جمهوريّة السّودان
وزارة التربية والتعليم
المركز القوميّ للمناهج والبحث التربويّ
- بخت الرضا -

الفيزياء

الصف الثالث الثانويّ

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 مجذوب – 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

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

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدّمة

يسرنا أن نقدم هذا الكتاب الثالث في الفيزياء للمرحلة الثانوية وسيجد الطلاب أن موضوعات هذا الكتاب أكثر تنوعاً ممـــا 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 حراريـــة ، 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 (التثاقل) والكهربية المغنطيسية 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 الكهرومغنطيسية 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 نتدرج 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 بآرائهم 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 آملين أن تكون هذه الطبعة أتم وأكمل من سابقتها ، وفي نفس الوقت نرحب بملاحظات المهتمين عن هذه الطبعة لمزيد من الضبط في الطبعات القادمات .

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 كيرتشوف ، المكثفات في الباب الثالث من الطبعة الأولى .

جـ) 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 الكهربية ويلاحظ القارئ أيضا إعادة رسم بعض الأشكال وإضافة أشكال جديدة لتوضيح بعض المفاهيم وتركيب بعض الأجهزة. كما أضيفت مجموعة من الصور حتى تضفي بعدا حقيقيا على موضوع الدرس.كذلك استخدمنا للقسمة 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 محجوب محمد الحسين (جامعة أفريقيا العالمية) والذي قام بمراجعة الطبعة الأولى مراجعة دقيقة وتحديد الأخطاء كما قام بمراجعة هذه الطبعة. كما نزجي 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 للأساتذة الهادي أحمد البشير(موجه فني مادة الفيزياء) وخالد محمد هارون ومناهل محمد بحر الدين لملاحظاتهم القيمة.وختاما الشكر للدكتور محمد مزمل البشير مدير المركز القومي للمناهج والبحث التربوي الذي هيأ لنا هذه الفرصة لمراجعة هذا الكتاب والله الموفق.

المؤلفون ٢٠٠٥

الباب الأول :

المجال التثاقلي والحركة الدائرية وحركة الكواكب والأقمار الاصطناعية

(1-1) الفصل الأول

المجال التثاقلي (مجال الجاذبية)

(1-1-1) مقدمة :

ترتبط حياتنا بشكل مباشر بالمجال التثاقلي 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 وبقية 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 وتدور حول محورها

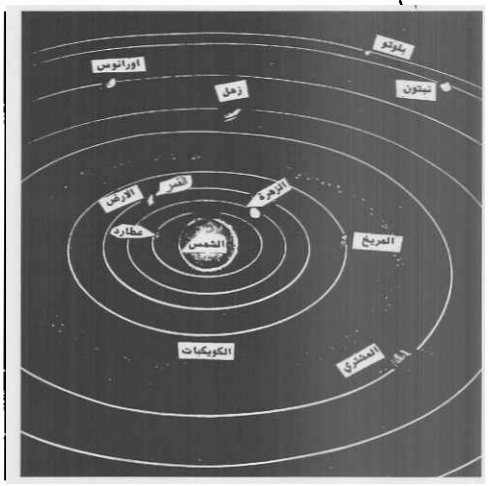
فمجرة درب التبّانة (لأنها تشبه دربا به تبن) وهي التي تقع فيها المجموعة الشمسية وبها **بلايين النجوم** ،حيث تجري الشمس حول مركزها (ومعها كل المجموعة الشمسية) بسرعة تبلغ حوالي 250 كم\ ث (**أنظر شكل (1-2)**) ، ويقول الله تبارك وتعالى في سورة يس (**والشمس تجري لمستقر لها ذلك تقدير العزيز العليم ◊ والقمر 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.

(1-1-2) جذب الأرض للأجسام :

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

ولقـــد عـــرف المسلمون منذ القرن التاسع للميلاد قوة التثاقل الناشئة عن جذب الأرض للأجسام وأطلقوا على هذه القوة اسم القوة الطبيعية وهي ما نسميه الـــيوم بقـــوة التثاقل أو وزن الجسم . وقد عبر عن ذلك العالم " البيرونى بقوله" لامحالـــة آن الخـــلاء الذي في بطن الأرض يمسك الناس حواليها. أما الشريف الإدريسي (493 هـ - 565 هـ ، 1100م - 1170 م) فقد ذكر في كتابه نزهة المشـــتاق في اختراق الآفاق " أن الأرض جاذبة لما عليها من الثقل بمنزلة حجر المغنطيس الذي يجذب الحديد " .

كمـــا أدركوا أن قوة التثاقل تتعاظم كلما كبر الجسم حيث أورد ذلك العالم ابـــن ســـينا في كتابه الإشارات والتنبيهات. كذلك أكد العالم الخازني (515 هـ ، 1170م) أن الأجســـام الســـاقطة تـــنجذب نحو مركز الأرض، وأن اختلاف قوة الجذب يرجع إلى المسافة بين الجسم الساقط وهذا المركز. وهذا بالضبط ما أكده العلم لاحقا.



الشكل (1-1): المجموعة الشمسية

الشكل (1-2): مجرة ضخمة ذات ازرع تشبه مجرتنا وبها بلايين النجوم بعضها يتركز في مركزها المتوهج. تقع شمسنا قرب طرف احد ازرع مجرتنا الشبيهة بهذه.

ثـم بـذلت بعـد ذلك مجهودات أخرى عديدة لفهم طبيعة جذب الأرض للأجسام أهمها مجهودات العالم الإيطالي جاليليو (1564-1642م) والذي أجرى التجـربة 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 صـياغة قانـون التـثاقل (التجاذب) الأرضي في صورة معادلة رياضية .حيث ذكـرت بعـض المـراجع إن تفاحة سقطت قرب نيوتن عندما كان يجلس تحت شجرتها مما جعله يتساءل: لماذا سقطت هذه التفاحة إلى اسفل ؟ وعندها افترض أن هـنالك قـوة تجـاذب بين الأجسام والأرض وهى التي أجبرت التفاحة على السقوط إلى أسفل.

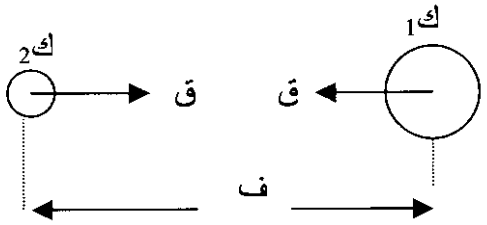
(1-1-3) قانون التثاقل :

لقـد قـام نيوتن بتحليل بعض الحسابات الفلكية التي سجلها بعض العلماء السابقين له أبرزهم العالم كبلر لحركة القمر حول الأرض وللكواكب حول الشمس وافتـرض أن نفـس القوة التي جذبت التفاحة إلى الأرض هي التي تجعل القمر يـدور 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 جسـمين كتلتاهما ك$_1$ و ك$_2$ يتجاذبان بقوة ق تتناسب طردياً مع مضروب كتلتيهما وعكسيا مع مربع المسافة (ف) 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 (التثاقل) بين جسمين :

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

أي أن

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

قانون التثاقل الكوني (1 – 1)

حيث **ج** هو ثابت التناسب ويسمى **ثابت التثاقل الكوني** وقيمته ثابتة في كل أنحاء الكون وقد أمكن تحديد قيمته حيث وجد أن :

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

قانون التثاقل 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 لان 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 .

واضـــح مـــن قانون التثاقل الكوني (1-1) أن قوة التجاذب بين الكتلتين تتضـــاءل كلما كبرت المسافة بينهما ولذلك تكون قوة جذب الأرض ضعيفة جداً على الأجسام التي على مسافات بعيدة عن الأرض، لان ف^2 تكون كبيرة جداً .

والآن يمكنـــنا أن نتخـــيل مقـــدار الفوضى التي كانت ستحدث لو لم تكن الأرض تجـــذب الأجســـام إليها حيث ستكون كلها بدون وزن وسيختفي الغلاف الجوى 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) :

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

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

$$\text{و} = \text{ك} \times \text{د} \qquad (2-1)$$

حيث ك ≡ كتلة الجسم ، د = 9.8 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 :

وزن الجسم = قوة التثاقل بين الأرض والجسم

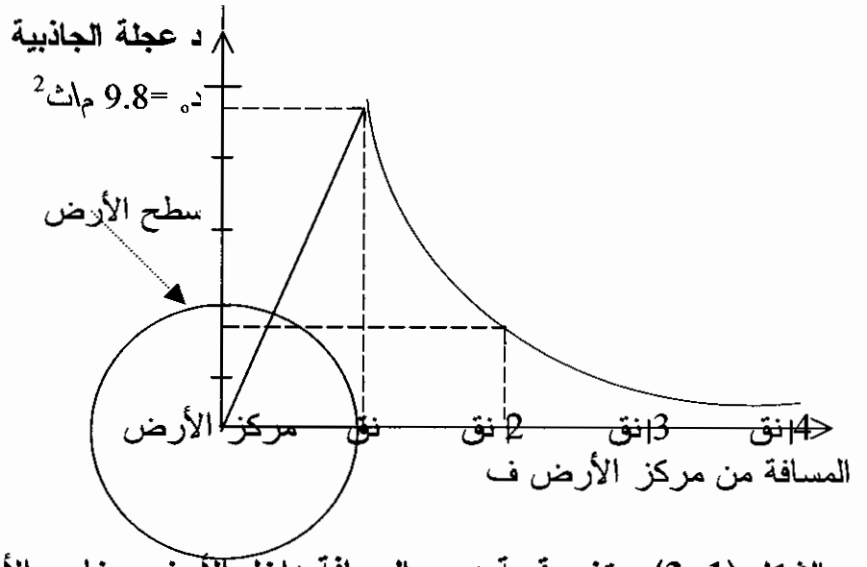
أي أن :

$$\text{ك} \times \text{د} = \frac{\text{ج ك ك}_{\text{أ}}}{\text{ف}^2} \qquad (3-1)$$

حـــيث ك$_1$ = كـــتلة الأرض و ف هي بعد الجسم من مركز الأرض .ومن هذه المعادلة بعد قسمة الطرفين على ك نجد أن عجلة الجاذبية للأرض (عجلة السقوط الحر) هي:

$$د = \frac{ج\ ك_1}{ف^2} \qquad (4 - 1)$$

المعادلـــة (1-4) توضـــح أن عجلة الجاذبية الأرضية تتوقف على كتلة الأرض (وهـــى طبعا 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 الثقـــيلة تؤثـــر عليها نفس عجلة الجاذبية الأرضية إذا كانت في نفس الموقع (وهذا ما كان قد أثبته العالم جاليلو بالتجربة من برج بيزا المائل) .



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

بعـــد أي جســـم موجـــود على **سطح الأرض** من مركز الأرض **ف=نق** (نصف قطر الأرض) وبالتالي تكون عجلة الجاذبية الأرضية على سطح الأرض والتي سنرمز لها بالرمز :

$$د_{o} = \frac{ج\ ك_{ا}}{نق^{2}} = 9.8 \text{ م \ ث}^{2} \qquad (5-1)$$

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

$$د = \frac{ج\ ك_{ا}}{4\ نق^{2}} \quad \text{أي أن} \quad د = د_{o} \setminus 4$$

وكلما زادت ف كلما قلت عجلة الجاذبية الأرضية . شكل (1–3) يوضح منحنـــى تغيـــر قيمة د كلما ارتفعنا عن سطح الأرض حيث يقل تجاذب الأرض والجسم لأنه يتناسب عكسيا مع مربع المسافة . الشكل أيضا يوضح أن القانون (1–4) لا ينطـــبق على تغير قيمة (د) داخل الأرض حيث د = صفر في مركز الأرض وتزيد قيمتها خطيا حتى تصبح قيمة د = $د_{o}$ على سطح الأرض . أي أن $د_{o}$ (عجلـــة الجاذبية الأرضية على سطح الأرض) هي أعلى قيمة لعجلة الجاذبية الأرضـــية مقارنـــة بقيمـــتها داخـــل الأرض أو قيمـــتها كلما ارتفعنا عن سطح الأرض.بقسمة المعادلة (1–4) على المعادلة (1–5) نجد أن :

$$د \setminus د_{o} = (ج\ ك_{ا} \setminus ف^{2}) \div (ج\ ك_{ا} \setminus نق^{2}) = نق^{2} \div ف^{2}$$

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

باستعمال المعادلة (1–6) يمكن إيجاد قيمة د في أي موقع فوق سطح الأرض إذا علمـــنا ارتفاعهـــا عن سطح الأرض حيث ف = نق+ (ذلك الارتفاع) حيث نصف قطر الأرض نق = 6400 كم وقيمة $د_{o}$ معروفة كما في معادلة (1–5) .

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:

ف = ارتفاع الطائرة عن مركز الأرض = نق + 15 كم = 6415 كم ،

د = [9.8 × (6400 كم)^2] ÷ (6415 كم)^2

= 9.8 × 0.99533 = 9.7524223

أي أن هنالك انخفاضا طفيفا في قيمة (د) وأن **د = 99.533% من قيمة د$_o$**

مثال(1-2) : كتلة الأرض

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

$$د_o = \frac{ج\ ك_ا}{نق^2} \qquad (5-1)$$

ومنها نجد أن كتلة الأرض :

$$ك_ا = \frac{د_o\ نق^2}{ج} \qquad (7-1)$$

حيث نحن نعرف أن (د$_o$) = 9.8 م/ث^2، نصف قطر الأرض (نق) = 6400 كم = 6.4 × 10^6 م. وثابت التثاقل الكوني (ج) = 6.67 × 10^{-11} نيوتن. م^2/كجم^2

كتلة الأرض ك$_ا$ = $\frac{9.8 \times (10 \times 6.4^6)^2}{10 \times 6.67^{-11}} = \frac{9.8 \times 40.96 \times 10^{12} \times 10^{11}}{6.67}$

ك$_ا$ = 6,018 × 10^{24} كجم = 6 × 10^{24} كجم

= 6000000000000000000000000 كجم

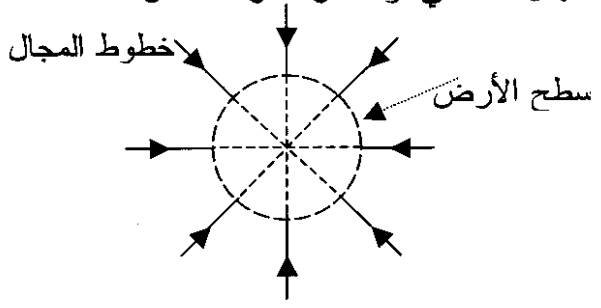
(1-1-5) المجال التثاقلي

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 **مجالا**. وفى 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 الكهربي** لأن الشحنات الكهربية تتجاذب أو تتنافر من بُعد أيضا ولذلك لكل شحنة مجال كهربي. وكذلك يوجد **المجال المغناطيسي** لأن الأقطاب المغناطيسية تتجاذب وتتنافر من بعد **وتتشابه القوانين الفيزيائية في المجالات المختلفة** مما يسهل فهمها وتذكرها وسنتطرق إلى هذين المجالين في هذا الكتاب لاحقا .

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



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

(1-1-6) شدة المجال التثاقلي للأرض :

نلاحـــظ في شكل (1-4) أن كثافة الخطوط (أي عدد الخطوط في وحدة المساحة) تقل كلما بعدت عن الأرض (تتباعد عن بعضها) وقد عرفنا من قانون التـــثاقل الكونـــي (1-1) أن قوة التثاقل تتناسب عكسيا مع مربع المسافة ولذلك **فخطوط المجال** التثاقلي تمثل أيضا القوة من حيث الاتجاه ومن حيث المقدار حيث تقل مع البعد عن الأرض ولذلك تسمى أيضا **خطوط قوة التثاقل** . ولكن لأن قوة التثاقل تكون بين جسمين بينما **المجال التثاقلي** لجسم مادي يوجد حول هذا الجسم حتـــى 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 التثاقلي** .

ولذلك **فشدة المجال التثاقلي** للأرض في نقطة ما على مسافة (ف) من مركـــز الأرض تعـــرف بأنها **هي قوة التثاقل بين كتلة الأرض وبين ما مقداره وحدة الكتلة (=1) في نفس النقطة** .

شد$_{ا}$ = ق ÷ ك نيوتن \ كجم (8-1)

أي أن :

$$\text{شد}_{ا} = \frac{\text{ج ك}_{ا}}{\text{ف}^2} \quad \text{نيوتن \ كجم} \qquad (9-1)$$

المعادلـــة (1-9) توضح أن **شدة المجال التثاقلى** للأرض تتناسب طرديا مـــع كـــتلة الأرض فقط وعكسيا مع مربع المسافة من مركز الأرض إلي النقطة التي نحدد عندها شدة المجال .

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

ق = شد$_{ا}$ × ك نيوتن (10-1)

أي أن **قوة التثاقل** :

= قوة التثاقل على وحدة الكتلة (شدة المجال التثاقلي) × الكتلة .

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

$$\text{شد}_{ث} = (ج \times ك) \div ف^2 \qquad (11-1)$$

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

$$\text{د} = \text{شد}_{ث} = \frac{ج\ ك_{أ}}{ف^2} \text{ نيوتن \ كجم} \qquad (12-1)$$

ولذلك نجد أن **شدة المجال التثاقلى للأرض** تتغير مع المسافة (**ف**) تماما كما تتغير (**د**) في شكل (1–4) .

(1–1–7) 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 جسماً في اتجاه تأثيرها إزاحة مقدارها (ف) هو :

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

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

الجسم إلى هذا الارتفاع. أي أن:**طاقة الوضع = الشغل المبذول لرفع الجسم فى عكس اتجاه جذب الأرض إلى ذلك الارتفاع**

وعليه من معادلة (1–13) تكون طاقة الوضع:

ط$_{و}$ = ق × ف (14–1)

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

ق = – قوة التثاقل الكوني . أي من (1–1) :

$$\text{ق} = - \frac{\text{ج ك}_{\text{ا}} \text{ ك}}{\text{ف}^2}$$

حيث **ك$_{ا}$** ≡ كتلة الأرض ، **ك** ≡ كتلة الجسم ، **ج** ≡ ثابت التثاقل الكوني ، **ف** ≡ بعد الجسم عن مركز الأرض . وعليه لكي نرفع جسماً ما من مركز الأرض إلى سطحها فإننا يجب أن نبذل شغلاً وهذا الشغل المبذول يمده **بطاقة الوضع** :

ط$_{و}$ = ق × ف = –(ج ك$_{ا}$ ك ÷ ف^2) × ف

$$\boxed{\text{ط}_{\text{و}} = - (\text{ج ك}_{\text{ا}} \text{ ك}) \div \text{ف}} \qquad \text{نيوتن م = جول} \qquad \textbf{(15–1)}$$

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

واضح من (1–15) 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 : **ط و = ك × د × ل**

حيث **ك** كتلة الجسم ، **د** عجلة الجاذبية الأرضية (ك × د =الوزن) ، **ل** الارتفاع عن سطح الأرض.ورغما عن أن هذا القانون يختلف عن (1–15) إلا أنه أيضاً صحيح . فمن شكل (1–5) نجد أن :

طاقـــة الوضـــع على ارتفاع ل = **–ك د (نق + ل)** ، وطاقة الوضع على سطح الأرض = **–ك د نق** حيث نق = نصف قطر الأرض.

∴ الفرق في طاقة الوضع:

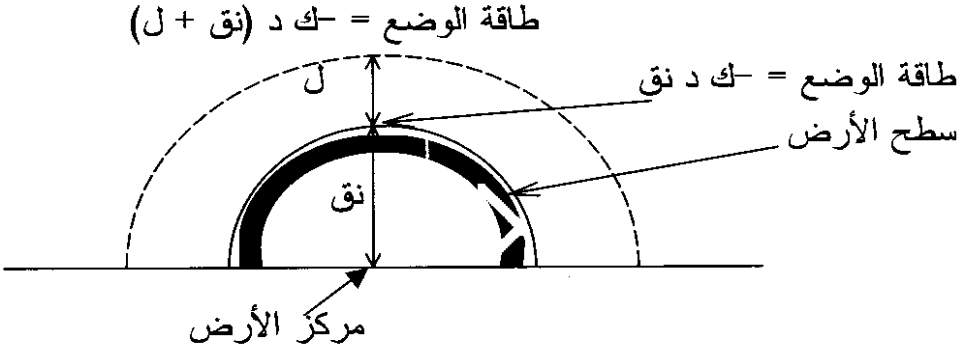
= – ك د (نق + ل) – (– ك د نق)

= – ك د ل = طاقة الوضع على ارتفاع ل مقارنة مع سطح الأرض

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

ط و = ك د ل (16–1)

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



الشكل (1–5) : **الفرق في طاقة الوضع .**

(1-1-8) الجهد التثاقلي :

لقــد درسنا فيما سبق **قانون التثاقل الكوني** وهو حساب **القوة التثاقلية** بين جســمين ماديين وعرفنا أن هنالك مجالا تثاقلياً حول أي جسم مادي . وقد عبرنا عــن هذا المجال التثاقلي في أي نقطة حول الجسم بمفهوم جديد هو **شدة المجال التثاقلي** 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 تثاقلي دون الحاجــة إلــى جســم آخــر نرفعه لإكسابه طاقة وضع ويسمى هذا **بالجهد التثاقلي**.

وبــنفس الطــريقة التــي وجدنا بها شدة المجال التثاقلي نقول أن **الجهد في المجــال التثاقلــي** لجســم ما هو **طاقة وضع وحدة الكتلة** (أي ك =1) **في تلك النقطة**.

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

$$\text{الجهد التثاقلي} = \frac{\text{ط}_و}{\text{ك}} = -\frac{\text{ج ك}_ا}{\text{ف}}$$

نيوتن.م \كجم =جول\كجم **(1-17)**

حــيث ك$_ا$ هــي كتلة الأرض ، ف هي المسافة من مركز الأرض. أي أن **الجهد التثاقلي 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 التثاقلي** فــي **أي نقطة حوله** هو: **(-ج ك)÷ ف** . وإذا وجد جسم آخر كتلته ك في هذه النقطة فإن:

طاقة الوضع ط$_و$ = الجهد التثاقلي × كتلة الجسم

مثال (1-3) :

جـد طاقـة وضع جسم كتلته (1 طن) يدور على ارتفاع 1000 كم من سـطح الأرض علمـاً بأن كتلة الأرض= 6×10^{24} كجم وثابت التثاقل (ج) = 6.67×10^{-11} **نيوتن. م^2\ كجم^2** ونصف قطر الأرض يساوي 6400 كيلومتر . ثم جد الجهد التثاقلي لهذا الجسم على ذلك الارتفاع .

الحل :

ط و = $-\frac{ج \, ك \, ك_1}{ف}$ ، ك = 1000 كجم ، $ك_1 = 6 \times 10^{24}$ ،

ج = 6.67×10^{-11} ، ف = 6.4×10^{6} م .

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

$$\therefore \text{ط و} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 1000 \times 6 \times 10^{24}}{7.4 \times 10^{6}}$$

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

$$\text{الجهد التثاقلي} = -\frac{ج \, ك_1}{ف} = -\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{7.4 \times 10^{6}}$$

$= -5.41 \times 10^{7}$ نيوتن م \كجم $= -5.41 \times 10^{7}$ جول \ كحم

لاحـظ 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 التثاقل الكوني (قانون نيوتن) تكون بين جسمين ماديين(المعادلة (1-1))، ولكن أي جسم مادي له مجال تثاقلي حوله حتى بدون وجود أي جسم آخر بقربه. لـذلك ابتكر العلماء **شدة المجال التثاقلي (شد**=القوة المؤثرة على وحدة الكتلة –

المعادلة (1-11)) والتي بواسطتها تمكن العلماء من حساب شدة أي مجال حول أي جســم في أي نقطة دون وجود جسم آخر. [عند وجود جسم آخر كتلته ك فإن قــوة التــثاقل علية ق=شد ×ك].كذلك لاحظ العلماء أن طاقة الوضع ط , حسب المعادلة (1-15) هي لجسم كتلته ك موجود في المجال التثاقلي لجسم آخر.ولذلك وجــد العلمــاء أنفسهم مرة أخري في حاجة لمعرفة الطاقة الموجودة في المجال التثاقلــي 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 وحــدة الكــتلة فــي أي مجال تثاقلي).وبما أن هناك مجالات أخرى غير المجال التثاقلــي حيث يوجد المجال الكهربي 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 التثاقل الكوني **ج = 6.67 × 10 $^{-11}$** نيوتن م^{2} \ كجم^{2}

1) بما أن قوة جذب الأرض للأجسام ق = ك د (حيث ك = كتلة الجسم ، د = عجلــة السقوط الحر) . أي أن القوة ق تتناسب مع كتلة الأجسام فلماذا إذن لا تسقط الأجسام الثقيلة أسرع من الخفيفة ؟
2) علــى أي ارتفــاع مــن سطح الأرض تصبح عجلة الجاذبية 5 م \ ث^{2} استعمل الثوابت الموجودة في أعلى الصفحة
[الإجابة : الارتفاع = 2546 كم]
3) إذا كانــت عجلة السقوط الحر على سطح القمر 2 م \ 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 بحــيث تصبح قوة جذب الأرض عليه تساوي قوة جذب الشمس عليه إذا

علمـــت أن المســـافة بين الأرض والشمس تساوي 150 مليون كيلو متر بينما كتلة الشمس كش = 3.24×10^{5} ك⊕ (حيث ك⊕ = كتلة الأرض) .
[على مسافة = 263563 كيلومتر من الأرض]

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

6) أحســـب طاقـــة الوضـــع لقمر اصطناعي كتلته 1000 كجم يدور حول الأرض علـــى ارتفـــاع 600 كـــم فوق سطح الأرض إذا علمت أن كتلة الأرض تســـاوي 6 × 10^{24} كجم ونصف قطر الأرض 6400 كم . جد أيضـــاً الجهد التثاقلي في مدار هذا القمر الاصطناعي ثم جد شدة المجال التثاقلي في هذا المدار.
[ط , = 5.7 × 10^{10} جـــول ، الجهد = 5.7 × 10^{7} جول \ كجم ، شد = 815.7 نيوتن \ كجم].

7) أحسب الجهد التثاقلي للأرض على بعد 380,000 كيلو متر من مركزها علما بأن كتلة الأرض6 ×10^{24} كجم **[1.1 × 10^{6}جول \ كجم]** .

8) أحسب عجلة عجلة السقوط الحر على سطح المشتري إذا كانت كتلته 1.9 × 10^{27} كجم ونصف قطره 71500 كيلومتر. **[25 م \ ث^{2}]**

9) أحســـب الجهد التثاقلى للشمس على بعد 150 مليون كيلومتر من مركزها (نفـــس المسافة بين الأرض والشمس) علما بأن كتلة الشمس 2 × 10^{30} كجم . **[8.9 ×10^{8} جول \ كجم]**

(2-1) الفصل الثاني

الحركة الدائرية المنتظمة

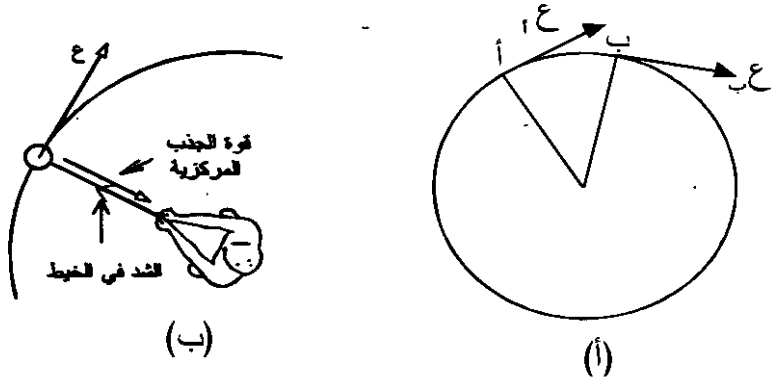
(1-2-1) مقدمة :

ذكرنا عند الحديث عن قانون التثاقل الكوني أن القمر يدور حول الأرض، وأن الكواكب تدور حول الشمس. فإذا نظرنا حولنا على الأرض نجد أن الحركة في غالبها الأعم ليست حركة في خط مستقيم وإنما في منحنيات . لذلك لابد من دراسة حركة الأجسام التي تتحرك في دائرة أو جزء من دائرة وسيتضح 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 المماسة** 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 متغيرا وهذا التغير في الاتجاه له قيمة فيزيائية كما سنرى لاحقا.



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 المماسة 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 .

إذاً **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 وتعادل 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 لكى يكمل الجسم الذى يدور فى دائرة دورة كاملة ويرمز بالرمز ز

فالأرض مثلا تكمل دورة كاملة حول الشمس في 365 يوماً وربع اليوم تقريباً (بالضبط 365 يوم و 6 ساعات و 9 دقائق و 59 ثانية).إذا فالزمن الدوري لـــدوران الأرض حـــول الشمس هو هذا المقدار محسوبا بالثانية. وعليه فالزمن الدورى للأرض:

ز = 365.25 يوم × 24 ساعة × 60 دقيقة × 60 ثانية = 31557600 ثانية

مـــن التعـــريف أعلاه نستنتج أن **الزمن الدوري هو الزمن اللازم للجسم لقطع مسافة تساوى محيط الدائرة أي** 2π نق حيث نق هو نصف قطر الدائرة. ولكن هذه المسافة (محيط الدائرة) = **سرعة دوران الجسم (السرعة المماسة)** ع × **الزمن الدوري (ز)** . أي أن:

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

ومنها نجد أن السرعة المماسة:

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

2/ التردد:

التردد هو عدد الدورات فى الثانية ويرمز له بالرمز **ذ** (من ذبذبة) ويقاس **بالهيرتز** = دورة \ ثانية

أي أن التردد: **ذ = مقلوب الزمن الدوري ز = 1 ÷ ز** **(20–1)**

وبناء عليه تصبح السرعة المماسة من (1–19) هي:

ع = 2 π نق ذ **(21–1)**

مثال(1–4) :

قمـــر اصـــطناعي يـــدور حول الأرض على ارتفاع 300 كم من سطح الأرض مـــرة كل 90 دقيقة. جد سرعة هذا القمر في مداره إذا علمت أن نصف قطر الأرض يساوى 6400 كم.

الحل :

الزمن الدوري للقمر الاصطناعي ز = 90 دقيقة= 90 × 60= 5400 ثانية

= 5.4 × 10^{3} ث

السرعة المماسة **ع = 2 π نق \ ز**

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

نق = نصف قطر الأرض + 300 كم = 6400 + 300 = 6700 كم

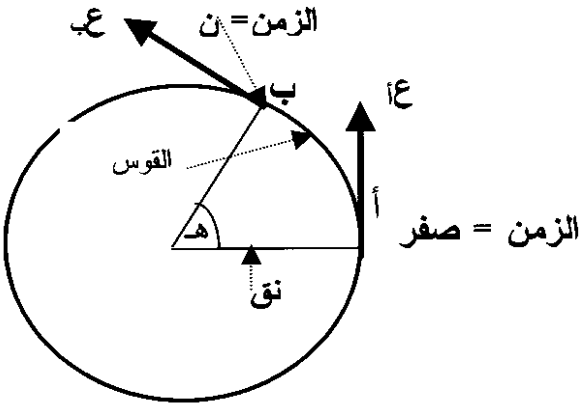
= 6700000 متر = 6.7 × 10^{6} م

ع =(2 π نق)÷ ز = (6.2832 × 6.7 × 10^{6}) ÷ (5.4 × 10^{3})

=7795.8م\ث = 7.796 كم \ ث.

لاحـــظ أن سرعة هذا القمر الاصطناعي في مداره قريبة من 8 كم \ ث وهـــي ســـرعة عالـــية جداً مقارنة بسرعات الأجسام على الأرض ولو قلت هذه السرعة عن هذه القيمة بقليل سيسقط هذا القمر إلى الأرض كما سنرى لاحقاً.

3/ <u>السرعة الزاوية</u> :



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

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

$$س = ع \times ن \qquad (22-1)$$

حـــيث ع هـــي الســـرعة المماسة والتي **سنفترض أنها منتظمة في كل دراستنا للحـــركة الدائـــرية في هذا الفصل** آي أن قيمتها ثابتة ولكن اتجاهها متغير بسبب حـــركة الجسم في مسار دائري . وعليه فإن قيمة ع= قيمة ع أ =قيمة ع ب ولكن نحن نعلم أيضا أن طول القوس:

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

وهى العلاقة التي بنى عليها التقدير الدائري (الراديان) حيث **نق هو نصف قطر الدائـــرة** التـــي 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 يساوى نصف قطر الدائرة أي س= نق).

من (1-22) و (1-23) :

$$ع \times ن = نق \times هـ$$

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

الكمـــية : $\frac{هـ}{ن}$ هـــي معدل تغير الزاوية المزاحة في الزمن ولذلك فهي مثلها مـــثل 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 اوميقا omega)

$$\therefore \omega = \frac{هـ}{ن} \qquad (1-25 \text{ أ})$$

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

السرعة المماسة : $ع = نق \times \omega$ (1-26)

أما إذا أكمل الجسم دورة كاملة فإن :

الزاوية المزاحة $هـ = 2\pi$ والزمن $ن = ز$ (الزمن الدوري)

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

وبالتعويض في المعادلة (1-26) نحصل على :

$$ع = نق \times \frac{2\pi}{ز} \qquad (1-27)$$

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

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

الحل :

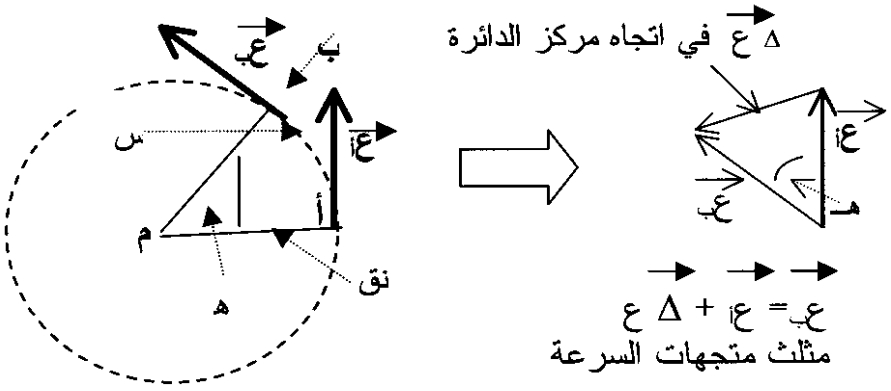
تدور الأرض وتقطع زاوية قدرها 2π في كل **(يوم)** 24 ساعة (86400 ثانية).
لذا نجد أن سرعتها الزاوية تساوي:

ω = هـ \ ن = الإزاحة الزاوية ÷ الزمن الدوري = (2π) \ 86400

= 7.27×10^{-5} راديان \ ثانية

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 (1–8) 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 ع سهما للرمز لمتجه السرعة. فمثلا في النقطة أ متجه السرعة هو $\vec{ع}_{أ}$ أما طول الخط المماس للدائرة في شكل (1–8) فيمثل مقدار السرعة.



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

لنفرض أن الجسم عندما كان في النقطة (أ) كانت سرعته ($\overrightarrow{ع}_{أ}$)وبعد فترة زمنـــية قصيرة (Δ ن (تنطق دلتا ن)) أصبحت سرعته ($\overrightarrow{ع}_{ب}$) وقطع مسافة **س** (القـــوس أ ب) مكـــوناً زاوية (**هـــ**) والتي تسمى **الزاوية المزاحة** وتقاس بالراديان. فـــإذا رسمنـــا متجهات السرعة $\overrightarrow{ع}_{أ}$ و $\overrightarrow{ع}_{ب}$ كضلعي مثلث بنفس اتجاهاتها وأطوالها التـــي على الدائرة كما موضح في يمين الشكل (1-8) فسنجد أن الفرق في الاتجاه يصـــنع متجها جديدا هو **المتجه** $\overrightarrow{\Delta ع}$ والذي نلاحظ انه في اتجاه مركز الدائرة. هنا اســـتعملنا ما يعرف **بالجمع الاتجاهي** وهو عملية بسيطة تقول أن متجه السرعة في الـــنقطة ب يساوى متجه السرعة في النقطة أ مضافا إليه المتجه الذي طوله المسافة الـــناتجة عن التغير في الاتجاه. أي أن $\overrightarrow{ع}_{ب} = \overrightarrow{ع}_{أ} + \overrightarrow{\Delta ع}$ (جمع اتجاهي) حتى ولو كانت قيمة $ع_{أ}$ = قيمة ع ب . المثلث الناتج (شكل (1-8))يسمى مثلث المتجهات وفى هذه الحالة يسمى مثلث متجهات السرعة .

نلاحظ أن مثلث المتجهات $\overrightarrow{ع}_{أ}$ ، $\overrightarrow{\Delta ع}$ ، $\overrightarrow{ع}_{ب}$ يشابه المثلث **أ ب م** على الدائـــرة [شـــكل (1-8)] بافتـــراض أن المسافة أ ب صغيرة جداً بحيث يمكن اعتبارها خطاً مستقيماً . وبالتالي فإن الزاوية (هـ) صغيرة جداً بحيث أن المسافة:

أ ب = س = ع × Δ ن

حيث Δ ن الزمن اللازم لحركة الجسم من أ إلى ب.

من تشابه المثلثين نجد أن: $\frac{\overrightarrow{\Delta ع}}{\overrightarrow{ع}_{ب}} = \frac{\text{أ ب}}{\text{ب م}} = \frac{\text{س}}{\text{نق}}$

وبما أن قيمة $ع_{أ}$ = ع ب = ع فإن :

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

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

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

الكمية $\frac{\Delta ع}{\Delta ن}$ هي تغير السرعة في الزمن وبالتالي هي عجلة

$$\therefore \quad \text{العجلة جـ} = \frac{\Delta ع}{\Delta ن}$$

وبما أن $\overrightarrow{\Delta ع}$ في اتجاه مركز الدائرة فهذه العجلة تكون في اتجاه مركز الدائرة

$$\therefore \text{ العجلة } \quad \text{جـ} = \frac{ع^2}{نق} \qquad (28-1)$$

مـــن قانون الحركة الثاني لنيوتن فإن أي قوة(ق) = الكتلة × العجلة. وبما أن قوة الجذب المركزية أيضا في اتجاه مركز الدائرة لأنها القوة اللازمة لبقاء الجسم في حالـــة دوران ولأنه لا توجد قوة أخرى في هذا الاتجاه فلابد أن تكون العجلة جـ في المعادلة (1–28) هي عجلة قوة الجذب المركزية المتجهة إلى مركز الدائرة

∴ قـــوة الجـــذب المركـــزية ق = ك × جـ وبالتالي من (1–28) تصبح **قوة الجذب المركزية**

$$\text{ق} = \frac{\text{ك ع}^2}{\text{نق}} \qquad (29-1)$$

وعلـــى ذلـــك فإن قوة الجذب المركزية المطلوبة لكي تحافظ على سير الجســـم فـــي مســـاره الدائـــري تتناسب طردياً مع مربع السرعة (وكتلة الجسم) وعكســـياً مع نصف قطر الدائرة . وكنا قد لاحظنا في تجربة الجسم المربوط في خـــيط ويدور في دائرة أفقية نصف قطرها طول الخيط أن الشد في الخيط والذي يعـــادل قوة الجذب المركزية يزداد كلما زدنا سرعة الجسم ومن المعادلة أعلاه أيضـــاً 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 التثاقل**

مثال (1–6): لنأخذ كمثال دوران القمر حول الأرض حيث **قوة التثاقل 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) :

$$\frac{ج\, ك_{ق}\, ك_{أ}}{نق^2} = \frac{ك_{ق}\, ع^2}{نق}$$

حيث نق هنا هي نصف قطر المسار الدائري للقمر.

