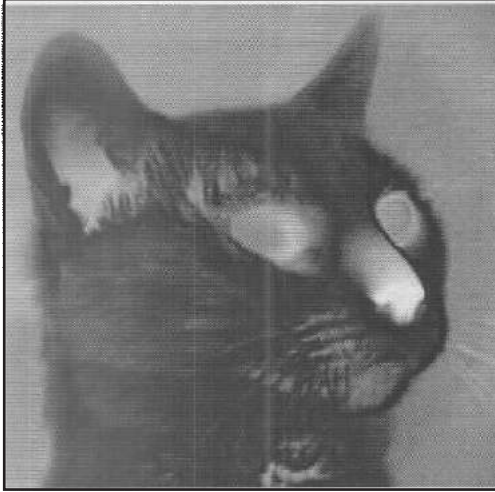
(2) أشعة X والتي درسناها أيضا عند دراستنا للذرة وقلنا أنها تنتج عن توقف الإلكترونات السريعة وتحول طاقتها الحركية الى موجات كهرومغناطيسية وهي تلي أشعة γ من حيث التردد حيث ينحصر ترددها بين 10^{17} و 10^{19} هيرتز تقريبا ولذلك فطولها الموجي حوالي قطر الذرة ولذلك فهي أيضا ضارة بالإنسان اذا تعرض لها لفترات طويلة وتستخدم في التشخيص الطبي.

(3) الأشعة فوق البنفسجية وسميت كذلك لأنها تجاور مباشرة الضوء المرئي البنفسجي ولكنها أعلى ترددا منه وهي أيضا ضارة للجلد والعيون ويحجب الغلاف الجوي جزءا كبيرا منها ويسبب ما ينعكس مما تبقى منها على الثلج في البلاد الباردة ما يعرف بالعمى الثلجي و يوجد منها كمية كبيرة في الضوء الساطع الذي يصدر عند اللحام بالكهرباء حيث تستخدم نظارات خاصة للحماية منها. وتكمن خطورة ثقب الأوزون الذي ظهر مؤخرا في الغلاف الجوي للأرض قرب القطب الجنوبي أنه سمح بنفاذها الى الأرض.

(4) الضوء الأبيض وهو تقريبا في منتصف الطيف الكهرومغناطيسي وهو الجزء الوحيد الذي يراه الإنسان ويرى به ومدى الضوء ضيق جدا مقارنة ببقية أقسام هذا الطيف من حيث التردد وطول الموجة حيث ينحصر التردد بين 10^{14} و 10^{15} هيرتز أي أن طوله الموجي بين

10^{-7} و 10^{-6} متر أي تقريبا واحد على مليون من المتر أو واحد على الف من المليمتر؛ ومع ذلك فهو اطول من قطر الذرة ببضعة آلاف مرة والضوء المرئي يتكون من سبعة ألوان كما عرفنا سابقا حيث اللون البنفسجي أعلاها ترددا واللون الأحمر أدناها ترددا بينما اللون الأخضر أوسطها ترددا.

(5) الأشعة دون الحمراء وسميت كذلك لأنها أقل ترددا من الضوء الأحمر وتجاوره مباشرة وهي الأشعة التي تنقل الحرارة. فالحرارة عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية ينحصر طولها ترددها تقريبا بين 10^{12} و 10^{14} هيرتز والطول الموجي بين 10^{-6} و 10^{-4} متر وهي الجزء الثاني في الطيف الكهرومغناطيسي الذي يحسه الإنسان بعد الضوء المرئي.



ولأن أجزاء جسم الإنسان وبقية الأجسام تختلف في امتصاصها وإشعاعها للحرارة فقد أمكن الحصول على الصور في الظلام بالتقاط الأشعة دون الحمراء الصادرة من الأجسام المختلفة كما أمكن أيضا إلتقاط الصور ليلا بوساطة الأشعة دون الحمراء المنعكسة من الأجسام وذلك بعد إضاءة المكان بمصادر للأشعة دون الحمراء (غير مرئية) والآن تستخدم الأشعة دون الحمراء بكثرة في أجهزة التحكم (الريموت) للتحكم مثلا في أجهزة التلفزيون عن بعد.

صورة الأشعة دون الحمراء الصادرة من رأس قط. (الصورة في الأصل ملونة حسب درجة حرارة كل جزء). العيون وداخل الأذنين ساخن والأنف بارد.

(6) موجات الراديو:

(أ) موجات الرادار والموجات المتناهية القصر (الميكروويف Microwave) وهي بداية موجات الراديو وهي تعمل في المدى $(10^8 - 10^{12})$ هيرتز

وأطوال امواجها بين 10^{-4} متر و 10^{-1} متر ، وتستخدم في الاتصالات مع الأقمار الإصطناعية كما تستخدم في الرادار الذي يرسلها في شكل نبضات ترتد اليه منعكسة من الأجسام البعيدة مثل الطائرات التي يحدد الرادار موقعها وإرتفاعها وسرعتها بدقة كبيرة. وفي الجزء الأدنى لهذا المدى تعمل محطات التلفزيون ومحطات الإذاعة على FM.