أى : $\frac{ج\, ك_{أ}}{نق} = ع^2$ ، حيث ج = 6.67×10^{-11} ، $ك_{أ} = 6 \times 10^{24}$ كجم

ونصف قطر مدار القمر = 380.000 كم = 380.000.000م= 38×10^{7} م

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

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

وبالتالي يقطع القمر 88646 كيلومتر في مداره حول الأرض **في اليوم الواحد.**

مدار القمر = 2π نق = $6.283 \times 38 \times 10^{7}$ م = 23.875×10^{8} م

الزمن الدوري للقمر = عدد الأيام التي يكمل فيها دورة كاملة حول الأرض

= 23.875×10^{5} كم ÷ 86646 كم/اليوم = 27.55 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 والـذي يساوى تقريباً 29.53 يوم والذي يترتب عليه عادة أن يكون أحد الشهور

القمــرية 29 يــوما والآخر 30 يوما. الفرق بين الشهر القمري والزمن الدوري نـــاتج مـــن 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 (ω)

نسترجع معا الآن بعض العلاقات الرياضية الهامة للحركة في مسار دائري التي حصلنا عليها سابقا:

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

$$ع = 2\pi نق \div ز \qquad (19-1)$$

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

$$ع = 2\pi نق\ ذ \qquad (21-1)$$

2) **العلاقة بين السرعة المماسة (ع) والسرعة الزاويَّة(ω):**

$$\text{السرعة المماسة} = ع = نق \times \omega \qquad (26-1)$$

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

من العلاقات أعلاه نجد علاقات جديدة لقوة الجذب المركزية:

فمن (1-19) و (1-29) نجد أن:

$$ق = (4\ \pi^2\ ك\ نق) \div ز^2 \qquad (30-1)$$

ومن (1-21) و(1-29) نجد أن :

$$ق = 4\ \pi^2\ ك\ نق\ ذ^2 \qquad (31-1)$$

ومن (1-26) و (1-29) نجد أن:

$$ق = ك\ نق\ \omega^2 \qquad (32-1)$$

وأيضا :

$$ق = ك\ \omega\ ع \qquad (33-1)$$

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 المماسة .

حـ) السرعة الزاوية. د) قوة الجذب المركزية .

الحل: المعطيات: ك =0.02 كجم نق = 0.5 م ذ = 3 هيرتز

أ) **الزمن الدوري** ز = 1\ ذ = 1\3 ث =0.3333 ثانية

ب) **السرعة المماسة** ع = 2 π نق ذ = 6.283 × 0.5 × 3 = 9.425 م\ث

جـ) **السرعة الزاوية:** يمكن إيجادها بأكثر من طريقة:

إما: $\omega = 2\pi \setminus$ ز أو $\omega = 2\pi$ ذ أو $\omega =$ ع \ نق

ومن المعادلة الثانية نجد أن: ω = 6.283 × 3 = 18.85 راديان \ ث

د) **قوة الجذب المركزية:** يمكن إيجادها بأكثر من معادلة:

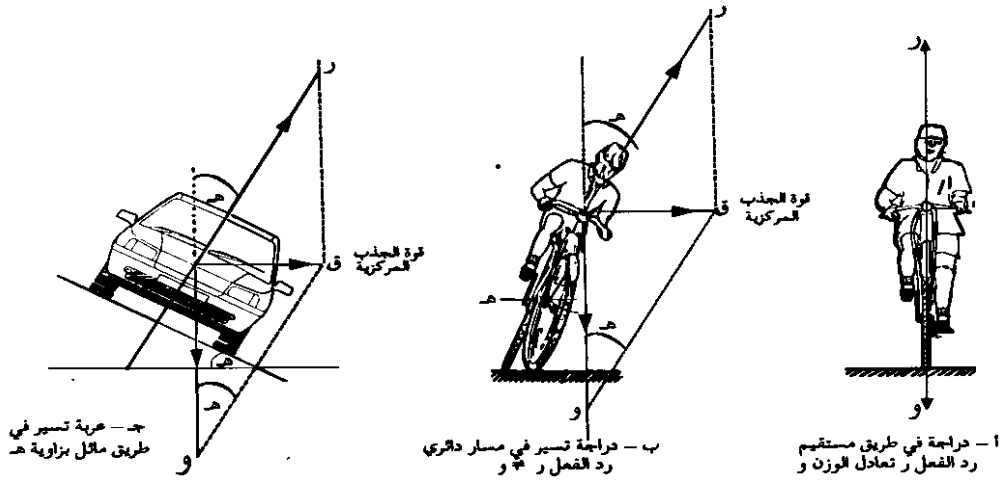
أما ق = (ك ع ^{2}) \ نق أو ق = ك نق ω^2 أو ق = ك ω ع

من المعادلة الأخيرة: ق = 0.5 × 18.85 × 9.425 = 88.828 نيوتن

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

قـد تكون لاحظت أنك إذا كنت تركب دراجة أو أحد آخر يركب دراجة فـإن الدراجة تميل على المستوى الرأسي الذي كانت فيه عند اضطرارها للسير في طريق شبه دائري أو منحني .

ولا شك أنك لاحظت في التلفزيون سباقات الدراجات العادية والنارية (المواتر) وإنها كلها مع راكبها 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 راكبها إلى قوة الجذب المركزية عند سيرها في طريق دائري أو منحني وبما أنها غير مربوطة مع مركز الدائرة بأي وسيلة (إلا بقليل من الاحتكاك بين عجلات الدراجة والطريق) فإنها مع راكبها 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 مرورا بالدراجة وراكبها وهو في هذه الحالة إلى أعلى).

وفى هذه الحالة و = ر

أما شكل ((1-9)ب) فيوضح القوى المؤثرة على الدراجة وراكبها عندما تتحرك في مسار دائري ولذلك تميل تلقائيا صانعة زاوية مقدارها هـ مع الاتجاه الرأسي. الـوزن يظل كما هو متجها إلى مركز الأرض. أما رد الفعل فيظل كما هو من حـيث أنه يبدأ من خط تلامس العجل مع سطح الأرض مارا بالدراجة والراكب ولكـن لأن الدراجة والراكب مالا عن الاتجاه الرأسي بزاوية هـ فإن رد الفعل ر مال بنفس الزاوية. هذا الميلان يولد تلقائيا متوازي أضلاع قوى وذلك لوجود قوة ثالثة ظهرت بسبب الميلان وهى في اتجاه الميلان وموازية لسطح الأرض. هذه القـوة هي ما تحتاجه الدراجة وهى **قوة الجذب المركزية** لكي تستطيع السير في المسار الدائري.

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

قوة الجذب المركزية: ق = ر جا هـ بينما الوزن و = ر جتا هـ

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

∴ قوة الجذب المركزية الناتجة عن الميلان :

ق = و ظا هـ (34-1)

فإذا كانت هـ = صفر أي لا يوجد ميلان فإن ظا هـ = صفر وبالتالي ق= صـفر أي **لا توجد قوة جذب مركزية إذا لم يوجد ميلان** .لذلك إذا حاولت وأنـت تـركب دراجـة أن تسير في طريق دائري وفي نفس الوقت تمنعها من الميلان فإنك لا محالة ساقط إلا إذا كنت تسير بسرعة بطيئة جداً .

أما السيارات فلا تستطيع الميلان عند الحركة في طريق دائري ولذلك لا تـوجد قوة جذب مركزية ما عدا تلك التي يوفرها احتكاك عجلات السيارة مع سـطح الأرض ولـذا يخـتل توازن السيارة إذا سارت بسرعة كبيرة في مسار دائـري. ولتوفير قوة الجذب المركزية للسيارات في 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 منحنٍ .

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

$$\text{ق} = \text{ك ع}^2 \div \text{نق}$$

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

$$\frac{\text{ك} \times \text{ع}^2}{\text{نق}} = \text{ك} \times \text{د} \times \text{ظا هـ}$$

$$\therefore \text{ع} = \sqrt{\text{نق} \times \text{د} \times \text{ظا هـ}} \qquad (1-35)$$

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 قطر انحنائه 100م ويميل على المستوى الأفقي بزاوية هـ = 15° . جد قوة الجذب المركزية على هذه السيارة وبين ما إذا كانت هذه السرعة مناسبة لهذا الطريق . (د = 9.8 م/ث^2) .

الحل : ق = و ظا هـ = ك × د × ظا هـ

ق = 1000 × 9.8 × ظا هـ = 9800 × 0.268 = 2626 نيوتن

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

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 :

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

ولكن من ظا هـ = $\frac{ع^2}{نق \times د} = \frac{20 \times 20}{9.8 \times 100} = 0.408$ ، ∴ هـ = 22.2° .

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 منحن تكون 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 التثاقل 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 منحنى 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 فتحرك قوة الطرد المركزية جزيئاته إلي الخارج فيتجمع حول جدار الإناء وينخفض في المركز.

5) أما إذا وضعت سائلاً في إناء أسطواني وبالسائل أجسام صغيرة ثم جعلت هذا الإنـــاء يـــدور (مـــثلاً بواسطة محرك) فستجد أن السائل لا يستطيع إمداد هذه الأجسام بقوة الجذب المركزية اللازمة لحفظها في مداراتها ولذلك ستتحرك هذه الأجســـام نحو جدار الوعاء . ويستعمل هذا الأسلوب في فرز المحاليل المختلفة الكـــثافة ســـواء في الطب أو الصناعة مثل فرز البلازما عن بقية الدم أو فرز الـــزبدة عـــن اللبن أو فرز السكر عن المولاص في مصانع السكر ويسمى هذا الجهاز بالنابذة (Centrifuge) .

تمرين (1-2)

1) قــوة التثاقل (التجاذب) بين الشمس والقمر تساوي مرتين تقريباً قوة التثاقل بــين الأرض والقمــر .لمــاذا إذن لا يهــرب 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) لكــي 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) يــدور القمــــر حول الأرض في مدار يمكن اعتبــاره دائرياً نصف قطره 3.84×10^{8} م في 27.3 يوماً . فإذا كانت كتلة القمر 7.4×10^{22} كجم أحسب :

أ / السرعة الزّاوية للقمر . **[2.7×10^{-6} راديان \ ث]**

ب/ السرعة الخطية للقمر . **[1.04 كم \ ث ≈ 1 كم \ ث]**

ج/ القوة اللازمة لحفظ القمر في مداره حول الأرض.**[$\approx 2 \times 10^{20}$ نيوتن]**

4) تلميذ يركب دراجة يسير في طريق منحن 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 لمده بهذه القوة .

[ق = 150 نيوتن ، هـ = ظا $^{-1}$ 0.25]

(1-3) الفصل الثالث

حركة الكواكب والأقمار الاصطناعية

(1-3-1) مقدمة :

فـــي دراساتك للجغرافيا في الصف الأول عرفت أن الكواكب تدور حول الأرض في مدارات ليست بالضبط دائرية كما أن هناك أقماراً تدور حول بعض الكـــواكب . حيث للأرض قمراً واحداً يدور حولها ولكوكب المريخ قمران بينما يدور عدد كبير من الأقمار حول المشترى وزحل وهكذا .. ولا توجد أقمار حول كوكبي عطارد والزهرة بسبب قربهما الشديد من الشمس والتي لن تسمح بوجود أقمـــار حولهما لأنها ستجذبها إليها وتمتصها في داخلها (انظر الجدول (1-1)). وتســـمى تلـــك المجمـــوعة 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 وحـــول 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
المشترى	142984	778	11 سنة و 314 يوماً	9.50 ساعة	63
زحل	120536	1429	29 سنة و 168 يوماً	10.10ساعة	34
أوراتوس	51118	2871	84 سنة	10.49 ساعة	27
نبتون	49532	4504	164 سنة و 292يوماً	15.8 ساعة	17
بلوتو	2274	5913	248 سنة و146 يوماً	6 أيام	1

(1-3-2) قوانين كبلر :

لقـد تمكـن العالم الألماني كبلر (1571-1630م) وبعد دراسة استمرت عشرين سنة للقياسات التي قام بها أستاذه الفلكي الدنماركي تيخو براهي (1546-1601م) والـذي كان كبلر يعمل مساعداً له في التوصل إلى ثلاثة قوانين تحكم حـركة الكـواكب حـول الشمس .وهذه القياسات شبيهة بما في العمودين الثالث والـرابع فـي الجدول (1-1) أعلاه ولكنها طبعا ليست بنفس الدقة. وقد استفاد اسحق نيوتن في عام 1666م من قياسات تيخو براهي لحركة القمر والكواكب في استنتاج قانون التثاقل الكوني.

1/ قانون كبلر(Kepler) الأول :

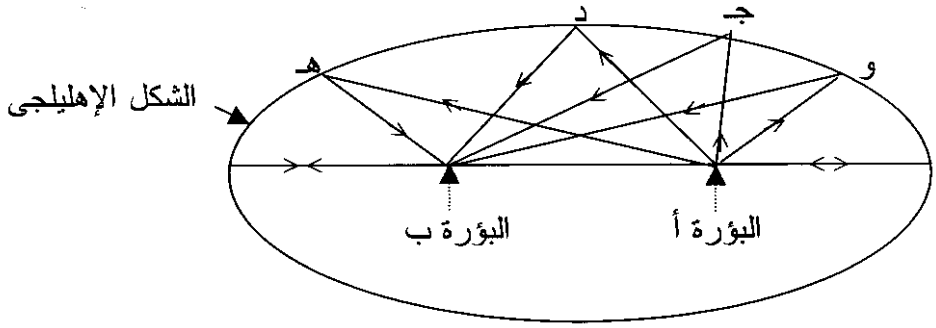
كـل كوكب يتحرك في مدار اهليلجي بحيث تكون الشمس في إحدى بؤرتي هذا المدار الاهليلجي .

(يسـمى هذا القانون أيضاً **بقانـون المدارات**) . وحسب هذا القانون فإن مدارات الكواكب ليست دائرية وإنما في شكل إهليلجى.

والشـكل الإهليلجـي هو مسقط (مسطح) الشكل البيضي (أي في شكل البيضـة المنتظمة). والاسم منسوب إلى شجرة تشبه ثمرتها هذا الشكل. وكل من الشـكل البيضـي (المجسم) ومسقطه الشكل الاهليلجي (المسطح) له **بؤرتان** أو مركـزان يحـلان محل المركز الواحد في الدائرة (انظر شكل (1-10)). . فإذا وضعت مصدرا ضوئيا في إحدى بؤرتي المجسم البيضي المنتظم (الذي مسقطه هـو الشكل الاهليلجي) فإن الأشعة ستنعكس من السطح الداخلي للمجسم وتتجمع فـي 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 ستنعكس من السطح الداخلي للكرة لتعود وتتجمع في مركز الكرة أي أن مركز الكرة هو البؤرة التي يتجمع فيها الضوء.

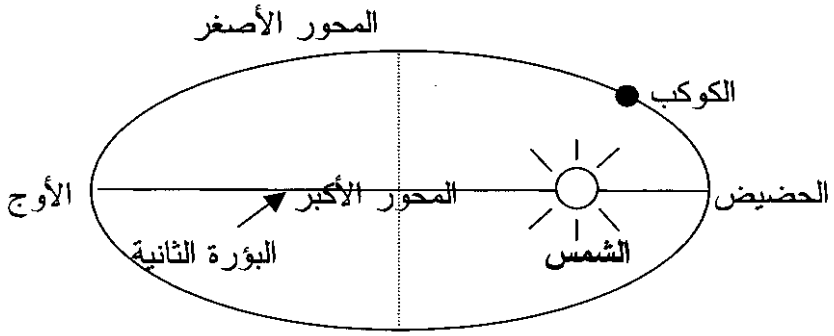
وفي حالة الشكل الاهليلجي القريب من الدائرة تكون البؤرتان قريبتان من بعضهما وينطبقان على بعض في حالة تحول الشكل الإهليلجى إلى دائرة.



الشكل (1-10) : الشكل الاهليلجي .

وينطبق على الشكل الإهليلجى في كل الأحوال قاعدة المسافات أي : مجموع المسافات **أ جـ + جـ 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 الاهليلجي وذلك باستخدام خيط طوله أ جـ ب مثبت في النقطتين أ و ب وبوضع قلم داخل الخيط في النقطة جـ ثم تحريكه مشدودا يمكن رسم محيط الشكل الاهليلجي .

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(1-11).



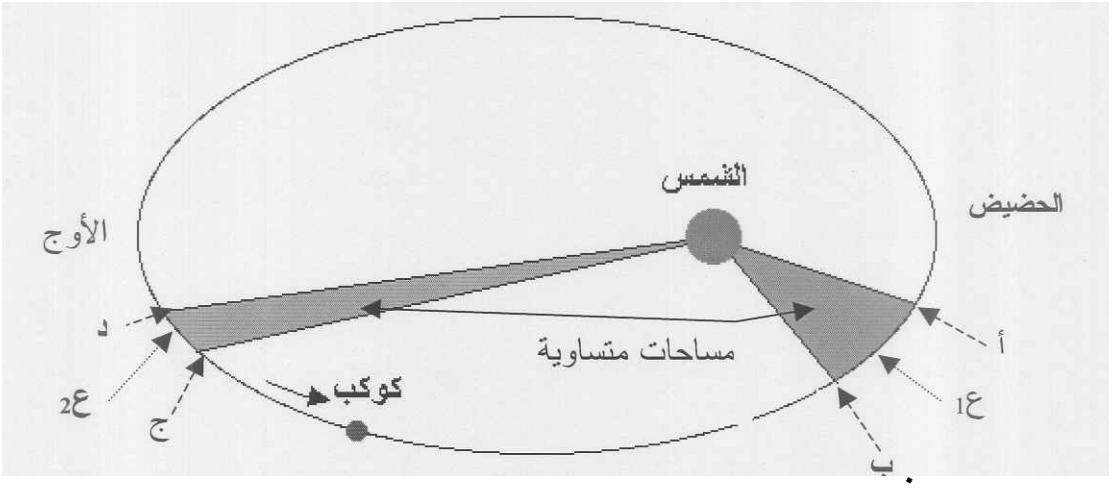
الشكل (1-11) : مدار أحد الكواكب حول الشمس وموقع البؤرة الثانية وبعدا الأوج والحضيض عن الشمس

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

2/ قانون كبلر الثاني (شكل (1-11)) :

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

ولهذا يسمى هذا القانون أيضاً بقانون المساحات .



الشكل (1-12) : قانون كبلر الثاني .

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

الحضـــيض حتـــى يتمكن من قطع المساحات المتساوية في نفس الزمن. أي أن السرعة ($ع_1 > ع_2$) .

3/ قانون كبلر الثالث :

مكعـــب 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 .

فـــإذا رمزنا لمتوسط المسافة بين الكوكب والشمس بالرمز (نق) . بحيث تكون :

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

وهـــذا يعنـــي ضمناً افتراض أن المدار قريب من الدائرة.إذن حسب قانون كبلر الثالث فإن : **نق^3 تتناسب مع ز^2** ، حيث ز = الزمن الدوري

ونحن نعرف أن قوة الجذب المركزية التي تحفظ الكوكب في مداره حول الشمس = قوة التثاقل بين الكوكب والشمس في (1-1) و (1-29) .أي أن:

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

حيث $ك_{ش}$ هي كتلة الشمس ، ع هي متوسط سرعة الكوكب .

$$\therefore \ ع^2 = \frac{\text{ج ك}_{\text{ش}}}{\text{نق}} \qquad (36-1)$$

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

$ع = \omega \times$ نق حيث ω هي السرعة الزاوية

ولكن السرعة الزاوية من (1-19) :

$$\omega = \frac{2\pi}{\text{ز}}$$

$\therefore \ ع = \omega \times$ نق بالتربيع $\therefore \ ع^2 = \omega^2 \times$ نق^2

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

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

$$\therefore \quad 4\pi^2\ نق^3 = ج\ ك_ش\ ز^2$$

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

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

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

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

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

لكل كواكب المجموعة الشمسية في المتوسط

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

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

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

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

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

أي أن كتلة الشمس تساوي تقريباً 333333 مرة كتلة الأرض .

مـــثال (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 :

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

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

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

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

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

$= 149.500.000$ كم ≈ 150 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. فمثلا يبعد عطارد تقريباً 0.387 بينما يبعد المريخ 1.524 وحدة فلكية عن الشمس. طبعا تبعد الأرض 1 وحدة فلكية.

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

$= 936$ مليون كيلومتر تقطعها الأرض مرة كل سنة

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

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

= 29.660 كم \ 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 = 2 π نق حيث نق = نصف قطر الأرض = 6400 كم) .

∴ سرعة سطح الأرض عند دورانها حول نفسها

ع = $\frac{\text{المحيط}}{\text{الزمن الدوري}}$ = $\frac{^{6}10 \times 40.2}{86400 \text{ ث}}$ = 465 م\ث

أي أسرع من الصوت في الهواء (سرعة الصوت في الهواء حوالي 340 م \ ث تقريبا) ، 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 سنجده 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؛ **﴿ والسماء بنيناها بأيد 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.

أمـــا الأقمار الاصطناعية فهي عبارة عن أجهزة مصممة لأغراض معينة تـــدور علـــى ارتفاعـــات مختلفة عن الأرض ويمكن أحياناً وضعها في مدارها بواسطة صواريخ وأحياناً تحمل في السفن الفضائية لوضعها في مداراتها .

والأقمار الاصطناعية نوعان :

الـــنوع الأول : على ارتفاعات تعتبر منخفضة (من ارتفاع 300 كم فوق سطح الأرض إلى 1000 كم أو أكثر) ويختلف الغرض من استخدامها . فبعضها أقمـــار تجســـس تقوم بنقل صور المنشآت العسكرية على سطح الأرض ويمكن بواســـطتها التصـــنت على المحادثات اللاسلكية . وبعضها الغرض منه تصوير ودراســـة ســـطح الأرض والثـــروات 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 الـــدول المخـــتلفة.وهـــناك أجهـــزة صغيرة في حجم الموبايل تقوم عند تشغيلها بالاتصـــال بعـــدد مـــن الأقمار الاصطناعية ومن ثم تحدد لحاملها خطى الطول والعـــرض بدقة للمكان الموجود فيه في تلك اللحظة وتسمى اختصارا GPS من (Global Positioning System) .

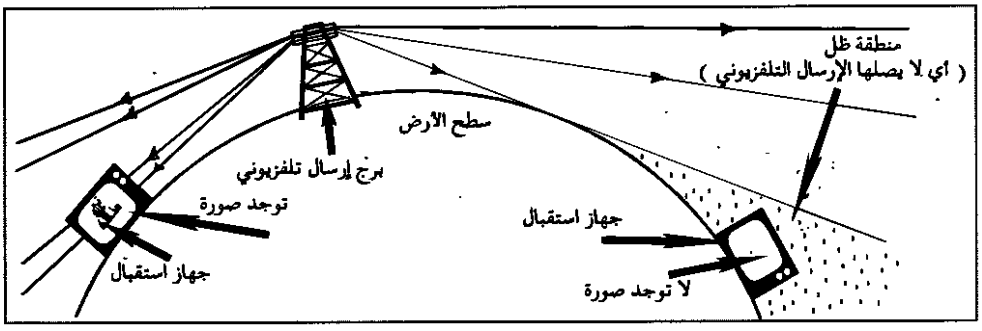
أمـــا الـــنوع الثانـــي : فهي أساساً أقمار اتصالات وتستعمل لنقل الصور التلفـــزيونية والإرســـال الإذاعـــي والمحادثات التلفونية والتي تستقبل على سطح الأرض بواســـطة ما هو معروف اليوم بالأطباق الفضائية ، ولكي يمكن استقبال الإرســـال من هذه الأقمار بدون تحريك الأطباق توضع هذه الأقمار على ارتفاع حوالي 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:

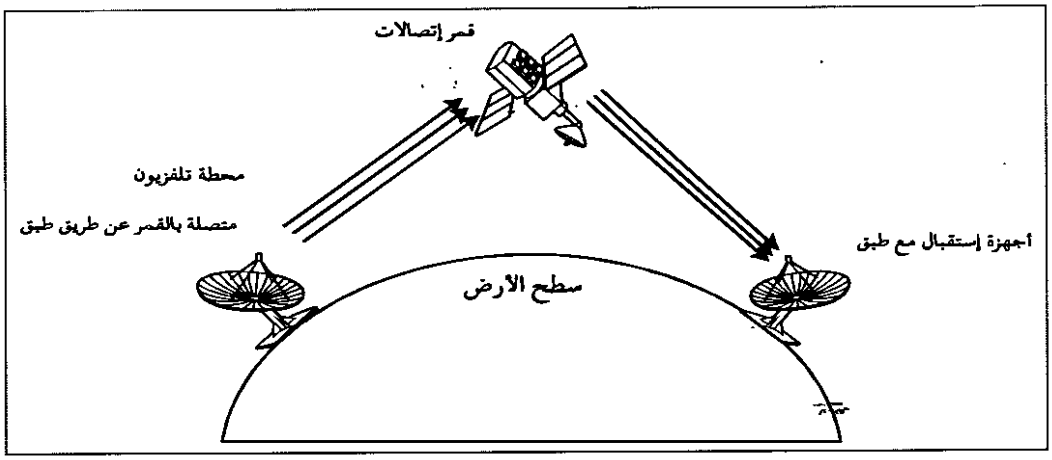
المعروف أن موجات الراديو والتي تستخدم للإرسال الإذاعي والتلفزيوني (والتـــي هي موجات كهرومغنطيسية) تنتشر في خطوط مستقيمة . مما يحد من

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

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 والأخر تتوقف على ارتفاع الأبراج . عملية تكرار أبراج الإرسال التلفزيوني لتغطية بلد ما تحتاج إلى عدد قد يكون كبير جداً من هذه الأبراج التي تكلف مالاً 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 فتغطى مساحة واسعة من سطح الأرض حيث يمكن استقبال هذه الإشارات بواسطة جهاز استقبال (هوائي أو اريال) في شكل طبق متجه إلى موقع ذلك القمر مع بقية الأجهزة اللازمة (شكل (1-14)) .



الشكل (1-13) : موجات التلفزيون المرسلة 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 برهنا 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 :

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

حـــيث (نـــق) = متوســـط المسافة بين الشمس والكوكب و (كش) = كتلة الشمس و (ز) هي الزمن الدوري للكوكب و (ج) ثابت التثاقل الكوني .
نفـــس القانون ينطبق على الأقمار الاصطناعية التي تدور حول الأرض على أي ارتفـــاع حيث تصبح **نق هنا هي المسافة بين مركز الأرض والقمر الاصطناعي** وفـــي هذه الحالة **نستبدل كتلة الشمس بكتلة الأرض** كأ و ز هو الزمن الدوري للقمر الاصطناعي .

نشـــاط **: عـــدل المعادلة(1–36) لكي تصبح مناسبة لما يدور حول الأرض من أقمـــار (القمـــر الطبيعـــي وأقمار الاتصالات) وجد قيمة ثابت التناسب (المقابل ل(1–39)) في هذه الحالة.**

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

أي أن: ز = 24 × 60 × 60 = 86400 ثانية .

وكتلة الأرض = 6×10^{24} كجم . و ج = 6.67×10^{-11} نيوتن م^2/كجم^2

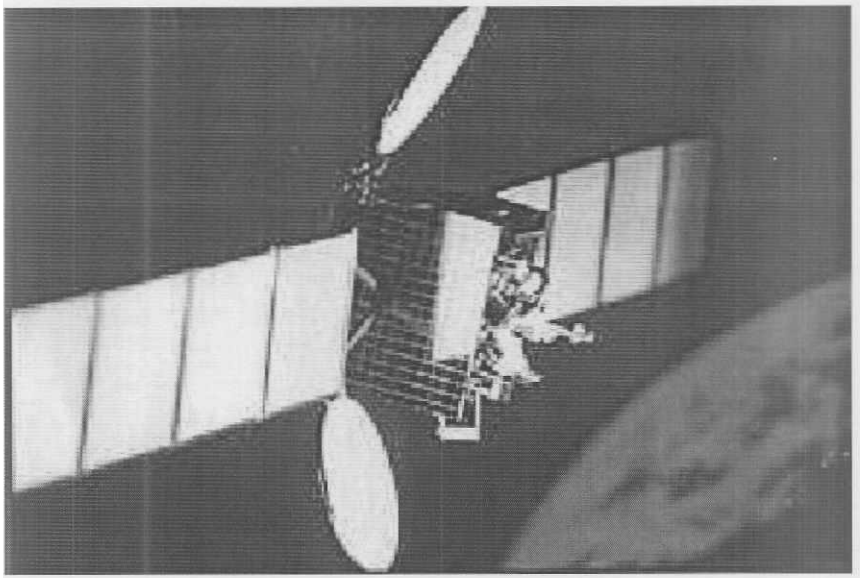
فإن: نق = $\sqrt[3]{\frac{\text{ج ك}_أ \text{ ز}^2}{4\pi^2}} = \sqrt[3]{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24} \times (86400)^2}{4 \times (3.14)^2}}$

= 42297.5 كيلو متر

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

ل = نق – نصف قطر الأرض

ل = 42297.5 – 6400 = 35897.5 = 35900 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.

جـ) 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 قادرا 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 حاملا بقية المراحل والقمر الاصطناعي نفسه بالانطلاق من الأرض متحركا 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 بآخر 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 = $ك_{أ}$ = 6×10^{24} كجم وسرعة الدوران = ع وثابت التثاقل الكوني ج = 6.67×10^{-11} نيوتن م2/كجم^2 فإن قوة الجذب المركزية من (1-29) و(1-1) هي:

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

أي: $$ع^2 = \frac{ج\ ك_{أ}}{ف}$$

أي أن: $ع = \sqrt{\frac{ج_{ك_{ا}}}{ف}} = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{ف}}$

فـــإذا افترضنا أن ف = نصف قطر الأرض = 6.4×10^{6} م ، وهو أقل مدار ممكن نظرياً فإن:

$$ع = \sqrt{\frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{6.4 \times 10^{6}}} = 7907.67 \text{ م/ث}$$

∴ ع = 8000 م/ث = 8 كم/ث تقريبا

لاحـــظ أيهـــا الطالـــب أنـــنا يمكن مما درسناه في الفصل الأول من هذا الكتاب (المعادلة (1-7)) ومن معادلة ع أعلاه يمكن استنتاج أن:

$\frac{ج_{ك_{ا}}}{ف} = ع^{2} = د$ ف حيث د = عجلة الجاذبية الأرضية (عجلة السقوط الحر)

$ع = \sqrt{د ف} = \sqrt{9.8 \times 6.4 \times 10^{6}} = 7918.59 \approx 8000$ م/ث

واضـــح أن هـــذه 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 كلم/ث فإن مدار القمر الاصطناعي ســـينحرف عـــن المدار الدائري ويصبح المدار اهليلجياً حسب قانون كبلر الأول وهـــو القانـــون الطبيعـــي 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 مـــن مجـــال التثاقل الأرضي . مثلاً في حالة إرسال سفينة فضائية إلى القمر أو

سفينة لاستكشاف الكواكب الأخرى (في المجموعة الشمسية) كالمريخ أو المشترى أو زحـــل ... 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 التثاقلية (انظر: (1-1-7 : الطاقة التثاقلية)) وكذلك المعادلة (1-15) وهي :

$$\text{ط و} = -\frac{\text{ج ك ك}_{\text{أ}}}{\text{نق}} \qquad (31-1)$$

إذا رفعـــنا جسما إلى ارتفاع نق من مركز الأرض فسنعمل ضد المجال التثاقلى وستصـــبح للجســـم طاقـــة وضع حسب (1-31) . ولذلك لرفع صاروخ أو قمر اصـــطناع مـــن سطح الأرض إلى مسافة بعيدة جدا 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

أي $$\frac{1}{2}\text{ ك ع}^2 \geq \frac{\text{ج ك ك}_{\text{أ}}}{\text{نق}} \qquad (40-1)$$

لاحـــظ أنـــنا اعتبرنا طاقة الوضع موجبة لأنها في الواقع ناتجة عن الفرق بين طاقـــة الوضع على مسافة بعيدة جدا عن الأرض (التي سينتقل إليها الصاروخ وهـــى = صفر لبعدها عن الأرض) وبين طاقة الوضع على سطح الأرض أي = صفر – (طاقة الوضع على سطح الأرض) أي نضرب المعادلة (1-31) في (–) ، وعلـــيه فأقل طاقة حركة مطلوبة تساوي موجب طاقة الوضع على سطح الأرض .

أي $ع^2 = \frac{2 ج ك_{ا}}{نق}$

أو $ع = \sqrt{\frac{2 ج ك_{ا}}{نق}}$ (41-1)

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

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

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

مثال (1-7) : 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 د = 9.8 م/ث^2 ونصف قطر الأرض = نق = 6.4×10^{6} م .

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

$نق^3 = \frac{ج ك_{ا}}{4 \pi^2} ز^2$

أو : $\frac{نق^3}{ز^2} = \frac{ج ك_{ا}}{4 \pi^2}$.

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

$$\frac{\text{نق}^3}{\text{ز}^2} = \frac{6.67 \times 10^{-11} \times 6 \times 10^{24}}{4\ \pi^2} = 1.014 \times 10^{13}\ \text{م}^3 \backslash \text{ث}^2$$

$$\frac{\text{نق}^3}{\text{ز}^2} \approx 1 \times 10^{13}\ \text{م}^3 \backslash \text{ث}^2$$

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

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

$$\therefore \quad \text{نق} = \sqrt[3]{1.0 \times 10^{13} \times (5760)^2} = \sqrt[3]{3.32 \times 10^{20}}$$

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

نق = $10^7 \times 0.6923$ م = 6923 كم

الارتفاع فوق سطح الأرض = ف – نق = 6400 – 6923 = 523 كم

مـــثال (1–8) : تبلغ كتلة المشترى (هو أكبر كواكب المجموعة الشمسيـــة) ، 1.91×10^{27} كجـــم ، ونصف قطره 7.14×10^7 م ، ويقع على مسافـــة 7.78×10^{11}م في المتوسط عن الشمس ، فإذا علمت أن الثابت في قانون كبلر الثالث هو 3.35×10^{18} م$^3 \backslash$ ث^2 جد :

أ/ طول السنة لكوكب المشترى .

ب/ عجلـــة السقوط الحر (عجلة الجاذبية) على سطح المشترى (د) . أي جد شدة المجال التثاقلي على سطح المشترى وقارن بينه وبين (د) على سطح الأرض .

الحل :

أ/ قانون كبلر الثالث :

$$\frac{ف^3}{ز^2} = \text{ثابت} = 3.35 \times 10^{18} \text{ م}^3/\text{ث}^2$$

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

∴ طـــول سنة المشترى = 11.88 سنة أرضية على أساس السنة الأرضية

365.25 يوم = 31557600 ثانية .

ب/ عجلة السقوط على سطح المشترى :

$$د_م = \frac{ج\, ك_م}{نق^2}$$

ج = 6.67×10^{-11} ، $ك_م = 1.91 \times 10^{27}$ كجم ، نق = 7.14×10^{7} م

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

$$د_م = \frac{6.67 \times 1.91}{(7.14)^2} \times \frac{10^{-11} \times 10^{27}}{10^{14}} = 0.25 \times 10^{2} = 25 \text{ م/ث}^2$$

أي تقريبا مرتين ونصف قدر $د_o$ على الأرض .

تمرين (1-3)

1) أ/ ما السرعة الفلكية الأولى ؟ ب/ ما سرعة الإفلات ؟
ج/ ما فائدة الأقمار الاصطناعية ؟

2) إذا كـــان ثابت التثاقل الكوني ج = 6.67×10^{-11} نيوتن م^2\كجم^2 ، وكتلة الأرض = 6×10^{24} كجـــم فاحسب شدة المجال التثاقلي للأرض في موقع القمـــر الـــذي 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 7.4×10^{22} كجم ونصف قطره 1738 كم جد سرعة الإفلات اللازمة لسفينة فضائية للعودة من سطح القمر إلى الأرض.

[الإجابة : 2.383كم\ ث]

4) أطلق صاروخ بسرعة 6 كم\ث رأسياً من سطح الأرض . فإذا أهملنا مقاومة الهـــواء لحـــركة الصاروخ جد أقصى ارتفاع يصل إليه الصاروخ من سطح الأرض علماً بأن نصف قطر الأرض يساوي 6400 كم.

[الإجابة : 4600 كم]

5) متوســـط المسافة بين المريخ والشمس تعادل 1.5 مرة تقريباً متوسط المسافة بـــين الأرض والشـــمس . جد عدد السنين المطلوبة لكي يتمكن المريخ من الدوران مرة حول الشمس .

الباب الثاني :

الموجـــات والضـوء

(2-1) الفصل الأول

الحركة التوافقية البسيطة

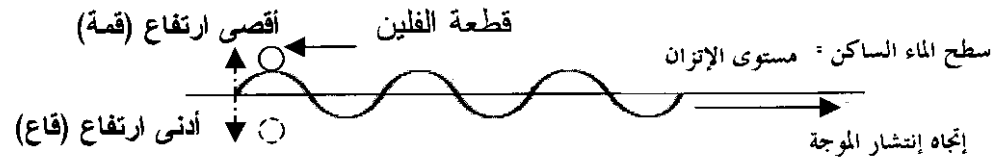
(2-1-1) مقدمة :

هل تدري كيف ينقل لك جهاز التلفزيون صور الممثلين والمذيعين وهم يتحـركون ويتكلمون . إن الذي ينقل إليك هذه المناظر الخلابة هو الموجات الكهـربية المغنطيسـية والتـي تسـري في الفراغ في كل الاتجاهات والتي سنتطرق إليها لاحقا.

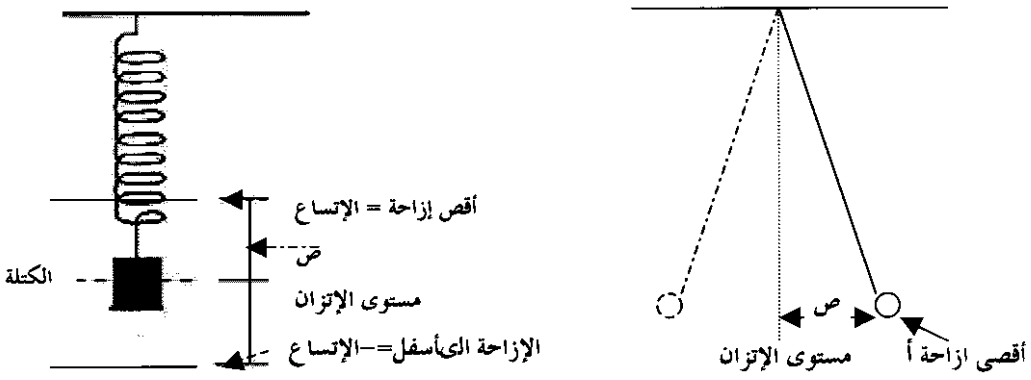
ولتفسـير سلوك هذه الموجات فإننا نحتاج إلى فهم نوع آخر من أنواع الحركة وهو ما يعرف **بالحركة التوافقية البسيطة.**

وكمثال لهذه الحركة ربما كلنا نتذكر أننا عندما كنا صغارا ركبنا على الأرجـوحة أو صـنعنا واحـدة بحبل لنتأرجح بها جيئة وذهابا حيث تتكرر الحـركة.ويمكـنك إبننا الطالب صنع بندول (متأرجح) بسيط من خيط طوله نصـف متر إذا ربطت في نهايته كتلة (صامولة مثلا) ورفعت بيدك الطرف الآخر فستجد أن هذا البندول يتحرك كالأرجوحة في حركة دورية هي **حركة توافقية بسيطة.**

ويمكـن ملاحظـة الحركة التوافقية من تجربة بسيطة . فإذا وضعت قطعـة فلـين أو أي جسم صغير وخفيف على سطح بركة أو ماء ساكن في وعاء واسع ثم ألقيت حجراً صغيرا في الماء فستجد أن الموجات ستنتشر في الماء في كل الاتجاهات وعند مراقبة قطعة الفلين فستجد أنها تتحرك مرتفعة ثـم منخفضة وتكرر ذلك كلما مرت موجة على سطح الماء ذلك لأن الموجة لهـا قمم وقيعان (انظر شكل (2-1)) .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 أيضا تمثل حركة توافقية بسيطة (أنظر شكل (2-2)(ب)).



الشكل (2–1) : عند مرور الموجة تتحرك قطعة الفلين إلى أعلى والى أسفل



(أ) البندول البسيط (ب) البندول الزنبركى

الشكل (2–2): نماذج للحركة التوافقية البسيطة

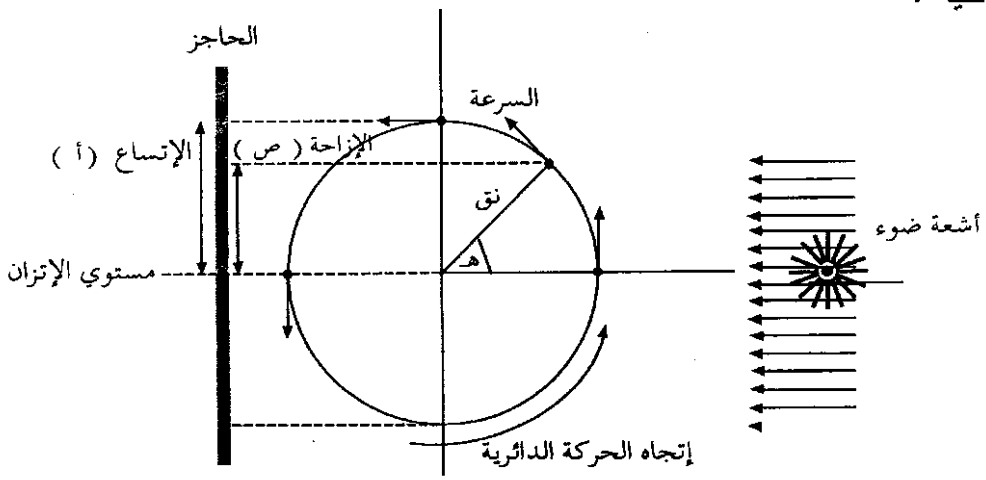
في الأمثلة السابقة، كل من قطعة الفلين والكتلة المعلقة في الزنبرك تتحرك رأسيا (إلى أعلى والى أسفل) بينما يتحرك البندول البسيط والأرجوحة أفقيا ولكنها كلها تشترك في خواص محددة حيث أنها كلها تتحرك جيئة وذهابا مرورا بمستوى يسمى مستوى الاتزان أو موضع الاتزان.حيث أن:

مستوى الاتزان هو الوضع الطبيعي للمنظومة وهى ساكنة (بدون اهتزاز)(أنظر الشكلين (2–1)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 وطبعا تساوى صفرا في مستوى الاتزان .

الأتســـاع أ : هـــو أقصـــى إزاحـــة 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 الحـــركة التوافقية البسيطة تكرر نفسها باستمرار فهي شبيه بالحـــركة الدائرية التي تكرر أيضا نفسها باستمرار. وقد وجد أن هناك علاقة كاملـــة 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 إســـقاط ظلـــه على حاجز سنرى أن ظل هذا الجسم يتحرك في حركة توافقية بســـيطة من أعلى إلى أسفل وإلى أعلى مرة أخرى ويكررها باستمرار ما دام الجســـم الحقيقـــي يدور في حركته الدائرية . ويمكنك عزيزي الطالب متابعة حـــركة الجسم الدائر في حركة دائرية وإيجاد موضع ظله على الحاجز لترى بنفســـك أن ظـــل الحـــركة الدائرية هو حركة توافقية بسيطة. طبعا لو كانت الأشعة تأتى من أعلى أو من أسفل لكنا 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.

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

الذبذبـــة الكاملة في الحركة التوافقية البسيطة هى **رحلة الذهاب والإيـــاب 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:

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

وبالتالي وبنفس الطريقة يصبح:

تـــردد الحـــركة التوافقـــية البســـيطة (ذ) [ذ من ذبذبة] هو عدد الذبذبات الكاملة في الثانية الواحدة

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

وتقاس ز بالثانية بينما تقاس ذ بالهيرتز=ذبذبة في الثانية

التشابه بين الحركة الدائرية و الحركة التوافقية البسيطة لا يقف عند هذا الحد، حـــيث نجـــد أن الســـرعة الـــزاوية ω في الحركة الدائرية يقابلها في الحركة التوافقية البسيطة التردد الزاوي ω .

التردد الزاوي ω :

وهو مقدار الزاوية المزاحة في الثانية الواحدة ويساوي $\omega = هـ \div ن$

وعـــندما يكمـــل الجســـم اهتزازة كاملة فإن الزمن ن = ز والزاوية المزاحة هـ= 2π وبالتالي تصبح :

$$\omega = \frac{2\pi}{ز} = 2\pi ذ \qquad (1-2)$$

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

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

وفى نفس الشكل نجد أن الإزاحة في الحركة التوافقية ص (على الحاجز) **هي مسقط نصف القطر نق** ويتغير مقدار الإزاحة **ص** بتغير الزاوية المزاحة هـــ بين نصف القطر نق والمحور السيني (الأفقي) فعندما تكون هـ =90 ^{o} أي $\pi \div 2$ راديـــان تصبح الإزاحة ص =أ (الاتساع) وعندما تكون هـ =صفر تصبح الإزاحة ص= صفر وهكذا. وبناء على ذلك فإن ظل نصف القطر نق علـــى 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 يساوى نق** فإن **الإزاحة:**

$$\text{ص} = \text{أ} \times \text{جا هـ} \qquad (2-2)$$

ولكـــن الســـرعة الزاوية في الحركة الدائرية (من (1-25) أ) وكذلك **التردد الزاوي** ω في الحركة التوافقية البسيطة:

$$\omega = \frac{\text{هـ}}{\text{ن}}$$

حيث (ن) الزمن . أي أن:

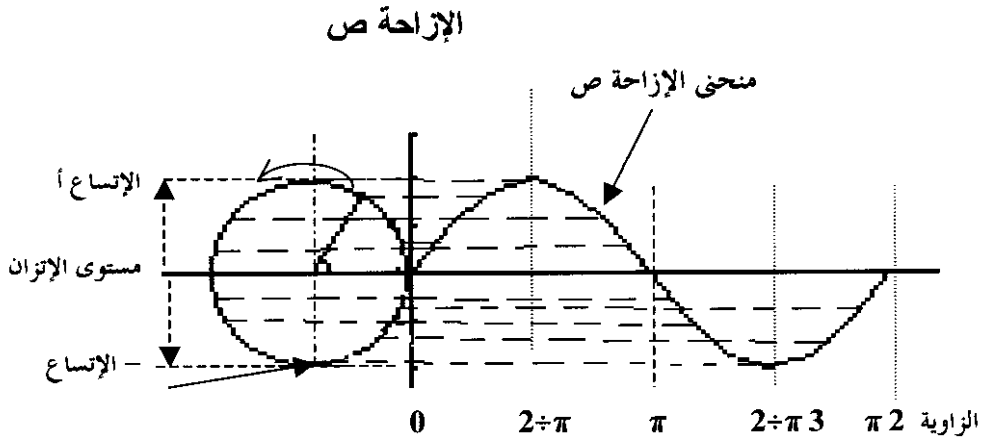
$$\text{هـ} = \omega \times \text{ن} \qquad (2-3)$$

من (2-2) و(2-3) نجد أن:

$$\text{ص} = \text{أ} \times \text{جا} (\omega \times \text{ن}) \qquad (2-4)$$

وهـــذه هي معادلة الإزاحة في الحركة التوافقية البسيطة حيث تقاس كل من الزاوية **هـ** وبالتالي $(\omega \times \text{ن})$ **بالراديان** . وفي المعادلة (2-2) ولأن الاتساع أ = ثابت للحركة التوافقية المعينة فإن **الإزاحة ص تتناسب مع جا هـ** أي تأخذ نفـــس شـــكل **جاهـ** عندما تتغير **هـ بين الصفر و** 2π وهو الشكل المعروف **بالمنحنى الجيبي** الذي يكرر نفسه بعد كل زاوية مقدارها 2π راديان . طبعا نحـــن نتذكر أن الحركة الدائرية تكرر نفسها بعد كل زاوية هـ=2π في زمن

يساوي الزمن الدوري. شكل (2-4) 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.



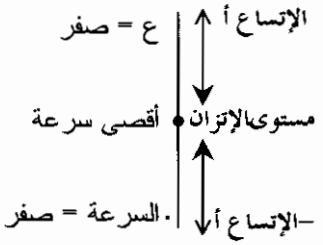
الشكل (2-4) المنحنى الجيبى للإزاحة

تابع أيها الطالب موضع الجسم على الدائرة وقيمة الإزاحة على المنحنى وعلاقة ذلك بالزاوية هـ (= ω × ن) كما في المعادلتين (2-2) و(2-4) حيث تلاحظ أن تغير الزاوية هـ يعنى تغير الزمن ن. وأن قيم الزوايا تحت المنحنى تساوى قيم الزوايا المقابلة لها في الدائرة.

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

الآن نعود إلي شكل (2-3) 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 المماسة 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 وهى فعلا النقطة التي يتوقف عندها الجسم ويرجع بعدها في الاتجاه الآخر . أما أقصى سرعة فهي المماسة للدائرة في خط الاتزان حيث نجد أن ظلها على الحاجز كاملا وفعلا تكون

السرعة في الحركة التوافقية البسيطة في مستوى الاتزان هي أقصى سرعة. ومـــن هذه الملاحظات نجد أن السرعة في الحركة التوافقية لا تتناسب مع نق ×جاهـــ كما في حالة الإزاحة وإنما مع نق × جتا هـ . أي



ع تتناسب مع نق × جتا هـ

ولكن السرعة المقابلة لها في الحركة الدائرية من المعادلة (1– 26):

ع = ω × نق (2–5)

وعلية تكون السرعة في الحركة التوافقية البسيطة التي هي ظل أو مسقط السرعة في (2–5) :

ع = ω × نق × جتا هـ = ω × نق × جتا (ω × ن)

وبما أن الاتساع أ = نق، فإن:

ع = أ × ω × جتا (ω × ن) **(2–6)**

فحينما تكون (ω × ن) = π ÷ 2 فإن ع = صفر . وفعلاً يتوقف الجسم عند أقصى إزاحة (الاتساع) أ ، ثم تغير الحركة التوافقية اتجاهها . أي أن السرعة تكون دائماً في اتجاه الحركة وتغير اتجاهها عند ص = أ ، ص = – أ .

أما عندما تكون (ω × ن) = صفر أي ص = أ × جا (صفر) = صفر أي **في موضع الاتزان** ع = أ × ω × جتا (ω × ن) = أ × ω × جتا (صفر)، أي : **ع$_{o}$= أ × ω** أقصى قيمة للسرعة وهى نفس (2–5)

أما **عجلة الحركة التوافقية البسيطة** فتقابل عجلة الجذب المركزية في الحركة الدائـــرية التـــي يكـــون اتجاهها دائما إلى مركز الدائرة وبالتالي فهذه العجلة تتحـــرك على نفس الخط الذي يتحرك عليه نصف القطر **نق** (شكل (2–3)). وبما أن الإزاحة ص هي ظل أو مسقط نق فمن الشكل نجد أن عجلة الحركة التوافقـــية هي أيضا مسقط نصف القطر ولكن اتجاهها معاكس لاتجاه الزيادة في الإزاحة ص. أي بالمقارنة مع معادلة (2–2) تكون العجلة:

جـ تتناسب مع – أ ×جا هـ أي تتناسب مع – ص

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

$$\text{جـ} = \text{ع}^2 \div \text{نق} = \omega^2 \times \text{نق} \qquad (2-7)$$

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

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

$$\text{جـ} = -\omega^2 \times \text{نق} \times \text{جا هـ} = -\omega^2 \times \text{أ} \times \text{جا} (\omega \times \text{ن})$$

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

$$\boxed{\text{جـ} = -\omega^2 \text{ ص}} \qquad (2-8)$$

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

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

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

مثال (2-1) :

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 :

أ = الاتساع = 0.05 م ذ = التردد = 5 هيرتز

من (2–1): $\omega = 2\pi ذ = 2\pi \times 5 = 10\pi$ راديان \ ثانية

ن = 4 ثانية

$ص = أ \times جا(\omega \times ن) = 0.05 \times جا\ 10\pi \times ن$

$= 0.05 \times جا\ (40\pi) =$ صفر

$ع = أ \times \omega \times جتا(\omega \times ن) = 0.05 \times 10\pi \times جتا\ (10\pi \times ن)$

$= 0.5\pi \times جتا\ 40\pi = 0.5\pi$ م \ ث

العجلة جـ $= -\omega^2 ص = -100\pi^2 \times 0.05 جا\ 10\pi ن$

$= -5\pi^2 جا\ 40\pi =$ صفر

مثال (2–2) :

يتحرك جسم في حركة توافقية بسيطة وفق المعادلة :

ص = 4 جا 40π ن متر

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

الحل : بمقارنة المعادلة ص = أ جا(ω ×ن) مع ص = 4 جا (40π ن)

نجد أن الاتساع أ = 4 م

التردد الزاوي = ω = 40π راديان \ ثانية

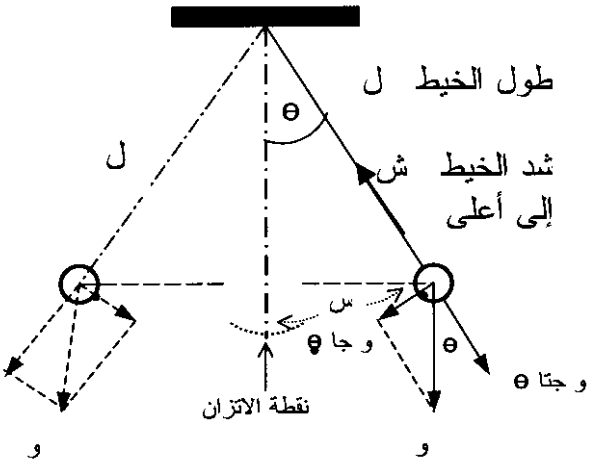
التردد من(2–1) $ذ = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{40\pi}{2\pi} = 20$ هيرتز

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

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

إذا قمـــنا بتعلـــيق جسم كتلته (ك) في الطرف الحر لخيط مثبت طوله (ل) وأبعـــدنا الجســـم عن نقطة توازنه ثم تركناه . فسنجد أن الجسم يتحرك

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



الشكل (2-5) 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:

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

$$\therefore \text{س} = \text{ل جا } \theta$$

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 :

$$\text{ش} = \text{و جتا } \theta = \text{ك د جتا } \theta$$

حيث يعرف الوزن بأنه حاصل ضرب الكتلة (ك) × عجلة الجاذبية (د) .

أما مركبة الوزن (و جا θ) فهي تمثل القوة المسببة للعجلة . وحسب قانون نيوتن الثاني نجد أن : الكتلة × العجلة = القوة المسببة للعجلة

$$\text{ك} \times \text{جـ} = -\text{و جا } \theta = -\text{ك د جا } \theta$$

القوة بالسالب لأنها تعمل في عكس اتجاه الزيادة في الإزاحة س .

$\frac{\text{س}}{\text{ل}}$ = θ جا ولكن د جا − = جـ

$$\therefore \text{جـ} = -\frac{\text{د}}{\text{ل}} \text{ س}$$

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

$$\text{جـ} = -\omega^2 \text{س} = -\frac{\text{د}}{\text{ل}} \text{ س}$$

$$\therefore \omega^2 = \frac{\text{د}}{\text{ل}}$$

$$\therefore \omega = \sqrt{\frac{\text{د}}{\text{ل}}}$$

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

$$\text{ز} = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{\text{ل}}{\text{د}}} \qquad (9\text{–}2)$$

كما أن تردد البندول من (2–1) يساوي :

$$\text{ذ} = \frac{1}{\text{ز}} = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\text{د}}{\text{ل}}}$$

تستعمل المعادلة (2–9) لإيجاد عجلة الجاذبية الأرضية د. بإيجاد الزمن الدوري ز لبندول باستعمال ساعة وبمعرفة ل، نجد د من معادلة (2–9) حيث د $= 4\pi^2 \times$ (ل \ ز^2)

مثال (2–3) : بندول طوله 10 سم أحسب زمنه الدوري وتردده الزاوي علماً بأن عجلة الجاذبية تساوي 10 متر\ ث^2 .

الحل : المعطيات : ل = 0.1 متر ، د = 10 متر \ ث^2

إيجاد الزمن الدوري (ز) من (2–10) :

$$\text{ز} = 2\pi \sqrt{\frac{\text{ل}}{\text{د}}} = 2 \sqrt{\frac{0.1}{10}} = 2\pi \sqrt{\frac{1}{100}}$$

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

إيجاد التردد الزاوي من (2–1) :

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

إيجاد التردد (ذ) :

$$\text{ذ} = \frac{1}{\text{ز}} = \frac{1}{0.628} = \frac{1000}{628} = 1.592 \text{ هيرتز}$$

براهين أخرى لقوانين السرعة ع والعجلة جـ في الحركة التوافقية البسيطة

أولا ننبه إلى أن البرهانين الذين حصلنا بموجبهما على السرعة ع [المعادلة (2–6)] وعلى العجلة جـ [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:

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

وهى نفس المعادلة (2–6).هذا البرهان مباشر ومختصر ويدل على فائدة التفاضل (وأيضا التكامل) في الفيزياء .

2) **العجلة جـ 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:

$$\text{جـ} = \frac{\text{د ع}}{\text{د ن}} = \frac{\text{د (أ} \times \omega \times \text{جتا}(\omega \times \text{ن}))}{\text{د ن}}$$

$$= -\text{أ} \times \omega^2 \text{حا}(\omega \text{ ن}) = -\omega^2 \text{ ص}$$

والنتيجة هي نفس المعادلة (2-8).

إذا اســـتوعبت هـــذه البراهين أيها الطالب فلك الخيار إذا في الاعتماد علـــيها 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) يتحـــرك 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 جا4 π ن ، ع = π م/ث ، جـ = صفر]

2) يتحرك جسم في حركة توافقية بسيطة وفق المعادلة: ص = 2جا3(π ن)، جـــد اتساعه وتردده الزاوي وزمنه الدوري وسرعته وعجلته .[**الإجابة: أ=2م، ω = 3 π راديان \ ثانية . ز=3\2 ث، ع=6 π م/ث، جـ=صفر م/ث^2]**

3) بندول طوله 40 سم يتحرك في مجال تثاقلي عجلته 10 متر/ث^2 . أحسب سرعته الزاوية وتردده وزمنه الدوري.

[ω = 5 راديان/ث ، ذ = 5\2 π هيرتز ، ز = π2\5ث]

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/ث^2.**[ل= 10 ز^2\4 π ^{2}]**

5) جد الزمن الدوري والتردد والسرعة الزاوية لبندول طوله 1.8 متر علماً بأن عجلة الجاذبية تساوي 9.8 م/ث^2.

[ز = 2.7 ث ، ذ = 0.37 هيرتز ، ω = 2.3 راديان/ث]

(2-2) الفصل الثاني

الموجـــات

(2-2-1) مقدمة :

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

(2-2-2) الحركة الموجية :

تعتبــر المــوجات من الظواهر الطبيعية التي أصبح لها دورٌ مهمٌ في حياتــنــا المعاصــرة . إذ أن نقل البرامج التلفزيونية والإذاعية والاتصالات الهاتفــية وخــدمات الإنترنت يتم باستخدام الموجات الكهرومغنطيسية . كما تســتخدم المــوجات الصوتية فوق السمعية كوسيلة مهمة جداً في التشخيص الطبي وتفتيت الحصيات في الكلى.

والمــوجات عــبارة عن اهتزازات تسري في الأوساط المختلفة أو الفراغ .

وهناك نوعان من الحركات الموجية وهما :

1) الحــركات 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 المغنطيسية ومنها موجات الضوء وموجات الراديو.

تحــدث المــوجات اهتزازات في الوسط الذي تنتشر فيه ؛وهناك نوعان من الموجات:

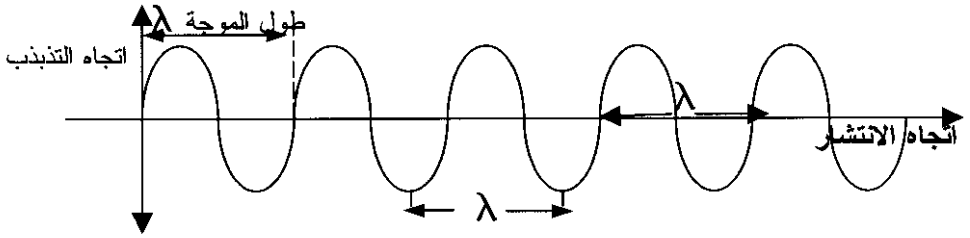
1) المــوجة المستعرضــة أو العرضــية: هي الموجة التي إهتزازها أو تذبذبها في الاتجاه العمودي على اتجاه انتشار الموجة (شكل(2-6)).

ومــثال لذلك **موجات الماء** ، حيث تتحرك جزيئات الماء و تتذبذب رأسياً دون أن تنــتقل في الاتجاه الأفقي (أنظر حركة قطعة الفلين في بداية الفصل الســابق) . وتعتبر **الموجات الكهرومغنطيسية** التي تنتشر في الفراغ أيضاً

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

2) المـــوجة الطولـــية: وهـــى تنتشر في الأوساط المادية وهى عبارة عن اهتزاز جزيئات الوسط في اتجاه انتشار الموجة.

ومـــثال لهـــا المـــوجات الصـــوتية ومـــوجات الزنبرك التي تكون في شكل تضاغطات وتخلخلات متتالية (الشكلين (2–7) و(2–8).



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

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

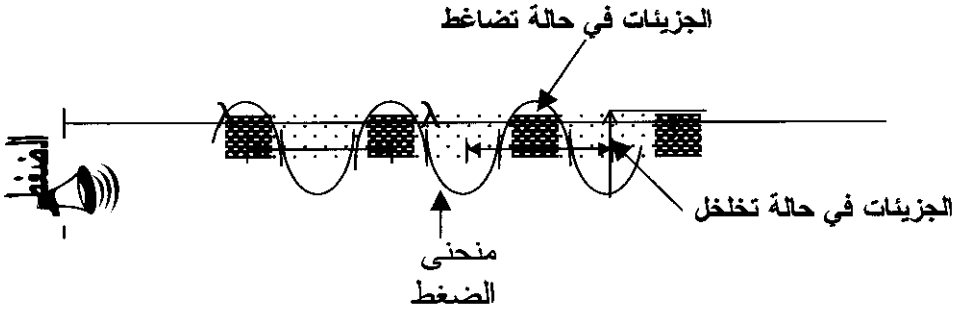
طـــول المـــوجة λ: هو المسافة التي تكمل خلالها الموجة اهتزازة أو ذبذبة كاملة.

والموجة تكرر نفسها كلما أكملت طولا موجيا λ.

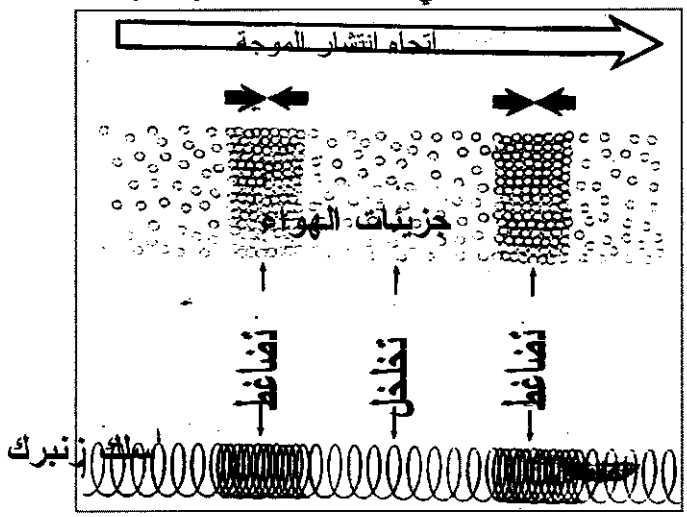
شكل (2–6) يوضح طول الموجة في الموجة المستعرضة وكما ذكرنا ســـابقا فإن شكل هذه الذبذبة الكاملة منحنى جيبي يشبه شكل الاهتزازة الكاملة فـــي الحركة التوافقية البسيطة ولكن الاختلاف هنا هو أن هذا الشكل الجيبى الموجـــي يمـــر عبر المكان مع مرور الزمن خلافا للحركة التوافقية التي لا تنتشر في المكان مع مرور الزمن .

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

أمـــا طـــول المـــوجة λ للمـــوجة الطولية فهو المسافة بين مركزي تضـــاغطين متتاليـــين أو تخلخلـــين متتاليين (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



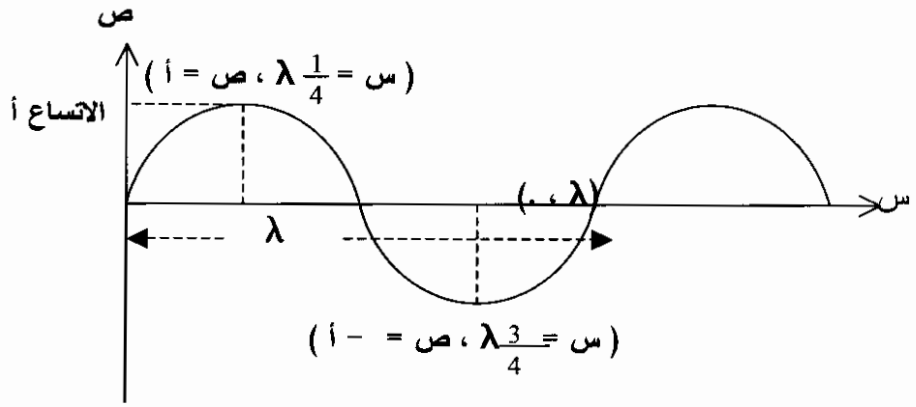
الشكل (2-8) : الطريقة التي يتحرك بها الصوت في الهواء تماثل طريقة موجات سلك الزنبرك .

(2-2-3) معادلة الموجة المتحركة :

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

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

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



الشكل (2-9) : شكل الموجة وهى ساكنة .

في المعادلة (2-10) الزاوية هي [($\pi 2$ س)÷λ] 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 (2-10) مع شكل (2-9) نجد أنه : عندما س = 0

فإن: ص = أ جا صفر = صفر ، أما عندما س = $\frac{1}{4}$ λ تصبح :

ص= أ جا $\frac{\pi}{2}$ = أ(الاتساع)

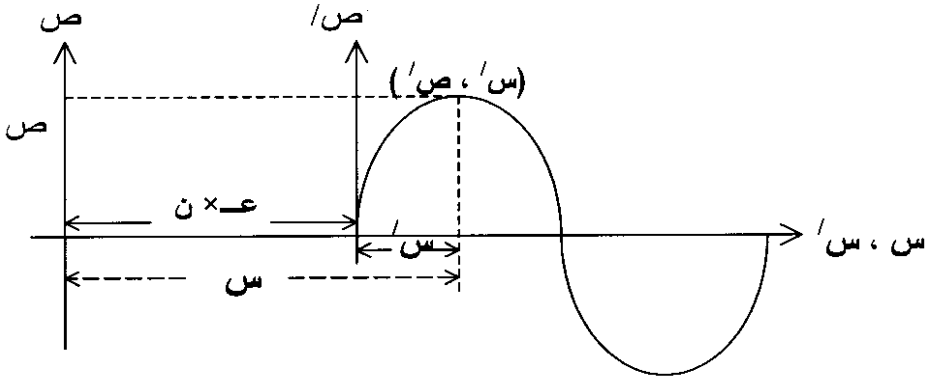
وعندما س = (3 ÷ 4) λ ، ص = أ جا ((3 ÷ 2) π)=– أ ؛

أما إذا أصبحت س=λ فإن ص = أ جا 2π = صفر.

المعادلة (2–10) 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 **س ، ص** وسنعتبره ثابتاً لا يتحرك (شكل (2–10)) وإطار آخر **س/ و ص/** نفترض أن به موجة ساكنة يمكن أن يتحرك معها بالسرعة **عـ** في داخل الإطار الأول. ولأن الموجة ساكنة في هذا الإطار فإن الإزاحة **ص/** من معادلة الموجة الساكنة (2–10) هي:

$$\text{ص}' = \text{أ} \times \text{جا} \left(\frac{2\pi}{\lambda} \times \text{س}' \right) \qquad (2-11)$$

سنفترض أنه في البداية عندما كان الزمن ن=صفر أن المحورين كانا متطابقين ثم تحرك المحور س/ ، ص/ الذي يحمل الموجة الساكنة على الإحداثي السيني بالسرعة عـ ، وبعد زمن مقداره ن كان على بعد **عـ × ن** من الإحداثي الصادي للإطار س،ص كما موضح بشكل (2–10) . وتصبح قمة الموجة التي على بعد س/ في الإطار س/ ، ص/ على بعد س في الإطار س ، ص وعليه من الشكل نجد أن:



شكل (2–10) :استنتاج معادلة الموجة المتحركة

أي أن: $س = س' + عـ \times ن$

$س' = س - عـ \times ن$

وعليه تصبح (2-11):

$$ص' = أ \, جا \frac{\pi 2}{\lambda} \times س' = أ \, جا \frac{\pi 2}{\lambda} \times (س - عـ \times ن)$$

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

$$ص = أ \, جا \frac{\pi 2}{\lambda} [\times (س - عـ \times ن)] \qquad (12-2)$$

وهـذه هي **معادلة الموجة المتحركة بسرعة عـ** . وقد اختفى منها تماما أثر الإطار س' ، ص' الذي استعنا به للتبسيط وأصبحت العلاقة مباشرة بين ص و س. لاحظ في شكل (2-12) أن إزاحة الموجة ص أصبحت بعد حركة الموجة تتغير مع س ومع الزمن ن أيضاً .

الموجة مثل الحركة التوافقية البسيطة والحركة الدائرية لها تردد حيث:

تردد الموجة ذ هو عدد الطول الموجي λ الذي يمر في الثانية الواحدة ووحدته هيرتز أي ذبذبة في الثانية وهناك علاقة بين سرعة الموجة عـ وطولها الموجي λ وترددها ذ . وبما أن السرعة هي المسافة التي يمثلها عدد الموجات التي مرت في الثانية. أي :

عـ = السرعة = عدد الطول الموجي المار في الثانية × طول الموجة

= التردد × طول الموجة = ذ × λ

$$عـ = ذ \times \lambda \qquad (13-2)$$

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

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

جد اتساع الموجة وطولها الموجي وسرعتها وترددها .

الحل : المطلوب : إيجاد أ ، λ ، عـ ، ذ

بمقارنـــة : $ص = 3$ **جا**$[\frac{\pi}{25} (س - 200 ن)]$

مـــع الصورة العامة $ص = أ$ **جا**$[\frac{\pi 2}{\lambda} (س - عـ \times ن)]$

نجد أن الاتساع أ = 3 م

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

$\lambda = 50$ ∴ الطول الموجي = $\lambda = 50$ متر

وكذلك نجد أن عـ = 200 م \ ث

أما تردد الموجة من (2-13):

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

(أي تردد في الثانية أو موجة في الثانية)

مـــثال (2-5) :مـــوجة طـــولها الموجـــي 200 متر وترددها 1000 هيرتز واتساعها 5 أمتار جد سرعتها ومعادلتها .

الحل :

إيجاد السرعة عـ :

$\lambda = 200$ م ، ذ = 1000 هيرتز ، أ = 5 م

$عـ = ذ \times \lambda = 1000 \times 200 = 200000$ م \ ث

معادلة الموجة :

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

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

تمرين (2-2)

1) أعطِ 3 أمثلة لحركات توافقية بسيطة .
2) موجة متحركة طولها الموجي 20 متراً وترددها 100 هيرتز واتساعها 3 أمتار، أكتب معادلة الموجة.**[ص = جا [(2π ÷ 20) ×(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 (2π ÷ 2) × (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 [$\frac{\pi}{100}$ × (س− 300×ن)] جد اتساعها وطولها الموجي وسرعتها وترددها .

[الإجابات:أ=7م، λ=200م ، عـ= 300 م \ ث ، ذ=(2\3) هيرتز]

(3-2) الفصل الثالث

الضـــوء

(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 التنجستن في غلاف زجاجي مفرغ من الهواء (حتى لا يتفاعل السلك الساخن مع الأوكسجين –يتأكسد– فينقطع) فيصدر السلك الساخن ضوءاً بينما يتحول جزء من الطاقة الكهربية في المصباح إلى حرارة .

(2-1-3-2) مفهوم الضوء :

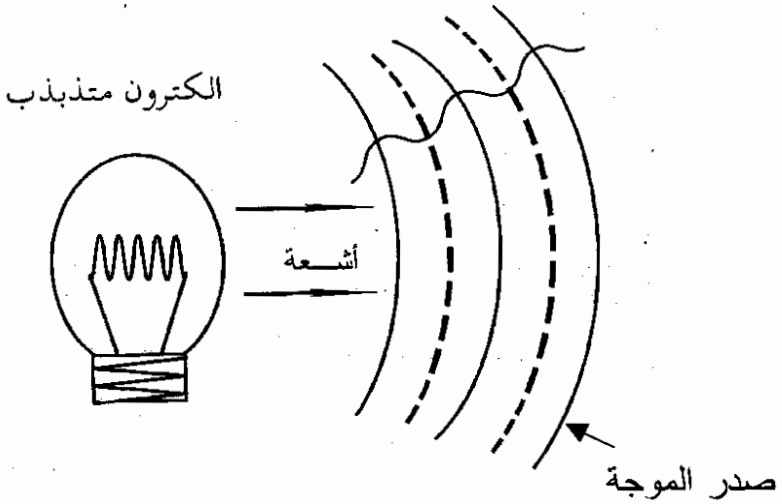
لأن الإنسان يحتاج للضوء ليرى الأشياء من حوله فقد فكر منذ القدم في أن يعرف الطريقة التي يمكن بها أن يولد الضوء ويتعرّف على طبيعة الضوء نفسه. وقد ظن علماء الإغريق القدامى أن الضوء يصدر من العين

فنرى 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 الف 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 أوربا التي انتقل إليها العلم من المسلمين .

وفى منتصف القرن السابع عشر كتب العالم نيوتن نظرية الضوء الجسيمية والتى تقول أن **الضوء عبارة عن فيض من الجسيمات الدقيقة المتناهية في الصغر** وقد استطاعت هذه النظرية تفسير ظاهرتي الانعكاس والانكسار ولكنها فشلت في تفسيربعض 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 :

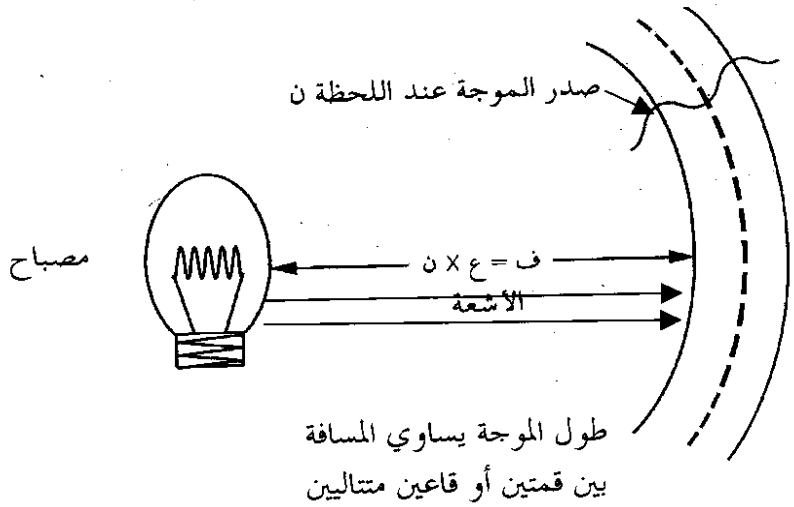
في عام 1678م وضع العالم هايجنز نظريته الموجية حيث اعتبر أن الضوء عبارة عن موجات مثل موجات البحر . وأن موجات الضوء الصادرة من أى مصباح ستنتشر في بحر سماه بحر الأثير والذي يمثل الوسط الذي ينتقل فيه الضوء. حيث يؤدي تذبذب الالكترونات عند مرور التيار الكهربى فى فتيلة المصباح فتولد موجات بنفس الطريقة التي 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 الإعتقاد حينها أن إنتشار موجات الضوء مثلها مثل إنتشار موجات الماء يحتاج الى وسط. وقد ثبت لاحقا بالتجارب العلمية عدم وجود الأثير.



الشكل (2–11) : موجات الضوء .

ولكن تأمل كيفية إنتشار موجات الماء على سطح البركة تساعد فى 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 كهربي عند اللحظـــة (ن= صفر) وكانت الموجة تسير بسرعة عـ فإن صدر الموجة المتولد في المصباح عند اللحظة (ن = صفر) سيصبح على بعد ع ن 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) .

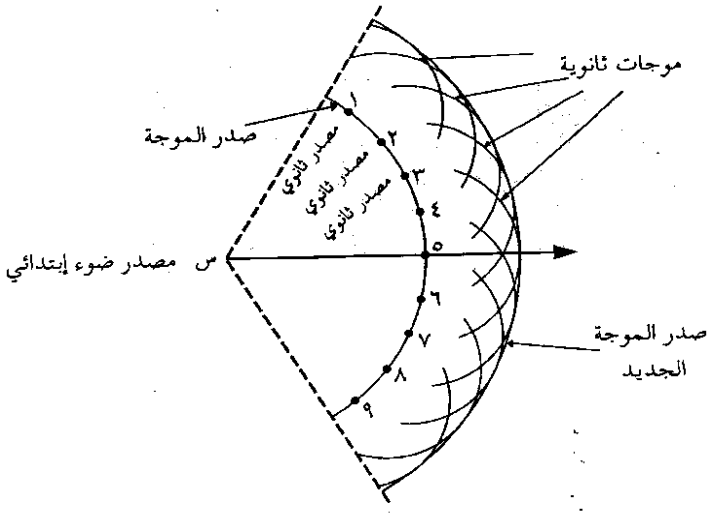
وقد وضح " هايجنز " الطريقة التي يتكون بها صدر موجة جديد في القاعدة التالية المسماة باسمه .

(2-3-1-4) قاعدة هايجنز (شكل 2-13) :

تنص **قاعدة هايجنز** على أن :

> **أي نقطـــة فـــي صـــدر الموجة القديم يمكن إعتبارها مصدراً ضوئياً جديدا 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 :

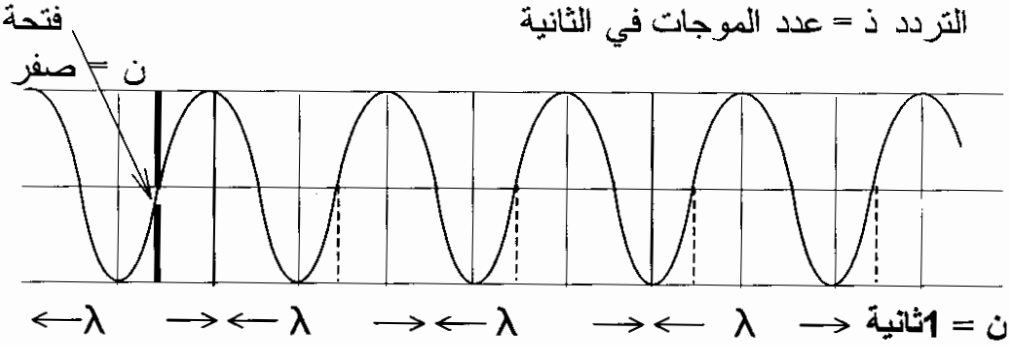
إن إعتبار الضوء عبارة عن موجات يعني أن للضوء **طولاً موجياً λ وترددا ذ** . فإذا كانت سرعة الضوء تساوي **عـ** فإن :

سرعة الضوء = التردد × طول الموجة

$$\text{عـ} = \text{ذ} \times \lambda$$

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

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



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

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

عـ = سرعة الموجة = المسافة التي قطعتها بداية الموجة في ثانية
= طول الموجة × عدد الموجات
= λ × ذ (2–14)

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 \ ث وهي أقصى سرعة للضوء** . بينما تكون سرعة الضوء في الزجاج في حدود 2 × 10 ^{8} متر \ 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 (**عـ** = ذ × λ) فإن انخفاض قيمة عـ تعنى إما إنخفاض قيمة ذ أو إنخفاض قيمة λ وقد وجد أن التردد ذ يظل ثابتاً بينما يتغير الطول الموجي ولذلك **تتغير سرعه الضوء فى الأوساط الشفافة كالزجاج والماء بسبب تغير λ .**

لقد أفلحت النظرية الموجية في تفسير بعض خواص الضوء كالإنعكاس والانكسار غيرأنها فشلت في تفسير بعض الظواهر الأخرى مثل الظاهرة الكهروضوئية التى سندرسها لاحقا. لأحظ أن الضوء هو جزء من طيف كبير يسمى الطيف الكهربي المغناطيسي (الكهرومغنطيسي) سنتطرق اليه بالتفصيل في الفصل الثاني من الباب الرابع وتنطبق عليه المعادلة (2-14) وسرعتة عـ .