(ب) أمواج الراديو القصيرة والمتوسطة والطويلة وهي موجات طولها الموجي كبير يتراوح بين السنتيمترات والكيلومترات. وينحصر طول الموجات القصيرة بين حوالي 10^{-1} و 10^2 متر وتذيع في هذا المدى عدد كبير جدا من المحطات الإذاعية والتي يصل إرسالها الى مسافات بعيدة نهارا وليلا . أما الموجات المتوسطة المستعملة للإذاعة فيتراوح طولها بين 200 م و 500 م وعيبها أنها تصل الى مسافات بعيدة أثناء الليل بينما تقل هذه المسافات جدا أثناء النهار وسنعرف السبب لاحقا وهذا المدى هو الأكثر إستخداما للإذاعة في جميع أنحاء العالم. أما الموجات الطويلة التي طولها بالكيلومترات فلا تستخدم إلا في دول قليلة.

نشاط: قم بتفقد جهاز الراديو الموجود في البيت وتعرف على مدى الموجات التي يلتقطها ذلك الجهاز وحاول إنقاط بعض المحطات في كل مدى.

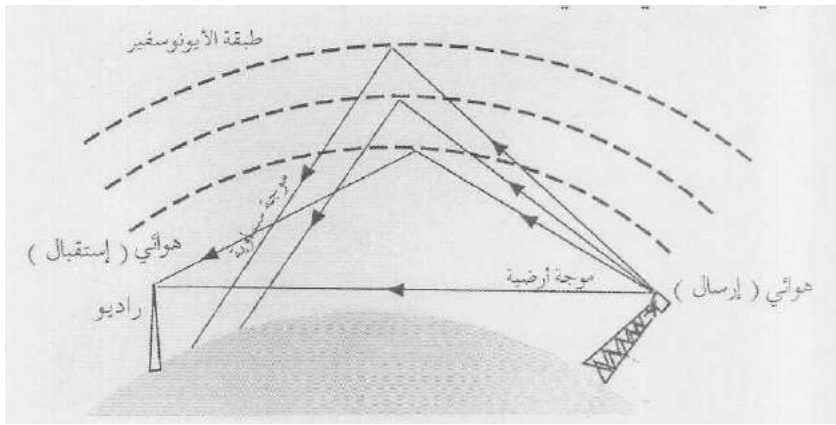
(4-2-3) انتشار أمواج الإرسال الإذاعي :

تقوم أمواج الإرسال الإذاعي بنقل الصوت من جهاز الإرسال لجهاز الاستقبال . وتنتشر أمواج الإرسال الإذاعي بطريقتين هما الموجات الأرضية والموجات السماوية .

فالموجات الأرضية هي أمواج يكون مسارها قريباً من سطح الأرض وهي لا تلتقط على مسافات بعيدة نظراً لانحناء سطح الأرض واعتراض الجبال والمباني لها ويزداد امتصاص الأرض لها كلما كان ترددها كبيراً . أما **الموجات السماوية** فهي تتجه نحو السماء فتعكسها طبقة الغلاف الجوي المتأينة التي تسمى بطبقة الأيونوسفير وهي طبقة متأينة تعمل كمرايا عاكسة تعكس الموجات الكهرومغناطيسية نحو الأرض مرة أخرى مما يجعلها تصل إلى أماكن بعيدة جداً عن محطة الإرسال.

وقد وجد أن طبقة الأيونوسفير العاكسة تنخفض في الليل إلى مستوى أقرب للأرض مما يمكنها من عكس الموجات المختلفة الطول وهي تشمل

الموجات الطويلة وترددها من 10 إلى 100 كيلو هيرتز ، و المتوسطة والتي ترددها من 100 إلى 1500 كيلو هيرتز (1.5 ميغا هيرتز) ، والقصيرة والتي ترددها بين 1.5 إلى 20 ميغا هيرتز ولذلك يمكن سماع عدد كبير جدا من محطات الإذاعة ليلا. أما أثناء النهار فترتفع طبقة الأيونوسفير مما يمكن فقط الموجات القصيرة من الانعكاس منها. وهذا هو السبب الذي لا يمكننا من الاستماع إلى المحطات البعيدة والتي تذيع على الموجات المتوسطة والطويلة أثناء النهار بينما نسمعها ليلا . وإذا زاد تردد الموجات عن حوالي 50 ميغا هيرتز فإنها لا تنعكس بل تخترق هذه الطبقة وتنتشلت في الفضاء الخارجي . لذا فإننا نحتاج إلى أقمار اصطناعية تعكس أمواج الإرسال الإذاعي والتلفزيوني والهاتفي والتي يزيد ترددها عن 50 ميغا هيرتز .



الشكل (4-15) : الموجات الأرضية والسماوية .

(4-2-4) تحميل الموجات الكهرومغناطيسية الصوت والصورة :

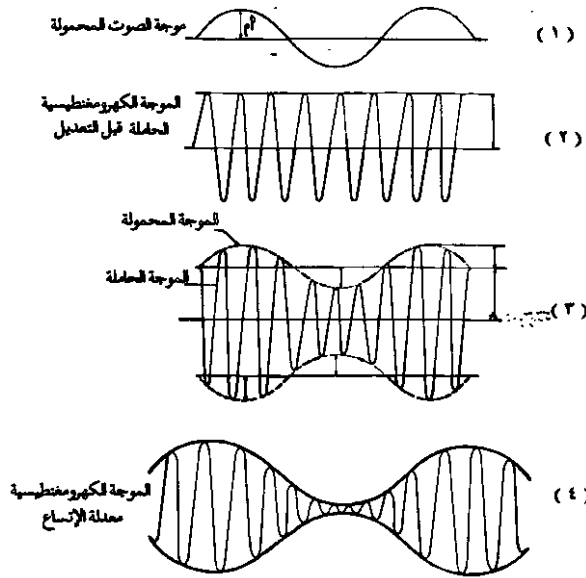
تستخدم الموجات الكهرومغناطيسية في نقل الصوت في الإرسال الإذاعي وفي نقل الصورة والصوت في الإرسال التلفزيوني ويتم نقل هذه المعلومات بطريقتين رئيسيتين هما تعديل الاتساع (AM) وتعديل التردد (FM) . يتم تعديل الاتساع ويسمى (Amplitude Modulation) (AM) كالآتي:

أ) تكون أمواج الصوت المنتجة في إستوديوهات الإذاعة سواء كانت كلاما أو موسيقى ذات تردد منخفض كما علمنا في الباب الثاني- الفصل الثالث مقارنة مع تردد موجة الراديو الكهرومغناطيسية [شكل (4-16) (1)].

(ب) يتم توليد الموجة الكهرومغناطيسية بواسطة أجهزة خاصة بذلك [شكل (16-4) (2)].

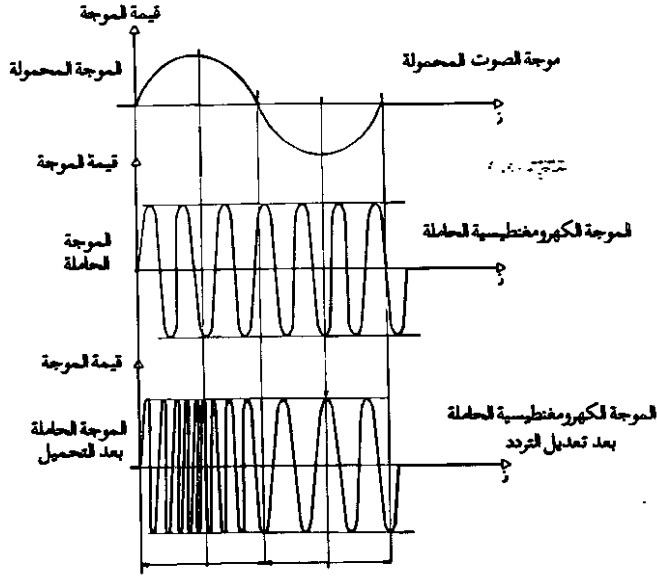
(ج) تجمع الموجتان معا بواسطة مازج ويكون نتيجة الجمع أن إتساع الموجة الكهرومغناطيسية (الموجة الحاملة) يتعدل وفقا لإتساع موجة الصوت (الموجة المحمولة). [نفس الشكل (3)]

(د) ترسل الموجة المعدل إتساعها (الموجة الحاملة) لجهاز إرسال الإذاعة فتنبث بنفس شكلها كموجة كهرومغناطيسية حاملة معها شكل الصوت.



الشكل (16-4) : تعديل اتساع الموجة الكهرومغناطيسية (AM) .

أما في تعديل التردد (Frequency Modulation) (FM) فيتم في الإذاعات المعروفة بالـ FM وكذلك في التلفزيون حيث يتم هذا التعديل سواء أن كانت الموجة المحمولة هي للصورة أو للصوت أو للصوت والصورة معا، ويلاحظ في الحالتين أن تردد الموجة الحاملة كبير مقارنة مع الإذاعات التي تنبع على الموجات القصيرة والمتوسطة أو الطويلة حيث يتم تعديل الإتساع عادة.



الشكل (4-17) : تعديل التردد (FM) .