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

في عام 1900م استطاع العالم الالماني " ماكس بلانك " وضع نظريتة التى تنص على أن طاقة الضوء والطيف الكهرومغنطيسي عموما تكون في صورة **دفعات صغيرة من الطاقة المنفصلة عن بعضها** . وتسمى كل دفعة من الطاقة **بالكمة** (أي الكمية الصغيرة) . **وتتناسب طاقة الكمة الواحدة (ط)** مع ذ-تردد الضوء (أو الإشعاع عموماً) **ويسمى ثابت التناسب بثابت " بلانك "** ونرمز له بالرمز (هـ) . أي أن :

طاقة الكمة $\quad$ **ط = هـ × ذ** $\quad$ **(15-2)**

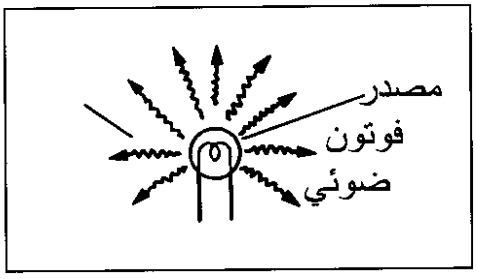
وقد وجد بلانك أن الثابت :

هـ = 6.625 × 10 $^{-34}$ جول . ثانية

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

وعليه حسب نظرية " بلانك "**يعتبر الضوء مكوناً من الفوتونات.** وتسمى هذه النظرية بنظرية " الكم لبلانك " .

أما **شدة شعاع من الضوء فتساوي طاقة الفوتون الواحد مضروباً في عدد الفوتونات التي تعبر وحدة المساحة في الثانية .**



شكل (2-15) : الفوتونات

أي أن :

شدة الإشعاع = هـ × ذ × عد
شع = هـ × ذ × عد

(16-2)

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 موجته5000 انجستروم علماً بأن سرعة الضوء 3×10^{8} م/ث وثابت بلانك هـ $=6.625\times10^{-34}$ جول. ثانية

الحل :

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

$$ط = هـ \times ذ$$

$$\text{لكن } ذ = \frac{عـ}{\lambda}$$

$$\therefore ط = \frac{هـ \times عـ}{\lambda} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{5000 \times 10^{-10}}$$

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

مثال (2-7) :

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

الحل :

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

القدرة هى الطاقة فى الثانية

قدرة الشعاع = ا واط = 1 جول \ ثانية = طاقة الشعاع فى الثانية =

= طاقة الفوتون الواحد × عدد فوتونات الشعاع في الثانية =

= **ط × عد = هـ × ذ × عد** (حيث عد = عدد الفوتونات في الثانية)

1 واط = **هـ × ذ × عد** ، ∴ ذ = عـ \ λ

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

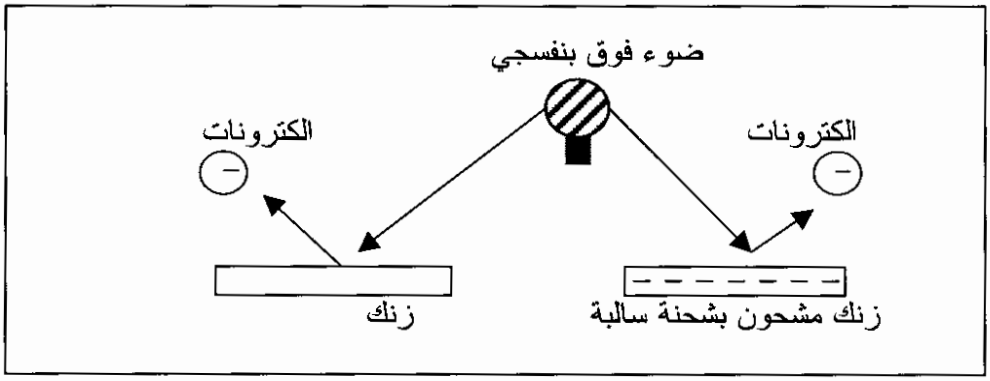
$$= 498 \times 10^{16} \approx 5 \times 10^{18} \text{ فوتون .}$$

(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 الكترونات 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)) .



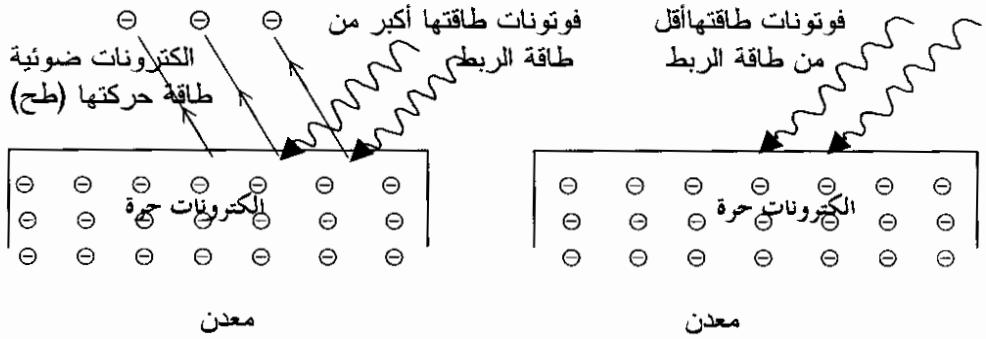
الشكل (2-16) : تجربة هولواش .

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

وفي عام 1905م استطاع العالم الالماني " البرت انشتاين " تفسير الظاهرة الكهروضوئية على ضوء نظرية الكم " لبلانك " التي درسناها سابقاً . حيث اعتبر أن الضوء يتكون من كمات متقطعة من الفوتونات .

فإذا سقط ضوء **تردده (ذ)** على سطح معدن فإن طاقة الفوتون الواحد ستساوي (هـ × ذ) حيث **هـ = 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 **(طح)** وتسمى هذه الالكترونات التى تتحرر من المعدن بسقوط الضوء عليه **بالالكترونات الضوئية** (انظر شكل (2-17)) .



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

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

الشكل (2-17) : تفسير الظاهرة الكهروضوئية .

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

الطاقة التي فقدها الفوتون = الطاقة التي اكتسبها الالكترون

(أولاً للتحرر من سطح المعدن وثانياً لإكتساب طاقة حركة) .

أي أن **هـ × ذ = الطاقة اللازمة لتحرر الإلكترون من المعدن (طاقة الربط) + طاقة الحركة التى إكتسبها الالكترون. أى أن:**

$$\text{هـ} \times \text{ذ} = \Phi + \text{طح} \qquad (17-2)$$

وبما أن طاقة الحركة عامة تساوي $\frac{1}{2}$ ك ع^2 حيث فى حالة الإلكترون ، (ك) هى كتلة الالكترون بينما تمثل (ع) سرعة الالكترون المحرر.

$$\therefore \text{هـ} \times \text{ذ} = \Phi + \frac{1}{2} \text{ ك ع}^2 \qquad (18-2)$$

مثال (2-8) :

إذا كانت طاقة الربط (دالة الشغل) فى البوتاسيوم تساوي 3.2×10^{-19} جول. فاحسب **طاقة حركة الالكترون** عندما يضاء اللوح بأشعة طولها الموجي 354×10^{-9} متر إذا اعتبرت أن ثابت بلانك هـ = 6.6×10^{-34} جول ثانية.

الحل :

سرعة الضوء في الفراغ (عـ) = 3×10^{8} مترات

$\lambda = 354 \times 10^{-9}$ متر ، هـ = 6.6×10^{-34} جول ثانية

$\Phi = 3.2 \times 10^{-19}$ جول .

طاقة الفوتون = طاقة حركة الالكترون + طاقة الربط فى البوتاسيوم

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

$$\frac{\text{هـ} \times \text{عـ}}{\lambda} = \text{طح} + \Phi$$

$$\text{طح} = \frac{\text{هـ} \times \text{عـ}}{\lambda} - \Phi = \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{354 \times 10^{-9}} - 3.2 \times 10^{-19}$$

$= 5.59 \times 10^{-19} - 3.2 \times 10^{-19} = 2.39 \times 10^{-19}$ جول

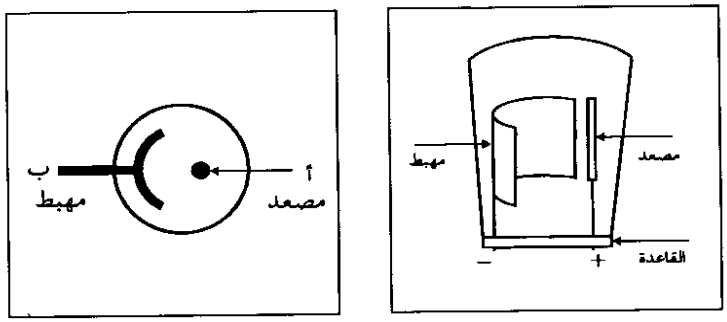
أي أن طاقة حركة الالكترون $\approx 24 \times 10^{-20}$ جول

(2-3-5) الخلية الكهروضوئية :

يمكن الاستفادة من الظاهرة الكهروضوئية في تحويل الطاقة الضوئية لطاقة كهربية . وهذا ما تقوم به الخلية الكهروضوئية والتي لها أشكال عدة ، ولكنها كلها تتفق في أنها كلها مكونة من مهبط ومصعد ، 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

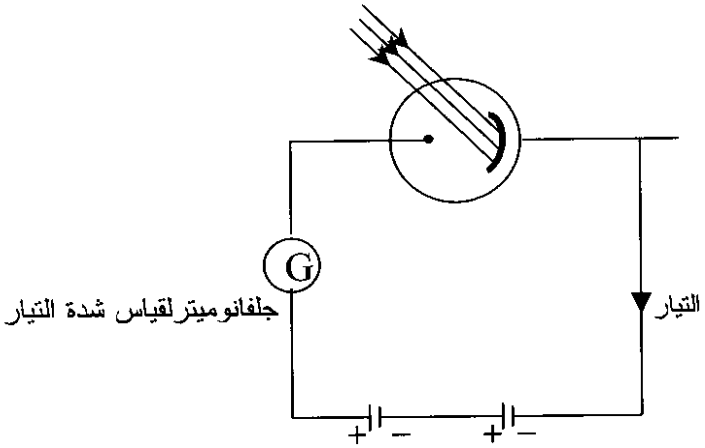
قاعدة الغلاف الزجاجي من الخارج ، ويسمى هذا اللوح **بالمهبط** لأنه **يوصل بالقطب السالب** وهذا اللوح هو



الشكل (2–18) : خلية كهروضوئية .

الذى تتحرر من سطحه الالكترونات عند سقوط الضوء عليه ولأنه موصل بالقطب السالب فستتنافر هذه الإلكترونات معه لأنها هى أيضا سالبه.

ويوجد أمام المهبط قضيب معدني يتصل هو الآخر بمسمار توصيل مثبت في قاعدة الغلاف الزجاجي من الخارج . ويسمى هذا القضيب **بالمصعد** حيث يوصل بالقطب الموجب بحيث يجذب إليه الالكترونات (شكل (2–18)) . ولكي تعمل الخلية **يوصل المهبط بالقطب السالب لبطارية** ذات قوة دافعة كهربية كبيرة بينما **يوصل المصعد بالقطب الموجب للبطارية** . فعند سقوط الضوء على المهبط تنبعث منه الالكترونات ، ليجذبها المصعد الموجب فيمر التيار في الدائرة حيث يدل على مروره جهاز الجلفانوميتر الحساس لمرورالتيار الكهربي الضعيف الموضح فى 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:

ا) **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 الى إشارات ضوئية فى الألياف الضوئية (سندرسها لاحقا) ثم تحول فى الطرف الآخر لهذا الليف الضوئى بواسطة الخلية الكهروضوئية إلى تيارات كهربية مرة أخرى حيث تنقل بالأسلاك الى 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 فى جهاز التلفزيون فى المنزل لفتح أو إغلاق أو تغيير المحطات حيث يصدر جهاز الريموت عند الضغط عليه نبضة من

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

مثال (2-9) :

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

الحل :

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

هـ $= 6.6 \times 10^{-34}$ جول . ثانية عـ $= 3 \times 10^{8}$ متر \ ث

هـ × ذ = طح + Φ

Φ = هـ × ذ − طح = $\frac{\text{هـ} \times \text{عـ}}{\lambda}$ − طح

$\Phi = \frac{6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{5 \times 10^{-7}} - 19.8 \times 10^{-20}$

$\Phi = 19.8 \times 10^{-20}$ جول

إيجاد أقل تردد يحرر الالكترون (التردد الحرج):

أقل تردد هو التردد الذي يكفي فقط لإخراج الالكترون 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) .

بتعويض طح = صفر ذ = ذ ح

وبما أن هـ × ذ = طح + Φ

اذا هـ × ذ ح = صفر + Φ

هـ × ذ ح = Φ

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

$= 3 \times 10^{14}$ هيرتز

تمرين (2-3)

هـ = 6.6×10^{-34} جول.ثانية،(**شحنة الإلكترون**) ش$_{إ}$ = 1.6×10^{-19} **كولوم،**
(**سرعة الضوء**) عـ = 3×10^{8} م/ث ،(**كتلة الإلكترون**)ك$_{إ}$ = 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} متراث ، ذ$_{ح}$ = 4.8×10^{14} هيرتز]

2) ما مقدار الطاقة في كمة ضوء طولها الموجي 3000 انجستروم ؟.
[6.6×10^{-19} 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 إنبعث من معدن عندما سقط عليه ضوء طوله الموجي 4×10^{-7} م. أحسب طاقة ربط الإلكترون في المعدن والتردد الحرج . **[$\Phi = 9.5 \times 10^{-20}$ جول ، ذ$_{ح}$ = 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]**

(2-4) الفصل الرابع

الانكســـار

(2-4-1) 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 (المايكرسكوبات) وفي المناظير الفلكية وفي كاميرات التصوير العادية والتلفزيونية . ويستفاد من ظاهرة الانكسار في نقل المعلومات بالليزر عبر الألياف الضوئية.

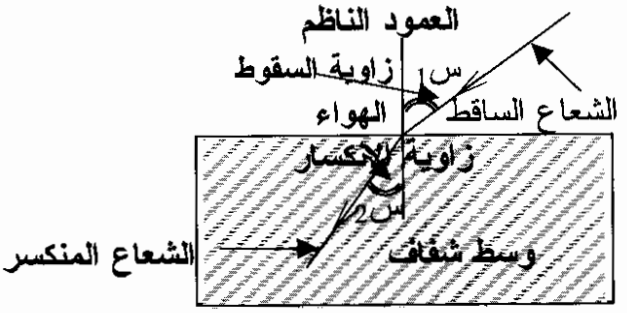
(2-4-2) تفسير ظاهرة الانكسار :

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 :

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

أيضاً إذا سقط شعاع بزاوية ($س_1$) من الهواء (وتسمى زاوية السقوط) على أي وسط شفاف فإن الشعاع ينكسر بزاوية معينة مقدارها ($س_2$) (وتسمى زاوية الانكسار) . وتكون نسبة جيب الزاوية الموجودة في الهواء ($س_1$) إلى جيب الزاوية الموجودة في الوسط ($س_2$) ثابتة وتسمى هذه النسبة **بمعامل الانكسار المطلق** للمادة ونرمز له بالرمز (م) .

$$\text{م} = \frac{\text{جا } س_1}{\text{جا } س_2} \qquad (20-2)$$



الشكل (2-20) : ظاهرة الانكسار .

(2-5-3) قانون الانكسار الأول :

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

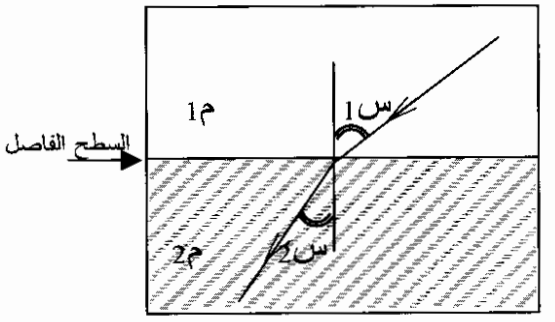
(2-5-4) قانون الانكسار الثاني (قانون سنل (Snell's Law) :

" إذا سقط شعاع في وسط معامل انكساره المطلق ($م_1$) بزاوية ($س_1$) وانكسر في وسط معامل انكساره المطلق ($م_2$) بزاوية ($س_2$) فإن :

$$م_1 \times \text{جاس}_1 = م_2 \times \text{جاس}_2 \qquad (21-2)$$

وهذا القانون يتحقق فقط إذا تحقق **القانون الأول للإنكسار** . ويسمى هذا القانون بقانون سنل (شكل (2-21)) . أي أن معامل الإنكسار بين الوسطين:

$$م = \frac{\text{جا س}_1}{\text{جا س}_2} = \frac{م_2}{م_1}$$



الشكل (2-21) : قانون سنل .

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

الحل : حسب قانون الانكسار نجد أن :

$$م = \frac{\text{جاس}_1}{\text{جاس}_2} \qquad \text{حيث أن :}$$

$س_1 = 60°$ (في الهواء) ، $س_2 = 30°$ (في الوسط)

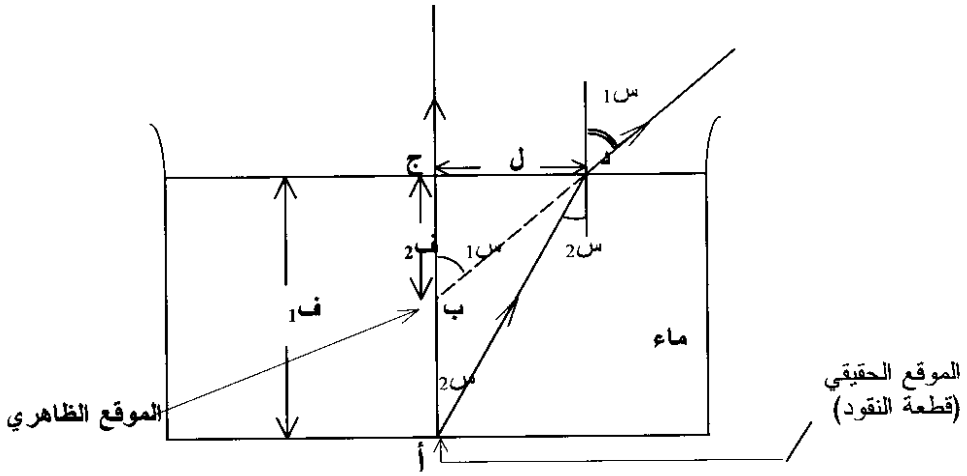
$$\therefore \text{معامل الانكسار} = م = \frac{\text{جاس}_1}{\text{جاس}_2} = \frac{\text{جا}60°}{\text{جا}30°} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{2}}$$

$$\therefore م = \sqrt{3}$$

(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 الوسطين لتتجمع إمتدادات الأشعة المنكسرة والتي تصل للعين فتراها في الموضع (ب) والذي يسمى بالموضع الظاهري [شكل (2-22)]. وتسمى المسافة بين الموضع الحقيقي (أ) وسطح الماء

$$(1) \qquad \frac{\text{أ د}}{\text{ب د}} = \frac{\text{ل}}{\text{أ د}} \div \frac{\text{ل}}{\text{ب د}} = \frac{\text{جاس}_1}{\text{جا س}_2} = م$$



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

الذي يمثل السطح الفاصل بالعمق الحقيقي ونرمز له بالرمز ($ف_1$) بينما تسمى المسافة بين الموضع الظاهري وسطح الماء بالعمق الظاهري ونرمز له بالرمز ($ف_2$) . هناك علاقة بين العمق الحقيقي ($ف_1$) والظاهري ($ف_2$) يمكن استنباطها من تعريف معامل الانكسار . فحسب تعريف معامل الانكسار نجد أن :

أما إذا كان النظر عموديا من أعلى فإن:

أ د = أ ج = $ف_1$ ، ب د = ب ج = $ف_2$

وفي هذه الحالة يكون معامل الانكسار:

$$م = \frac{ف_1}{ف_2} = \frac{\text{العمق الحقيقي}}{\text{العمق الظاهري}} \qquad (2-22)$$

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 :

$$م = \frac{ف_1}{ف_2}$$

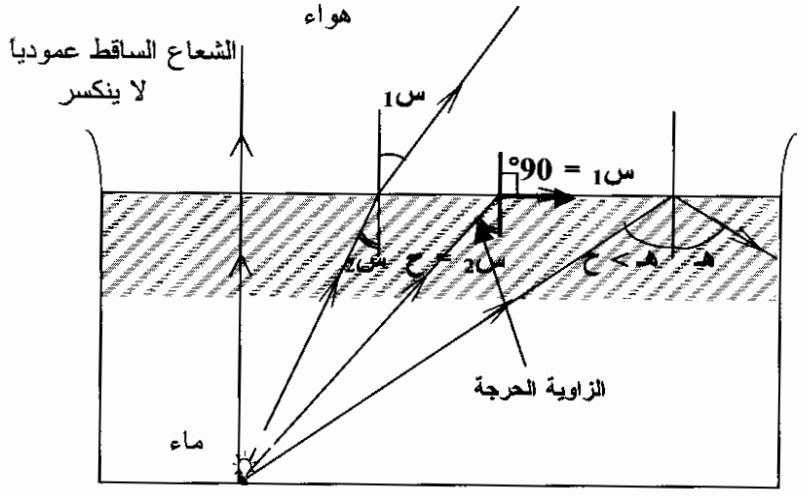
$ف_1$= العمق الحقيقي = 16 سم

$ف_2$ = العمق الظاهري = 12 سم

$$م = \frac{ف_1}{ف_2} = \frac{16}{12} = \frac{4}{3}$$

(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 (س$_2$= ح) والانعكاس الكلي الداخلي .

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

$$م = \frac{جاس_1}{جاس_2}$$

وبما أن س$_1$ = 90° $\qquad$ س$_2$ = ح

$$\therefore م = \frac{جا90°}{جاح} = \frac{1}{جاح}$$

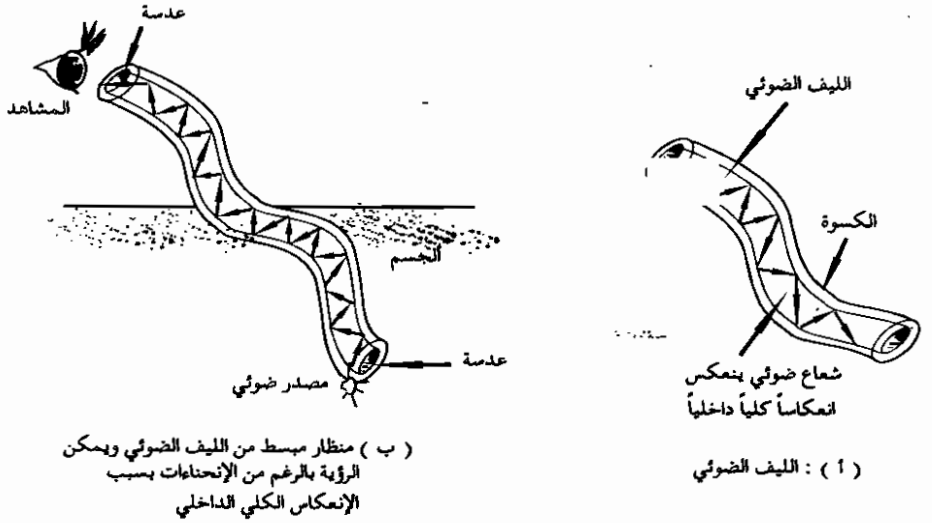
$$\therefore \text{جا ح} = \frac{1}{م} \qquad (2-23)$$

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 (2-23) ، الزاوية هـ > ح)

ويستفاد من ظاهرة الانعكاس الكلي في نقل المكالمات الهاتفية ، والتشخيص الطبي باستخدام الألياف الضوئية (شكل (2-24)) . 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 ، والمحيطة 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 الكهربية 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 .



الشكل (2-24) الليف الضوئي

مثال (2-12) :

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

الحل :

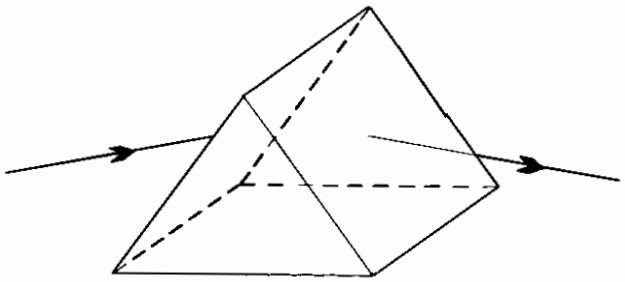
$$\text{جا ح} = \frac{1}{\text{م}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\text{ح} = 45°$$

عندما يسقط الشعاع بزاوية 50° فإنه ينعكس إنعكاسا كليا داخليا.

(2-4-7) : المنشور :

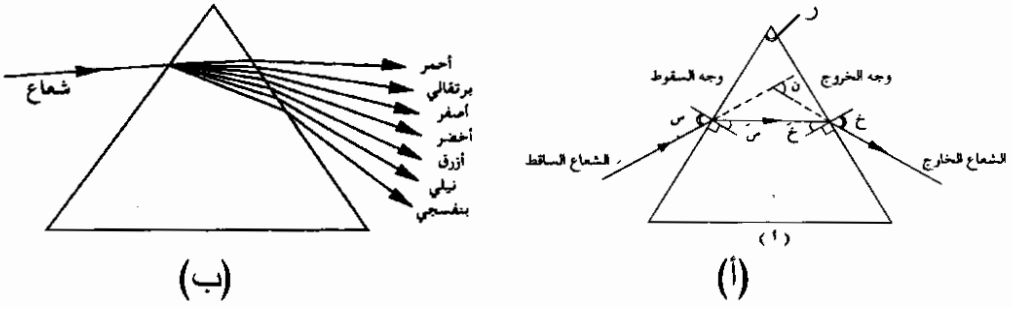
إذا تأملت الأفق في يوم ممطر فقد يكون حظك سعيداً فتلاحظ ظاهرة قوس قزح حيث ستلاحظ وجود ألوان الطيف السبعة الزاهية في شكل أقواس على صفحة السماء . ولعلك تساءلت ما الذي يجعل هذه الألوان الخلابة تظهر في السماء . والإجابة عن ذلك تكمن في ظاهرة الانكسار فيما يسمى بالمنشور. فما هو هذا المنشور ؟ وما علاقته بألوان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



الشكل (2–25) : المنشور .

فالمنشور عبارة عن جسم زجاجي وجهه الأمامي والخلفي في شكل مثلث بينما قاعدته ووجهاه الجانبيان في شكل مستطيلات (شكل (2–25)) . **ويستخدم المنشور في فرز ألوان الطيف السبعة المكونة للون الأبيض** (شكل (2–26) 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 تنحصر بين وجه السقوط ووجه الخروج بزاوية رأس المنشور ونرمز لها بالرمز (ر) .



الشكل (2–26) : 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 بزاوية 45° وانكسر بزاوية 60° في الهواء . جد معامل انكسار هذا الوسط .
6) جد الزاوية الحرجة لوسط معامل انكساره $\sqrt{3}$
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 4\3)

[ا) 26.3°،ب) 56.4°]

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

[أ) جا$^{-1}$ (2 \ 3) ، ب) جا$^{-1}$ (3 \ 4) ، ج) جا$^{-1}$ (8 \ 9)]

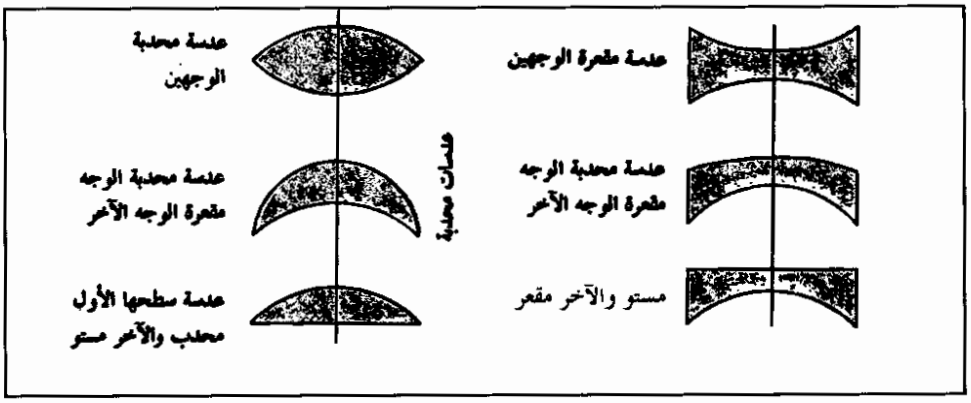
10) إذا كانت سرعة الضوء في سائل 2×10^{8} م \ ث. أحسب معامل إنكسار السائل. (سرعة الضوء في الفراغ 3×10^{8} م \ ث)

[م = 3\2]

(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 وآلآت التصوير والمجاهر (الميكروسكوبات) والمناظير المكبرة.

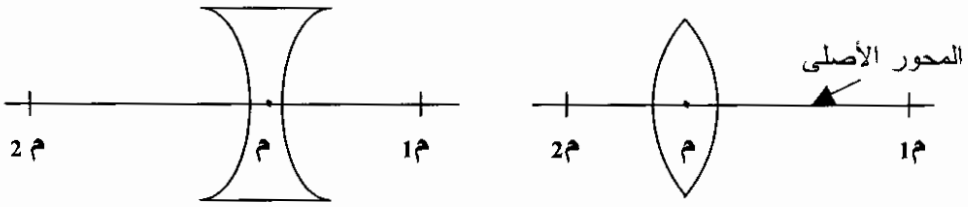


الشكل (2-27) : عدسات محدبة ومقعرة .

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 :

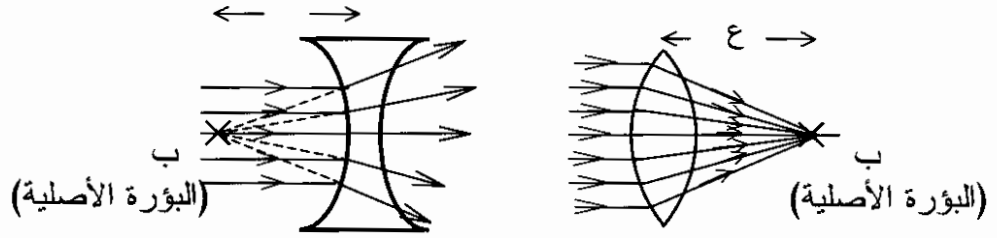
1) **المركز البصري** للعدسة (م) : **هي نقطة تقع في منتصف العدسة تماماً .**
2) **مركز تكور العدسة** (م1 ، م2) : لكل سطح من سطحي العدسة مركز تكور و**هو مركزي الكرة التي يكون سطح العدسة جزءاً منها .**
3) **المحور الأصلي للعدسة : هو المستقيم المار بالمركز البصري** (م) للعدسة **ومركزي التكور** (م1 ، م2) (شكل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



الشكل (2–28) :المحور الأصلي و المركز البصري (م) ومراكز تكور العدسة.

4) **بؤرة العدسة (ب)** (شكل (2–29)) :

هي النقطة التي تتجمع عندها الأشعة الخارجة من العدسة أو امتداداتها والتي تسقط موازية للمحور الأصلي . ع



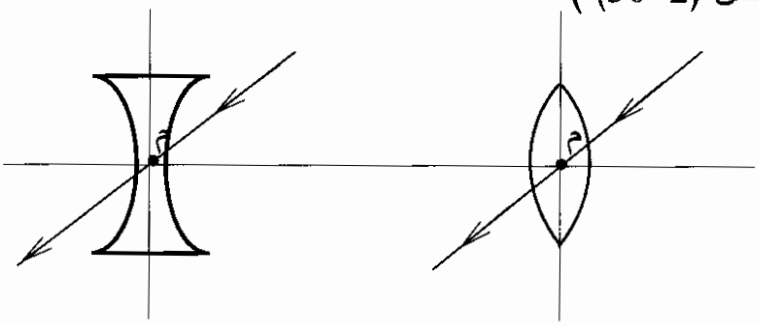
عدسة مقعرة الوجهين **عدسة محدبة الوجهين**

الشكل (2–29) : البؤرة .

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

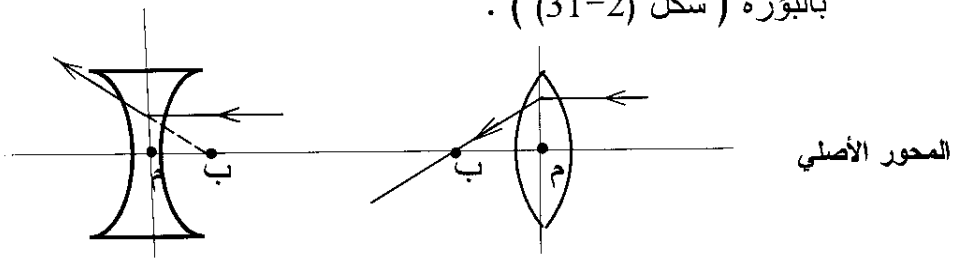
بعض خواص الأشعة الساقطة على العدسة :

1) إذا سقطت أشعة مارة ب**المركز البصري** للعدسة فإنها تنفذ دون أن تنكسر (شكل (2–30)) .



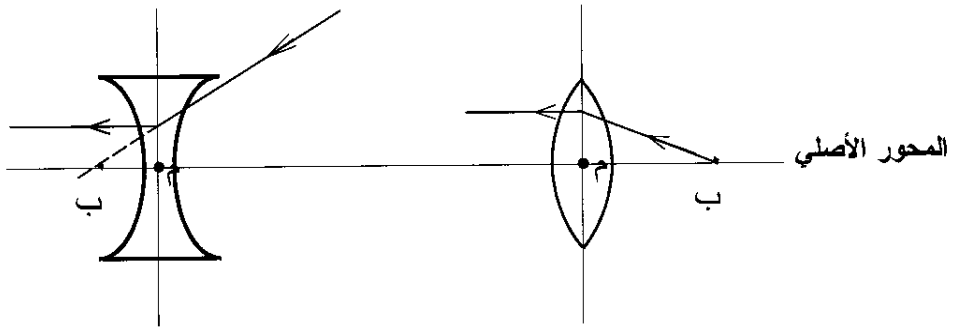
الشكل (2–30) : مسار الشعاع المار بالمركز البصري .

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



الشكل (2-31) : مسارالشعاع الموازي للمحور الأصلي .

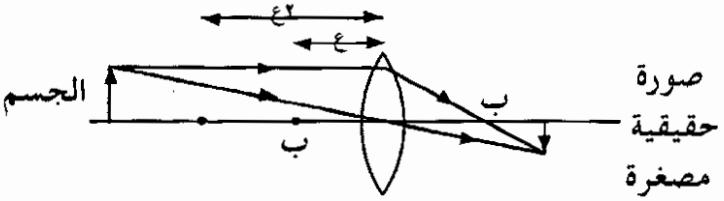
3) إذا سقطت أشعة بحيث تمر هي أو امتداداتها **بالبؤرة** فإنها تنفذ **موازية للمحور الأصلي** (شكل (2-32)) .



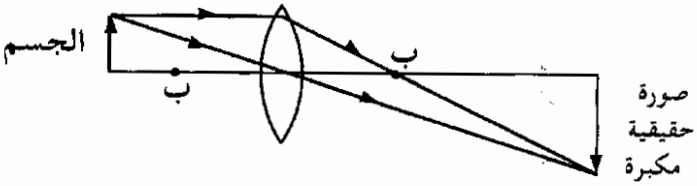
الشكل (2-32) : مسار الشعاع المار بالبؤرة .

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

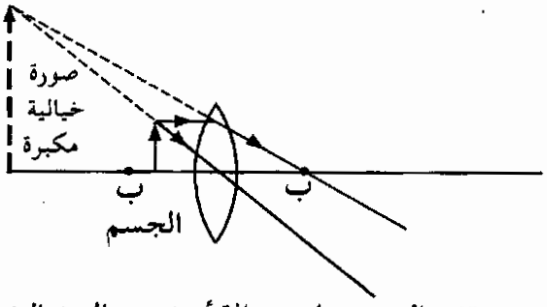
إذا وضعنا جسماً أمام عدسة محدبة فإن الصورة المتكونة يمكن معرفتها بمتابعة مسار شعاعين يخرجان من أعلى الجسم. الشعاع الأول يمر بالمركز البصري وهذا ينفذ دون أن ينكسر والآخر يوازي المحور الأصلي وهذا ينكسر ماراً بالبؤرة فيتكون أعلى الصورة عند نقطة تلاقي الشعاعين.



(١) الجسم على مسافة أكبر من ضعف البعد البؤري



(٢) الجسم على مسافة أكبرمن البعد البؤري



(٣) الجسم على مسافة أصغر من البعد البؤري

الشكل (2–33):الصور المتكونة لجسم على ابعاد مختلفة من عدسة محدبة (لامة)

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.

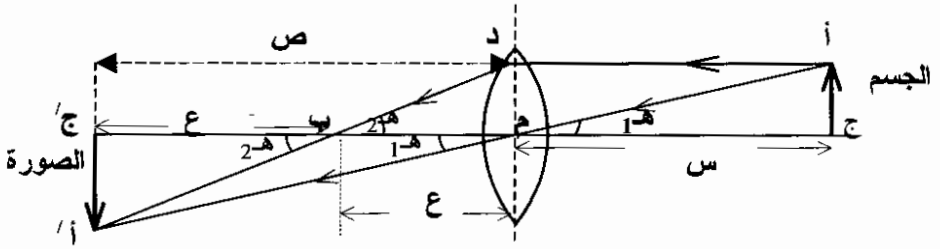
(2-5-3) قانون العدسات :

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 :

$\angle$ أ م ج = $\angle$ أ / م ج/ = $هـ_1$ بالتقابل بالرأس

$$\therefore \text{ظا } هـ_1 = \frac{أ/ج/}{ج/م} = \frac{أ ج}{ج م}$$

$$\frac{أ/ج/}{ص} = \frac{أ ج}{س}$$

$$\frac{أ/ج/}{أ ج} = \frac{\text{طول الصورة}}{\text{طول الجسم}} = \frac{ص}{س} \qquad (1)$$

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

$< أ/ ب ج/ = < د ب م = هـ_2$ بالتقابل بالرأس

$\therefore$ ظا $هـ_2 = \frac{أ/ ج/}{ج/ ب} = \frac{د م}{م ب}$

$\frac{أ/ ج/}{ص - ع} = \frac{د م}{ع}$

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

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

أ ج = د م

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

من (1) و (2) نجد :

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

وبجعل ص عامل مشترك في الطرفين نجد أن :

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

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

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

قانون العدسات (24-2)

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 :

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

$$\text{ت} = \frac{\text{ص}}{\text{س}} \qquad (25-2)$$

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

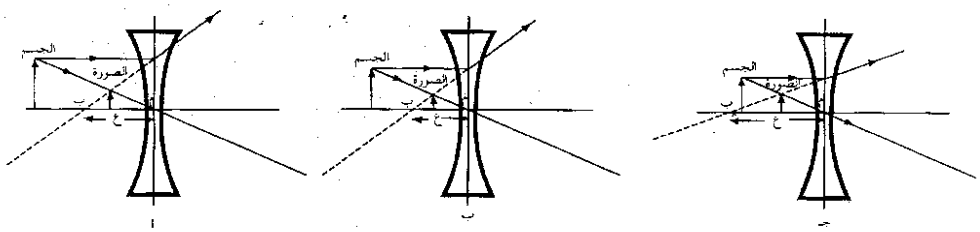
أ) العدسة المحدبة [الشكل(2-33)] :

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 بوساطة عدسة مقعرة

في الشكل من اليسار (أ) الجسم على بعد أكبر من 2ع ؛ (ب) الجسم بين ع و 2ع؛ (جـ) 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 :

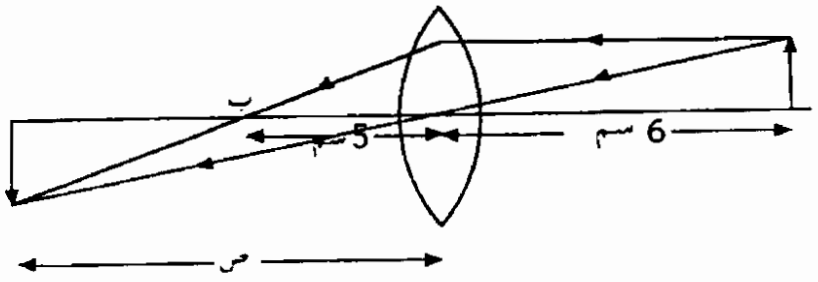
ع = 5 ، س = 6

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

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

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

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



من الرسم صفات الصورة حقيقية ، مقلوبة ، مكبرة .

(بعد الجسم أقل من ضعف البعد البؤري وأكبر من البعد البؤري) .

مثال (2-14) :

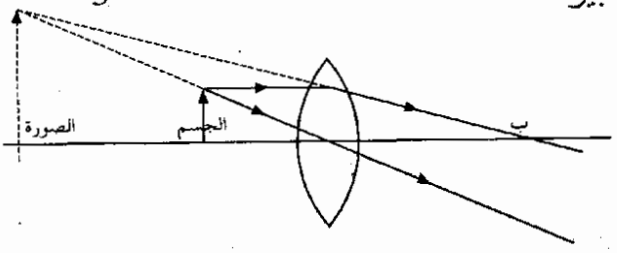
سقطت أشعة من جسم على عدسة محدبة بعدها البؤري 3 سم مكونة صورة خيالية على بعد 6 سم من العدسة. جد بعد الجسم وصف الصورة المتكونة ، ثم (ارسم الشكل) .

الحل :

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

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

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



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

ص = − (سالب) الصورة خيالية

|ت| = 3 > 1 الصورة مكبرة

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

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

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

صفات الصورة :

ص = − الصورة خيالية

$|\text{ت}| = \frac{1}{5} < 1$ الصورة مصغرة

ت = − الصورة معتدلة

تمرين (2-5)

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)

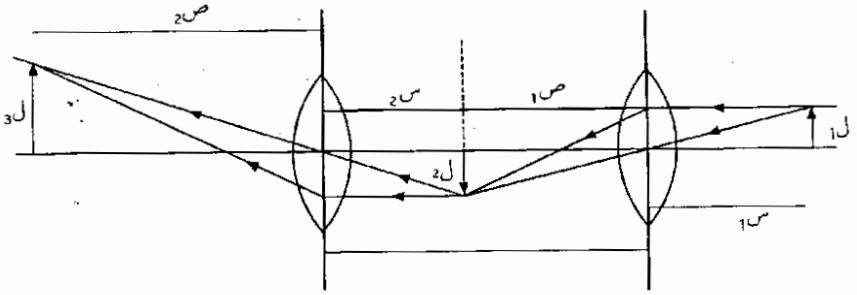
7) سقطت أشعة من جسم على بعد 12 سم من عدسة محدبة بعدها البؤري 6 سم . جد التكبير ومن ثم صف الصورة المتكونة .
(ت = 1 ، حقيقية ، مقلوبة ، مساوية للجسم)

(2-6) الفصل السادس
المجموعات البصرية

(2-6-1) 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 ($ع_1$) و ($ع_2$) على بعد (ل) من بعضهما . ووضعنا جسم ($ل_1$) على بعد ($س_1$) من (العدسة الأولى) فإن صورة ستتكون للجسم على بعد ($ص_1$) من العدسة الأولى ، انظر شكل (2-36) حيث نجد من قانون العدسات أن :

$$\frac{س_1 ع_1}{س_1 - ع_1} = ص_1$$



البعد البؤري = $ع_1$ ل البعد البؤري = $ع_2$

الشكل (2-36) : المجموعة البصرية .

وستصبح الصورة $ل_2$ جسما للعدسة الثانية على بعد $س_2$ حيث أن :

$$س_2 = ل - ص_1$$

وستتكون صورة نهائية ($ل_3$) بواسطة العدسة الثانية على بعد ص 2 منها حيث نجد من قانون العدسات :

$$\frac{س_2 ع_2}{س_2 - ع_2} = ص_2$$

أما تكبيركل من العدستين الأولى والثانية فيساوي :

$$ت_1 = \frac{ل_2}{ل_1} = \frac{ص_1}{س_1} \quad ، \quad ت_2 = \frac{ل_3}{ل_2} = \frac{ص_2}{س_2}$$

أما التكبير الكلي ت فيساوي :

$$\text{ت} = \frac{\text{طول الصورة النهائية}}{\text{طول الجسم الأصلي}} = \frac{\text{ل}_3}{\text{ل}_1}$$

$$\therefore \text{ت} = \frac{\text{ل}_3}{\text{ل}_1} = \frac{\text{ل}_3}{\text{ل}_2} \times \frac{\text{ل}_2}{\text{ل}_1} = \text{ت}_2 \times \text{ت}_1 = \frac{\text{ص}_2}{\text{س}_2} \times \frac{\text{ص}_1}{\text{س}_1} \quad (26-2)$$

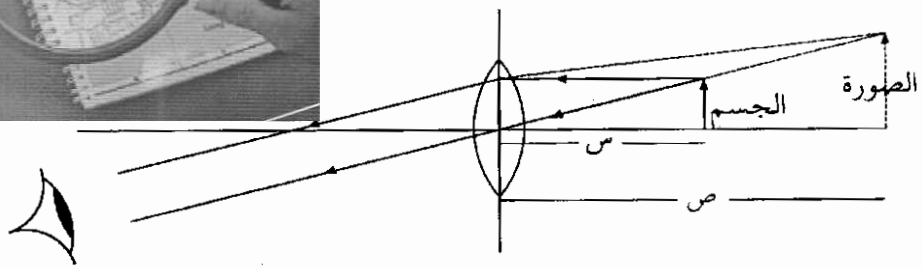
إذا: تكبير المجموعة البصرية المكونة من عدستين يساوي :

$$\text{ت} = \text{تكبير العدسة الأولى} \times \text{تكبير العدسة الثانية} = \text{ت}_1 \times \text{ت}_2 \quad (27-2)$$

(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 .

تتميز الصورة المتكونة بالمجهر البسيط بعدة مميزات هي :

1) تكون الصورة مكبرة $|\text{ت}| > 1$

حيث يعطى التكبير من الصيغة الرياضية : $\text{ت} = \frac{\text{ص}}{\text{س}}$

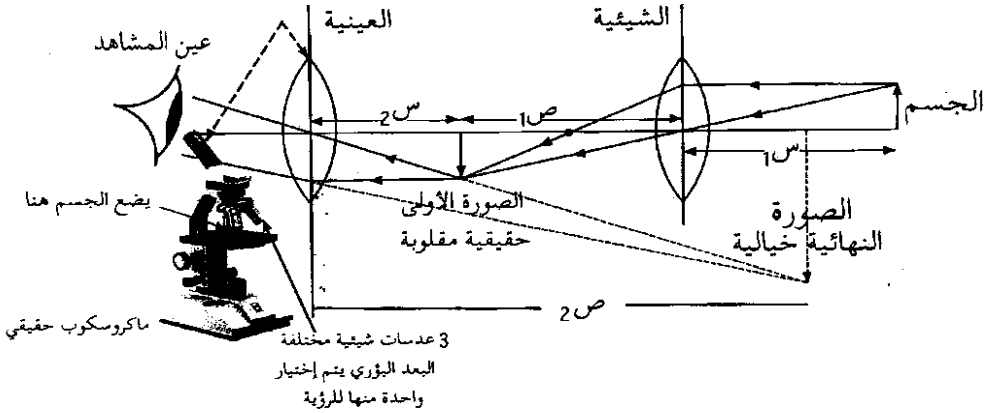
2) تكون الصورة خيالية دائماً أي أن : ص = −

(لأنهـــا فـــي 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 الشئ المراد فحصه **بالشيئية** .



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

ويتميز المجهر بعدة خواص هي :

1) تكون الصورة النهائية خيالية دائماً .

ص2 = −

2) تكبير المجهر يساوي : **ت = ت1 × ت2 = تكبير الشيئية × تكبير العينية**

$$ت = \frac{ص_1}{س_1} \times \frac{ص_2}{س_2}$$

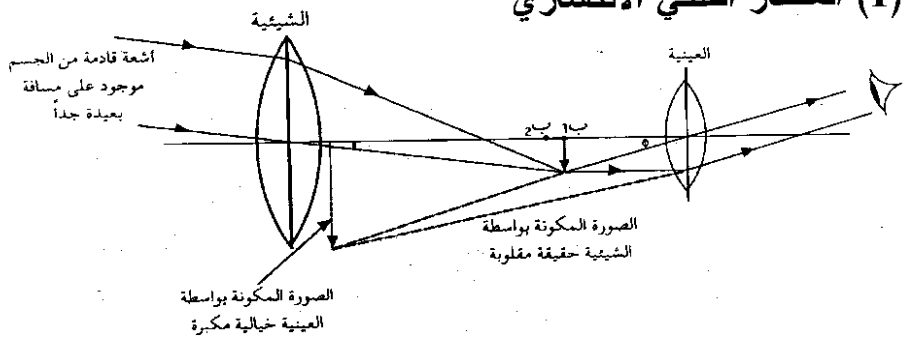
لاحظ أن تكبير المجهر هو نفس تكبير المجموعة البصرية المكونة من عدستين

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

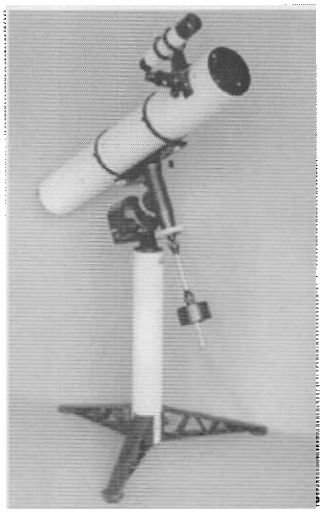
$$ل = ص_1 + س_2 \qquad (28-2)$$

(ج) أنواع أخرى من المناظير :

(1) المنظار الفلكي الانكساري



شكل (2–40) : المنظار الفلكي

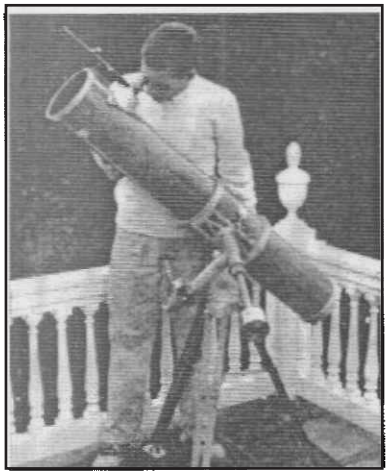


منظار فلكي مركب عليه منظار فلكي آخر صغير يستعمل للتوجيه للمنطقة المراد رؤيتها مكبرة

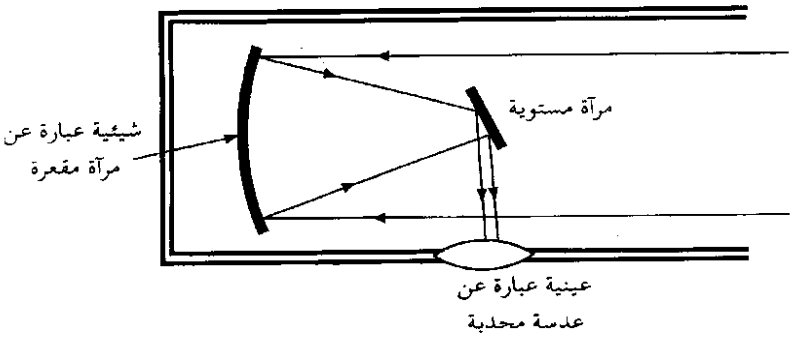
هذا المنظار يستخدم في رصد الأجرام السماوية والنجوم والمجرات وكل الأجسام البعيدة جدا. ويتكون في أبسط صوره مثل المجهر المركب من عدسة **شيئية** توجه نحو الجسم المراد رويته ويكون بعدها البؤري كبير نسبيا، بينما ينظر المراقب خلال العدسة **العينية** التي بعدها البؤري صغير نسبيا.شكل(2–39). نسبة لأن الجسم بعيد جدا تكون الصورة المتكونة له مقلوبة وفي بورة الشيئية تقريبا. هذه الصورة تعتبر جسما بالنسبة للعينية. وللحصول على صورة مكبرة تحرك العينية حتى تصبح الصورة من الشيئية داخل البعد البؤري للعينية فنحصل على صورة خيالية مكبرة ولكنها أيضا 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 .

تكبير المنظار الفلكي =
(بعد الصورة الأولى من الشيئية) ÷ (بعد نفس الصورة من العينية)

(2) منظار نيوتن الفلكي :



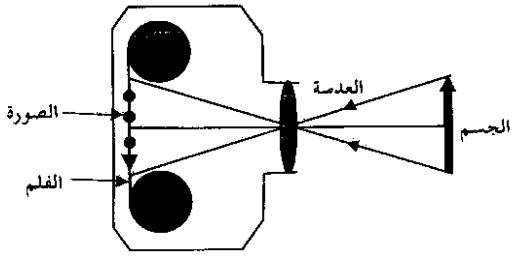
وهذا المنظار أيضا يستخدم لرصد الأجرام السماوية مثل الأقمار ، والنجوم والمذنبات ، ويتكون من مرآة مقعرة تسقط عليها الأشعة القادمة من هذه الأجرام لتتكون لها صورة على بؤرة هذه المرآة [شكل(2-40)]. ولرؤية هذه الصورة وتكبيرها توضع مرآة مستوية عاكسة تعترض الأشعة قبل أن تكون صورة وتعكس هذه الأشعة لتمر عبر العينية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

س = 4 سم ص = − 20 سم (الصورة خيالية)

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

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

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

مثال (2-17) :

مجهر مركب البعد البؤري لشيئيته 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 : $س_1 = 4$ ، $ع_1 = 3$

بالنسبة للشيئية : $ص_1 = \frac{س_1\ ع_1}{س_1 - ع_1} = \frac{4 \times 3}{4 - 3} = 12$ سم

بالنسبة للعينية : $ع_2 = 5$ سم ، $ص_2 = -20$ سم

$$س_2 = \frac{ص_2\ ع_2}{ص_2 - ع_2} = \frac{-20 \times 5}{-20 - 5} = \frac{-100}{-25} = 4 \text{ سم}$$

طول أنبوبة المجهر = ل= ص$_1$ + س$_2$ = 12 + 4 = 16

تكبير المجهر = (ت) = $\frac{\text{ص}_1}{\text{س}_1} \times \frac{\text{ص}_2}{\text{س}_2} = \frac{12}{4} \times \frac{20-}{4}$

= 3 × 5 − = 15 −

تمرين (2-6)

1) مجهر بسيط البعد البؤري لعدسته 7 سم . فأين نضع جسماً حتى تتكون له صورة على بعد 42 سم ؟ **[س = 6 سم]**

2) مجهر مركب البعد البؤري لشيئيته 2 سم وطول أنبوبته 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 شيئية مجهر مركب البعد البؤري لشيئيته 3 سم ولعينيته 5 سم فتكونت له صورة على بعد 20 سم. جد التكبير وطول القصبة. **[د = 10 سم ، ت = 15]**

4) منظار البعد البؤري لشيئيته 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]**

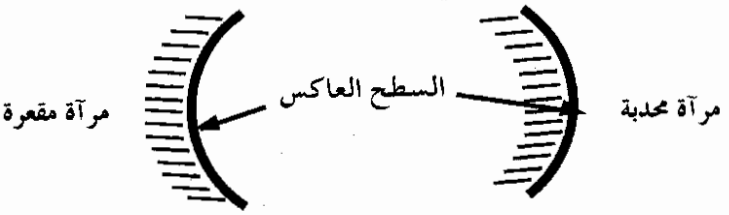
5) منظار البعد البؤري لعينيته 6 سم ولشيئيته 100 سم ، استخدم لرصد جسم بعيد فتكونت صورته على بعد 30 سم . جد التكبير وطول المنظار. **[د = 105 ، ت = 20]**

(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 .

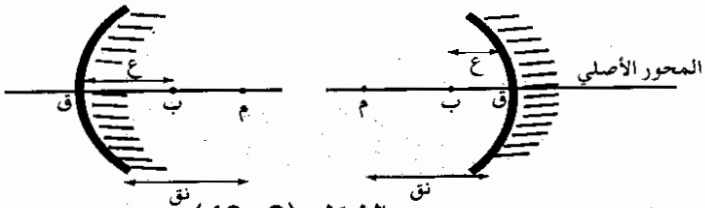
والمرآة المحدبة وهي جزء من سطح كرة زجاجية مجوفة طلي سطحها الداخلي بالفضة فأصبح سطحها الخارجي عاكساً للضوء . وتستخدم المرآة المقعرة في تركيز الأشعة في مصابيح السيارات والكشافات ، بينما تستخدم المرآة المحدبة في تمكين سائق السيارة من رؤية السيارات التي خلفه. ولمعرفة كيفية تكوين الصور بوساطة المرايا الكرية 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 الاصلي وقريبة منه .

6) البعد البؤري (ع) : هو المسافة بين قطب المرآة والبؤرة .

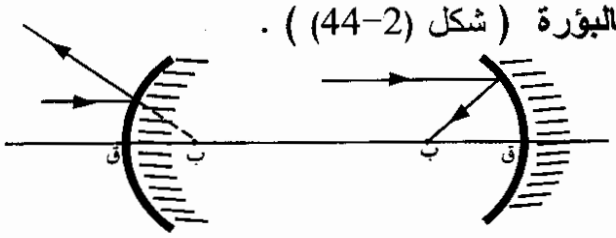


الشكل (2-43)

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 :

$$\frac{1}{\text{ص}} + \frac{1}{\text{س}} = \frac{1}{\text{ع}} \qquad (30-2)$$

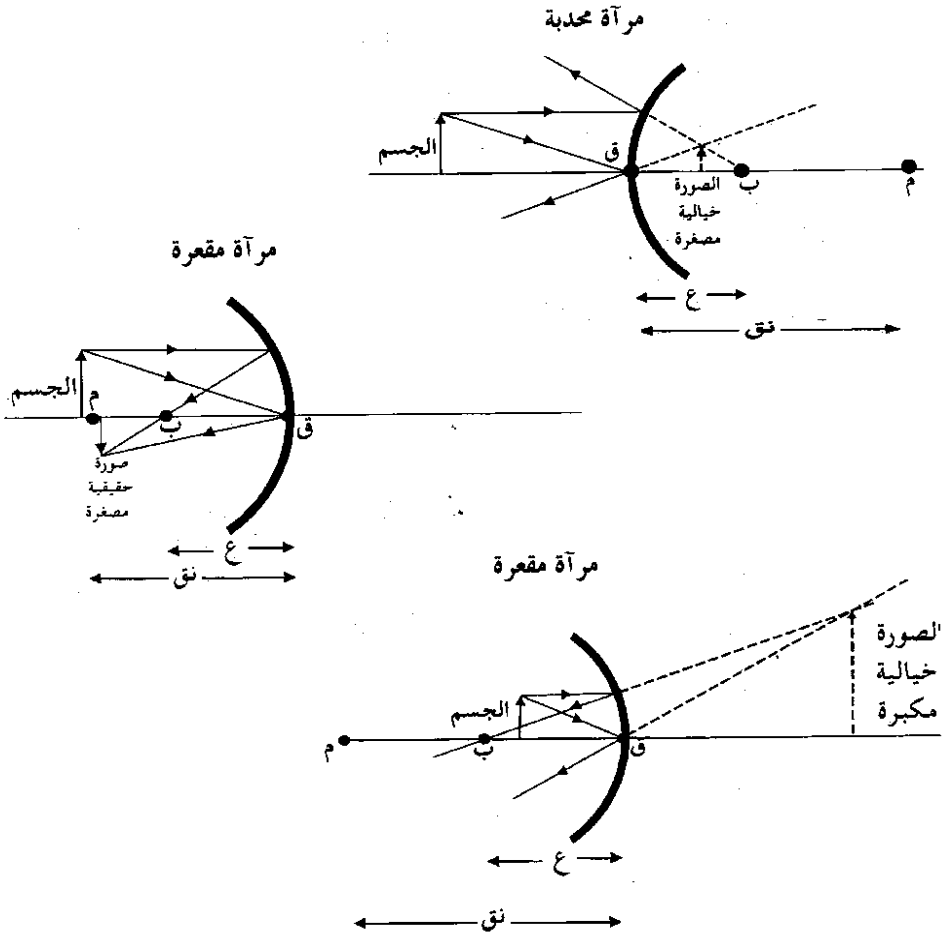
حيث ع – البعد البؤري للمرآة **وس** بعد الجسم **وص** بعد الصورة عن المرآة

القانون أعلاه أيضا يسمى **قانون المرايا الكرية** . وكذلك نجد أن **تكبير المرايا هو نفس التكبير في العدسات** أي :

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

$$\text{ت} = \frac{\text{ص}}{\text{س}} \qquad (31-2)$$

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 السيارت 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 : س = 5 ، ع = 4

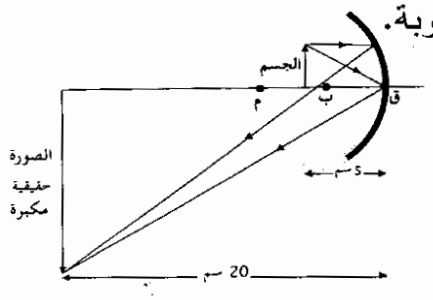
$$\frac{1}{\text{ع}} = \frac{1}{\text{س}} + \frac{1}{\text{ص}}$$

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

$$\text{بعد الصورة} = \text{ص} = \frac{\text{س ع}}{\text{س} - \text{ع}} = \frac{4 \times 5}{4 - 5} = 20 \text{ سم}$$

$$\text{التكبير (ت)} = \frac{\text{ص}}{\text{س}} = \frac{20}{5} = 4$$

من الحل نجد أن الصورة حقيقية مكبرة مقلوبة.



تمرين (2-7)

1) وضع جسم على بعد 6 سم من مرآة محدبة بعدها البؤري3 سم. جد بعد الصورة وتكبيرها وصفاتها ثم أرسم الشكل. **[ص=- 2 ، ت=-1\3، 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 ؟ **[المرايا مقعرة ، ع = 4 سم]**

4) سقطت أشعة من جسم على مرآة مقعرة بعدها البؤري 3 سم فتجمعت إمتداداتها على بعد 6 سم خلف المرآة. صف الصورة المتكونة وأوجد بعد الجسم.**[س=2،ت=-1\3، حقيقية،مصغرة، معتدلة].**

5) وضع جسم على بعد 12 سم من مرآة محدبة بعدها البؤري 4 سم. صف الصورة المتكونة.**[ص=-3 ، ت=-1\4 ، خيالية ، مصغرة ، معتدلة]**

6) سقطت اشعة من جسم على مرآة مقعرة بعدها البؤري 3 سم فتجمعت إمتداداتها على بعد 6 سم خلف المرآة . صف الصورة وجد بعد الجسم ثم أرسم الشكل .**[س=2 ،ت=-1\3]**

7) وضع جسم على بعد 12 سم من مرآة محدبة بعدها البؤري 4 سم.صف الصورة المتكونة. **[ص=-3 ،ت=-1\4 ،خيالية ،مصغرة، معتدلة].**

9) إذا كان لديك مرآتان مقعرة ومحدبة، فأيهما تختار كمرآة لسيارتك لترى بها السيارات التي خلفك.

الباب الثالث :

المجـــالات المغنطيسية والكهربية

(3-1) الفصل الأول

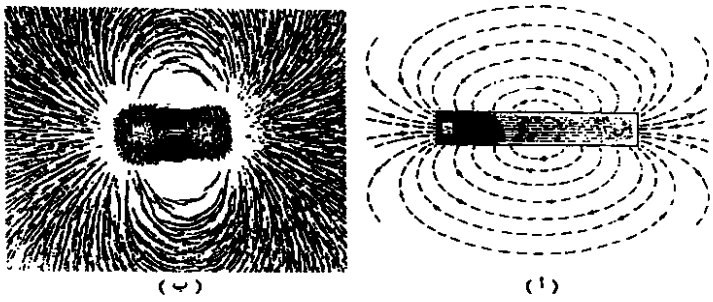
المغنطيسية

(3-1-1) مقدمة :

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

أن القطبيين المتشابهين يتنافران بينما يتجاذب القطبان المختلفان .

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



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

أي أن الفيض المغنطسي Φ (ينطق فاي) هوعدد خطوط القوة المغنطيسية المارة خلال مساحة ما ويقاس بوحدة تسمى **ويبر Weber** ، حيث:

1 ويبر = 10^8 **ماكسويل Maxwell** = 10^8 خط من خطوط القوة المغنطيسية

لأن 1 ماكسويل = 1 خط من خطوط القوة المغنطيسية.

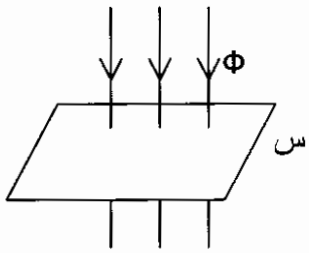
(3-1-2) كثافة الفيض المغنطيسي :

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

وتسمى أيضاً **بكثافةخطوط 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 (3-2)).

فإذا كان الفيض المغنطيسي الذي ينفذ عمودياً عبر مساحة قدرها س هو Φ فإن كثافة الفيض هي:

$$ب = \frac{\Phi}{س} \quad (\text{ويبر/م}^2) \qquad (1-3)$$



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

وتقاس كثافة الفيض المغنطيسي عادة بوحدة أخرى اسمها **تسلا Tesla** حيث أن : **1 تسلا = 1 وبر \ متر^2** .

نرجو أن لاتنزعج 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 الكهربية والمغنطيسية.

(3-1-3) القوة المغنطيسية :

لاحظنا خلال التجربة السابقة أن برادة الحديد تتجمع بكثافة أكبر في طرفي المغنطيس ، 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 مغنطيسية القطب ذات شدة أكبر ، وبالتالي شدة المجال كبيرة . **ويسمى المقدار الذي يعبر عن مقدار المغنطيسية في قطب معين بالشدة المغنطيسية** ونرمز لها بالرمز **ش** .

فإذا قربنا القطب الشمالي لمغنطيس شدته ش$_1$ من القطب الجنوبي لمغنطيس شدته ش$_2$ 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

$$\text{ق} \propto \frac{1}{\text{ف}^2}$$

وكلما زادت الشدة المغنطيسية زادت قوة التجاذب أيضاً أي أن ق تتناسب طردياً مع ش$_1$ و ش$_2$.

$$\text{ق} \propto \text{ش}_1 \quad \text{وأيضا} \quad \text{ق} \propto \text{ش}_2$$

$$\text{إذن} \quad \text{ق} \propto \frac{\text{ش}_1 \, \text{ش}_2}{\text{ف}^2}$$

$$\therefore \text{ق} = \text{ث}_م \frac{\text{ش}_1 \, \text{ش}_2}{\text{ف}^2} \qquad (2-3)$$

حيث تمثل ث$_م$ ثابت التناسب الذي **يعتمد على نوع الوسط الموجود بين القطبين** ويسمى **بالثابت المغنطيسي** وهو يساوي :

$$\text{ث}_م = \frac{\mu}{4\pi} \qquad (3-3)$$

حيث تسمى μ (تنطق ميو) **بالنفاذية المغنطيسية** حيث وجد في الفراغ أن:

$$\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ نيوتن} \setminus \text{امبير}^2$$

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 :

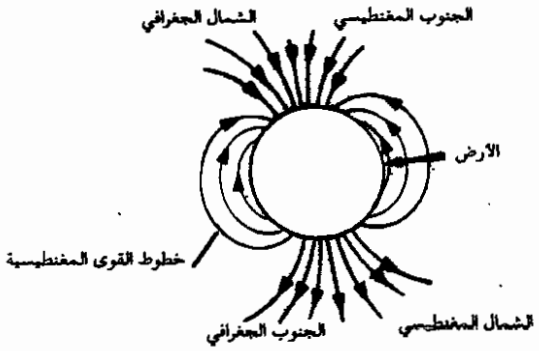
$$\text{ق} = \frac{\text{ش}_1 \text{ ش}_2}{\text{ف}^2} \times \frac{\mu}{4\pi} \qquad (4-3)$$

لاحظ التشابه بين معادلة القوه المغنطيسية (3-2) ومعادلة قوة التثاقل الكوني (1-1) حيث في الحالتين تتناسب القوة عكسيا مع مربع المسافة وطرديا مع مضروب الكتلتين في حالة التثاقل ومضروب شدة القطبين في المغنطيسية وذلك لأن أي من القوتين نتاج وجود مجال ، **فالقوانين تتشابه في المجالات المختلفة.**

(3-1-4) المجال المغنطيسي للأرض :

إذا علق مغنطيس بخيط فإن القطب الشمالي للمغنطيس يتجه تقريباً 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 فيتجه قطب المغنطيس الآخر نحو الشمال الجغرافي .



الشكل (3-3) : خطوط القوة المغنطيسية للأرض .

(2-3) الفصل الثاني

الكهربية الساكنة

(3-2-1) خاصية التكهرب :

تكتسب الأجسام المختلفة الكترونات أو تفقدها بفعل خاصية يطلق عليها **خاصية التكهرب** .فعند دلك 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 المغنطيسية 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.

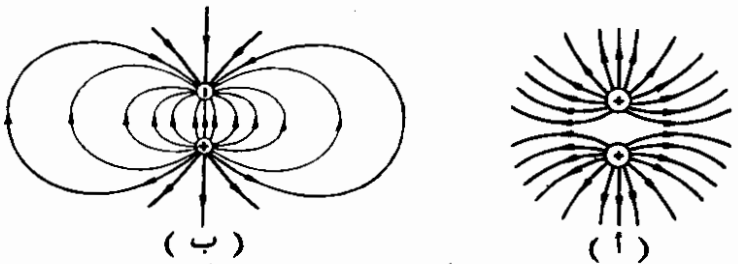
ب) **الشحن باللمس:** في هذه الحالة يكتسب الجسم المراد شحنه نفس شحنة الجسم المشحون .

ج) **الشحن بالتأثير** (أي عن بعد) : حيث يكتسب الجسم المراد شحنه 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 الكهربية من حيث الشحنة باستخدام جهاز بسيط يسمى **بالكشاف الكهربي** .

(3-2-2) المجال الكهربي :

الشحنة تؤثر بطريقة ما على المنطقة المحيطة بها فتؤثر هذه بدورها على الشحنات الأخرى . ويسمى هذا التأثير المنتشر **بالمجال الكهربي** وله خطوط تشبه خطوط المجال المغنطيسي وتسمى **خطوط المجال الكهربي** والتي سنتطرق 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 :

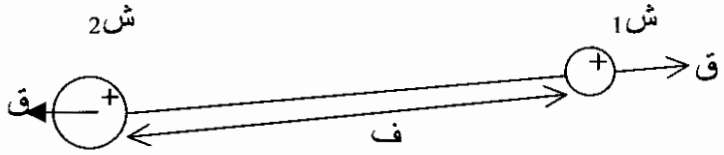
$$\text{ق} \propto \frac{1}{\text{ف}^2} \quad ، \quad \text{ق} \propto \text{ش}_1 \quad ، \quad \text{ق} \propto \text{ش}_2$$

حيث ق = قوة التنافر أو التجاذب ، ف = المسافة بين الشحنتين

ش1 = شحنة الجسم الأول ، ش2 = شحنة الجسم الثاني

ومن العلاقات أعلاه نجد أن :

$$\text{ق} \propto \frac{\text{ش}_1 \, \text{ش}_2}{\text{ف}^2}$$



$$\text{ق} = \text{ث}_\text{ك} \frac{\text{ش}_1 \, \text{ش}_2}{\text{ف}^2} \qquad (5-3)$$

ويسمى هذا القانون **بقانون كولوم** .

لاحظ أن وحدة الشحنة ش هي الكولوم

لاحظ أيضا **القوة الكهربية ولأنها ناتجة عن مجال تشبه قوة التثاقل الكوني وتشبه كذلك القوة بين قطبين مغنطيسيين.**

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**) (تنطق إبسلون) عبر العلاقة :

$$\text{ث}_ك = \frac{1}{\epsilon \pi 4} \qquad (6-3)$$

حيث **يعبر (ϵ) عن مدى سماح الوسط لخطوط القوى الكهربية للنفاذ عبره.** وعندما يكون الهواء أو الفراغ هو الوسط الفاصل بين الشحنتين فإن سماحية الفراغ نرمز لها بالرمز ($\epsilon_.$) حيث:

$\epsilon_.$ = 8.85×10^{-12} كولوم^2 \ نيوتن . متر^2

أما ثابت الوسط للهواء أو الفراغ فيساوي :

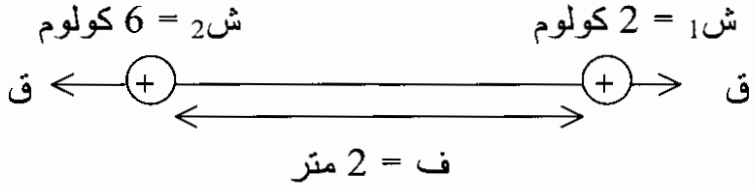
ث$_ك$ = 9×10^9 نيوتن . متر^2 \ كولوم^2 .

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 :



ف = 2 متر

$$\text{ق} = \text{ث}_ك \frac{\text{ش}_1 \text{ ش}_2}{\text{ف}^2} = \frac{9 \times 10^9 \times 2 \times 6}{4}$$

ق = 27×10^9 نيوتن .

مثال (3-2) : وضعت شحنتان إحداهما موجبة ومقدارها 3 كولوم والأخرى سالبة ومقدارها 2 كولوم على بعد 3 سنتمترات من بعضهما . جد قوة التجاذب بينهما .

الحل :

ش$_1$ = 3 كولوم　　ش$_2$ = − 2 كولوم

ف = 3 × 10^{-2} متر

$$\text{ق} = \text{ث}_{ك} \frac{\text{ش}_1 \text{ش}_2}{\text{ف}^2} = \frac{2 \times 3 \times 10^{9} \times 9}{10^{-4} \times 9}$$

ق = 6 × 10^{13} نيوتن .

(3-2-3) كثافة الفيض الكهربي وشدة المجال الكهربي :

خطوط المجال الكهربي الموضحة في شكل (3-4) تسمى **خطوط القوة الكهربية** . ويعرف **الفيض الكهربي** Φ **بأنه هو عدد خطوط القوة الكهربية المارة خلال مساحة ما** . ونلاحظ أن خطوط القوة الكهربية تكون كثيفة قرب الشحنة بينما تقل كثافة هذه الخطوط عندما تبتعد عن الشحنة (انظر شكل (3-4)). ويرمز لكثافة خطوط القوة الكهربية بالرمز (د$_{ك}$) وتسمى **بكثافة الفيض الكهربي** وهي في ذلك تشبه كثافة الفيض المغنطيسي.

كثافة الفيض الكهربي (د$_{ك}$) : هو عدد خطوط القوة الكهربية التي تمر عمودياً عبر سطح مساحته وحدة المساحة .

فإذا اخترقت خطوط القوى التي عددها (Φ) عمودياً سطح مساحته (س) فإن **كثافة الفيض الكهربي** تساوي :

$$\text{د}_{ك} = \frac{\Phi}{\text{س}} \qquad (7-3)$$

ووحدته خط \ م^2.

وتوجد علاقة بين **كثافة الفيض الكهربي** (3-7) **وشدة المجال الكهربي**. ولأن المجالات متشابهة فتعريف شدة المجال الكهربي يشبه تعريف

شدة المجال التثاقلي الذي عرفناه في الفصل الأول والذي قلنا أنة قوة التثاقل على وحدة الكتلة. وعليه فإن:

شدة المجال الكهربي (ى) في أي نقطة داخل هذا المجال هي القوة الكهربية التي يؤثر بها المجال الكهربي على وحدة الشحنة الموجودة في تلك النقطة

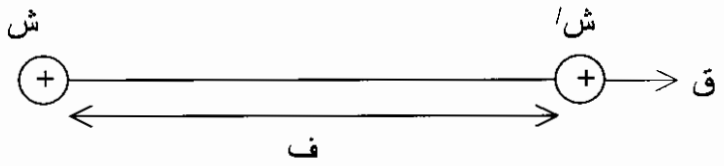
ويمكن حساب شدة المجال (ي) لشحنة مقدارها (ش$_1$) عند نقطة تبعد عنها مسافة (ف) من قانون كولوم (3-5) ومن التعريف أعلاه ؛ حيث:

$$\text{ي} = \frac{\text{ق}}{\text{ش}_2} = \frac{\text{ث}_\text{ك} \times \text{ش}_1 \times \text{ش}_2}{\text{ف}^2 \times \text{ش}_2} = \frac{\text{ث}_\text{ك}\ \text{ش}_1}{\text{ف}^2}$$

وعموما شدة المجال الكهربي لأي شحنة ش

$$\text{ي} = \frac{\text{ث}_\text{ك}\ \text{ش}}{\text{ف}^2} = \frac{1}{\epsilon\ \pi\ 4}\ \frac{\text{ش}}{\text{ف}^2} \qquad (8-3)$$

فإذا وضعنا شحنة مقدارها **ش/** على بعد **ف** من الشحنة **ش** فإن القوة المؤثرة على ش/ تساوي :



$$\text{ق} = \frac{\text{ث}_\text{ك}\ \text{ش}\ \text{ش/}}{\text{ف}^2} = \frac{\text{ث}_\text{ك}\ \text{ش}}{\text{ف}^2} \times \text{ش/} = \text{ي ش/}$$

أي أن $\text{ق} = \text{ي} \times \text{ش/}$ (3-9)

ولأن الشحنة ش/ لا إتجاه لها فإن **شدة المجال الكهربي** ي تكون في اتجاه **القوة ق** (أنظر الشكل أعلاه).ويمكن معرفة وحدات شدة المجال (ي) من هذه المعادلة . حيث نجد أن :

$$\text{ي} = \frac{\text{ق (نيوتن)}}{\text{ش/(كولوم)}}$$

أي أن شدة المجال الكهربي تقاس بوحدات النيوتن \ كولوم .

وقد وجد أن كثافة الفيض الكهربي (د$_ك$) تتناسب طرديا مع شدة المجال الكهربي (ي)

$$د_ك \propto ي$$

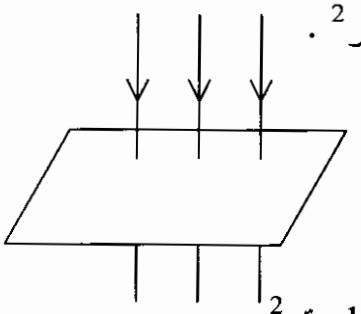
حيث وجد أن ثابت التناسب يساوي سماحية الوسط ϵ . أي أن :

$$\therefore \quad د_ك = \epsilon \times ي \qquad (10-3)$$

مثال (3-3) :

جد كثافة الفيض الكهربي وشدة المجال عند منطقة تمر بها خطوط قوة عددها 8850 خط في مساحة قدرها 10 متر^2 . علماً بأن سماحية الفراغ تساوي 8.85×10^{-12} كولوم^2 \ نيوتن. متر^2 .

الحل :



Φ = عدد الخطوط

= 8850

س = 10 متر^2

$$د_ك = \text{كثافة الفيض} = \frac{\Phi}{س} = \frac{8850}{10} = 885 \text{ خط \ متر}^2$$

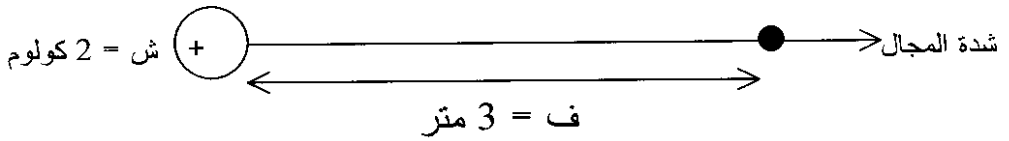
$$\therefore \text{ شدة المجال} = ي = \frac{د_ك}{\epsilon_.} = \frac{885}{10 \times 8.85^{-12}}$$

$$ي = \frac{885}{10 \times 885^{-14}} = 10^{14} \text{ نيوتن \ كولوم .}$$

مثال (3-4) :

جد شدة المجال الناتج من شحنة موجبة مقدارها 2 كولوم عند نقطة تبعد عنها مسافة 3 متر . جد كذلك كثافة الفيض الكهربي عند تلك النقطة .

الحل :



لإيجاد كثافة الفيض نفترض وجود شحنة مقدارها 1 كولوم عند النقطة المعينة وتكون القوة عليها تساوي شدة المجال :

$$\text{ي} = \frac{\text{ث}_{\text{ك}} \times \text{ش}}{\text{ف}^2} = \frac{2 \times 9 \times 10^9}{9} = 2 \times 10^9 \text{ نيوتن \ كولوم .}$$

$$\text{كثافة الفيض} = \text{د}_{\text{ك}} = \epsilon \times \text{ي}$$

$$= 8.85 \times 10^{-12} \times 2 \times 10^9 = 17.70 \times 10^{-3} \text{ خط \ م}^2$$

$$= 177 \times 10^{-4} \text{ خط \ م}^2$$

(3-2-4) مقارنة بين المجال الكهربي والمجال التثاقلي والمجال المغنطيسي:

نلاحظ التشابه لدرجة التطابق في معالجة المجالات . فنفس الكميات الفيزيائية نجدها في كل المجالات .