وفي تعديل التردد FM يتم في المازج جمع تردد الموجة الكهرومغناطيسية الحاملة مع تردد موجة الصوت في حالة الإذاعة أو الصورة والصوت معا في حالة التلفزيون ويصبح تردد الموجة الحاملة متغيرا مع الزمن وفق تردد الموجة المحمولة. ثم ترسل الموجة الكهرومغناطيسية الحاملة الى جهاز الإرسال وهي تحمل من خلال التغير في ترددها كل ترددات الصوت والصورة الأصلية [شكل (4-17)].

(أ) الإرسال والاستقبال الإذاعي :

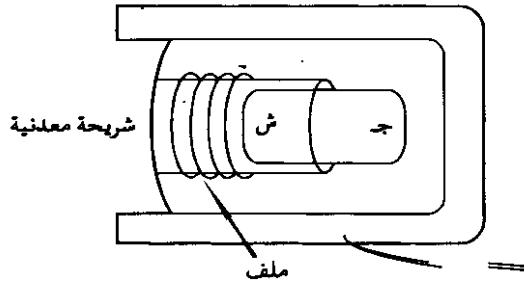
(4-2-5) جهاز الإرسال الإذاعي :

في محطة الإذاعة توجد أجهزة تسجيل الصوت المعروفة أو أجهزة حاسوب تستعمل الأقراص المدمجة CD المسجل عليها الصوت والموسيقى كما توجد أجهزة لإلتقاط الصوت المعروفة بالميكروفونات. والميكرفون (كما درست في مرحلة الأساس) هو جهاز يحول الذبذبات الحركية للصوت لتيار متذبذب ويتركب في إحدى صورته من شريحة معدنية مثبت معها ملف بداخله مغناطيس فعندما يتكلم شخص تتذبذب

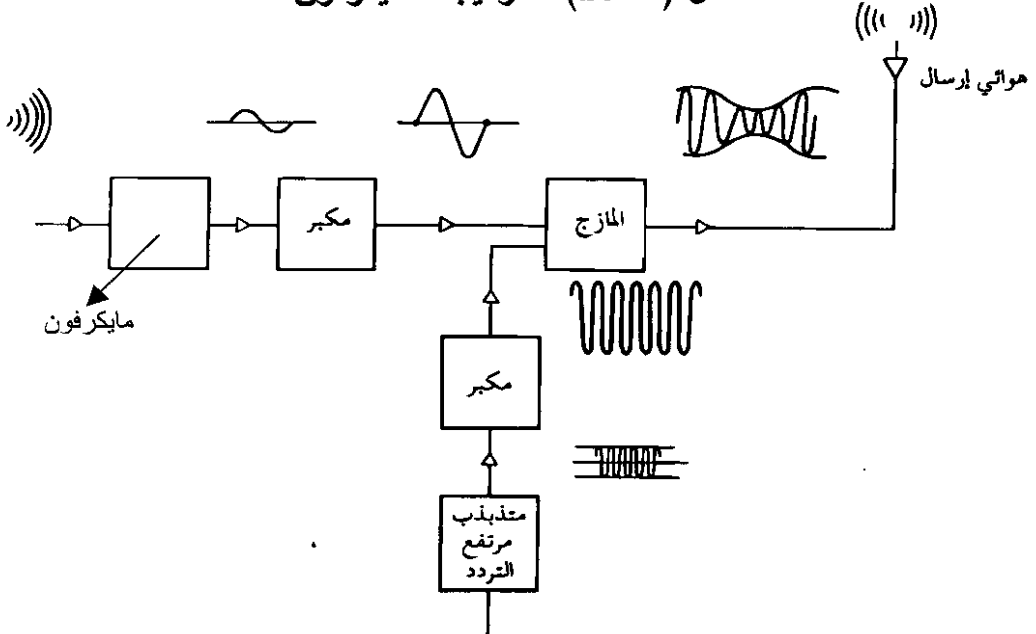
الشريحة والملف معاً . ويؤدي تذبذب الملف داخل المجال المغنطيسي للمغنطيس إلى تولد تيار متذبذب تأثيري في الملف (شكل (4-18)). هذا التيار التأثيري تتناسب شدته مع مقدار حركة الملف الذي يتذبذب مع تذبذب الشريحة المعدنية الذي يتناسب بدوره مع شدة الصوت وتردده.

* ولأن شدة هذا التيار التأثيري ضعيفة جداً ، يرسل إلى مكبر لزيادة شدته ثم تجمع معه التيارات القادمة من أجهزة التسجيل وترسل إلى المازج (شكل (4-19))

* يقوم متذبذب بتوليد تيار متردد بنفس تردد الموجة الكهرومغنطيسية المطلوبة لحمل موجة الصوت المحمولة. ويرسل هذا التيار المتردد أيضاً إلى المازج.



الشكل (4-18) : تركيب المايكرفون .