فالمجالات كلها تؤثر عن بعد . ففي المجال التثاقلي نجد تأثير الكتلة على الكتلة بينما في المجال الكهربي 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 تناسب عكسي مع مربع المسافة) .

$$\text{فقوة التثاقل ق} = \frac{\text{ج ك}_1 \times \text{ك}_2}{\text{ف}^2} \quad \text{(ك = الكتلة)}$$

$$\text{والقوة الكهربية} = \frac{\text{ث}_{\text{ك}} \text{ ش}_1 \times \text{ش}_2}{\text{ف}^2} \quad \text{(ش = الشحنة)}$$

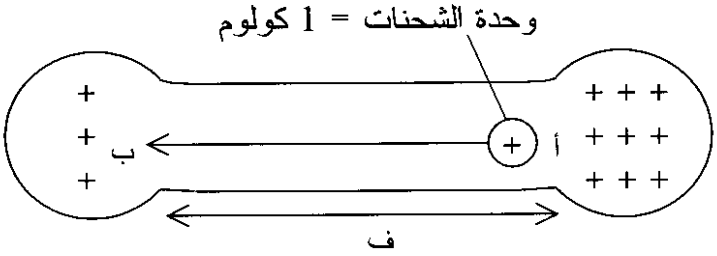
$$\text{والقوة المغنطيسية} = \frac{\text{ث}_{\text{م}} \text{ ش}_1 \times \text{ش}_2}{\text{ف}^2} \quad \text{(ش = شدة قطب المغنطيس)}$$

وكل المجالات لها **شدة وجهد** وتتشابه قوانينها .

(3-2-5) فرق الجهد الكهربي :

تسري الشحنات الموجبة في المجال الكهربي من المنطقة التي فيها شدة المجال الكهربي عالية إلى المنطقة ذات شدة مجال كهربي منخفض . ويقال أن النقطة الأولى جهدها عال وأن الثانية جهدها منخفض. وكنا قد وجدنا عند دراستنا للمجال التثاقلي أن الجهد التثاقلي في نقطة ما يساوي طاقة وضع وحدة الكتلة في تلك النقطة. وكذلك **الجهد الكهربي في أي نقطة في مجال كهربي هو طاقة الوضع الكهربية لوحدة الشحنة في تلك النقطة** . أي تكون النقطة ذات الجهد العالى، طاقة وضعها الكهربية عالية والعكس صحيح.وعلى ذلك ففرق الجهد بين أي نقطتين في مجال كهربي هو الفرق بين طاقة النقطتين..فلكي تنتقل شحنة في المجال الكهربي من نقطة ذات جهد منخفض إلى اخرى 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 .

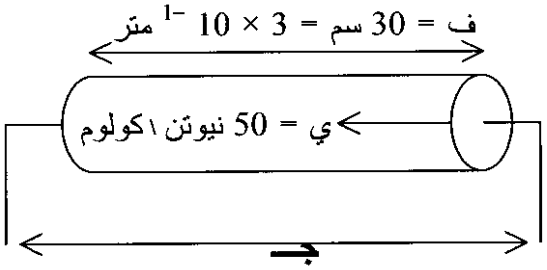
وبما أن القوة على 1 كولوم تساوي شدة المجال (ي)(المعادلة (3-9)) حيث ش/ =1 كولوم. إذن : جـ = شدة المجال (ي) × المسافة (ف)

$$\text{جـ} = \text{ي} \times \text{ف} \qquad (11-3)$$

مثال (3-5) :

موصل طوله 30 سم وشدة المجال بداخله 50 نيوتن \ كولوم . جد فرق الجهد جـــ بين طرفي الموصل .

الحل :



جـ = فرق الجهد = ي × ف = 3 × 10 $^{-1}$ × 50 = 15 فولت .

مثال (3-6) :

ما مقدار شدة المجال الكهربائي التي تؤثر على إلكترون بقوة تساوي وزنه، علماً بأن كتلة الالكترون = 9.1 × 10 $^{-31}$ كجم ، وشحنته = 1.6 × 10 $^{-19}$ كولوم ، وعجلة السقوط الحر = 9.8 م \ ث^2 .

الحل :

$$\text{ي} = \frac{\text{ق}}{\text{ش}} \quad ، \quad \text{ش} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ كولوم}$$

ق = القوة = وزن الالكترون = ك × د (د = عجلة السقوط الحر)

= 9.1 × 10 $^{-31}$ × 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 × 10 $^{-9}$ كولوم) ، (-4 × 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 × 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 .

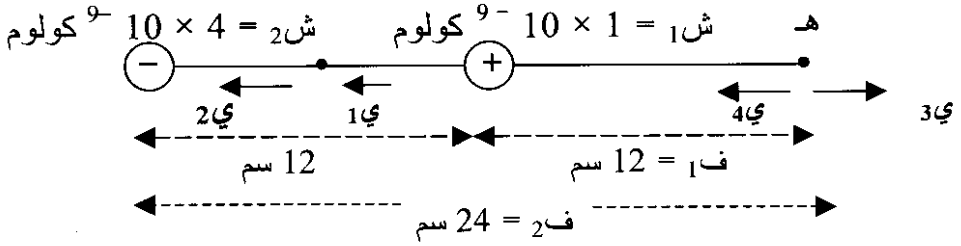
الحل : أ/ بتطبيق المعادلة $ي = ث_ك \cdot \frac{ش}{ف^2}$

$ي_1$ = شدة المجال الكهربي للشحنة الموجبة في منتصف المسافة .

$ي_2$ = شدة المجال الكهربي للشحنة السالبة في منتصف المسافة .

لاحظ أن شدة المجال الكهربي تكون في اتجاه المجال الكهربي للشحنة . أي : خارج من الشحنة الموجبة وداخل إلى الشحنة السالبة .

منتصف المسافة بين الشحنتين = 6 سم = 0.06 متر .



$ي_1 = \frac{9 \times 10 \times 1 \times 10^{-9}}{36 \times 10^{-4}} = 2.5 \times 10^{+3}$ نيوتن \ كولوم .

$ي_2 = \frac{9 \times 10 \times 4 \times 10^{-9}}{36 \times 10^{-4}} = 10 \times 10^{+3}$ نيوتن \ كولوم .

$ي = ي_1 + ي_2$

$= 0.25 \times 10^{4} + 1 \times 10^{4} = 1.25 \times 10^{4}$ نيوتن \ كولوم .

ب/ من المعادلة : ق = ش ي نجد أن :

ق = 1.25 × 10 ^{4} × 1 × 10 $^{-12}$ = 1.25 × 10 $^{-8}$ نيوتن (قوة تجاذب)

ج/ حساب المجال في النقطة هـ :

$$\text{ي} = \text{ث}_{\text{ك}} \times \frac{\text{ش}}{\text{ف}^2}$$

ي_3 = شدة المجال للشحنة الموجبة في النقطة (هـ)

ي_4 = شدة المجال للشحنة السالبة في النقطة (هـ)

$$\text{ي}_3 = \frac{9 \times 10^{9} \times 1 \times 10^{-9}}{144 \times 10^{-4}} = 625 \text{ نيوتن \ كولوم .}$$

$$\text{ي}_4 = \frac{9 \times 10^{9} \times 4 \times 10^{-9}}{576 \times 10^{-4}} = 625 \text{ نيوتن \ كولوم .}$$

∴ محصلة شدة المجال (مجالان متعاكسان) = ي = $\text{ي}_3 - \text{ي}_4$

= 625 – 625 = صفر

تمرين (3-1)

1) ما عدد الالكترونات التي يفقدها جسم لتصبح شحنته 16 كولوم ؟ وما نوع شحنة الجسم في هذه الحالة إذا علمت أن شحنة الالكترون 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.

[ي = 10^{10} نيوتن \ كولوم ، د = 8.85×10^{-2} خط \ م^2]

4) أحسب شدة المجال داخل موصل طوله 3 سم . وفرق الجهد بين طرفيه 6 فولت . **[200 نيوتن\كولوم]**

5) أحسب كثافة الفيض الكهربي المار عبر مساحة قدرها 3 متر^2 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. **[9×10^9 نيوتن\كولوم]**

7) شحنة مقدارها 4 كولوم وضعت في الفراغ. أحسب شدة المجال الكهربي عند نقطة تبعد عنها 6 متر. **[ي =10^9 نيوتن\ كولوم]**

وجد الفيض الكلي المار عبر سطح كرة مركزها نفس الشحنة ونصف قطرها 6 متر.

8) جد القوة التي تؤثر على شحنة مقدارها 2 كولوم في مجال منتظم شدتـــه 5 نيوتن \ كولوم . **[ق=10 نيوتن]**

9) موصل فرق الجهد بين طرفيه 10 فولت ، جد الشغل المبذول بوساطة 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 ×10^9 نيوتن \ كولوم ؛ ق= 10 ^{10} نيوتن]**

(3-3) الفصل الثالث

الكهربية التيارية

(3-3-1) مقدمة :

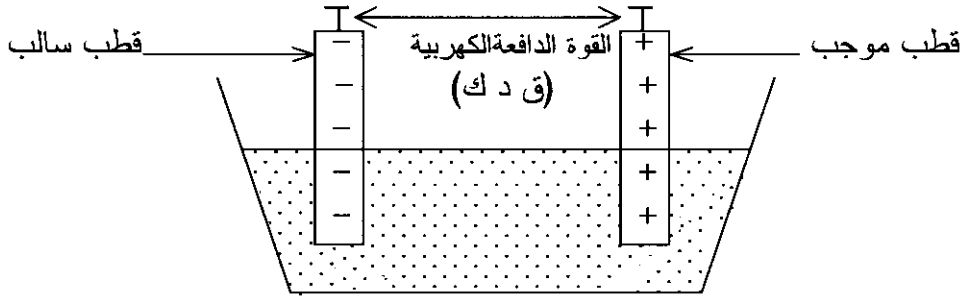
تسمح بعض المواد بسريان التيارالكهربي خلالها وتسمى هذه المواد **بالموصلات** ، حيث تتحرك الالكترونات بحرية في الفراغات الموجودة بين ذرات المادة عندما تكتسب طاقة حرارية أو حينما تكون تحت تأثير فرق جهد كهربي .

وهناك مواد أخرى لا تسمح بسريان التيار الكهربي وتسمى بالمواد **العازلة أو العوازل** وفيها لا تستطيع الالكترونات الفكاك من ذرات المادة لتصبح الكترونات حرة تسري تحت تأثير فرق الجهد الكهربي .

وهناك مواد نصف موصلة وهذه تستعمل بكثرة في صناعة الدوائر الالكترونية وهي **أشباه الموصلات** .

(3-3-2) القوة الدافعة الكهربية في الأعمدة الكهربية 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)).



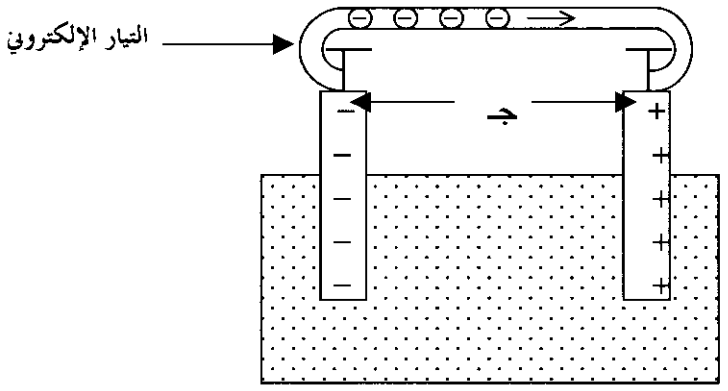
الشكل (3-6) : العمود الكهربي .

ويؤدي تراكم هذه الشحنات في القطبين الموجب والسالب لتولد فرق في الجهد بين القطبين ويسمى فرق الجهد هذا بالقوة الدافعة الكهربية 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 (جـ). أي أن جـ < ق د ك

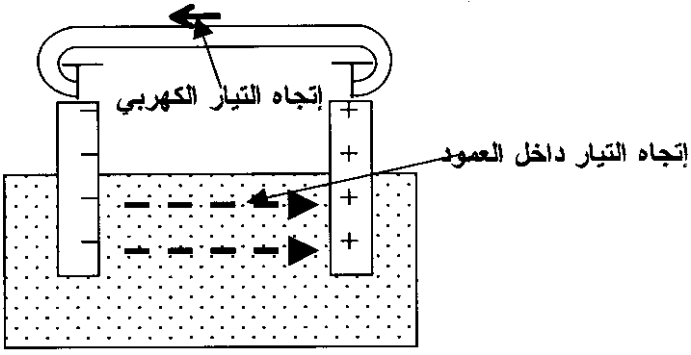
(3-3-3) التيار الكهربي وشدته :

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 الالكتروني** (شكل (3-7)) .



الشكل (3-7) : التيار الالكتروني يسري من القطب السالب للقطب الموجب .

أما **التيار الكهربي 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 الالكتروني . وقد تم افتراض وجود التيار الكهربي (الموجب) ليتماشى مع قوانين المغنطيسية وكذلك الكهربية الساكنة حيث تسري خطوط المجال الكهربي من الشحنة الموجبة للشحنة السالبة .



الشكل (3-8) : التيار الكهربي يسري 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 :

$$\text{ت} = \frac{\text{كمية الشحنة}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{ش}}{\text{ن}} \qquad (12-3)$$

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 الكهربية .

الأمبير : هو كمية التيار عندما تمر شحنة مقدارها 1 كولوم في الثانية الواحدة .

أي أن : 1 امبير = 1 كولوم \ 1 ثانية

(3-4-4) فرق الجهد (جـ) :

إذا كان هناك فرق في الجهد الكهربي بين طرفي موصل (مثلا عند توصيل سلك بين طرفي بطارية) فإن التيار الكهربي يسري من الطرف ذي الجهد العالي إلى الطرف ذي الجهد المنخفض . **ونرمز لفرق الجهد الكهربي بالرمز (جـ)** .

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 الكهربي **بوحدة تسمى الفولت** نسبة للعالم فولتا .

وكنا قد وجدنا في الفصل الثاني المعادلة (3-11) **جـ = ي × ف** .

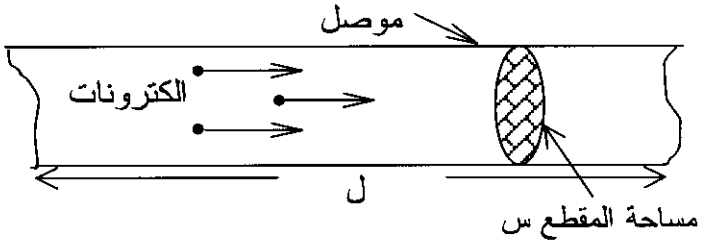
حيث : ي = شدة المجال الكهربي (المعادلة (3-8) ، ف = المسافة .

وعليه نجد أن وحدة فرق الجهد (جـ) هي **نيوتن . م \ كولوم** .

أي ان 1 **فولت** = $\frac{\text{نيوتن . متر}}{\text{كولوم}}$ = جول\كولوم أي هو طاقة اشحنة

(3-3-5) المقاومة الكهربية (م) :

إذا مر تيار عبر موصل نتيجة لوجود فرق في الجهد بين طرفي الموصل فإن الألكترونات المارة تواجه مقاومة عند مرورها خلال ذرات الموصل حيث تعمل هذه الذرات على عرقلة مرور التيار بسبب اصطدام الالكترونات بها .



وتسمى هذه المقاومة التي يبديها الموصل عند مرور التيار فيه **بالمقاومة الكهربية** ونرمز لها **بالرمز (م)** .

وتزيد مقاومة الموصل م بزيادة طوله (ل) . أي أن :

$$م \propto ل \qquad (أ)$$

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 :

صورة مقاومة حقيقية

$$\text{م} \propto \frac{1}{\text{س}} \quad \text{(ب)}$$

وبجمع (أ) و (ب) نجد أن :

$$\text{م} \propto \frac{\text{ل}}{\text{س}}$$

$$\text{م} = \frac{\text{ل}}{\text{س}} \qquad (13-3)$$

وتقاس المقاومة (م) بوحدة تسمى **اوم** نسبة للعالم أوم

ونرمز لهذه الوحدة بالرمز **Ω (تنطق أوميقا (الكبيرة)). ويسمى ثابت التناسب ρ (رو roh) بالمقاومة النوعية للموصل**

حيث **أن** المقاومة النوعية ρ = المقاومة م لموصل عندما يكون الطول = وحدة الطول (أي 1 م) والمساحة = وحدة المساحة (س = م^2) .

وبوضع ρ موضع القانون نجد أن :

$$\rho = \frac{\text{م س}}{\text{ل}} = \frac{\text{أوم . متر}^2}{\text{متر}} = \text{أوم . متر} \quad \text{م } \Omega =$$

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 (جـ) .

أي : جـ ∝ ت

∴ **جـ = م × ت** **(14-3)**

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 :

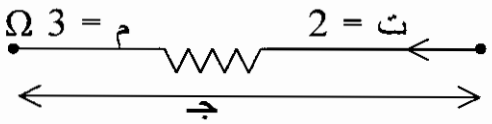
$$\text{ت = شدة التيار} = \frac{\text{الشحنة الكلية}}{\text{الزمن}} = \frac{\text{عدد الالكترونات} \times \text{شحنة الالكترون}}{\text{الزمن}}$$

$$= \frac{10^{21} \times 1.6 \times 10^{-19}}{4} = \frac{160}{4} = 40 \text{ أمبير .}$$

مثال (3-9) :

يسري تيار شدته 2 أمبير في موصل مقاومته 3 Ω . أحسب فرق الجهد بين طرفي الموصل .

الحل :



من قانون اوم : جـ = م × ت = 3 × 2 = 6 فولت

مثال (3-10) :

المقاومة النوعية للنحاس = 1.72×10^{-8} Ω . م أحسب مقاومة سلك طوله 10 م ومساحة مقطعه 10^{-7} متر ^{2} .

الحل :

$\rho = 1.72 \times 10^{-8}$ $\quad$ س = 10^{-7} متر^2

ل = 10 متر

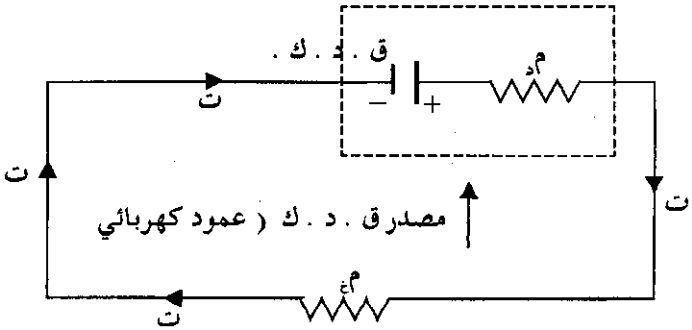
$$\text{م} = \text{مقاومة السلك} = \frac{\rho \times \text{ل}}{\text{س}} = \frac{1.72 \times 10^{-8} \times 10}{10^{-7}}$$

$$= 1.72 \times 10 \times 10^{7} = 1.72 \ \Omega$$

(3-3-7) قانون أوم للدائرة الكاملة :

يسري التيار الكهربي في موصل عند توصيله بمصدر كهربي ويحدث فرقاً في الجهد بين طرفي الموصل . وتمثل حجارة البطارية التي تستخدم في تشغيل أجهزة الراديو والمصابيح أحد أنواع الأعمدة الكهربية التي يعطي العمود الواحد منها فرقاً في الجهد قدره 1.5 فولت .

وعندما نوصل قطبي عمود كهربي بموصل يسري تيار كهربي عبر الموصل من القطب الموجب إلى القطب السالب خارج العمود الكهربي ، بينما يسري التيار الكهربي 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 الكهربية لهذا العمود كما في شكل (3-9) .



الشكل (3-9) : دائرة أوم الكاملة .

حيث تمثل (ق.د.ك.) القوة الدافعة الكهربية للعمود الكهربي 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 الكهربية (ق.د.ك.) مساوية لمجموع فروق الجهد في المقاومة الخارجية والداخلية معاً . أي أن :

(ق. د. ك.) = جـ د + جـ خ = م د ت + مخ ت

$$\text{(ق.د.ك.)} = (\text{م}_د + \text{مخ}) \times \text{ت} \qquad (15-3)$$

ويسمى هذا القانون بقانون أوم للدائرة الكاملة ، ويكون فرق الجهد بين طرفي البطارية (جـ) على النحو التالي :

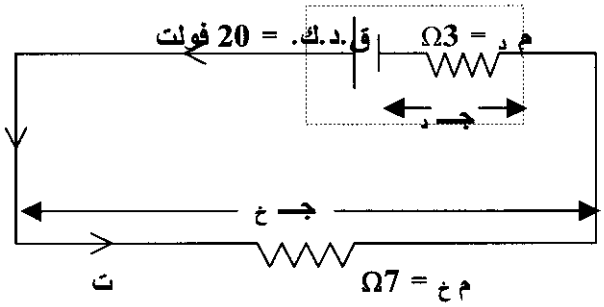
$$\text{جـ} = \text{(ق.د.ك.)} - \text{م}_د \times \text{ت} \qquad (16-3)$$

أي أن فرق الجهد بين طرفي البطارية أقل من (ق.د.ك.) للبطارية لأن المقاومة الداخلية تستنزف طاقة فتكون فرقاً في الجهد مقداره:

(جـ د = م د × 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 جـ = ت × م أو ق.د.ك. = ت × م

حيث المقاومة الكلية م = مخ + م د (المقاومة الخارجية + المقاومة الداخلية للبطارية).

شدة التيار = ت = $\frac{(ق.د.ك.)}{م_د + م_خ}$ = $\frac{20}{7 + 3}$ = $\frac{20}{10}$ = 2 أمبير

جـ خ = فرق الجهد بين طرفي المقاومة الخارجية م خ = ت × م خ
= 2 × 7 = 14 فولت

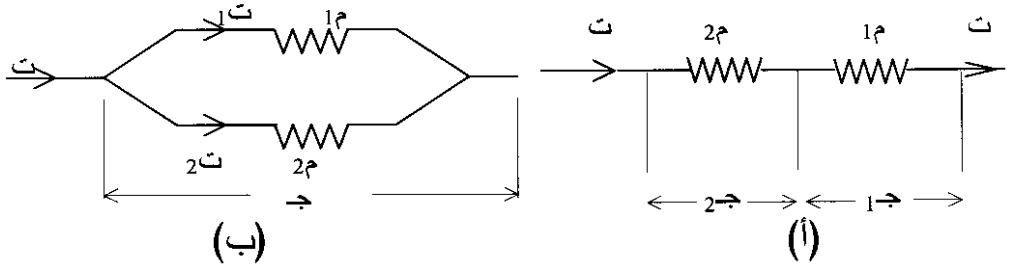
فرق الجهد جـ بين طرفي البطارية هو ق.د.ك. مطروحا منه فرق الجهد جـ د بين طرفي المقاومة الداخلية للبطارية م د

جـ = (ق.د.ك.) − جـ د = (ق.د.ك.) − ت × م د
= 20 − 2 × 3 = 20 − 6 = 14 فولت

(3-3-8) طرق توصيل المقاومات :

كما عرفنا في مقررات العلوم الهندسية فإن المقاومات توصل مع بعضها بطريقتين هما :

ا) التوصيل على التوالي . ب/ التوصيل على التوازي .



الشكل (3-10) : مقاومات موصلة على التوالي (أ) وعلى التوازي (ب) .

ا) توصيل المقاومات على التوالي (شكل (3-10) (أ)

نفس التيار ت يمر في المقاومتين ت1 = ت2 = ت

فرق الجهد الكلي للمقاومتين جـ = جـ1 + جـ 2

جـ = ت × (م1 + م2)

قانون اوم : جـ = ت × م

إذا المقاومة المكافئة (م) للمقاومتين م1 و م2 هي : م = م1 + م2

إذا في حالة التوصيل على التوالي:	
م = م1 + م2 ؛ جـ = جـ1 + جـ2 ؛ ت1 = ت2 = ت	(17-3)

ب) توصيل المقاومات على التوازي (شكل (3-10) (ب))

من الشكل نجد أن فرق الجهد الكلي **جـ** هو نفسه فرق الجهد بين طرفي كل من المقاومتين. أي : $جـ = جـ_1 = جـ_2$ من الشكل أيضا نجد أن التيار ينقسم الى قسمين أي : $ت = ت_1 + ت_2$

وعليه: $جـ = م \times ت = م_1 \times ت_1 = م_2 \times ت_2$

أي أن: $ت = جـ \setminus م$ ، $ت_1 = جـ \setminus م_1$ ، $ت_2 = جـ \setminus م_2$

وبما أن : $ت = ت_1 + ت_2$

إذا : $جـ \setminus م = جـ \setminus م_1 + جـ \setminus م_2$

أي:

في حالة التوصيل على التوازي وبقسمة الطرفين على جـ:

$$\frac{1}{م} = \frac{1}{م_1} + \frac{1}{م_2} + \cdots \quad (3-18)$$

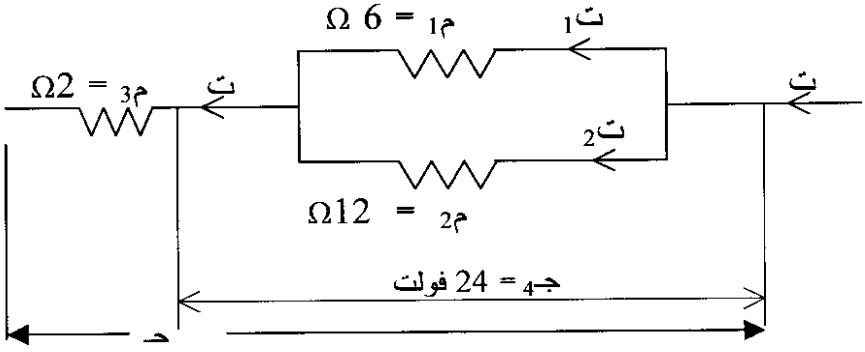
$جـ_1 = جـ_2 = جـ$ ، $ت = ت_1 + ت_2$

مثال (3-12) : وصلت المقاومتان 6 Ω و 12 Ω على التوازي ثم وصلت المقاومة التي مقدارها 2 Ω على التوالي معهما، فإذا كان فرق الجهد عبر المقاومتين 6 و 12 Ω 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 2 أوم .

5) فرق الجهد الكلي .



إيجاد المقاومة الكلية :

م1 و م2 موصلتان على التوازي . أفرض مقاومتهما الكلية تساوي م4 :

$$\frac{1}{م_4} = \frac{1}{م_1} + \frac{1}{م_2} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{1+2}{12} = \frac{3}{12} = \frac{1}{4}$$

∴ م4 = 4 أوم .

وبما أن م4 و م3 موصلتان على التوالي فإن :

المقاومة الكلية م = م3 + م4 = 2 + 4 = 6 أوم

$$\text{تيار } م_1 = ت_1 = \frac{جـ_4}{م_1} = \frac{24}{6} = 4 \text{ أمبير}$$

$$\text{تيار } م_2 = ت_2 = \frac{جـ_4}{م_2} = \frac{24}{12} = 2 \text{ أمبير}$$

ت = التيار الكلي = $ت_1$ + $ت_2$ = 4 + 2 = 6 أمبير

فرق جهد م3 = ت × م3 = 6 × 2 = 12 فولت .

فرق الجهد الكلي = م × ت = 6 × 6 = 36 فولت

أيضاً : جـ = $جـ_4$ + $جـ_3$ = 24 + 12 = 36 فولت

(3-3-10): توصيل الأعمدة الكهربية على التوالي وعلى التواري:

يمكن توصيل عدد من الأعمدة الكهربية (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 الكهربية على التوالي .

في شكل (3-11) ثلاثة أعمدة كهربية قوتها الدافعة الكهربية ق1 ، ق2 ، ق3 موصلة على التوالي. القوى الدافعة الكهربية للأعمدة قد تكون غير متساوية. القوة الدافعة الكهربية المكافئة

$$ق = ق_1 + ق_2 + ق_3 \qquad (3-19)$$

ويكون هناك تيار واحد في الدائرة هو **ت** 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 **ق$_2$** فإن:

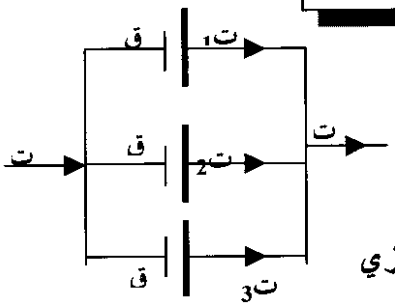
$$ق = ق_1 - ق_2 + ق_3 \qquad (3-20)$$

ويكون إتجاه التيار من الإتجاه الموجب لمحصلة القوة الدافعة الكهربائية.
أي يمكن مضاعفة ق.د.ك. عدة مرات بالتوصيل على التوالي وكمثال لذلك بطاريات السيارات حيث توجد في داخل البطارية 6 اعمدة كهربية القوة الدافعة الكهربية لكل عمود 2 فولت موصلة على التوالي فتصبح القوة الدافعة الكهربية 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 ق.د.ك. لكل الأعمدة متساوية = ق** وبالتالي تصبح:

القوة الدافعة الكهربية المكافئة = ق
أما التيار ت= ت$_1$ + ت$_2$ + ت$_3$ (3-21)



الشكل (3-12) توصيل الأعمدة على التوازي

أي أن التيار يتضاعف بعدد الأعمدة ولكن القوة الدافعة الكهربية الكلية تساوي ق. 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 ألبطارية على التوالي لمضاعفة ق.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 الكهربي والتيار الالكتروني ؟

2) وصلت مقاومتان مقدارهما 3 أوم و 5 أوم على التوالي . فإذا كان فرق الجهدالكلي = 16 فولت . فجد التيار المار وفرق جهد كل مقاومة.

[ت = 2 أمبير ؛ جـ $_1$ = 6 فولت ؛ جـ $_2$ = 10 فولت]

3) وصلت بطارية قوتها الدافعة الكهربية 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 ؛ جـ$_ع$=24 فولت ؛جـ = 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 امبير ؛ جـ$_1$ =8 فولت ؛جـ$_2$ =12 فولت]

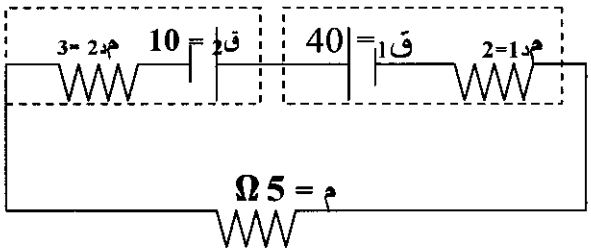
5) وصلت مقاومتان مقدارهما 3 أوم و 6 أوم على التوازي ثم وصلت المقاومتان مع بطارية قوتها الدافعة 8 فولت ومقاومتها الداخلية 2 أوم . جد شدة التيار في الدائرة وفي كل مقاومة وكذلك فرق الجهد بين طرفي البطارية .

6) مرّ عدد من الالكترونات قدرها 10^{20} الكترون عبر مقطع معين لموصل في زمن قدره 8 ثانية . فإذا كانت شحنة الالكترون هي 1.6×10^{-19} كولوم احسب شدة التيار .**[ت = 2 امبير]**

7) أحسب مقاومة سلك من النحاس طوله 100 متر ومساحة مقطعه 2 سم^2 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 ، جـ$_1$ = 34 فولت ، جـ$_2$ = −19 فولت]



(3-4) الفصل الرابع

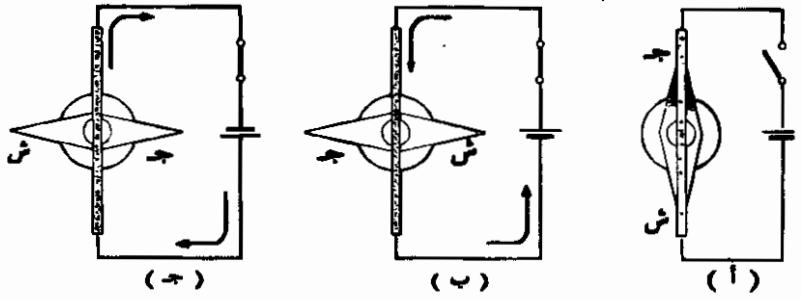
المجال المغنطيسي للتيار الكهربي

(3-4-1) مقدمة :

إذا وصلت مروحة بتيار كهربي 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 الكهربي يسري لمبتدئ الحركة (الاستارتر) الذي يقوم بدوره بتشغيل محرك السيارة . فما الذي يجعل المروحة تدور والمحرك يدور ؟ الإجابة على هذا السؤال تكمن في اكتشاف العالم " أورستد " أستاذ الفيزياء بجامعة كوبنهاجن سنة 1819.

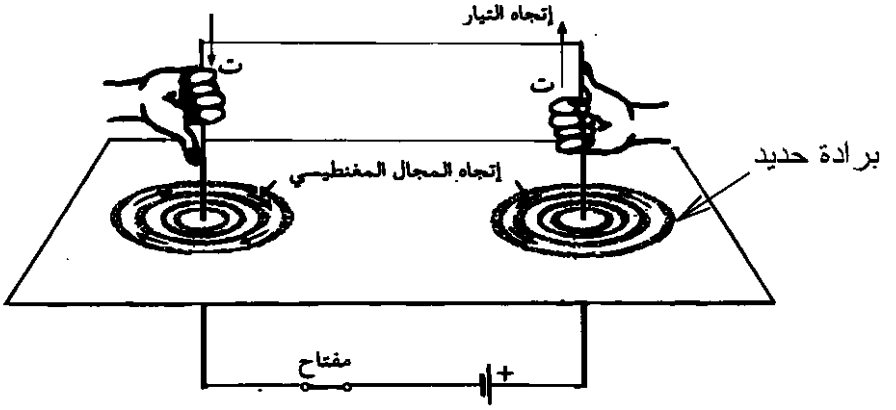
(3-4-2) المجال المغنطيسي للتيار الكهربي :

اكتشف العالم " أورستد " عن طريق الصدفة أن الإبرة المغنطيسية تنحرف وتستقر في وضع عمودي على سلك عند مرور تيار كهربي فيه مما يدل على تولد مجال مغنطيسي حول السلك عند مرور التيار الكهربي 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 أقطابهاعند عكس التيار .

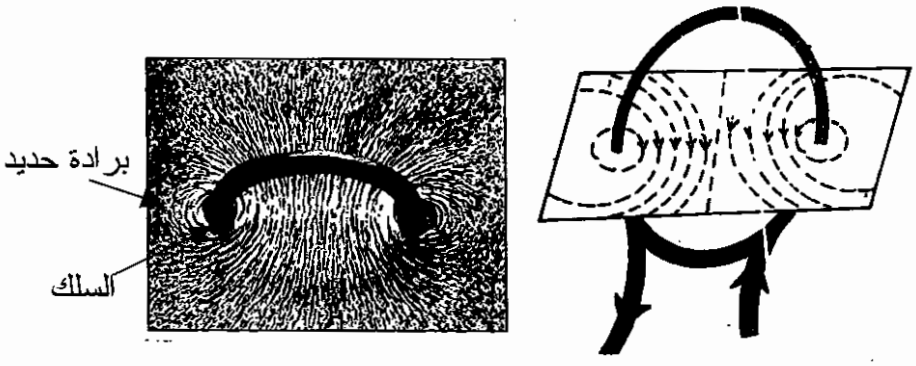
ويمكن معرفة شكل خطوط القوة المغنطيسية عند نثر برادة الحديد حول السلك على ورق مقوى يخترقه السلك عمودياً كما في شكل (3-14) ، حيث نجد أن خطوط القوة المغنطيسية تكون في شكل دوائر متحدة المركز ومركزها هو السلك نفسه . ويمكن معرفة اتجاه خطوط القوى المغنطيسية بوضع إبرة مغنطيسية بالقرب من السلك فيكون اتجاه خطوط القوة المغنطيسية هو نفس اتجاه (القطب الشمالي) للإبرة (شكل (3-13)) ب ، ج .



الشكل (3-14) : المجال المغنطيسي لسلك مستقيم وقاعدة اليد اليمنى .

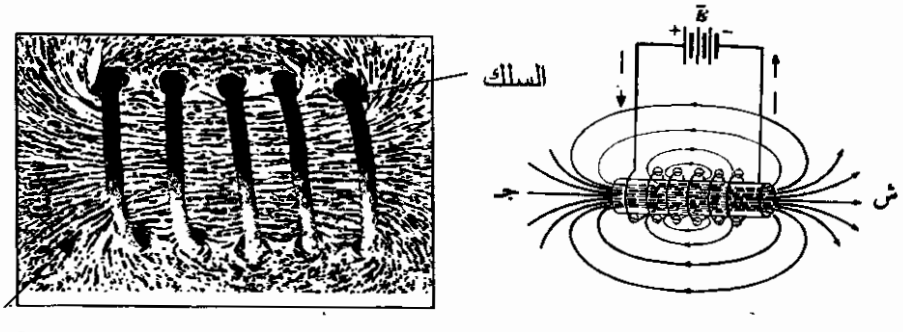
وتستخدم قاعدة اليد اليمنى " لأمبير " لمعرفة اتجاه خطوط القوى المغنطيسية المتولدة من سلك يحمل تياراً كهربياً . وحسب هذه القاعدة فإننا إذا قبضناعلى السلك باليد اليمنى بحيث يشير الإبهام لاتجاه التيار الكهربي ستشير باقي الإصابع لاتجاه خطوط القوة المغنطيسية (شكل (3-14)) .

وتكون خطوط القوة في السلك المستقيم في شكل دوائر كما بيّنا من قبل . أما في حالة سلك دائري أو ملف (شكل (3-15)) فإن خطوط القوة المغنطيسية (الفيض) تكون مستقيمة عند مركز دائرة السلك أو محور الملف الدائري وتصبح في شكل خطوط منحنية يزيد انحناؤها 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 الكهربية والالكترونية) فيكون اتجاهه داخل الملف في اتجاه محورالملف 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 ∝ 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) .

$$ب \propto \frac{1}{ف}$$

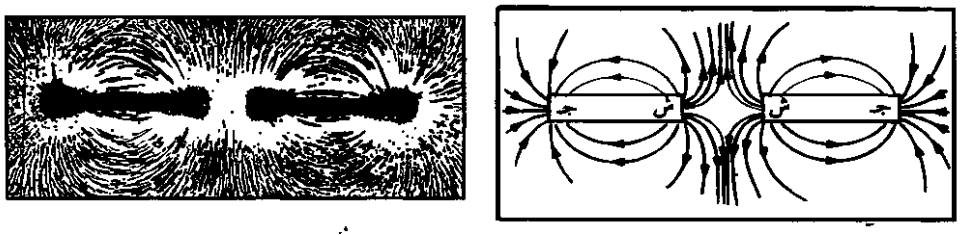
كما تعتمد كثافة الفيض (ب) على النفاذية المغنطيسية μ (ميو) عبر العلاقة :

$$ب = \frac{\mu \ ت}{2 \ \pi \ ف} \qquad (22-3)$$

وكما عرفنا سابقاً يقاس الفيض بوحدة وبر (Weber) بينما تقاس كثافة الفيض بوحدة تسلا (Tesla) وهي تساوي وبر \ متر^2 .

(3-4-3) القوة المؤثرة على سلك يحمل تياراً في مجال مغنطيسي :

إذا وضعنا قطبين شماليين لمغنطيسين بجوار بعضهما فإنهما يتنافران ويبتعدان عن بعضهما إلى أن يصبح المغنطيسان في منطقة خالية من المجالات (شكل (3-17)) .