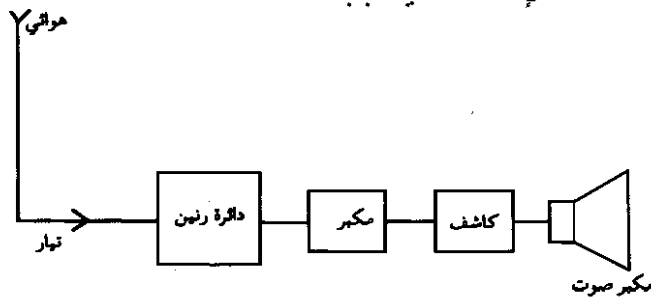
الشكل (4-19) : مخطط جهاز الإرسال الإذاعي .

* يتلاقى تيار المتذبذب مع تيار الصوت في المازج الذي يقوم بتعديل اتساع أو تردد التيار المتردد حسب تغير تيار الصوت (شكل (4-19))

* يخرج تيار المازج ليمر في المكبر الذي يكبر التيار الذي يمرر بعد ذلك إلى هوائي الإرسال وهو سلك معدني فتتذبذب الإلكترونات بداخله بنفس تردد التيار مولدة حول الهوائي (شكل (4-19)) أمواج كهرومغناطيسية أي يتحول التيار بهذه الطريقة إلى أمواج كهرومغناطيسية معدلة الاتساع أو معدلة التردد فتنتشر في الفراغ حتى تصل إلى أجهزة الاستقبال المختلفة .

(4-2-6) جهاز الاستقبال الإذاعي : (الراديو)

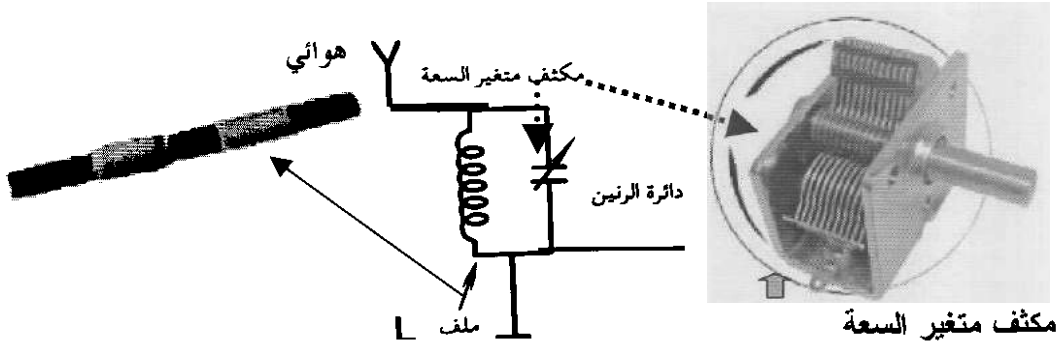
يتم استقبال الموجات الكهرومغناطيسية الحاملة للصوت بواسطة جهاز الاستقبال (جهاز الراديو) الذي يقوم باستخلاص معلومات الصوت منها فيحولها إلى صوت. ويتركب جهاز الاستقبال من هوائي عبارة عن سلك معدني حيث يتسبب المجال الكهربائي المتذبذب للأمواج الكهرومغناطيسية القادمة من محطات الإذاعات فيتسبب



الشكل (4-20) : مخطط جهاز استقبال إذاعي (الراديو) .

في تحريك وتذبذب الإلكترونات الحرة الموجودة فيه فيتولد تيارا كهربيا متذبذبا في الهوائي له نفس ترددات الإذاعات المرسله (شكل (4-20)). وتدخل تيارات الإذاعات المختلفة في دائرة تسمى بدائرة الرنين وهي دائرة مكونة من مكثف متغير السعة متصل مع ملف (شكل (4-21)) . وبتغيير سعة المكثف يتغير تردد دائرة الرنين و التي تسمح فقط للتيارات ذات التردد الموافق لتردها بالمرور خلالها حيث تقل مقاومة الدائرة لمرور ذلك التيار . فعند ضبط قيمة المكثف المتغير السعة عند القيمة المناسبة تمرر دائرة الرنين تيار إذاعة واحدة فقط ذات تردد مناسب لتلك السعة حينها يصبح تيار

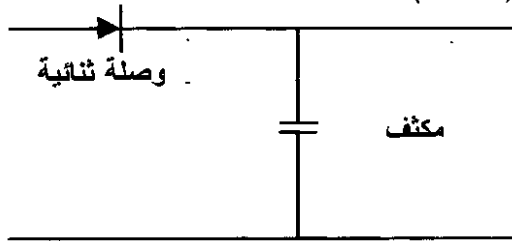
الإذاعة المختارة أكبر ما يمكن لأن مقاومة الدائرة له تصبح أقل ما يمكن بينما تمنع دائرة الرنين مرور تيارات الإذاعات الأخرى . وعند تحريك مؤشر الراديو عزيزي الطالب فأنت في الواقع تقوم بتغيير سعة المكثف في داخل الجهاز حتى تحصل على المحطة التي تريدها (شكل (4-22))



عند توغل مجموعة الألواح العليا في السفلى تزيد مساحة المكثف وبالتالي تزيد سعته وعند خروجها من بعضهما تقل السعة.

الشكل (4-21) : دائرة الرنين في الراديو.

ويخرج تيار الإذاعة المختارة من دائرة الرنين وتكون شدته صغيرة لذا يكبر هذا التيار باستخدام مكبر يزيد شدة التيار . ثم يمر هذا التيار الحامل للصوت في جهاز يسمى بالكاشف المكون في أبسط صورة من مكثف ووصلة ثنائية وهي وصلة تسمح بمرور التيارات في اتجاه وتمنع مرورها في الاتجاه المعاكس (شكل (4-22)).



الشكل (4-22) دائرة الكاشف .

ويقوم الكاشف بامتصاص تيار الموجة الحاملة وتمرير تيار الصوت إلى مكبر الصوت الذي يحول تيار الصوت لذبذبات صوتية مرة أخرى .

(ب) التلفزيون :

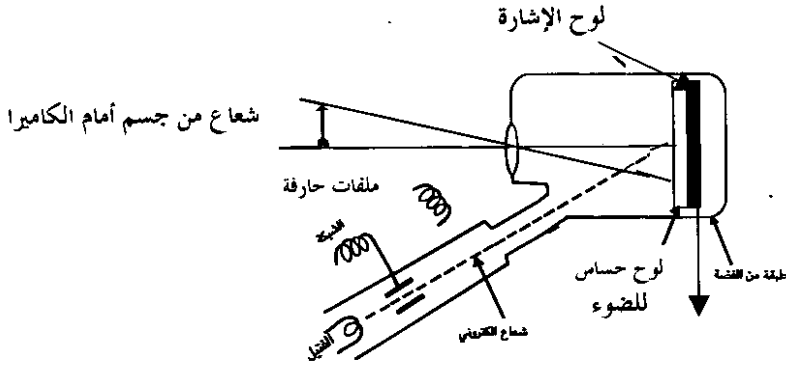
تعني كلمة التلفزيون (Television) الرؤية من بعيد . ويقوم جهاز الإرسال التلفزيوني بنقل الصور الموجودة أمام الكاميرا التلفزيونية عبر الموجات الكهرومغناطيسية إلى أجهزة الاستقبال التي تلتقط هذه الصور لتعرضها على شاشات الاستقبال .

(4-2-7) جهاز الإرسال التلفزيوني :

أ) كاميرا التلفزيون عبارة عن غرفة مظلمة مفرغة من الهواء في مقدمتها عدسة لنقل الصورة وفي مؤخرتها لوح حساس للضوء تسلك كل نقطة فيه سلوك الخلية الكهروضوئية عند سقوط الضوء على تلك النقطة وهنا سنعتبر هذا اللوح الحساس عند سقوط الصورة عليه مكون من ملايين النقاط الحساسة للضوء. (كأنها خلايا كهروضوئية) تسمى عناصر الصورة .

ويتصل بالآلة التصوير أسطوانة في مؤخرتها ملف يسمى بالفتيل يقوم بإشعاع الكترونات مع شبكة للتحكم في هذه الالكترونات ومصدر وظيفته تركيز الالكترونات في حزمة ضيقة في صورة شعاع الكتروني يسقط على الخلايا الكهروضوئية . وتوجد أزواج من الملفات الأفقية والرأسية يمر بداخلها تيار ليحرف الشعاع الالكتروني أفقياً ورأسياً (شكل (4-23)) .

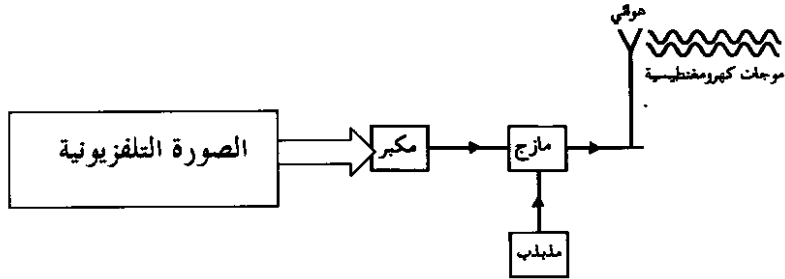
فعند وجود منظر أمام الكاميرا تكون له العدسة صورة على الخلايا (النقاط) فينبعث من كل منها عدد من الالكترونات الحرة يختلف عددها باختلاف كمية الضوء الساقط عليها من أجزاء الصورة المختلفة فتشحن كل خلية (نقطة) بشحنة موجبة مساوية لما فقدته من الكترونات . تؤثر الشحنات الموجبة للخلايا على لوح الإشارة الذي يلاصقها من الخلف فيتكون عليه بالتأثير شحنة سالبة مقيدة تختلف باختلاف الشحنة الموجبة الموجودة على كل خلية (نقطة). وللحصول على أجزاء الصورة المختلفة في شكل تيارات متغيرة الشدة يقوم الشعاع الالكتروني الصادر من الفتيل بالمرور على الخلايا المختلفة بالتتابع بفعل الملفات الحارفة التي تحركه أفقياً ورأسياً ليمر على كل صفوف الخلايا (النقاط).