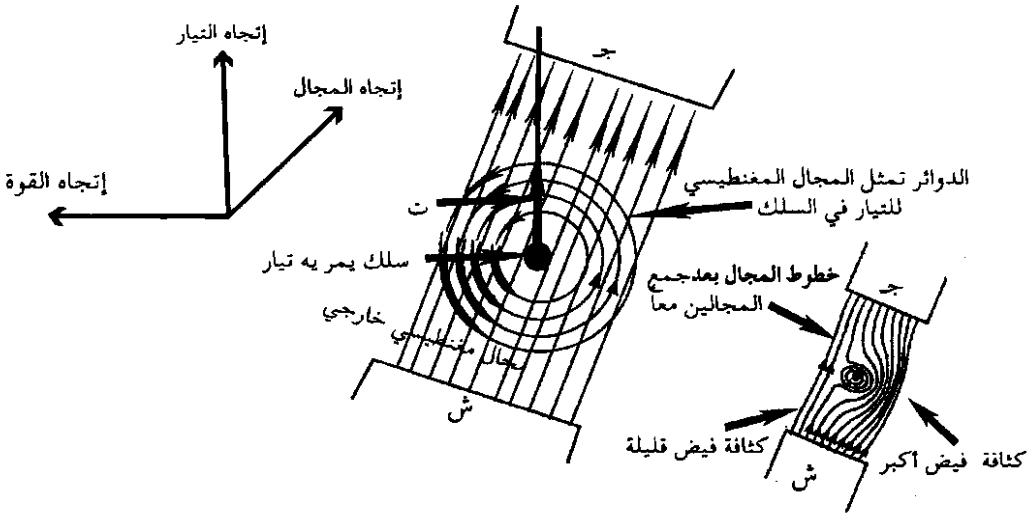


الشكل (3-17) : المغنطيسان يتنافران عندما تكون كثافة الفيض عالية ويتحركان مبتعدين عن بعضهما .

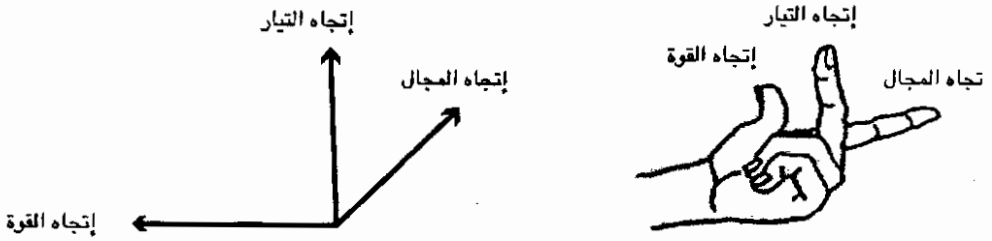
وهـــذا يعني أن المغنطيسين يتحركان من المنطقة ذات كثافة الفيض العالية إلى المنطقة ذات الكثافة المنخفضة.وهذا ما يحدث في حالة مرور تيار في سلك.

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 للمغناطيس 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 اتجـــاه هذه القوة بتطبيق **قاعدة " فلمنـــج " لليد اليسرى** (شكل (3-19)) . والتي وضعها العالم " فلمنج " وهي تنص على أن اتجاه القوة المؤثرة على السلك يمكن معرفتها بفرد اصابع اليد اليسرى **بحيث تكون الإبهام والسبابة والوسطى متعامدة** في حين تشير **السبابة** إلى إتجاه **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 :

$$ق = ب \times ل \times ت \qquad (23-3)$$

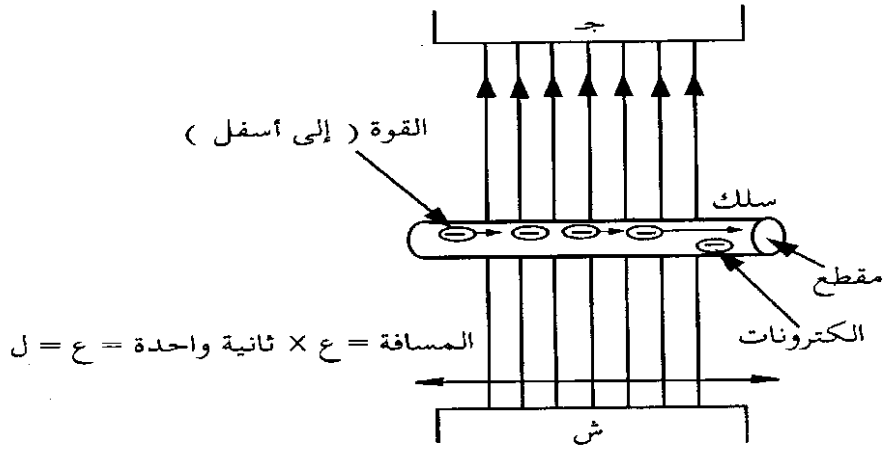
ويمكنك أيها الطالب إجراء التجربة السابقة بنفسك إذا كان عندك مغنطيسان (أو مغنطيس يشبه حدوة الفرس) وبطارية وسلك بحيث يكون اتجاه المجال عمودياً على السلك . فإذا وصلت البطارية بالسلك فستجده يتحرك في نفس الاتجاه المحدد بوساطة قاعدة " فلمنج " لليد اليسرى .

لقد تمت الاستفادة من وجود القوة المتولدة في سلك يحمل تياراً في تصميم المحركات الكهربائية والتي تدور بمرور التيار الكهربي 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 متر في ثانية

فإذا كان عدد الالكترونات الحرة الموجودة في السلك يساوي (عد) فإن شدة التيار (ت) تساوي :

ت = مقدار الشحنة المارة عبر مقطع السلك في الثانية

= شحنة الالكترون الواحد × عدد الالكترونات المارة في ثانية

= ش × عد

ت = ش × عد

∴ القوة المؤثرة على السلك = ق = ب × ل × ت

وبما أن ل = ع ، ت = ش × عد

∴ ق = ب × ع × ش × عد

ولكن القوة المؤثرة على عدد من الالكترونات = القوة المؤثرة علىالسلك

= ب × ع × ش × عد

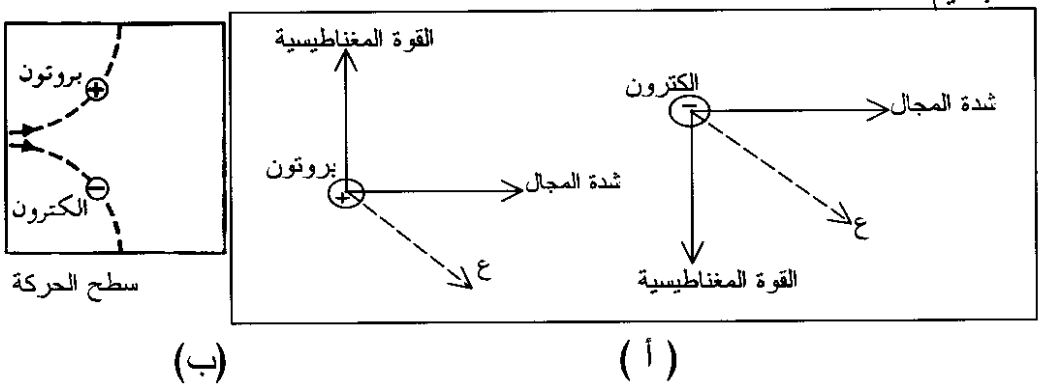
∴ القوة المؤثرة على الكترون واحد = $\frac{\text{القوة المؤثرة على كل الالكترونات}}{\text{عدد الالكترونات}}$

$$= \frac{\text{ب} \times \text{ع} \times \text{ش} \times \text{عد}}{\text{عد}} = \text{ب} \times \text{ع} \times \text{ش}$$

وهذا يعني أن القوة المؤثرة على جسيم واحد مشحون بشحنه ش هي:

$$\boxed{\text{ق} = \text{ب} \times \text{ع} \times \text{ش}} \qquad (24-3)$$

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 مغنطيسي. واضح أن هذه القوة تكون موجبة أو سالبة (في الإتجاه المعاكس) حسب شحنة الجسيم.



الشكل (3–21)

شكل (3–21) (أ) يوضح اتجاه شدة المجال والسرعة والقوة (المتعامدة على بعضها) في حالتي الكترون (سالب الشحنة) وبروتون (موجب الشحنة) حسب المعادلة (3–24) . ولأن الشحنتين مختلفتين فنجد أن اتجاه القوة المغناطيسية على الالكترون في عكس اتجاه القوة على البروتون .

هذه القوة تؤثر على كل من الشحنتين بحيث تنحرف أثناء حركتها في المجال المغناطيسي لتسير في مسار منحن كما في الشكل (3–21) (ب) .

أمثلة محلولة

مثال (3-13) :

سلك مستقيم طوله 50 سم يمر به تيار شدته 8 أمبير وضع في مجال كثافة فيضه 2 وبر \متر^2 . أحسب القوة المؤثرة على السلك ؟

الحل :

ل = 50 سم = 0.5 متر

ت = 8 أمبير

ب = 2 وبر \ متر^2

ق = ب ت ل = 2 × 8 × 0.5 = 8 نيوتن .

مثال (3-14) :

أحسب كثافة الفيض المغنطيسي عند نقطة تبعد 5 سم عن سلك مستقيم يمر به تيار شدته 5 أمبير علماً بأن : $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ وبر \أمبير. متر

الحل :

ت = 5 أمبير ، $\mu = 4\pi \times 10^{-7}$ وبر \ أمبير متر

ف = 5×10^{-2} متر

$$ب = \frac{\mu\ ت}{2\pi\ ف} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 5}{2\pi \times 5 \times 10^{-2}} = 2 \times 10^{-5}$$ 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 متر

ت = 50 أمبير

ب = 2×10^{-5} وبر\ متر

ق = ب ل ت = $2 \times 10^{-5} \times 1 \times 50$

= $100 \times 10^{-5} = 10^{-3}$ نيوتن .

مثال (3-16) :

جد القوة المؤثرة على الكترون شحنته 1.6×10^{-19} كولوم إذا سار بسرعة 10^{6} متر \ ث في مجال مغنطيسي كثافة فيضه 10^{15} تسلا .

الحل :

ب $= 10^{15}$ تسلا ، ش $= 1.6 \times 10^{-19}$ كولوم ، ع $= 10^{6}$ متراث

ق $=$ ب $\times$ ش $\times$ ع $= 10^{15} \times 1.6 \times 10^{-19} \times 10^{6}$

$= 1.6 \times 100 = 160$ نيوتن

تمرين (3-4)

1) عرِّف 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 . **[2×10^{-4} 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} تسلا ، 10^{-3} نيوتن]
6) سلك مستقيم طوله 30 سم ويحمل تياراً شدته 5 أمبير وضع في مجال مغنطيسي كثافة فيضه 2 وبر \ $م^2$. أحسب القوة المؤثرة عليه .
[3 نيوتن]
7) بروتون شحنته 1.6×10^{-19} كولوم يسير بسرعة مقدارها 2×10^{4} متراث 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 \ ث في اتجاه عمودي على مجال مغنطيسي كثافة فيضه 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؛ جـ=1.6 ×10 ^{19} م\ث^{2}]

10) جسم مشحون بشحنة سالبة ولج في مجال مغنطيسي كثافة فيضه 1000 تسلا بسرعة 10^{6} متر \ث 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

الـذرة

(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 إسم الذرة في القرآن الكريم أكثر من مرة مثلا 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 ﴾.

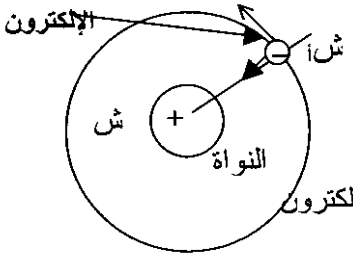
وهذه الآيات تتحدث عن وجود جسيمات أصغر من الذرة في القرن السادس الميلادي بينما كان العلماء الأوربيون لا يعتقدون بوجود جسيمات أصغر من الذرة منذ بداية تطور العلوم في اوربا في القرن السادس عشر الميلادي حتى جاء القرن العشرون الميلادي عندما اكتشف العلماء الالكترونات والبروتونات . ذلك أنه رغم معرفة العلماء 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 لاحقا) 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 خـــارج هذه النواة الالكترونات . و بإستخدام 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 الالكترونات في الذرة . فلو افترض أن الالكترونات ساكنة فسوف تجذبها النواة لتلتصق معها وهذا يناقض حقيقية أن قطر الذرة أكبر بكثير من قطر النواة . أما إذا افترض أن الالكترونات تدور حول النواة فإن هذا يعني أن الالكترونات أثناء حركتها تولد مجالا مغنطيسيا وكهربيا معا ممـــا يعني انها ستشع موجات كهرومغنطيسية (كهربية مغنطيسية) حسب تنبؤات معادلات الموجات الكهرومغنطيسية . وهذا يعني أن الالكترون سيفقد طاقة وسيؤدي الفقدان المستمر للطاقة إلى دوران الالكترون 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 يخرجه من هذا المأزق وهذا ما فعله " نيلز بوهر " .

(4-1-2) 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 الالكترونات في مدارات معينة كما تدور الكواكب حول الشمس ، ويحتوي كل مدار على الكترونات ذات طاقة معينة . ويكون الالكترون مستقراً ولا يشع أي طاقة عندما يكون في مستوى الطاقه المناسبة لذلك المدار.



ع

قوة الجذب المركزية على الإلكترون: $ق_{إ} = \frac{ك\ ع^2}{نق}$

قوة الجذب الكهربي بين النواه والإلكترون

$ق_{ك} = -\frac{ث_{ك}\ ش\ ش_{أ}}{نق^2}$

الشكل (4-1) : الكترون يدور حول النواة .

ويمكن إيجاد قيمة الطاقة المناسبة في أي مدار بمعرفة القوى المؤثرة على الالكترون . فإذا كانت كتلة الالكترون تساوي (ك) وشحنته تساوي (ش أ) وكان الالكترون يسير في مدار دائري نصف قطره (نق) بسرعة (ع) حول نواة شحنتها (ش) فإن الالكترون لا بد له من القوة التي تحفظه في مداره حول النواة وهي قوة الجذب المركزية. وهذه القوة كما درسنا في الحركة الدائرية هي :

$$\text{ق} = \frac{\text{ك ع}^2}{\text{نق}} \qquad (1-4)$$

قوة الجذب المركزية هذه على الالكترون هي في الواقع قوة الجذب الكهربي الناتجة من جذب النواة الموجبة للالكترون السالب وهي حسب قانون كولوم تساوي :

$$\text{ق} = \frac{\text{ث ش ش أ}}{\text{نق}^2} \qquad (2-4)$$

وهي تعمل على جذب الالكترون نحو النواة . وبناءا على ذلك فإن :

قوة الجذب المركزية = قوة الجذب الكهربي

$$\frac{\text{ك ع}^2}{\text{نق}} = \frac{\text{ث ش ش أ}}{\text{نق}^2}$$

$$\text{ك ع}^2 = \frac{\text{ث ش ش أ}}{\text{نق}} \qquad (3-4)$$

ملاحظة :

لا يسقط الالكترون في النواة بسبب قوة الجذب الكهربي 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:

$$\text{طح} = \frac{1}{2}\text{ ك ع}^2 = \frac{\text{ث ش ش أ}}{2\text{ نق}} \qquad (4-4)$$

أما طاقة الوضع فهي ناتجة عن الشغل المبذول بواسطة قوة الجذب الكهربي على الإلكترون في المدار وهي تساوي :

ط$_{و}$ = الشغل المبذول = القوة الكهربية × المسافة بين الالكترون والنواة (نق)

$$\text{ط}_{و} = -\frac{\text{ث}_{ك}\ \text{ش}\ \text{ش}_{ا}}{\text{نق}^2} \times \text{نق} = -\frac{\text{ث}_{ك}\ \text{ش}\ \text{ش}_{ا}}{\text{نق}} \qquad (5-4)$$

(لاحظ التشابه بين هذه المعادلة وقانون طاقة الوضع للمجال التثاقلي الذي درسناه في الباب الأول وبنفس علامة السالب)

إذن الطاقة الكلية للإلكترون ط$_{إ}$ = طاقة الحركة + طاقة الوضع

$$\text{ط}_{إ} = \text{ط}_{ح} + \text{ط}_{و}$$

$$= \frac{\text{ث}_{ك}\ \text{ش}\ \text{ش}_{ا}}{2\ \text{نق}} - \frac{\text{ث}_{ك}\ \text{ش}\ \text{ش}_{ا}}{\text{نق}}$$

$$= \frac{\text{ث}_{ك}\ \text{ش}\ \text{ش}_{ا}}{\text{نق}}\left[\ 1 - \frac{1}{2}\ \right] = \frac{-\ \text{ث}_{ك}\ \text{ش}\ \text{ش}_{ا}}{2\ \text{نق}}$$

∴ الطاقة الكلية للالكترون الذي يدور حول النواة في مدار نصف قطره (نق):

$$\text{ط}_{إ} = -\frac{\text{ث}_{ك}\ \text{ش}\ \text{ش}_{ا}}{2\ \text{نق}} \qquad (6-4)$$

لاحظ أن كل من **ث$_{ك}$** (ثابت التناسب) **و ش** (شحنة النواة) **و ش$_{ا}$** (شحنة الإلكترون) هي ذات قيم ثابتة، وبالتالي يمكن كتابة المعادلة (4-6) كالآتي:

$$\text{ط}_{إ} = -\frac{\textbf{ثابت}}{\textbf{نق}} \qquad (7-4)$$

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 ان الطاقة الكلية للإلكترون هي طاقة جذب الى النواة ويلزم طاقة خارجية لفصله عنها، أي يلزم طاقة موجبة.

لقد وجد بوهر بعد بعض الحسابات أن **نصف القطر نق** في المعادلة (4-7) المناسب للإلكترون لكي يدور حول النواة دون أن يشع طاقة يتناسب مع مربع الأعداد الصحيحة 1 ، 2 ، 3 ، ...، أي أن : **نق** تتناسب مع **عد^2**

أي أن: **نق = ثابت × عد^2** (8-4)

حيث عد هو أي عدد صحيح وقد سمي هذا العدد **بالعدد الكمي المداري.**

لاحظ أن الثوابت في المعادلتين (4-7) و(4-8) ليست متساوية لأنها ثوابت تناسب في حالتين مختلفتين. بتعويض (4-8) في (4-7) نجد أن:

$$\therefore \quad \text{ط}_{\text{عد}} = -\text{ثابت} \times \frac{1}{\text{عد}^2} \qquad (9-4)$$

حيث **عد = 1 ، 2 ، 3 ، ....**

المعادلة (4-9) توضح **أن الالكترون يوجد في الذرة في مستويات طاقة هي ط$_{\text{عد}}$** . ونرمز لمستوى الطاقة المناظر للعدد الكمي المداري **عد = 1** بالرمز **(ط$_1$) ويسمى بمستوى الطاقة الأرضي** أو **بالمستوى الأرضي.** بينما نرمز لمستوى الطاقة المناظر للعدد الكمي المداري **عد = 2** بالرمز **(ط$_2$) ويسمى بمستوى الطاقة الثاني وهكذا ...**

وتقاس طاقة الالكترون في الذرة بالجول أو بوحدة الالكترون فولت(إ.ف).

وتعرف **وحدة الإلكترون فولت (إ.ف)** بأنها:

هي الشغل المبذول أو الطاقة اللازمة لنقل الكترون واحد بين نقطتين فرق الجهد بينهما واحد فولت .

∴ الالكترون فولت (إ.ف) = الشغل لنقل الالكترون خلال فرق جهد مقداره 1 فولت

وبما أن **الطاقة اللازمة لنقل شحنة ش خلال فرق جهد** مقداره **جـ** فولت

= جـ × ش فإن: **الإلكترون فولت**

= جـ × ش$_إ$ = 1 فولت × 1.6 × 10^{-19} كولوم

حيث **شحنة الالكترون ش$_إ$** = 1.6×10^{-19} كولوم

∴ الالكترون فولت = 1.6 × 10^{-19} جول (10-4)

والسبب في إستعمال وحدة الالكترون 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 × Z^2 إ.ف. **(11–4)**

أي يتناسب مع مربع عدد البروتونات.

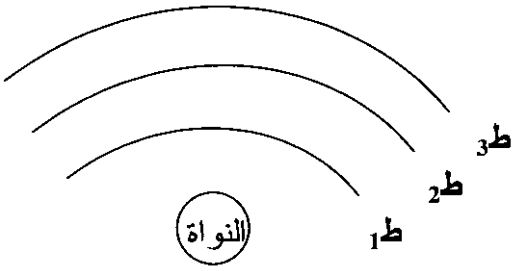
بتعويض (4–11) في (4–9) نجد أن الطاقة الكلية للإلكترون في الذرة التي عددها الذري **Z هي:**

$$\text{ط}_{\text{عد}} = -13.6 \times \frac{Z^2}{\text{عد}^2} \quad \text{إ . ف} \qquad (12-4)$$

مستويات الطاقة في ذرة الهيدروجين:

يمكن إيجاد قيم الطاقة في مستويات الطاقة المختلفة في ذرة الهيدروجين الذي تحوي نواته بروتوناً واحداً فقط وذلك بتعويض (Z = 1) في معادلة الطاقة (4–12) لنحصل على :

$$\text{ط}_{\text{عد}} = \frac{-13.6}{\text{عد}^2} \quad \text{إ . ف} \qquad (13-4)$$



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 :

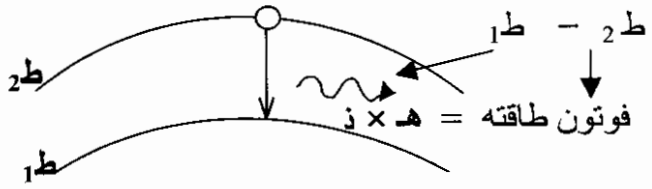
$$ط_2 = \frac{-13.6}{4} = -3.4 \text{ إ . ف}$$

$$ط_3 = \frac{-13.6}{9} = -1.511 \text{ إ . ف} \qquad (14-4)$$

وعند انتقال الالكترون من مستوى طاقة أعلى مثل (ط 2) إلى مستوى الطاقة الأدنى ط1 فإن الذرة تشع فوتوناً طاقته تساوي الطاقة التي فقدها الالكترون (شكل(4-3)). **وهذه الطاقة المفقودة تساوي الفرق بين طاقتي مستويي الإلكترون، أي:**

$$\text{هـ} \times \text{ذ} = ط_2 - ط_1 \qquad (15-4)$$

حيث: هـ = ثابت بلانك ، ذ = تردد الفوتون



الشكل (4-3): إشعاع فوتون عند هبوط الالكترون إلى مستوى طاقة أدنى.

إثارة الإلكترون في الذرة

يكتسب الإلكترون في الذرة طاقة تنقله من المستوى الأدنى الى المستوى الأعلى بواحدة من الطرق التالية:

أ) **إذا امتصت الذرة فوتون** طاقته تساوي (هـ × ذ) 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.

جـ) عند امتصاص الإلكترون للطاقة الناتجة عن تصادم الذرة بذرات أو أيونات أو الكترونات أو أي جسيمات ذرية .

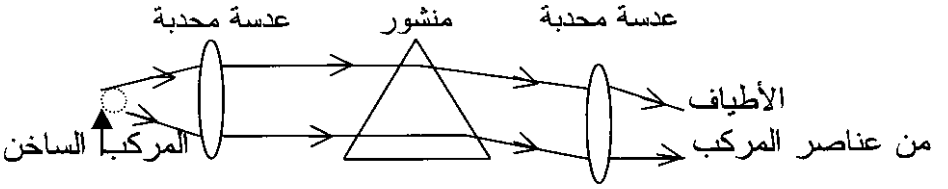
إذاً فـــإن الإلكتـــرون يكتســـب طاقة إما **بإمتصاص الذرة لفوتون** أو **بإمتصاصه هو نفسه لفوتون** أو **بإمتصاصه الطاقة الناتجة عن تصادم الذرة بجســـيمات اخـــري**، ويعـــود بعدها الإلكترون إلى مستواه الأصلي (السابق) **بإشعاع فوتون طاقته تساوي نفس الطاقة التي إكتسبها الإلكترون سابقا.**

وتستخدم ظاهرة إشعاع الفوتونات في **توليد الضوء في مصابيح الإنارة** . ففي **مصباح الفلورسنت** (المعروف خطأ بمصباح النيون) مثلا يقوم الجهد الكهربي المرتفع داخل انبوبة المصباح بتسريع الالكترونات 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 والتى تمتص بدورها بواسطة مادة الفلورسنت الموجودة على جدار انبوب المصباح ومن ثم تقوم هذة المادة بإشعاع الضوء الأبيض الذي يمدنا بالإنارة .

المعروف أن ذرة أي عنصر لها مستويات طاقة مختلفة عن مستويات الطاقة في ذرات العناصرالأخرى 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 أطياف العناصر الأخرى.

ويستفاد من ظاهرة الاختلاف في الوان 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 المنظارعن طريق منظار فلكي (تلسكوب) إلى إحد 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 (4-1) :

إذا كانت طاقة أقل ثلاثة مستويات في ذرة الهيدروجين مقدرة بوحدات الالكترون 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

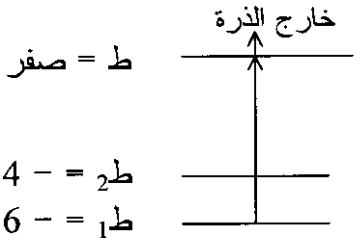
تعتبر الذرة مثارة عند انتقالها من المستوى الأرضي ($ط_1$) إلى أحد المستويات العليا . أقل طاقة تجعل الذرة مثارة عند انتقال الإلكترون من المستوى الأرضي ($ط_1$) إلى المستوى ($ط_2$) هي :

$$ط_2 - ط_1 = - 3.4 - (- 13.6)$$

$$= - 3.4 + 13.6 = 10.2 \text{ إ . ف}$$

مثال (4-2) : إذا كانت طاقة المستوى الأرضي في ذرة الهيدروجين تساوي (–13.6 إ. ف) فأوجد أقل طاقة تجعل الذرة متأينة .

الحل :طاقة الإلكترون وهو داخل الذرة سالبة لأنها طاقة تجاذب. تصبح الذرة متأينة عندما يغادر الالكترون الذرة ويخرج منها . وعندما يصبح الالكترون خارج الذرة فإن طاقته لا بد أن تكون صفراً أو أكثر. وهذا يعني ان أقل طاقة للالكترون خارج الذرة تساوي صفراً . أي أن : ط = صفر .



أقل طاقة تأين = صفر – ط١ = صفر – (- 13.6) = 13.6 إ . ف

مثال (4-3) :

انتقل الكترون في ذرة الهيدروجين من مستوى الطاقة ط٣ = - 1.5 إ.ف إلى مستوى الطاقة ط٢ = - 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 عـ = 3×10^{8} متراث .

الحل :

هـ × ذ = ط٣ – ط٢

= - 1.5 + 3.4 = 1.9 إ . ف = $1.9 \times 1.6 \times 10^{-19}$ جول

هـ × ذ = 6.6×10^{-34} × ذ = $1.9 \times 1.6 \times 10^{-19}$ جول .

تردد الفوتون (ذ) = $\frac{1.9 \times 1.6 \times 10^{-19}}{6.6 \times 10^{-34}}$

= $\frac{8 \times 1.9}{33} \times 10^{14}$ = $\frac{15.2}{33} \times 10^{14}$ = 4.6×10^{14} هيرتز

وبما أن سرعة الفوتون: عـ = ذ × λ

∴ الطول الموجي للفوتون = λ = $\frac{\text{عـ}}{\text{ذ}}$ = $\frac{3 \times 10^{8}}{4.6 \times 10^{14}}$

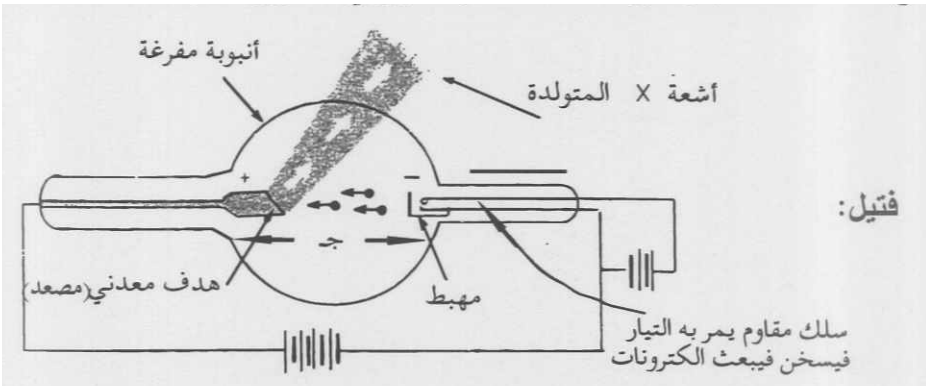
= 65.2×10^{-8} متر

(4-1-3) 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 للشئ 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 كهرومغنطيسية . حيث يولد كل الكترون فوتوناً واحداً فقط . وهذا يعني أن أشعة (X) هي موجات كهرومغنطيسية (فوتونات) .

ويتركب جهاز توليد الأشعة السينية من أنبوبة زجاجية مفرغة من الهواء وبداخلها قطب سالب يسمى بالمهبط موصل بالقطب السالب لمصدر كهربي عالي الجهد ، وهو معدن يقوم بقذف الالكترونات عندما يتم تسخينه بواسطة فتيل (وهو سلك ملفوف مثل سلك التنجستن المستخدم في المصابيح) فتتنافر الالكترونات السالبة مع المهبط السالب (شكل (4-5)). ويوجد بالأنبوبة أيضاً أسطوانة معدنية متصلة بالقطب الموجب للمصدر الكهربي وتسمى بالمصعد وهي تعمل على جذب الالكترونات السالبة إليها . ويعمل فرق الجهد (جـ) على تسريع الالكترونات بإكسابها سرعة عالية وطاقة حركة بفضل الشغل الذي يبذله المصدر الكهربي عليها . حيث نجد أن طاقة حركة الالكترون :

طح = الشغل المبذول بواسطة المصدر الكهربي = فرق الجهد × شحنةالالكترون



الشكل (4-5) : جهاز أشعة (X) .

$$\text{طح (الإلكترون)} = \text{جـ} \times \text{ش}_{\text{أ}} \qquad (16-4)$$

وعندما تصطدم هذه الالكترونات السريعة بالهدف المعدني تتوقف وتسكن فتتحول الطاقة الحركية لكل إلكترون قد توقف إلى طاقة تبعث في شكل فوتون تردده **ذ** . وحسب قانون بقاء الطاقة نجد أن :

طاقة الفوتون = الطاقة الحركية للالكترون

ولأن طاقة الفوتون = هـ × **ذ** حيث هـ = ثابت بلانك .

$$\therefore \text{هـ} \times \text{ذ} = \text{طح الإلكترون} \qquad (17-4)$$

ونسبة لصعوبة قياس سرعة الالكترون وبالتالي طاقة حركته فإننا سنستخدم العلاقة (4–16) بين طاقة الحركة وفرق جهد المصدر الكهربي لإيجاد طاقة الفوتون بدلالة فرق الجهد لتصبح في الصورة :

$$\text{هـ} \times \text{ذ} = \text{طح} = \text{ش}_{\text{أ}} \times \text{جـ} = 1.6 \times 10^{-19} \times \text{جـ}$$

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 الكهربي يساوي 100000 فولت علماً بأن شحنة الإلكترون $\text{ش}_{\text{أ}} = 1.6 \times 10^{-19}$ كولوم وثابت بلانك هـ = 6.625×10^{-34} جول ثانية .

الحل :

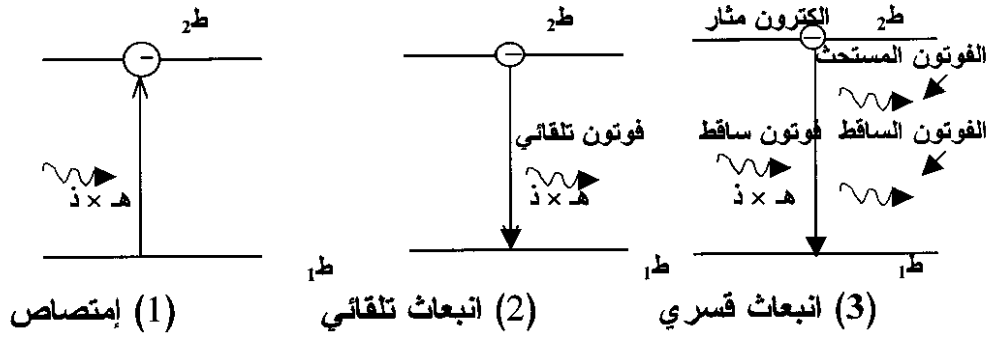
$$\text{هـ} \times \text{ذ} = \text{جـ} \times \text{ش}_{\text{أ}} \qquad \text{حيث جـ = فرق الجهد}$$

$$\frac{\text{هـ} \times \text{عـ}}{\lambda} = \text{جـ} \times \text{ش}_{\text{أ}}$$

$$\lambda = \frac{\text{هـ} \times \text{عـ}}{\text{جـ} \times \text{ش}_{\text{أ}}} = \frac{6.625 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^{8}}{1.6 \times 10^{5} \times 10^{-19}} = 12.422 \times 10^{-12} \text{ م}$$

(4-1-4) الإنبعاث التلقائي والإنبعاث القسري :

بينّا فيما سبق أن الذرة التي تمتص فوتوناً تكتسب طاقة تنقل الالكترون من مستوى طاقة أدنى إلى مستوى طاقة أعلى وتسمى هذه المرحلة **بمرحلة الإمتصاص.** ، حيث يمكث الالكترون فترة معينة (صغيرة جدا) في المستوى الأعلى وتسمى هذه الفترة **بالعمر الزمني للمستوى** . وبعد انقضاء هذه الفترة يعود الالكترون تلقائياً للمستوى الأدنى فتشع الذرة فوتوناً ويسمى الإشعاع الصادر من الذرة في هذه الحالة **بالإنبعاث التلقائي** . فإذا كانت الذرة قد إمتصت فوتونا خارجيا فإن **فوتون الإنبعاث التلقائي** يكون بنفس تردد الفوتون الخارجي إلا أن اتجاهه يكون عشوائياً . وهناك نوع آخر من أنواع الإشعاع يسمى **بالإنبعاث القسري (أو المستحث)** وفي هذا النوع من الإشعاع يسقط فوتون طاقته تساوي الفرق بين طاقة المستويين الأعلى والأدنى على ذرة بها الكترون موجود في **مستوى الإثارة الأعلى** (أي كان قد إكتسب طاقة من قبل) فيجبر هذا الفوتون الالكترون المثارعلى الهبوط إلى المستوى الأدنى فتشع الذرة فوتوناً له نفس تردد واتجاه وطور الفوتون الساقط . ويسمى هذا النوع من الانبعاث (أو الإشعاع) **بالإنبعاث القسري (أو المستحث)** . فيخرج من الذرة في هذه الحالة فوتونان هما الفوتون الساقط والفوتون المستحث (الناتج عن هبوط الالكترون للمستوى الأدنى).(شكل (4-6)).



الشكل (4-6) : الانبعاث القسري والإنبعاث التلقائي .

وهناك مستويات مثارة تبقى الالكترونات فيها فترة زمنية طويلة نسبيا وتسمى مثل هذه المستويات **بالمستويات شبه المستقرة** .

(4-1-5) أشعة الليزر:

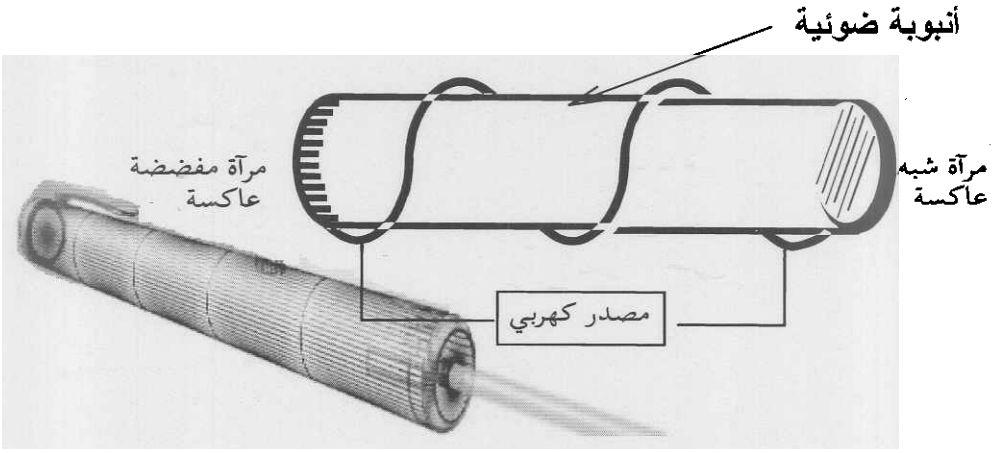
إذا أثرنا عدداً كبيراً جداً من الذرات لتنتقل الكتروناتها للمستوى ($ط_2$) شبه المستقر فإن الالكترونات ستمكث فيه زمناً طويلاً نسبيا بالمقاييس الذرية **(10^{-5} ثانية)** . وعند انقضاء العمر الزمني لبعض هذه الالكترونات تنطلق فوتونات **بالانبعاث التلقائي** في اتجاهات عشوائية . فإذا صادف فوتون منها ذرة بها إلكترون مثار فإنه يجبره على إصدار فوتون بنفس تردد واتجاه وطور الفوتون الساقط ، فيسقط الفوتونان الساقط والمستحث على ذرتين اخريتين 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 **باشعة 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 إتجاه واحد . ولذلك يكون تأثيرها قوياً (حسب شدتها على النقطة المركزة عليها) وتنتج الآن بكثرة أشعة ليزر غير مرئية أيضا .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 الالمونيوم** المطعم بكمية صغيرة من **الكروم**) . وتطلى قاعدتا الأسطوانة بالفضة لتعمل **مرايا عاكسة** حيث تطلى إحداها بصورة كاملة بينما تطلى الأخرى بصورة مخففة لتسمح لجزء من الأشعة بالنفاذ.

تـــتم إثارة ذرات الكروم باستخدام أنبوبة ضوئية تلتف حول اسطوانة بلورة الياقوت حيث تصدر فوتونات ضوئية بترددات وطاقات مختلفة تمتصها الكترونات الكروم لتنتقل من المستوى الأرضي للكروم ($ط_1$) للمستوى شبه المســـتقر ($ط_2$) مباشـــرة. أو تنتقل للمستويات ($ط_3$) أو ($ط_4$) ثم تهبط للمســـتوى ($ط_2$) .ولما كان المستوى ($ط_2$) شبه مستقر فإن الالكترونات تمكث فيه فترة طويلة نسبيا 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** فتهبط إلكتروناتها تلقائياً إلى المستوى الأرضي (الأول) لتـــنطلق فوتـــوناتها فـــي اتجاهات عشوائية فيتم امتصاص معظمها بواسطة الـــذرات التـــي في طريقها ولكن تبقى الفوتونات التي تتحرك موازية لمحور الأسطوانة أي عموديا على قاعدتي الأسطوانة فتذرع



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 بدورهـــا على 4 ذرات كروم تخرج منها 8 فوتونات ويستمر عدد الفوتونات في التضاعف إلى أن تصطدم الفوتونات بإحدى المرآتين وتنعكس لتصطدم بمزيد من ذرات الكروم المثارة وتستحثها لإصدار مزيد من الفوتونات . وهكذا تتزايد أعداد الفوتونات أثناء انعكاساتها المتوالية على المرآتين الموجودتين في قاعدتي الأسطوانة إلى أن تصطدم هذه الأعداد الضخمة من الفوتونات بالمرآة 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 الليزرمن 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 بروتوناً) 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 كبيرا نوعا ما حيث تصبح النواة في حالة عدم توازن . ومن المعلوم أن كل العناصر التي يزيد عددها الذري **Z** عن 83 هي ذرات مشعة.