تيار متغير الشدة حسب إضاءة الصورة

الشكل (4-23): تركيب الكاميرا التلفزيونية .

فعند سقوط الشعاع الإلكتروني على إحدى الخلايا الموجبة تصبح متعادلة فتحرر الشحنات التأثيرية السالبة التي كانت قد تكونت على لوح الإشارة والتي كانت تجذبها وتقيدها الخلية (النقطة) الموجبة . فنتحرك هذه الشحنات الكهربائية السالبة (إلكترونات) مكونة تيارا كهربيا متغير الشدة يعبر عن جزء الصورة الواقع على الخلية المعنية .



الشكل (4-24) كيفية إرسال الصورة التلفزيونية إلى المشاهدين

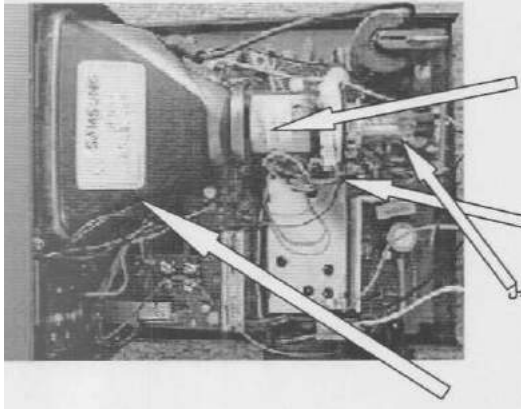
وبمرور الشعاع الإلكتروني على كل الخلايا (النقاط) نحصل على تيارات متغيرة تعبر عن كل أجزاء الصورة الموجودة أمام الكاميرا .
 ب) تكبر هذه التيارات المتغيرة الشدة بواسطة المكبر ثم تمزج في المازج مع تيار ذو تردد عالٍ يولده المذبذب . حيث يتغير تردد هذا التيار ليعبر هذا التغير عن أجزاء الصورة المختلفة ويرسل هذا التيار المتردد

المعدل إلى سلك الهوائي لیبثها في شكل موجات كهرومغناطيسية معدلة التردد FM (شكل (4-24)).

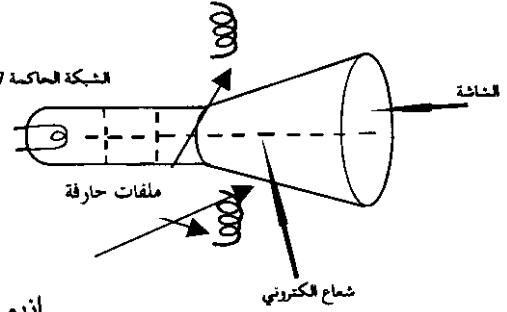
لأن كل خلية (نقطة) تولد تياراً قد يكون مختلفاً في القيمة من النقطة الأخرى فلا بد من نظام للمرور على كل النقاط لتكوين الصورة الكاملة لما يحدث أمام الكاميرا لذلك نجد في نظام (PAL) المصممة وفقه الأجهزة المستخدمة في السودان أن الشعاع الإلكتروني في الكاميرا يمر على الخلايا (النقاط) في خطوط أفقية يساوي طول كل خط منها عرض الصورة وعندما يكتمل الخط الأول يبدأ الخط الثاني ماراً بكل الخلايا على هذا الخط وهكذا حين يكتمل المنظر يكون قد رسم 625 خطاً . هذا العدد من الخطوط يرسم في الواقع صورة واحدة فقط. ولكن الصور التلفزيونية تنقل في الواقع أحداثاً متحركة ولا بد لعين الإنسان أن تمر أمامها حوالي 25 صورة متتالية في الثانية الواحدة حتى ترى المنظر المتحرك على حقيقته. لذلك يقوم الشعاع الإلكتروني في الكاميرا برسم 625 خطاً في كل (1/25) جزء من الثانية . أي أن هذا الشعاع يمر على أجزاء الصورة 25 مرة في الثانية الواحدة بمعدل 625 خط في كل مرة. لذلك لا بد من أن يقوم جهاز التلفزيون العادي في المنزل برسم نفس هذا العدد لينقل الصورة للمشاهد كما سنرى لاحقاً.

(4-2-8) جهاز الاستقبال التلفزيوني :

يتركب جهاز الاستقبال من هوائي تمر فيه الموجات الكهرومغناطيسية فيؤدي المجال الكهربائي المتذبذب إلى تذبذب الإلكترونات الحرة في الهوائي فيتولد تيار متذبذب لكل القنوات التلفزيونية والذي ينقلها بدوره إلى دائرة الرنين التي تقوم عند ضبطها على تردد قناة تلفزيونية واحدة وتمنع مرور باقي القنوات . ثم يخرج تيار القناة من دائرة الرنين وتكون شدته صغيرة لذا يدخل هذا التيار لمكبر ليزيد من شدته ثم يمرر هذا التيار في دائرة الكاشف التي تمتص تيار الموجة الحاملة وتمرر تيار الصورة بعد تكبيره إلى أنبوبة مخروطية مفرغة من الهواء في نهايتها أنبوبة أسطوانية (شكل (4-25)).



الملفات تولد مجالا مغناطيسيا يحرك
الشعاع الإلكتروني أفقيا في خطوط
ورأسيا لرسم 625 خط



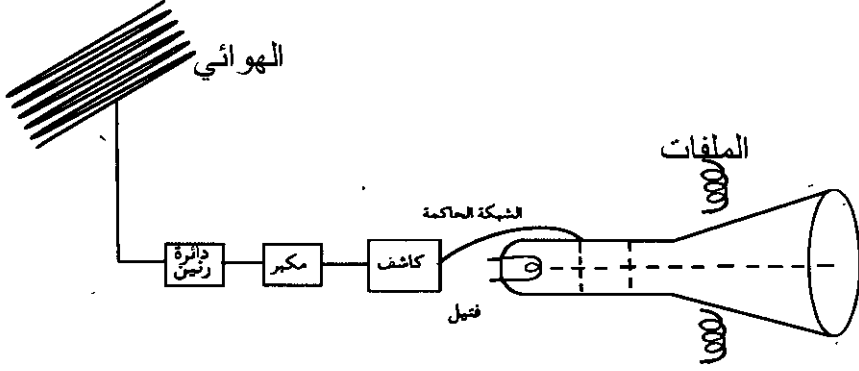
أنبوبة التلفزيون

الشكل (4-25) : أنبوبة جهاز الاستقبال التلفزيوني .

* هذه الأنبوبة هي التي نرى واجهتها في جهاز التلفزيون وجهاز الكمبيوتر والتي نسميها الشاشة وتغطي الشاشة من الداخل بمادة (إذا كان التلفزيون غير ملون) أو مواد (إذا كان التلفزيون ملونا) وميضية تسمى بالمواد الفسفورية وهي مركبات تتوهج وتصدر ضوءاً عند سقوط الإلكترونات عليها .

* يوجد في بداية الأنبوبة سلك ملفوف يسمى بالفتيل وتصدر منه الإلكترونات عند تسخينه بأمرار تيار كهربى فيه . وينحرف هذا الشعاع الإلكتروني أفقياً ورأسياً بفعل ملفات تحيط بالأسطوانة أفقياً ورأسياً وتوجد داخل الأسطوانة كذلك شبكة معدنية يُمرر إليها التيارات الممثلة لأجزاء الصورة المختلفة . فعند مرور هذه التيارات في الشبكة تتغير شدة الشعاع الإلكتروني الساقط على الخلايا الوميضية الموجودة على الشاشة فينبعث منها ضوءاً تتوقف شدته على الإضاءة الفعلية لذلك الجزء من الصورة وهكذا تظهر أجزاء الصورة المختلفة عند مرور الشعاع الإلكتروني على أجزاء الشاشة المختلفة التي يمسحها أفقياً ورأسياً بفضل الملفات الأفقية والرأسية الحارفة . وعلى ذلك يحدث في جهاز الاستقبال (شكل (4-26)) ما تم في الكاميرا حيث يقوم الشعاع

الالكتروني برسم 625 خطا ، كل خط بعرض الشاشة ، وذلك لتكوين الصورة الواحدة ويكرر ذلك 25 مرة في كل ثانية فنرى الصورة على شاشة التلفزيون كأنها حية أمامنا .



الشكل (4-26) مخطط جهاز الاستقبال التلفزيوني .

تمرين

- (1) ما طبيعة وخواص الموجات الكهرومغناطيسية ؟
- (2) ارسم رسماً توضيحياً يبين الأجزاء الرئيسة لجهاز الإرسال الإذاعي وبين كيف يعمل جهاز الإرسال الإذاعي .
- (3) بين كيف يعمل جهاز الاستقبال الإذاعي .
- (4) وضح مم يتكون جهاز الإرسال التلفزيوني وما وظيفة أجزائه المختلفة .
- (5) بين الأجزاء الرئيسة لجهاز الاستقبال التلفزيوني وأشرح كيف يعمل كل منها .
- (6) بين لماذا لا ترسل محطات الإرسال التلفزيوني موجات أرضية تصل للأماكن البعيدة .

تم بحمد الله