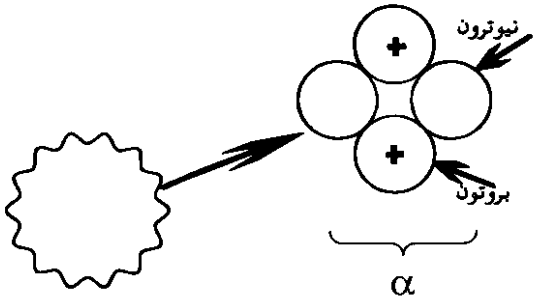
ولمعرفة طبيعة هذه الإشعاعات قام العلماء باختبار تأثير كل من المجالين الكهربي والمغنطيسي عليها . كما قاموا كذلك بحساب مقدرة هذه الإشعاعات على اختراق المواد المختلفة . وقد دلت الاختبارات على وجود ثلاثة أنواع مختلفة من الإشعاع هي :

1) **دقائق ألفا والتي رمزها** α (ألفا: أول حرف في حروف الهجاء الإغريقية).
2) **دقائق بيتا والتي رمزها** β (بيتا : ثاني حرف في الهجائية الأغريقية) .
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 ${}_{z}X^{A}$

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:

$$_{Z}X^{A} \longrightarrow {}_{Z-2}Y^{A-4} + \alpha$$

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 :**

$$_{92}U^{238} \longrightarrow {}_{90}Th^{234} + \alpha$$

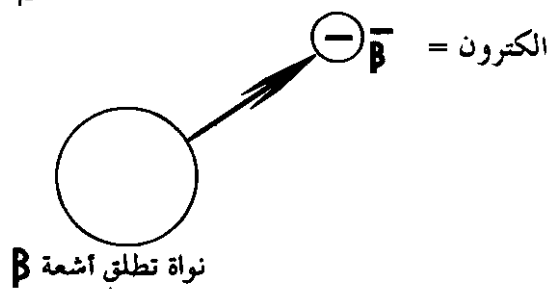
حيث نلاحظ أن نواة اليورانيوم التي بها 92 بروتونا في هذه الحالة بها 147 نيوترونا أي بزيادة 55 . وهناك ذرات يورانيوم اخرى كما سنرى لاحقا.

2) دقائق بيتا (β) :

وهي دقائق لها نفس كتلة الالكترون 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 الكترون ($\beta^- = e^-$) خارج النواة . وهناك جسيم آخر ينطلق مع الالكترون ويسمى ضد النيوترينو ونرمز له بالرمز $\overline{\upsilon}$ (ينطق نيو بار). أما النيوترون فيتحلل حسب المعادلة :

$$n \longrightarrow p + \beta^- + \overline{\upsilon}$$



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 :

$$ {}_{Z}X^{A} \longrightarrow {}_{Z+1}Y^{A} + \beta^{-} + \bar{\upsilon} $$

ومثال ذلك انحلال البورون وتحوله إلى كربون :

$$ {}_{5}B^{12} \longrightarrow {}_{6}C^{12} + \beta^{-} + \bar{\upsilon} $$

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 الالكترون وتسمى **بوزيترون (من Positive electron أي إلكترون موجب)** وهي تنطلق عندما **يتحول البروتون (p) في نواة ما إلى نيوترون (n)** فينطلق البوزوترون $\beta^{+} = e^{+}$ ومعه نيوترينو (υ = نيو) وفق المعادلة :

$$ \mathbf{p} \longrightarrow \mathbf{n} + \mathbf{e}^{+} + \upsilon $$

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 :

$$ {}_{Z}X^{A} \longrightarrow {}_{Z-1}Y^{A} + \beta^{+} + \upsilon $$

$$ {}_{Z}X^{A} \longrightarrow {}_{Z-1}Y^{A} + e^{+} + \upsilon \quad \text{أو} $$

ومثال ذلك تحول النيتروجين إلى كربون :

$$ {}_{7}N^{12} \longrightarrow {}_{6}C^{12} + \beta^{+} + \upsilon $$

3) *أشعة قاما* (γ) :

أشعة γ (قاما) عبارة عن أمواج كهرومغنطيسية . وهي مثلها مثل بقية الأمواج الكهرومغنطيسية عبارة عن **فوتونات** لها طول موجي λ ولها تردد ذ، وسنتطرق بشئ من التفصيل لهذه الأشعة في الفصل القادم .

وتنطلق أشعة γ من النواة التي بها طاقة زائدة . فإذا كانت النواة مثارة وطاقتها مثلا ($ط_2$) فإنها تطلق فوتوناً من أشعة γ لتصبح مستقرة في مستوى الطاقة الأرضي (الأول) ($ط_1$) وذلك بنفس الكيفية التي تحدث للذرة حينما يطلق الالكترون الذي في مستوى الإثارة ($ط_2$) فوتونا ليهبط الإلكترون إلى المستوى الأرضي ($ط_1$)(شكل (4-10)).

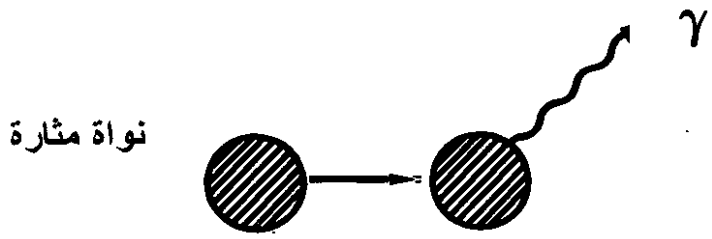
وتكون طاقة فوتون أشعة قاما (γ) مساوية للفرق بين طاقة الإثارة ($ط_2$) للنواة وطاقة المستوى الأرضي للنواة ($ط_1$) . أي أن :

$$هـ \times ذ = ط_2 - ط_1$$

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 :

$$_{Z}X^{A*} \longrightarrow {}_{Z}X^{A} + \gamma$$

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 الكهربي 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 **انشتاين** 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

$$= ك \times عـ^2 \qquad (18-4)$$

حيث **عـ 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 :

$$\text{طاقة الربط النووي} = \Delta ك \times عـ^2 \qquad (19-4)$$

مثال (4-5) :أحسب طاقة الربط لنواة ذرة الديوتيريوم H^2_1 إذا كانت كتلة البروتون تساوي $1.007595 \times 931 \times 10^6$ إ . ف وكتلة النيوترون $1.008987 \times 931 \times 10^6$ إ . ف

وكتلة الديوتيريوم = $2.014102 \times 931 \times 10^6$ إ . ف .

الحل : نواة ذرة الديوتيريوم هي نواة هيدروجين تحتوي على بروتون ونيوترون .

∴ طاقة الربط = مجموع كتل البروتونات والنيوترونات – كتلة النواة

= كتلة البروتون + كتلة النيوترون – كتلة النواة

$$= (2.014102 - 1.008987 + 1.007595) \times 931 \times 10^6$$

$$= 2.30888 \times 10^6 \text{ إ . ف}$$

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) : $_{92}U^{235}$ تنشطر إلى جزئين عند قصفها بنيوترونات بطيئة حيث تقتنص نواة اليورانيوم أحد هذه النيوترونات فتتكون نواة جديدة هي نواة اليورانيوم $_{92}U^{236*}$ وهذه النواة تكون غير مستقرة ولذلك تنشطر 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)).

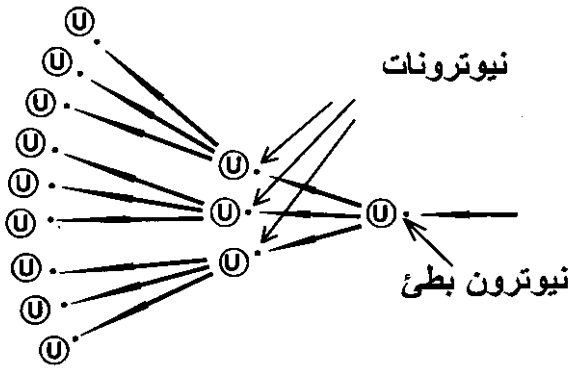
فعندما يقصف اليورانيوم (235) بنيوترون بطئ فإن نواة اليورانيوم تنشطر لنواتين هما نواة عنصر **الباريوم** $_{56}Ba^{141}$ ونواة عنصر **الكريبتون** $_{36}Kr^{92}$ وتنطلق 3 نيوترونات خلال هذه العملية أيضاً بالإضافة إلى إنطلاق طاقة نووية هي **طاقة الربط التي كانت تربط النواتين مع بعضهما في نواة واحدة** . وذلك حسب المعادلة :

يورانيوم (235) + نيوترون ⟵ باريوم + كريبتون + 3 نيوترونات + طاقة

$$_{92}U^{235} + n \longrightarrow {}_{56}Ba^{141} + {}_{36}Kr^{92} + 3n + \text{طاقة}$$

وعندما تمتص النيوترونات الثلاثة المنطلقة من ذرة اليورانيوم المنشطرة بوساطة 3 ذرات يورانيوم أخرى فإنها تنشطر بدورها فتخرج منها 9 نيوترونات وتلاقي هذه النيوترونات 9 ذرات يورانيوم أخرى فتنشطر فتخرج منها 27 نيوترون وهكذا تتضاعف 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 U 235 .

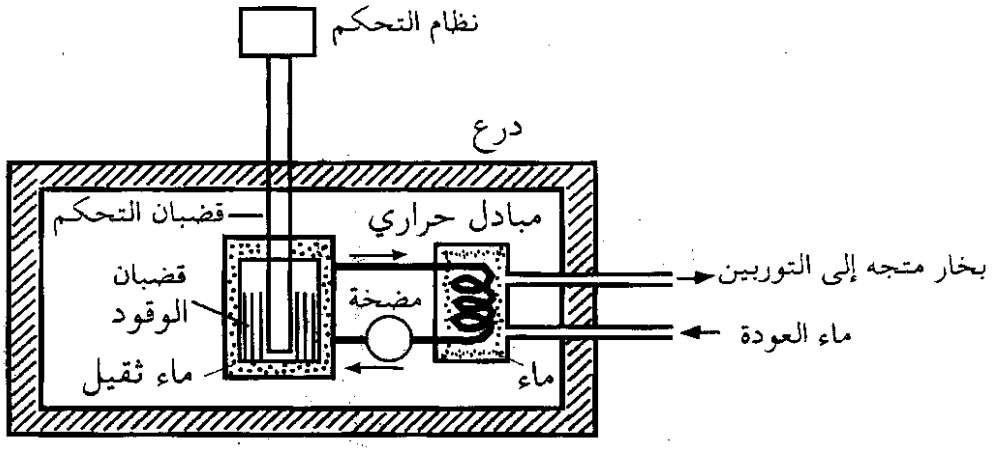
القنبلة الذرية :

تصنع القنبلة الذرية الانشطارية من عدة كيلوجرامات من عنصر اليورانيوم $_{92}U^{235}$ على هيئة نصفي كرة على أن يكون كل نصف غير قابل للانفجار وهو منفصل عن النصف الآخر لأن كتلة أي منهما **لا تبلغ الكتلة الحرجة** الضروية لإنفجار 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 الإنفجار 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 ونجازاكي 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 اللازم لصنعها لا يوجد في الطبيعة إلا بكميات ضئيلة وحتى هذه توجد مختلطة باليورانيوم 238 الأكثر وفرة ولذلك لا بد من فصل الإثنين عن بعضهما للحصول على الكمية الكافية من اليورانيوم 235 لصنع قنبلة. ولأن Z = 92 بروتون لكليهما فهما كيميائيا متشابهين ولا يمكن فصلهما كيميائيا(وهي الطريقة الأسهل) ولذلك لا بد أن يتم الفصل فيزيائيا. 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 بإستعمال **المفاعلات النووية للإستفادة 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 او 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 هذة 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 خاج المفاعل . (**شكل (4-12)**).

ويمكن إنتاج طاقة كهربية 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 المصدرالأساسي 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 أتت طاقة الشمس وكيف تتولد ؟ لقد تمكن من حل هذا اللغز عدد من العلماء حيث بيَّنوا أنَّ 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 $_1H^2$) في درجة حرارة عالية (تصل إلى أكثر من مليون درجة مئوية داخل الشمس) وتحت ضغط عالٍ فتتكون نواة الهيليوم $_2He^4$. وهذه تكون كتلتها أقل من مجموع كتل نواتي الهيدروجين الثقيل لأن جزءا من كتل أنوية الهيدروجين تحول إلى طاقة وتحدث عملية الإندماج النووي وتحول الكتلة إلى طاقة بإستمرار داخل الشمس، أي انه هو الوقود **الذي يمدها 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 الإندماج النووي في صنع القنبلة الهيدروجينية المدمرة جدا (بإستخدام $_1H^2$) حيث تم الحصول على درجة الحرارة العالية الضرورية لعملية إندماج الأنوية من قنبلة ذرية داخل هذه القنبلة.

تمرين (4-1)

الأنجستروم (ينطق أنقستروم) = 10^{-10} متر

1) أحسب طول موجة الفوتون الصادر عند انتقال الالكترون من المستوى الثالث إلى المستوى الثاني في ذرة الهيدروجين .[λ = **6538 انجستروم**]
2) أحسب تردد أشعة (X) الصادرة من أنبوبة التوليد إذا كان فرق الجهد بين طرفي بطارية التشغيل 13250 فولت . [ذ = **32×10^{17} هيرتز**]
3) أحسب الطول الموجي لأشعة (X) الصادرة من أنبوبة التوليد إذا كان فرق الجهد بين المصعد والمهبط 50000 فولت. [λ = **0.248 انجستروم**]
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 **1.661×10^{-27} 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) بيِّن تركيب المفاعل النووي وما استخداماته ؟
8) اذكر استخدامات الإنشطار النووي في الأغراض العسكرية.
9) بيِّن 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

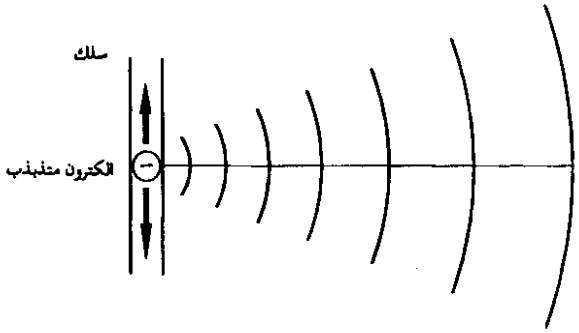
الاتصالات

(4-2-1) 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 ؟ وسنبدأ أولاً بمحاولة تعريف الوسيط الذي ينقل إلينا البرامج المختلفة عبر الفضاء والذي يسمى بالموجات "الكهربية المغنطيسية" وعند دمج الكلمتين معا تصبح الموجات الكهرومغناطيسية. فما هي هذه الموجات الكهرومغنطيسية ؟ وكيف تحمل إلينا الصوت والصورة ؟

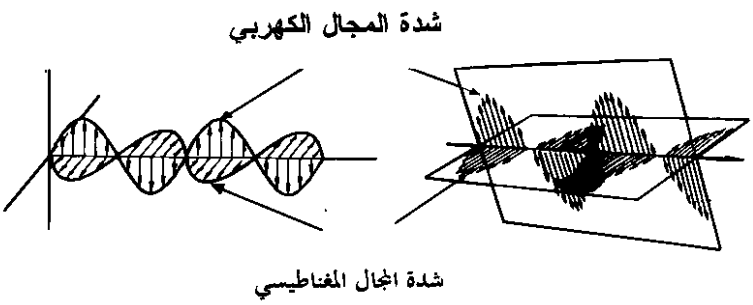
(4-2-2) الموجات الكهرومغنطيسية :

لقد علمنا في الباب الثالث أن التيار المار في سلك يولد حول السلك مجالا مغناطيسيا يكون عموديا على إتجاه التيار في السلك وبما أن التيارفي السلك هو في الواقع الكترونا ت متحركة وأن كل إلكترون هو عبارة عن شحنة ويوجد دائما حول أي شحنة مجال كهربي. لذلك فإن الالكترونات المتذبذبة في سلك تولد تلقائيا مجالين حول السلك أحدهما كهربي والآخر مغناطيسي عمودي على الكهربي 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 كهربي في شكل موجات يتعامد عليه مجال مغنطيسي في شكل موجات أيضاً وتنتشر هذه الموجات في الإتجاه العمودي على المجالين كما بالشكل (4-14) أي انها موجات مستعرضة .



الشكل (4-14) : الموجات الكهرومغنطيسية .

ويمكن فهم تولد هذه الموجات على ضوء العلاقة بين الكهربية والمغنطيسية. فعندما يمر تيار متذبذب في سلك فإنه يولد مجالاً مغنطيسياً متذبذباً وهذا بدوره يولد مجالاً كهربياً متذبذباً في المنطقة المجاورة له ليتولد مجال مغنطيسي مرة أخرى . وهكذا يستمر تولد سلسلة من المجالات الكهربية والمغنطيسية المتعامدة التي تكون في شكل موجات كهرومغنطيسية .

وقد تمكن العالم الاسكتلندي " ماكسويل "في الربع الأخير من القرن التاسع عشر من بناء نظرية رياضية تربط بين المجالين الكهربي والمغنطيسي . وقد تنبأ "ماكسويل" بوجود موجات كهرومغنطيسية تنتشر بنفس سرعة الضوء مما حمله على الاعتقاد بأن الضوء هو نفسه موجات كهرومغنطيسية وهو ما تم إثباته فيما بعد .

وتخضع الموجات الكهرومغنطيسية لقوانين الموجات . فسرعة الموجة عـ تساوي طول الموجة (λ) مضروباً في ترددها (ذ) . أي أن :

$$\text{عـ} = \lambda \times \text{ذ} \qquad (4-20)$$

وتكون سرعة هذه الموجات الكهرومغنطيسية ثابتة في الفراغ والهواء **وتساوي 3×10^8 متر\ث** وهى 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 الكهرومغنيطيسية الى أقسام حسب الطول الموجي والتردد وهذه الأقسام هى:

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.

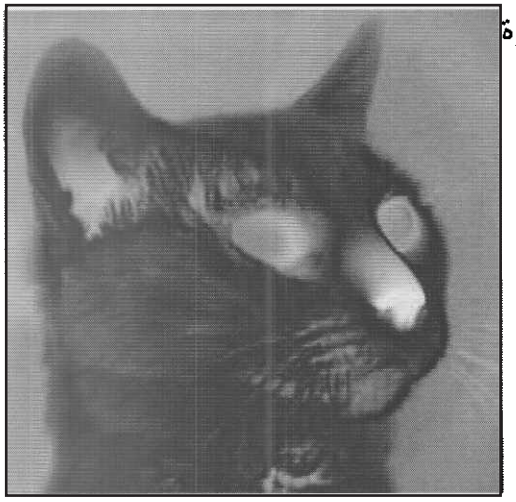
2) **أشعة X** والتي درسناها أيضا عند دراستنا للذرة وقلنا أنها تنتج عن توقف الإلكترونات السريعة وتحول طاقتها الحركية الى موجات كهرومغناطيسية وهي تلي أشعة γ من حيث التردد حيث ينحصر ترددها بين 10^{17} و 10^{19} هيرتز تقريبا ولذلك فطولها الموجي حوالي قطر الذرة ولذلك فهى ايضا ضارة بالإنسان اذا تعرض لها لفترات طويلة وتستخدم في التشخيص الطبي.

3) **الأشعة فوق البنفسجية** وسميت كذلك لأنها تجاور مباشرة الضوء المرئي البنفسجى 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 الذى 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 الآف مرة والضوء المرئي يتكون من سبعة الوان 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} و10^{-4} متر وهي الجزء الثاني في الطيف الكهرومغنطيسي 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 و10^{-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 الرادارموقعها 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 السنتمترات والكيلومترات.وينحصر طول **الموجات القصيرة** بين حوالي 10^{-1} و10^{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 فيترواح طولها بين 200 م و500 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 إلاّ في دول قليلة.

نشاط: قم بتفقد جهازالراديو الموجود في البيت وتعرف على مدى الموجات التي يلتقطها ذلك الجهاز وحاول إلتقاط بعض المحطات في كل مدى.

(4-2 - 3) انتشار أمواج الإرسال الإذاعي :

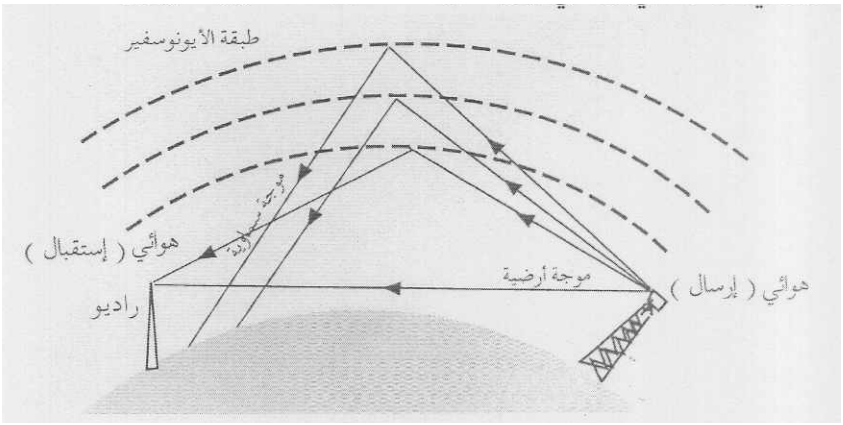
تقوم أمواج الإرسال الإذاعي بنقل الصوت من جهاز الإرسال لجهاز الاستقبال .وتنتشر أمواج الإرسال الإذاعي بطريقتين هما الموجات الأرضية والموجات السماوية .

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 كبيرا .

أما **الموجات السماوية** فهي تتجه نحو السماء فتعكسها طبقة الغلاف الجوي المتأينة التي تسمى بطبقة **الايونوسفير** وهي طبقة متاينة تعمل كمرايا عاكسة تعكس الموجات الكهرومغنطيسية 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 ميقا هيرتز) ، والقصيرة والتي ترددها بين 1.5 إلى 20 ميقا 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 ليلاً . وإذا زاد تردد الموجات عن حوالي 50 ميجا هيرتز فإنها لا تنعكس بل تخترق هذه الطبقة وتتشتت في الفضاء الخارجي . لذا فإننا نحتاج إلى أقمار اصطناعية تعكس أمواج الإرسال الإذاعي والتلفزيوني والهاتفي والتي يزيد ترددها عن 50 ميجا هيرتز .



الشكل (4-15) : الموجات الأرضية والسماوية .

(4-2-4) تحميل الموجات الكهرومغنطيسية الصوت والصورة :

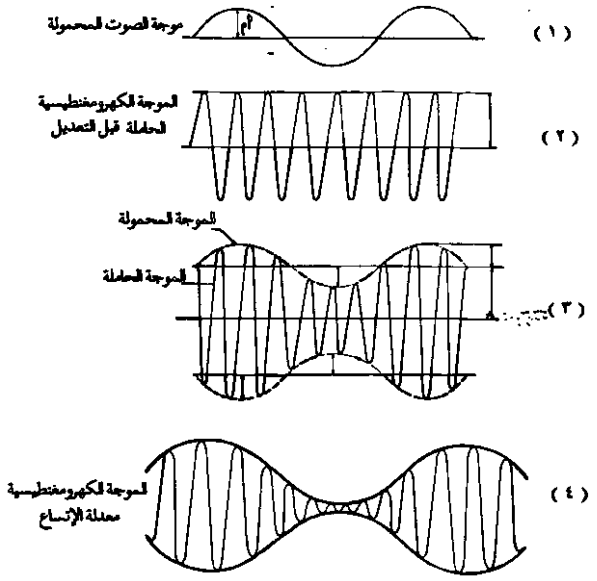
تستخدم الموجات الكهرومغنطيسية في نقل الصوت في الإرسال الإذاعي وفي نقل الصورة والصوت في الإرسال التلفزيوني ويتم نقل هذه المعلومات بطريقتين رئيستين هما **تعديل الاتساع (AM) وتعديل التردد (FM)** . يتم **تعديل الاتساع ويسمى (Amplitude Modulation (AM) كالآتي:**

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 (4-16) (2)].

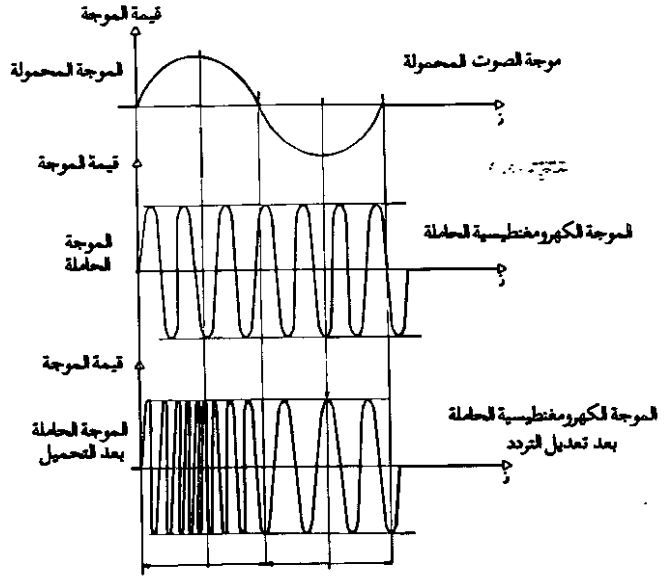
جـ) تجمع الموجتان معا بواسطة مازج ويكون نتيجة الجمع أن إتساع الموجة الكهرومغناطيسية (الموجة الحاملة) يتعدل وفقا لإتساع موجة الصوت (الموجة المحمولة).[نفس الشكل (3)]

د) ترسل الموجة المعدل إتساعها (الموجة الحاملة) لجهاز إرسال الإذاعة فتبث بنفس شكلها كموجة كهرومغنطيسية حاملة معها شكل الصوت.



الشكل (4-16) : تعديل اتساع الموجة الكهرومغنطيسية (AM) .

أما في تعديل التردد (Frequency Modulation) (FM) فيتم في الإذاعات المعروفة بالـــ 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 تذيع على الموجات القصيرة والمتوسطة أوالطويلة حيث يتم تعديل الإتساع عادة.



الشكل (4-17) : تعديل التردد (FM) .

وفي تعديل التردد FM يتم في المازج جمع تردد الموجة الكهرومغنطيسية 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 الكهرومغنطيسية 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 :

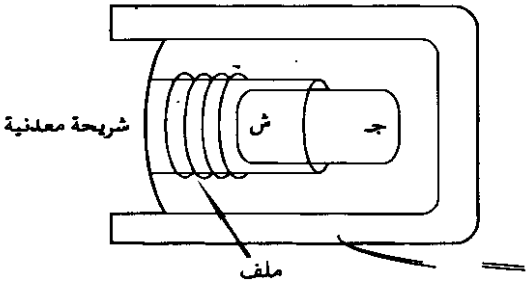
في محطة الإذاعة توجد أجهزة تسجيل الصوت المعروفة أو أجهزة حاسوب تستعمل الأقراص المدمجة CD المسجل عليها الصوت والموسيقى كما توجد أجهزة لإلتقاط الصوت المعروفة بالمايكرفونات.

والمايكرفون (كما درست في مرحلة الأساس) هو جهاز يحول الذبذبات الحركية للصوت لتيار متذبذب ويتركب في إحدى صوره من شريحة معدنية مثبت معها ملف بداخله مغنطيس فعندما يتكلم شخص تتذبذب

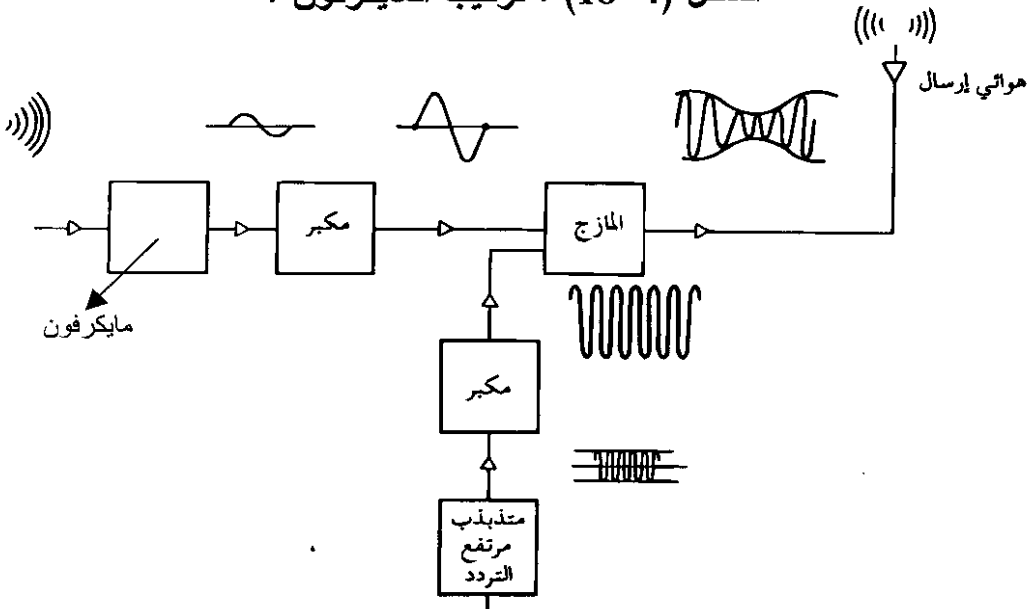
الشريحة والملف معاً . ويؤدي تذبذب الملف داخل المجال المغنطيسي للمغنطيس إلى تولد تيار متذبذب تاثيري في الملف (شكل (4-18)). هذا التيار التأثيري تتناسب شدته مع مقدار حركة الملف الذي يتذبذب مع تذبذب الشريحة المعدنية الذي يتناسب بدوره مع شدة الصوت وتردده.

* ولأن شدة هذا التيار التأثيري ضعيفة جدا ، يرسل إلى مكبر لزيادة شدته ثم تجمع معة التيارات القادمة من أجهزة التسجيل وترسل الى المازج (شكل (4-19))

* يقوم متذبذب بتوليد تيار متردد بنفس تردد الموجة الكهرومغنطيسية المطلوبة لحمل موجة الصوت المحمولة. ويرسل هذا التيار المتردد أيضا إلى المازج.



الشكل (4-18) : تركيب المايكرفون .

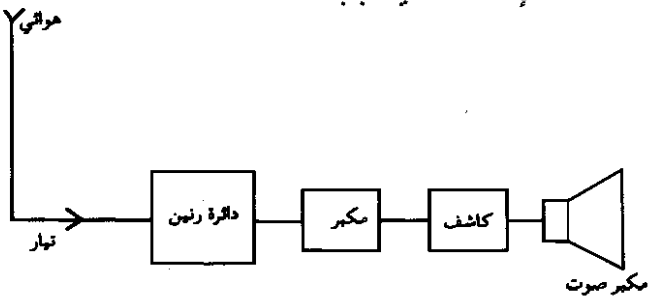


الشكل (4-19) : مخطط جهاز الإرسال الإذاعي .

* 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 كهرومغنطيسية أي يتحول التيار بهذه الطريقة إلى أمواج كهرومغنطيسية معدلة الاتساع أو معدلة التردد فتنتشر في الفراغ حتى تصل إلى أجهزة الاستقبال المختلفة .

(4-2-6) جهاز الاستقبال الإذاعي : (الراديو)

يتم استقبال الموجات الكهرومغنطيسية 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 الكهربي المتذبذب للأمواج الكهرومغنطيسية القادمة من محطات الإذاعات فيتسبب

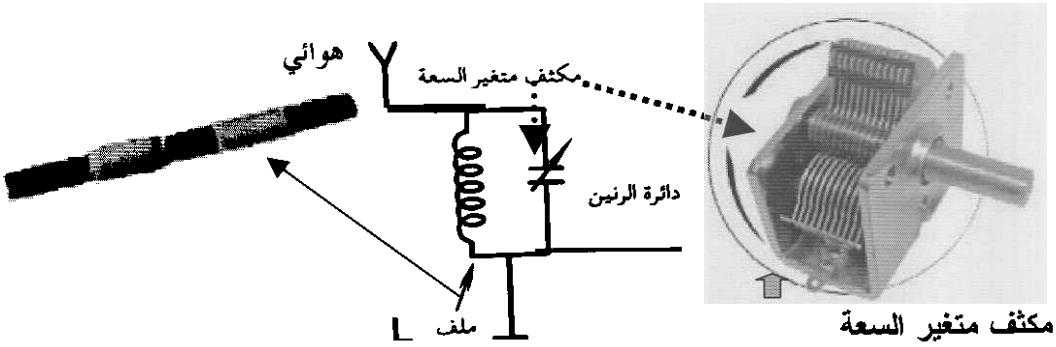


الشكل (4-20) :مخطط جهاز استقبال إذاعي (الراديو) .

في تحريك وتذبذب الالكترونات الحرة الموجودة فيه فيتولد تيارا كهربيا متذبذبا في الهوائي له نفس ترددات ألإذاعات المرسلة (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 لترددها 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 تحريكك مؤشر الراديو عزيزي الطالب فأنت في الواقع تقوم بتغيير سعة المكثف في داخل الجهاز حتى تحصل على المحطة التي تريدها (شكل (4-22))

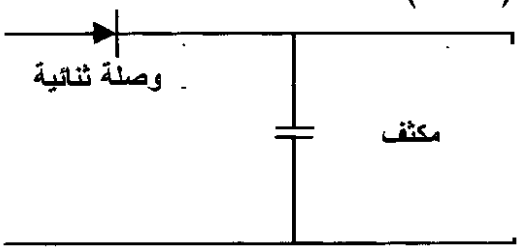


مكثف متغير السعة

عند توغل مجموعة الألواح العليا في السفلى تزيد مساحة المكثف وبالتالي تزيد سعتة وعند خروجهما 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 إتجاه وتمنع مرورها في الإتجاه 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 :

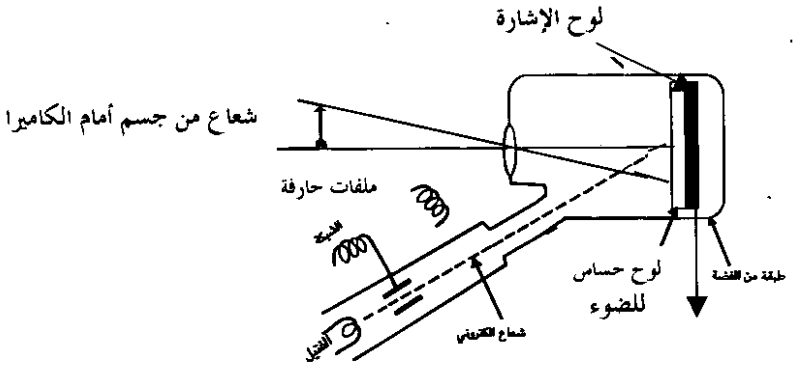
تعني كلمة التلفزيون (Television) الرؤية من بعيد . ويقوم جهاز الإرسال التلفزيوني بنقل الصور الموجودة أمام الكاميرا التلفزيونية عبر الموجات الكهرومغنطيسية إلى أجهزة الاستقبال التي تلتقط هذه الصور لتعرضها على شاشات الاستقبال .

(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 .

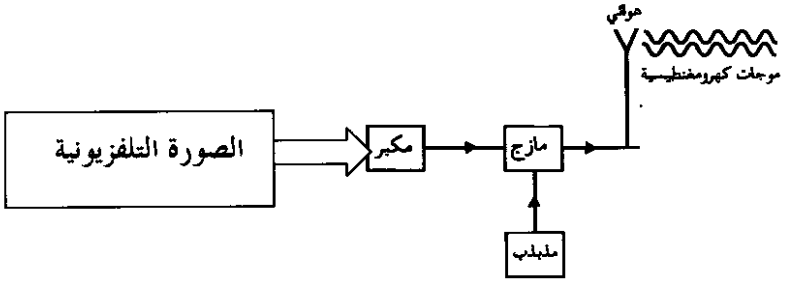
ويتصل بآلة التصوير أسطوانة في مؤخرتها ملف يسمى بالفتيل يقوم بإشعاع الكترونات مع شبكة للتحكم في هذه الالكترونات ومصعد وظيفته تركيز الالكترونات في حزمة ضيقة في صورة شعاع الكتروني يسقط على الخلايا الكهروضوئية . وتوجد أزواج من الملفات الأفقية والرأسية يمر بداخلها تيار ليحرف الشعاع الالكتروني أفقياً ورأسياً (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).



الشكل (4-23) :تركيب الكاميرا التلفزيونية .

فعند سقوط الشعاع الالكتروني على إحدى الخلايا الموجبة تصبح متعادلة فتحرر الشحنات التأثيرية السالبة التي كانت قد تكونت على لوح الإشارة والتي كانت تجذبها وتقيدها الخلية(النقطة) الموجبة . فتتحرك هذه الشحنات الكهربية 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 الالكتروني على كل الخلايا(النقاط) نحصل على تيارات متغيرة تعبر عن كل أجزاء الصورة الموجودة أمام الكاميرا .

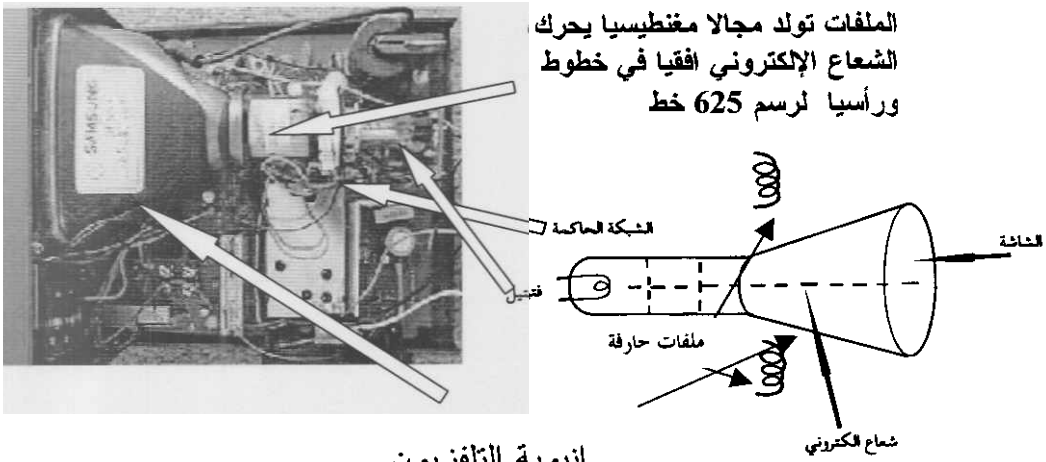
ب) تكبر هذه التيارات المتغيرة الشدة بواسطة المكبر ثم تمزج في المازج مع تيار ذو تردد عالٍ يولده المذبذب . حيث يتغير تردد هذا التيار ليعبر هذا التغير عن أجزاء الصورة المختلفة ويرسل هذا التيار المتردد

المعدل إلى سلك الهوائي ليبثها في شكل موجات كهرومغنطيسية معدلة التردد FM(شكل (4-24)).

لأن كل خلية (نقطة) تولد تيارا قد يكون مختلفا في القيمة من النقطة الأخرى فلابد من نظام للمرور على كل النقاط لتكوين الصورة الكاملة لما يحدث أمام الكاميرا لذلك نجد في نظـــام (PAL) المصممة وفقه الأجهزة المستخدمة في السودان أن الشعاع الالكتروني في الكاميرا يمر على الخلايا(النقاط) في خطوط افقية يساوي طول كل خط منها عرض الصورة وعندما يكتمل الخط الأول يبدأ الخط الثاني مارا 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 أحداثا متحركة ولابد 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 خطا 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 لاحقا.

(4-2-8) جهاز الاستقبال التلفزيوني :

يتركب جهاز الاستقبال من هوائي تمر فيه الموجات الكهرومغنطيسية فيؤدي المجال الكهربي المتذبذب إلى تذبذب الالكترونات 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)).

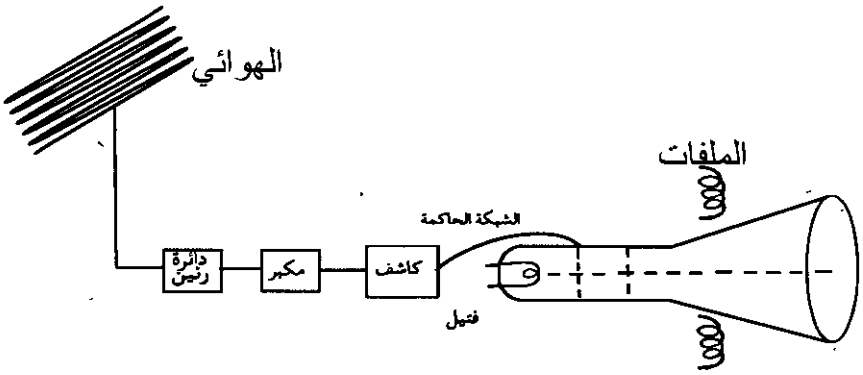


انبوبة التلفزيون

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 الالكترونات عليها .
* يوجد في بداية الأنبوبة سلك ملفوف يسمى بالفتيل وتصدر منه الكترونات عند تسخينه بإمرار تيار كهربي فيه . وينحرف هذا الشعاع الالكتروني 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 الالكتروني 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 الالكتروني 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 الكهرومغنطيسية ؟
2) ارسم رسماً توضيحياً يبين الإجزاء 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